İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAİRE PLANLI VE KUBBE BİTİŞLİ ÇOK AMAÇLI SALONLARDA AKUSTİK PERFORMANSIN TASARIM DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA SİMÜLASYON PROGRAMINDA İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra AKTI

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAİRE PLANLI VE KUBBE BİTİŞLİ ÇOK AMAÇLI SALONLARDA AKUSTİK PERFORMANSIN TASARIM DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA SİMÜLASYON PROGRAMINDA İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Büşra AKTI
(502121506)

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502121506 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Büşra AKTI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"DAİRE PLANLI VE KUBBE BİTİŞLİ ÇOK AMAÇLI SALONLARDA AKUSTİK PERFORMANSIN TASARIM DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA SİMÜLASYON PROGRAMINDA İRDELENMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sevtap YILMAZ** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL** .....
Beykent Üniversitesi

Y. Doç. Dr. Nurgün TAMER BAYAZIT .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2014**

Canım Babam, Annem ve Kardeşime,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışma sürecim boyunca bilgisini, yardımlarını ve önerilerini eksik etmeyen, sabırla destek olan ve yönlendiren sevgili tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sevtap YILMAZ'a, ders alma aşamasında bilgilerinden faydalanmama imkân tanıyan Sayın Y. Doç. Dr. Nurgün TAMER BAYAZIT'a ve sevgili Arş. Gör. Mine AŞÇIGİL DİNÇER'e sonsuz teşekkür ederim.

Hayat boyu yanımda olup maddi manevi hiçbir desteği ve sonsuz sevgilerini eksik etmeyen, ailemin birbirinden değerli her bir parçasına, canım anneme, babama ve biricik kardeşime her şey için ve yanımda oldukları için minnettarım.

Mayıs 2014

Büşra AKTI
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xxv**
SUMMARY ..... **xxix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Mükemmel Akustik 3
1.2 Akustik, Estetik ve Mükemmel Tasarım 6
1.3 Amaç, Kapsam, Yöntem 8
2. KONSER, KONFERANS VE ÇOK AMAÇLI SALONLARIN GELİŞİMİ **11**
2.1 Konser Salonlarının Gelişimi 11
2.1.1 17. – 19.yüzyıllarda konser salonu tasarımı 12
2.1.2 20.yüzyılda 1980 öncesi konser salonu tasarımı 14
2.1.3 20.yüzyılda 1980'lerde konser salonu tasarımı 18
2.2 Konferans Salonlarının Gelişimi 21
2.3 Çok Amaçlı Salonların Gelişimi 25
3. MİMARİ PARAMETRELER VE AKUSTİK KUSURLAR **33**
3.1 Çok Amaçlı Salon Tasarım Parametreleri 33
3.1.1 Salon şekli 35
3.1.2 Oturma planı 39
3.1.3 Salon hacmi 41
3.1.4 Tavan ve duvarlar 42
3.1.5 Kesitteki oturma düzeni ve zemin eğimi 43
3.1.6 Sahne tasarımı ve şekli 47
3.1.7 Sahnenin yan ve arka duvarları 51
3.1.8 Tavan yansıtıcıları/asılı yansıtıcılar 55
3.1.9 Yüzey malzemesi 60
3.2 Akustik kusurlar 64
3.2.1 Eko (echo) 64
3.2.2 Uzun gecikmeli yansımalar (long-delayed reflections) 68
3.2.3 Tekrarlayan eko (flutter echo) 68
3.2.4 Ses odaklanmaları (sound concentrations) 70
3.2.5 Birleştirilmiş mekanlar (coupled spaces) 72
3.2.6 Bozulma (distortion) 72
3.2.7 Rezonans (room resonance) 72
3.2.8 Ses gölgeleri (sound shadows) 73
3.2.9 Sesin sürünmesi (creep), fısıldayan galeriler (whispering galleries) 74
3.2.10 Oditoryumun gürültü ve titreşim kontrolü 75
4. AKUSTİK PARAMETRELER **77**

4.1 Objektif Parametreler 77
4.1.1 Çınlama süresi (reverberation time, T) 77
4.1.2 Erken düşme süresi (EDT) 86
4.1.3 Çift kulakla kalite indeksi (BQI) 87
4.1.4 Ses şiddeti (loudness), ses gücü (strength of sound) (G) 89
4.1.5 Bas oranı (bass ratio), sıcaklık (warmth), bas kuvveti (G_{low}) 93
4.1.6 İlk gecikme zaman aralığı (ITDG), samimiyet (intimacy) 95
4.1.7 Erken yanal enerji oranı (LF_{E4}, LF_{80}) 97
4.1.8 Yüzey yayılım indeksi (SDI) ve akustik parıltı 99
4.1.9 Dinleyicinin kuşatılması (LEV) 102
4.1.10 Belirginlik (D_{50}) 103
4.1.11 Müzik için netlik (C_{80}) 104
4.1.12 Konuşma için netlik (C_{50}) 108
4.1.13 Merkez zaman (T_s) 108
4.1.14 Direktlik (C_7) 109
4.1.15 Sessiz harflerin anlaşılırlık kaybı indeksi (AL_{cons}) 110
4.1.16 Konuşma iletim indeksi (STI) 110
4.1.17 Akustik parametreler için önerilen değerler 112
4.2 Subjektif Parametreler 115
4.2.1 Doğrudan ses, erken ses, çınlayan (reverberant) ses 117
4.2.2 Ardışık tonların hızı 120
4.2.3 Samimiyet (intimacy) ve ilk gecikme zaman aralığı (ITDG) 121
4.2.4 Canlılık ve orta frekanslar (liveness and mid frequencies) 122
4.2.5 Sıcaklık (warmth) 122
4.2.6 Ses gücü (strength of sound) ve ses şiddeti (loudness) 123
4.2.6.1 Doğrudan sesin şiddeti 124
4.2.6.2 Çınlayan sesin şiddeti 124
4.2.7 Öznel tanımlama (definition) veya netlik (clarity) 124
4.2.8 Rezonans (resonance) 125
4.2.9 Dinleyicinin çevrelenmesi 126
4.2.10 Kucaklama (spaciousness) 126
4.2.11 Parlaklık (brilliance) 128
4.2.12 Akustik parıltı (acoustical glare) 129
4.2.13 Yayılım (diffusion) 129
4.2.14 Denge (balance) 129
4.2.15 Harman (blend) 130
4.2.16 Birlik (ensemble) 130
4.2.17 Tepki yakınlığı (immedacy of response) 130
4.2.18 Doku (texture) 130
4.2.19 Ekosuzluk (freedom from echo) 131
4.2.20 Gürültüsüzlük (freedom from noise) 132
4.2.21 Ses rengi ve ton rengi (timbre and tone color) 132
4.2.22 Dinamik aralık ve arka plan gürültü seviyesi 132
4.2.23 Ton kalitesine verilen zararlar (detriments to tonal quality) 136
4.2.24 Dinleyici alanında sesin homojenliği (uniformity of sound) 137
5. KABULLER, HESAPLAMALAR VE DEĞERLENDİRMELER 139
5.1 Kabuller 139
5.1.1 İrdelenen salon ve varyasyonları için tasarım kabulleri 139
5.1.2 ODEON kabulleri 145

5.1.3 Belirlenen salonların değerlendirme ve karşılaştırma yönteminin açıklaması ... 151
5.2 Hesaplamalar ve Değerlendirmeler ... 152
5.2.1 Salon 1 için alıcılar bazında parametrelerin değerlendirilmesi, salon 1 ve yalın halinin karşılaştırması ... 153
5.2.1.1 Çınlama süresi (T) ve erken düşme süresi (EDT) ... 153
5.2.1.2 Netlik (C_{80}) ... 166
5.2.1.3 Belirginlik (D_{50}) ... 170
5.2.1.4 Yanal yansımalar (LF_{80}) ... 174
5.2.1.5 Merkez zaman (T_s) ... 177
5.2.1.6 Ses yüksekliği (G, SPL) ... 181
5.2.1.7 Konuşma iletim indeksi (STI) ... 184
5.2.2 Salon 2 için alıcılar bazında parametrelerin değerlendirilmesi, salon 2 ve salon 1'in karşılaştırması ... 187
5.2.2.1 Çınlama süresi (T) ve erken düşme süresi (EDT) ... 187
5.2.2.2 Netlik (C_{80}) ... 205
5.2.2.3 Belirginlik (D_{50}) ... 210
5.2.2.4 Yanal yansımalar (LF_{80}) ... 215
5.2.2.5 Merkez zaman (T_s) ... 219
5.2.2.6 Ses yüksekliği (G, SPL) ... 223
5.2.2.7 Konuşma iletim indeksi (STI) ... 227
5.2.3 Salon 3 için alıcılar bazında parametrelerin değerlendirilmesi, salon 3 ve salon 2'nin karşılaştırması ... 231
5.2.3.1 Çınlama süresi (T) ve erken düşme süresi (EDT) ... 231
5.2.3.2 Netlik (C_{80}) ... 248
5.2.3.3 Belirginlik (D_{50}) ... 256
5.2.3.4 Yanal yansımalar (LF_{80}) ... 263
5.2.3.5 Merkez zaman (T_s) ... 270
5.2.3.6 Ses yüksekliği (G, SPL) ... 277
5.2.3.7 Konuşma iletim indeksi (STI) ... 282
6. SONUÇ VE ÖNERİLER ... 291
6.1 Çınlama Süresi (T30), Erken Düşme Süresi (EDT) ... 292
6.2 Netlik (C_{80}) ... 294
6.3 Belirginlik (D_{50}) ... 297
6.4 Yanal Yansımalar (LF_{80}) ... 300
6.5 Merkez Zaman (T_s) ... 303
6.6 Ses Yüksekliği (G, SPL) ... 306
6.7 Konuşma İletim İndeksi (STI) ... 308
6.8 Saçıcılık Katsayısı Değişiminin Eko Kusuru Üzerindeki Etkisinin Salon 1 ve Salon 2'de İrdelenmesi ... 319
6.8.1 Salon 1 arka duvar saçıcılık katsayısının artırılması ve karşılaştırması ... 319
6.8.2 Salon 2 arka duvar saçıcılık katsayısının artırılması ve karşılaştırması ... 322
KAYNAKLAR ... 327
ÖZGEÇMİŞ ... 329

KISALTMALAR

T : Çınlama Süresi
T_{10} : Çınlama Sürei (10 dB)
T_{30} : Çınlama Süresi (30 dB)
EDT : Erken Düşme Süresi
BQI : Çift Kulakla Kalite İndeksi
G : Ses Yüksekliği
SPL : Ses Basınç Seviyesi
BR : Bas Oranı
ITDG : İlk Gecikme Zaman Aralığı
LF_{80}, LF_{E4} : Erken Yanal Enerji Oranı
LEV : Dinleyicinin Kuşatılması
ASW : Görünen Kaynak Genişliği
IACC : Duyumlar Arası Çapraz Bağ Katsayısı
D_{50} : Belirginlik
C_{80} : Müzik İçin Netlik
C_{50} : Konuşma İçin Netlik
T_s : Merkez Zaman
C_7 : Direktlik
AL_{cons} : Sessiz Harflerin Anlaşılırlık Kaybı
STI : Konuşma İletim İndeksi
RASTI : Hızlı Konuşma İletim İndeksi
SDI : Yüzey Yayılım İndeksi
NC : Arka Plan Gürültüsü
APS : Görüş Çizgisi
HVAC : Isıtma, Havalandırma, İklimendirme Sistemleri
MTF : Modülasyon Transfer Frekansı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Oditoryum tipine göre kişi başına düşen hacim aralığı [9] 42
Çizelge 4.1 : Dolu salon için önerilen çınlama süreleri [1]. 80
Çizelge 4.2 : C_{80} değerleri için literatür verileri. 107
Çizelge 4.3 : Fiziksel özelliklerin birbiriyle olan ilişkisi [15] 113
Çizelge 4.4 : Parametreler arasındaki ilişki [15] 113
Çizelge 4.5 : Dinleme salonları için gürültü değerlendirme ölçüsü [17] 136
Çizelge 5.1 : Yalın halde kullanılan malzemeler ve yutuculuk, saçıcılık değerleri 149
Çizelge 5.2 : Salonda kullanılan malzemeler ve yutuculuk, saçıcılık değerleri 150
Çizelge 5.3 : Değerlendirmede yararlanılan parametre aralıkları 153
Çizelge 5.4 : Salon 3 alıcılarında eko kontrolü 239
Çizelge 6.1 : Parametreler için salonlarda elde edilen değerler ve açıklamaları 311
Çizelge 6.2 : Salonların oturma bölümleri gruplarına göre değerlendirilmesi (Salon 1 yalın hali ve salon 1) 314
Çizelge 6.3 : Salonların oturma bölümleri gruplarına göre değerlendirilmesi (Salon 2 ve salon 3) 316

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tasarım aşamasında büyüklük-kalite-bütçe ilişkisi [2]..... 5
Şekil 2.1 : Tarih boyunca baskın olan oditoryum plan şekilleri; (a)klasik Yunan tiyatrosu (yelpaze biçimli plan); (b)klasik Roma arenası; (c)barok tiyatro (at nalı plan); (d)19.yy dikdörtgen konser salonu [1]..... 12
Şekil 2.2 : Roy Thomson Salonu, Toronto [1] 20
Şekil 2.3 : (a) Plan ve (b) Roy Thomson Salonu uzun kesiti [1]..... 20
Şekil 2.4 : Farklı hacimlerde ort. hece telaffuz yüzdesi-çınlama süresi grafiği [3]... 24
Şekil 2.5 : Kopenhag'daki Dronningesalen Salonu, 400-600 koltuk.çınlama süresi eğrisi, plan, kesit ve değişken emiciliği gösteren taranmış duvar yükseklikleri [6]..... 26
Şekil 2.6: İsveç Umea'daki Idun Çok Amaçlı Salonu. Değişebilen hacim ve sahne yerleşimi. Özet bilgi (solda), maketten fotoğraflar, uzun kesit ve plan (sağda) [6]..... 27
Şekil 2.7 : 2900 kişilik Orange County, California'daki Segerstrom Salonu. Akustik tasarım: Marshall, Hyde, Paoletti [6]..... 28
Şekil 3.1 : Dikdörtgen planın iki farklı şekilde konumlandırılması [2]..... 35
Şekil 3.2 : Performans tipine bağlı olarak seyircinin organik yerleşimi [6]..... 38
Şekil 3.3 : Temel salon şekilleri [6]..... 38
Şekil 3.4 : Sahne yakınında yan duvar tasarımı [10]..... 39
Şekil 3.5 : Tavan parçaları salondaki belirli oturma alanlarına sesi yansıtmak için ayarlanıp açılanabilir [13]..... 43
Şekil 3.6 : Seyirci üzerinden sürünerek geçen ses dalgaları [14] 44
Şekil 3.7 : Ses seviyesindeki düşüş – zemin eğimi grafiği [14] 45
Şekil 3.8 : Filarmoni Konser Salonu'nun sahnesi, Berlin [1]..... 51
Şekil 3.9 : Düzgün ses yansıması [5]..... 52
Şekil 3.10 : Dağınık ses yansıması [5] 52
Şekil 3.11 : Frekansın, düzensiz bir yüzeyden yansıyan ses üzerindeki etkisi [5] 53
Şekil 3.12 : Musikvereinsaal, Viyana; balkon, kat planları ve uzun kesit [6] 54
Şekil 3.13 : Sahne önündeki yansıtıcı panellerin yansıma yollarına etkisi [6]..... 56
Şekil 3.14 : Uygun biçimde yerleştirilen tavan yansıtıcıları ses şiddetine katkı sağlar [9] 56
Şekil 3.15 : Direkt ve yansıyan ses arasındaki gecikme süresi hesabı [9]..... 58
Şekil 3.16 : Koltuk emiciliği [10]..... 63
Şekil 3.17 : (1) eko, (2) uzun gecikmeli yansıma, (3) ses gölgesi, (4) ses odaklanması [9]..... 64
Şekil 3.18 : Oditoryumlarda eko oluşumu [9] 65
Şekil 3.19 : Ses yolları farkı, eşdeğer gecikme süresi ve konuşma anlaşılırlığı üzerindeki etkisi [14]..... 66
Şekil 3.20 : Bir oditoryumun planına çizilmiş eko elipsleri [6] 68
Şekil 3.21 : Tekrarlayan ekoya neden olan oda şekilleri [6] 69

Şekil 3.22 : (a) Tekrarlayan ekolu salon, (b) yayılım veya (c) emilim aracılığıyla alınan önlemler [6] 69
Şekil 3.23 : Paralel olmayan yansıtıcı yüzeyler arasında tekrarlayan eko oluşumu [9] 69
Şekil 3.24 : Ses kaynağı-kubbe uzaklığının, odak noktası ile ilişkisi [17] 71
Şekil 3.25 : İçbükey yüzeylerde odaklanma [6] 71
Şekil 3.26 : Müzik eylemi sırasında oluşan ses gölgeleri [17] 73
Şekil 3.27 : Konuşma eylemi sırasında oluşan ses gölgeleri [17] 74
Şekil 3.28 : Odaklanma ve sürünen dalgalar; (a), yüzey şekli değiştirilerek düzeltilmiş salon (b) [6] 75
Şekil 4.1 : (a) Kısa çınlama süresi iyi bir anlaşılırlık verir; (b) uzun çınlama süresi maskelemeler üretir [1] 78
Şekil 4.2 : Doğrudan ses, ilk yansıma ve diğer yansımaların olası aralıkları [6] 79
Şekil 4.3 : Çınlama süresi tanımı [6] 81
Şekil 4.4 : Hacim – çınlama süresi grafiği [14] 81
Şekil 4.5 : Çınlama süresi – salon hacmi [10] 82
Şekil 4.6 : 500 Hz'den düşük frekanslarda çınlama süresi taralı alan içinde kalmalıdır [9] 82
Şekil 4.7 : Dolu ve boş salonlar için BQI – Frekans çizimi [15] 88
Şekil 4.8 : 25 konser salonu için BQI – Akustik kalite sübjektif derecelendirme çizimi (salon boşken ölçülmüş) [15] 88
Şekil 4.9 : Salon boşken, sahne önünden 3 m geride yerleştirilmiş yönsüz (nondirectional) bir ses kaynağından farklı uzaklıklardaki ses seviyesi [15] 90
Şekil 4.10 : Boş salonlarda ölçülen G_{mid} ve EDT'den yola çıkılarak, orta frekanslardaki ses gücü G_{mid} ölçümleri – EDT/V oranı grafiği [15] 91
Şekil 4.11 : Diğer ülkelerdeki araştırmacıların elde ettiği veriler olmasının dışında Şekil 4.10 ile aynı grafik. İki grafik arasında belirtilen 1.2 dB'lik fark, aynı salonda iki farklı tarafın yaptığı ölçümlere dayanmaktadır [15] 92
Şekil 4.12 : 45 konser salonu için bas oranı, dolu salonda ölçüm yapılmıştır [15] ... 94
Şekil 4.13 : 31 konser salonu için 125 Hz'deki güç (G). Salon boşken ölçüm yapılmış. G_{125} daha büyük salonlarda küçüktür ve ince döşeme kaplamalı salonlarda [15] 94
Şekil 4.14 : ITDG'si 20 ms olan daha dar bir salonun ve ITDG'si 40 ms olan daha geniş bir salonun reflektogramları [15] 96
Şekil 4.15 : 39 konser salonu için ITDG çizimi. En iyi 14 salonun sadece iki tanesi 25 ms'den daha yüksek ITDG'ye sahiptir [15] 96
Şekil 4.16 : 22 salonda LF ölçümü. "Düşük", en düşük 4 banttaki değerlerin, "orta" 500-, 1000-, ve 2000 Hz bantlarındakinin ortalaması [15] 98
Şekil 4.17 : Yan duvarlara eklenen ses yayılımının etkisi çizimlerde gösterilmiştir [15] 100
Şekil 4.18 : Düşük dereceli salonlar 0.3 – 0.7 SDI değerine sahipken, en iyi dereceli salonlar 1.0 SDI değerine sahiptir. Orta dereceliler ise 0.7 ± 1.0 SDI değerlerine sahiptir [15] 102
Şekil 4.19 : Derecelendirilmiş 24 salon – geç (80 ms'den sonra) kalite [1 – $IACC_{L3}$] grafiği [15] 103
Şekil 4.20 : Üç salondaki ölçülen ortalama C_{80} değerleri [10] 105
Şekil 4.21 : Netlik (C) tanımı: sinyal tepkisindeki erken ve geç enerji oranı [6] 107
Şekil 4.22 : Akustiği oluşturan unsurlar [2] 118
Şekil 4.23 : Bir müzik notasını maskeleyen uzun çınlama süresi gösterimi [15] 121

Şekil 4.24 : Performansçıdan dinleyiciye doğru giden sesin yollarının gösterimi [6] 127
Şekil 4.25 : Duyma eşiği [2] 133
Şekil 5.1 : Salon 1 ana salonu planı 141
Şekil 5.2 : Salon 1 ana salonu kesiti 141
Şekil 5.3 : Salon 2 planı 142
Şekil 5.4 : Salon 2 kesiti 142
Şekil 5.5 : Salon 3 planı 143
Şekil 5.6 : Salon 3 kesitleri 144
Şekil 5.7 : Salonların görüş çizgileri, ışın iletimleri, odak kontrolleri 144
Şekil 5.8 : Odeon hesaplama parametreleri kabulleri 146
Şekil 5.9 : Odeon hesaplama parametreleri kabulleri 147
Şekil 5.10 : Alıcı – kaynak ilişkisi 148
Şekil 5.11 : Salonlar için kullanılan Odeon iş listesi 149
Şekil 5.12 : Arka duvara uygulanan saçıcı ve yutucu malzemelerin düzeni 150
Şekil 5.13 : Salon 1 için frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 değerleri 154
Şekil 5.14 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki EDT-T30 değerleri 155
Şekil 5.15 : Salon 1'de alıcı 8 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 156
Şekil 5.16 : Salon 1'de alıcı 18 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 157
Şekil 5.17 : Salon 1'de alıcı 22 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 159
Şekil 5.18 : 13., 35., 70., 95. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri 161
Şekil 5.19 : 141., 162., 190. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri 162
Şekil 5.20 : Salon 1 için çınlama düşüş eğrisi 162
Şekil 5.21 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de T30 değeri 163
Şekil 5.22 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de EDT değeri 163
Şekil 5.23 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de T30 karşılaştırması 164
Şekil 5.24 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de EDT karşılaştırması 165
Şekil 5.25 : Salon 1'in yalın hali için çınlama düşüş eğrisi 165
Şekil 5.26 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisi 165
Şekil 5.27 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama C_{80} değerleri 166
Şekil 5.28 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki C_{80} değerleri 167
Şekil 5.29 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de C_{80} değeri 168
Şekil 5.30 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de C_{80} karşılaştırması 169
Şekil 5.31 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama C_{80} karşılaştırmas 170
Şekil 5.32 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama D_{50} değerleri 170
Şekil 5.33 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki D_{50} değerleri 171
Şekil 5.34 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de D_{50} belirginlik değeri 172
Şekil 5.35 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de D_{50} karşılaştırması 173
Şekil 5.36 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama D_{50} karşılaştırması 173
Şekil 5.37 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama LF_{80} değerleri 174
Şekil 5.38 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki LF_{80} değerleri 175
Şekil 5.39 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de LF_{80} değerleri 176
Şekil 5.40 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de LF_{80} karşılaştırması 177

Şekil 5.41 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama LF_{80} karşılaştırması.....177
Şekil 5.42 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama Ts değerleri.....178
Şekil 5.43 : Salon 1 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de T_s değerleri.....178
Şekil 5.44 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de T_s değeri.....179
Şekil 5.45 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de T_s karşılaştırması.....180
Şekil 5.46 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama Ts karşılaştırması 181
Şekil 5.47 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama G (SPL) değerleri.....182
Şekil 5.48 : Salon 1 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de G (SPL) değerleri.....182
Şekil 5.49 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de G değeri 183
Şekil 5.50 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de SPL karşılaştırması 184
Şekil 5.51 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama SPL karşılaştırması.....184
Şekil 5.52 : Salon 1 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri 185
Şekil 5.53 : Salon 1 için alıcı noktalarındaki STI değerleri.....185
Şekil 5.54 : Salon 1 için grid analizi ile STI değeri.....186
Şekil 5.55 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda STI karşılaştırması.....187
Şekil 5.56 : Salon 1 ve yalın halinin ortalama STI değerlerinin karşılaştırması 187
Şekil 5.57 : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 değerleri 188
Şekil 5.58 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki EDT-T30 değerleri 189
Şekil 5.59 : Salon 2'de alıcı 7 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 191
Şekil 5.60 : Salon 2'de alıcı 2 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 192
Şekil 5.61 : Salon 2'de alıcı 15 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 194
Şekil 5.62 : Salon 2'de alıcı 24 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 195
Şekil 5.63 : 11., 43., 60., 80. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri 197
Şekil 5.64 : 106., 137., 172. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri 198
Şekil 5.65 : Salon 2 için çınlama düşüş eğrisi 198
Şekil 5.66 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de T30 değeri.....199
Şekil 5.67 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de EDT değeri 199
Şekil 5.68 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında EDT karşılaştırması.....200
Şekil 5.69 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında T30 karşılaştırması.....201
Şekil 5.70 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda EDT karşılaştırması.....201
Şekil 5.71 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda T30 karşılaştırması.....201
Şekil 5.72 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisi ...202
Şekil 5.73 : Salon 1 ve 2'de alıcı 2 için enerji karşılaştırması.....203
Şekil 5.74 : Salon 1 ve 2'de alıcı 7 için enerji karşılaştırması.....204
Şekil 5.75 : Salon 1 ve 2'de alıcı 15 için enerji karşılaştırması.....204
Şekil 5.76 : Salon 1 ve 2'de alıcı 24 için enerji karşılaştırması.....205
Şekil 5.77 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama C_{80} değerleri.....206

Şekil 5.78 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki C_{80} değerleri..... 206
Şekil 5.79 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de C_{80} değeri..... 207
Şekil 5.80 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında C_{80} karşılaştırması 208
Şekil 5.81 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda C_{80} karşılaştırması 209
Şekil 5.82 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama C_{80} karşılaştırması. 210
Şekil 5.83 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama D_{50} değerleri..... 211
Şekil 5.84 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki D_{50} değerleri 212
Şekil 5.85 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de D_{50} belirginlik değeri..... 212
Şekil 5.86 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında D_{50} karşılaştırması 213
Şekil 5.87 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda D_{50} karşılaştırması 214
Şekil 5.88 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama D_{50} karşılaştırması 214
Şekil 5.89 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama LF80 değerleri..... 215
Şekil 5.90 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki LF_{80} değerleri..... 216
Şekil 5.91 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de LF_{80} değerleri 217
Şekil 5.92 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında LF_{80} karşılaştırması 218
Şekil 5.93 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda LF_{80} karşılaştırması 218
Şekil 5.94 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama LF_{80} karşılaştırması219
Şekil 5.95 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama Ts değerleri..... 219
Şekil 5.96 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de T_s değerleri 220
Şekil 5.97 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de T_s değeri 221
Şekil 5.98 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında T_s karşılaştırması 222
Şekil 5.99 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda T_s karşılaştırması 222
Şekil 5.100 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama T_s karşılaştırması. 223
Şekil 5.101 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri..... 224
Şekil 5.102 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de G (SPL) değerleri 224
Şekil 5.103 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de G değeri 225
Şekil 5.104 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında G (SPL) karşılaştırması 226
Şekil 5.105 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda G (SPL) karşılaştırması 226
Şekil 5.106 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama G (SPL) karşılaştırması 227
Şekil 5.107 : Salon 2 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri 228
Şekil 5.108 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki STI değerleri..... 228
Şekil 5.109 : Salon 2 için grid analizi ile STI değeri..... 229
Şekil 5.110 : Salon 1 ve salon 2'nin alıcı noktalarında STI karşılaştırması..... 230
Şekil 5.111 : Salon 1 ve salon 2'nin kritik noktalarda STI karşılaştırması 230
Şekil 5.112 : Salon 1 ve salon 2'nin ortalama STI değerleri karşılaştırması..... 231

Şekil 5.113 : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 değerleri 232
Şekil 5.114 : Salon 3 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki EDT-T30 değerleri 232
Şekil 5.115 : Salon 3'te alıcı 19 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 234
Şekil 5.116 : Salon 3'te alıcı 4 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 235
Şekil 5.117 : Salon 3'te alıcı 12 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 237
Şekil 5.118 : Salon 3'te alıcı 21 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi 238
Şekil 5.119 : 13., 32., 60. ve 81.milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri..... 240
Şekil 5.120 : 100., 143. ve 186. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri..... 241
Şekil 5.121 : Salon 3 için çınlama düşüş eğrisi 241
Şekil 5.122 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de T30 değeri..... 242
Şekil 5.123 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de EDT değeri 242
Şekil 5.124 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de alıcılarda EDT karşılaştırması..... 243
Şekil 5.125 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de alıcı noktalarında T30 karşılaştırması..... 244
Şekil 5.126 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de kritik noktalarda EDT karşılaştırması..... 244
Şekil 5.127 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de kritik noktalarda T30 karşılaştırması..... 244
Şekil 5.128 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisi .. 245
Şekil 5.129 : Salon 2 ve 3'te alıcı 4 için enerji karşılaştırması..... 246
Şekil 5.130 : Salon 2 ve 3'te alıcı 12 için enerji karşılaştırması..... 246
Şekil 5.131 : Salon 2 ve 3'te alıcı 19 için enerji karşılaştırması..... 247
Şekil 5.132 : Salon 2 ve 3'te alıcı 21 için enerji karşılaştırması..... 247
Şekil 5.133 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama C_{80} değerleri 249
Şekil 5.134 : Salon 3 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki C_{80} değerleri..... 249
Şekil 5.135 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de C_{80} değerleri..... 250
Şekil 5.136 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de C_{80} değerleri 250
Şekil 5.137 : Salon 3'te alıcı 1 için enerji diyagramı ve sağ-sol kulaktaki ses basıncı..... 252
Şekil 5.138 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de C_{80} değeri..... 253
Şekil 5.139 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında C_{80} karşılaştırması..... 254
Şekil 5.140 : Salon 3 ana salon ve terastaki ön sıra alıcılarının C_{80} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması 254
Şekil 5.141 : Salon 2 ve 3'te alıcı 1 için enerji karşılaştırması..... 255
Şekil 5.142 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama C_{80} karşılaştırması 256
Şekil 5.143 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama D_{50} değerleri..... 257
Şekil 5.144 : Salon 3 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki D_{50} değerleri 257
Şekil 5.145 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de D_{50} değerleri..... 258
Şekil 5.146 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de D_{50} değerleri 259
Şekil 5.147 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de D_{50} değeri..... 260

Şekil 5.148 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında D_{50} karşılaştırması 261
Şekil 5.149 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için D_{50} değerleri karşılaştırması 261
Şekil 5.150 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların D_{50} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması 262
Şekil 5.151 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama D_{50} karşılaştırması 262
Şekil 5.152 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama LF_{80} değerleri..... 263
Şekil 5.153 : Salon 3 için alıcı noktalarında 1000 Hz'de LF_{80} değerleri 264
Şekil 5.154 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de LF_{80} değerleri..... 264
Şekil 5.155 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de LF_{80} değerleri..... 265
Şekil 5.156 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de LF_{80} değeri..... 266
Şekil 5.157 : Salon 2 ve salon 3 1000 Hz'de alıcı noktalarında LF_{80} karşılaştırması 267
Şekil 5.158 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için LF_{80} değerleri karşılaştırması 268
Şekil 5.159 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların LF_{80} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması 268
Şekil 5.160 : Salon 2 ve 3'te alıcı 11 için enerji karşılaştırması..... 269
Şekil 5.161 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama LF_{80} karşılaştırması 270
Şekil 5.162 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama Ts değerleri..... 271
Şekil 5.163 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de T_s değerleri 271
Şekil 5.164 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de T_s değerleri..... 272
Şekil 5.165 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de T_s değerleri .. 273
Şekil 5.166 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de T_s değeri 274
Şekil 5.167 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında T_s karşılaştırması 275
Şekil 5.168 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için T_s değerleri karşılaştırması 275
Şekil 5.169 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de T_s değeri 276
Şekil 5.170 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama T_s karşılaştırması.. 277
Şekil 5.171 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama SPL değerleri..... 278
Şekil 5.172 : Salon 3 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de G değerleri 278
Şekil 5.173 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de G (SPL) değerleri 279
Şekil 5.174 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında G karşılaştırması 280
Şekil 5.175 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için G (SPL) değerleri karşılaştırması 280
Şekil 5.176 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların G (SPL) değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması 281
Şekil 5.177 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama SPL karşılaştırması 282
Şekil 5.178 : Salon 3 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri 283

Şekil 5.179 : Salon 3 için alıcı noktalarındaki STI değerleri 283
Şekil 5.180 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için STI değerleri 284
Şekil 5.181 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için STI değerleri 285
Şekil 5.182 : Salon 3 için grid analizi ile STI değeri 286
Şekil 5.183 : Salon 2 ve salon 3'ün alıcı noktalarında STI karşılaştırması 287
Şekil 5.184 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için STI değerleri karşılaştırması 287
Şekil 5.185 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların STI değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması 288
Şekil 5.186 : Salon 2 ve salon 3'ün alıcı noktalarında STI karşılaştırması 288
Şekil 6.1 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama EDT-T30 değerleri 292
Şekil 6.2 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama C_{80} değerleri 294
Şekil 6.3 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama D_{50} değerleri 298
Şekil 6.4 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama LF_{80} değerleri 301
Şekil 6.5 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama T_s değerleri 304
Şekil 6.6 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama G (SPL) değerleri 306
Şekil 6.7 : Salonların ortalama STI değerleri 308
Şekil 6.8 : Salon 1 için saçıcılık artışının alıcı 18'e ulaşan yansımaların enerjileri üzerindeki etkisi 320
Şekil 6.9 : Salon 1 için saçıcılık artışının alıcı 18 işitme grafikleri üzerindeki etkisi 321
Şekil 6.10 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 7'ye ulaşan yansımaların enerjileri üzerindeki etkisi 323
Şekil 6.11 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 24'e ulaşan yansımaların enerjileri üzerindeki etkisi 324
Şekil 6.12 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 7 işitme grafikleri üzerindeki etkisi 325
Şekil 6.13 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 24 işitme grafikleri üzerindeki etkisi 326

DAİRE PLANLI VE KUBBE BİTİŞLİ ÇOK AMAÇLI SALONLARDA AKUSTİK PERFORMANSIN TASARIM DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA SİMÜLASYON PROGRAMINDA İRDELENMESİ

ÖZET

Tarih içinde belli fonksiyonlar için belli bina tasarımları gelişmeye başlamıştır. Müzik faaliyetleri balo salonlarında gerçekleştirilmiş ve müziğe olan ilgi artmaya başlayınca da müzik için özel yapılar tasarlanmaya başlamıştır. Tasarlanan yapıların temelini ilk faaliyetlerin yapıldığı balo salonları oluşturmuştur. Bu salonların dikdörtgen formundan yola çıkılmış, ardından farklı formlar denenmiştir. Müziğin önem kazanması ile birlikte gelişen akustik bilimi ve yeni gelişen uzmanları denenen farklı formlarda kusurlar belirlemiş, bu esnada gelişen ve biriken bilginin yardımıyla da eskilere dönüşler, ilerlemelerle gerçekleşmiştir.

Çok amaçlı salonlar öncelikli olarak konser, opera, tiyatro salonlarının dönüştürülmesiyle ortaya çıkmış, bunun tetikleyicisi ise ekonomik nedenler olmuştur. Çoklu amaca hizmet eden binanın bakımı, ayrı ayrı her bir amaca hizmet eden binaların toplam bakımından daha az maliyete sahiptir. Bu durum da bir salonda çok amaçlı kullanımı talep edilen bir özellik haline getirmiştir. Çok amaçlı salonlarda gerçekleşecek olan konuşma ve müzik faaliyetlerinin akustik gereklilikleri birbirilerinden farklı ve hatta bazen birbirine zıttır. Bu iki işlevi ortak bir paydada buluşturmak önceliktir ve zorludur. Çoğu zaman işlevlerden birinin ön planda olması ve ona daha uygun tasarımın sağlanması yolu tercih edilir. Çok amaçlı bir salon tasarımının ele alındığı bu çalışmada salonun konuşma ve müzik için durumları incelenmiştir ve işlevlere aynı önem verilip ikisi de aynı payda da ele alınmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen plan tipi ise tam dairedir ve üçüncü boyutta kubbe ile bitmektedir. En çok tercih edilen dikdörtgen, at nalı, fan ve elmastan farklı bir plandır. Arena tipi kabul edilir. İçbükey yüzeylerin akustik açıdan getireceği olumsuz etkiler de aynı bağlamda incelenmiştir.

Birinci bölümde, çok amaçlı salonlarla ilgili kısa bir giriş yapılmıştır. Akustiğin mimari tasarım sürecinde en baştan itibaren düşünülmesi gerektiğine vurgu yapılır, mükemmel akustiğin olmadığına bazı fonksiyonlar için oldukça uygun olduğundan bahsedilir. Bu çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi de burada ele alınmıştır. Bir ana salondan yola çıkılarak iki tip varyasyon geliştirilmiş, sonuçta üç ayrı irdeleme elemanı elde edilmiştir. Bunlarda ayrı ayrı ölçümler yapılarak kendi içlerinde ve birbirleri arasında bir karşılaştırmaya gidilmiştir.

İkinci bölüm, konser, konferans ve çok amaçlı salonların tarih içindeki gelişimi ve kullanımlarıyla ilgilidir. Konser salonlarının kullanımının nasıl başladığı, müziğin gelişimi ile beraber konser salonlarının da gelişme gösterdiği ve gelişme aşamasında karşılaşılan kusurlardan ve bu kusurlardan yola çıkılarak ideal durumların oluşturulmaya çalışıldığından bahsedilmiştir. Konuşma salonlarında destek sağlayan bir ses sistemi olmadan konuşma yapılabilmesine olanak sağlanmalıdır ve konuşma anlaşılırlığının sağlanması akustik gerekliliklerden biridir. Kadın ve erkek sesleri

farklı ses yüksekliklerine sahiptir ve bu seslerin fark edilmesi, anlaşılması konuşma anlaşılırlığı açısından önemli bir disiplindir. Bu bağlamda, bu bölümde, konuşma sesinin içeriği ve oda akustiğinin etkilerinden, konuşma için büyük salonlardaki temel akustik gereksinimlerden bahsedilmiştir. Çok amaçlı salonlarla ilgili kısımda kültürel etkinlikler amacıyla inşa edilmiş birçok modern salonun birbirinden farklı pek çok faaliyete nasıl ev sahipliği yaptığından bahsedilir. Hangi faaliyetin öncelikli olarak seçileceğinin belirlenmesinin ve salonun o faaliyete göre tasarlanmasının ama bununla beraber diğer kullanımlar için de ayarlamaların yapılmasına imkân sağlaması gerektiğinin altı bir kez daha bu bölümde çizilir.

Üçüncü bölümde, akustik bilimi ile ilgili anlatımlarda bulunulmuş, sesin odadaki davranışına değinilmiştir. Bütün salonlarda geçerli olacak olan tasarım parametrelerine çok amaçlı faaliyet adı altında yer verilir. Bir salonu tasarlamanın adımlarını oluşturan bu tasarım parametreleri ayrı başlıklar altında toplanarak detaylandırılmıştır. Dinleyicilerin ve performansçıların salon içerisindeki görsel ve akustik konforunu etkileyecek bu parametrelere değer aralıkları verilerek optimum tasarım referansı sağlanmıştır. Akustik koşulları olumsuz etkileyen akustik kusurlardan bahsedilir. Eko, uzun gecikmeli yansımalar, tekrarlayan ekolar, ses odaklanmaları verilebilecek örneklerdir.

Dördüncü bölümde, akustiğin müzisyenler ve akustik uzmanları arasındaki ortak dilinin gelişimine giriş yapılır. Bu bağlamda, akustik biliminde sesin salon içindeki davranışı, dinleyici kulağında algılanışının belli parametrelere dayandırıldığından bahsedilir. Hesaplanabilir olan ve salon tasarımını etkileyen parametreler objektif parametrelerdir, salondaki fiziksel koşullardan etkilenirler. Sübjektif parametreler ise ölçülüp hesaplanamamaktadır, bu parametreler dinleyicilerin salon akustiği ile ilgili farklı görüşlere sahip olmasının açıklamasının yapılmasını sağlayan parametrelerdir. Objektif parametrelerden bazıları şunlardır; çınlama süresi (T), erken düşme süresi (EDT), çift kulakla kalite indeksi (BQI), ses gücü (G), bas oranı (BR), ilk gecikme zaman aralığı (ITDG), erken yanal enerji oranı (LF_{80}), belirginlik (D_{50}), müzik için netlik (C_{80}), konuşma için netlik (C_{50}), merkez zaman (T_s)… Sübjektif parametrelerden bazıları ise şunlardır; samimiyet (intimacy), canlılık (liveness), sıcaklık (warmth), ses şiddeti (loudness), ferahlık (spaciousness), parlaklık (brilliance)…

Beşinci bölüm, kabuller, ölçümler ve değerlendirmeler bölümüdür. Literatürden alınan tasarım parametrelerine uygun olarak tasarlanan, üç salon mevcuttur. Ana bir salon tasarlanmış ve bu salondan yola çıkılarak karşılaştırma yapılacak noktalar belirlenmiş, plan tipi varyasyonları geliştirilmiştir. Ana "salon 1", aynı salon planının daha dik eğimden yararlanılmış hali "salon 2" ve bu dik eğimli salonun teraslı oturumlardan yararlanılarak ele alındığı hali ise "salon 3" olarak anılmıştır. Salonların teknik verileri ve çizimlerine bu bölümde yer verilmiştir. Planlara ait çizimler Autodesk Autocad 2010 programı ile çizilmiştir. Planlara ait modeller Google Sketchup 13 programı ile yapılmıştır. Analizlerin yapılacağı program olan Odeon 10.0 Combined akustik simülasyon programından kısaca bahsedilmiş, simülasyon için gerekli kabullere değinilmiştir. Üç salonda ortak olarak kullanılan malzemelerden bahsedilmiş, analizlerin yapılmasını sağlayacak olan kaynak ve alıcı noktalarının konumlandırılmasına değinilmiştir. Daha sonra salonların her biri için ayrı ayrı akustik ölçümler alınmış, bunların verilerine dayanılarak salonlar arasında parametre bazında bir karşılaştırmaya gidilmiştir. Salon içinde müzik ve konuşma işlevlerini etkileyen parametreler ayrı ayrı incelenmiştir. Bu bağlamda irdelenen parametreler; T_{30}, EDT, C_{80}, D_{50}, LF_{80}, T_s, G ve STI'dır. Parametrelerin 1000

Hz'deki değerleri salonların genelinde ve kritik görülen alıcı noktalarında ele alınmış, grafikler, enerji diyagramları, ışın analizleri aracılığıyla irdelenip yorumlanmıştır.

Sonuç olarak tartışılan tasarım farklılıklarının akustik performansa etkisinin irdelenmesi ve hangi tipin hangi sebeple daha iyi bir performans sergilediğine ulaşılması amaçlanmıştır. Dairenin doğasından gelen odaklanma kusuru öngörülmüştür ve akustik ölçümlerde bunun akustik performansa etkisi açık bir biçimde görülmüştür. Salon içerisinde dinleyicilere yanal olarak yansıma sağlayan yüzeylerin olmaması sebebiyle oluşturulan teras duvarlarının yanal yansıma sağlamaya katkısının olup olmayacağı da bu çalışmanın sonuçları arasında değerlendirilir.

Altıncı bölüm, sonuç ve öneriler bölümüdür. Bu bölümde çalışma kapsamında parametreler bazında alıcı noktalarında ve salon genelinde değerlendirilen salonların tasarım değişkenlerinin T30, EDT, C_{80}, D_{50}, LF_{80}, T_S, G ve STI parametreleri üzerindeki etkilerinin neler olduğundan bahsedilmiştir. Salonlarda konuşma ve müzik için önemli olan parametrelerin nasıl etkilendiğine değinilmiştir. Mimari tasarımın akustik parametrelere, akustik konfora ve akustik kusurlara etkisi üzerinde durulmuştur. Daire plan tipinin doğasından gelen odaklanma kusurundan, yansıma yollarının uzamasının neden olduğu eko kusurundan, belirlenen tasarım değişkenleri olan malzeme farkı, zemin eğimi, teras oturumu ve teras duvarlarının oluşturduğu etkilerden bahsedilmiştir. Sonuç değerlendirmelerinin irdelenen parametreler üzerindeki etkileri tablo halinde bu bölümde verilmiştir. Salon içindeki oturma bölümleri ön grup, orta grup ve arka grup olarak ele alınmış ve bu bölümlere göre salon içindeki akustik performans müzik ve konuşma bağlamında değerlendirilmiştir. Sonuçlar bir tablo halinde verilmiştir. Daha sonra salonlar karşılıklı olarak değerlendirilmiş ve sonuç olarak bu salonlar arasında en iyi akustik performansa sahip salon belirlenmiştir.

Tasarım parametrelerinin akustik performans ve konfor üzerindeki etkileri unutulmamalı, salon içinde optimum durum sağlanmaya çalışılmalıdır. Ele alınan tasarım değişkenleri; malzeme farkı, zemin eğimi, teras oturumu, teras duvarı; salon içindeki toplam enerjiyi, alıcılara ulaşan erken ve toplam enerjiyi ve bunun sonucunda da akustik parametreleri etkilemektedir.

Bu çalışmanın sonucu olarak; ele alınan üç salonda parametrelerin nasıl değişiklik gösterdiği değerlendirilmiştir. Akustik konforun daha iyi olduğu koltuklar arka grup koltuklarıdır. Çünkü bu koltuklar sesi ileten yüzeyler olan arka duvar ve tavana en yakın olan koltuklardır. Böylece, erken yansımalar, yanal yansımalar ve erken enerji buralarda daha fazladır. Bunun sonucunda da buralardaki işitme şartları; konuşma anlaşılırlığı, konuşma iletimi, ses ile çevrelenme hissi ve salon içindeki samimiyet hissi açısından daha iyidir. İçbükey yüzeyler salon içinde odaklanmalara neden olmaktadır. Odaklanma kusurunun artmaması amacı ile tavan formu bu çalışmada da olduğu gibi odaklanma üretmeyecek şekilde seçilmelidir. Arka duvarlarda yansıtıcı ve yutucu malzeme kullanımı ile beraber bu malzemelere yüksek saçıcılık değerleri verilerek eko ve odaklanma kusurları çözülmeli veya minimize edilmelidir. Yüksek eğimin yansıma yollarını uzatması nedeniyle eko kusurunu artırdığı unutulmamalıdır. Saçıcılık katsayısının artırılmasının verimli sonuçlar çıkarması için zemin eğimi ile desteklenmesi gerekmektedir. Dik kullanılan bir eğim saçıcılığın salon içindeki etkisini olumsuz yönde etileyecektir. Yansıma yollarının uzamasına sebebiyet vermemek ve saçıcılık artışının verimli olmasını sağlamak amacıyla salondaki zemin eğimi dik seçilmemelidir. Plan düzleminde dairenin yarıçapı büyük tutulmayarak bu

kusurun çözümüne katkı sağlanabilir, yarıçapın küçülmesiyle yansıma yolları kısalacaktır. Salon içinde tavan geometrik olarak alıcılara yansımaları iletse de ulaşan toplam enerji ve yansıma miktarını artırmak amacıyla tavan yansıtıcılarından yararlanılabilir. Teras kullanımında dikkatli olunmalıdır. Bu çalışma kapsamında ele alınan teras tipinin salon içi enerji iletimine engel olduğu ve yanal yansımalara katkı sağlamadığı görülmüştür. Parterlerin birer atlayarak bütün halinde yükseltildiği teras kullanımı olumlu sonuçlar çıkarmamaktadır. Alıcıların bu teras konumlandırmasında olduğu gibi terasların aralarında kalmaları aldıkları enerji miktarlarını düşürmüştür. Bunun sonucunda da konuşma anlaşılırlığı, konuşma iletimi, ses ile çevrelenme hissi ve salon içindeki samimiyet hissi düşmüştür. Salon içinde akustik kontrol amaçlı kullanılan malzemelerin salon içindeki ses düşüşünün kontrol altına alınmasına ve akustik konfora katkı sağladığı unutulmamalıdır. Salon içi malzemeler uygun yapı elemanlarında uygun yutuculuk, yansıtıcılık ve saçıcılık değerlerinde kullanılmalıdır.

EXAMINATION OF CIRCLE PLANNED AND DOME FINISHED MULTI PURPOSE HALLS' ACOUSTICAL PERFORMANCE BY DESIGN PARAMETER DIFFERENCES WITH SIMULATION SOFTWARE AID

SUMMARY

Along the history, specific building designs have been developed for some specific functions. Musical events were carried out in the prom halls and with the rising attention on music special building types were started to be designed for musical functions. Foundation of the new designs obviously based on the prom halls in which the initial events had been made. Had started with this halls' rectengular shape and then tried new approaches. Growing acoustic science as music came into prominence and new developing specialists pointed out some faults in different types of buildings, meanwhile bringing backs occured with progress by the help of developing and accumulating knowledge.

Primarily multi purpose halls appeared by concert, opera, theatre halls' being converted. The trigger of it was the economical reasons. Maintenance of a building which has multiple purpose was less costly than several buildings' maintenance which have one purpose for each. In this case multi purpose utilization in a hall became a requested feature. The acoustical requirements for music and speech are different than each other and sometimes even the contrary. Priority is to find the least common denominator and this is rough to provide. Most of the time one of the functions come to the fore and design way is determined in accordance with this one more coherent than the other function. In this work, multi purpose function is chosen, speech and music function are being investigated and even interest is given to both function. Within this work, determined plan type is circle and in the section with dome shaped finishing. It is a different plan type than the most prefered rectengular, horseshoe, fan and diamond plan types. Accepted as arena type. Faults from the curved surfaces in terms of the acoustics are examined as well during the work.

In the first chapter, entrance information about multi purpose halls is mentioned. It is emphasized that the acoustics should be taken into account from the start of design process and that there is not perfect acoustics but an acoustics suitable for some functions. Also the purpose, scolpe and methodology of this work are discussed. Starting with a main hall, two different variations are developed. Ultimately three different plans are derived for examination. A comparison way between them and in itselves is chosen by the measures done for each.

In the second chapter, concert, conference and multi purpose halls' developing process during the history are mentioned. How the usage of concert hall was started, how concert halls made progress with development of music. From the faults encountered, ideal approaches were tried to be formed. In the speech halls, speech is supposed to be made easily without a reinforcement sound system and intelligibility of the speech is a requirement which should be provided. Sound levels of male and female are different. Distinguishing of these sounds is an important discipline to

provide. Concordantly, in this chapter, content of the speech voice, effects of the room acoustics and principle acoustical requirements in a big hall for speech are talked about. In the part of multi purpose halls, many modern cultural facilities' welcoming several different functions is talked about as well. Once again it is emphasized that in a design process of a hall one of the functions should be coming to the fore and the hall should be more proper for this usage. At the same time the hall ought to be be giving opportunity to make arrangements in it for different usages.

In the third chapter, design parameters which are valid for all the design steps of a hall are talked about under the title of multi purpose hall design requirements. These parameters which are defining the design process' steps are gathered under individual titles and detailed under them. Also given value ranges for these parameters to provide an optimal design reference due to they affect the visual and acoustical comfort of the audience and the performes in a hall. Acoustical faults which affect the acoustical quality in a hall also find place in this chapter. Echo, long-delayed reflections, flutter echos, sound concentrations are some of the acoustical faults.

In the forth chapter prelude for the common language between musicians and acousticians is done and also laid stress on acoustical parameters. Behaviour of sound, perception in the ear of listener are based on these parameters. Computable parameters are the objective ones which are being affected by the physical conditions. Subjective parameters are not computable and these are used to bring an explanation to the different perception of acoustics in a room by the audience. Some of the objective parameters are as followed; reverberation time (T_{30}), early decay time (EDT), binaural quality index (BQI), strength of sound (G), bass ration (BR), initial time delay gap (ITDG), early lateral fraction (LF80), definition (D_{50}), clarity for music (C_{80}), centre time (T_s)… Some of the subjective parameters are as followed; intimacy, liveness, warmth, loudness, spaciousness, brilliance…

Fifth chapter is the chapter of acceptions, acoustic measurements and examinations. Based on literature search, one main hall is designed and in accordance with this plan two different plans are derived by specifying the design points to be examined. From the main hall, points to be discussed are pointed out and after plan variations are improved. Main hall "hall 1", same hall but with steeper slope "hall 2" and the hall achieved from hall 2 but with terraced audience is refered as "hall 3". Technical data of the halls and the drawings included. Designed rooms are drawn via Autodesk AutoCAD 2010, and three dimensional model is created by Google Sketch Up 13 programs. Also ceiling ray analysis performed. Used materials which are common in three models, source-receiver positions and numbers are also mentioned. Acoustic measurements are performed for each hall and from this point results are derived to make a comparison between them via the checking design points which are determined at the beginning of the design process as the key of the design. Each parameter which affect the music or the speech are discussed by the results between halls. Examined parameters are early decay time (EDT), reverberation time (T_{30}), clarity for music (C_{80}), definition (D_{50}), early lateral fraction (LF_{80}), strength of sound (G), centre time (T_s), sound transmission index (STI). Evaluations are done in 1000 Hz frequency for both specific receivers and the whole room in general. Effect of geometry over the parameters is explained according to measured values for the receivers at 1000 Hz, receiver area grid analysis, the ray reflection graphs and reflectograms.

As a result it is aimed to determine the effects of the discussed design differences on acoustical performance of the halls and to conclude with the result of which type of the plan performs a better acoustic performance with which reason. Within the scope of this study effect of architectural design on acoustical performance of the halls is examined. The focusing defect from the nature of circle is predicted and by the acoustical measurements its effect on acoustical parameters are observed clearly. It is evaluated in the results of this work if there is a lateral reflection contribution of the terrace seating's side walls, which are done cause of the lack of side walls providing lateral reflections to the audience, or not.

The sixth chapter is the conjuctions and suggestions chapter. In this chapter, the effects of the design variables of the halls, which are examined at recevier points and with average values in hall-wide, how affected the acoustical parameters which are T30, EDT, C_{80}, D_{50}, LF_{80}, T_s, G and STI is mentioned. Layed stress on that architectural design process influences acoustical parameters, acoustical comfort and acoustical defects. Also made reference of focusing defect which is from the nature of circle plan type, echo defect from the long reflection paths and the effects of specified design variables that are material effect, floor rake, terrace seating and terrace walls. A table which is made by all of the examinations and assesments in terms of parameters is given in this chapter. Seatings in the hall are handled as front group, middle group and back group. With regard to these groups in the halls, acoustical performance is evaluated as part of music and speech performances. The results are given as a table. Thereafter, mutual assesment is done and as a result the hall which has the best performance among the three is determined.
Influences of the design process on acoustical comfort and performance should be remembered and the optimal case should be provided. The design parameter variables at hand; material effect, floor rake, terrace seating, terrace walls have an impact on the total energy in the halls, the early and total energy which is receiving to the receivers and consequently also has an impact on acoustical parameters.

As a result of this work; how parameters changed in these three halls at hand is evaluated. The seatings which have better acoustical comfort than the other seats are back group seats. Because these are the closest ones to the back wall and ceiling so that they have more of the early reflections, lateral reflections and early energy. As a result, hearing conditions here are better than the other seats (front and middle group) in terms of speech intelligibility, speech transmission, envelopment by sound and intimacy of the hall. Concave surfaces cause focusing defect in the hall. In order to keep focusing defect not increasing, the form of the ceiling should be picked in a way, as in this work, in which it won't cause focusing. Absorbing and reflecting materials that are used on back walls to eliminate or minimize these defects (echo and focusing) should have a high scattering coefficient as well to contribute to the solution of these defects. Deep floor rake increases the echo defect by providing longer reflection paths, it should be kept in mind. It can contribute to the solution of echo problem to keep smaller the radius of the circle on the plan plane. Although the ceiling is delivering the reflections to the receivers geometrically, in order to increase the amount of the total energy and reflections, ceiling reflectors can be used. Should have care on usage of the terraces in the hall. Terrace type at hand in this work is posing an obstacle on energy transmission and is not contributing to the lateral reflections. In the case which the receivers are between the terraces, the receiving early and total energy to the audience is decreased and consequently speech intelligibility, speech transmission, envelopment by sound and intimacy of the hall is

decreased. It should be remebered that materials which are used for acoustical control contribute to taking under control the sound decrease in a hall and acoustical comfort. Materials should be used on proper building components with proper absorbing, reflecting and scattering coefficients.

1. GİRİŞ

Her çok amaçlı salon, kendi döneminden daha sonra çok amaçlı hale gelmiştir. Son zamanlarda farklı kullanımlar için farklı gerekliliklere ihtiyaç duyulmaktadır. İlk konu kullanım önceliklerini belirlemektir. Bu karar müşteriye bırakılmalı ve aslında ondan talep edilmelidir. Sanatçılar ve hizmet ettikleri toplum için hem özensiz hem de çok karmaşık olan tesisler sağlamak son derece kolaydır. Sahne sanatları merkezinin başarısı iyi bir şöhret oluşturmakla ve bu sadece, eğer koltuklar dolu ve sanatçılar orada sahnelemekten keyif alıyorsa mümkündür [1].

İlerleyen bölümlerin ana çekince konusu, akustiğin değişik salon kullanımlarına karşı nasıl uygun hale getirileceğidir. Drama tiyatrolarının, opera evlerinin ve konser salonlarının mimari formları zamanla her kullanım için farklı olan hem şekil, hem de büyüklük olarak değişti. Özellikle belli maksimum oturma kapasiteleri her çeşit oditoryuma uygulanabilir. Tasarım sınırlamaları görsel ve akustik gerekliliklerin kombinasyonuna göre şekillenmektedir. Örneğin, bir salon desteklenmeyen konuşma için olacaksa, 1000'in üzerinde bir seyirci miktarı iyi bir akustik tasarım talep edecektir ve 1200'ü geçtiği zamansa konuşma anlaşılırlığını karşılamak zor olacaktır. Bununla birlikte, aynı salon müzik için kullanılırsa, konser salonu standartlarına göre bu oturma sayıları çok normal karşılanır ve özellikle müzik kullanımı için düşünülenden daha fazla bir çınlama süresine ihtiyaç olmaz. Çok nadir faaliyetlerde, alışık olunmayan biçimler için çok az koltuk uzlaşması uygun olabilir fakat asıl kullanım için oturma kapasitesinin en üst seviyede olduğu salonlarda problemler çıkabilir [1].

Elektronik destek işin içinden çıktığı zaman, akustik gereklilikleri sağlanması açısından birden fazla performans tipi için hatırı sayılır derecede bir beceri gereklidir. Eğer kişi şanslıysa tekil akustik durum kabul edilebilir: bu özellikle küçük salonlar için uygundur. Daha büyük salonlar için çınlama süresi tasarımı genellikle öncelikli bir sorundur. Orkestralı konser şartları, en uzun çınlama süresini; desteklenmeyen konuşma en kısa çınlama süresine ihtiyaç duyarken; opera, oda müziği ve güçlendirilmiş konuşma orta dereceli çınlama süresi gerektirir. Normalde

tavsiye edilen değerler orkestra müziği için 2sn, konuşma için 1sn'dir. Normal yollarla bu derecede farklılığı sağlamak zor ama orta ve büyük ebatlı salonlarda değişken akustiği elektronik sistem kullanmadan sağlamaya çalışmak ciddi bir şekilde düşünülmelidir [1].

Fiziksel olarak değişen akustik elementlerin farklı avantajları vardır. Uzman kontrolü ya da bakımı gerektirmez ve doğal olmayan ses yaratılamayacaktır. Ne var ki değişken akustiğin alanı çok geniş değildir. Değişken oditoryum hacmi potansiyel olarak çok değerli fakat elde edilmesi de zordur. Değişken emiciliği dâhil etmek sıklıkla daha kolaydır fakat ses seviyelerinin çok sessizleşmesi riski vardır. Ne var ki azaltılmış ses seviyesi güçlendirilmiş müzikte tercih edilir fakat bir konser salonunu popüler müzik mekânına çevirmesi beklenen ekstra emici malzemenin miktarı da gerçekleştirilebilir değildir. Hareket edebilen yansıtıcılar işitilebilir etkiler üretmek için yeterli miktarda olmalıdır. Bu ihtimallerin hiçbiri rahat bir biçimde kabul edilmedi fakat çok amaçlı tasarımın zaman içinde gelişmesi ile gerçekçi çözümler gün ışığına çıkmaktadır. Pratikte, akustik amaçlar için oditoryumda yapılan değişiklikler sıklıkla yanlış yönetilmiştir. En iyi çözümler, doğru şekilde kullanıldığını garanti eden etkili bir tanesi ile akustik değişimi bir araya getirir [1].

Elektronik olarak değişken akustik her geçen gün daha tercih edilebilir olmaktadır ve günümüzde hangisini kullanacağımızı seçmek için bir sürü sistem vardır. Bu sistemler, fiziksel seçeneklere nazaran daha düşük maliyetlerde akustik çeşitlilikler önermektedir. Bununla birlikte birçok performans sanatçısı elektronik destek fikrinden rahatsızlığını sürdürmektedir [1].

İlerletilmiş çok amaçlı salonların gelişimi her zaman bir arz ve talep sorusu olmuştur. Küçük kasabalardaki ve şehirlerdeki salonların, çok amaçlı kullanımı çözme ihtiyacının farkına varması ekonomik refahın gelişmesini sağlamıştır. Bu talepleri karşılamak akustik anlayışın büyümesine bağlıdır. Bu bilginin büyümesinin ilk olarak tek amaçlı mekânlarda ortaya çıkmış olması doğaldır. Çok amaçlı salonlardaki akustik problemlerin çözümü önümüzdeki yıllarda da en ilginç ve gelişmeye açık alanlardan biri olmaya devam edecektir [1].

1.1 Mükemmel Akustik

"Mükemmel akustik" efsanedir. "Mükemmel akustik" yoktur; akustik çok boyutludur. Bir oda mükemmel akustiğe sahip olamaz, sadece bazı fonksiyonlar için oldukça uygun olur. Boston Senfoni Salonu, romantik senfoniler için görkemli, muhteşem, "mükemmel" olabilir, ama film izlemek için çok iyi değildir [2].

Antik Yunanlılar, olağanüstü akustiğe sahip açık hava tiyatroları tasarlamışlardır. Epidauros'taki 6400 oturma kapasiteli amfi tiyatronun en arkalarından bile sahneye düşen küçük bir bozuk paranın sesi duyulabilir. Bu antik tiyatrolardaki olağanüstü netlik, akustiklerinin mükemmel olduğu ve bunun sırrının kayıp olduğu inancına yol açmıştır. Yunanlıların kendileri de bu tiyatroların akustiği ile ilgili bazı ilginç fikirlere sahiptirler. Vitruvius, tiyatronun stratejik noktalarına "sesli kanallar" yerleştirme fikrini savunmaktadır. Onun tanımladığı şey Helmholtz rezonatörleridir, bunlar tıpkı açık kola şişeleri gibidir, sesi çınlatacak ve çınlayan frekanslarını emecektir. Bir anlık yansıma, bu şişelerin ses emme kapasitelerinin yukarıdaki engin gökyüzü ile karşılaştırıldığında kesinlikle önemsiz olduğunu ortaya çıkaracaktır [2].

Bu tiyatrolardaki akustik netliğin nedenleri barizdir: çınlama olmaması, çok dik oturma düzeni, sahnenin önündeki taş yüzeyden gelen faydalı ses yansıması ve hemen hemen hiç olmayan arka plan gürültüsü. Bunlar konuşmayı anlayabilmek için gerekli olan ideal şartlara yakın şartlardır, ancak müzik performansı için yeterli değildir [2].

Vitruvius, erken yansımaların konuşmayı nasıl desteklediği ve geç yansımaların konuşmaya nasıl zarar verdiği konusunda net bir fikre sahiptir. Bir sesin bir tiyatroda nasıl duyulduğu üzerinde tartışırken, şöyle belirtir: "Çınlamalarda, ses sert bir yüzeyle temas eder ve geri teper, böylece bir eko üretir ve son hecelerin iki kere duyulmasına neden olur. Ünsüzlerde (sessizlerde), ses alttan desteklenir, gittikçe yükselir ve kelimeler ayrı ve net tonda kulaklara ulaşır." Geç ve erken ses yansımalarını böyle tanımlamaktadır [2].

Mükemmel akustik efsanelerinin başka bir varyasyonu, mükemmel akustiğin mükemmel çınlama süresini ayarlayarak elde edildiği yönündeki fikirdir: 1,873 saniye tam karardır; 1,904 çok fazladır; 1,754 saniye berbattır. Akustik kalitenin göstergesi olarak çınlama süresi üzerindeki odaklanmak yeterli değildir. Kusursuz bir

çınlama süresini bulmaktan ziyade muhteşem akustiğe ulaşmak için daha çok unsur vardır. En modern salonlar ayarlanır çınlama süresine sahiptir [2].

Müthiş akustiğin, odanın boyutları arasındaki kusursuz matematiksel orantıdan kaynaklandığı fikri de bulunmaktadır. Birçok mit gibi, bunun da bir miktar doğruluk payı vardır. Odanın ölçeği büyük oranda önemlidir ve aşırı orantılar zayıf akustiğe neden olacaktır. Çok uzun bir salon, salonun arkalarındaki dinleyici üyeleri çok uzaklaştıracaktır. Çok geniş bir salon ise, yan duvarlardan gelen önemli ses yansımalarından mahrum kalacaktır. Ancak kusursuz matematiksel orantılar, konser salonu akustiği ile ilgili değildir [2].

Öncelikle arka plandaki seslerin arındırılması çok önemlidir. Bu, sesin kristal netliğine, maksimum dinamik aralığa, icracının ifade özgürlüğüne, icra edenle seyirci arasındaki samimiyete ve diğer ince akustik hassasiyetlerin ortaya çıkmasına olanak sağlar [2].

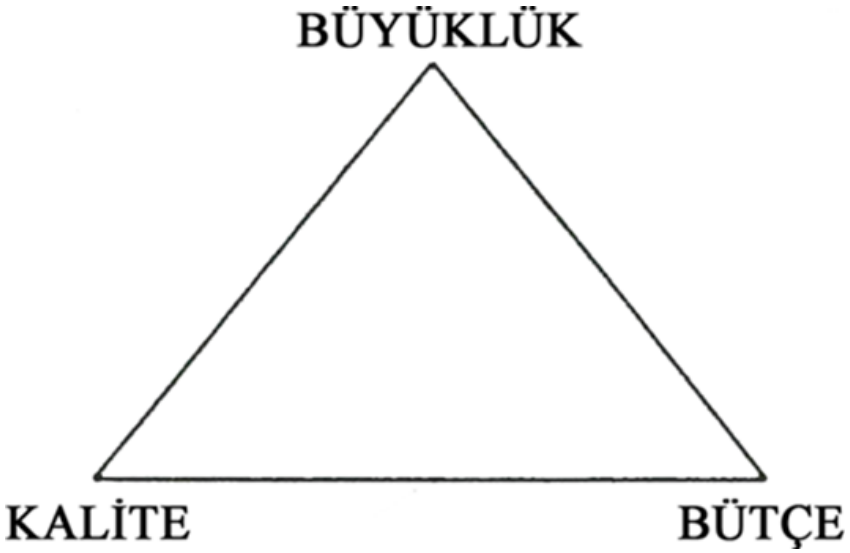
Arka plandaki gürültüler bir dikkat dağıtma değildir. Bizim mucizevi duyma sistemimiz sayesinde yüksek seviyedeki arka plan sesleri engelleyebilmekteyiz. Arka plan sesleri icracının dinamik aralığını sınırlayan, netliği bozan, anlamayı engelleyen zayıf sesleri maskeler veya gizler. Orta dereceli bir mekânda arka plan seslerini gidermek akustik mükemmeliyeti sağlamada büyük bir yol kat ettirir [2].

Arka plan seslerini dışarıda bırakmak, kritik dinleme alanının strüktürünün tam olarak izolasyonu ile gürültü ve titreşimden arındırılmasını gerektirir. Bu, bir bina da iki ayrı yapıyı gerekli kılar: gürültülü yapı: bütün gürültülerin kaynaklarının yerleri bellidir. İkincisi, sessiz yapı: kritik dinleme alanı olarak belirlenmiştir. Kritik dinleme alanını sesten korumak için “gürültülü yapı” ile “sessiz yapı” arasına tampon bölgeler (koridor gibi) gereklidir. Alanı dış dünyadan korumak için de tampon alanları ile yeteri kadar büyük, ağır duvar ve tavan yapıları gereklidir [2].

Boru sistemi içinden alana gürültülerin gelmesini engellemek için büyük boy, kaplanmış borular, ilave ses hafifletici cihazlar ve yayılımı önlemek için yeterli boru dağıtımına ihtiyaç vardır [2].

Bütün bu sayılanlar, projenin tasarım aşamasından itibaren gürültü çıkarabilecek şeylerin iyice düşünülmesini gerektirmektedir. Dahası, HVAC bütçesi standart bina için olandan çok fazla olmalı, duvar ve çatı inşaatları oldukça etkili olmalıdır.

Mükemmel akustiğin faydalarının bu kadar paraya değeceği, müşterinin karar vereceği bir husustur [2].



Şekil 1.1 : Tasarım aşamasında büyüklük-kalite-bütçe ilişkisi [2].

Şekil 1.1'de gösterilen bu üçgenin herhangi iki köşesi üçüncü doğrunun geçeceği yeri belirler. Eğer siz binanızın belli bir kalitede ve büyüklükte olmasını istiyorsanız bunun için yeterli paranız olması lazım. Veya bütçeniz sabitlenmiş ise ve belli bir kalite seviyesine sahip olmak zorundaysanız o zaman mekânın büyüklüğü konusunda esnek olmalısınız [2].

Birçok sefer de görüldüğü üzere maalesef müşteri ilk önce büyüklük konusunda karara varır. Tam proje teklif aşamasına gelmeden önce farkına varır ki diğer gereklilikleri sağlamak için yeterli bütçesi kalmamıştır. Bu yüzden de mekânın kalitesine ne olacağı az çok ön görülebilecektir [2].

Örnek olarak herhangi bir ofis binasını alırsanız ve bunu genişletirseniz alan genişleyecektir. İnsanlar, alan genişleyince daha fazla yürümeyi dert etmezler. Fakat ölçünün kritik dinleme alanına direkt etkisi vardır. Kritik dinleme alanı genişlediği zaman alçak arka plan sesi gerekleri daha da katı hale gelecektir, mekanik sistemler daha büyük hale gelir ve konuşma ve müziğin gereklerini dengelemek daha da zorlu hale gelir. Bu yüzden kritik dinleme alanında, büyüklük maliyeti katlanarak artırır. Çok az sayıda mülk sahibi yer fazlalığının fiyat üzerinde etkili olduğunun farkındadır. Bu da mekânın akustiğini tasarım aşamasından çok sonra düşünmemek gerektiğinin bir diğer nedenidir [2].

1.2 Akustik, Estetik ve Mükemmel Tasarım

Ses dalgalarının geniş olmasından dolayı bir odadaki sesi etkileyecek herhangi bir şey- absorbe etme, yansıtma veya yayılım- ister istemez büyük olacaktır ve böylece maliyetli ve görünür olacaktır. Büyük, maliyetli görünen nesnelerin sesi etkilemesinin önemi odanın büyüklüğü ile artmaktadır. Akustik tasarımına herhangi bir özen gösterilmeyen standart bir oturma odası muhtemelen mükemmel derecede elverişli olacaktır. Ama büyük bir konser salonu, onun akustik tasarımı ile hükmolunacaktır: tüm şekli, seyircinin düzeni, ses yansıtıcı paneller veya kanopiler, özel ses yayılım yüzeyleri, ayarlanır sesi emici perdeler… Bu sayılanların hepsi çok büyük, çok pahalı ve son derece görünürdür [2].

Büyük konser salonlarında, bir ya da iki sıra balkonlu klasik ayakkabı kutusu, başarılı bir örnektir. Mimarlar ve akustikçiler, kendilerini riske atarak bu örnekten sapmışlardır. Ayakkabı kutusu gibi gözükmeyen birkaç başarılı örnek vardır fakat onlar da ayakkabı kutusu gibi davranacak şekilde tasarlanmışlardır. Aydınlatıcı örneklerden bir tanesi Kaliforniya'daki Orange Country Performans Sanatları Merkezi'dir. Planında yelpazeye benzemekle birlikte aslında iki tane ayakkabı kutusunun üst üste gelmesiyle tasarlanmıştır. Tokyo'daki TOC Konser Salonu başka bir örnektir. Fakat aslına bakıldığında ayakkabı kutusu şeklinde tasarlanmıştır [2].

Russell Johnson, temel ayakkabı kutusu tekniğini başarılı şekilde geliştirmiş ve temel dikdörtgeni arkadan sıkıştırarak ve duvarları dalgalandırarak uyarlamıştır. Ayakkabı kutusu salonlarının birçok özelliği Dallas Senfoni Salonunda kullanılmış ve ilk modern salon olarak büyük konser salonu anıtları arasındaki yerini almıştır [2].

Dallas salonundaki en fazla göze çarpan görsel özellik 19. yy ayakkabı kutusundan ayrılıştır: sahnenin ve seyirci salonunun bir kısmı üstünde uçan kocaman kanopiler. Ses yansıtıcı kanopiler veya "bulutlar", Bolt Beranek ve Newman tarafından kapsamlı olarak kullanıldı ve bu, büyük odaların akustiğinin iyileştirilmesinde güvenilir ve doğru metot olmuştur, çınlama alanlarındaki klasik netlik problemini çözmenin anahtarı olmuştur. Bunların doğru çalışabilmesi için bu uçan bulutların fazlaca görünen yerlere koyulması gerekir ve yeterli miktarda yansıma ve sesin frekans aralığı için bunların yeterince büyük olması gereklidir [2].

Mimari tasarımdaki diğer önemli kısıtlama seyirci düzenidir. Dinleme alanı belli bir sayıya ulaştığı zaman, 500 ve üzeri gibi, seyirciyi balkonlara yığmak zorunlu hale

gelmektedir. İnsanların bu balkonlar altındaki kötü yerlere oturmasını engellemek için balkonlar mümkün olduğunca dar olmalıdır. Bunlar için en güzel yerler, yan duvarlar boyuncadır. Bu yan duvar balkonlarının birkaç akustik işlevi vardır: öncelikle daha samimi bir seyirci oturma düzeni sunarlar, bunların alt yüzleri sesi aşağıdaki seyircinin kulaklarına geri yansıtır ve balkon önleri, ses yayılım yüzeyleri için bir fırsattır [2].

Ses yayılım yüzeylerinin eksikliği, 20. yy öncesinde çok ciddi bir problem olmamamıştır. Çünkü aşırı süsleme, mimari sözlüğün ayrılmaz bir parçasıydı. Van der Rohe ve Le'Corbusier'in uluslararası tarzı ile mimari süslemeye kökten bir tasfiye gelmiştir. Bu görsel estetik, performans ve dinleme mekânlarındaki görsel ve akustik gereklilikler arasında derin bir anlaşmazlık yaratmıştır [2].

Akustik, bu görüş ayrılığını, ses yayılım süslemeleri Filarmoni Salonu'nun balkon önlerinden çıkarıldığında kaybetmiştir. Süslemeye karşı olan bu mimari düşmanlık, geçen yıllar içinde kısmen yumuşamaya başlamıştır. Fakat modern mekânlardaki ses yayılım yüzeyleri oldukları yere tutuşturulmuş, zorlama görünür. Mimarlar, sesi yeterli yayma uğrunda güzel ve temiz çizgileri bozmada hep isteksiz kalmıştır [2].

Tartışılacak olan son akustik zorlama, ayarlanır çınlamadır. Farklı performans tipleri farklı miktarlarda çınlama süresi, bazen kökten farklı miktarlar gerektirdiği için, ayarlanabilir çınlama süresi geniş çok amaçlı oditoryumlar, konser salonları ve prova salonları için çok önemlidir. Salondaki dinleyici sayısı değişebilir ve sanatçılar ve dinleyiciler için çınlama süresi zevki kesinlikle değişebilir [2].

Çınlamayı ayarlamanın en iyi yolu ses emici perde kullanımıdır. Ne var ki, bu perdeler kocaman, pahalı ve hantaldırlar. Dahası, etkili olabilmek adına çok fazla perde alanı gerekmektedir. Mimarlar, perdelerden nefret etme eğilimindedir çünkü perdeler pahalıdırlar; hareket ve depolama için mekanı tüketirler [2].

Mimarlar çınlamayı kontrol edebilmek için daimi ses emici panelleri kullanmayı tercih ederler. Çınlamayı düşürmenin uygun olduğu ve ayarlamanın gerekli olmadığı bir mekânda, bu paneller çok faydalı araçlar olabilir, ama bütün "akustik" ögelerle olduğu gibi, bunlar da gereğine uygun bir şekilde kullanılmak zorundadırlar. Çok amaçlı performans salonlarında, çınlamayı değiştirmek için ayarlanabilir perdeler kullanmak, hareketsiz ses emici panelleri kullanmaktan daha iyidir [2].

İyi tanınan akustikçilerden Willam J. Covenaugh, aya adam yollamanın zorluğuyla konser alanı tasarımı zorluğunu birbiriyle kıyaslar. Daha önce kanıtlanmış başarısızlıklarda (ve birçok sıradan mekânda) olduğu gibi büyük ölçekli konser alanı tasarlamak çok zorlu bir süreçtir. Fakat daha mütevazı projelerde, zorluk sadece teknik konularda değil; pratik, estetik ve finansal zorlukların uzlaştırılmak zorunda olmasından kaynaklanmaktadır [2].

1.3 Amaç, Kapsam, Yöntem

Konser, opera, tiyatro, konuşma gibi birçok faaliyet için kullanılan çeşitli plan tipleri vardır. Tarih sürecinde de en iyi performansı gösteren plan tipi dikdörtgen olmuştur. Farklı plan tiplerinin farklı avantajları ve dezavantajları bulunur. Dikdörtgende seyircilerin sahneye belli bir mesafeden sonra uzak kalması ile samimiyetin düşmesi ama yan duvarlardan yararlı yansımaların sağlanması, fan tipinde seyircilerin sahneye yaklaştırılması ama yan duvardan gelen yansımaların orta akstaki seyirciler için yetersiz kalması, arena plan tipindeki salonlarda dinleme ortamının daha samimi olması gibi.

Bu çalışmanın kapsamında çok amaçlı işleve sahip, yani müzik ve konuşma işlevlerinin yer aldığı, sahnenin ortada konumlandırıldığı arena tipi tam daire bir plan irdelenmiştir. Konuşma ve müzik işlevlerine yanıt verebilecek bir salon tasarımında nelere dikkat edilmesi gerektiğinin incelenmesi, plan tipi sebebiyle beklenen akustik kusurların incelenmesi, etkin parametrelerin birbirleri üzerindeki etkisi; örneğin müzik parametresinin konuşma üzerindeki etkisinin nasıl olduğu bu çalışmanın kapsam sınırları içindedir. İlk ana plan ve üzerinden geliştirilen iki plan için kişi sayısı, karşılaştırmaların sağlanacağı değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Sadece eğimin fark ettiği ilk iki planda 1520 kişi, eğimle beraber teras duvarların dahil olduğu üçüncü planda 1460 kişilik bir kapasite mevcuttur, yani salonlar büyük ölçekli olarak tasarlanmıştır. Salonların akustik açıdan irdelenmesi literatürden elde edilen ve simülasyon programında yer alan parametreler bazında karşılaştırılmasıyla ve bu karşılaştırmalardan yola çıkılarak da salonlar arasındaki değişkenler ve sabitlere bağlı olarak akustik performansın nasıl etkilendiğinin ortaya koyulmasıyla amaçlanmıştır.

Çalışmanın hedeflerine ulaşmakta kullanılan yöntem; belirlenen plan tipi ve varyasyonlarının Autodesk Autocad 2010 programında çizilip tasarlanması,

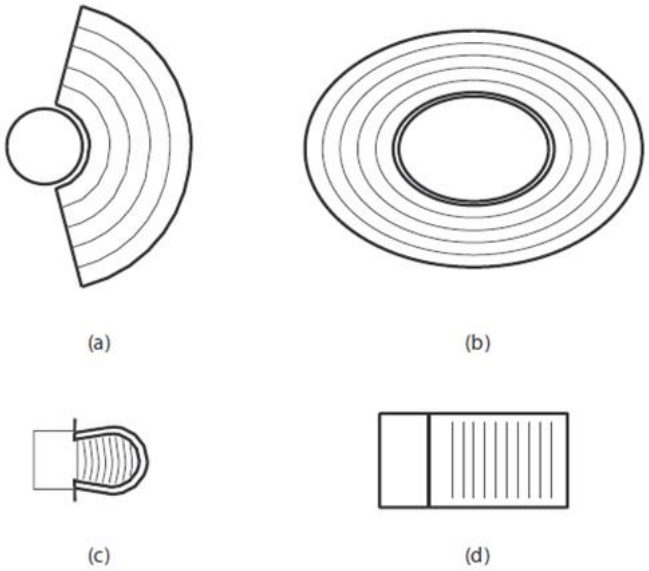
netleştirilen planların Google Sketchup 13 programı ile modellenmesiyle başlar. Salonların tasarım parametrelerine bağlı geometrik özellikleri, plan düzleminde aynıdır, sadece üçüncü planda teraslar devreye girer. Bunun sonucunda da kişi sayısında değişiklik olmuştur. Salon hacmi, kişi başı m^3, kişi başı m^2, toplam alan, salon yüzey bitiş malzemeleri gibi ortak paydaların birbirine çok yakın, mümkün olan yerlerde aynı olması sağlanmıştır. Sabit ve değişkenleri belirlenen bu salonlarda Odeon 10.0 Combined programı ile akustik ölçümler yapılmış, belirlenen parametreler bazında salonlar arasında karşılaştırmaya gidilmiştir. Salonlar arasındaki değişkenlere bağlı olarak farklılık gösteren parametre değerlendirmelerinin sonucunda akustik performansın nasıl etkilendiği, hangi durum için daha verimli ve başarılı bir performansın elde edildiği, hangi durumlarda ne gibi akustik kusurların ortaya çıktığı alıcı ve salon genelinde elde edilen veriler aracılığıyla irdelenmiştir.

2. KONSER, KONFERANS VE ÇOK AMAÇLI SALONLARIN GELİŞİMİ

2.1 Konser Salonlarının Gelişimi

Rönesans düşüncesine göre müziğin harmonisi en üst seviye geometrideki binaları doğurmuş. Bu durum, gezegenlerin "kürelerin müziğini" ürettikleri hayal edilen oranın evrenselliği olarak düşünülmüştür. Konser salonunda (oditoryum salonu türlerinin en az sıkıntılı olanı) mimari yapı doğrudan olarak müzik yapmanın fiziğiyle bağlantılı değil midir? Maalesef gerçek daha karmaşıktır. Hiçbir mantıklı açıklama belirli kesin oranların müzik odalarında kullanımımı desteklemez. 3:2 ya da 5:4 oranları, ki bu oranlar frekans ilişkileri açısından kulağımıza çok hoş gelmektedir, oditoryum salonları için pek de sihirli kaliteye sahip değildir. Elipsler gibi basit geometrik şekillere başvurmanın da bir cevap olmadığı ve elipslerin 18. yüzyılda denendiği ve kusurlu bulunduğu bir gerçektir. Bir salonun genişliği, bir sahnenin maksimum kabul edilebilir genişliğine, görsel mesafenin uzunluğuna ve çınlama süresi düşüncelerinin yüksekliğine bağlıdır. Şans eseri balo salonunun basit oranlarının, oda akustiği bilimi var olmadan önce konser salonlarının altın çağını başlatan akustik faziletlere sahip olduğu bulunmuştur. 20. yy'dan evvel, iyi akustik teoriden daha çok geçmiş örneklerine borçludur. Tasarımdaki akustik etkiler ses üretiminin doğasını kapsar, sesin oda içinde yayılması ve kulaklarımızın duyduğu şeyleri işleyiş şeklini. Harmoni algısı kulağın bir özelliğidir, oysa bir dinleme (oditoryum) salonu, müzik seslerine de boğuk gürültülere de aynı şekilde tepki verir. İki ana etki, konser salonunu şekillendirir. Geçmiş örnekler (precedents) ve bilim. Kendinden öncekilere göre tasarım yapmak, 1900'den önce, normlara göre bir zorunluluktu. Bu tarihten sonrası için oda akustiği biliminin başlangıç tarihi diyebiliriz. 20. yy boyunca, kendinden öncekilere ya da bilime duyulan güven, çeşitlemeler ile ilgili tartışmanın bir teması olmuştur. Muhafazakârlar, denenmiş ve test edilmiş eskilere güvenmiştir. Daha hırslı tasarımcılar, yeni bilimsel fikirlere kayıtsız kalmamışlardır ama bazı durumlarda bu fikirlerin hatalı olduğu ortaya çıkmıştır. Oditoryum salonlarına gelince, **Şekil 2.1**'de gösterildiği gibi, hemen hemen bütün konser salonları dört geleneksel formdan birisiyle ilintilidir: yelpaze-

şekilli, arena, Barok tiyatro ve dikdörtgen plan. Bu planların yalnızca ikisi konser performansları için uygun görülmüştür. Oysa bugün bizler belli müzik tarzları için binalar tasarlıyoruz (aslında sıklıkla, kendimizinkinden çok, erken zamanların en parlak dönemlerinin müziği için). Bariz bir müzik örneği, 14 yüzyıldan fazla hayatta kalmış bir sanat formu olan kilise koro müziğidir. Bu tür müziğin gelişimi, kilise mimarisi ile birlikte oldu. Karanlık çağdan sonra bina teknikleri geliştikçe, büyük iç mekâna sahip yüksek kiliselerin yapımı için talepler artmıştır. Bunun sonucunda ortaya çıkan uzun çınlama süresi, konuşmaların iletilmesini imkânsız hale getirmekle kalmayıp çoğu müzikal ayrıntıyı bulanık hale getirir [1].



Şekil 2.1 : Tarih boyunca baskın olan oditoryum plan şekilleri; (a) klasik Yunan tiyatrosu (yelpaze biçimli plan); (b) klasik Roma arenası; (c) barok tiyatro (at nail plan); (d)19.yy dikdörtgen konser salonu [1].

2.1.1 17. – 19.yüzyıllarda konser salonu tasarımı

Dinsel olmayan müziğin erken tarihinin çoğu saray çevresi ile ilişkilidir. Balo salonları sıklıkla konserler için kullanılmıştır ve sözde klasik konser salonu, bu bina tipinden gelişmiş olarak görülebilir. Tahmin edildiği gibi balo salonlarının dikdörtgen plan formunu takip etmiştir. İlk ticari opera evi 1637'de Venedik'te açılmıştır, fakat salt enstrümantal müziğin kamuya açılması daha sonra gerçekleşmiştir ve bu 15. yüzyıldan sonra müziğin hevesle işlendiği yer olan İngiltere'de ilk olarak ortaya çıkmıştır. İngiliz iç savaşının travması ve monarşinin son halini almasının akabinde, Avrupa'daki ilk kayıtlı halk konseri 1672'de Londra'da gerçekleşmiştir. Bundan sonraki asırlar boyunca Londra, müziğin en güçlü başkenti olmuştur. 1680'de ilk amaca yönelik konser salonu yapılmıştır ve

bunu daha birçokları takip etmiştir. 1730'larda müzik parklarının modası yükselmiş ve herkes için kaliteli müzik sunulmuştur. Vauxhall ve Ranelagh Parklarındaki Londra örnekleri diğer Avrupa şehirlerine de yayılmıştır. Bu eski Londra konser meydanlarının hiçbiri artık kalmamıştır (ama başarılı şekilde belgelenmiştir). Akustik alanındaki tarih araştırma çalışmaları için imkânlar çok azdır. Meyer (1978) tarafından Haydn senfonilerinin ilk performanslarının sergilendiği konser salonları ve buraların çeşitli akustik karakterlerini yansıtan kompozisyonlarla ile ilgili takdire şayan bir araştırma yapılmıştır. Meyer tarafından toplanan bu veriler 18. yy salonları hakkında genel bir gözlem fırsatı yaratmıştır [1].

Londra'dakilerle kıyaslanabilen kamusal faaliyetler, Avrupa kıtasında 1761 yılında sadece Hamburg'ta bir konser salonunda gerçekleşmiştir (ama boyutlarıyla ilgili bilinen bir şey yoktur). Leipzig Thomaskirche, J. S. Bach (1685-1750) ile birlikte çalışmasından dolayı ünlüdür. Leipzig kasabası, kendine ait herhangi bir kraliyet sarayına sahip değildi fakat 18. yy boyunca hareketli bir müzikal hayatın keyfini çıkarmıştır. Birkaç yanlış başlangıçtan sonra, 1781 yılında Gewandhaus'un, veya Drapers' Salonu'nun, üst katına bir konser salonu inşa edilmiştir. Bu salon, bir asır sonraki Neues Gewandhaus'tan ayırmak için Altes Gewandhaus olarak bilinmiştir. Mendelssohn'un orada direktör olduğu 1835-47 periyodunda bu salon çok ünlü olmuştur. Burası, dinleyiciler birbirini yüz yüze görsünler diye sıraların, uzun yan duvarlara paralel olduğu 400 koltuklu bir salondu. 1800 m3'lük bir hacimle, salonda seyirciler varken ki çınlama süresi 1.2 sn civarındaydı. Bizim standartlarımızda Altes Gewandhaus bir resital salonu olarak değerlendirilirdi fakat onun akustik ünü, bilindik hale gelen Leipzig konser salonu geleneğini kurmuştur. Bagenal ve Wood (1931), onun mükemmel akustiğine katkıda bulunması beklenen karakteristikleri tartışmıştır: eğimli bitişlere sahip plan formu, rezonatörler gibi davranan ahşap yüzeyler, çukur çerçeveli düz tavan ve salonun her köşesinde bulunan kutular. Detaylar, zamanında çok kopyalanmıştır. Bugünlerde biri, çoğuna farklı bir yorum getirir. Bitiş duvarlarındaki eğimli bitişler ve kutular arka duvarlardan gelen ani ekoları engellemektedir fakat içbükey yüzeylere, odaklama riski olmadan aynı işlevi gerçekleştirecek alternatifler mevcuttur. Ahşap duvar kaplamanın, tonu, rezonans ile artırdığı fikri büyük bir kavram hatasıdır. Gerçekte duvar kaplama, düşük frekansları emme ve bas çınlama süresini sınırlama görevi görür. Bazı panellerin emici olması istenebilir fakat günümüzde bir tanesi alçak frekans çınlama süresinde az bir miktar

artışa genellikle fırsat tanır. Son olarak tavan girintileri (çukur çerçevenin girintileri) muhtemelen küçük bir etkiye sahiptir [1].

19.yüzyılda sosyal koşulların yanında arzular, müzik performansları için daha büyük alanlarda insanların bir araya gelmesine yol açmıştır. Berlioz 10000 müzisyen ve 20000 dinleyicinin bulunduğu bir salon hayal etmiştir. Gerçeğe yaklaşırsak zamanında romantik harekete destek veren alman mimar Schinkel (1781-1841) in tasarılarını görürüz. Onun bu sıra dışı büyük projeleri devasa hacimlerde ve geniş planlarda mevcuttu fakat maddi sebeplerden dolayı reddedilmiştir. Büyük ölçekteki dinleme salonlarının fark edilmesi İngiltere'de gerçekleşmiştir. Birçok kuzey kasaba salonu, Liverpool'daki St George Salonu gibi, müzik için kullanılmayacak kadar çok büyük ve çınlama süresinin çok uzun olmasından dolayı org müziğinden başka hiçbir tür için uygun değildir. Tüm zamanların en büyük performans alanı rekoru Sydenham, Londra'daki Paxton's Crystal Palace'a ait olandır. Crystal Palace, asıl olarak, 1851 Büyük Sergi'si için yapılmış olup, 3 yıl sonra, 1936'da çıkan bir yangında tahrip olana kadar kalacağı Sydenham'a taşınmıştır. Düzenli konserler, Handel Festivali'nin geniş grupları cezbetmesi ile popüler bir yere sahiptir. 1882 festivali, içinde barındırdığı 500 müzisyen, 4000 koro üyesi ve 87,769 seyircisi ile büyük bir ün yapmıştır. Bu kombinasyon, koro olmadan, tipik 100 enstrümanlı bir orkestra ile 3000 koltuklu bir salonda olduğundan 8 dB daha az ses üretir. Bu karşılaştırma, Crystal Palace'da açık bir şekilde eksik olan iyi bir konser salonu tasarımına hükmeder. Bu zamanda ayakta kalabilecek ana dinleme salonu 1871 Londra'sındaki Royal Albert Hall'dur. Bu salon, içbükey yüzeylerden olan odaklanma, aşırı çınlama süresi ve sessiz ses gibi büyük tasarımın bütün tuzaklarından arınmış olduğunu belli etmiştir. 19. yy'daki deneyimler, dikdörtgen plan şeklinin akustik açıdan en başarılı yöntem olduğunu fakat seyirci kapasitesinde de sınırlar olduğunu göstermiştir [1].

2.1.2 20.yüzyılda 1980 öncesi konser salonu tasarımı

Konser salonlarındaki birçok yeni tasarımın denenmesine rağmen, 19. yüzyıldan kalma olan dikdörtgen ya da ayakkabı kutusu biçimindeki konser salonları hala ana referans noktası olmaya devam ediyor. Son 50 yıl boyunca bu şekillerdeki salonların inşasına devam edilmiştir, ayrıca milenyuma geçiş evresinde özellikle dikdörtgen biçimi popülerlik kazanmıştır. Bunun sebeplerinin, 50 yıl boyunca, konserlere iştirak

edenlerin değişen doğası ile yakından ilgisi mevcuttur. Seyircilerin beklentileri hızla yükselmiş ve kaydedilen ve yayınlanan sesin kalitesindeki dikkate değer ilerlemeler tarafından kısmen artmıştır. Ve artık konserler, modern şehirlerin çok çeşitli eğlence imkânları ile yarışmak zorundadır. Müzisyenler için modern yolculuk onları daha geniş aralıktaki performans çevrelerine maruz bırakıyor ve karşılaştırmalar kaçınılmaz bir şekilde yapılıyor. Sonuç olarak yeni konser salonlarının akustiği, sadece saygınlıkları için değil, ayrıca finansal kapasiteleri için de kritiktir. Müşteriler, yöneticiler ve müzisyenler risk alma konusunda daha az istekli hale gelmişlerdir. Dikdörtgen ya da daha doğrusu pürüzsüz paralel duvarlı salon 1990'dan beri çoğu insan için tercih edilen tasarım olmuştur [1].

İki Amerikalı danışman, paralel duvarlı salonlara geçişte başka bir sebepten bahsetmiştir. 1950'ler ile 70'ler arasında Amerika'daki akustik danışmanlık sektörüne, Bolt, Beranek ve Newman'ın firması egemendi. Onların talihsiz New York Filarmoni Salonu ile olan bağlantısı, popülerliklerine ufak bir darbe indirmiş fakat konumlarını etkilememiştir. Bununla birlikte, onların 1980 ve 1982 arasındaki dört ana salonlarına verilen tepkiler daha büyük bir etkiye sahiptir. Bu dört salonun en talihsiz mirası senfoni orkestrası şefleri, müzisyenler, idareciler ve seyirciler arasındaki akustik uzmanlık alanının yeni tesislerde sonuç vermesine güvenmeme yönünde büyüyen algısını beslemesidir. Bununla paralel olarak, geleneksel ayakkabı kutusu şeklinin yeni konser salonları için tek uygulanabilir model olarak görülmesi, insanlar arasında büyüyen bir izlenimdi (akustik aralığı safi vasattan, artı yönde berbat aralığında değişen ayakkabı kutusu şekilli salonlardan birkaç taneden daha fazla olmasına rağmen). 1950-1980 arasında Amerika'da inşa edilen dikdörtgen şekilli salonların çoğu Cyril Haris tarafından tasarlanmıştır. Harris'in önceki büyük salonların içinde Boston Senfoni Salonu çok çarpıcıdır. Boston'da olduğu gibi, bu salonların her birinde yan duvarlara kadar uzanan üç balkon ve büyük bir sahne duvarı/kabuğu (stage enclosure) bulunmaktadır [1].

1900'lerde yapılan bir konser salonunun bir asır sonra yeniden çok popüler olacağını kim bilebilir ki? Bu, sanki akustik biliminin konser salonu tasarımına sunacak hiçbir şeyi yok gibi bir manaya geliyor. Bilim, hem öznel müzik dinleme deneyiminin, hem de nesnel akustik davranışın niceliğini ortaya koymuştur. En önemlisi de artık bizim, ölçek ya da bilgisayar modellemesi sayesinde bir dinleme salonunun inşa edilmeden

önce, performansını öngörebilmemizdir. Sanki 100 yılın deneyimi dönüp dolaşıp aynı yere gelmiş gibi görünüyor [1].

Paralel yan duvarlı salonların tek uygulanabilir çözüm olduğunu ve çınlama süresinin ötesinde akustik biliminin hala verebilecek bir şeyi olduğunu düşünen akustik danışmanlar vardır. Çoğu diğer uzman daha geniş bir bakışa sahiptir. İyi bir üne sahip paralel yan duvarlı salonlara alternatifler, yatay yönlendirilmiş yansıma sırası salonudur. Bu alternatif heyecan verici bir akustik performans sunabilir. Fakat Marshall'ı izleyen diğer akustikçiler tarafından tercih edilmemiştir: bu dinleme salonu formundaki başarılı tasarım muhtemelen diğer seçeneklere göre daha çok talep görmektedir. Teraslı konser salonu şimdilerde birkaç yerde denenmekte ve dikkatle tasarlanırsa paralel yan duvarlı salonlar kadar iyi bir akustik ortam sunabilmektedir. Önceki örneklerden, Sapporo, Japonya'daki Nagata Akustik tarafından tasarlanan 2000 koltuklu Kitara Konser Salonu teraslı salonların ilgi çekici gelişim örneği olarak karşımıza çıkar. Bu salonda bol miktarda geniş dışbükey yüzey kullanılmıştır. Paralel yan duvarlı salonlarla kıyaslandığında teraslı salonun performans açısından faydaları vardır: sanatçı ile seyirci arasında heyecan verici bir yakınlık sağlar ve bunu da ayakkabı kutusu salonlardaki sanatçıların, seyircilerin direkt karşısında olması formalitesine karşı olarak yapar. Bunun iki avantajı daha vardır. Birincisi tasarımdaki esnekliktir: tasarım detayları diğer koltuklar için olumsuz bir etki bırakmadan her bir koltuğa göre ayarlanabilir. Bu durum paralel yan duvarlı salonlarda mevcut değildir, örneğin balkon altındaki durum yetersizse, alt yüzeyin yüksekliğini artırmanın salonun başka yerlerinde büyük sorunlara yol açması muhtemeldir. Teraslı salonun ikinci avantajı koltuk sayısı ile ilgilidir. Paralel yan duvarlı salonlarda koltuk kapasitesi maksimum 2200 dür. Oysa farklı formlardaki birçok başarılı konser salonu 3000 kişilik kapasiteye kadar inşa edilmiştir. Çok ilginç bir durum fark edilmelidir ki; paralel yan duvarlı Lucerne Konser Salonu'nda, Lucerne yetkilileri, amaçlanan koltuk sayısının akustik çıkarları için 1840'a indirilmesi gerektiği konusunda ikna edilmiştir. Daha az sayı "toplu halde netlik için optimum sayı" olarak düşünülmüştür [1].

Müziğin icra edildiği akustik çevrelerin bütün sanat üzerinde çok büyük etkisi olmuştur, hem müziğin tarihsel gelişiminde hem de günümüzde takdir edilmesinde. İnsanlığın çınlamanın yardımcı etkisi içindeki ilgisi ve hoşnutluğu yüzyıllar süren apartman yaşantısından ve belki tarih öncesi zamanlardan, ilk mağaralarda yaşamaya

başlamasından beri sürmektedir. Buradan açık havada ya da göçebe şekilde yaşama konusunda ayak direten insanların salonların akustik etkilerinin değerini bilememiş olmaları ve bunu doğrulayan kişiler tarafından yapılan müzik türlerine yansımalarının olmasının mümkün olduğu çıkarılabilir [3].

Çok büyük olan bazilika tipindeki (büyük kilise) kiliselerde ezberden okunan ayinler de akustik koşullardan kesinlikle etkilenmiştir; uzun çınlama süresi bazı müzikal tonlamaları katlanılmaz kılmıştır. Benzer şekilde, karmaşık/detaylı süslemeli, konforlu mobilyalı ve kutu dizileri ile –kısa çınlama süresi ile sonuçlandı- İtalyan opera evlerinin gelişimi Mozart ve seleflerinin yazdığı hızlı müzik için uygun akustik koşulları yaratmıştır ve onların incelikli süslemeleri, parlak eşyaları ve sıra sıra kutuları – bunlar kısa çınlama süresiyle sonuçlandı- Mozart ve önceki kuşaklarının yazdığı hızlı müzik için uygun akustik ortam yaratmıştır [3].

19.yy. başlangıcına kadar müzik kendi uygun oditoryasına –kilise, opera evi, salon- sahip oldu ve bilinçli veya bilinçsiz olarak bu oditoryaların akustiği ile şekillendi. Bununla birlikte o zamanlarda müzikal ve sosyal değişimler herhangi belirli bir yapının akustik çevresi bakımından müziğin artık iyi tasarlanmadığı günümüzdeki haline yol açmıştır ama bunun yerine yapıların kendi gerekliliklerini sağlaması adına yeni talepler ortaya çıkmıştır. İlk adım 1876 yılında Wagner Bayreuth tarafından atılmıştır [3].

Yine de müzik salonlarının akustik tasarımı güçlü bir şekilde hala geleneğe dayanır. Bu geleneğin değişmeyeceği anlamına gelmesin. Müzikte, her şeyde olduğu gibi, gelişim süreci her zaman mevcuttur [3].

Müzik salonları akustiği hakkındaki genel bilgiler ile alakalı ana kusurlar (eko gibi), tasarım esnasında görmezden gelinebilir ya da, aksi halde, tamamlanmış yapıda uygun çözüm getirici önlemlerce elenebilir. Böylece iyi akustiğe sahip bir salon tasarlanabilir fakat mükemmel akustiğe sahip bir salon tasarlanması pek mümkün olmayacaktır. Bunun nedenlerinden biri müzisyenler arasında mükemmel akustiğin nasıl olması gerektiği ve akustiğin ne için mükemmel olacağı konusunda sıkı bir anlaşmanın olmamasıdır. Çünkü romantik dönemin müziği için başarılı olan akustik klasik müzik için uygun olmayacaktır. Diğer bir nedeni de akustik tasarımın uzlaşma meselesi olmasıdır ve bu uzlaşmanın derecesi şartlara göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, salonun arkasında kalan dinleyiciler için makul koşulları

garantiye almak adına bazı akustik kaliteleri feda etmek gerekebilir. Bir önemli istisna çınlama süresidir ki bu da özelleştirilebilmektedir (en azından belli aralıklar içinde) ve baştan hesaplanabilir. Eğer tamamlanmış bir binada bariz kusurların olduğu bulunursa, o zaman onların nedenleri etkili bir biçimde izleri aranarak bulunabilir [3].

2.1.3 20.yüzyılda 1980'lerde konser salonu tasarımı

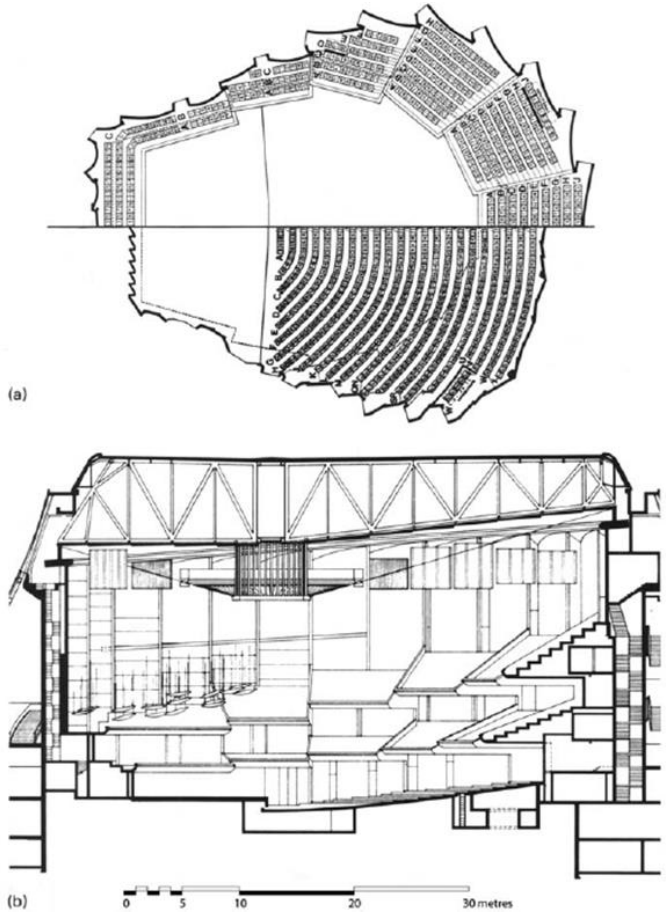
1980'ler boyunca akustik uzmanlığı uluslararası ölçekte yaygınlaşmıştır, örneğin; Amerikalı uzmanlar salonlar hakkında öneriler almak için Avrupa'ya davet edilmiştir. Bu dönemde Amerika'daki tecrübeler, 1990'lar ve sonrasında dünya çapında güçlü bir etki yaratmıştır. Amerika'daki bazı uzmanlar talihsiz New York Filarmoni Salonu'na dokunmamışlardır. Orijinal uzmanlar, Bolt, Beranek ve Newman, asılı panel dizilişlerine ilgiliydiler fakat daha sofistike (karmaşık) bir tasarım prosedürü geliştirmişlerdi. Bu uzmanlar bas seslerinin, seyircilerin üzerinden geçtikçe zayıfladığını ama birçok salonda bunun "sıcaklık" eksikliği olarak, duyulabilir olmadığını fark etmişler. Basit sübjektif deneylerle bas enerjisinin, sonraki çınlama sesinde mevcut olması gerektiği sonucuna varmışlardır. Öte yandan asılı duran baş üstü yansıtıcılar ile deneyimleri, sadece orta ve yüksek frekansların samimiyet ve netlik ile bağlantılı olduğunu göstermiştir. Tasarım açısından bu durum biraz ilgi çekmiştir ve küçük yansıtıcı panellerin kullanımına müsaade etmiştir. Gerçekte, onların tartışmalarına göre geniş paneller, bas sesleri çınlayan alandan mahrum ettikleri için uygun değillerdir. Beranek ve Schultz, Beranek tarafından listelenenlerin ötesinde ilave bir ölçü önermiştir: erken-geç enerjinin oranı, burada objektif netliğe refere eder; bunun netlik ve samimiyet duyusunu etkilediğini düşünmüşlerdir. Ayrıca bu niceliğin kabul edilebilir aralığının küçük olduğunu bulmuşlardır ve bunun şansa bırakılmayacak kadar hassas bir mesele olduğu sonucuna varmışlardır: geniş salonlarda bazı akustik ayarlamalar (hareketli yansıtıcılar kullanmak gibi) yapılmalı. Emici malzemeler kullanarak çınlama süresinin ayarlanması ayrıca denenmiştir. Böylece ayarlanabilir konser salonları doğmuştur. Bolt, Beranek ve Newman'ın tasarımlarının bazıları büyük kapasiteye sahip olsa da, ulusal standartlara göre genelde yüksek-profile sahip değillerdi: çoğu üniversite kampüslerinde bulunmaktaydı. Fakat 1980 ve 1982 arasında Bolt, Beranek ve Newman, tam-ölçekli dört ana konser salonundan sorumluydular. Bunların her biri de büyük bir orkestranın eviydi: Louise M. Davies Senfoni Salonu, SnFrancisco

(1980, 3000 koltuk), Joseph Meyerhoff Senfoni Salonu, Baltimore (1982, 2467 koltuk), Victorian Sanat Merkezi Konser Salonu, Melbourne (1982, 2600 koltuk, şimdi Hamer Salonu, Melbourne Sanat Merkezi) ve Roy Thompson Salonu, Toronto (1982, 2812 koltuk). Her bir salondaki akustik tasarım, büyük oranda geç T. J. Schultz tarafından idare edilmiştir. Bu dört salonda 1894 Toronto'sundaki Massey Salonu'ndan esinlenerek yapılmıştır: birçok özelliğin bu salonlarda ortak olmasına şaşırmamak gerek. Her salonda ikişer balkon mevcuttur, üç Kuzey Amerika salonu münferit küçük oturma bölümlerine ayrılmıştır. Duvarlar ve tavanlar, saçılan ses yansımaları üretmek için yüksek profilli yapılmıştır. Plana göre sahne yanındaki salon genişlikleri fazla değildir fakat sahne önünden uzaklaştıkça genişlik maksimum değere kadar artış göstermektedir. Her salon asılı duran yansıtıcı panellere sahiptir fakat bu panellerin kapladığı alan, sahnenin üstü ve biraz ilerisi ile sınırlandırılmıştır bu da Filarmoni Salonu'nda olduğundan çok az demektir. Ayarlanabilir önleyiciler (banners) her salonda çınlamayı kontrol etmektedir. Erickson tarafından tasarlanan Roy Thomson Salonu (Toronto) oldukça fotojenik ve çarpıcı bir görsel deneyime sahiptir. Bütün plan, sahne önü üzerindeki bir göbeğe dayanıp tavanı destekleyen "bisiklet tekerleği" biçiminde kabaca dairesel bir yapıdadır, **Şekil 2.2** ve **Şekil 2.3**'te salonun görseli ve çizimleri yer almaktadır. Böyle bir içbükey plan, kötü odaklanma problemlerine yol açmaya meyillidir ve duvarların önemli bölünmeleri ile bu sorun bertaraf edilmiştir. Yüksek seviyelerde salonun dış kabuğu 26 dikey dışbükey yüzeyden oluşmaktadır. Bu plan şeklinin avantajı, tüm koltukların, sahnenin 33 m menzilinde yerleştirilebilmesine olanak sağlaması ve bunun yanında sıkıntısı da 39 m civarı bir maksimum genişliğe sahip olmasıdır. Bu durum, bazı koltuklarda duyulan seslerin çok kalitesiz olmasının bir sebebi olarak öne sürülmüştür ve bunun için 1987'de, erken yatay yansımaları iyileştirmek için yan duvarlar etrafına ilave eğimli (tilted) yansıtıcılar konulmuştur. İç hacim 28300 m^3'tür [1].

Sahne üstü paneller orijinal olarak 2.1m çapında içbükey dairesel "fincan tabağı" şeklindedir, akrilik plastikten yapılmıştır. Sahnenin %40 alanını kapsamaktadır. Bu yansıtıcı paneller, sahneye, ana zemine ve ilk balkona hizmet etmek için yönlendirilmişlerdir. İlave küçük paneller, sahne ve koro koltukları arasındaki birlikteliği geliştirmiştir. Tam dolu konumda 1.8 saniyeye yaklaşan çınlama süresi, emici silindirler ve önleyicilerin hassas/özenli bir sıraya konulmasıyla 1.4 saniyeye çekilebilir.



Şekil 2.2 : Roy Thomson Salonu, Toronto [1].



Şekil 2.3 : (a) Plan ve (b) Roy Thomson Salonu uzun kesiti [1].

Öte yandan bu silindir ve önleyiciler yere alçaltıldığında, ses seviyesinde ufak bir düşme sıkıntısı olmuştur. Schultz (1896), baş danışman, kendi felsefesinin şöyle açıklamıştır [1]:

Büyük bir konser salonunda, dinleyicileri sahneye yaklaştırmak ve bunun sonucunda artan salon genişliğini sahne üzerindeki ses yansıtıcı panellerin çok esnek dizilişi ile telafi etmek büyük tiyatro algısını korurken çok iyi bir akustiği mümkün kılmıştır. Davies Senfoni Salonu'nda (1992), Meyerhoff Salonu (2001) ve Roy Thomson Salonu (2002)'nda önemli değişiklikler yapıldı. Belirlenen problemler arasında, daha iyi bir çınlama hissi sağlamak ve dinleyiciler için erken yanal yansımaları geliştirmek için müzisyenler arasındaki iletişimi artırmak da husus olmuştur. Bolt, Beranek ve Newman, Beranek'in 1962'deki kitabında önerdiği çözümleri optimum bir erken-geç ses oranı kavramına başvurarak ayrıntılı olarak incelerken, Beranek'in bütün sübjektif oranlarına alternatif bir yorum West tarafından yayınlanmıştır. West, sübjektif oranlar ile salonun yükseklik/genişlik oranı arasında çok yakın bir bağ olduğunu bulmuştur. Bu durum ise erken yanal yansımaların önemini inceleyen Marshall'ın fikirleri ile örtüşmektedir. Russell Johnson (1923-2007), yanal yansımalar fikrine en büyük ilgiyi gösteren uzmandır. Johnson 1954 ile 1970 arasında Bolt, Beranek ve Newman ile çalışmıştır ve "asılı dizi" felsefesine sahip birkaç çok amaçlı dinleme salonunun yapımına dahil olmuştur. Johnson sonradan, Artec Danışmanlık adında bağımsız bir danışmanlık firması kurmuştur. Johnson, asılı dizilerden, sahne platformunun ve dinleyicilerin oturduğu koltukların ön sıralarının üzerindeki boş alanda asılı duran devamlı kanopilere geçiş yapmıştır [1].

2.2 Konferans Salonlarının Gelişimi

Konferans odaları kolay bir şekilde ses sistemi olmadan konuşma yapılabilmesine olanak sağlamalıdır. Akustik olarak da bu çınlama kontrolünü ve tekrarlayan eko gibi kusurlardan (paralel sert yüzeyler arasında) ve içbükey sert yüzeylerden kaynaklanacak odaklanmadan uzak olmayı ifade eder. Uygulanmış emici malzemeler stratejik bir şekilde duvara "oturan ve ayakta duran kafa yükseklikleri" nin arasına yerleştirilmelidir. Tavanlar emici olmalıdır. Konferans salonları sıklıkla tele ve video konferanslar için kullanılmaktadır ve bunlar için de iyi düşünülmüş bir akustik tasarım gerektirir. Video konferans odaları interaktif video şebekesine bağlıdır ve başarılı bir kullanım için radyo yayını ve stüdyo fonksiyonuna sahip olmak gereklidir

ve bu, yüz yüze konuşmak kadar rahat olan mevkiden mevkiye konuşmayı gerektirir. Çınlama ve oda modu kontrolü etkili geniş bant ses emici materyallerin düzgün uygulamalara sahip olunmasıyla elde edilebilir [4].

Ses emici materyallerin eşit olmayan dağıtımları, birbirine benzemeyen ses davranışlarına neden olarak, fark edilir bir "renklendirmeye" neden olur. Renklendirmeyi engellemek için son duvar yüzeyinin ortalama emicilik kat sayısı, yan duvarların, yerin ve tavanın ortalama emicilik kat sayısına yakın olmalıdır (bir çiftin iki yüzeyi beraber alınarak). Bu tasarımın kriterleri, karşılıklı yüzeyleri çiftlerinin sadece bir yüzeyine akustik yöntem uygulanarak istenilen sonucu vermeyecektir. Onun yerine, bu iyileştirme yöntemi uygulanabilecek tüm yüzeylere dağıtılmalıdır [4].

Video konferanslarında duvarlar, sahne dekoru ya da arka plan olarak hizmet verdiği için duvar yüzeyleri basit ve benzer olmalıdır. Buna bağlı olarak da akustik iyileştirme, arka plan olarak dijital video dağıtımı için kullanılabilecek tüm duvarlar için kabul edilebilir olmalıdır. Düşük frekansta ses emiciliğini yükseltmek için özel alçak frekans emiciler formundaki tamamlayıcı uygulama düşünülebilir [4].

Çınlatıcı (rezonant) panel emiciler, alçak frekanslarda yüksek emicilik değerleri için tasarlanmıştır ve bunlar çok verimli olabilmektedir çünkü onlar yerin baskısına karşılık verir ve alçak frekansı absorbe etmek için olan sürtünme kaybı malzemelerinin abartılı kalınlığına ihtiyaç duymazlar. Eğer ilgili ince ses emici malzemeler başka yerlerde kullanıldıysa, bu iyileştirmeye kısmen ihtiyaç olabilir. Asılı akustik levha (ses yutucu levha-acoustical tile) iyi düşük frekans emiciliği sağlar, ama, yine, burada da küçük salonlarda iyi bir sonuç elde etmek için başından sonuna (yanal, boydan boya uzanarak ve dikey olarak) türdeş bir iyileştirme istenir. Hacim ne kadar küçük olursa benzer dağıtım ve alçak frekans emiciliği o kadar önemli hale gelecektir [4].

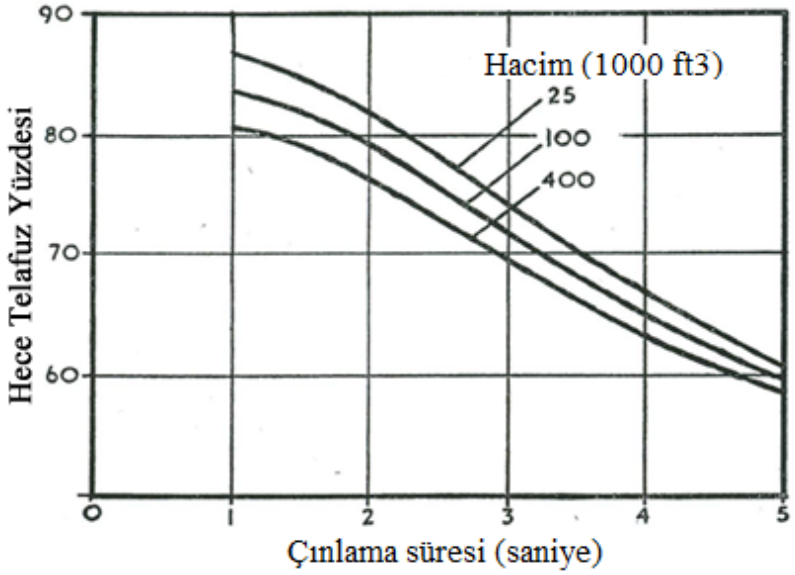
Konuşma için tasarlanan odalardaki temel amaç seyircinin, konuşmacının ne dediğinin anlaşıldığından emin olmaktır. Başka deyişle en önemli problem anlaşılabilirliktir. 2.cil amaç da konuşmacıdan çıkan sesin kalitesidir. Çünkü dinleyici konuşma sırasında nüansları, vurguları ya da dramatik etkileri fark edilebilmelidir. Bu gereklilik neredeyse tüm tiyatro ve toplu buluşma yerleri için geçerlidir [3].

Konuşma sesleri değişik kombinasyonlardaki uyum ve ahenkli seslerden meydana gelir. Bu kombinasyonlar konuşan kişinin doğal sesi olan en etkili net tonlardan oluşan ana bir strüktüre dokunur. İnsanın normal konuşma özelliklerini barındıran hâkim tonlar bu uyumu kombinasyonları meydana getirir. Bu ses tonları (bazen formant olarak adlandırılır) konuşmanın anlamına vurgu ve gölge vermek için konuşmacı tarafından ufak ses yükseklik düzeyleri aracılığıyla değiştirilebilir. Bu ses tonları, her zaman bir ölçüde insanın ayırt edici özelliğidir. Örneğin; erkek ve kadın konuşması arasındaki en büyük fark tonların ortaya çıktığı sesi tonlama (ses yükseklik) yeridir. Formantlar konuşmaya temel tonu verir ve çoğunlukla ünlü (sesli) harflerde duyulur. Ünsüz (sessiz) harflerin neredeyse tamamının özelliği geçici ses olmasıdır. Çünkü bunlar çok kısa süreli ve hızlıca değişen seslerdir. Buna sıklıkla "sessiz (unvoiced)" denir (örneğin; biçimlendirici tonu yoktur.) ve dahası çok küçük akustik gücü vardır. Bu ahenkli seslerin fark edilmesi / tanınması ve bir oditoryumda konuşma anlaşılırlığı açısından önemli bir disiplindir [3].

Eğer her seyirci iyi duyabiliyorsa, her dinleyici koltuğundaki sesin yeterince yüksek olduğu açıktır. Konuşmacı, sesinin gücünü konuşmayı yaptığı seyircinin büyüklüğüne göre ayarlayabilmek için artırabilir fakat kabiliyetlerinin bir limiti vardır. Bundan şu anlam çıkarılabilir; konuşmacı sesin desteksiz haline güvenecek ve konuşma sesi yükseltmesi kullanmayacak. Bu nedenle; özellikle geniş salonlarda kullanılabilir sınırlı miktardaki akustik gücün en iyi şekilde kullanımı ve istenen sesi maskelemeye meyilli bina dışındaki trafikten veya havalandırmadan gelen arka plan gürültülerinin en düşük seviyede olması gereklidir. Daha önce de gördüğümüz gibi çınlama; ses yüksekliğini, çınlamanın olmadığı zamanki yüksekliğin üzerine çıkaracaktır. Açık hava gibi ölü akustik koşullarda çok uzak mesafede konuşmanın iyi duyulmasının iyi akustiğe sahip salonlarda duyulmasından daha zor olduğu yaygın bir deneyimdir [3].

Çınlama ses yüksekliğini artırmasına rağmen fazlası da iyi işitmeye zarar verebilir. Bazı büyük binalarda, mesela katedrallerde, çınlama aşağı yukarı 14 sn sürer. Konuşma bu tarz yerlerde yapıldığı zaman iki etki hemen görünür hale gelir. İlk önce anlaşılırlık kötü bir şekilde sıkıntıya girer çünkü her hecenin sesi, bir önceki hecenin süren çınlaması tarafından bastırılacaktır. İkinci olarak konuşmacının yeterli ses enerjisini sağlamada problemi olmamasına rağmen, çıkardığı her sesin çınlamasının gürültüsü yüzünden olabildiğince yüksek konuşması engellenebilir [3].

Anlaşılırlık testleri, değişik büyüklükteki, farklı çınlama miktarlarına sahip odalarda yapılır ve **Şekil 2.4**'teki sonuçlar gösterir ki hece telaffuz yüzdesi (percentage syllable articulation) ilerleyen bir şekilde çınlama ve odanın hacmi arttıkça azalmaktadır. Pratikte konuşmacı büyük bir salonda, geniş bir seyirci kitlesine hitap ederken daha yavaş ve sesli konuşmaya yeltenecektir ve bu durum bir dereceye kadar çınlamadan kaynaklı azalan anlaşılırlığı gidermeye yardımcı olacaktır [3].



Şekil 2.4 : Farklı hacimlerde ort. hece telaffuz yüzdesi-çınlama süresi grafiği [3].

Doğrudan ses, hiçbir yüzeyden yansımamış olarak direkt kaynaktan dinleyiciye giden ses, olabildiğince güçlü olacaktır. Bu ses uzaklıkla birlikte ters kare yasasına göre zayıflar ve bu nedenle kaynak ve dinleyici arasındaki ortalama mesafe olabildiğince küçük tutulmalıdır. Ayrıca, doğrudan sesin yolu hiçbir şekilde bölünmemelidir ya da araya bir şey girmemelidir. Bu, sadece kolonlar veya balkonların ön yüzeyleri gibi yapı parçalarının araya girmeyeceği anlamına gelmez, ayrıca ses seyirciye isabet edip devam ettiğinde güçlü derecede emildiği için koltuklar da ön sıradaki dinleyicinin başının arka sıradaki dinleyiciye giden doğrudan sesin yolunu kesmeyecek şekilde ayarlanmalıdır, böylece ses arka sıralara kadar kesilmeden ulaşacaktır. [3].

Çınlayan seslerin (reverberant sound) dışında, örneğin yüzeyden birçok kez yansımış ses, doğrudan sesin ulaşmasından çok kısa bir süre sonra dinleyiciye ulaşan ilk yansımalar doğrudan sese katkı olarak çalışırlar. Pratikte, gerekli olan şey, odada sert yüzeylerin açılı olmasıdır ve böylece yansıyan dalgalar direkt olarak seyircilere yönlendirilebilecek ve tercihen konuşmacıdan en uzakta olan seyircilere de ses

ulaşmış olacaktır. Bunun için ekstra ses enerjisine ihtiyaç olacaktır. Platformun yanlarındaki ve üstündeki eğimli yüzeyler, planlarda ve kesitlerde geometrik olarak çalışılabilir [3].

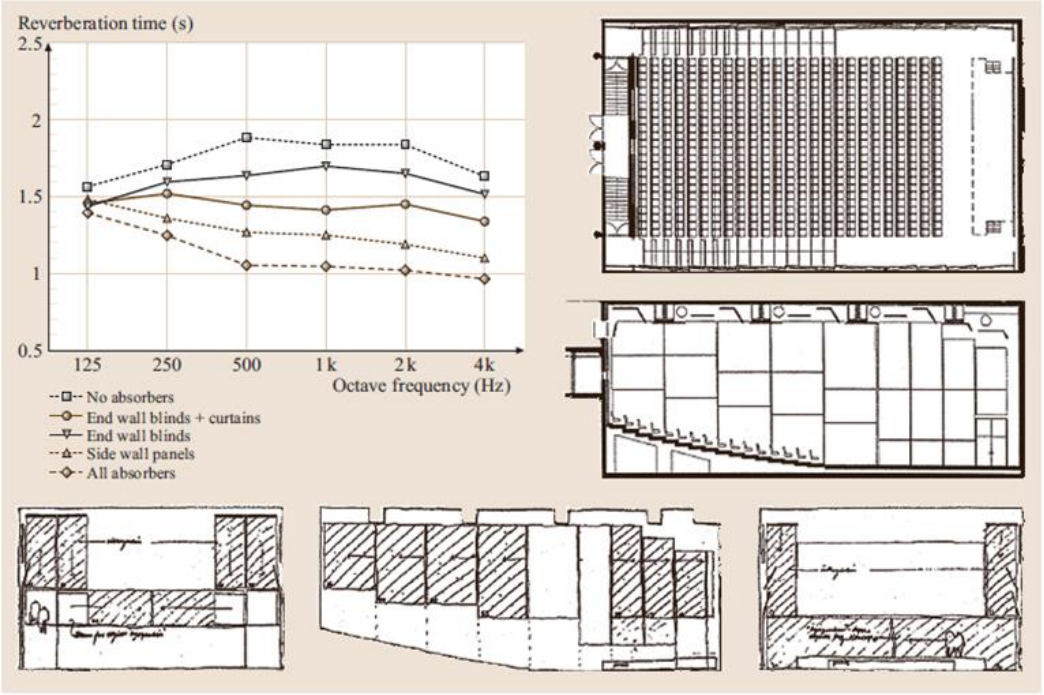
2.3 Çok Amaçlı Salonların Gelişimi

Ekonomik nedenlerden dolayı, çoğu çağdaş toplantı salonları birçok işlev ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarımcı, salonun öncelikli işlevini belirlemeli, salonu bu kullanım için tasarlamalı ve diğer kullanımlar için ayarlamaların yapılmasına imkân sağlamalıdır [5].

Kültürel etkinlikler amacıyla inşa edilmiş birçok modern salon, klasikten pop/rock müzik konserlerine, tiyatro ve müzikallere, operalar, konferanslar, resmi davetler, sergiler, sinema ve hatta sportif faaliyetlere kadar pek çok farklı türde faaliyete ev sahipliği yapmaktadır. Akustik açıdan bakıldığında, bu gibi durumlarda ilk dikkat edilecek husus değişken bir çınlama süresinin gerekli olup olmayacağıdır. Önceliğin konuşmanın anlaşılırlığı olduğu durumlarda cevap evet iken, klasik müzik gibi diğer durumlarda ise önemli bir çınlamaya gerek duyulmaktadır [6].

Kopenhag'daki Kraliyet Kütüphanesi'nde bulunan Dronningesalen Salonu, bu tür taleplerin değişken emilim yoluyla karşılandığı bir salondur, **Şekil 2.5**'te gösterilmiştir. Bu salonda, hem oda müziği konserlerine hem de güçlendirilmiş konuşmalı konferanslara öncelik verilmektedir. Değişken emilim yan duvarlardaki hareketli paneller ve dip duvardaki katlanabilen perdeler ve sarılabilen storlar ile sağlanmaktadır. Bu önlemleri farklı şekillerde kombine ederek, 1.1'den 1.8'lerin üzerine çıkan T değerleri, **Şekil 2.5**'te görüldüğü gibi (boş salonda) elde edilebilir [6].

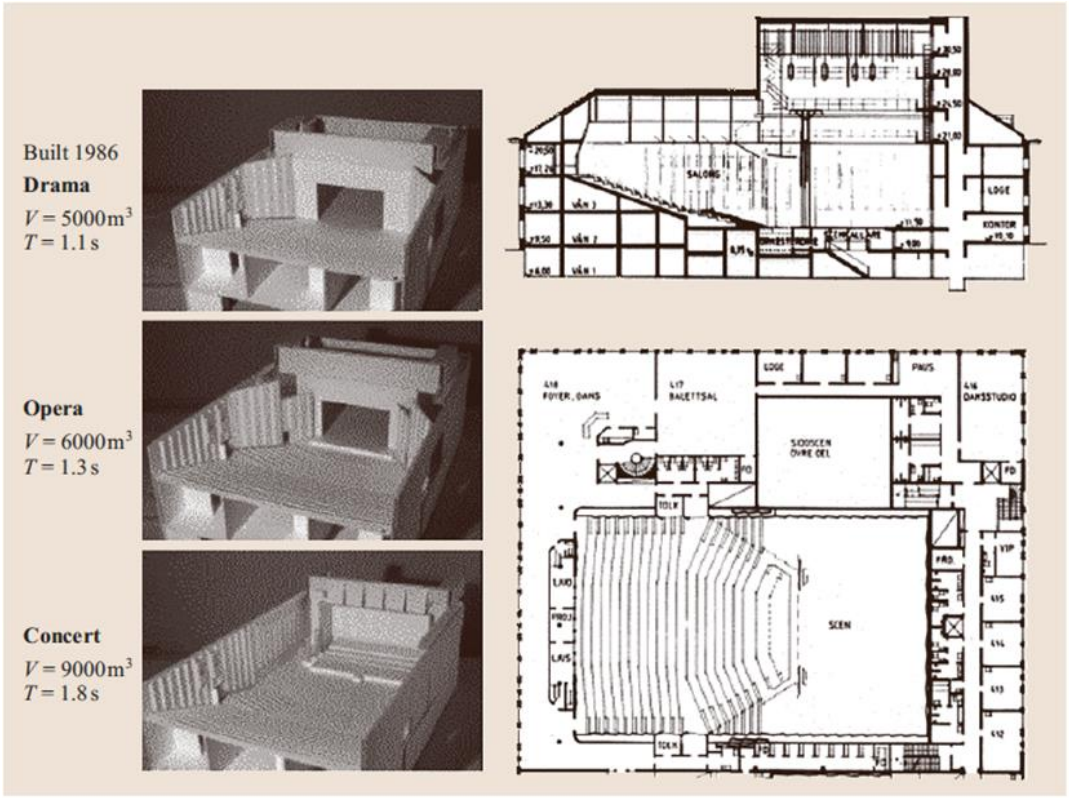
Eğer değişken emilim sayesinde T'de bir değişiklik olursa, T düşerken G de azalır. Ancak, hacim düşürülerek T zayıflatılırsa, yani örneğin duvarın birinin hareket ettirilmesi veya tavanın alçaltılmasıyla yapılırsa, G hemen hemen sabit kalır veya belki de yükselir. Bu durum kısa çınlama ayarı kullanıldığında avantaj sağlar. Örneğin; büyük bir senfoni konser salonunda güçlendirilmemiş tiyatro veya oda müziği için uygun olur [6].



Şekil 2.5 : Kopenhag'daki Dronningesalen Salonu, 400-600 koltuk. çınlama süresi eğrisi, plan, kesit ve değişken emiciliği gösteren taranmış duvar yükseklikleri [6].

İsveç Umea'da bulunan salon değişken hacme sahip salonun bir örneğidir (**Şekil 2.6**). Bu salonda oditoryum hacmi, perde önü duvarının üç şekil arasında yer değiştirilmesiyle ayarlanabilir. Perde önü, konser formatında arka duvara sabitlenirse, genel hacim açık sahnede büyük senfonik orkestra konserleri için uygun hale gelir. Bu durumda, sahne kulesi tavan seviyesinde yatay panellerle kapatılabilir. Ancak, perde önü opera ayarlamasına göre kaydırıldığında, oditoryum küçülüp, bir perde önü sahnesi alanı yaratılmış olur, bu arada tavan panelleri yukarıdaki dekor kulesine ulaşmak amacıyla hareket ettirilir. Üçüncü pozisyonda, tiyatro, oditoryum hacmi, samimi bir tiyatro gösterisi yaratmak amacıyla daha da azaltılır. Değişken unsurlar, hareket edebilir yansıtıcılar ve değişebilir emicilik perdelerinin yanı sıra, salonun şeklini tiyatro için geliştirmek amacıyla hareketli yan duvar bölümü de içerir [6].

Konuşma ve müzik oditoryasının başarılı tasarımında ortaya çıkan birçok problemin salonun ebatları büyüdükçe daha vahim hale geldiği mutlaka belirtilmelidir. Diğer bir deyişle, yukarıda verilen iki örnekte olduğu gibi 1000 kişinin daha altında kişi için bir salon tasarlamak, 2000 kişi ve üstü için bir salon tasarlamaktan daha kolaydır. Eğer çok amaçlı salon tasarlanması istenirse, sorunlar daha karmaşık hale gelir [6].

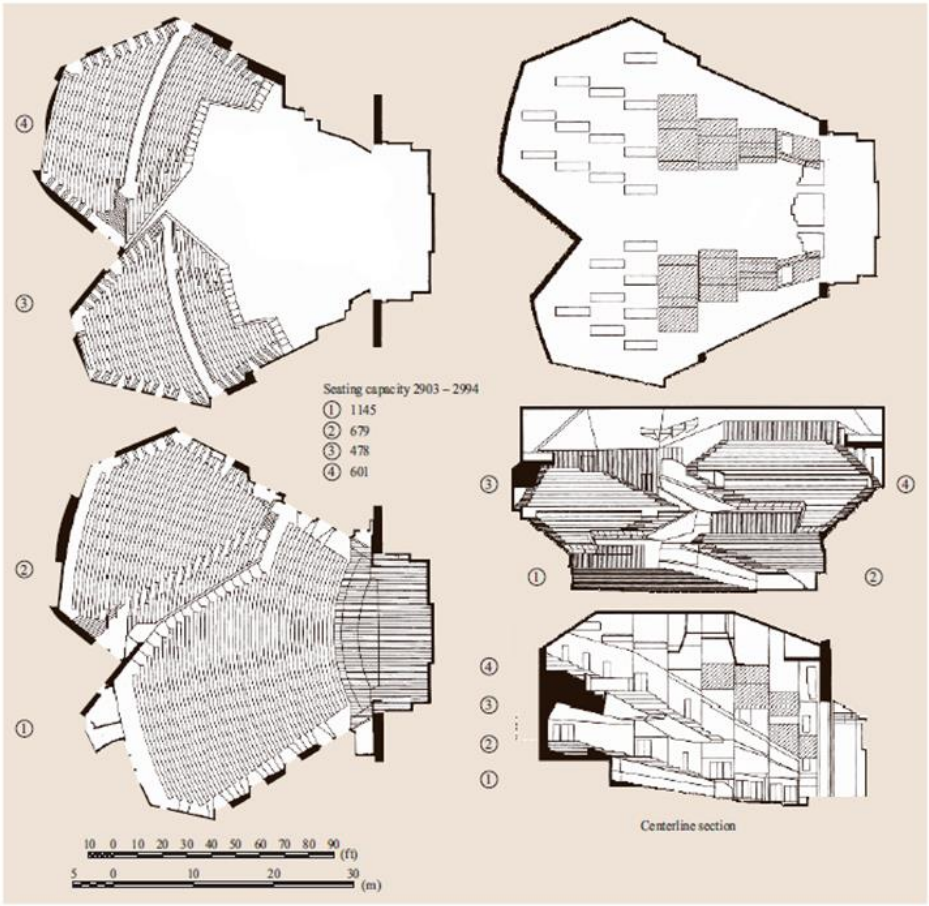


Şekil 2.6 : İsveç Umea'daki Idun Çok Amaçlı Salonu. Değişebilen hacim ve sahne yerleşimi. Özet bilgi (solda), maketten fotoğraflar, uzun kesit ve plan (sağda) [6].

Yine de bu tür başarılı tasarımların örneği bulunmaktadır. En yeni olanı muhtemelen, **Şekil 2.7**'de gösterilen ABD, Kaliforniya, Orange'daki Segerstrom Salonu'dur. Bu salon, neredeyse 3000 kişilik özel bir seyirci oturma alanı planına sahiptir, bu koltuklar dört seviyede yerleştirilmiştir. Bu şekillerin her biri, hemen hemen bir dikdörtgen, hatta bir ters yelpaze şekli oluşturmaktadır. Ancak, her seviyenin uyumu öyle bir sağlanmıştır ki, genel plan büyük bir yelpaze görünümü almaktadır. Bu yolla, izleyicinin sahneye yakınlığı açısından yelpaze şeklinin yararlı etkisi, dikdörtgen şeklinin getirdiği yan taraflardan gelen güçlü, erken yansımaların avantajı ile kombine edilmiştir. Böylece, toplam genişlik 50 m olsa da, bu salonun yanal enerji seviyesi, 2000 kişilik tipik oturma kapasitesiyle 25 m genişliğindeki dikdörtgen konser salonlarında bulunan enerji seviyesine benzer [6].

Çok amaçlı bir salonun düzgün çalışması için alanı kısıtlama, arka plan gürültüsünü tamamen giderme, uygun ve ayarlanabilir bir geometriye ve ayarlanabilir çınlamaya sahip olması gerekir. Bunlar, alan genişledikçe katlanarak büyüyen zorluklardır. Bu sorunları aşabilmiş çok amaçlı salonlardan; Florida, Batı Palm Beach'teki Kravis

Center; New Jersey, Newark'taki New Jersey Sanat Merkezi; California, Cerritos'taki Performans Sanatları için Cerritos Merkezi akla gelenlerdir [2].



Şekil 2.7 : 2900 kişilik Orange County, California'daki Segerstrom Salonu. Akustik tasarım: Marshall, Hyde, Paoletti [6].

Konuşma ve müzik programlarının kombinasyonunu yapmak en zor olandır. Bu iki tip program için gerekli olan akustik şartlar hem birbirinden farklıdır, hem de birbirine zıttır. Çeşitli türdeki programları kombine etmede sorunlar yaşanan en bilindik salon kategorisi, çok amaçlı salonlardır. Öncelikle, bu salonlar, ekonomik açıdan önemlidir. Birçok fonksiyona sahip bir salonun inşası ve bakımı, çok amaçlı salonlarda düzenlenen farklı tipteki programların her biri için ayrı ayrı tasarlanan birçok salonun inşası ve bakımından daha ucuza mal olmaktadır [7].

Çok amaçlı bir salonun akustik açıdan çözümü, bu salonun oturma kapasitesine ve kullanılacağı özel program türlerine bağlıdır. Tasarım ve inşa sırasında, ortak bir karara varılması en çok aranan özelliktir. Diğerlerine oranla daha kısa bir çınlama süresi, salonda bulunmaktadır ve bunun iç yüzeyleri öyle bir inşa edilmiştir ki, bazı yüzeyler güçlü erken yansımaları dinleyicilere gönderir (netliği artırır), diğer

yüzeyler ise yönsel olmayan saçılmış ses yansıması yaratır (ses alanının yayılımını artırır). Bu özellikler, salonda iki tip yüzeyin bulunmasıyla elde edilebilir. Erken yansımalar sağlamayan yüzeyler, yayılım yansımalarının elde edilebilmesi için bölümlere ayrılmalıdır. Diğer yüzeyler ve özellikle sahnenin bitişiğinde bulunan yüzeyler ise çok fazla bölüme ayrılmamalıdır. Müzik için düzenlenen salonlarda olduğu gibi, sahnenin bitişiğindeki yan duvarlardan gelecek erken yansımalar, çok amaçlı salonlar için istenen bir özelliktir. Bu yan duvar yansımaları hem netliği hem de mekânsal etkiyi artırmaktadır. İlk güçlü yansımanın gecikme süresi, birbirini izleyen güçlü yansımalar arasındaki zamanın yanı sıra, normal olarak, seyircilerin oturduğu tüm alan boyunca 30 ms'yi geçmemelidir [7].

Ortak bir çözüm, orta kapasitedeki (1200 koltuk kapasitesine kadar) çok amaçlı salonlar için daha çok savunulabilir. Bu tür salonlar senfonik konserler için nadiren kullanıldıklarından uzun bir çınlama süresine ihtiyaç duymazlar. Ayrıca, bir senfoni orkestrası uzun bir çınlama süresine sahip nispeten küçük bir salonda performans sergilerse, ses oldukça yüksek olur ve bir "ağırlık, şiddet" etkisi yaratır. Deneyimler, orta kapasitedeki çok amaçlı salonlarda, çeşitli türdeki programlar için oldukça uygun olan ortak bir akustik ortam yaratmanın mümkün olduğunu göstermektedir [7].

Çok amaçlı geniş salonlarda, farklı türdeki konuşma ve müzik programlarını kombine etmede yaşanan sorunlar daha karmaşık hale gelmektedir. Çınlama süresini kontrol etme gereksiniminin yanı sıra seyirci koltuklarına erken yansıma sağlaması konusunda da genellikle sıkıntılarla karşı karşıya kalınmaktadır. Geniş salonlar inşa etme trendi, sinemalardaki teknik ekipman gereksinimlerinde olduğu gibi, ön taraftaki genişliğin 30 ila 40 m arasında, yüksekliğin ise 10 m ve yukarısında olduğu salonlara yönelmeye neden olmaktadır. Bu ebatlarla, ön sıralardaki seyirci koltuklarına ulaşan erken yansımaların gecikmesi 30 ms'yi epeyce aşmaktadır. Bu tür salonlarda ortak bir çözüm her zaman istenmez [7].

Ortak bir çözümün yanı sıra, çok amaçlı geniş salonların akustik tasarımına ilişkin iki farklı yaklaşım daha vardır. Bunlardan ilki, elektro-akustik kullanımını kapsamaktadır. Bu durumda, salondaki çınlama süresinin, konuşma ve sinemanın gereksinimlerini karşıladığı düşünülmektedir. Konser programları için olan çınlama süresi, elektro-akustik yapay bir çınlama sistemiyle yükseltilmektedir. Böylece çınlama süresini kontrol etmek ve onu geniş aralıkta çabucak değiştirmek mümkün

hale gelmektedir. Koltuklara, erken gelen yansımaları sağlamada (ve en uygun yansıma modelinin oluşturulmasının sağlanmasında) yaşanan sorunlar, doğal ses yansımalarının çok geç geldiği noktalara yerleştirilecek yüksek kalite hoparlörler yardımıyla çözülebilir. Gecikmeyi ve doğrudan gelen sese göre hoparlörün ses seviyesini kontrol ederek doğal bir ses elde etmek ve ana ses kaynağını (şarkıcı ya da müzisyen gibi) doğru yere yerleştirmek mümkündür. Salonun yan duvarlarına yerleştirilen hoparlörlerin yardımıyla, müzik sesleri için önem arz eden yanal yansımaları canlandırmak mümkündür. Elektro-akustik çözüm, karmaşık ve pahalı cihazları, yüksek nitelikli servis elemanları gerektirmekte ve salonu doğal akustiğe sahip müzik programlarına elverişsiz hale getirmektedir. Böyle bir çözüm, orkestranın doğal duyulabilirliğinin sağlanmasının zor olduğu, 3,000'den fazla dinleyiciye ev sahipliği yapan salonlarda kaçınılmaz bir seçenektir. 6,000 kişilik Kremlin Kongre Salonu, bu tür bir elektro-akustik sisteme sahip çok amaçlı geniş bir salonun tipik bir örneğidir [7].

Çok amaçlı, geniş salonların akustik tasarımına ilişkin ikinci yaklaşım, mimari akustik teknikler kullanılmasına dayanmaktadır. Bu, sesi yansıtan yüzeylerin dönüştürülmesi için gerekli olan eklenmiş ses emiciliği ve salon hacminin çeşitliliğini kapsamaktadır. Eklenmiş ses emiciliğini çeşitlendirmek, salondaki çınlama süresinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Salonun hacmi ve dizilişi, senfonik müzik için gerekli olan çınlama süresinin elde edilebilmesi için seçilmiştir. Çınlama meydana gelen alana etkili ses emicileri eklenerek, çınlama azaltılır. Ses emicilerinin yerleştirilmesi nedeniyle çınlama süresinin frekans tepki özelliğinde meydana gelecek olası değişiklikler, konuşma, film gösterimi ya da ses takviyeli diğer durumlar için çok önemli bir problem değildir. Ses emicisinin dikkatli seçilmesi ve test edilmesi ile bu değişiklikler önceden hesap edilebilir ve bu tür eklenmiş ses emilimi belli bir seviyeye kadar çınlama süresinin çeşitli müzik tarzları açısından kontrol edilmesi için kullanılabilir [7].

Bazı avantajlarına rağmen, değişken ses emilimi pek popüler değildir. Bunun nedeni kısmen, metodun ek masraf gerektirmesi ve de mimarın belli bir seviyeye kadar kendi iç mekân tasarımıyla sınırlı kalmasıdır. Ayrıca, değişken ses emiliminin kullanımı yetersiz bir çınlama süresi aralığı sunar. Çınlama süresinde büyük bir değişiklik elde etmek (0.7 s'ye kadar gibi) ses emicinin miktarına, kullanılan malzemenin özelliklerine ve salonun yüzeylerine yerleştirme şekline bağlıdır. En sık

karşılaşılan metot, dönebilen ses yansıtıcı paneller (bir çeşit müdahale edilebilen kubbecik) ile kaplanmış olan yan duvarlara yerleştirilmiş, gözenekli ses emici tabakadan oluşur. Panellerin döndürülmesi, ses emicinin yüzeyini görünür ya da görünmez kılar. Panelin bir tarafı ses emilimi, diğer tarafı ise ses yansıması yapar. Panellerin 180° dönmesiyle, salondaki ses emilimi değişir. İki metodun da önemli bir kusuru vardır. Paneller arasındaki engellenemez delikler nedeniyle eklenmiş emilimin etkisi, özellikle de düşük frekanslarda, önemli ölçüde azalmaktadır. Deliklerin yol açtığı istenmeyen etkilerin en aza indirilmesi için panellerin ebatlarının büyük olması gerekmektedir. Ses emicisini, salonda çınlamanın olduğu alandan uzaklaştırmak daha iyi bir çözümdür. Bu ise özel stor ya da engelleyici (banner) mekanik sistemleri kullanılarak yapılabilir (birbirinden ayırarak, yukarı kaldırarak ya da aşağı indirerek, vb.). Storlar, kutulara veya kabinlere çekilmeli, yerlerinden söküldüklerinde salona girmelerini sağlayan delikler iyice kapatılmalıdır. Düşük frekans seviyesinde yeterli bir emilim değişikliği sağlamak için yan yana duran storlar arasında hiçbir açıklık kalmamalıdır. Storların yapımında kullanılan kaplamanın ağırlığı 1kg/m²'den az olmamalıdır. Ayrıca, kumaş duvardan en az 200 mm uzağa yerleştirilmelidir. Estetik gereksinimler nedeniyle kaplama genellikle dekoratif bir kumaşla kaplanır. Akustik gereksinimlere ek olarak, emici storların kaplaması: yeterli mekanik güce sahip olmalı, zararlı toz üretmemeli, yangına karşı garantili olmalı, güvelere karşı dayanıklı olmalıdır. Bazı yünlü kaplamalar, yangına ve güvelere karşı korunması için çeşitli kimyasallar gerektirdiğinden dolayı tercih edilmezler. Keten kaplamalar daha iyidir. Bu değişken ses emicilerinin yerleştirileceği en uygun yüzeyler duvarların üst kısımlarıdır [7].

Değişken yansıtıcı yüzeylerin amacı, koltuklara (özelliklede ön taraftakilere) doğal akustik koşullarda, konuşma programları için gerekli olan güçlü erken yansımaları sağlamaktır. Bu amaca, tavanın ve sahne bitişiğindeki duvarların yüzeyini değiştirerek, mesela gerekli olan yerlerde salonun ön bölümünün yüksekliğini ve genişliğini azaltarak ulaşılabilir. Bu, en çok perde önünün (prosenyumun) üst kısmındaki tavanın (ya da ses levhasının) bir bölümünün yükseltilmesi ya da alçaltılmasını kapsar. Erken yansımaların gecikmesinin azaltılması için ses levhasını alçaltmak da, ses takviye sistemi hoparlörünün yeri açısından bakıldığında, faydalıdır. Alçak seviyede, hoparlörler ilk ses kaynağının daha iyi bir yere

yoğunlaşmasını sağlarlar, mikrofon hoparlörlerin direkt sesinden daha iyi korunmuş olur [7].

Akustik faydalarına rağmen, salonun ana (seyirci) bölümünde bulunan yansıma sağlayan yüzeylerdeki değişimler nadiren uygulanır. Sahne üzerine kurulmuş ve yeterli sağlamlık ve ağırlığa sahip unsurlardan yapılan bir orkestra kabuğu kullanmak çok daha yaygındır. Bu unsurların yüzeysel yoğunluğunun en az 20 kg/m² olması ve 10 kg/m² ‘den az olmaması istenmektedir (genellikle bu unsurlar yangına dayanıklı ağaçtan yapılmaktadır). Orkestra veya sahne kabuğunun ebatlarını ve biçimini seçerken, konser salonu tasarımı için verilen tavsiyeler kullanılmalıdır. Kabuk düzeni, erken yansıma gecikmelerinin azaltılması konusu üzerinde düşünülmesini, dinleyicilere ek (özellikle yanal) erken yansımaların sağlanmasını ve aynı zamanda performans sergileyenler için akustik şartların geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Eğer kabuğun bölümleri arasında küçük boşluklar varsa, deneyimlere göre faydalı yansımalarla orta frekans aralığında, salonun çınlama süresini 0.2 saniye kadar yükseltmek mümkündür. Sahne arkasındaki müzisyenlere bakan kabuk bölümlerinin yanları ses emici malzemelerle kaplanmalıdır ki demonte halinde kabuk, sahnedeki ses emiciliğini artıracaktır. Sahne alanının ses emilimini artırmak, film gösterimleri ve ses takviyeli durumlar için oldukça faydalıdır [7].

Salonu bir türden başka bir tür için kullanılması amacıyla değiştirirken (bir senfoni konserinden bir opera gösterisine ya da tam tersi gibi), hacim değişikliği de uygulanabilir. Bu tür değişikliklere, genellikle salonun oturma kapasitesinde de değişiklik yapılması eşlik eder. Salonun uzak bir alanına hareketli bir tahta perde kurulmasıyla hacim kolayca düşürülür. Yeni inşa edilen Prag’taki Kültür Sarayı’nda olduğu gibi hacmi düşürmek için tavan alçaltılarak üst balkon kapatılabilir [7].

3. MİMARİ PARAMETRELER VE AKUSTİK KUSURLAR

3.1 Çok Amaçlı Salon Tasarım Parametreleri

Oditoryum tasarımında önem arz eden asıl geometrik faktörler: (odanın bütün planını belirleyen) plandaki oturma düzeni ve (görüş çizgisini belirleyen) kesitteki oturma planı, balkonların kullanımı, duvar yapısının seçimi, oda yüksekliği, tavan şekli ve serbest aslı yansıtıcıların kullanımı [6].

Her odanın kendine has tasarım özellikleri olmasına rağmen her oda tipine göre hazırlanabilecek genel yol haritaları mevcuttur.

1. Oditoryumun her bölgesinde yeterli ses şiddeti olmalıdır, özellikle ses kaynağından en uzaktaki koltuklarda [8].

2. Salonun her yerinde ses enerjisinin homojen dağılımı olmalıdır, örneğin, uzak veya yakın olsa da bütün koltuklarda eşit ses olmalıdır [8]. Ses kaynağı, dinleyici alanının her parçasına ek yansıyan ses enerjisi sağlamak amacıyla ses yansıtıcı yüzeyler (alçı, alçı panel, plywood, pleksiglas, sert plastik paneller, vs.) ile yakın bir biçimde fazlasıyla çevrilmelidir [9].

3. Oditoryum, a) ses programının en olumlu değerlendirmesine, örneğin, konuşmanın yüksek anlaşılırlığına veya duruma göre müziğin tam lezzetine ve b) performansçılar tarafından ses programının en etkili sunumuna imkan verecek optimum çınlama karakterine sahip olmalıdır [8].

4. Oditoryum akustik kusurlardan arınmış olmalıdır; ekolar, uzun gecikmeli yansımalar, tekrarlayan ekolar, ses odaklanmaları, deformasyon (distortion), rezonans, ses gölgeleri ve diğer istenmeyen doğal olaylar gibi [8].

5. Performans veya oditoryumdaki işitme ile çatışan gürültüler ve titreşimler dışarıda bırakılmalı veya odanın her yerinden makul biçimde azaltılmalıdır [8].

6. Dinleyicinin görüş alanını engellemekten uzak olması için kaynağın seyircinin oturduğu bölgenden yüksekte olması gerekir [10].

7. Tüm program frekans aralığını üretebilecek kapasiteye sahip bir ses sistemi tasarıma ilave edilmelidir. Hoparlör planı iyi hazırlanmalı ki konuşmacı algılanan kaynak noktası olmalı [10].

8. Güçlendirilmeyen müziğin programın bir parçası olduğu yerde, şarkıcılar ve müzisyenler yakındaki baş üstü ve yan taraflardaki yansıtıcı yüzeylerle desteklenmelidir. Bu ilaveler, yapının tasarımı ile bütünleştirilebilir, müzisyenler üzerine asılabilir veya hareketli kabuğun içine inşa edilebilir. Sanatçıları destekleyen müzik aletleri, onların yakınına yerleştirilmeli ki böylece ikisi arasında büyük zaman farkları oluşmaz [10].

9. Zemin, görüş noktasının gelişinin (APS'nin) tüm görüş alanını açmak için eğimli olmalıdır [10].

10. Oda hacmi ve emicilik, program ile tutarlı bir çınlama süresi elde etmek için kontrol altında olmalıdır. Döşenmiş koltuklar (padded seating), dinleyicinin var olduğu ve olmadığı durumlar arasındaki farkı en aza indirecek şekilde kullanılmalıdır. Oda çınlaması, geniş grupların ses şiddetinin sınırlandırılması için kontrol altında olmalıdır [10].

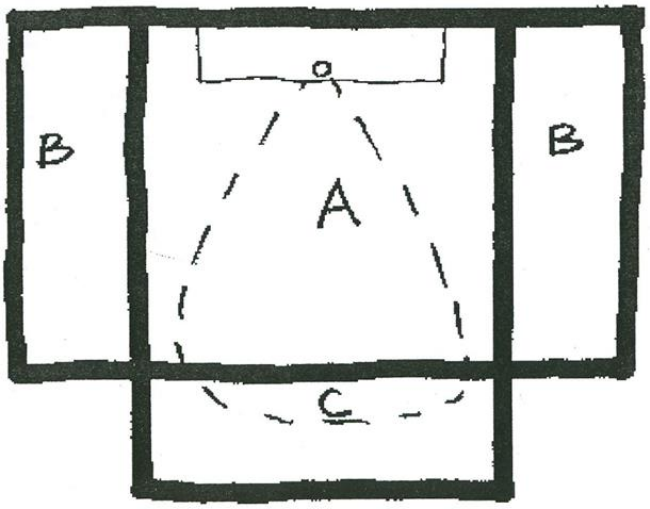
11. Arka plandaki gürültü seviyesi, küçük salonlarda 25 NC'ye sınırlandırılmalıdır (<500 koltuk) ve tiyatrolar ve opera evleri için ise 20 NC'ye. Geniş konser salonlarında bu değer 15 NC ile sınırlandırılmalıdır [10].

Mimari tasarım, bir mekân için tasarlanan çeşitli kullanımları ve her biri için yüzde dağılımını listeleyen bir program ile başlar. Programın içeriği, mimara ya da akustikçiye, tasarımı, konuşma için mi yoksa müzik için mi planlayacağını bilmesine müsaade eder. Bazen performans salonlarının tasarımında bu yön planlaması ile ilgili uyuşmazlıklar görülebilir, sadece tasarım ekibinin içinde değil, müşteri ekibi üyeleri arasında da olabilir. En iyisi, bunu sürecin başında yazıyla açıklığa kavuşturmaktır böylece yön net olmuş olur. Programda yapılan değişiklikler, özellikle de bitirme aşamalarında, çok hayati sonuçlar doğurabilir. Gizli gündemleri deşifre etmek zordur. Bu durum, salonun belirlenen kullanımından başka bir amaca hizmet etmesi beklentisi olduğu zaman özellikle doğrudur. Örneğin bir kilise, ibadet için tasarlanmış olsa da aydınlatma, teçhizat, ses ve HVAC gereklilikleri gibi önemli eklemelerle bir tiyatro olarak ya da sanatsal faaliyetlerin sergilendiği bir yer, televizyon stüdyosu olarak hizmet vermesi beklenebilir. İyi belirlenmiş bir program,

bu gibi problemlerin çözülmesine fırsat verir ve net bir tasarım yönü kurmaya yardım eder [10].

3.1.1 Salon şekli

Mekânın şekli, içerideki ses sahasının yapısını belirler. Örneğin, yirmi fit yüksekliğindeki bir tavan, org ya da koro için gerekli olan çınlamayı sınırlar. Fan şekli, sesi arka duvara gönderecek ve "ani eko" adı verilen ekoyu yaratacaktır; yuvarlak ya da konik bir şekil odaklanma, eko ve diğer eğlenceli akustik etkiler yaratacaktır. Fıçı şeklindeki tavanlar garip "fısıldayan galeri" etkisi ve titreyen eko yaratabilir. Uygun oda şekli, hem konuşma hem de müzik için doğal olarak zor olan iyi akustiği sağlamaya yardım edebilir (ya da engel olabilir). Duvarlarda bulunan bir miktarda panel, yetersiz şekillendirilmiş bir odayı telafi edemez. Akustik için gerekli olan en iyi oda şeklinin, en pahalı şekil olması gerekmemektedir. Eğrilerden meydana gelen, ilginç şekiller, eğer akustik etkileri planlanmazsa sorunlara neden olabilirler [2].



Şekil 3.1 : Dikdörtgen planın iki farklı şekilde konumlandırılması [2].

Şekil 3.1, dikdörtgen şeklindeki bir planın iki farklı konumlandırmasını sunmaktadır, platformdaki konuşmacının yönü çizgilerle belirtilmiştir. Üç bölgeye işaretlenmiştir: A, B, C [2].

- A, her iki konumlandırmada da kullanılmaktadır; konuşmacıya olan uzaklıkta veya konumda bir farklılık yoktur [2].
- Geniş/kısa konumlandırma sonucunda elde edilen ek alan B Bölgesi, kenara uzaktadır. Bunlar çok iyi koltuklar değildir [2].

• C Bölgesi, uzun/dar konumlandırmada bulunan, noktalarla belirtilmiş yön içerisindeki bazı koltuklara sahiptir, ancak geniş/kısa düzenlemenin dışında tutulmaktadır. En uzaktaki koltuklar bile platformu doğrudan görme şansına sahiptirler [2].

Uzun/dar konumlandırmanın birçok avantajı vardır. Şekilde görüldüğü gibi, yüz ve jestlerle sağlanan insan sesi ve görsel hareketler doğrusaldır (directional). Uzun/dar konumlandırma, bu gerçekten istifade eder. Dikkatini, kenardan uzaktaki B bölümünden dinleyicilere yönelten bir konuşmacı, B'nin karşı tarafındaki bölümde oturan diğer seyircilere arkasını dönmek durumunda kalır. Shakespeare's Globe Tiyatrosu gibi samimi ortamlarda bu, sorun değildir, ancak geniş alanlarda iletişime gerçek bir engeldir. Hoparlörler, bu sorunun vokal yönüyle başa çıkabilir, ama bir kişinin yüzünü ve jestlerini görmeden onu anlamanın zor olduğu gerçeğini değiştiremez [2].

Uzun/dar konumlandırma için daha az sayıda hoparlör kullanmak yeterlidir. Geniş/kısa düzenlemeyi kaplamak için bir dizi hoparlöre ihtiyaç vardır. Bu durum, indirgenmiş faydalar için maliyeti arttırır. Daha fazla hoparlör, konuşmanın anlaşılırlığını azaltmaktadır, çünkü birbirlerini engellerler ve bir tür yapay çınlama yaratırlar [2].

Uzun/dar konumlandırma, daha küçük bir arka duvar oluşturur. Arka duvardan mikrofona ya da dinleyicilere geri gelen ses yansımaları, konuşmanın anlaşılırlığını engelleyebilir veya sesin geriye dönüşüne neden olabilir. Geniş/kısa oryantasyon arka duvarı yakınlaştırır, bu ise arka duvardan gelen ses yansımalarının daha yüksek sesli ve daha fazla sıkıntı verici olacağı anlamına gelmektedir. Popüler bir yaklaşım, bu uzun arka bölümü kıvırır (ya da tek bir eğri gibi işleyecek segmentler yaratır), bu ise arka duvar eko sorununu daha da şiddetlendirir [2].

Uzun/dar düzenleme sonucu oluşan kısa arka duvar üzerinde düşünülmesi gerekmektedir, ama bu, çözümü daha kolay bir sorundur [2].

Uzun/dar düzenleme, akustik fayda sağlayacak kadar birbirine yakın olan yan duvarlar oluşturur. Nispeten dar olan bu yan duvarlardan gelen ses yansımaları, salondaki müzik programlarına fayda sağlayacaktır. Bu durum, konuşma ve müziğin gereksinimlerini dengelemeye çalışırken önemli hale gelir [2].

Öte yandan, geniş/kısa konumlandırma, hiçbir fayda sağlamayacak kadar birbirinden uzak olan yan duvarlarla sonuçlanır. Birbirine uzak bu yan duvarlardan gelen ses yansımaları gecikecek ve rahatsız edici ekolar yaratacaktır [2].

Uzun/dar konumlandırma, ses emici malzemeler sayesinde platformdan uzaklaştıkça nispeten daha "canlı" bir ön uç yaratma olasılığının yolunu açmaktadır. Bu, konuşma için gerekli olan sınırlı çınlamayı telafi etmek için koroya destek sağlayabilir. Uzun/dar yaklaşım, üstte bulunan ses yansıtıcı panellerle (bulutlarla) daha başarılı olur. Bunlar, çok yönlü ses yansıtıcılarını sahneden dinleyicilere yönlendirerek netlik sağlayabilirler ve güçlendirilmemiş sesi destekleyebilirler [2].

Dünya üzerindeki başarılı çok amaçlı salonların her biri, uzun ve dardır, bunlar arasında Palm Sahili'ndeki Kravis Center, Pikes Peak Center, New Jersey Performing Arts Center'ı sayabiliriz. Daha geniş ve kısa olan, daha küçük boyutlu çok amaçlı salonlar da var olabilir, ancak küçük salonlar boyutları nedeniyle bazı kuralları bozarak işlerler [2].

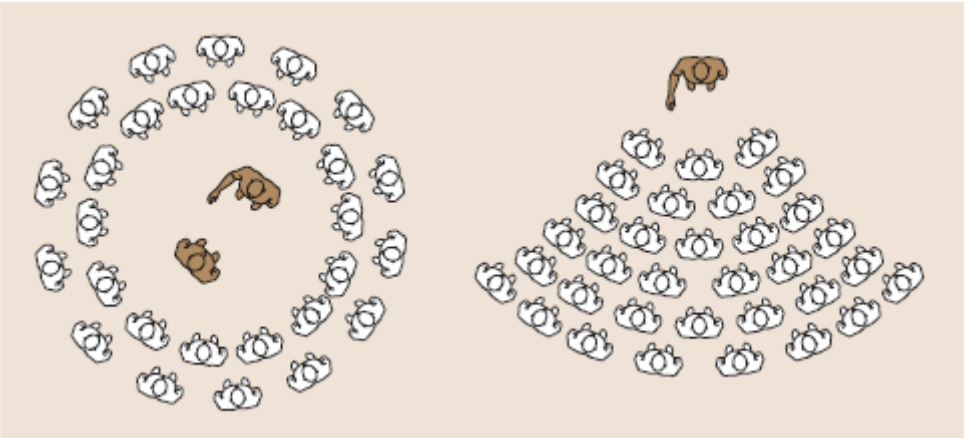
İnsanlar spontane bir performansı izlemek ya da dinlemek için durduklarında, örneğin şehirdeki açık bir meydanda, bu kişilerin kendilerini ayarlama şekli performansın türüne bağlıdır. Yeni gelen bir kişi performansı iyi göreceği ya da dinleyeceği en uygun yeri arayacaktır. Seçim, göstericilere yakın olmak ve seyircilerin yanında bir yerde veya daha uzakta ancak görüntü ve ses dağılımı için ana merkez hattına yakın olmak arasındaki tercihe bağlı olacaktır. **Şekil 3.2**'de, bu tür organik seyirci düzeni iki farklı türden performans için gösterilmiştir:

1. Görsel ve akustik yayımın az ya da çok her yöne olduğu, dans, kavga, tartışma, sirk gösterisi gibi hareket ya da diyalog gösterisi ve

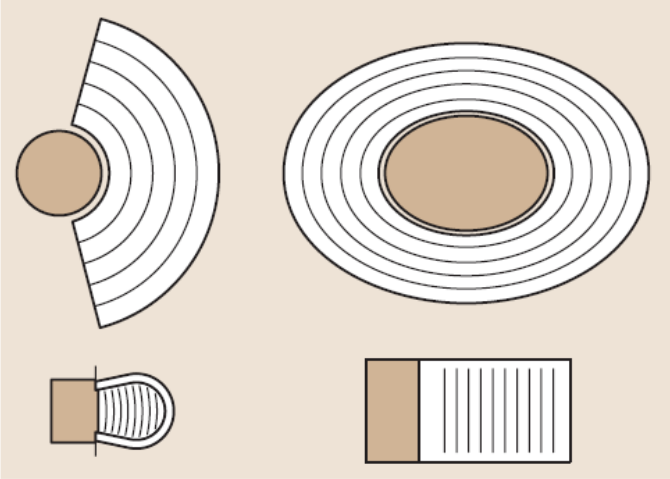
2. Daha sınırlı görsel ve/veya akustik yönelime sahip monolog veya sahne tiyatrosu gösterileri ve akustik enstrümanlarla verilen konserler.

Bir araya gelmiş insanların çevresine duvar ördüğümüzde, kültürel tarihimizin ilk zamanlarında geliştirilmiş iki klasik plan şekline ulaşırız. Bunlar **Şekil 3.3**'ün üst bölümünde gösterilmiştir: fan şeklindeki Grek/Roman tiyatrosu (solda) ve amfi tiyatro, sirk ya da arena (sağda). İkisi de açık hava tiyatrolarıydı; ancak şekiller çatılı binalarda sürdürülmüştü. **Şekil 3.3**'ün alt bölümünde sonraki temel formlar gösterilmiştir: at nalı, İtalyan opera planı, ve dikdörtgen konser salonu. Sonuncu

form aslen geleneksel bina formlarının ve çatıdaki ahşap kirişler arasındaki çatı açıklıklarındaki sınırlamaların sonucudur [6].



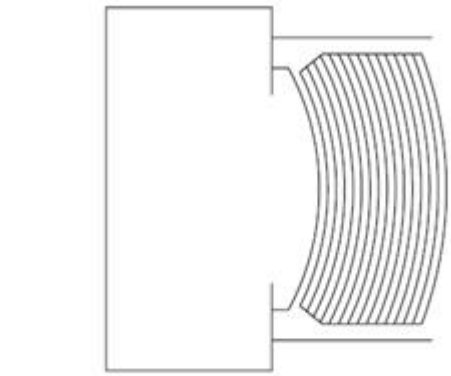
Şekil 3.2 : Performans tipine bağlı olarak seyircinin organik yerleşimi [6].



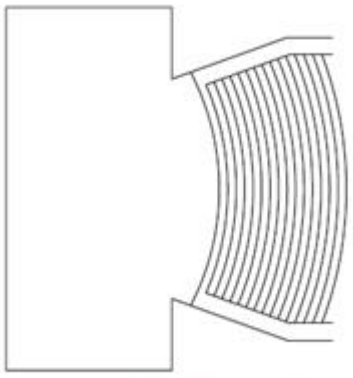
Şekil 3.3 : Temel salon şekilleri [6]

Zemin planları programın başında düzenlenir. Oturma planı, hacim, görüş alanları, sirkülasyon alanları ve estetiği de içinde barındıran ana program hattını teşkil eder. Konuşma için tasarlanmış bir odada, dinleyicinin konuşmacının yakınına getirmek iyi bir uygulamadır. Özellikle balkonları olan yelpaze planlı bir salonda, dikdörtgen bir odaya nazaran daha çok dinleyici, konuşmacıya yakın oturabilir. Güçlü yanal yansımaların önemli olduğu güçlendirilmemiş müzik için, yüksek tavana sahip dar dikdörtgen bir salon geleneksel olarak en iyi tasarımı sağlar. Karışık tarzda kullanımlar için tasarlanmış odalarda, konuşma ve müzik gereksinimlerinin arasındaki uzlaşma iyi belirlenmelidir. Genel kullanımlı salonlar tipik olarak dikdörtgendir, odanın önüne yakın duvarları sahne dışında açılandırılmıştır. Konuşma salonları (lecture halls) için karşılıklı duvarlar arasındaki açı 140°'yi

geçmeyecek şekilde, yelpaze plan tercih edilir. Karışık kullanım alanlarında dâhil edilen açılar 40° ile 80° arasındadır ve daha küçük açılar müzik için daha iyidir. Örnekler **Şekil 3.4**'te verilmiştir [10].



Dikdörtgen oturma planı - Zayıf yan duvar yansımaları
Sahne tepkisinde potansiyel tekrarlayan eko



Açılı oturma planı - Daha iyi yan duvar yansımaları

Şekil 3.4 : Sahne yakınında yan duvar tasarımı [10].

Odanın arkasında bulunan yan duvarlar, öndekilere nazaran paralel ya da dışa doğru ufak miktarda açıyla genişleyen şekilde olmalıdır. Arka tarafta düzgün koridorlara ve sabit genişlikte oturma yerlerine izin verirken, bu şema sahnenin ya da platformun yakınındaki duvarlardan yararlı erken yansımaların gelmesini sağlar. Büyük çok amaçlı tiyatrolarda, dinleyiciye iyi bir görüş alanı sağlamak giderek zorlaşmaktadır. Bu durumlarda, yanlardan kesilmiş bir veya daha fazla balkonlu yelpaze şekli genel olarak tercih edilir. En uzak dinleyiciye olan mesafe, performansın türüne göre değişir [10].

3.1.2 Oturma planı

Sirkülasyon ve yapı yönetmeliği gerekleri zemin planının şeklini etkiler. Geleneksel oturma düzeninde, Amerikan yapı yönetmeliği, oturan bir kişi ile koridor arasında en

fazla 6 koltuk olabileceğini ve dolayısıyla bir oturma bölümüne en fazla 14 koltuk konulabileceğini söyler. Normal arka arkaya dizilen koltuklar arasındaki mesafe 92cm-97cm arasında olmaktadır. Geleneksel oturma düzeninde daha geniş sıra aralıkları (1.01m-1.07m) olursa 6 koltukluk sınırlama kuralı geçersiz olur. [10]

Merkezi bir koridorun bulunup bulunmayacağına karar vermek programa göre belirlenir. Dini yapılarda, geleneksel düğün törenlerindeki gibi toplu bir yürüyüşe müsaade etmek için bir merkezi koridor yaygın tercih olarak karşımıza çıkar. Bir tiyatro da en iyi koltuklar merkezde bulunanlardır, bu demek oluyor ki çift sayılardaki koridor sayısı daha iyi bir seçenek anlamına gelmektedir. Engellilerin oturma ihtiyaçlarında hem tekerlekli sandalyelerin konulabileceği boş bir alana ve refakatçisinin oturabileceği yakın bir koltuğa ihtiyaç vardır [10].

Konser salonu için en çok sınırlayıcı iki değer şöyledir: biri dinleyici kapasitesi, diğeri ise doğrusal boyutlara dayanır. Başarılı bir akustik tasarımın zorluğu, dinleyici sayısının artışına bağlı olarak artar. Normalde bir konser salonu için maksimum koltuk sayısı 3000 olarak verilmiştir. Aslında önemli olan dinleyici sayısı değil, dinleyicilerin oturduğunda kapladıkları oturma alanıdır. Bu alan; çınlama süresi ve ses seviyesini etkileyen toplam emiciliği belirler. 3000 sayısı, tipik oturma yoğunluğuna işaret eder (koltuk başına yaklaşık 0.5 m^2 civarı). Eğer koltuk alanlarının standartlarında daha cömert davranılırsa, daha az sayıda dinleyici salona yerleştirilebilecektir. Konser salonlarına uygulanan ikinci sınırlayıcı değer dinleyicinin sahneye olan uzaklığı ile ilgilidir. Konser şartlarında max.40m öngörülmüştür. Bu sınır akustik sebepler kadar görsel sebeplerden dolayı da belirlenmiştir. En iyi koltuklar orkestra şefine olan uzaklığı 18 m'yi geçmeyen koltuklardır [1]. Bu konuyla ilgili literatürden elde edilen bir diğer veri ise şöyledir: görsel limitler nedeniyle koltuklar açık sahnenin geometrik merkezinden en fazla 20 metre mesafede bitmelidir (mesafe en fazla 30 m'ye yükseltilebilir) [11] İnsan gözü 30 m mesafede olan bir nesneyi yaklaşık 9mm algılar. En arka sıra 41 m'ye çekilirse, en küçük görülebilir boyut 13mm olacaktır ve kalkan bir kaş veya yapılan küçük bir el/kol/baş hareketi gözden kaçacaktır. Eğer güç algılanan yüz ifadelerinin görülebileceği bir tiyatro tasarlanacaksa, en uzak izleyici, sahneye 24 m'den (80 ft) uzak olmamalıdır [10]. Sirkülasyon alanları 100 kişiye 1m.'lik en az genişlik isabet edecek şekilde hesaplanmalı ve geçit enleri en az 1.50 m olmalıdır [12].

Bu tasarı, orkestra performansları için olan oturumdan daha kısıtlayıcı bir gerekliliktir ve ilk zemin (ana zemin) oturma planını, 14 koltuklu 3 bankı, 26 sıra ya da 1100 civarında koltuk sayısı ile sınırlandırır. (İki yan geçit arasında bulunabilecek azami oturma yeri sayısı 28 koltuk, balkonlar için 24 koltuktur. Yan geçitler paralelinde ara geçitler bulunuyorsa salonlarda yan geçit ile bir sonra gelen ara geçit arasında bir sırada en çok 21, balkonlarda 18 oturma yeri bulunabilir. Ara geçitler arasında bir sırada bulunabilecek en çok oturma yeri sayısı salonlarda 14, balkonlarda 12'dir. [12] Çok geniş yerlerde yerleşim yelpazesi, merkezi bir koridora sahip dört yerleşim bankı veya her dış duvarda yarım bank olan 3 banklı daha büyük açılara zorlar. New York'taki "Radio City Music Hall" da örneğin 5 oturma bankı vardır. Dinleyicilerin kalanı ise aşağıdaki dinleyici alanını gölgelemeyen balkonlara yerleştirilir. Samimi tiyatro gösterileri için 1500'den fazla dinleyici için dinleme salonu tasarlamak zordur. Geniş salonlarda performansın türü mekânın ölçeğine göre ayarlanmalıdır [10].

Din ya da tiyatro binaları bazen dairesel veya çok yüzeyli altıgen ya da sekizgen şeklinde zemin planlarına göre tasarlanabilir. Bu tarz şekillerden mümkün olduğunca kaçınmak gerekir çünkü böyle şekiller sesi odaklar ve yüksek ses seviyeli belirli bir bölgenin oluşumuna neden olur. Yuvarlak şekilli kiliseler ve tiyatrolar sesi yayıcı veya toplayıcı duvarlara sahip olsa bile aynı şekilde zayıf akustik tercihlerdir. En iyi ihtimalle bile, bunlar büyük çaba ve maddi gidere rağmen ortalama bir ses kalitesine sahiptir. İbadet yerleri dinleme salonlarından daha yüksek bir tavana ve tarihi köklere dayanan görkemli mimari formlara sahiptirler. Dini yapıların tavanları odaklanan yansımalar üreten kubbe şeklinde olabilir. Uzun gecikmeli yansımalar konuşmacının ardından yükseltilmiş halde gelir. Bu etki bilhassa tatsız olabilir. Seviye ve gecikme zamanının birleşimi vardır (100-150 msn civarında), yani konuşmacının ahengini bozar, en kötü durumda, normal konuşmaya kötü bir mani olur. Büyük içbükey şekillerden, özellikle konuşmacı ve dinleyici eğrinin merkezinin yakınında olduğunda kaçınılmalıdır [10].

3.1.3 Salon hacmi

Bir oditoryumda salonda bulunan kişiler temel ses emici unsurlar olduğu için hacim ve dinleyici ile performansçıların kapladığı alan arasındaki orantı mümkün olabilecek en iyi çınlama süresi için önemli bir unsurdur [6]. Oda hacimleri, her bir

koltuğun başına düşen hacim hesaba katılarak seçilir. İdeal çınlama süresinin konuşma için düşük olmasından dolayı, her koltuk için seçilen hacim de küçüktür ($2.3m^3 – 4.3m^3$). Güçlendirilmeyen müzik için bu değerler $4.5m^3$-$11.3m^3$ arasındadır. Çok amaçlı kullanımlar için tasarlanmış odalarda hacim değerleri ($5.1m^3$-$8.5m^3$) arasındadır. **Çizelge 3.1**, odaların kullanım amaçlarına göre genel değer aralıklarını göstermektedir [10].

Çizelge 3.1 : Oditoryum tipine göre kişi başına düşen hacim aralığı [9].

	Koltuk başına hacim (m^3)		
Oditoryum Tipi	Minimum	Ortalama	Maksimum
Konuşma Salonu	2.3	3.1	4.3
Konser Salonu	6.2	7.8	10.8
Opera Salonları	4.5	5.7	7.4
Roma Katolik Kilise	5.7	8.5	12
Kiliseler/Sinagoglar	5.1	7.2	9.1
Çok Amaçlı Salonlar	5.1	7.1	8.5
Sinemalar/Tiyatrolar	2.8	3.5	5.1

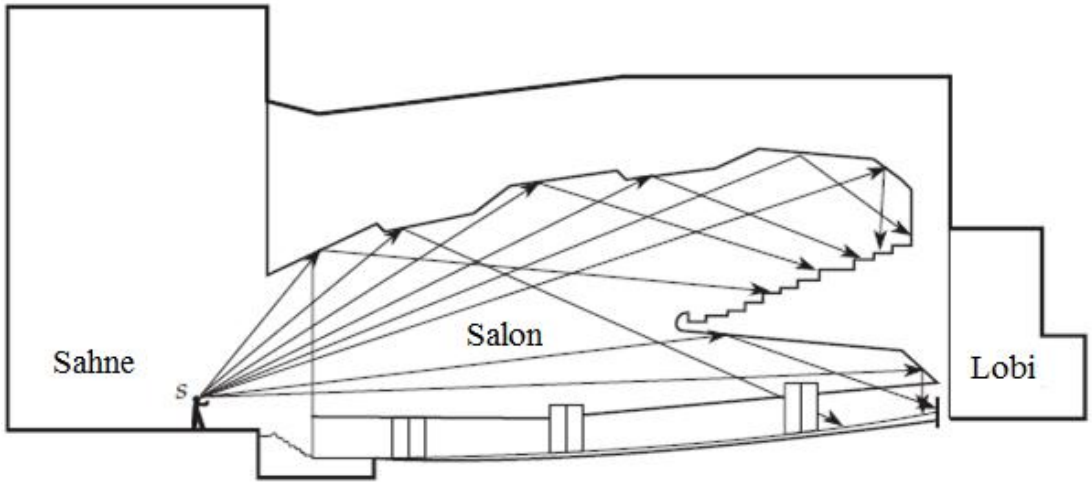
3.1.4 Tavan ve duvarlar

Tavan yüksekliği, gerekli olan toplam oda hacmine göre belirlenir. Kabaca tavan yüksekliği, oda genişliğinin 1/3'ü veya 2/3'ü kadardır. Daha düşük oran büyük odalar için ve daha büyük oran küçük odalar kullanılır. Gereğinden fazla yüksek bir tavan çok büyük bir oda hacmiyle sonuçlanabilir ve ayrıca istenmeyen geç yansımalara sebep olabilir. Potansiyel tekrarlayan ekolardan kaçınmak için, zemine paralel olmayan bir tavan olmalıdır [13].

Çoğu salonda tavan geometrisi, sesi salonun arkasına yönlendirecek şekilde ya da bütün salona bir uçtan diğer uca yayacak şekilde tasarlanmıştır. (**Şekil 3.5**). Bir tavan, sesi farklı oturma alanlarına yansıtacak şekilde belirli ebat ve açılarda konulmuş birkaç parçadan oluşabilir. Örneğin; sahneden uzakta bulunan tavan sahneden en uzaktaki sıralara sesi yansıtırken, sahneye yakın olan tavan yakın sıralara yansıtabilir. Bazı salon tasarımlarında tavan, birkaç bağımsız bölüm olarak salon akustiğini çeşitlendirmek için yükseltilir veya alçaltılır. Örneğin tavan alçaltıldığında, salon akustiği daha samimi olur [13].

Kubbe, fıçı şeklinde tavan ve silindirik kemerler gibi iç bükey yüzeyler, istenmeyen ses odaklanmaları üretmelerinden dolayı tercih edilmemelidir. Arka duvar, herhangi bir geniş, kırılmamış iç bükey geometriden kaçınmalıdır. Yan duvarlar paralel

olmamalıdır. Bu durum, duvar yüzeyleri eğilerek veya dışa doğru genişletilerek engellenebilir. Bu açılar, yansıyan sesi dinleyici oturum alanına yönlendirmek için ve yayılımı sağlamak için avantajlı olarak kullanılabilir. İstemeyerek oluşan iç bükey şekiller ya da istenmeyen açılar emici malzeme ile kaplanmalıdır [13].



Şekil 3.5 : Tavan parçaları salondaki belirli oturma alanlarına sesi yansıtmak için ayarlanıp açılanabilir [13].

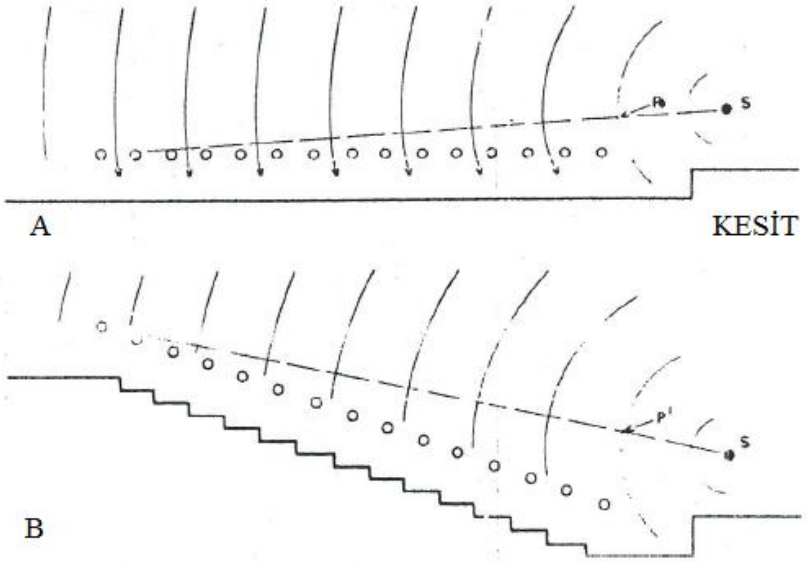
3.1.5 Kesitteki oturma düzeni ve zemin eğimi

Büyük bir dinleme salonunun zemini, yeterli görüş alanı sağlamak için eğimli olmalıdır. İyi görüş alanı, iyi dinleme koşullarını sağlamaya yardımcı olur. Önde oturan kişinin başının arkadaki kişinin görüşünü engellemeyecek şekilde, herkesin sahnenin en alçak noktasını görebilmesi amacıyla görüş hatları ayarlanmalıdır ve bu en alçak noktaya "görüş noktasının gelişi" (APS) denir. Teoride; bir tiyatroyu her sırası görüş açısından açık bir şekilde tasarlamak mümkün olsa bile, pratikte bunu uygulamak zemin eğiminin çok dik olmasına neden olur. Kabul edilen durum ise arkada oturan kişinin öndekilerin arasından sahneyi görebilecek şekilde oturuşunu ayarlamasıdır. Yani birçok tiyatro her diğer sıradan görünürlük ile tasarlanmıştır [10].

Seyirci üzerinden sürünerek (sürtünerek) geçen direkt ses dalgaları, **Şekil 3.6A**'da oklarla belirtilen biçimde emilir. Bu emilim giderek artar ve zemin kotunda salonun arkalarındaki işitme zorluğunun baş sorumludur. Bu problem, mesafeden kaynaklanan düşüşe ek olarak ses seviyesinde bir kayba neden olur [14].

Eğer, **Şekil 3.6B**'deki gibi eğimli bir zemine oturan dinleyici durumunu düşünecek olursak, arka sıradaki dinleyicilere ulaşan ilk ses dalgası parçası ön sıralardaki

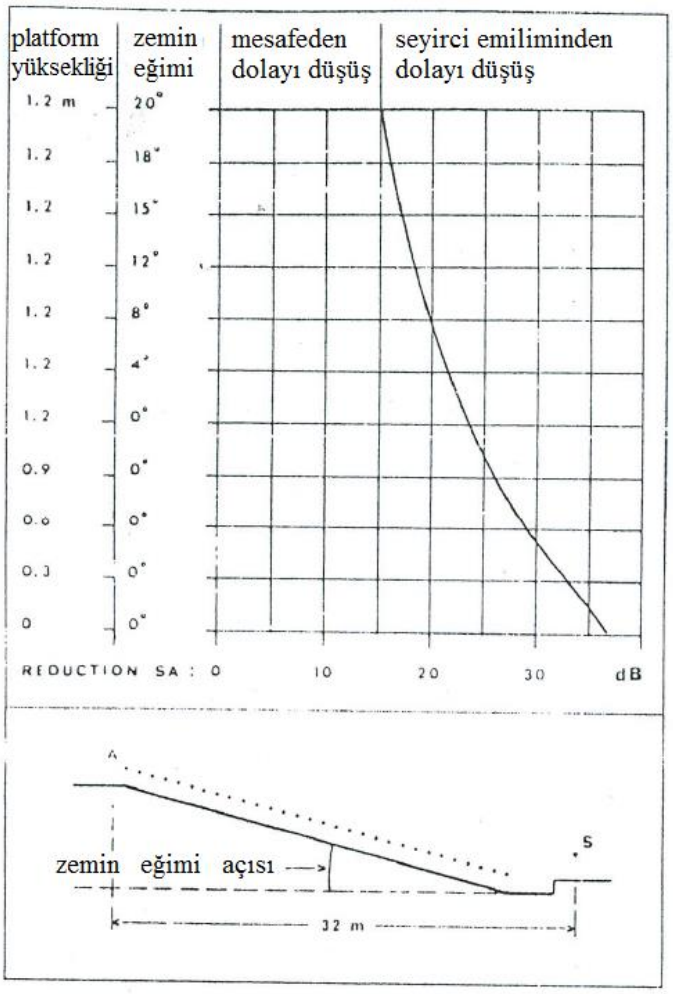
dinleyicilerin kafasının üzerinde iyi durumdadır ve dahası küçük veya olmayan bir emilime götürür. P ve P', bahsedilen ses dalgalarının parçalarını belirtir. Böylece, oditoryumun zemini eğimlendirilerek direkt sesin seyirci tarafından emilimi azaltılabilir, hatta ortadan kaldırılabilir [14].



Şekil 3.6 : Seyirci üzerinden sürünerek geçen ses dalgaları [14].

"Beyaz gürültü" geniş aralıktaki frekansların dengeli karışımının olduğu bir sestir ve kabataslak bir şekilde konuşma frekansları aralığı ile eşit sayılabilir. Dinleyicilerin başları üzerinden geçen "beyaz gürültü" nün düşüşünü ölçen deneyler, 30 koltuk sırasına sahip bir salondaki "dinleyici emiciliği"ni saf dışı bırakmak için zemin eğiminin 20º'lik bir düzende olmasını tavsiye eder. Bu deneylerin sonuçları **Şekil 3.7**'de verilmiştir. Zemin kotunun ve düşük platformun aşırı durumunda, arka sıralarda seyirci emiciliğinden kaynaklanan ses seviyesindeki düşüşün, mesafeden kaynaklanan kadar çok olabileceğini deney sonuçları açık bir şekilde göstermiştir [14].

Görüş çizgileri için eğim verilen salonlarda bile, ses dalgalarının ses kaynağı ve koridorun açısı arasındaki ilişki sebebiyle dinleyicilerin başları üzerinden sürtünerek geçebileceği unutulmamalıdır. Koridorun eğimi güvenlik sınırlamalarına uygun olarak olabildiğince yüksek olmalı ve derinliği de sınırlanmalıdır [14].



Şekil 3.7 : Ses seviyesindeki düşüş – zemin eğimi grafiği [14].

Birçok sıradan oluşan oturtulmuş dinleyiciler, düz bir zemin üzerine yerleştirilirlerse, sahnedeki kaynaktan gelen dolaysız ses ve dinleyici yüzeyine olan yansıma, neredeyse aynı olan mesafelerde ilerledikten sonra bu dinleyici alanında bir alıcıya çarpacak ve yansıma, dinleyici yüzeyine, yüzey düzlemine göre çok küçük bir açı ile çarpacaktır. Bu sürtünme geliş açısında (grazing angle of incidence), yüzeyin yayılım, emicilik değerine bakmaksızın tüm enerji yansıtılacaktır, ancak yansıyan dalgadaki basınç fazı (pressure phase) 180° değişecektir. Bundan dolayı, dolaysız ses ve sürtünme etkisiyle yansıma (grazing incidence reflection), geniş bir frekans alanında birbirini etkisizleştirecektir. Onuncu sıradan sonraki koltuklarda bulunan tipik azalma değerleri, engellenmemiş bir dolaysız sese oranla 100-800Hz aralığında 10-20 dB'e çıkabilir. Ayrıca, 1000 Hz'den daha yüksek frekanslar 10 dB'e kadar azalacak ya da daha ziyade sesin ön sıralarda oturan kişilerin başlarından saçılması nedeniyle azalacaktır [6].

Dolaysız ses için yukarıda bahsedilen aynı azalma değerleri, dikey yan duvarlardan gelen birinci dereceden (first-order) yansımalar için de geçerli olabilir. Sonuç, daha zayıf dolaysız ses ve yatay koltuk alanlarında erken yansımalar ve koltuklarda azalan netlik, samimiyet ve sıcaklık sübjektif etkileri olacaktır. Bu sürtünme etkisiyle azalmayı (grazing incidence attenuation) engellemek için, koltukların kaynağa doğru eğimlendirilmesi gerekmektedir [6].

Görüş çizgileri arasında minimum 8 cm'lik bir netlik değeri, sürtünme etkisiyle azalmayı (grazing-incidence attenuation) engellemek için yeterli olacaktır; ama her dinleyicinin direkt ön sırada oturan kişinin kafasının üzerinden değil de ön sırada oturan iki kişinin kafasının arasından sahneyi gördüğü karışık oturma düzeni uygulanmazsa görüş çizgileri hâlâ yetersiz olacaktır. Eğer netlik 12 cm civarına yükseltilirse, hem akustik hem de görsel şartlar memnun edici olacaktır, ama bu da dik bir zemin eğimi anlamına gelir [6].

Dik bir eğim, hacmi ve böylece de çınlama süresi T'yi azaltacaktır. Bunun yanı sıra geometrik faktörler de, Sabine hesabının tahminlerinin ötesinde T'yi azaltabilir. Bunun nedeni yükseltilmiş koltukların ve bunların tavandaki yansımalarının, kaynaktan bakıldığından daha geniş bir açıyı kapsamasıdır. Bundan dolayı, elde edilen ses enerjisinin büyük bir kısmı emici koltuklara çabucak ulaşacak ve odadaki çınlayan ses alanını beslemek için çok az bir miktar enerji bırakacaktır. Sonuç, dik eğimli oturma düzenine sahip salonlarda daha fazla netlik ve daha az çınlama olmasıdır [6].

Sonuç olarak, klasik müzik salonlarında görüş çizgileri arasındaki mesafe yaklaşık 8 cm ya da zemin eğimi 6° olarak sınırlamak iyi bir fikir olacaktır, ancak hem anlaşılırlığın hem de iyi görüş açısının öneme sahip olduğu oditoryumlar ve tiyatro salonları için 12-15 cm'ye ya da 8°-10°'ye yakın değerler tercih edilebilir [6].

Zemin eğimi, büyük ölçüde, seçilen APS'ye bağlıdır. Yüksek bir APS, film tiyatrolarındaki gibi, nispeten sığ eğimli zeminde bile iyi bir görüş alanı sağlar. Sahne zemininin yükseklikleri, en ön sırada oturan kişinin aktörlerin ayaklarını görebileceği kadar alçak ama APS'nin aşırı bir zemin eğimine neden olmayacağı kadar yüksek olmalıdır. Göz yükseklikleri, bayan dinleyici için 1.12m'den başlar ve erkek için 1.22m'ye kadar gider. Orkestra seviyesinde oturma planında ilk 10 sıranın eğimi 1:9; buradan sonra ise 1:8 olarak ayarlanmıştır ve bu 1.07 m yükseklikte bir

tiyatro sahnesi için iyi bir ölçü olarak görülmüştür. Engellilerin girişleri için 1:12 eğimden fazla eğim gerektirmeyen yapı yönetmelikleri, zemin tasarımının değişmesini gerektirebilir [10].

Ya müzik ya da konuşma için tasarlanan salonlarda eğimli zemin tercih edilir; bu durum özellikle büyük salonlar için böyledir. Eğimli zemin görüş alanını iyileştirir ve aynı zamanda oturma alanındaki aslına uygunluğu geliştirir. Dinleyici eğimli zeminde otururken, düz zemindekine nazaran daha çok doğrudan ses alır. Her iki zemin tipinde sahne yüksek olmalıdır. Bazı tasarımlarda zemin eğimi, sahneden olan uzaklığa göre sabittir; basamaklar eşittir. Diğer tasarımlarda, sahneden uzaklıkla eğim artar; basamaklar eşit değildir [13].

Başka tasarımlarda, zemin eğimi sahnenin yakınında sabit daha sonra başka bir sabite değişir fakat sahneden uzaklaştıkça eğim daha dik hale gelir. Bazı salonlarda, sahneden dinleyiciye olan uzaklığı azaltırken seyirci kapasitesini artırmak için bir balkon kullanılabilir. Balkonlar için nispeten daha dik zemin eğimi kullanımı yaygındır [13].

Dinleyici ses emiliminin en aza indirilmesi gereken salonlarda eğimli bir zemin tercih edilir. Daha direkt bir gelme açısı, sesin daha geniş bir dinleyici alanı üzerinden geçmesine neden olan küçük açılara göre daha az emilime müsaade eder. Dinleyici üzerinden geçen sesin frekans tepkisi, bu sesin gelme açısından önemli oranda etkilenir. Daha düşük gelme açılarında, düşük frekansta 10'dan 15 dB'e kadar derin ve iki oktava uzanan 150 Hz civarındaki bir düşüş, dinleyicinin baş hizasında meydana gelir. Ayrıca bu etki, çoğunlukla doğrudan ve erken gelen ses için ifade edilir. Çözüm ise erken çınlama enerjisinde düşük-frekans desteği tasarlamaktır. Dik bir zemin de bu durumda ayrıca yardımcıdır ve bazı kanıtlar göstermiştir ki güçlü tavan yansımaları da yardımcı olmaktadır [13].

3.1.6 Sahne tasarımı ve şekli

Denge, karışım ve birlik müzisyenlerin performansları için önemlidir. Senfonik performanstaki iyi "denge", herhangi bir enstrümantal grubun bir diğerinden baskın olmaması, diğeri tarafından ezilmemesi anlamına gelir. Tatmin edici "karışım" ise orkestra sesinin farklı kısımlarının, sıkıca birbirine sarılmış bir çift gibi olmasıdır, ayrı kısımların beraber çalınmak için can çekişmesi değildir. "Birlik"ten kasıt

performansçıların, şefin her hareketini seyretmeden ahenk ve bütünlük içinde çalmasıdır [15].

Bu nitelikler, "salonun arkalarına gönderme" akustiği tarafından bir araya getirilmiştir. "Salonun arkalarına gönderme", salonun yanlarındaki, arkasındaki ve sahnenin üzerindeki ses yansıtıcı yüzeyleri ve tavanla yan duvarların dinleyicinin ön kısımlarına yakın bu parçalarını içerir [15].

Çok geniş ya da derin sahnelerin ciddi dezavantajları vardır. Sahne çok geniş olduğu zaman, sahnenin iki yanına ve salonun ön kısmına oturan seyirci sahnenin diğer tarafından gelen seslerden önce yakınındaki sesleri duyacaktır. Zamandaki bu farklılık, "karışım"ı olumsuz yönde etkileyebilir. Diğer taraftan, sahne çok derin olduğu zaman, sahnenin arkasında kalan enstrümanlardan gelen ses dinleyicinin kulaklarına sahnenin önündeki sesten sonra aynı kötü etkilerle algılanabilir bir an olarak gelir ve bu kusur bütün dinleyiciler tarafından işitilebilir. Buna ek olarak, çok geniş bir salon şef için orkestranın parçalarını "birlik" içinde tutmasını zorlaştırır [15].

Sahne üzerindeki çınlayan alanın sınırlarındaki asılı kanopi (saçak) ve yansıtıcı yüzeyler müzisyenler arasındaki iletişimi artırır ve her performansçının da kendi enstrümanını duymasına imkân sağlar [15].

Sahnenin ortalama genişliği 18.3 m'den (60 ft) ve toplam alan 186 m^2'den (2000 ft^2) fazla olursa, özel araçlar (special means) müzisyenlere erken yansımalar üretmek için sağlanmalıdır, böylece performans sırasında müzisyenler birbirlerini duyabilsinler. Yansıtıcı alt yüzeylerin (soffits), sahne tavanların, asılı panellerin, kanopilerin, rafların kombinasyonu ve yayılım düzensizlikleri "salonun arkalarına gönderme"nin mimari tasarımına dahil edilmelidir. Hangi sahne tasarımı seçilirse seçilsin akustik olarak salonun genel mimarisi ile bütünleşmeli ki sesi seyirciye düzgün denge ve karışımla aktarabilsin [15].

Platform zeminini seçmek, akustik ihtiyaçlar ile rahatlık arasında bir uzlaşmadır. Seyircilerin oturma düzenindeki standartlar gibi, platformdaki her müzisyen için talep edilen alan da son yıllarda artış göstermiştir. Viena Musizkvereinssaal'daki platform alanı 130 m^2 olmakla birlikte tam takım orkestralar için başarıyla kullanılabilirken, Münih'te bulunan ve daha yeni sayılan Philarmonie Gasteig Salonu

250 m^2'lik bir platforma sahiptir. Müzisyenler sahnenin önüne doğru hareket eder ve mevcut alanı doldurmaya çalışır [1].

Müzisyenler, geniş bir platform alanına ne kadar yayılırsa bu durum mesafelerin uzamasına ve müzisyenler arasındaki akustik iletişimin o kadar bozulmasına neden olacaktır. Gade (1989), 8m'den fazla mesafelerde, doğrudan sesteki gecikmenin, birlik içinde çalmanın kolaylığını düşürmeye yeteceğini bulmuştur. Yakın bir mesafeye çalarken, güçlü enstrümanlara yaklaştıkça ses seviyesinin artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bir davulun ya da üflemeli bir çalgının yakınındaki çok yüksek ses seviyeleri, orkestradaki başka herhangi bir sesi maskeleyebilir ve hatta bu alanlarda yer alan müzisyenler için tehlikeli bile olabilir. Bu gibi yerle ilgili problemleri çözmek için plandaki ayarlama ile, basamakların kullanımı ile veya diğer her şey başarısız olursa orkestra içinde küçük panolar kurarak gereken değişiklikler yapılmalıdır. Öne doğru harekete meyilli olmak birçok sebepten dolayı tehlikeli olabilir. Orkestranın kendisi arka duvardan ve/veya tavan yansımalarından daha az fayda görecektir. Sahnenin arka duvarından gelecek geç bir yansıma seyirci için netliği bozabilir. Sahnenin ucunda yerleşmiş bir orkestra, sahnenin perde önü bölümünden gelecek, solistten veya zayıf bir yaylı çalgı bölümünden çıkan sesi salon hacmine yöneltmeye yarayacak özellikle yararlı bir yansımayı kaybedecektir. Beranek (1962 s.498) bir sözünde "müzisyenler kendileri için 1.9 m^2'lik bir alan isterler" demiştir. Bu, kemancılar için kesinlikle çok cömerttir. Fakat bu değer sahne için gerekli olan alanı tahmin ederken ortalama bir değer olarak kullanılabilir. 100 üyeli bir orkestra için yaklaşık 200 m^2'lik bir alan demektir. Daha yeni çalışmalar, farklı enstrüman gruplarına göre her bir üyeye düşen alanları şu şekilde gösteriyor [1]:

- Yaylı ve nefesli çalgılar için kişi başı 1.25 m^2,

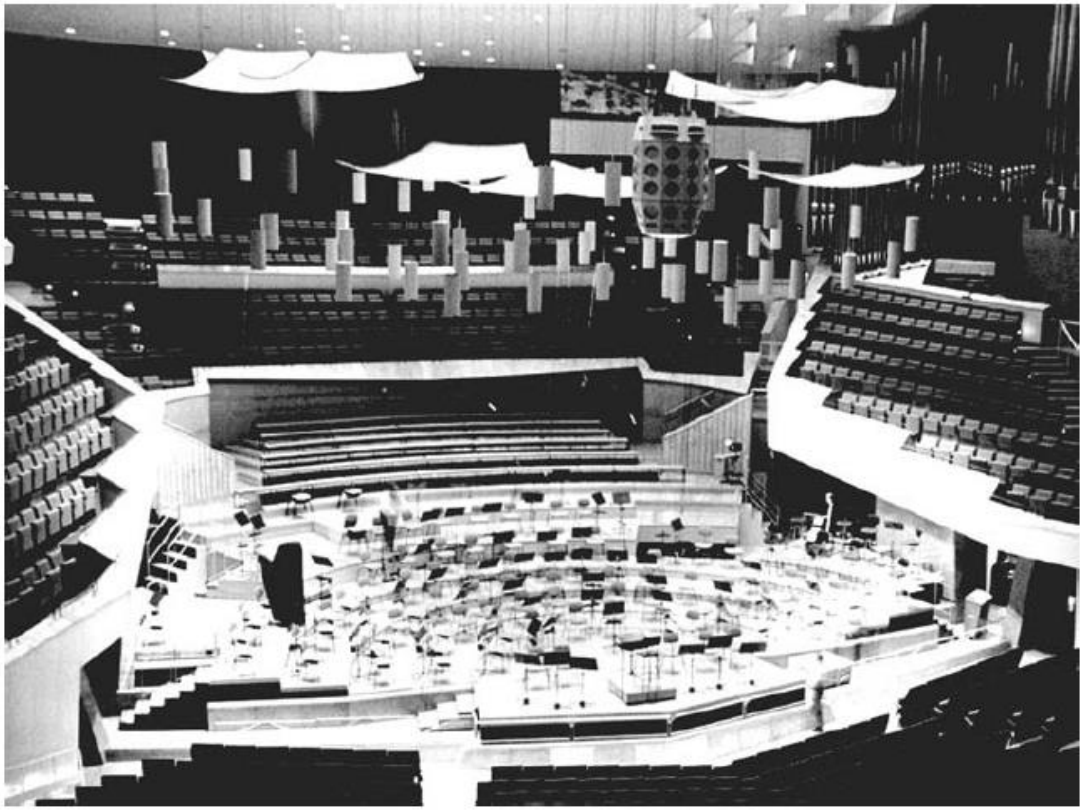
- Çello ve daha büyük nefesli çalgılar için 1.5 m^2, kontrbas için 1.8 m^2,

- Timpani (davul) için 10 m^2 ve 20 m^2'ye kadar diğer vurmalı çalgılar.

100 parçalı tam bir orkestra için (normal vurmalı çalgılar ile) bu alan 150 m^2 demektir. Eğer platform 200 m^2 olarak inşa edilmişse bu, solistler ve ekstra vurmalı çalgılar için ekstra geniş alan bırakmaktadır. Ayrıca arka ve yan duvarlar boyunca uzanan dar bir boş alan avantajlı olabilir, örneğin duvara karşı oturması rahat olmayan Fransız kornosu gibi. Oturan korolarda kişi başı 0.5 m^2 ve toplam 100

kişilik bir koro 50 m^2 alana ihtiyaç duyar. Koro üyelerinin oturma alanı, sahne önünün biraz daha uzatılması ile, arka tarafta bulunabilir, Barbican Konser Salonu'nda yapıldığı gibi. Buna alternatif olarak Royal Festival Salonu'nda olduğu gibi koro üyeleri için ayrı yüksek bir koro balkonu olabilir. Koro mevcut olmadığı zamanlarda, onların oturduğu alan, konser müdavimlerine ayırtılabilir ki orkestra ile daha yakın görsel temas kurabilsinler. Orkestra içindeki mesafeleri en aza indirmek için, platform ne çok geniş ne de çok derin olmalıdır. 200 m^2'lik bir sahnede ortalama genişlik 18 m'yi geçmemelidir, bu da 12 m derinlik demektir (korosuz tam orkestra için). Küçük gruplar için etkili zemin alanının küçültülebilmesi önemlidir. İdeal olarak, Gulbenkian Great Hall'daki asansörlerdeki gibi hareketli inen çıkan sınırlayıcı duvarlar kullanılmalıdır. Eğer bunlar yoksa etraftaki duvarlardan gelen yansımaların etkisini artırmak ve müzisyenler arasındaki mesafeleri sınırlamak için müzisyenler arkaya doğru gitmelidir. Platformda basamakların bulunması, büyük orkestraların birlik içinde çalması için önemlidir çünkü arada oturanların arkasında gizli kalmaktan ziyade yerden belli mesafe yüksek oldukları için, doğrudan ses, uzak müzisyenler arasında daha serbestçe yayılacaktır. Müzisyenler arasında büyük mesafeler olduğunda (8m'yi aşan mesafeler yukarıda açıklandığı gibi zamanda gecikme sorunlarına yol açmakta), güçsüz bir doğrudan ses, her zaman daha geç gelen yansımalarla tam anlamıyla telafi edilemeyecektir. Yaylı çalgıların arka sıraları için konan platform yanlarındaki basamaklar ayrıca tavsiye edilmektedir, çoğu kez yarı dairesel basamaklar olarak uygulanan bir özelliktir. **Şekil 3.8**'de verilen Berlin Filarmoni ve Kitara Konser Salonundaki gibi [1].

Herhangi bir durumda, basamak sistemi orkestra birliğine fırsat vermeli, ebadı ne olursa olsun, platform üstünde çevre yüzeylerden gelen yansımaların yararının en uygun olduğu yere yerleştirebilmek çok mühimdir. Eğer sistem esneklikten yoksun ise, bu durum alanın boşa gitmesi ve birçok orkestra planında basamakların yanlış yerlerde görülmesine neden olur. Alan kaybını önlemek açısından her merdivenin yatay derinliği önemlidir. Üst yaylı (upper string) ve ahşap üflemeli çalgı için 1.25 m, pirinçten yapılmış çalgılar (brass) ve çello için ise 1.4 m. Kontrbas müzisyenleri, müzik standı önlerindeki basamağa yerleştirilmedikçe biraz daha derinliğe ihtiyaç duyarlar. Arka platform, koro için iki katına çıkacaksa, 1.4 m ikiye bölünerek 0.7 m'lik iki basamağa ayırabilir. Fakat koronun oturabilmesi için 0.8m'ye ihtiyaç vardır.



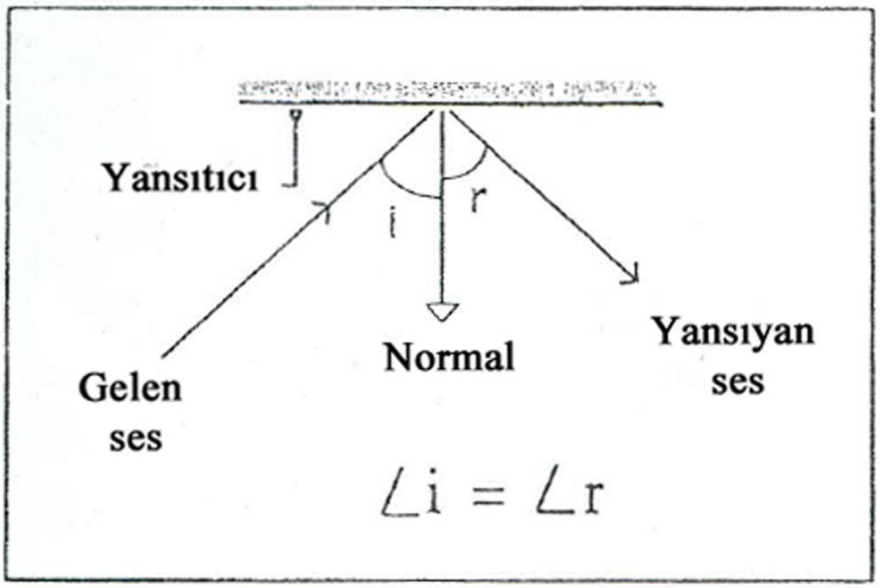
Şekil 3.8 : Filarmoni Konser Salonu'nun sahnesi, Berlin [1].

Vurmalı çalgılar ve timpani, aynı yükseklikte 1.4 m'nin iki katına ihtiyaç duyarlar. Basamak yüksekliği tutarlı yapılabilir, ahşap üflemeliler için her bir basamakta 100 mm ve daha geriler için biraz daha yüksek yapılabilir. Bununla birlikte yükseklikliklerin, orkestra düzenlemeleri ve seyirci dengesi açısından ayarlanabilir olması her zaman avantajlıdır. Sahne yükseklik 0.5m'den fazla olmak zorunda, aksi halde solistlerin seyirci üzerindeki "hakimiyeti" kaybolmaya başlar. 1 m'yi aşan değerler orkestranın orta kısmının dinleyicilerin ön sıralarında görsel olarak perdelenmesine, yani görünmemesi sorununa götürür. Sahne yüksekliği görüş çizgilerinin yer gösterme noktasını belirler ve bu, böylece oturma planının birçoğunda etkilidir [1].

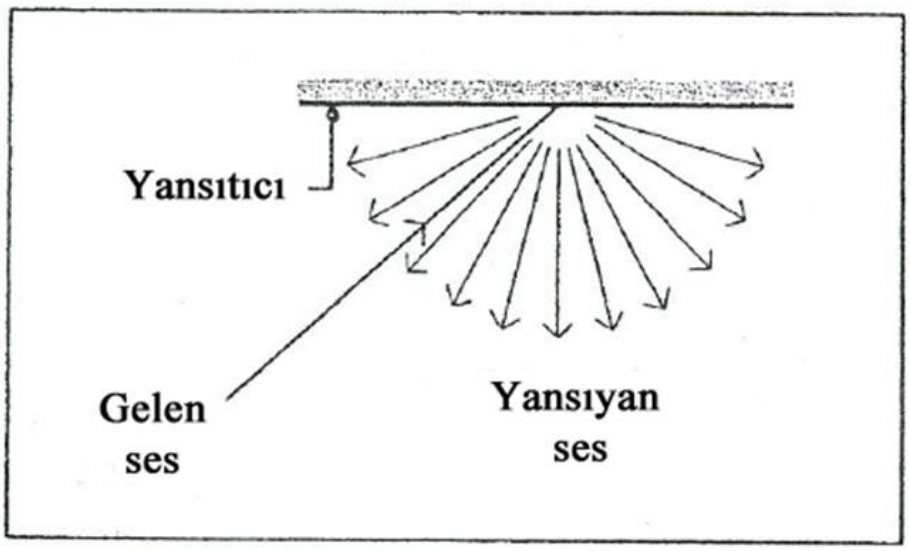
3.1.7 Sahnenin yan ve arka duvarları

Düzgün yansıma (specular reflection) ayna tipi yansımadır, ışığın aynadan yansıması gibidir. Düzgün yansımada yansıtılan ışın, yansıyan ışının normalle yaptığı açıya eşit bir açıyla yansır, geliş açısı yansıyan açıya eşittir (Snell Yasası), **Şekil 3.9**'da gösterilmiştir. Düzgün yansımanın meydana gelebilmesi için yansıtıcı yüzeyin "pürüzsüz" olması gerekir. "Pürüzsüz" kelimesi burada, yüzey dokusu ve

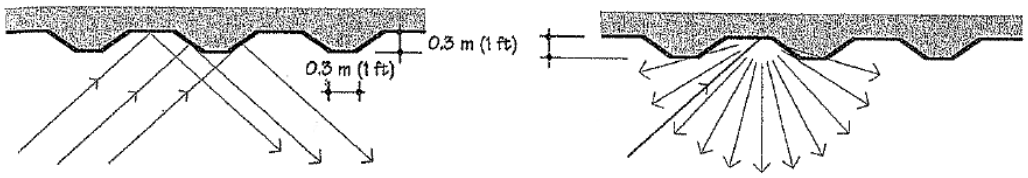
düzensizliklerinin sesin dalga boyundan çok daha küçük olduğunu ifade eder. Düzgün yansımanın karşıtı dağınık yansımadır (diffuse reflection). Dağınık yansımada, gelen ses bütün yönlerde eşit olarak yansıtılır (homojen saçılma / uniform scattering), **Şekil 3.10'**da bunun örneği verilmiştir. Dağınık ses yansıması mat bir yüzeyden, buzlu bir camdan yansıyan ışığın yansımasına benzer. Dağınık bir yansıma için, yansıtıcı yüzeye ciddi ölçüde doku ve düzensizlik verilmiş olması gerekir. Düzensizlik boyutları, neredeyse sesin dalga boyuna eşit olmalıdır, **Şekil 3.11'**de gösterilmiştir [5].



Şekil 3.9 : Düzgün ses yansıması [5].



Şekil 3.10 : Dağınık ses yansıması [5].



(a) 100 Hz frekanslı sesin yansıması (DÜZGÜN YANSIMA)

Sesin dalgaboyu (3.4 m) yüzey düzensizliklerinden çok daha büyük.

(b) 1 kHz frekanslı sesin yansıması (DAĞINIK YANSIMA)

Sesin dalgaboyu (yaklaşık olarak 0.3 m) yüzey düzensizlikleriyle benzerdir.

Şekil 3.11 : Frekansın, düzensiz bir yüzeyden yansıyan ses üzerindeki etkisi [5].

Ses yayılımı müzik performansları için kullanılan salonlardaki önemli gerekliliklerden bir tanesidir. Birkaç büyük, düzgün yansıtıcı yüzeye sahip ve sesi dağıtacak (yayacak) yeterli yüzey düzensizliklerini içermeyen bir salon "akustik parıltı" olarak bilinen sert yansımalar üretir, müzik için istenmeyen bir etkidir. Diğer yandan, yeterli yayılımın olduğu bir salonda, dinleyici farklı yönlerden ses alır ve müzik tarafından "sarmalanma" hissine bürünür, müzik için istenen bir histir [5].

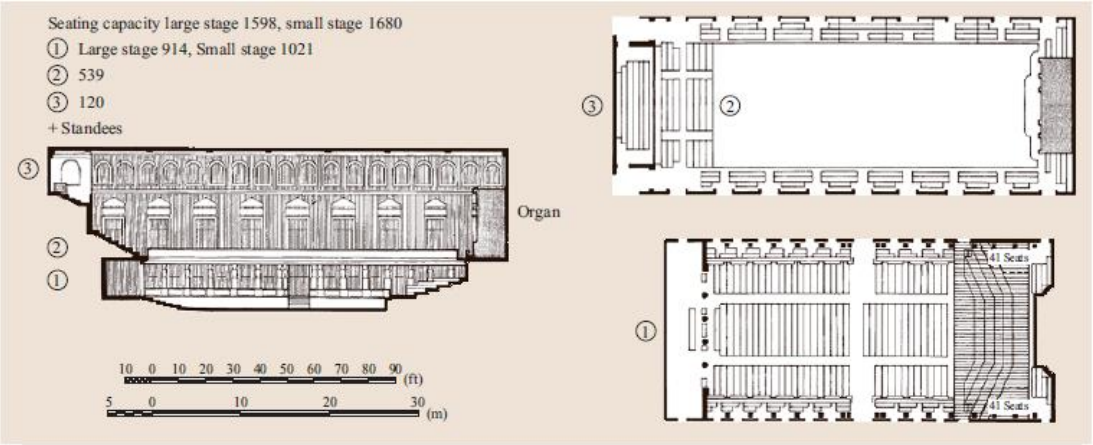
Aşırı yayılma, buna karşılık, dinleyiciyi kaynağın yerinin algısından mahrum bırakır, çünkü dağınık alanda ses bütün yönlerden geliyormuş izlenimi verir. Aşırı yayılma, konuşma için yapılan salonlarda kaçınılmalıdır, çünkü bu salonlarda ses konuşmacının kendisinden geliyor izlenimi vermelidir [5].

Düzensiz yüzeylerden gelen ses yayılımının bir konser salonundaki sese hoş, pürüzsüz bir nitelik kazandırdığı sıklıkla söylenir. Geniş pürüzsüz yüzeylerden gelen yansımaların hoş olmayan, kaba bir ses üretebileceği bir gerçektir. Musikvereinsaal Viyana gibi ünlü eski ve çok önem verilen salonlardaki yüzeylerin çoğunun, zengin süslemeler, pencere ve kapı nişleri, tavan süslemeleri sayesinde yansıyan sesi birçok yöne dağıttığı ve yaydığı da bir gerçektir, bu örnek **Şekil 3.12'de** verilmiştir. Hatta bu salondaki büyük avizeler de ses dalgalarını yaymaktadır [6].

Günümüzde birçok mimar, modernizmden etkilenmektedir ve tasarımlarını zengin süslemelerle doldurma konusunda pek hevesli değildir. Bu nedenle, sesi yeterince yayabilecek bir yüzey yapısına ulaşmak için mimarların ve akustikçilerin yakın irtibat halinde olmaları gerekmektedir, ancak duvarın/tavanın yüzde kaçının yayıcı özellikte yapılacağına dair iyi bir rehber olmadığından bunu tanımlamak zordur [6].

Yayılımı başarmanın ilk gerekliliği, kabartmanın profil derinliğinin dalga boyunun çeyreği ile karşılaştırılması ve yayılım malzemesinin doğrusal uzunluğu

(tekrarlanmadan önce) ile en düşük frekanstaki yayılacak dalga boyunun karşılaştırılmasıdır. Bu hesaba katıldığında, alçıdan yapılmış hafif, kıvrımlı yapılar, kırık taş yüzeyler, ahşap çubuklar, pürüzlü tuğla duvarlar gibi pek çok farklı çözümler hayal edilebilir [6].



Şekil 3.12 : Musikvereinsaal, Viyana; balkon, kat planları ve uzun kesit [6].

Platform etrafındaki duvar yüzeyleri, yansıyan enerjiyi geri müzisyenlere gönderecek şekilde ayarlanmalıdır. Mümkün olan yerlerde, yansımaların sönümlenmesini önlemek için yatay olmayan yansıma yolları sağlanmalıdır. Bunun sağlanması amacıyla salon geneline alt yüzeylerden ve bitişik dik yüzeylerden yansımaları vermek için duvarların üst kısımlarının ve balkon önlerinin aşağı eğilmesi ya da sahne etrafında balkon alt yüzeylerinin yansıma sağlanması tercih edilebilir [1].

Yüksek ses seviyelerinden dolayı kulak çınlaması ya da işitme kaybı yaşamış üyeleri olan orkestralar, mevcut veya yeni salonları hakkında tavsiye kabul etmekte gönülsüzdürler. Müzisyenler, duydukları şeye göre ses üretirler ve eğer yakınında çalan birini duyuyorsa, ister istemez daha yüksek sesle çalmaya başlarlar (telefon hatları gidip geldiğinde bağırarak konuşma ihtiyacı gibi). Başka bir deyişle, akustik koşullar, doğrudan sesin etkili yayılması ve erken yansımalar vasıtasıyla, müzisyenlerin birbirleri arasında iletişimi sağlamaya yardımcı olduğu sürece, orkestra alçak ve dengeli ses seviyeli bir tarzda çalmaya gayret eder. Yapılan ölçümler, orkestra yakınındaki duvar yüzeylerine eklenen emici malzemelerin ses seviyesini değil, sadece desteği azalttığını göstermiştir, orkestra çukurunda bile, öyle ki yakın enstrümanlardan gelen doğrudan ses bunlara egemen olmaktadır [1].

3.1.8 Tavan yansıtıcıları/asılı yansıtıcılar

Bir oditoryum veya tiyatronun en önemli akustik özelliği yansıtıcı tavanıdır. Kulaklarımız dikey düzlemde sesin yerini algılayamadığı için tavandan gelen baş üstü yansımaları konuşmacıdan geliyor gibi algılanır, faydalı bir yanılsama. Yansıtıcı bir tavan konuşma salonları için temel bir bileşendir. Büyük bir oditoryumda veya tiyatroda tavan, salonun arka bölümlerine olabildiğince daha çok ses gönderecek şekilde çizilmelidir. Tavan ya sürekli bir yüzey olabilir ya da baş üstü strüktürüne asılmış münferit panellerden oluşabilir. Asılı paneller estetik açıdan memnun edici olmasının yanında havalandırma, aydınlatma ve tavana yerleştirilmiş diğer servislere ulaşıma izin verdiği için tercih edilir [5].

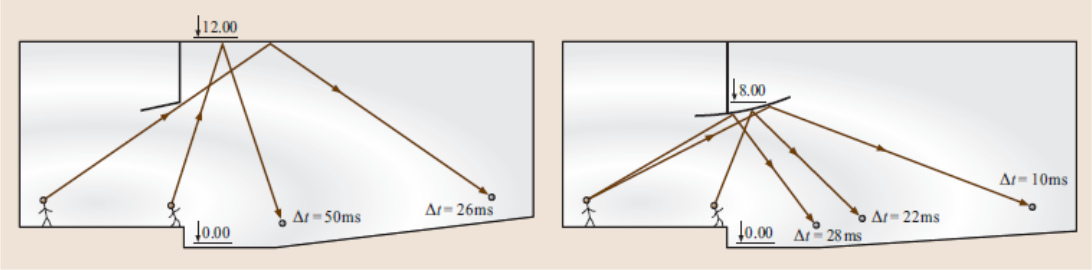
Kaynağın sanalını bularak tavan yansıtıcı çizimini belirlemek sadece düzlemsel yansıtıcılarda uygulanabilir. Eğimli yansıtıcılar kullanıldığında, çizimleri Snell Yasası kullanılarak belirlenebilir, gelen ve yansıyan ışınlar çizilerek. Eğimli yansıtıcılar özellikle çok amaçlı salonlarda faydalıdır, çünkü sesi düzlemsel yansıtıcılarla karşılaştırıldığında daha az akustik parıltı ile yayarlar [5].

Her yansıtıcı panelin boyu her bir yönde en az 2.5 m olmalıdır. Paneller, yüksek derecede yansıma sağlamak ve konuşma frekans aralığının dışında kaldığından, rezonant frekansının düşük olduğundan emin olmak amacıyla makul bir şekilde ağır olmalıdır. Genellikle, rijit iskelete bağlanmış her katmanı 16 mm (5/8 inç) kalınlığında iki katman alçı panel yeterlidir. Alternatif olarak, 30 mm kalınlıkta levha üzeri alçı ve rijit iskelet kullanılabilir. Eğri biçimin doğasından gelen sağlamlık sebebiyle eğimli tavan yansıtıcıları tek tabaka alçı panel olmalıdır [5].

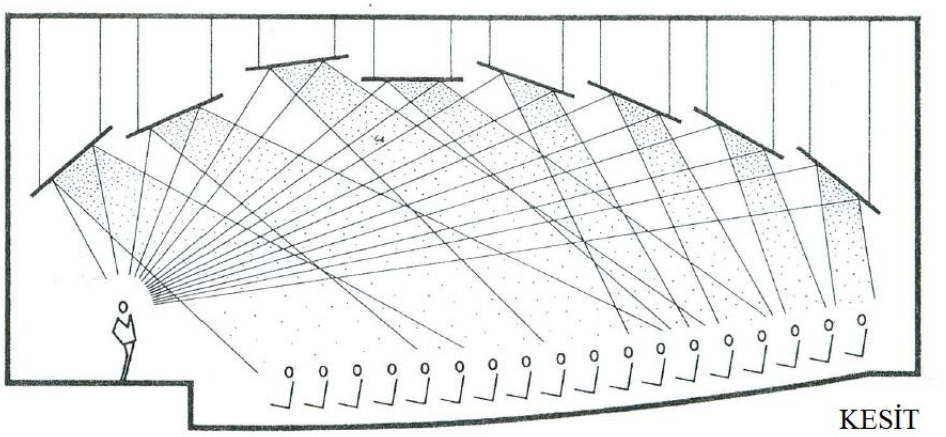
Bir salondaki içbükey kubbenin ses odaklama problemi oluşturmasını önlemek için, bu yüzey ya yüksek derecede yutucu malzeme ile kaplanmalı ya da bu yüzeyin altına geniş paneller asılmalıdır. Bu "akustik bulutlar", kubbenin uygulandığı yüzeyinin %50 - %70'i arasında bir alana sahip olmalıdırlar. Sinyallerin kubbe ve altındaki panel arasındaki hava boşluğunda boş boş dolanmasını ve dinleyicilere tekrar dönmesini engellemek için, panelin kubbe tarafına bakan yüzeyine ve hatta kubbenin kendisine akustik iyileştirme uygulanmalıdır. Bu bulutlar mimari gereklilikler için dairesel, oval veya tasarlanan soyut bir biçimde olabilirler. Ağır olmaları gerekmez ama asmaya uygun olarak sağlamlaştırılmış şekilde ¼" (0.6 cm) kalınlıkta plywood veya plastikten oluşabilirler [16].

Tavanda bir grid oluşturacak şekilde nispeten yakın olarak yerleştirilen bu sayısız sert panellerin, tabakaları arasındaki dar açıklıklar ile bas yansıtıcısı yerine düşük frekans emicisi olarak davranma eğilimi gösterdiği, tiz notaları yansıtmasına rağmen not edilmelidir. Böylesi bir oda, paneller düz yerine dışbükey olduğunda bile belirgin bir bas eksikliği sergiler. Bu panellerin uygulanması oldukça homojen olduğu zaman, sonuç, belirli kesim frekansı altındaki bütün notalarda genel emicilikten ziyade düşük frekans bant emiciliği (yutuculuğu) olur [16].

Birçok durumda, oda hacmini değiştirmeden gecikmeyi azaltmak ve bir yansımanın seviyesini artırmak avantaj sağlamaktadır. Bu durumda, **Şekil 3.13** ve **Şekil 3.14**'te gösterildiği gibi oda sınırları içerisine asılan bireysel yansıtıcı yüzeyler tavsiye edilir. Eğer yansıtıcı, bir orkestra çukuru üzerine yerleştirilirse, sahnede söylenenlerden çıkıp öncelikli olarak koltuk alanındaki koltuklara olan erken enerjiyi artırdığı gibi, oturma bölümünde bulunan müzisyenlerin birbirlerini duymalarını sağlar. Asılı yansıtıcılar, var olan binaların akustik yenilemesi için de uygundur, çünkü temel bina yapısı ciddi şekilde etkilenmez (Londra'daki Royal Albert Salonu gibi) [6].



Şekil 3.13 : Sahne önündeki yansıtıcı panellerin yansıma yollarına etkisi [6].



Şekil 3.14 : Uygun biçimde yerleştirilen tavan yansıtıcıları ses şiddetine katkı sağlar [9].

Baş üstü yansıtıcılar aşağıdaki tasarım parametrelerini sağlayan her durumda avantajdırlar [14].

1) yansıtıcı tercihen baş üstünde olmalıdır (tavanın bir parçası olarak veya asılı olarak), böylece duvar yansıtıcılarında olduğu gibi, yansıyan ses "seyirci yutuculuğu" tarafından azaltılmamış olur.

2) direkt ses ve yansıyan ses alışı arasındaki zaman farkını en aza indirmek amacıyla baş üstü yansıtıcısı olabildiğince alçakta olmalıdır.

3) arka sıralardaki dinleyicilerin fayda göreceği şekilde yerleştirilmeli veya açılandırılmalıdır.

4) arka koltuk sırasının bütün genişliğine sesi yansıtabilecek yeterlilikte geniş olmalıdır.

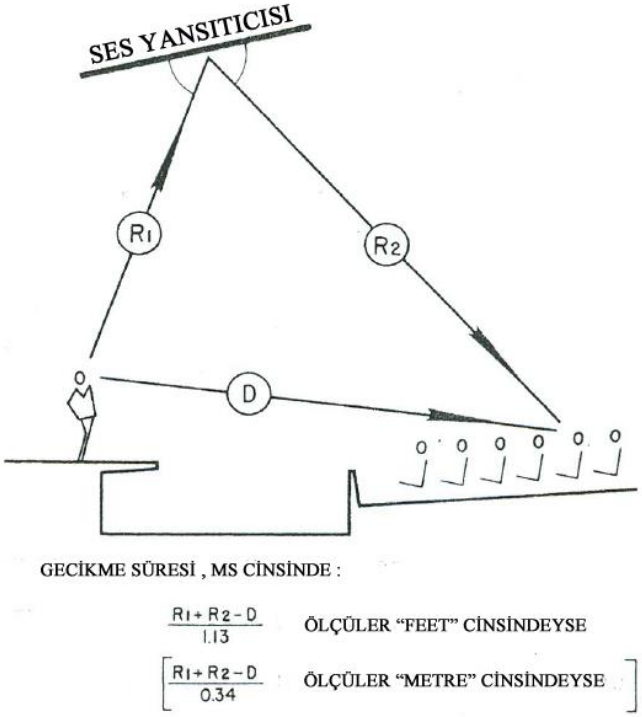
5) minimum ölçüsü 3 metre olmalıdır böylece yansıyan ses kenar noktasında kırılma nedeniyle bariz bir şekilde azalmamış olur, kenarlar birbirine çok yakınken olduğu gibi.

6) düz veya düze çok yakın olmalıdır (dış bükey bir eğri yansıyan dalgaları zayıflatır).

7) bütün frekanslarda düşük bir yutuculuk katsayısına sahip olmalıdır.

Estetik sebeplerden dolayı yansıtıcı eğri yapılacaksa, dış bükey yüzeylerden olan yansımaların düz veya iç bükey yüzeylere göre daha zayıf olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle eğri çok küçük olmalıdır. Diğer yandan, iç bükey bir yüzey yansımaları kuvvetlendirecektir, ama böyle bir eğrinin etkisi yansımaların diğer koltuk alanlarını yoksun bırakacak şekilde yansımaları belirli bir yere sınırlamadığından (odaklanma sorunu oluşturmadığından) emin olmak amacıyla iyi şekilde incelenmelidir [14].

Yansıtıcılar öyle bir düzende yerleştirilmelidir ki direkt ve ilk yansıyan ses arasındaki ilk gecikme zaman aralığı nispeten kısa olsun, mümkünse 30 milisaniyeyi geçmesin. 30 ms'yi geçmediği zaman yansıyan ses yararlı bir şekilde direkt sesi güçlendirir. **Şekil 3.15**'te bunun hesabının yer aldığı şekil verilmiştir. Düzgün yerleştirilen yansıtıcılar, ses enerjisi ihtiyacını karşılamanın yanında ayrıca "mekân etkisi (space effect)" olarak bilinen çevresel bir durum da yaratırlar. Bir dinleyici birçok yönden ses aldığında bu etki sağlanır ve kapalı mekanlara özgüdür, açık tiyatrolarda tamamen ortadan kalkar [9].



Şekil 3.15 : Direkt ve yansıyan ses arasındaki gecikme süresi hesabı [9].

Erken yansımaları sağlamakta platformdaki en etkili yüzey tavandır. Açık platforma ve yüksek tavana sahip salonlarda, platform üzerine tek bir geniş yansıtıcı ya da sıra halinde daha küçük yansıtıcıların asılması gerekir. Yansıtıcıların ortalama yüksekliği tam anlamıyla verimli olabilmeleri için sahne üzerinde mümkünse 8-10 m'yi geçmemelidir [1].

Eğer çok yüksek olursa, yetersiz kalan ses aşağı yansıtılır ve eğer çok düşük olursa, sesin salonun üst kısımlarına ulaşması mümkün olmayacaktır. Yakın zamandaki araştırmalar daha küçük elementlerin, biraz büyük olanlarına göre daha çok tercih edildiğini gösteriyor. Şu görülmüştür ki, %50'lik delik açma derecesi ile düşük frekanslar her biri 1.5 m^2'lik alana sahip elementler dizisinden hala yansıtılmaktadır. Bu düzenleme daha homojen kapsama ve daha az ton renklendirmesi sağlamakta, öyle ki bu durum (ton renklendirmesi) baş üstü yansımalarda daima bir risk olagelmiştir. Panellerdeki hafif bir dışbükeylik aynı sebepten tercih edilmektedir [1].

Belirtilen bir kaynak pozisyonu açısından, küçük bir yansıtıcı, sadece alıcı pozisyonlarının sınırlı bir alanını kaplar. Bundan dolayı, yansıtıcıların bir senfoni orkestrasının farklı bölümleri gibi farklı kaynaklar arasında duyulan dengeyi nasıl etkileyeceği konusu etraflıca incelenmelidir. Küçük yansıtıcılarla, bölümler arasındaki denge dinleyicinin farklı bölümlerinde çok farklı algılanabilir.

Yansımanın kapsadığı alanı genişletmek ve seviyesini azaltmak için genellikle yansıtıcılara hafif bir dışbükey şekli vermek fayda sağlayacaktır [6].

Sınırlı bir boyuta sahip bir panelden çıkan yansımanın doğası, çoğunlukla frekansa bağlıdır ve birçok faktörden etkilenebilir: kaynağa ve alıcıya olan uzaklık, panel malzemesi tarafından emilim, panel boyutu ve dalga boyu arasındaki oran tarafından yönetilen kırılma, panel kavisine bağlı olarak odaklanma/yayılma [6].

Bazı akustik tasarımcılar, hafif/ince yansıtıcı dizilerinden ziyade içinde aydınlatma ve ses sistemi gereçleri var olan yekpare (büyük ve ağır) kanopileri tercih etmektedir. Böylesi bir kanopi, yansıtıcı dizileri ile aynı yüksekliğe konduğunda daha yüksek bir yansıma sağlayacaktır. Fakat bu durum, akustik sebeplerin yanında mimari açıdan da nadiren cazip görülmüştür. Salonu görsel olarak ikiye bölebilir ve kanopi alanı büyükse, ana mekânın üzerindeki hacmi bölerek çınlamayı azaltabilir. Eğer kanopi sahneden 15m'den fazla yükseğe konulduysa, kanopi yansıması, orkestranın büyük kısmına birliği desteklemekte çok geç kalabilir [1].

Baş üstü yansıtıcıların her iki tipi için de kapsama alanının (coverage area) sahneye yakın oturma alanına uzanıp uzanmadığı dikkate alınmalıdır; baş üstü yansıtıcıları netliğe (ve renkliliğe) katkı sağlayabilir fakat kucaklamayı (spaciousness) artırması pek mümkün değildir [1].

Frekans bağımsız geniş çaplı bir yansıma elde etmek için birçok küçük yansıtıcı kullanılmalıdır. Yüksek frekanslarda yansıma seviyesindeki yer-bağımlı güçlü varyasyon, tek elemanların hafif dışbükey yapılmasıyla azaltılabilir [6].

Yüzeyler, ses enerjisini kaynaktan emici dinleyici kitlesine etkili şekilde yöneltmek amacıyla şekillendirildiğinde, bu enerji artık çınlama ses alanının yaratılması için uygun olmayacaktır. Diğer bir deyişle, netliği ve anlaşılırlığı geliştirmeye ne kadar çalışılırsa, T ve EDT (fiziksel emilim alanına bakılmaksızın) açısından çınlamayı o kadar azaltılır ve ses alanı basit çınlama formülleriyle tahmin edilen yayılma alanından o kadar sapar. Eğer zengin bir çınlamaya ihtiyaç varsa, çözüm; koltuk başına 10 m^3'ün ötesi olduğunda hacmi yükseltmektir [6].

Odaklanma ve renklilikten (coloration) kaçınmak için, müzisyenlere platformun çevresindeki birkaç yüzeyden yansımalar sağlamak iyi olacaktır, öyle ki belirli bir yüzey veya yönden yansıma sağlamaya çalışmak veya o katkıyı abartmak gerekli olmayacaktır [1].

3.1.9 Yüzey malzemesi

Emilim ile azaltılan ses miktarının bir sınırı vardır. Ses emici malzeme sadece odadaki çınlama sonucu ortaya çıkan sesleri emer. Ses blokesinin tümünde etkili değildir. Bunun nedeni, emilebilmesi için sesin malzemeden geçmesi gerektiğidir Ses emici malzeme, "canlı" odalardaki ses gelişimine fayda sağlamada o kadar etkili olabilir ki tüm akustik kusurların telafisi için kullanılabilir: bu nedenle "akustik malzeme" terimi kullanılır. Tüm malzemeler akustiktir, çünkü hepsi bir dereceye kadar sesi yansıtır, emer ve saçar. Ses emilim süreci tamamıyla pasiftir, bu yüzden kimse özel "akustik" bir malzemeyle sesi odanın dışına "çekemez" [2].

Yumurta sepetleri bazı sesleri emerler. Ancak, çok kolay yanabilen bir yapıya sahiptirler. Ses emilimi açısından camyünü paneller ya da açık-gözenekli köpükler daha çok işe yararlar. Homosote, geri dönüştürülmüş kâğıttan yapılmış bir inşaat malzemesidir. Zeminden geçen titreşimi azaltmada çok faydalıdır. Ses blokesinde, benzer yoğunluk ve sertliğe sahip diğer malzemelerden daha etkili değildir ve çok gösterişsiz bir ses emicidir. Esnek ve yoğun özelliğiyle kurşun, ses-bloke edici başlıca malzemedir. Ancak kurşun kolay çürür ve zehirlidir. Şu anda piyasada, mineral yüklü vinilden yapılmış, kurşun kadar iyi hatta daha iyi, yumuşak bariyer malzemeleri bulunmaktadır [2].

Beton; tüm malzemeler gibi, sesi hem emer hem de yansıtır. Beton kullanışlı bir yapı malzemesidir, dünyada en yaygın şekilde kullanılan yapı malzemesidir. Birçok gösteri ve ibadet yeri betondan yapılmaktadır. Boyandığı zaman, kendisine çarpan neredeyse tüm sesleri yansıtır, bu özellik belirli bir uygulamada aranan veya aranmayan bir özelliktir. Beton boyanmadığı zaman ya da sadece lekelendiğinde (stained), kısmen ses emici hale gelir. Renklendirilmiş beton, bir miktar ses emici özelliğe sahip olduğu için, spor salonları ve kulüp salonlarının inşası için tavsiye edilebilir [2].

Ahşap; genellikle başarılı akustiği destekleyen bir malzeme olarak önerilir. "Okuma perdesi"nden (singing tone) sorumlu olduğuna inanılmıştır ve 20'nci yüzyılın başlarında tasarlanan salonlarda sıklıkla kullanımıştır. Ahşap büyülü bir akustik güce sahip olmasa da, müzik için tasarlanan salonlarda kullanılması önerilir, çünkü onun keman türünden enstrümanlarla görsel birlikteliği psikolojik açıdan büyük bir güç kazandırmıştır. Esneyebilen ahşap paneller düşük frekanslı sesi emebilir ve bir

konser salonunun sıcak sesine gölge düşürebilir. İşte bu yüzden konser salonu tasarımında ahşap kullanırken, tedbirli şekilde kullanılmalıdır ve hava boşluğu ile bağlanmak yerine daha büyük ve ağır (massive) malzemelere bağlayarak, mümkün olduğunca betonarme gibi davranacak şekilde inşa edilmelidir. İstisna, bas enstrümanlar için ses radyatörü görevi gören, sahne zeminidir [2].

Bazı salonlarda ahşap 1,9 cm kalınlığında olacak şekilde sahne duvarlarının yanları ve tavanı için kullanılır. Çünkü genelde müzisyenlere göre "ahşap iyidir." anlayışı vardır ve onunla etrafları çevrelendiğinde kendilerini rahat hissederler. Bu gayet anlaşılabilir bir durumdur. Çünkü sahne çevresindeki yüzey alanı salondaki diğer yüzeylerle karşılaştırıldığında küçüktür. Sahne zemini farklıdır. Genellikle geniş bir hava boşluğunun üzeri hareket kabiliyeti yüksek ahşap ile kaplanır ki bu bacaklar (pins) üzerinde duran çello ve kontrbasın sesini çoğaltır [15].

Müzisyenler, ahşabın hava boşluğu üzerindeki platform zemininde kullanılması açısından uygunluğu hakkında açık bir şekilde konuşmalarda bulunmaktadır çünkü ahşabın "sıcak" bir ses sağladığını ifade etmektedirler. Bunun arkasındaki fiziksel neden, bazı araştırmaların konusunu teşkil etmiştir. Temel olarak zıt etkileri olan iki süreç mevcuttur. Zemin, düşük ses perdeli enstrümanların zeminle direkt temasında ses çıkaran bir tahta (sounding board) olarak davranabilir fakat aynı zamanda havadan gelen sesleri de absorbe etme özelliğine de sahiptir. Başka bir olası etki de, orkestra içindeki iletişime artı yönde bir katkı yapan zemindeki yapısal titreşim düzeneği hissidir. Zeminin akustik açıdan "canlı" olabilmesi için ince ve döşeme kiriş aralığını destekleyecek şekilde yükleme şartlarının (özellikle büyük piyanolar), rijitlik (örneğin televizyon kameraları için) ve yerel yangın yönetmeliklerinin sağladığı sınırlar dâhilinde olabildiğince geniş olması gereklidir. 25 mm kalınlığında bir platform ve 600 mm'lik bir döşeme kirişi aralığı değerleri, istenen minimum yapı değerleridir [1].

Sahneyi saran yüzeylerden gelen yansımaların belli derecedeki saçılmaları, sesin bir noktada toplanmasını (odaklanmasını) önlemek için gereklidir ki bu problem orkestranın birliği ve dengesi için zararlıdır. Seyirci için yayılım eksikliği yetersiz denge ve çeşitli bölümler arasındaki yetersiz karışım olarak duyulabilir. Aslında, prensipte, yansıtıcıları farklı ses güçleri ve değişik enstrümanların yönlülüklerini telafi etmek amacıyla belirli bir biçimde yönelterek tasarlamak mümkündür (Meyer ve Biassoni de Serna, 1980). Pratikte, her orkestral düzen için sistemi yeniden

ayarlamak ve uyarlamak gerekeceğinden böyle bir sistemin kurulması ve kullanılması son derece karmaşık olacaktır. Vurmalı ve pirinçten yapılmış çalgılardan yayılan yüksek ses seviyeleri yüzünden, bu enstrümanların yanına emici, küçük duvar alanlarının yapılması önerilir. İdeal olanı, böylesi alanların farklı düzenlemelere uyum sağlaması için yansıtıcı ve emici arasında ayarlanır olması gereklidir. Güçlü pirinç aletlerde (brass) ve vurmalı çalgılarda "basıncı azaltmanın", diğer bir yolu da platformun arka tarafları üzerine tavan yansıtıcıları yapmamaktır [1].

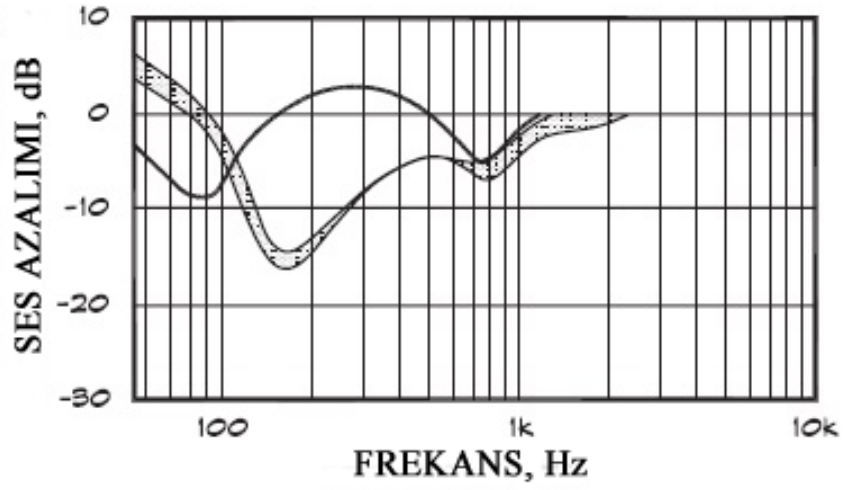
Sahnenin etrafı hariç tavan için tel veya ahşap çıta üzeri sıva kullanılmış ve duvarlar için de tuğla veya beton bloğun üzerine alçı ve mermer tozundan elde edilen iç sıva ile yüzeylerin süslenmesi uygulanmıştır. Boston Salon'unda yerler tahtadan yapılmıştır. Çünkü koltuklar hareket edebilir bir yüzeye yerleştirilmiştir. Böylelikle olağan konserler için eğimli olan bu yüzey, pop konserleri için düz, sert bir zemine dönüştürülür. Seyirciler yükseltilmiş yüzeyin üstüne oturduğu zaman ağırlıkları titreşimi bastırır ve bas kaybı çok fazla olmaz. Bas tepkisi iyi olan birçok modern salonda yerler beton ve ahşap parke veya betona yapıştırılmış bazı sentetik malzemeler ile kaplıdır. Duvarlar ve tavanlar m^2 başına ağır ve geniş malzemelerle inşa edilmiştir [15].

İnce tahta panelleme, bas enerjisini güçlü bir şekilde emer ki ince tahta panellemeden kasıt 2.5cm ya da daha az demektir. Salonlar için mümkünse 5 cm kalınlığında olmalıdır. Birçok salonun yan duvarlarına salona sıcak, geleneksel bir görünüş vermek için sert yüzey (alçı) üzerine tahta cilası (duvar kâğıdı) uygulanır. Ahşabın uygun şekilde kullanımına örnek Lahti, Finlandiya'daki Sibelius/Talo'dur. Burasının iç yüzeylerinin büyük bir kısmı 6,9 cm kalınlığındaki lamine ahşap (tabaklı kereste) ile inşa edilmiştir [15].

Büyük dinleme salonlarında ve dinsel yapılarda en büyük emici yüzey dinleyicilerdir. Seyirciler, konser salonlarında toplam emici yüzeyin yaklaşık %85 ini teşkil eder. Bu değer emici malzemelerin kullanılabileceği dinleme salonlarında biraz daha azdır. İnsanların sayısına bakmaksızın devamlı bir akustik ortamın sağlanması istendiğinden dolayı, en önemli faktör, emme karakteristiği oturan dinleyiciye yakın olan koltukların kullanılmasıdır. Bu durum ise sandalye ve koltuklarda hem oturak, hem de sırtlık kumaşlarının kalın malzemeden yapılmasını gerektir. Beranek (1996) şunu gözlemlemiştir ki koltukların emicilik özellikleri, koltukların sayısına değil,

kapladıkları alana bağlıdır. Bu nedenle çınlama hesapları koltuğun birim alanı başına düşen emicilik katsayısına göre yapılmalıdır, her koltuğun başına düşen sabinin (ses emme birimi) sayısına göre değil [10].

Sesin, tiyatrodaki koltukların üzerinden yayıldıkça, mesafe ve sürtünme kayıplarından dolayı fazladan bir azalmaya uğradığı bilinmektedir. Bu fazladan azalma 125 Hz'e odaklanır ve azalma-frekans tepki eğrisinde derin bir düşüş olarak görülür. Ölçülen veriler **Şekil 3.16**'da gösterilmiştir. Ando (1985) etkiyi analiz etmiştir ve onu koltukların derinliğinden kaynaklanan çeyrek dalga direnciyle ilişkilendirmiştir. Zemindeki çukurları ve birçok geometrik alternatifleri de içeren çeşitli çözümler sunmuştur. Ancak önerilerinin etkinliğini belirlemek için ölçülen çok az veri mevcuttur [10].



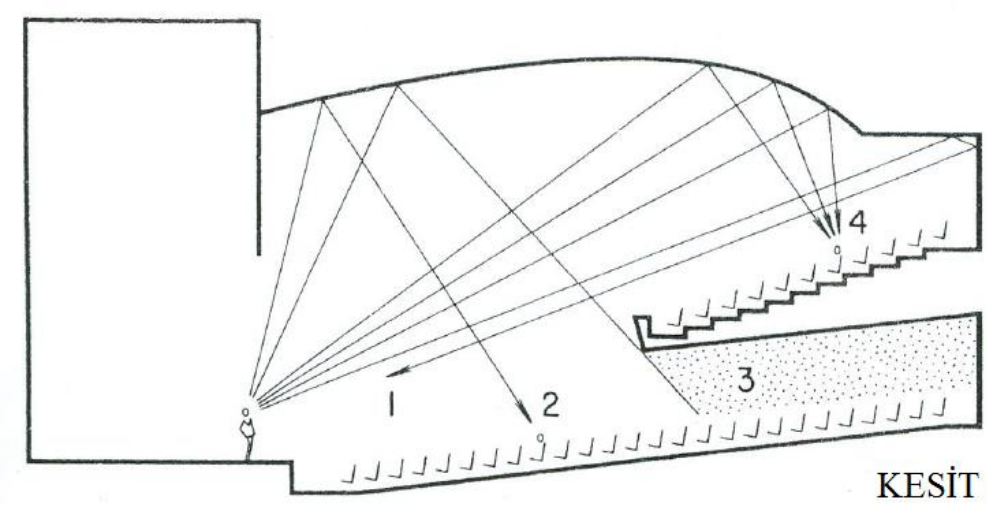
Şekil 3.16 : Koltuk emiciliği [10].

Bir hacmin doğal akustiği bir ses sistemiyle iyileştirildiğinde ve tasarım zorlukları emici yüzey maddelerinin kullanımına izin verdiğinde, oda hacmi ve yüzey ayarlamaları, konser salonlarında olduğundan daha az öneme sahiptir. Böyle durumlarda emici malzemeler istenmeyen yansımalar ve çınlamayı kontrol etmek için ilave edilebilir çünkü ses sistemi tarafından üretilen ses seviyesi emicilikten kaynaklanan kayıp enerjiyi telafi edebilir. Hem konuşma, hem de müziğin icra edildiği odalarda ideal çözüm, çınlama süresini müziğe göre ayarlamaktır ve güçlendirme sistemleri kullanılarak anlaşılırlığı sağlamaktır. Güçlendirilmeyen konuşmanın desteklenmesi gereken yerlerde, değişken emicilik iyi bir seçenektir [10]. Özet olarak, bası korumak için, sahne haricindeki tüm yüzeyler, ağır

yoğunluklu malzemelerden oluşmalıdır. Koltuklar hafif döşenmiş, konfora uyumlu olmalıdır. Ses emici malzemeler ve halı tedbirli bir şekilde kullanılmalıdır [15].

3.2 Akustik kusurlar

Salonda, yeterli ses şiddeti, homojen ses enerjisi dağılımı ve çınlama kontrolü gibi akustik koşulların sağlanmasının yanında akustik kusurların giderilmesi de gereklidir. Bahsedilecek olanlar en yaygın, zarar veren akustik kusurlardır [8]. **Şekil 3.17**'de bir oditoryumda oluşabilecek akustik kusurlara örnek verilmiştir [9].

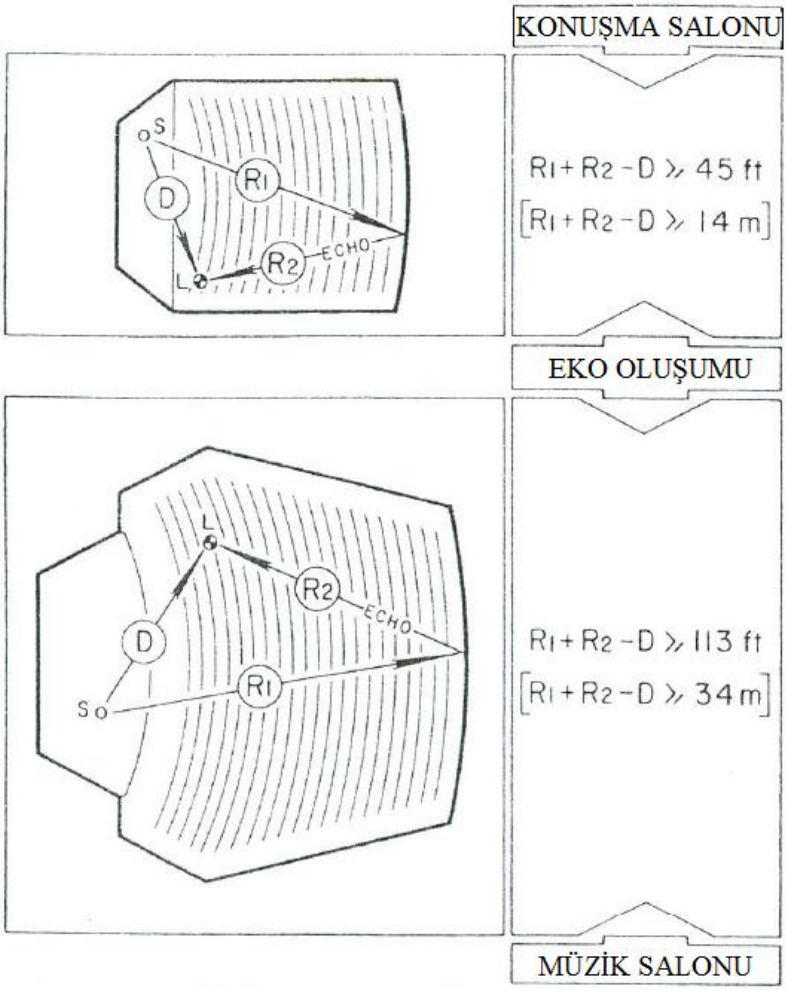


Şekil 3.17 : (1) eko, (2) uzun gecikmeli yansıma, (3) ses gölgesi, (4) ses odaklanması [9].

3.2.1 Eko (echo)

Oditoryumun sınır duvarlarından ses yeterli büyüklükte yansıdığında fark edilir olacaktır ve gecikme, ses kaynağından çıkan sesten farklı bir ses olarak hissedilecektir. Eğer 1/10 – 1/25 saniyelik zaman aralığı aynı kaynaktan üretilen doğrudan ses ve yansıyan seslerin algıları arasında akıp giderse eko oluşur. Bu zaman farkı, doğrudan ses ve yansıyan ses arasında 14 – 34 m'lik yol farklarına götürür [9]. Diğer bir deyişle, yansımış ışın yolu ile direkt ışın yolu arasındaki fark 14 m'den büyük veya eşit olduğu zaman konuşma ağırlıklı salonlarda, yol farkı 34 m'den büyük veya eşit olduğu zaman müzik salonlarında eko meydana gelir [17]. **Şekil 3.18**'de gösterilmiştir [9]. Eko üretmek için gerekli olan direkt ses ve yansıyan ses arasındaki zaman farkı, yine diğer bir deyişle, ses kaynağı ve eko üreten yansıtıcı sınır yüzeyi arasındaki mesafe, ses programının türüne, dinleyici ve kaynağın yerine, yansıtıcı yüzeyin boyutuna ve şekline, odadaki çınlama durumuna ve kulağın

hassasiyetine bağlı olacaktır. Ses kaynağı karşısındaki ses yansıtıcı arka duvar, bir oditoryumdaki potansiyel eko üretici yüzeydir, eğer bu arka duvar derin bir balkonun altında değilse [8].

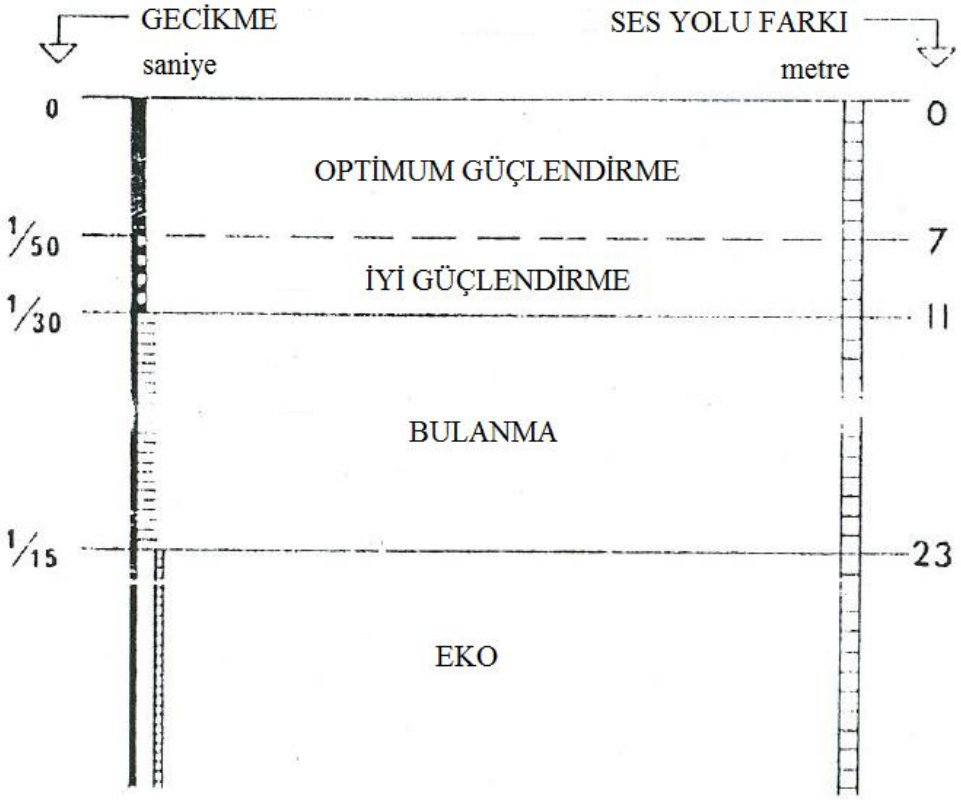


Şekil 3.18 : Oditoryumlarda eko oluşumu [9].

Eko kontrolünün, mesafe ve gecikme süresi olarak ele alındığı bir diğer grafikse **Şekil 3.19**'da olduğu gibidir. Direkt ve yansıyan ses arasındaki ses yolu farkı 11 m'den (1/30 sn'lik gecikme süresine eşdeğer) ve optimum seviye için tercihen 7 m'den fazla olmamalıdır. **Şekil 3.19**, bu ses yolları arasındaki farkları, eşdeğer gecikme süresi ve konuşma anlaşılırlığı üzerindeki etkilerini göstermektedir [14].

Bir ekonun ciddiliği orijinal sesten ne kadar sonra geldiği ve orijinal sese nazaran ne kadar yüksek olduğu ile belirlenir. Eko, ses ne kadar geriden ve ne kadar gürültülü ise o kadar kötü olacaktır. Başka 2 nokta vardır, birincisi ne kadar uzun çınlama süresi olursa eko da o kadar az ciddi olur çünkü eko çınlama tarafından "örtülmeye" çalışacaktır. İkincisi, yüksek frekanslı ekolar genellikle daha tehlikeli olur, çünkü

kulağımız yüksek frekanslı ekolara daha duyarlıdır, sesin dalga boyu kısa oldukça, yansımanın geometrik kanunlarını daha doğru takip edecektir [3].



Şekil 3.19 : Ses yolları farkı, eşdeğer gecikme süresi ve konuşma anlaşılırlığı üzerindeki etkisi [14].

Örnek olarak arka duvarlardaki yansıma ele alınabilir. Salonun önünde oturan dinleyici orijinal sesi yüksek olarak işitecektir ve arka duvardan yansıyan ses daha az kuvvetli olacaktır çünkü ses salonun arkasından dolaşıp, tekrar öne gelmek zorunda kalmış olacaktır. Diğer taraftan, dinleyiciler için orijinal ses ile yansıyan sesin ulaşması arasındaki zaman farkı aradaki uzun mesafeden dolayı fark edilebilir olacaktır. (Örneğin; salonun önüne orkestradan gelen orijinal ses ile orkestradan salonun arkasına gidip tekrar ön tarafa dönen yansımış sesin aldığı yol arasındaki fark). Eko daha kötü olacaktır, bu örnekte, eğer arka duvar iç bükeyse, salonun ön kısımlarında odaklamayla yansıyan sesin gürültüsünü arttıracaktır. Buna tezat olarak, salonun arkasındaki dinleyiciler için arka duvardan olan yansıma orijinal ses ile yükseklik bakımından karşılaştırılabilir olacaktır ama iki ses arasındaki zaman aralığı daha kısa olacaktır. Eğer arka duvar emici şekilde yapılmış ise yansıyan sesin kuvveti daha da azalacak ve bu yüzeydeki eko riski düşecektir. (Eğer arka duvar bütün frekanslarda mükemmel derecede emici olsaydı – ki bu yapılabilir değildir - o zaman hiçbir risk olmayacaktı). Benzer şekilde, arka duvarda açıkta kalan alan azsa,

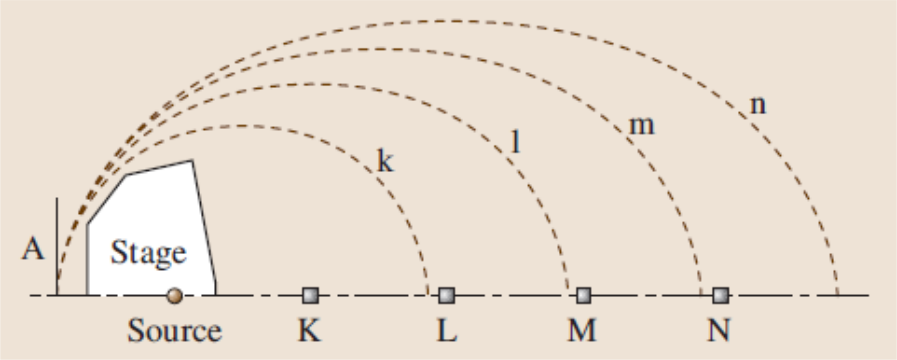
örneğin dinleyicilerin kafalarının üstünde kalıyor, o zaman yansıyan sesin kuvvetliliği daha az ve risk daha ufak olacaktır. Arka duvar için alternatif yöntem duvarı saçıcı yapmaktır. Salonun diğer yüzeyleri de ekoya neden olabilir. Dahası, iki kez yansıyan ses eko yaratacak kadar sesli olabilir (örneğin; arka duvar ve tavan üzerinden) [3].

Herhangi bir yansıtıcı iç bükey yüzey tehlikelidir ama daha büyük çaplı eğride daha az odaklanma olur ve böylece daha az tehlike olur. Bundan başka, eğer iç bükey yüzey dinleyicinin olmadığı mekânda odaklanma yaratıyorsa, tehlike açık bir şekilde daha azdır. Bir salonun tasarımı 3 boyutlu bir problemdir. Tasarım metotları geometrik akustiğe dayanmalıdır fakat bu, sesin gerçek davranışını basitleştirmedir ve eko, geometri ile açıklanamayacak şekilde bitmiş bir salonda ortaya çıkabilir. Bu tip durumlarda tek yol bunları yardımcı metotlarla incelemektir [3].

Ekonun temel boyutları ve riskleri; Konuşmanın anlaşılırlığına ve müziğin netliğine katkı sağlaması için erken yansımaların yaklaşık olarak, doğrudan sesten sırasıyla 30 ms ve 80 ms'den daha fazla gecikmemesi gereklidir. Eğer ilk yansıma 50 ms'den daha geç ulaşırsa, tepki sesleri yayıldığında, bunun, rahatsız edici bir eko olarak algılanması muhtemeldir [6].

Büyük hacimlerde, yansımaların temel yansıtıcı alanlardan tüm koltuklara 50 ms içinde ulaşacak şekilde yüzeylerin şekillendirilmesi bir zorluktur. **Şekil 3.20**'de görüldüğü gibi plan ve kesit çizimleriyle yapılacak basit geometrik çalışmalarla, hangi yüzeylerin alıcı noktasında ekolar üreteceğini belirlemek mümkündür.

Kaynak ve ilgili alıcı noktasının kaynaklara yerleştirildiği elipsler çizilmiştir ve böylece odak noktalarından herhangi bir noktaya olan mesafelerin toplamına veya elips odak noktaları arasındaki mesafeye 17 metre eklenmesine eşittir. şekilde elipsin dışında "m" olarak işaretlenmiş bir yüzey, M noktasının yakınındaki koltuklara doğru sesi yöneltirse, bu yüzey emici, yayıcı olmalı ya da yeniden yönlendirilmeli ki yansıma, kaynaktan uzağa, M'den daha uzağa doğru yönlendirilsin. Özellikle, dinleyicilerin arkasındaki arka duvardan ve yüksek bir tavandan gelen eko riskini kontrol etmek önemlidir [6].



Şekil 3.20 : Bir oditoryumun planına çizilmiş eko elipsleri [6].

3.2.2 Uzun gecikmeli yansımalar (long-delayed reflections)

Bunlar temel olarak daha kısa gecikmeli ekolardır; doğrudan sesi maskeler veya bulanıklaştırırlar [8].

3.2.3 Tekrarlayan eko (flutter echo)

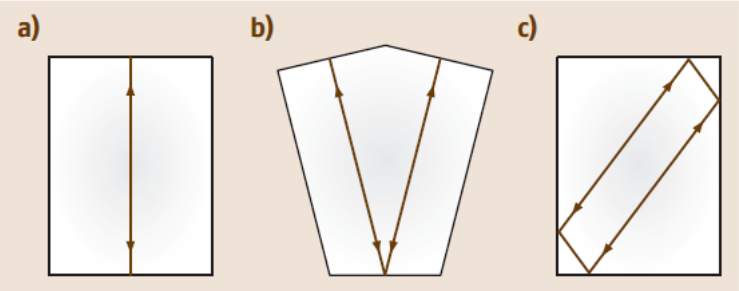
Birbirini takip eden ani fark edilir ekolardan oluşur. Salon içindeki diğer karşılıklı duvarlar paralel değilken veya nispeten yutucu veya yayıcıyken, alkış veya atış gibi sesin ani kısa patlaması paralel ses yansıtıcı yüzeyler arasında üretilmişse, tekrarlayan bir eko gözlemlenir. Karşılıklı yansıtıcı yüzeyler arasındaki paralelliği giderme, tekrarlayan ekoları önlemede bir yoldur [8].

Ekolar, uzun gecikmeli yansımalar ve tekrarlayan ekolar genellikle kusur üreten yansıtıcı yüzeyler boyunca uygulanan ses emici malzemeler ile önlenebilir [8].

Tekrarlayan eko paralel yansıtıcı yüzeyler arasında ortaya çıkar ama mekanizması rezonansınkinden faklıdır. Burada herhangi bir kısa ses patlaması yüzeyler arasında bir yandan öbür yana dolaşır ve eğer yüzeyler arası yeterince uzaksa o zaman şiddeti azalan eko serileri şeklinde duyulur. Bununla birlikte tekrarlayan ekolar, ses kaynağı birbirine paralel herhangi yansıtıcı yüzeyler arasında ise aralarında en az 15 m mesafe bulunan paralel yansıtıcı duvarlar arasında oluşur; ses kaynağı başka bir yerdeyse tekrarlayan eko ya çok fazla azalacak veya kaybolacaktır. Mesela, paralel duvarları olan bir konser salonunda duvarlar arasında dinleyici alanında seyirci alkışladığı zaman güçlü bir tekrarlayan eko duyulabilir. Fakat duvarların arasında olmayan orkestra bu ciddi tekrarlayan ekolara neden olmayacaktır [3].

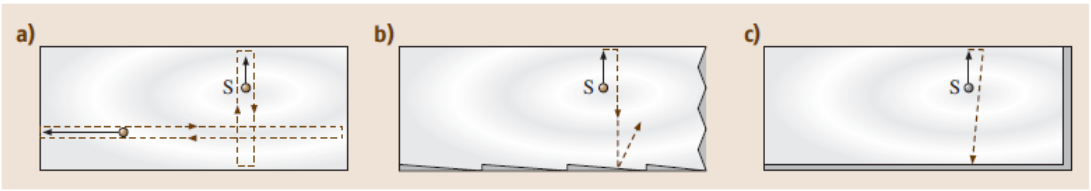
Tekrarlayan ekolar (flutter echoes), düzenli, tekrarlanan yansımalardır, bunlar paralel, düz yansıtıcı duvarlar arasında ya da **Şekil 3.21**'de gösterildiği gibi

kendilerini tekrarlayabilen diğer basit yansıtıcı yollarda ortaya çıkar. Özellikle küçük odalarda bu tür yansımalar sesin güçlü renklendirmesine neden olabilirken, daha büyük odalarda bunlar zamana yayılmış birbirinden farklı uzun bir eko serisi olarak algılanabilirler [6].

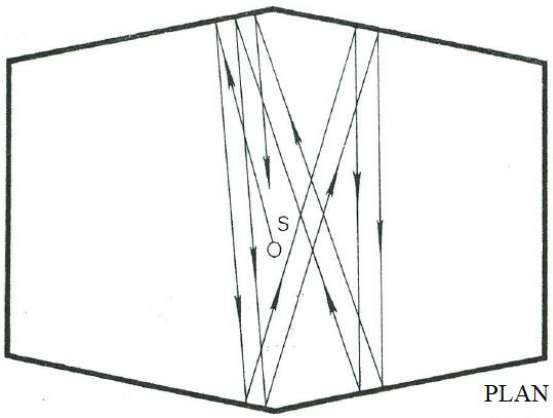


Şekil 3.21 : Tekrarlayan ekoya neden olan oda şekilleri [6].

Tekrarlama, **Şekil 3.22**'te gösterildiği gibi karşılıklı yansıtıcı yüzeylerden en az bir tanesinin emici veya yayıcı olarak iyileştirilmesi ile önlenebilir. Bunun yanı sıra, karşılıklı duvarlar arasındaki açıyı sadece birkaç derece (3-5°) değiştirmek mümkün olduğunda da problem çözülecektir [6]. Kritik paralel yüzeyler arasına kaynak yerleştirilmezse, tekrarlayan eko oluşmaz. **Şekil 3.23**'te gösterildiği gibi kaynak, paralel olmayan yansıtıcı yüzeyler arasına yerleştirilmişse, tekrarlayan eko bu yüzeyler arasında da oluşabilir [9].



Şekil 3.22 : (a) Tekrarlayan ekolu salon, (b) yayılım veya (c) emilim aracılığıyla alınan önlemler [6].

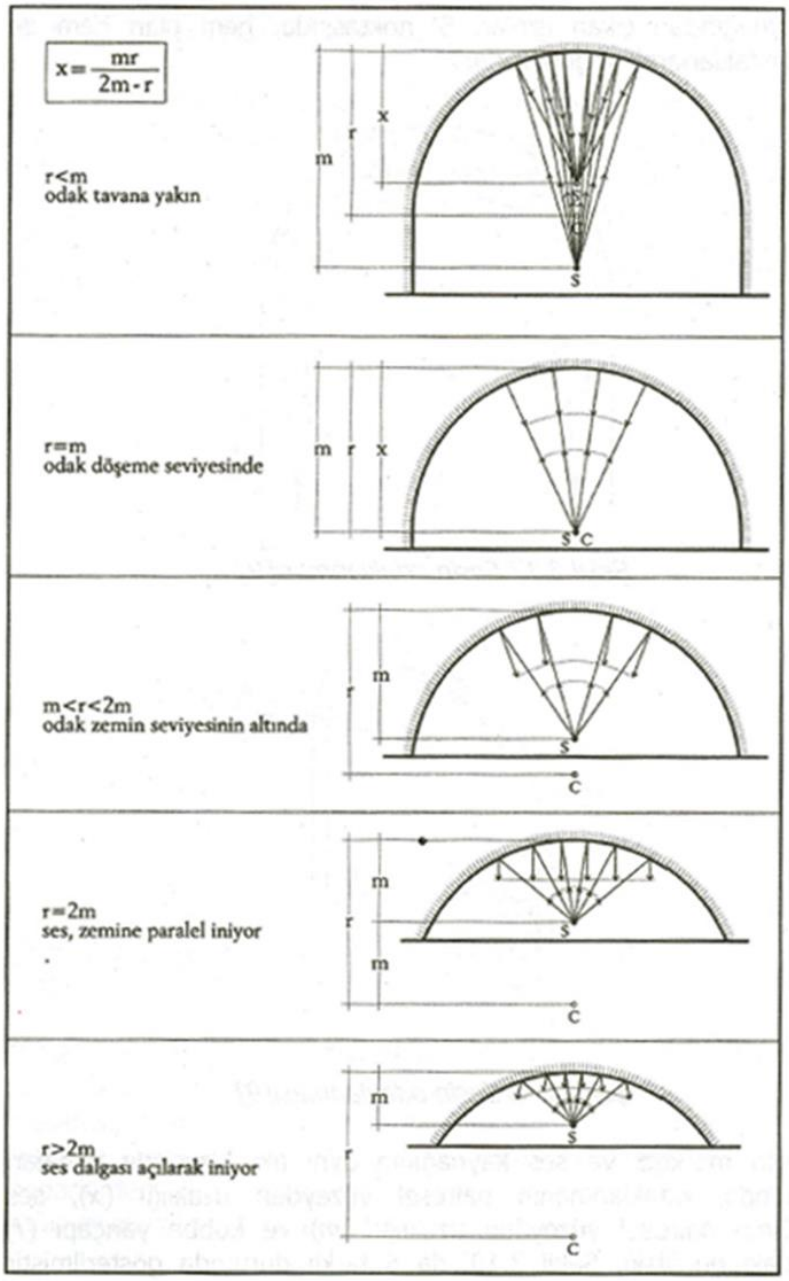


Şekil 3.23 : Paralel olmayan yansıtıcı yüzeyler arasında tekrarlayan eko oluşumu [9].

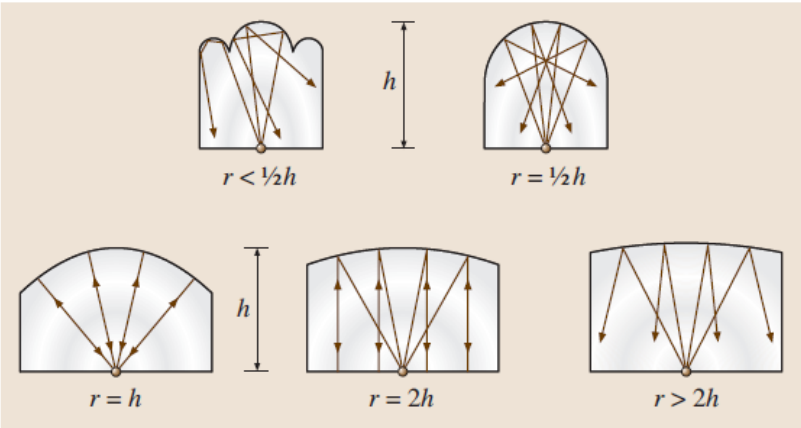
3.2.4 Ses odaklanmaları (sound concentrations)

Sıklıkla "sıcak" bölgeler olarak anılır, ses odaklanmaları içbükey yüzeylerden olan ses yansımalarınca üretilirler. Bu "sıcak" bölgelerdeki ses şiddeti doğal olmayan bir şekilde yüksektir ki odanın diğer bölümlerinde her zaman zarar meydana gelir, işitme şartlarının yetersiz olduğu buralara "ölü" bölgeler denir. "Ölü" ve "sıcak" noktaların varlığı salonlarda homojen olmayan bir ses enerjisi dağılımı yaratır. Bu olayın giderilmesi hacim akustiğinin önemli hedeflerinden bir tanesidir. Tipik bir istenmeyen ses odaklanması örneği bir konuşmacının yanında gözlemlenebilir. Konuşmacının sesi yanındaki içbükey yüzeylerden yansıyarak kendisine geri gelecek ve çok yüksek sesli konuştuğu gibi yanlış bir sübjektif sanrı yaratacaktır. Bu sebeple, kendi sesinin yüksekliğini abartacak ve dinleyicinin duyabileceğinden daha yumuşak konuşmaya meyilli olacaktır. Geniş, sürekli, özellikle büyük yarıçapları olan içbükey duvarlar salonda giderilmelidir veya yeterli ses yutucu malzemelerle iyileştirilmelidir. Büyük içbükey yüzeylerin uygulanmasından kaçınılamıyorsa ve iyileştirmeleri olası değilse, o zaman bu içbükey yüzeyler odaklanmayı odanın dışına veya seyircilerin dışında bir yere verecek biçimde şekillendirilmelidirler [8]. Bundan dolayı, kubbenin merkezi ve ses kaynağının aynı aks üzerinde olmaları durumunda, odaklanmanın dairesel yüzeyden uzaklığı (x), ses kaynağının dairesel yüzeyden uzaklığı (m) ve kubbe yarıçapı (r) arasındaki ilişki **Şekil 3.24** ve **Şekil 3.25**'te 5 farklı durumda gösterilmiştir [17]. Gösterilen kemerli tavanlar, ancak kavisin yarıçapı odanın yüksekliğinin yarısından (ya da kişilerin başları ile tavan arasındaki yüksekliğin yarısından) daha az olduğu takdirde kabul edilebilirdir. Böylece, odak merkezi dinleyicilerin çok üstünde olur. Hafif bir kavisin olduğu durumlarda, $r \geq 2h$, eğer zemin emici koltuklarla kaplanıp da böylece zemin ve tavan arasında birden fazla yansımalar ortaya çıkmadığı zaman kabul edilebilir [6].

Uygunca seçilmiş ve düzgün bir şekilde yerleştirilmiş ses yükseltme sistemleri; ekoların, uzun gecikmeli yansımaların, tekrarlayan ekoların ve ses odaklanmalarının zarar verici akustik etkilerini azaltacaktır ama asla tamamen iyileştirmeyecektir [8].



Şekil 3.24 : Ses kaynağı-kubbe uzaklığının, odak noktası ile ilişkisi [17].



Şekil 3.25 : İçbükey yüzeylerde odaklanma [6].

3.2.5 Birleştirilmiş mekanlar (coupled spaces)

Eğer bir oditoryum açık kapı boşlukları kanalıyla çınlayan bitişik bir mekân (fuaye, merdiven kovası, koridor, sahne kulesi vs. gibi) ile bağlantılı ise iki mekân bitişik mekânlar olarak form alacaktır. İki mekânın hava boşlukları bağlantılı olduğu müddetçe, ana salondaki çınlamanın uygun biçimde kontrol edilmiş olmasına rağmen çınlayan sesin bitişik mekândan ana oditoryuma akışı fark edilir olacaktır. Ana oditoryumun çınlama kontrolüne ne kadar fazla dikkat edilmiş olursa olsun, bu olay kapı boşluklarına yakın oturan dinleyicileri rahatsız edecektir. Bitişik mekânlarca üretilen istenmeyen bu etkinin üstesinden bitişik mekânlar arasındaki yeterli akustik ayrım veya iki mekânda da tahminen aynı düşüş oran sağlanarak gelinebilir [8].

3.2.6 Bozulma (distortion)

Bu olay, salon sınır yüzeylerindeki farklı frekanslarda değişken veya aşırı ses yutuculuğu sebebiyle müzikal seslerin kalitesindeki istenmeyen değişikliktir [8]. Akustik yutuculuk aralığı dar olan bir malzeme kullanıldığında ortaya çıkar. Yutulan frekans kaybolur, ses kalitesinde fark edilir bir değişiklikle sonuçlanır [18]. Uygulanan akustik bitiş malzemelerinin bütün işitilebilir frekans aralığı boyunca yutuculuk özelliklerinin dengelenmesi ile bu durumdan kaçınılabilir [8].

3.2.7 Rezonans (room resonance)

Bazen "renklendirme" olarak anılır. Dar frekans bandındaki sesler, diğer frekanslardan daha yüksek çıkmaya eğilim gösterdiklerinde meydana gelir. Bu olay, eğer sesin dalga boyu yüzeyler arasındaki mesafeye eşitse veya mesafenin bir askatı ise paralel yansıtıcı yüzeylerce üretilir. Bu akustik kusurdan kaçınılması radyo televizyon yayıncılığı ve kayıt stüdyolarında özellikle önemlidir [8].

Hem rezonans hem de tekrarlayan eko aslında ufak risklerdir ve yüzeyler arasında paralellik yoksa (5º ye kadar) veya yüzeylerden biri emici ise ne rezonans ne de tekrarlayan eko ortaya çıkar. Rezonansın düşük frekansta ortaya çıkması daha muhtemeldir, o zaman yüzey çok iyi şekilde alçak frekansı emici özellikte olmalıdır. Tekrarlayan ekolar orta ve yüksek frekanslarda ortaya çıkar. Bu durumda emici madde bu frekanslarda efektif olmalıdır [3].

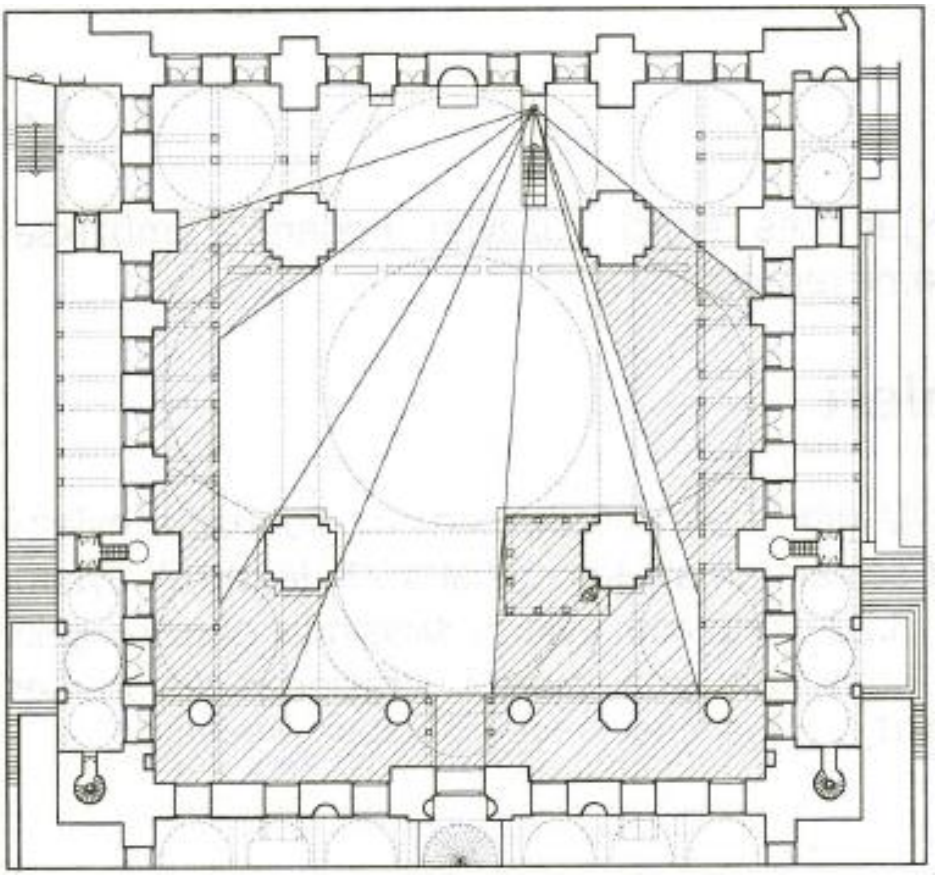
"Eko" diyerek anlatmak istediğimiz sesin çok yüksek ve çok uzun olarak gelen orijinal sesin tekrarı ve sonrasında sanki ayrı bir sesmiş gibi duyulmasıdır.

“Rezonans” ile anlatmak istenilen ise küçük frekans bantlı sesleri uzatıp şiddetlendirmedir/vurgulamadır. Son söylenilen bu frekansların ikisinin de daha gürültülü olmasını sağlayacak ve azalıp kaybolmasının diğer frekans aralıklarından daha yavaş olmasına neden olacaktır [3].

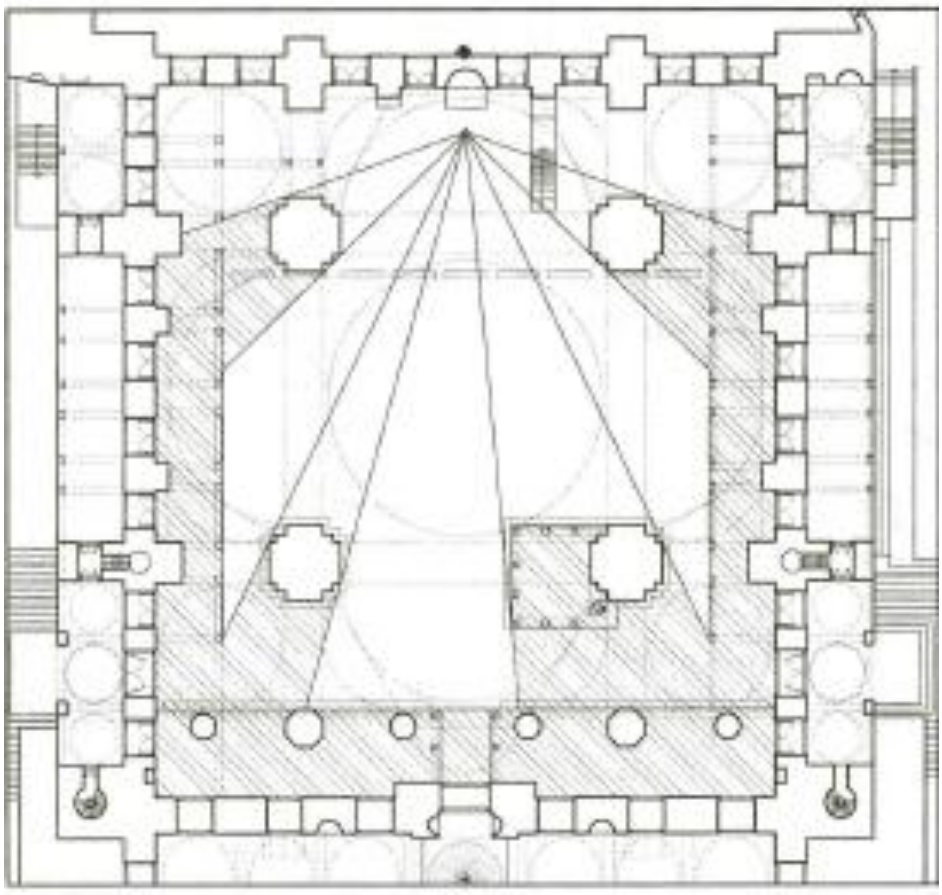
Rezonans, düşük frekans bandı oda şekli tarafından müsaade edildiğinde ortaya çıkar. Örnek vermek gerekirse iki paralel yansıtıcı yüzey olsun. Dalga boyu yüzeyler arasındaki mesafeye tamı tamına eşit veya katları olan bir ses diğer frekansların seslerinden daha yüksek olacaktır (bu durum stüdyo akustiğinde “renklendirme” olarak bilinir ve kısmen uzunluğu tarafından belirlenen bir frekansta titreyen bir keman yayının davranışına benzetilebilir) [3].

3.2.8 Ses gölgeleri (sound shadows)

Balkon altındaki uzaktaki koltukların yeterli doğrudan ve yansıyan ses almasını engelleyecekleri, dolayısıyla salonun bu bölgelerinde verimsiz işitme yaratacakları için derinliği yüksekliğinin iki katını aşan balkon altı mekânlardan kaçınılmalıdır [8].



Şekil 3.26 : Müzik eylemi sırasında oluşan ses gölgeleri [17].

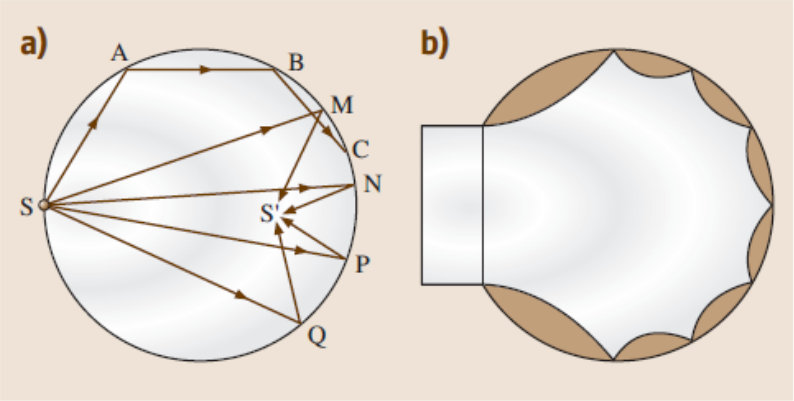


Şekil 3.27 : Konuşma eylemi sırasında oluşan ses gölgeleri [17].

Şekil 3.26 ve **Şekil 3.27**'de görüldüğü gibi, ana kubbeyi taşıyan dört fil ayağı arka kısımlarında geniş akustik gölgeler bırakmaktadır. Bunun sebebi, ana kubbe çapının diğer büyük camilere oranla daha küçük (14.5 m) olması ve bu nedenle fil ayaklarının hem ana hacmin merkezine, hem de ses kaynağına daha yakın olmalarıdır [17].

3.2.9 Sesin sürünmesi (creep), fısıldayan galeriler (whispering galleries)

Sesin sürünmesi, kubbenin ve diğer eğimli yüzeylerin çevre uzunluğunda sesin dolaşmasıdır. Bu doğal hadise, geniş kubbeli çatısı olan eski yapılardaki fısıldayan galerilerden de sorumludur [18]. Sesin yüksek frekansları, yarım küre kubbe gibi uzun geniş içbükey yüzeylerde "sürünme" eğilimi gösterirler. (St. Paul Katedrali, Londra, Kraliyet Tiyatrosu, Kopenhag vs.) Böylesi bir kubbeye yakın üretilen fısıltı gibi çok yumuşak bir ses sürpriz bir şekilde strüktürün karşı tarafında işitilir olacaktır. Fısıldayan bir galeri, bir oditoryumda heyecanlı ve zararsız bir olay olabilir ancak onun akustiğine katkısı olan bir faktör değildir [8]. Bu durum **Şekil 3.28**'de resmedilmiştir.



Şekil 3.28 : Odaklanma ve sürünen dalgalar; (a), yüzey şekli değiştirilerek düzeltilmiş salon (b) [6].

3.2.10 Oditoryumun gürültü ve titreşim kontrolü

Oditoryumdan gelen müdahale edici gürültüler ve titreşimlerin dışarıda bırakılması veya makul bir şekilde azaltılması, salonların akustik tasarımında önemli bir gereklilik teşkil etmektedir [8].

Yuvarlak odalar, hem odaklanma riski hem de fısıldayan galeri etkisi (duvarlar boyunca dolaşan kenar dalgaları) nedeniyle pek tercih edilmezler. **Şekil 3.28**'de gösterildiği gibi tüm yuvarlak şekil içindeki içbükey duvardaki modifikasyonlar, en azından orta ve yüksek frekanslarda problemi çözebilir [6].

4. AKUSTİK PARAMETRELER

4.1 Objektif Parametreler

Bütün akustiğe katkıda bulunmuş ve bugünkü bilgi seviyemize ulaşmamızı sağlayan kişileri saymak mümkün değildir. Bunlardan bazıları Schröder, Marshall, Barron, Bılaret, Bradley, Cramer, Ando, Bade, Potter, Hidaka, Okano, Johnson, Fricke, Kirkegaard, Pompoly, Jaff, Fanniello, Mueller, Tac Hibana ve Beranek gibi [15].

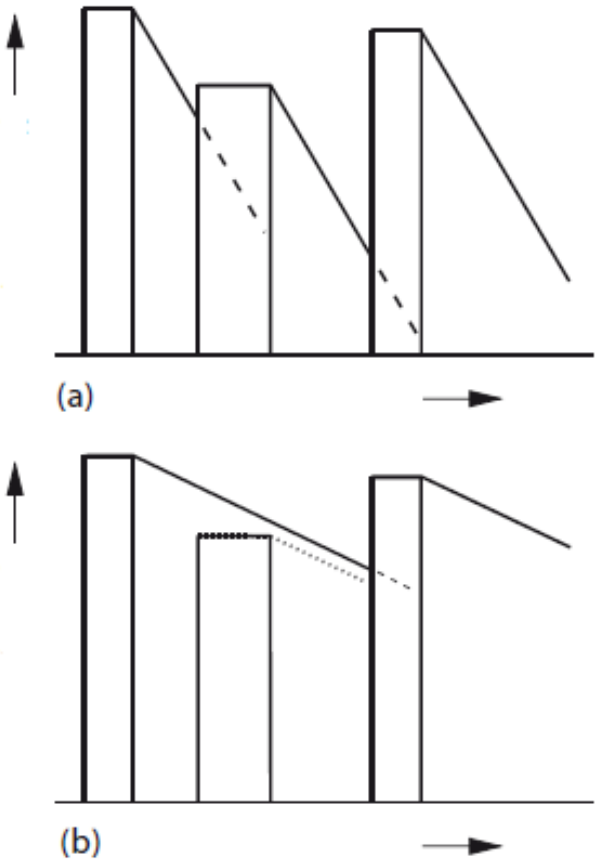
4.1.1 Çınlama süresi (reverberation time, T)

Çınlama süresi konuşma ve müzik üzerinde son derece etkilidir. Eğer gereğinden yüksekse konuşma ya da müzik anlaşılabilirliğini kaybeder, çünkü önemli detaylar daha yüksek seslerle maskelenir., **Şekil 4.1**'de gösterildiği gibi [1]. Çınlama süresinin uygun değerde uzun olması, aynı ya da farklı enstrümanlardan çıkan sesleri birbirine ekleyerek müziğe dolgunluk verir [19]. Çınlayan bir salonda çalışan bir kaynak için, şiddetteki (intensity) kazanım kayda değerdir, ilk seviyenin on katı kadar. Şiddetteki kazanım tahminen çınlama süresi ile orantılıdır; böylece zayıf bir sesi daha duyulabilir hale getirmek için uzun çınlama süresinin olması istenilir. Konuşmanın kolaylıkla anlaşılabilmesi için ekonun maskeleme etkisini en aza indirmek amacıyla kısa bir çınlama süresi açıkça gereklidir. Bununla birlikte, fazlasıyla kısa çınlama süresi müziğin daha sert, kulağı tırmalayan – veya daha az "müzikal" - biçimde duyulmasına yol açmaya başlar. Aşırı yüksek çınlama süresi değerleri, T, ayrı notalar arasındaki ayrımı bulandırır. T'nin seçimi, salon hacmine de bağlıdır, dolayısıyla iki uç değer arasında bir optimizasyonu temsil eder [18].

Çınlama süresini ölçmenin birçok nedeni vardır: birincisi, gürültü kaynaklarından yayılan ses basınç seviyesi, konuşmanın anlaşılırlığı ve bir odadaki mahremiyet algısı yüksek derecede çınlama süresine bağlıdır [20].

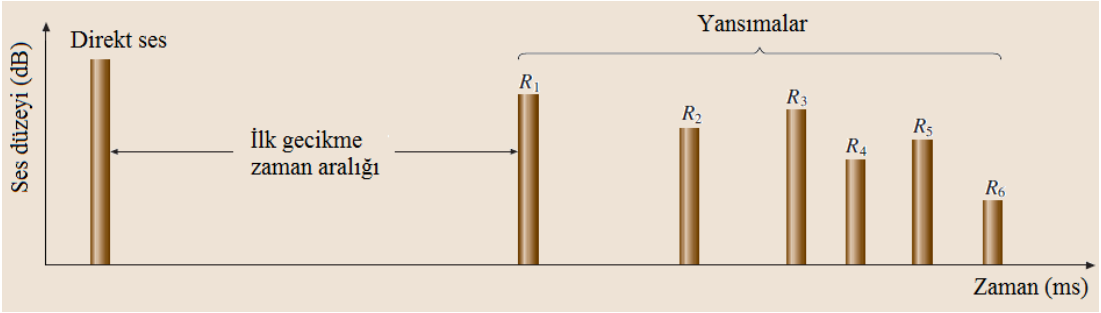
Birçok salonda, mevcut kişilerin sayısı çınlama süresi üzerinde güçlü bir etkiye sahip olabilir. Çınlama süresi ölçümleri salonda kimse yokken yapılmalıdır. Bununla birlikte, bir salonda iki kişinin varlığının, salonun boş halini temsil etmesine izin

verilebilir, aksi belirtilmedikçe. Eğer ölçüm sonucu ölçülen ses basınç seviyesinin düzeltmesi için kullanılacaksa, odada var olan kişilerin sayısı bu ölçüm için de aynı olmalıdır [20].



Şekil 4.1 : (a) Kısa çınlama süresi iyi bir anlaşılırlık verir; (b) uzun çınlama süresi maskelemeler üretir [1].

Akustikçiler için çınlama, bir salondaki müzik sesinin, o sesi üreten enstrümanın sesinin kesildiğinde, devam etmesidir. Bu olay kapalı bir mekân için geçerlidir. Dışarıda ise müzik yayıldıkça gücü azalır. Konser salonunun sahnesindeki bir kemancının tek bir nota çaldığını hayal edin. Kemandan tüm yönlere doğru yayılan akustik dalga salonu çevreleyen yüzeylere –duvar, balkon, seyirciler, tavana çarpar. **Şekil 4.2**'de gösterildiği gibi bir dinleyici ilk olarak kendisine doğrudan gelen ses dalgasını duyar, kısa bir aradan sonra ilk çınlamaların devamını duyar (R1, R2, R3, vs.). Bu ilk yansımalar, dinleyici yüzeyi dâhil olmak üzere daha fazla yüzeyle karşılaşmaya devam eder. Aslında bir saniye içinde kemandan çıkan ses, bazen odanın bir yüzeyine 20 defa çarpıp yansıyabilir. Elbette ses her bir çarpmada biraz enerji kaybeder, özellikle seyirci bölümünde. Böylece dinleyiciler, yavaşça duyulmayacak ses seviyesine düşen bir ses duyarlar [15].



Şekil 4.2 : Doğrudan ses, ilk yansıma ve diğer yansımaların olası aralıkları [6].

Akustikçilerin konser salonlarında yaptığı çalışmada, çınlama süresi kilit bir noktadır. Genel ifadelerle, kapalı bir alanın çınlama süresi yüksek bir sesin bu alanda, ses kaynağı durduktan sonra, tamamen duyulmaz hale gelmesi için geçen zaman dilimidir. Daha teknik ifadelerle çınlama süresi, yüksek bir sesin, kaynak durduktan sonra 60 dB düşmesi için geçen zamandır. Bu ayrıca "ses düşüm süreci" olarak da bilinir. Yüzeyi sert malzemeden oluşan ve sesi emme özelliği olmayan malzemelerin (halı gibi) bulunduğu, seyircisiz bir konser salonunda üretilen bir ses, sesin kesilmesinden sonra 3sn ya da daha uzun bir süre boyunca çınlamaya devam edecektir. Sesi hem yansıtan hem de emen seyircilerin eklenmesiyle çınlama, daha kısa sürede biter. En ünlü salonlar, tam dolu vaziyette, orta frekanslarda (350-1400Hz) 1.8 ile 2 sn arasında çınlama süresine sahiptir [15].

Çınlama, kendi içinde ne istenilen ne de istenmeyen bir niteliktir. Bu, müzisyenin müzikal etki oluşturması için hazır bulunan bir bileşendir. Çınlayan sesler, çalındıkça yeni notalar arasındaki boşluğu doldurduğu için, müzisyenlerin ihtiyaçlarına göre benimsediği veya kısıtladığı "tonun tokluğu" nu sağlar [15].

16. yy dan başlayarak, besteciler büyük, yüksek çınlayan (reverberant) katedraller ve daha küçüklerinde, daha az çınlayan kilise veya şapellerde koro ve topluluk müzik besteleri yazdılar. Her bir periyotta besteciler çınlama süresinin kısa olduğu, küçük salonlarda çalan küçük enstrüman grupları için oda müziği yazmışlardır. 1700 ve 1850 arasında çoğu orkestra müziği, Avrupa saraylarının daha büyük fakat makul derecede dar kamusal salonlarında ve balo salonlarında çalan gruplar için yazılmıştır. Bu salonlarda, orta frekanslarda çınlama süresi 1,5 saniyeye ulaşmıştır. Kendilerine has akustik kişilikleriyle bu salonlar, bestecilere kendi müzik çalışmalarını, çınlama sürelerinin belirli aralıklarına göre zihinlerinde algılamalarına müsaade etmiştir. İdeal koşullarda, her çalışmanın performansı, kendi bestesine uygun çevreyi ya da salon ve beste arasındaki uyuşmazlıklarla baş edebilen yetenekli orkestraları bulur.

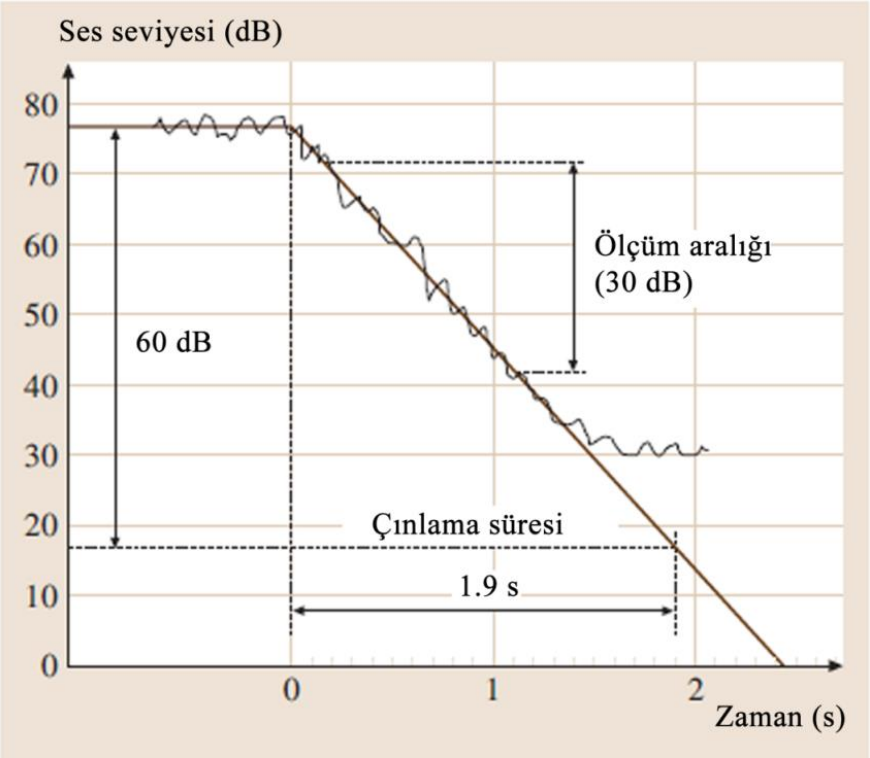
Bir çalışma, kendisine uygun olmayan çınlama süresine sahip bir salonda icra edildiğinde, iyi bir dinleyici bu uyuşmazlığı kolaylıkla fark edecektir. Organizatör E. Power Biggs bir sözünde "bir dinleyici, katedrallerde çalınmak üzere bestelenen bir çalışmanın, küçük bir okulun amfi salonunda çalındığında ortada yanlış bir şeyler olduğunu hemen anlar" demiştir [15].

Çınlama süresi, devamlı çalışan bir müzik kaynağının kapatılmasından sonra 60 dB'lik ses basıncının kaybolmasına kadar geçen süredir. Pratikte daha küçük, 30 dB'lik bir aralıkla sınırlandırılmıştır [19]. **Şekil 4.3**'te çınlama süresinin tanımı verilmiştir. Bu süre için ilk 5 dB'lik bölüm dikkate alınmaz ve bu 5 dB azalmanın beklenmesi ile ilk gecikme zaman aralığı (ITDG) elde edilmiş olur [21]. Bulunan süre 2 ile çarpılıp 60 dB'lik düşüş süresine ulaşılır. Eğer 60 dB aralığının tamamı boyunca ölçümler yapılsaydı, çınlatıcı kuyruk (grafiğin şeklinden kaynaklanan bir tabir) arka plan gürültüsüne denk gelirdi ve ölçüm bozulabilirdi [10]. Dolu salonlar için önerilen çınlama süreleri **Çizelge 4.1**'deki gibidir.

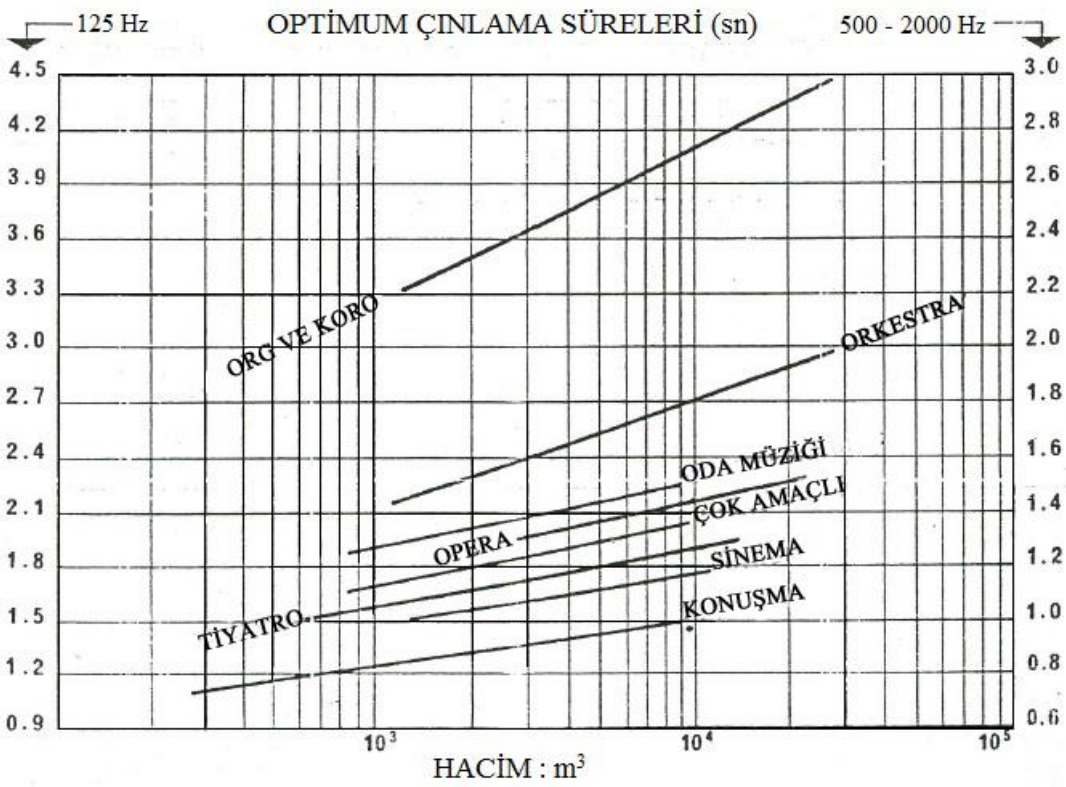
Çizelge 4.1 : Dolu salon için önerilen çınlama süreleri [1].

Müzik Türü	Çınlama Süresi (saniye)
Org Müziği	> 2.5
Romantik Klasik Müzik	1.8 – 2.2
Erken Klasik Müzik	1.6 – 1.8
Opera	1.3 – 1.8
Oda Müziği	1.4 – 1.7
Drama (konuşma)	0.7 – 1.0

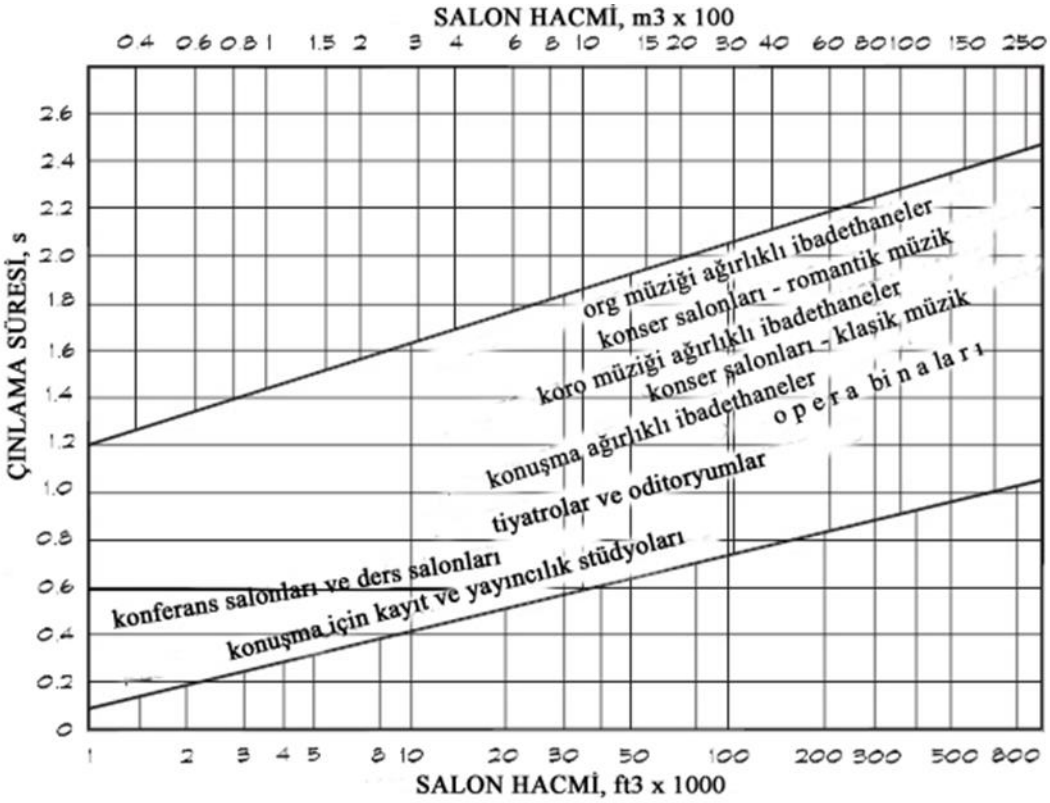
Salonda uygulanacak olan faaliyete göre çınlama süresinin hacimle ilişkisi ise **Şekil 4.4**'teki gibidir [9], diğer bir örnekse **Şekil 4.5**'teki gibidir. Çeşitli çınlama süresi – frekans eğrileri önerilmiştir; 500 Hz'in üzerinde yatık bir eğri tavsiye edilir. Müzik için, 125 Hz'de 500 Hz'in 1,5 katına yükselen bir eğri, konuşma içinse bu eğri 125 Hz'e kadar düz kalmalıdır. **Şekil 4.6**'da gösterilmiştir. Çok amaçlı oditoryumlar içinse, 500 Hz'in altındaki çınlama süresi – frekans eğrisi bu sınırlar arasında kalabilir [9].



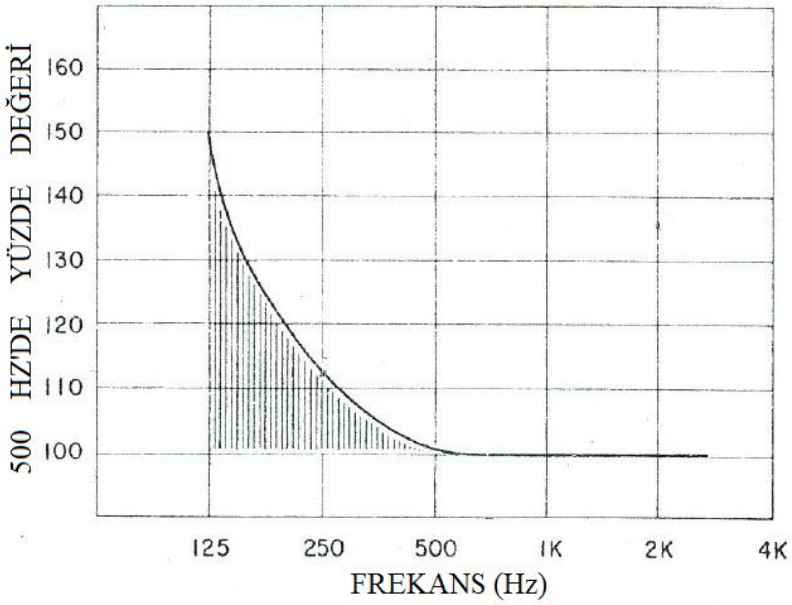
Şekil 4.3 : Çınlama süresi tanımı [6].



Şekil 4.4 : Hacim – çınlama süresi grafiği [14]



Şekil 4.5 : Çınlama süresi – salon hacmi [10].



Şekil 4.6 : 500 Hz'den düşük frekanslarda çınlama süresi taralı alan içinde kalmalıdır [9].

İnsan kulağının alçak frekanslara yeterince hassas olmamasından dolayı, alçak frekans aralıklarında (125 Hz ve 250 Hz) daha fazla yansımış seslerin sağlanması ile çınlamanın arttırılması istenilmektedir. Konuşma salonları için 125 Hz' de % 30, 250 Hz için ise % 15' lik bir artış tavsiye edilmektedir [22]. Başka bir kaynakta ise

müzik salonları için 500 Hz'deki eğri 125 Hz'de %150 artış gösterir. Bu ilişki **Şekil 4.6**'da verilmiştir, konuşma için 125 Hz'de bu eğri düz veya düze yakın olmalıdır. Çok amaçlı salonlarda ise 500 Hz'in altındaki çınlama süresi – frekans eğrisi bu sınırlar arsında herhangi bir yerde olabilir. Seçilen optimum çınlama süresinden %5-10'luk bir sapma kabul edilebilirdir, özellikle yüksek derecede yayma (saçma) özelliği olan salonlarda [9]. Düşük frekanslardaki çınlamanın hesaplandığı formüller verilmiştir **(4.1) (4.2).**

$$Optimum\ T_{125} = (1{,}5) \times Optimum T_{500} \quad \textbf{(4.1)}$$

$$Optimum\ T_{250} = (1{,}15) \times Optimum T_{500} \quad \textbf{(4.2)}$$

T_{125}= 125 Hz'de optimum çınlama süresi.

T_{250}= 250 Hz'de optimum çınlama süresi.

T_{500}= 500 Hz'de optimum çınlama süresi.

Açıkça tanımlanabilen ve makul bir kesinlikte ölçülebilen az miktardaki konser salonu kriterlerinden birisi çınlama süresidir. Kesinlikle en önemli kıstaslardan biridir. Ses, üretildiği an yok olup gitmez ama bir süreliğine duvarlardan, tavanlardan, zeminlerden ve diğer yüzeylerden olan yansımalar yüzünden duyulmaya devam edecektir. Bu daha sonraki direkt ses ile karışır ve çınlayan ses olarak bilinir. Seyirci, anlamaya yardımcı veya kendilerine atmosferi taşıyan bir çınlayan ses bekler [23].

İdeal çınlama süreleri deneysel metotları kullanan çalışanlar tarafından önerildi. Stephens ve Bate'e göre olan bir tanesi **(4.3)** [23]:

$$t = r\left(0.012\sqrt[3]{V} + 0.1070\right) \quad \textbf{(4.3)}$$

t = çınlama süresi (saniye)

V = salonun hacmi (m3)

r = 4 (konuşma için)

5 (orkestra için)

6 (koro için)

Düşük frekanslarda, yaklaşık yüzde kırklık bir artış akla yatkındır. Diğer bir metot grafik yöntemini kullanır, **Şekil 4.4** ve **Şekil 4.5**'te gösterildiği gibi. Birkaç basit hesaplama, bunların birçok durumda benzer sonuçlar verdiğini gösterir [23].

Sabine'nin formülü; asıl çınlama süresi Sabine formülü ile bulunur **(4.4)** [23]. 19. yüzyılda teorik beyinler çınlama probleminin muhtemelen basit matematiksel analizlere indirgenemeyeceğini düşündüğü sırada 20. yüzyılın başlarında Sabine çınlama sürelerini belirleyen sadece iki büyüklüğün olduğunu keşfetti (Sabine 1922). Bunlar, odanın hacmi (V) ve toplam akustik soğurulma/emilim (A) idi. Toplam emilim basit olarak sesi soğuran bütün alanların toplamıdır. Bu ise yüzeylerin alanı (S) ile bu yüzeylerin sahip olduğu soğurulma katsayılarının (α) birbirleriyle ayrı ayrı çarpılarak toplanması yoluyla bulunur. (A=∑Sα=S1*α1+S2*α2+…..). Hacim ve Akustik soğurulma m^3 ve m^2 cinsinden hesaplandığında aşağıdaki şekli alır **(4.4)** [1].

$$t = \frac{0.16V}{A} \qquad \textbf{(4.4)}$$

t = çınlama süresi (saniye)

V = salon hacmi (m^3)

A = emme birimleri (m^2)

Emme birimleri, salonda kullanılan her bir malzemenin emme katsayılarını veren tablolar kullanılarak hesaplanır. Bir malzemenin emme katsayısı yansımadan gelen sesin küçük bir parçasıdır [23].

Eyring'in formülü; Sabine'in bir odadaki bütün yüzeylerin emme ortalamasının 0.2'den daha az olduğu sürece basitlik ve doğruluk gibi bir avantajı var [22].

Sabine, Eyring'in yansımalardaki kesikli düşmeleri dikkate aldığında bir odadaki sesin devamlı olarak düştüğünü addetmiştir. Sabine formülünde yapılacak düzeltme ile son uygun hali şu şekildedir (**4.5**) [23]:

$$T = \frac{0.16V}{A + xV} \qquad \textbf{(4.5)}$$

V = salon hacmi (m^3)

A = emme birimleri (m^2)

x = ses yutuculuğu/havanın birim hacmi

Değişken çınlama süreleri: Salonlar değişken çınlama süreleri düşünülerek inşa edilir. En iyi bilinen örnekler Dallas'taki Meyerson Merkez Salonu, Birmingham'daki Senfoni Salonu ve Lucerne'deki Kültür ve Kongre Merkezi Konser Salonu'dur. Bu örneklerde, ana salon "ayakkabı kutusu" şeklindedir. Ana salonun çevreleyen, her farklı seviyede, geniş hacimlerdeki birkaç beton oda ağır otomatik kapılarla açılmaktadır. Sabine'nin çınlama formülü der ki sesi yükselterek, çınlama süresini doğru oranda yükseltebiliriz fakat Lucerne'deki salon haricinde bu pek tahmin edildiği gibi gerçekleşmemiştir. Lahti ve Philedelphia'da çınlama süresi, kapılar açıldığında çok az oranda değişmiştir. Dallas'ta artış özellikle 125, 250 ve 500 Hz gibi alçak 3 frekans bandında gözlemlenmiştir ve değişim daha yüksek bantlarda beklendiğinden daha düşüktür. Bunun nedeni yüksek frekanslarda, daha kısa dalga boylarının girişlerden girip çıkması daha zordur. Dallas ile ilgili hakkındaki olumsuz yorum, alçak frekanstaki çınlama süresinin artması, müzikal kompozisyonu bestecinin daha önce aklına getirmediği şekilde etkileyebilir. Bugün birçok salonda nispeten geniş alanlı ses emici perdeler veya diğer malzemelerle kapalı alanlardan seyirci bölümüne getirilerek çınlama süresi azaltılmaya çalışılmaktadır. Kesin bir şekilde, bu özellikler koro şefine Romantik zaman dilimindeki müzik için uygun uzun çınlamayı, örneğin, Barok dönemdeki bir müzik için daha kısa bir çınlama süresine ayarlamasına yardımcı olur. Bunun dışında ayrıca koro şefine günümüzün çağdaş müziğine orijinal katkılar, eklemeler yapması için olanaklar sunar. Buna ek olarak daha kısa çınlama süreleri salonu, konferanslar için daha uygun hale getirir [15].

Birisi düşünürken, eklenen çınlama odaları bugünün başarılı salonlarına yapıldığı için müzisyenlerin yeniliklere daha istekli yaklaşabildiğinin söylenebildiğini düşünmelidir. En son örnek, Philadelphia'daki Vernizon salonundaki Kimmel Center. Fakat bu eklentiler çok maliyetli ve inşaat komitesi değişken çınlamanın pratikte ne sıklıkla değiştiğini araştırmalıdır. Sıklıkla olmasa da daha az maliyetli ama daha iyi salonlar gibi inşa edilen salonlar da iyi bir seçim olabilir. Klasik ayakkabı kutusu şekilli salonlardaki akustiğe eşit salonlar inşa etmek mümkün ve bunlar çok geniş bir değişkenliğe sahip olabilir. Bu Lucerne Konser salonu için başarılmıştır ki burası makul oturma kapasiteli (1900 koltuk) ve (22 metre; 70 ft) çok büyük olmayan genişliği klasik biçimle harmanlamaktadır [15].

4.1.2 Erken düşme süresi (EDT)

Canlılığın diğer bir ölçüsüdür. Çınlama süresi salon düşme eğrisinin ilk kısmından hesaplanır. Aslen bu süre 6 ile çarpılan azalma seviyesinin ilk 10 dB'i (10 dB azalma) için alınan süredir, çınlama süresiyle karşılaştırmaya olanak sağlar. Erken düşme süresi çınlama süresine zıt olarak, doluluk oranıyla daha az değiştiği için ölçümü seyirci olmadan yapılır. Beranek (1999)'in 52 salonda yaptığı araştırması ile ilgili veriler seyirci olmadığı zamanki T_E ile seyirci olduğu zamanki T_{60} arasında yaklaşık 0.3 saniye kadar bir fark olduğunu göstermiştir **(4.6)** [10].

$$T_e \cong T_{60-o} + 0.3 \quad (saniye) \tag{4.6}$$

T_e= Seyirci olmadığı zamanki erken düşme süresi.

T_{60}= Seyirci olduğu zamanki 60 dB düşme süresi.

Konuşma ya da müzikte, sonradan gelen notalar ya da heceler çınlamaya bağlı olarak öncekini maskeleyeceği için EDT daha gerçekçi bir parametredir [19]. Bu düşüş her seyirci noktasında farklılık gösterir. Müziğin içinde birbirini hızla takip eden bölümlerde, EDT parametresinin hızlı bölümlerdeki çınlamanın azalmasını göstermesi ve dolayısıyla daha detaylı sonuçlar elde edilmesini sağlaması nedeniyle, çınlama süresine göre daha etkili rol oynamaktadır **(4.7)** [21].

$$EDT = 6.t_{10}\ sn \tag{4.7}$$

t_{10}: Kaynaktan çıkan sesin ilk 10 dB'lik düşüşü sırasında geçen süre.

Bir müzisyen ya da bir orkestra, hızlı bir şekilde çaldığında, art arda gelen notalar arasında sadece ses düşme süresinin ilk kısmı duyulabilir. "Erken düşme süresi" ses düşmesinin başlangıç evresini tayin eder. Daha teknik bir tabirle, EDT, bir notadan çıkan sesin, ses kesildikten sonra, 10 dB düşmesi için geçen zamanın 6 faktörü ile çarpılmasıdır. Neden 6 faktörü? 10 dB düşüş, çınlama süresi olarak tanımlandığı gibi, 60 dB düşüş için gerekli olan zamanın neredeyse 6 da 1'ine tekabül eden bir zaman aralığında meydana gelir. 6 faktörü, EDT, RT (sn cinsinden) arasında doğrudan bir kıyaslama yapılmasına izin verir. EDT, RT den daha iyi bir akustik netlik gösterir çünkü senfonik bestelerde kemancılar tarafından çalınan notalar birbirlerini çok hızlı takip eder [15]. Erken düşme süresi diğer parametreler gibi hem objektif hem sübjektif parametrelerdendir. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde,

subjektif olarak saptanan en ufak değişiklik ile farklılıkları karşılaştırmak aynı zamanda amaca uygundur. Mükemmel akustik kalite ile nitelendirilen konser salonlarında EDT'nin T'den %10 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. EDT için subjektif farklılık eşiği % 5 civarındadır [22].

4.1.3 Çift kulakla kalite indeksi (BQI)

BQI, konser salonundaki akustik kaliteyi gösteren en etkin göstergelerden biridir. BQI, ilk olarak 1968'de Keet tarafından öne sürüldü ve sonraki çalışmalar Schroder, Ando, Potter, Hiduka, Okano ve Beranek tarafından devam ettirildi. BQI, doğrudan sesin ulaşmasından sonra 80 msn içinde iki kulağa ulaşan müzikal seslerdeki farklılıkların ölçüsüdür [15].

Bu farklılık ancak yanal yönlerden dinleyicinin kulağına gelen ses dalgaları tarafından yaratılabilir. Karşıdan direkt gelen sesler iki kulağa da birebir aynı gelir ve bu yüzden BQI' ya katkı sağlamazlar [15].

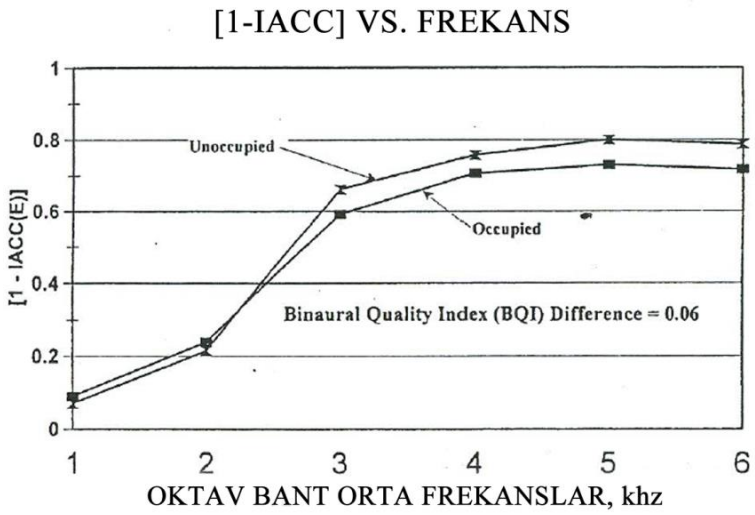
Bir ses dalgası dinleyiciye yaklaştığı zaman diyelim ki başının sağ tarafında olsun, sağ kulaktaki dalga aynen o taraftaki duvardan yansıyarak gelen dalga gibi olacaktır. Dalga kafanın diğer tarafına geçtiği zaman, sol kulağa saniyenin bin de biri süre sonra varacaktır ve daha az güçte olacaktır çünkü baş tarafından gölgelenmiş olacaktır. İşte BQI, doğrudan sesin ulaşmasından sonraki ilk 80 msn'de ulaşan bütün yanal dalgalardan olan kulaklardaki farklılıkların tamamını bir araya getirir, toplar. Buna ek olarak bütün bunları, işitmenin en hassas olduğu frekans bölgesinde, 350 Hz ile 2850 Hz aralığında, ölçecektir [15].

Fiziksel ölçümünün adı "duyumlar arası çapraz-bağ kat sayısı"dır. (interaural cross correlation coefficent- IACC). BQI'ın formülü [1-IACCE3] şeklinde tanımlanır. "E", erken sesi (80 msn'den az) ve "3" ise 500, 1000 ve 2000 Hz bantlarındaki ortalama $IACC_E$ değerlerini gösterir. Formüldeki "1-" ise hiçbir yanal yansıma olmadığı ve sadece doğrudan sesin olduğu durum için indeksin sıfır olduğunu ortaya koyar. BQI, sübjektif derece sıralamasının (rank-order) olduğu pek çok konser salonu ve opera evlerinde ölçülmüştür. Standart memnun edici bir salonda, BQI değeri 0,5'in üzerinde bulunmalı ve en iyi salonlarda da bu değer 0,6'nın üstündedir. Bu demektir ki çok iyi salonlarda seslerin iki kulaktaki benzerliği şaşırtıcı derecede azdır [15].

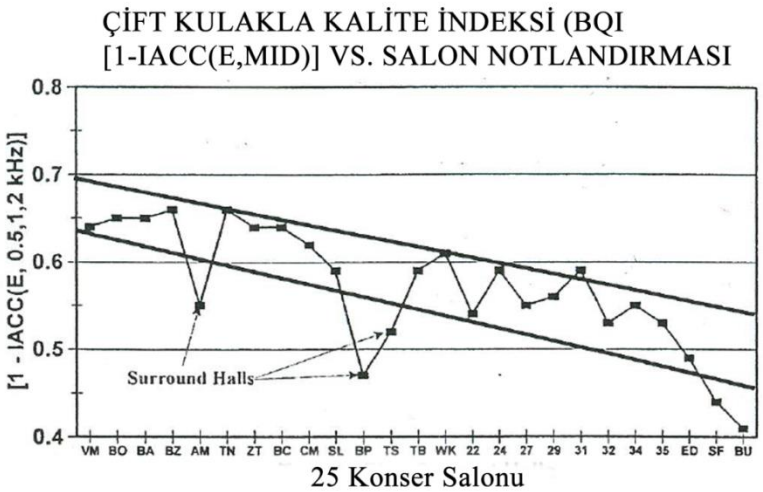
BQI konser salonunun akustik kalite oranını ölçmede diğer akustik parametreler kabul edilebilir, mantıklı limitlerde sağlandığında etkileyici derecede etkindir.

Örneğin; çınlama süresi orta frekansta salon tam dolu iken 1.7 ile 2.1 sn arasında, ilk gecikme zaman aralığı 35 msn'den az, memnun edici bir bas tepkisi var, salon çok büyük değil böylece ses şiddeti memnun edici ve salondaki duvarlar ve tavanda düzensizlikler var, böylece çınlayan ses alanı keyifli [15].

BQI'ın bir diğer güzel özelliği ise, BQI boş salonda ölçüldüğü zaman kişiye tam dolu salonun akustik kalitesini tahmin etme olanağı sağlar. Bir salonun akustik kalitesi ancak dinleyicinin ilk kez tam olduğu zamanda, açılış gecesi konserinde belli olur. BQI'ın bu avantajı **Şekil 4.7**'de gösterilmiştir. Salonun dolu ve boş olduğu zamanlarda değişim sadece %10 dur. Bu bulgular şunu ortaya koyar; **Şekil 4.8**'deki BQI değerlerinin %10 u geçmeyecek şekilde daha fazlası dolu olan salonlarda aynı oranda ölçülebilir [15].



Şekil 4.7 : Dolu ve boş salonlar için BQI – Frekans çizimi [15].



Şekil 4.8 : 25 konser salonu için BQI – Akustik kalite sübjektif derecelendirme çizimi (salon boşken ölçülmüş) [15].

4.1.4 Ses şiddeti (loudness), ses gücü (strength of sound) (G)

Güç faktörü G, sahnede tüm yönlü bir kaynak varken, salonda herhangi bir noktadaki ses basınç seviyesi ve tamamen yutucu bir odada aynı güç seviyesini üreten kaynaktan 10 m mesafedeki noktada ölçülen ses basınç seviyesi arasındaki farkın ölçümüdür. Başka bir deyişle yansımasız bir hacimde kaynaktan 10 metre mesafede ölçülen direkt sesin düzeyidir. Eşitlik **(4.8)** [24, 22]:

$$G = 10 \log \frac{\int_0^\infty p^2(t)dt}{\int_0^\infty p_A^2(t)dt} \; dB \qquad \textbf{(4.8)}$$

$p_A(t)$: 10 m mesafedeki serbest alan ses basınç seviyesi.

Bach'ın B minor'u, Bethooven'ın 9. Senfonisi ya da Mahler'in 8. senfonisinin heyecanını duymak sadece orkestranın kalitesine veya şefin uyarlamasına, yorumuna bağlı değil, aynı zamanda konser alanının dinamik karşılık (dynamic response) vermesiyle inanılmaz derecede artırılır, geliştirilir. Dinamik karşılık, çok hafif bölümler için hafif destek ve çok kuvvetli bölümlerde görkemli destek anlamına gelir. Konser salonundaki müthiş alkış yağmuru parçanın sonundaki heyecan verici kuvvetli sesi takip eder. Bu tarz kuvvetli sesler, eğer salon çok geniş değilse eğer minimum halı, kumaş kullanılmışsa ve genelde çok döşenmemiş koltuk varsa mümkün olacaktır. Bazı besteler için ufak salon fazlaca sesli/gürültülü olabilir. Herbert von Karojan, Senfoni Salonu'ndaki sesi daha küçük olan Musikvereinssal'dakinden biraz daha fazla beğendiğini söyler. Tabii ki bunu büyük ihtimalle çınlama süresine bağlayacaktır. Ama Senfoni Salonundaki çınlama süresi (salon dolu), diğerlerinden o kadar da farklı değildir. Senfoni Salonu için 1.9 sn, Müzikvereinsaal için 2.0 sn.- Viyana'daki salon 2.5 dB daha seslidir [15].

Ses şiddeti (loudness) dört mimari özellikten etkilenir:

1. Dinleyici sahneden ne kadar fazla uzak ise, ses şiddeti o kadar az olur.

2. Erken ses enerjisini seyirciye yansıtan yüzeyler (tercihen yanal taraflardan) ses şiddetini yükseltir.

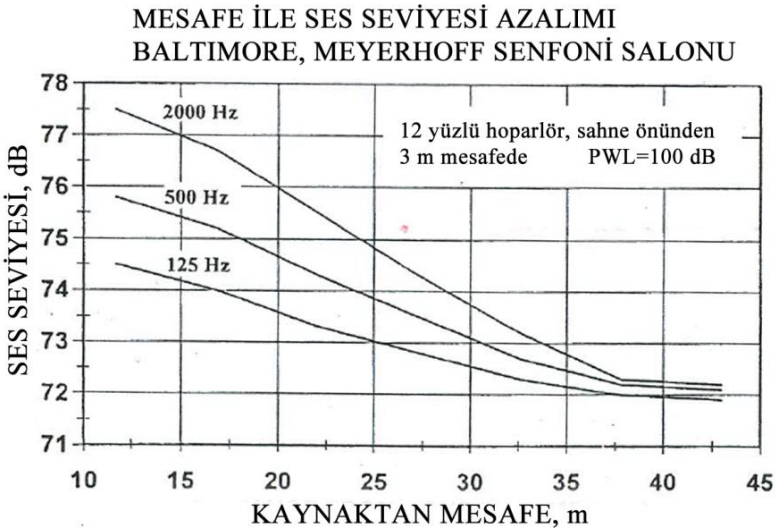
3. Akustik alan, ST (seyirci artı orkestra), ne kadar genişse ve hacim ne kadar büyükse ses şiddeti o kadar az olur.

4. Eklenen ses emici malzemeler: halılar, kumaşlar, ağır döşenmiş koltuklar ve borulu orglar ses şiddetini azaltır.

Doğrudan sesin şiddeti, salonun önünden arkasına doğru dolaştıkça azalır. Var olan erken yansımalar (doğrudan sesin ulaşmasından sonraki 80 msn içinde) bu düşüşü azaltacaktır, bu durum Viyana'daki Müzikvereinsaal ya da Boston'daki Senfoni Salonu gibi dar dikdörtgen bir salonlarda otomatik olarak sağlanır. Aksi halde, bir ölçüye kadar, yan duvarlara asılan özel paneller veya tavana asılı baş üstü şekilde konumlandırılan paneller erken ses enerjisini dinleyiciye doğru yansıtacaktır ve ses şiddetindeki bu düşüşü etkisizleştirecektir [15].

Geniş, büyük konser salonlarında ses seviyesini başarılı bir şekilde artırmanın güzel bir örneği de geniş, yana yatmış (slanted) ses yansıtıcı panelleri olan ve yüksek yan duvarlara monte edilmiş Costa Mesa (Kaliforniya) Segerstrom Salonu'dur. Orta frekanstaki ses seviyeleri neredeyse Boston Senfoni Salonu ile aynıdır. Boston da 2600 (aslında Boston Senfoni Salonu'nda yeniden modern koltuklar yapılırsa daha geniş sıra aralıkları olursa ve daha geniş çıkış koridorlarına sahip bir hale getirilirse 2200 kişiye hizmet verebilir), Costa Mesa'da 2900 koltuk olmasına rağmen [15].

Ses şiddetinin 3. bileşeni seyirci sayısıdır. Bir orkestra herhangi bir performans seviyesinde belli bir ses enerjisi üretir. Eğer bu enerji seyirciye eşit olarak dağıtılırsa, ne kadar fazla dinleyici olursa kişi başına o kadar az enerji düşecektir [15].

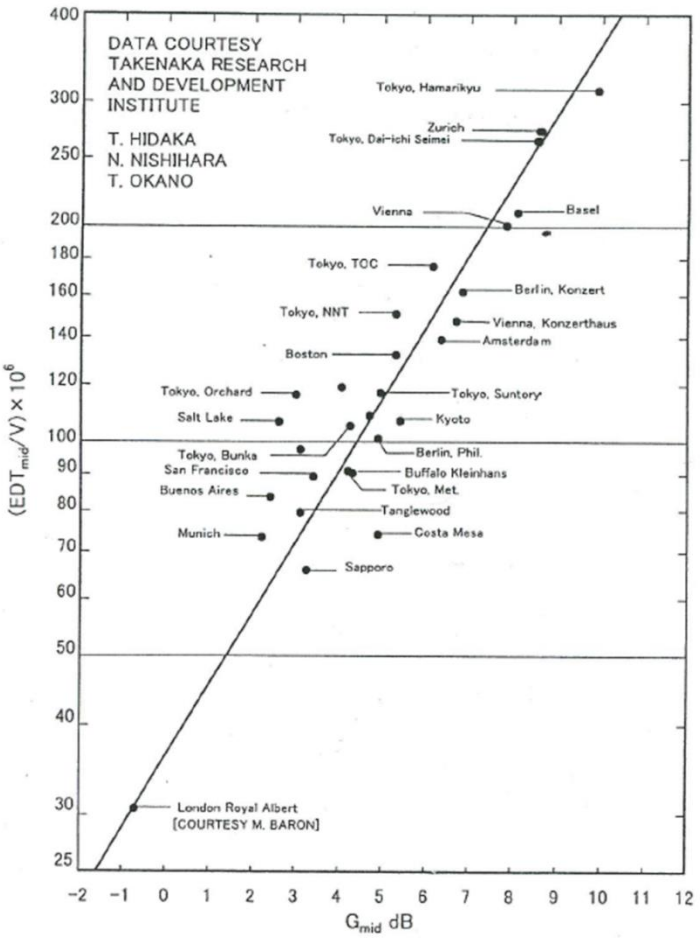


Şekil 4.9 : Salon boşken, sahne önünden 3 m geride yerleştirilmiş yönsüz (nondirectional) bir ses kaynağından farklı uzaklıklardaki ses seviyesi [15].

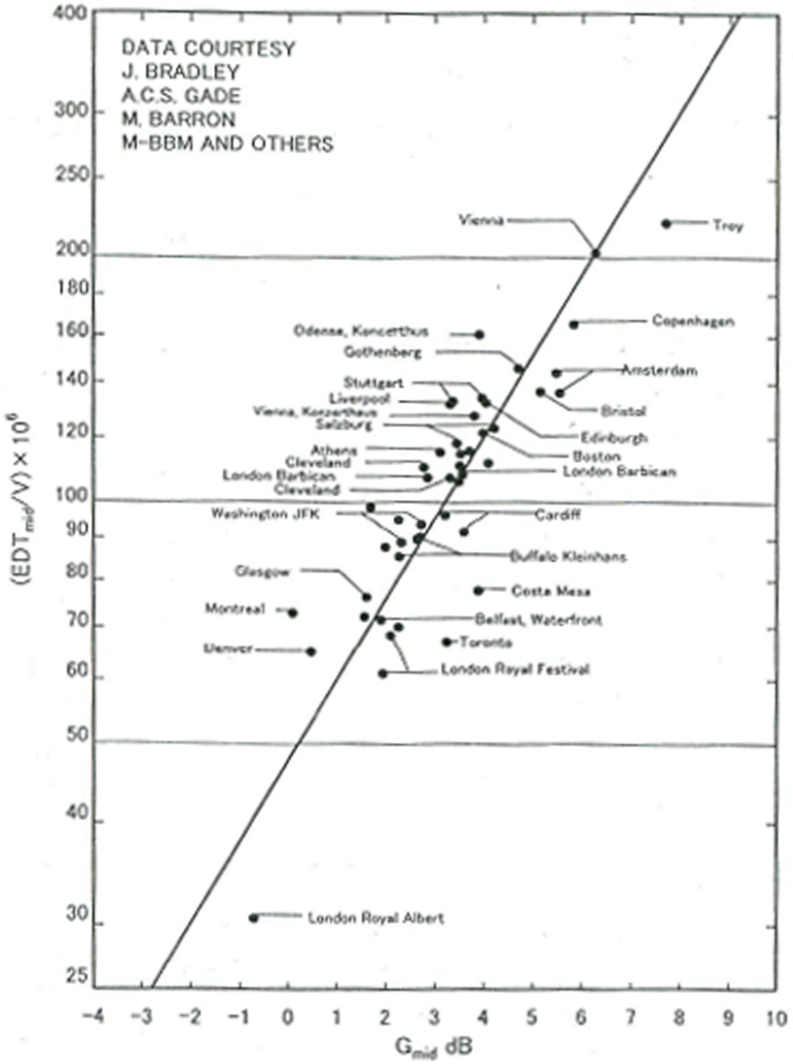
Şekil 4.9'da Baltimore'daki Meyerhoff Senfoni Salonu'nda (tam dolu), desibel cinsindeki ses şiddetinin sahneden uzaklığının fonksiyon grafiğini gösterir. Bu grafik, doğrudan ses şiddeti seviyesindeki düşüşün ve erken yansımalar ve çınlayan

seslerce ses şiddeti seviyesindeki artışın bileşik etkilerini gösterir. Merkezden arkaya doğru ses seviyesindeki normal bir düşüş, 2400 koltuklu, 2 sn çınlama süreli iyi tasarlanmış bir salonda 3-5 desibeldir [15].

Değişikliğe uğramış kaynak ölçeğine sahip bir ses seviyesi ölçer, desibel cinsindeki sesin gücünü, G, ölçer. **Şekil 4.10** ve **Şekil 4.11**'de birkaç salonda ölçülen G_{mid} değerleri görülmektedir. G_{mid}, 500 ve 1000 Hz oktav frekans bantlarındaki ses gücü ölçümlerinin ortalamasıdır. Daha önceki şekildeki ölçümler Chiba, Japonya'daki Takenaka Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü'nde yapılmış ve bu şekildeki ölçümler diğer ülkelerde yapılmıştır. **Şekil 4.10**, 5000 kişilik Royal Albert Hall'un, Viyana'daki Grosser Müzikvereinsaal'den 8.5 dB daha alçak ses gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Kategorinin en üst sıradaki salonlarına bakıldığında, G, ses gücü seviyeleri 3.0 dB civarında, 1546 kişilik Zürih Salon'u en yüksek ses, 2625 kişilik Boston Senfoni Salon'u en alt seviyede çıkmaktadır [15].



Şekil 4.10 : Boş salonlarda ölçülen G_{mid} ve EDT'den yola çıkılarak, orta frekanslardaki ses gücü Gmid ölçümleri – EDT/V oranı grafiği [15].



Şekil 4.11 : Diğer ülkelerdeki araştırmacıların elde ettiği veriler olmasının dışında Şekil 4.10 ile aynı grafik. İki grafik arasında belirtilen 1.2 dB'lik fark, aynı salonda iki farklı tarafın yaptığı ölçümlere dayanmaktadır [15].

Test aşamasında tepki sesi üretmek için salonda kullanılan tüm yönlü (omnidirectional) kaynak için yapılan ayarlamadaki farklılıklar yüzünden güç (G) değerleri, 1,2 dB'e kadar olan Takenaka ölçümleri için Avrupa veya başka bir yerde yapılan ölçümlerden daha yüksektir [15].

Ses gücünü, ayrı ayrı erken ulaşan ve geç ulaşan ses için, G_{early} ve G_{late} cinsinden dikkate almak yararlıdır. Bizim işitme sistemimiz erken ve geç ulaşan seslerden kaynaklanan farklı etkileri algılar ve fiziksel olarak bunlar oda tasarımının farklı özelliklerince belirlenirler. Örneğin; G_{early} değerleri belli yansıtıcı yüzeylerden etkilenirler ve düşük frekans oturum azalması (seat dip attenuation) gibi müdahale etkileri tarafından azalabilirler. G_{late} değerleri, ortalama emicilik değerlerinden ve salon hacminden daha fazla etkileneceklerdir ve sıklıkla balkon altlarında daha fazla

düşebilirler. Artan Gearly değerleri daha çok netlik ile ilgili olurlar, ama artan Glate değerleri daha fazla çınlamaya ve kuşatmaya götürür. Dahası bunlar, belli salonların karakterlerini anlamada çok yararlı olabilirler. G_{early} ve G_{late} değerleri, her oktav banttaki G ve C_{80} değerlerinden hesaplanabilir [25].

Bas sesinin algılanan gücü, düşük frekans çınlama süreleri ile ilgili değildir ama düşük frekanslı sesin gücü veya seviyeleri ile ilgilidir. Özellikle 125 Hz oktav gücü (G_{125}), bilhassa bas gücü oranlarının (ratings of bass strength) başarılı bir öngörücüsüdür [25]. Literatürde G parametresi için verilen optimum aralık -2 ile 10 aralığındadır [26]. Bu parametre için verilen sübjektif limen ise 1 dB'dir [27].

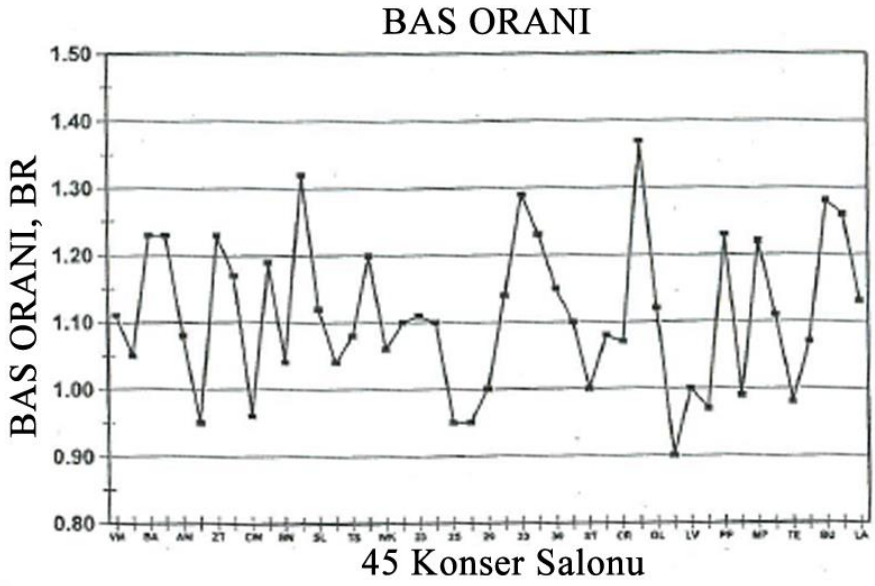
4.1.5 Bas oranı (bass ratio), sıcaklık (warmth), bas kuvveti (G_{low})

Salonda, müzik bas ile zengin işitilirse o müzik için "sıcaklık"a sahip olduğu söylenir. Sıcaklığın belirteci olan bas seslerin ölçümü için en az 3 tane yol vardır. İlk ölçüm çok uzun zamandır kullanılan bas oranıdır (BR). Dolu salonlarda, alçak frekanstaki çınlama süresinin orta frekanstakine oranıdır. Tanımlarsak, 125 ve 250 Hz'deki çınlama sürelerinin toplamının 500 ve 1000 Hz'deki çınlama sürelerinin toplamına bölümüdür **(4.9)** [15, 10].

$$BR = \frac{T_{60}(125) + T_{60}(250)}{T_{60}(500) + T_{60}(1k)} \qquad \textbf{(4.9)}$$

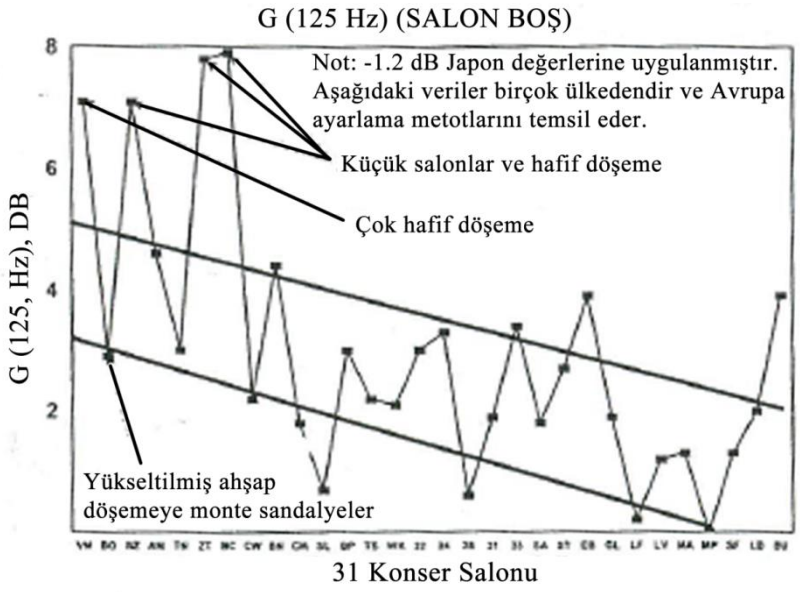
2. metot ise orta frekansta (salon boş iken) ölçülmüş ses güçlerinin (desibel cinsinden) alçak frekanstakilerden çıkarılmasıdır. Başka bir deyişle (G_{125} + G_{250})-(G_{500}+G_{1000}). Bu yöntem 38 konser salonu için denendiğinde elde edilen sonuç bunun o kadar kullanışlı olmadığı yönündedir [15].

3. metot ise alçak frekans bandında sesin mutlak gücünün, G_{low} veya G_{125}, desibel cinsinden, ölçülmesidir. Bradley ve Soulodre'nin sübjektif laboratuvar deneylerinin sonuçlarına göre bas oranı sıcaklığın anlamlı bir ölçütü değildir fakat G_{low} ve özellikle G_{125} anlamlıdır. **Şekil 4.12**'de 45 adet tam dolu salondaki bas oranı (BR) değerleri sıralanmıştır. Buradan da görüleceği üzere bas oranı (BR) değerleri ile salonların derece sıralaması (rank-ordering) arasında hiçbir bağlantı yoktur. Bu bulgu Bradley/Soulodre'nin laboratuvar testleri ile aynı şeyi ifade eder [15].



Şekil 4.12 : 45 konser salonu için bas oranı, dolu salonda ölçüm yapılmıştır [15].

Desibel cinsindeki G_{125}'in gücü, 31 adet boş salonda 125 Hz'de ölçülmüş ve **Şekil 4.13**'te gösterilmiştir. Ülkeler arası uyarlama teknikleri arasındaki farkların Takenaka değerlerinden ve diğer veriler için kullanılan ölçüm değerlerinden 1.2 dB çıkarılmasıyla halledildiği unutulmamalıdır. Koltuklardaki döşemenin çok hafif olduğu salonlar hariç, bu şekil G_{125} ile derece sıralamaları (rank-orderings) arasındaki bağlantıyı göstermede yardımcı olur. Hafif döşemeli salonlarda ölçülen yüksek G_{125} değerleri, dolu salonlara uymayacaktır, çünkü insanlar hafif döşenmiş koltuklarda oturmuş olur [15].



Şekil 4.13 : 31 konser salonu için 125 Hz'deki güç (G). Salon boşken ölçüm yapılmış. G_{125} daha büyük salonlarda küçüktür ve ince döşeme kaplamalı salonlarda [15].

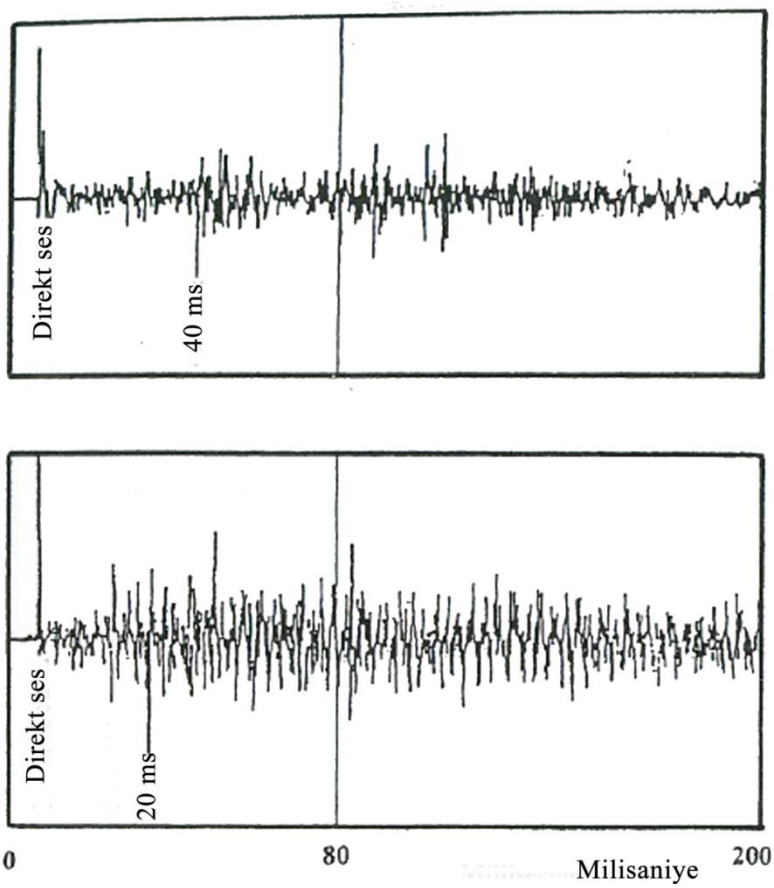
4.1.6 İlk gecikme zaman aralığı (ITDG), samimiyet (intimacy)

Büyük bir salonda müzik dinlemenin sübjektif etkisinin ve müziğin sesinin, sanki küçük bir odadaymış gibi etki etmesi "samimiyet"in tanımını oluşturur. Sağır bir insan salonun ana zemininin ortasında ayakta dururken mekânın büyüklüğünü, sesi dinleyerek algılayabilir [15].

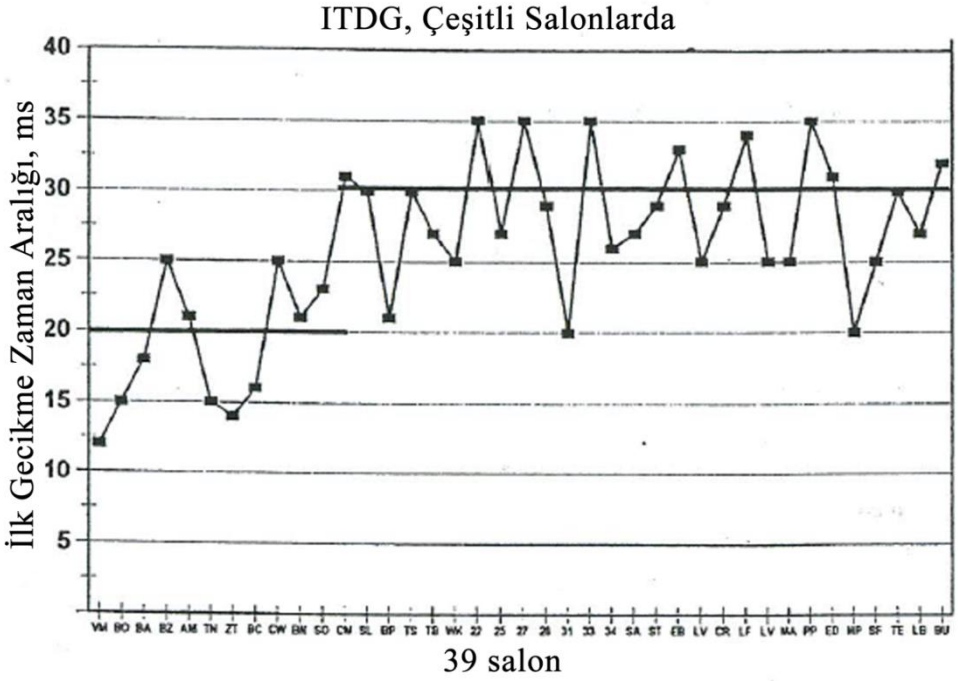
Burada ITDG sadece tek pozisyon için verilmiştir, orası da ana katın merkezidir. Tam yerini belirtilirse sahne ile ilk balkonun önünün ortasındadır ve merkez çizgisinden bir metre uzaklıktadır [15].

Uzun ITDG ile çok geniş ve yüksek tavanı olan salonlarda karşılaşılır. 20 msn'lik ilk gecikme zaman aralığına sahip bir salondaki ses ile 40 msn'lik ilk gecikme zaman aralığına sahip daha geniş bir salondaki ses arasındaki fark **Şekil 4.14**'teki yansıma diyagramında gösterilmiştir. Bu gibi zaman dokularını üretmek için, kısa, güçlü "bip" sesi çıkaran yönsel olmayan (non-directional) ses kaynağı sahneye yerleştirilir. Grafikte gösterilen 2 salon için mikrofon sahne ve arka duvar arasındaki yolun %60'ında olan koltuk içindedir. Her dokunun solundaki uzun dikey çizgi kaynaktan dinleyiciye ulaşan sesi gösterir. **Şekil 4.14**'teki yansıtma diyagramı iki şekilde ayrılır. İlkinde, 40 msn'lik ITDG'ye sahip salonda, 20 msn'lik ITDG'ye sahip salona göre daha az erken yansımalar (80 msn'den önce oluşan) olacaktır. İkinci olarak da, 40 msn'lik ilk gecikme zaman aralığı durumunda, erken yansımaların genliği zayıftır çünkü erken yansımalar daha uzağa ulaşmışlardır [15].

39 salon için ITDG değerleri **Şekil 4.15**'te gösterilmiştir. En iyi puanla derecelendirilmiş salonlarda ITDG 2.1 msn ya da biraz daha azdır. Amsterdam'daki salon çok geniş bir salondur. Bu salon yüksek ve çevreleyen çınlama süresi ile ünlüdür ki daha uzun olan ilk gecikme zaman aralığını (ITDG) maskeler. Geri kalan çoğu diğer salonlarda ortalama ITDG aşağı yukarı 30 msn'dir. **Şekil 4.15**'teki 39 salonun hiçbiri kötü değildir. Çok geniş bir salonda, özellikle fan şeklindeki salonlarda, ITDG 55 msn olacaktır. Bu grafikten çıkarılacak bir sonuç ise çok geniş olmayan ve fan şeklinde olmayan salonlarda uygun bir ilk gecikme zaman aralığını (ITDG) yakalamak o kadar da zor değildir [15].



Şekil 4.14 : ITDG'si 20 ms olan daha dar bir salonun ve ITDG'si 40 ms olan daha geniş bir salonun reflektogramları [15].

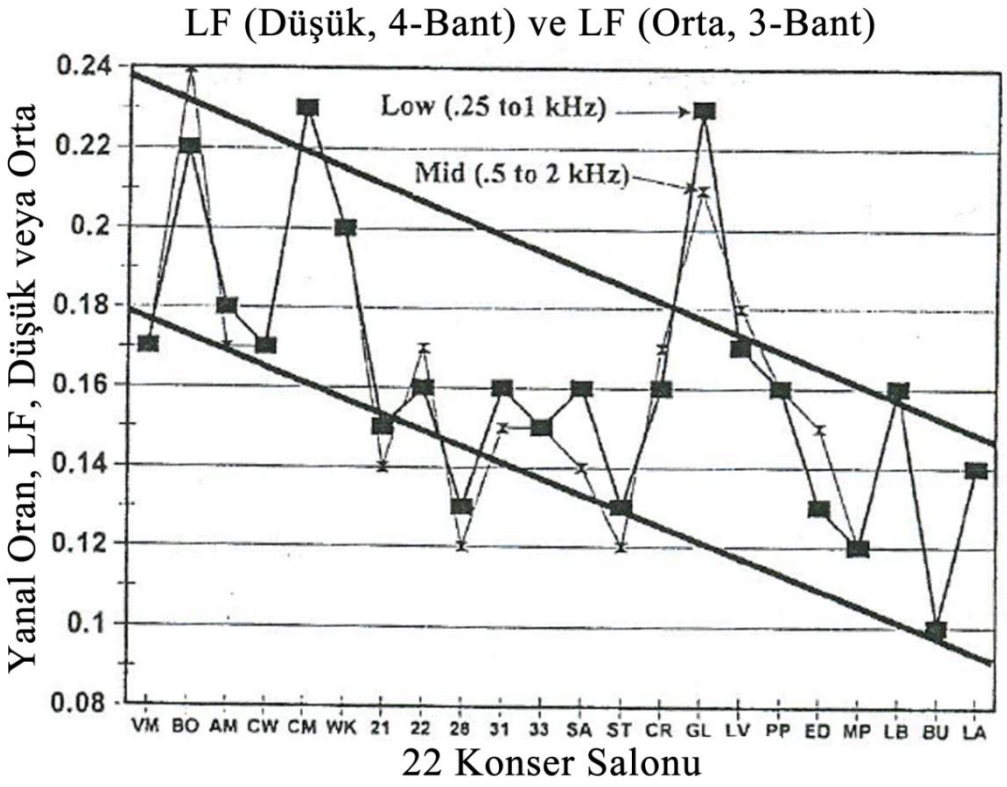


Şekil 4.15 : 39 konser salonu için ITDG çizimi. En iyi 14 salonun sadece iki tanesi 25 ms'den daha yüksek ITDG'ye sahiptir [15].

4.1.7 Erken yanal enerji oranı (LF_{E4}, LF_{80})

Marshall, konser salonlarındaki yanal yansımaların akustik kaliteyi belirlemede önemli bir faktör olduğuna inanmıştır (1968). Barron ve Marshall, 1981'de yanal yansımaların kuvvetlerinin ölçümünü LF niceliği sayesinde geliştirmişlerdir. Bu nicelik, yanal yansımalardaki enerji oranının salondaki koltuğa gelen toplam enerjiye oranıdır [15]. Yanal enerji oranı ölçümleri için, yanal ses enerjisinin erken kısmı (80 ms'ye kadar) direkt sese eklenen bütün erken yansımaların enerjisiyle kıyaslanır [22]. Bu ölçüt, (laboratuvar testlerinde) görsel genişliğinin ötesinde sahnede kaynağın, yanal yansımalardan kaynaklanan genişliğiyle yüksek derecede ilişkilidir. Bir başka deyişle, yanal enerji (LF) algılanan kaynak genişliği (ASW) ile ilişkilidir [15]. ASW, görünen kaynak genişliği, büyüdükçe daha iyi müzik elde edilir. Sesin yayılması da dinleyiciye müzikle çevrelenme hissi verir. ASW ve LEV parametrelerinin her ikisi de sinyal tepkisi yansımalarının geliş yönüne bağlı olarak bulunur. Erken yansıma enerjisinin (80 ms civarına kadar) büyük bir kısmı yanal yönlerden vardığında ASW artar. Gecikmenin düzeyi, yanal yansımaların düzeyi, yüksek olduğunda, LEV değerleri şiddetlidir. Yani ASW parametresini ağırlıklı olarak erken yanal yansımalar, LEV parametresini gecikmiş sesler etkilemektedir [22].

LF genelde, LF_{E4} şeklinde yayınlanmıştır. "E" erken sesi, "4" ise 4 oktavlık frekans bantlarındaki (125, 250, 500 ve 1000 Hz) ortalama LF değerlerini göstermektedir. LF'nin güvenilir ölçümleri, akustik kalite sıralamasına giren 22 konser salonu baz alınarak yapılmıştır. Ayrıca bunun için sübjektif akustik kalite dereceleri de vardır. LF_{E4} karşılaştırmaları ve 22 konser salonunun derece sıralaması **Şekil 4.16**'da verilmiştir. Marshall ve Barron'un laboratuvar çalışmaları gösterir ki LF, veya ASW, alçak frekans bantlarındaki ölçümlerle güçlü şekilde ilişkilidir. Potter, algılanan kaynak genişliğine (ASW) en çok katkı yapanın 500 Hz oktav banttaki ölçüm olduğunu göstermiştir. **Şekil 4.16**'da yanal enerjinin (LF) orta bant ya da alçak bant ölçümlerinde çok büyük bir fark olmadığı verilmiştir. Böylece, yanal enerjinin (LF) özellikle alçak frekanslara uyum sağlamadığı daha da açık hale gelmiştir [15].



Şekil 4.16 : 22 salonda LF ölçümü. "Düşük", en düşük 4 banttaki değerlerin, "orta" 500-, 1000-, ve 2000 Hz bantlarındakinin ortalaması [15].

Buradan asıl çıkan sonuç **Şekil 4.16** ve **Şekil 4.7** karşılaştırıldığında BQI, bir konser alanının akustik kalitesini tahmin etmede en güçlü ölçüttür [15].

LF, kaynak genişlemesinin (daha sonra mekânsal etki olarak anılır) doğrusal bir ölçümü olarak simülasyon sistemli sübjektif testlerden elde edilmiştir. Sıfırlaması (null) kaynağa bakan sekiz şekilli mikrofon tarafından alınan enerji ile aynı yerdeki tüm yönlü bir mikrofon tarafından alınan enerji arasındaki oran ile ölçülür **(4.10)** [1].

$$LF = \frac{\int_{0.005}^{0.08} tp^2(t)\, cos^2\theta dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt} \qquad \textbf{(4.10)}$$

p(t): Ölçüm noktasındaki anlık ses basınç düzeyi.

θ: gelen ses ile mikrofonun maksimum hassasiyetinin ekseni arasındaki açı.

Kaynak genişlemesi için alternatif ölçüm, aralıklı bir çift mikrofon için normalleştirilmiş çapraz korelasyon fonksiyonunun maksimumudur. Çapraz korelasyon katsayısı test sinyaline karşı hassastır ama uygun bir seçimle birlikte erken yanal enerji fraksiyonu ile hayli bir uygunluk göstermelidir. Algılanan kaynak

genişlemesi, yalnızca erken sesin (LF) mekânsal yayılımı ile değil, müzik boyunca değişen ses seviyesi ile de ölçülür **(4.11)** [1].

$$Kaynak\ genişlemesi = LF + (erken\ seviye)/60 \quad \textbf{(4.11)}$$

LF= Yanal yansıma.

LF_{80} parametresi için sübjektif farkındalık limeni %5'tir [27].

4.1.8 Yüzey yayılım indeksi (SDI) ve akustik parıltı

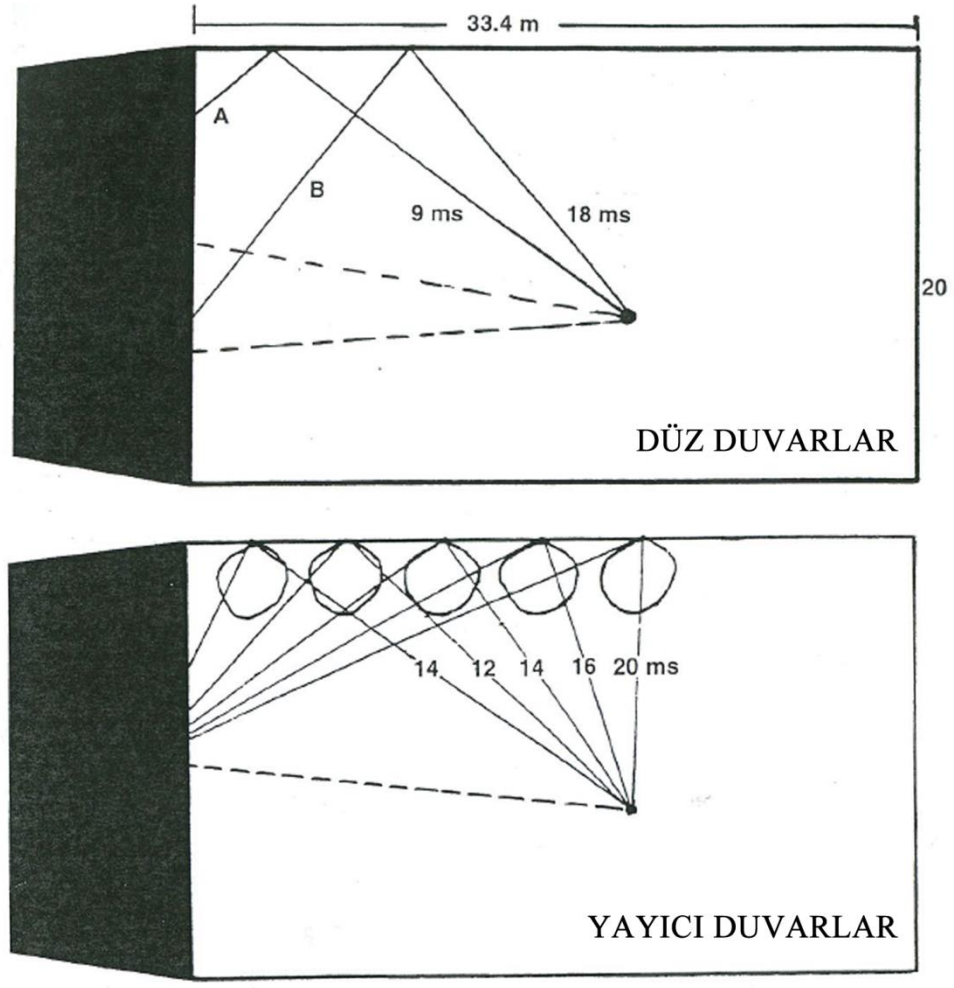
Konser müziği seyirciye, erken ses çok "parıltılı" olmadığı zaman, çok daha iyi gelir ve geç çınlayan ses sanki birçok taraftan geliyormuş hissi yaratır. (yandan, üstten, ön taraftan). En güzel konser salonları, Amsterdam, Boston, Viyana, Berlin Konser Salonu, Leipzig, Basel ve Zürih (çoğu 19. yy da inşa edilmiştir), tavan süslerine, kirişlere veya tavanda eğimli yüzeylere ve kolonlara, nişlere, düzensiz kutulara ve heykellere ve direkler, tavanda eğri yüzeyler, kolonlarda oyuklar, düzensiz kutular ve yüksek yan duvarlarında heykellere sahiptir. Buna ek olarak alçak yan duvarların yüzeylerinde ufak ölçekte süslemeler vardır. Bu düzensizlikler ve süslemeler sesi, yansıdığı zaman "dağıtır, yayar" ve müziğe sakin (parıltılı olmayan) bir ton verir. Yayılımın, iki farklı yerle ilişkili olduğu düşünülmelidir. Salonun erken yansımalarla ilişkili olan bölümleri ile ve çınlayan sesle ilişkili olan bölümleri ile [15].

Erken Sesin Yayılımı; Eğer bir dinleyici, müziği düz, pürüzsüz yan duvarlı dikdörtgen bir salonda dinlerse, ses kırılgan (brittle), sert veya kötü kaliteyle optik parıltıya benzer hale gelir. Bu durum bazen "frekans renkliliği (frequency coloration)" olarak adlandırılır. Bu tarz sert sesler New York Filarmoni Salonu'nda duyulmuştur. Çünkü asıl erken yanal yansımalar pürüzsüz alçılı yan duvarlardan gelmektedir. Oradaki duygu şudur ki kemandan gelen yüksek tonlar en çok "parıltıya" katkı sağlarlar [15].

Yaylı tonlara bağlı olan düz yan duvarlar veya düz asılı panellerden kaynaklanan akustik parıltıyı azaltmak için 2.5-5 cm derinliğindeki düzensizlikler yansıtıcı yüzeylere kabartma şeklinde işlenmelidir [15].

Yan duvarlardaki düzensizliklerce sağlanan yayılımın bir diğer avantajı **Şekil 4.17**'de gösterilmiştir. Görülmektedir ki duvara eklenmiş yayılım özelliği, yan duvarın karşısındaki bütün enstrümanlardan gelen erken yansımaları, her bir

enstrüman için farklı bir noktadan dağıtmaktan ziyade, geniş yan duvar alanıyla dağıtır [15].



Şekil 4.17 : Yan duvarlara eklenen ses yayılımının etkisi çizimlerde gösterilmiştir [15].

Geç (Çınlayan) Sesin Yayılımı; Odalarda icra edilen müziğin ilk günlerinden beri fark edildi ki bir konser salonundaki çınlayan ton kalitesi yukarı duvarların ve tavanın üzerindeki düzensizlikler tarafından geliştirilmiştir. Bu düzensizlikler ses dalgalarını her yansımada dağıtır ve böylece bir sürü yansımadan sonra çınlayan sese homojenleştirme etkisi ekler. Bu homojenleştirme etkisinin adı "ses alanının yayılımı" dır ve yüzeylerin kendileri için de "yüzey yayılımı"na sahip diyebiliriz. Düzensizliğin optimum miktarını veya tipini belirlemek için herhangi bir fiziksel ölçüt yoktur. Bunun yerine, görsel araçlar kullanılarak (yani bakarak) düzensizlik belirlenmeye çalışılır [15].

Ses Yayılım İndeksi; Haan ve Fricke (1993), yüzey düzensizliğinin akustik kalitesini sınıflandırmak için gözleme, fotoğraflara ve çizimlere dayanan görsel bir süreç

geliştirmişlerdir. Yüzeylerin yayılım derecesi sınıflandırması için buldukları kriterler aşağıdaki gibidir:

Yüksek Yayılım: Yüksek yayılım için tavan süslenir veya derin oyuklarla veya kirişlerle (en az 10 cm derinliğinde ama ses dalgalarını engelleyecek kadar çok olmamalıdır yani 25cm i geçmemelidir.) kare kare tasarlanmalıdır. Yukarıdaki yan duvarlar, ölçülebilen derinliği olan rastgele yayılım sağlayacak yüzeylere veya üzerlerinde sık nişlere ve dik yerleştirilmiş kolonlara sahip olmalıdır [15].

Erken yansımalardan kaynaklanan akustik parıltıyı önlemek için alçak yan duvarlar ufak ölçekte yayılım özelliğine sahip olmalı mesela 10 cm derinliğindeki düzensizlik yeterli olacaktır. Havalandırma için bırakılan kanallar haricindeki hiçbir alan sesi emmemelidir. Boston Senfoni Salonu (süslemeli tavan, heykeller, nişler ve yan duvarlarda süslemeler), Bonn Beethoven Salonu (rastgele difüzyon için özel tasarlanmış tavan, yayılım panelli yan duvarlar), Salzburg'daki Festspeilhaus (yukarıdaki tanıma uyar şekilde tavanda ve yan duvarlarda özel geometrik yapılar), Viyana'daki Grosser Musikverinsaal (süslemeli tavan, pencereler tarafından yaratılmış düzensiz yan duvarlar, derin alçı süslemeler, balkon önünde süslemeler ve alçak yan duvarlarda heykeller) örneklerdir [15].

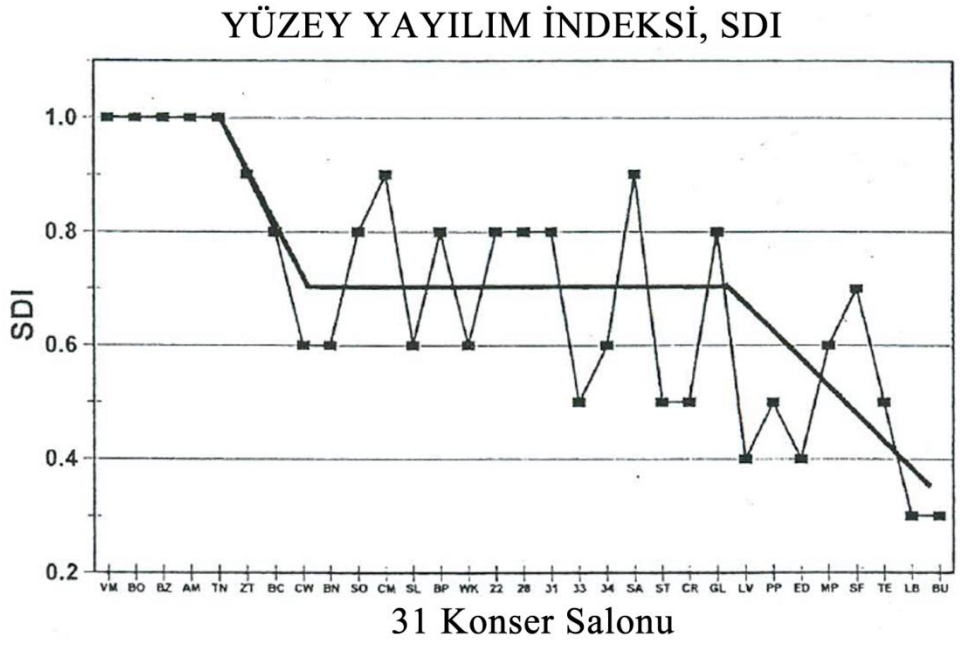
Orta Derecede Yayılım: Tavandaki ve yan duvarlardaki değişen derinlikteki kırık yüzeyler, aksi halde çok süslü bir biçimde dekoratif iyileştirme sığ oyuklarla (üst yan duvarlarda 5 cm derinliği geçmeyecek) yapılmış ve uygulanmıştır. Yukarıdaki gibi emici yüzey olmayacaktır. Bununla ilgili örnekler; Christchurch Town Hall (nispeten pürüzsüz ses yansıtıcı paneller, düz balkon önleri, yan duvarlara düzenli yerleştirilmiş ahşap çıtalar), Londra'daki Royal Festival Hall (nispeten pürüzsüz yan duvarlar), Stutgart'taki Liederhalle (nispeten pürüzsüz yan duvarlar), Toronto (nispeten pürüzsüz yan duvarlar- yenilemeden önce) [15].

Düşük Yayılım: Geniş ayrık panelleme; veya pürüzsüz şekilde eğilmiş (curved) yüzeyler ve geniş düz (yassı) ve pürüzsüz yüzeyler veya ağır emici çözümler uygulanmalıdır. Örnekler; Buffalo, Kleinhans Hall (nispeten pürüzsüz yan duvarlar ve tavan), Liverpool Filarmoni Salonu (nispeten pürüzsüz yan duvarlar ve tavan) [15].

Haan ve Fricke her yüzey yayılımının derecesine göre sayısal oranlar atamıştır. "Yüksek" için 1,0, "orta" için 0,5 ve "alçak" için 0. Sonra her yüzey alanının yayılım

özelliğini ağırlıklandırmışlardır; örneğin; eğer tavanın 3200 m^2'lik alanı varsa ve bunun 1000 m^2'si pürüzsüz ise ve kalanı derin şekilde süslenmişse, o zaman puanı "0×1000+1×2200=2200" alan puanı olacaktır. Bu sayı odanın toplam alan puanını bulmak için yan duvarların alan puanlarına eklenecektir (Bitiş duvarını ihmal ettiler). Yüzey yayılım indeksi (SDI) toplam yayılım alanı puanlarının (az önce bulduğumuz) tavanın ve yan duvarların toplam alanına bölümüdür. Viyana'daki Musikvereinsaal için ortalama SDI değeri 0,96'dır. Diğer uçta, Londra'daki Barbican Hall'da (yeni tadilattan önce) SDI değeri 0,23'tür [15].

Görsel olarak belirlenmiş SDI ile kalitesine göre sıralanmış (derece sıralaması) 31 salonun ilişkisi **Şekil 4.18**'de gösterilmiştir. En iyi salonların SDI oranı 1, orta seviye salonlar 0,5 ile 0,9 arasında ve kötü kalitedeki salonlar 0,3 ile 0,7 arasındadır. Diğer akustik parametreler, BQI, RT, ITDG, G_{125}, iyi sahne tasarım vs.; tahmin edilen tüm akustik parametreler ve salonların derece sıralanması arasında anlamlı bir ilişki elde edebilmek için SDI ile beraber hesaba katılmalıdır (ortalama akustik kalite ve salonların sıralaması arasındaki anlamlı ilişkiyi ortaya çıkarabilmek için) [15].



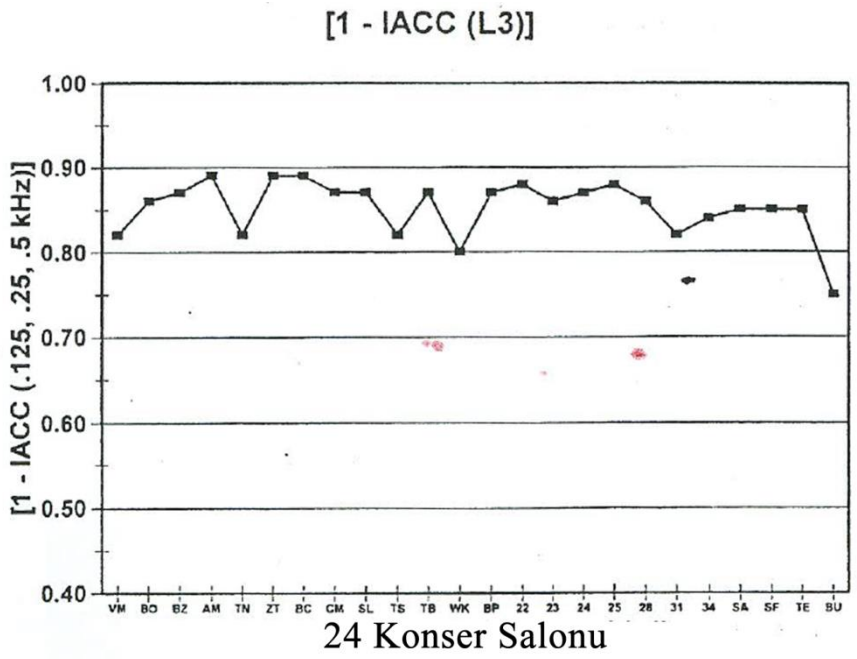
Şekil 4.18 : Düşük dereceli salonlar 0.3 – 0.7 SDI değerine sahipken, en iyi dereceli salonlar 1.0 SDI değerine sahiptir. Orta dereceliler ise 0.7 ± 1.0 SDI değerlerine sahiptir [15].

4.1.9 Dinleyicinin kuşatılması (LEV)

İçeride ve çınlayan ses alanı tarafından çevrelenen etkidir. Gecikmiş seslerin yüksekliğinin ve geliş yönünün dinleyicide uyandırdığı öznel etkidir [22]. Yayılan

çınlayan ses alanı dinleyiciyi kuşatmak içindir. Bir başka deyişle çınlayan ses dinleyicinin kulağına her yönden gelerek adeta onu kuşatmış olur. Literatürde dinleyicinin kuşatılması ölçümü için geç duyumlar arası çapraz-bağ kat sayısı önerilmiştir. $IACC_{L3}$ değeri, doğrudan ses ulaştıktan sonraki 80 msn'lik zaman periyodu içinde iki kulağa gelen ses dalgaları ve bunun 1 saniyeye uzatılması (extending up to 1 sec) arasındaki bağlantıyı gösterir ki "L", bu zaman dilimi; "3" ise 500, 1000 ve 2000 Hz frekans aralığındaki sesin ortalamasıdır [15].

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi tüm konser salonları [1-$IACC_{L3}$] için neredeyse aynı ortalama değerlere sahiptir. Oldukça pürüzsüz yan duvarları ve tavanı olan bir salonun değerinin gözle görülür derecede sapma gösterir. Maalesef, bu tip bir ölçüm ses yayılım yüzeyleri olmayan bir salonda yapılmamıştır. Bununla birlikte normal salonlarda ses yayılım ölçümü olarak çok düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir [15].



Şekil 4.19 : Derecelendirilmiş 24 salon – geç (80 ms'den sonra) kalite [1 – IACCL3] grafiği [15].

4.1.10 Belirginlik (D_{50})

Thiele, Deutlichkeit'ı tanımlama veya netliğin ölçümü olarak ileri sürmüştür. Deutlichkeit (D_{50}), erken gelen yansımalardaki (doğrudan sesten sonra ilk 50 ms içindeki) enerjinin, sinyal tepkisindeki toplam enerjiye olan enerji oranıdır [25]. Diğer bir tanımla; ilk 50 ms' lik zaman dilimi içerisinde alıcı noktasına ulaşan ilk yansımaların enerjisinin alıcıya ulaşan toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanır.

D değeri ne kadar büyükse konuşma belirginliği dolayısıyla anlaşılırlığı o kadar iyi olur Mesafe arttıkça, konuşma belirginliği ve anlaşılırlığı azalır. Belirginlik, D_{50}, çınlama süresi, T, ile ters orantılıdır. Belirginlik, anlaşılırlığı belirlemede çınlamadan daha iyi bir parametredir, % 50' den daha fazla olması önerilir ve 0,3 - 0,7 arasında bir değer alması uygundur [22]. Konuşma performanslarının anlaşılırlık kalitesi için olan salon akustik kriteri aslen "öznel tanımlama"ya atfedilmiştir ve % olarak verilmiştir. Sonuç varsayımdan dolayı, böylece konuşma anlaşılırlığı gerçekte direkt % olarak ölçülebilir **(4.12)** [28].

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.05} p^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt} \qquad \textbf{(4.12)}$$

p(t): Ölçüm noktasındaki anlık ses basınç düzeyi.

D'nin sübjektif değerlendirmesine dayanarak; $D=D_{50}>0.5$ frekanstan bağımsız olması önerilmiştir [28].

4.1.11 Müzik için netlik (C_{80})

Anlaşılırlık için olan erken-geç sinyalin gürültüye olan oranı (the early-to-late signal-to-noise ratio), C_{80}, müzikal akustikte de kullanılır. Konser salonu analizinde bahsedilen netlik faktörü, erken ulaşan ses enerjisinin geç ulaşana oranıdır, doğrudan sesin ulaşmasından itibaren ilk 80 milisaniye, bir seviye olarak belirlenmiştir. Boş bir odada ölçülür ve erken yansımalara açıklık getirmeyen ilk gecikme zaman aralığından daha fazla bilgi içermektedir. Yansımalar, direkt sese nispeten 50 - 80 ms' den daha fazla olmamak kaydıyla geciktiğinde, kulak bu katkıları ve direkt sesi birleştirir. Böylece, 80 ms öncesi ve sonrası sinyal tepkisindeki enerji oranı karşılaştırılan bir objektif parametre netliğin iyi bir tanımlayıcısı olarak bulunur. C80 şu şekilde yazılabilir **(4.13) (4.14) (4.15)** [1, 22].

$$C_{80} = 10 \log\left(\frac{\int_0^{0.08} p^2(t)dt}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(t)dt}\right) \; dB \qquad \textbf{(4.13)}$$

p(t): Ölçüm noktasındaki ses basınç düzeyi.

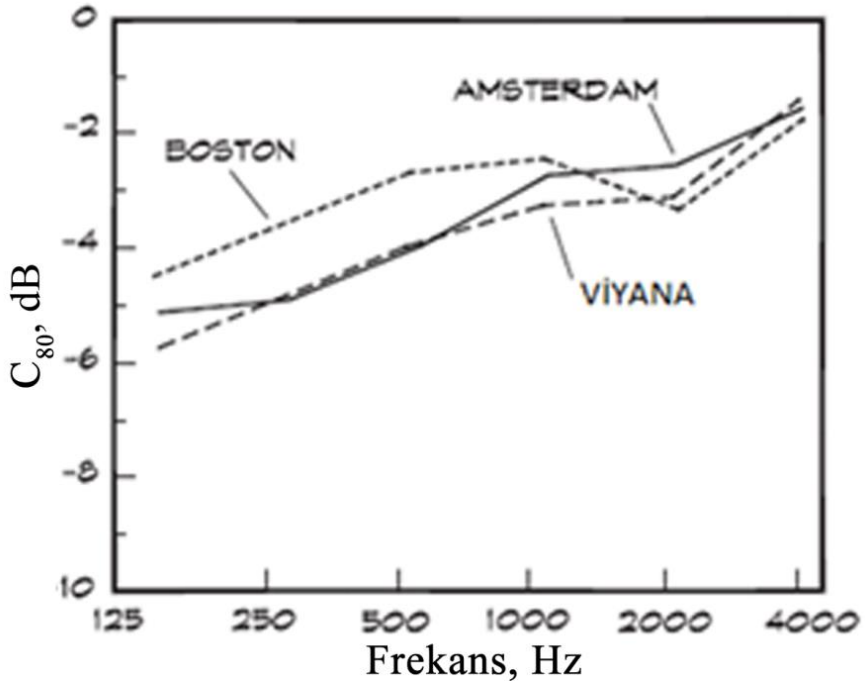
$$C = Erken\ enerji - Çınlayan\ enerji \qquad \textbf{(4.14)}$$

$$C = Erken\ enerji_{0-80} - Çınlayan\ enerji_{80-\infty} \qquad \textbf{(4.15)}$$

Konuşmanın anlaşılırlığı gibi güçlü erken yansımaların neden olduğu yüksek sinyalin sese olan oranı (a high signal-to-noise ratio) müziksel anlaşılırlık (musical clarity) üretir. C_{80} değerleri herhangi bir ölü oda için kullanılan küçük pozitif değerler ile çınlatıcı alanlara karşılık gelen küçük negatif değerler arasında değişkenlik gösterir ve ± 4 dB aralığında yer alır. C_{80} için tercih edilen değerler 0 ve -4 dB arasındadır. Boston, Amsterdam ve Viyana gibi son derece başarılı salonlar -2.7 ve -3.7 dB değerleri arasında C_{80} (3) değerlerine sahiptir (Beranek, 1996). 500, 1k ve 2k Hz oktav bandındaki C_{80} değerlerinin ortalamaları (3) alınır. Bradley (1991) üç salon için **Şekil 4.20**'de yeniden oluşturulan salon doluyken ki C_{80} değerlerini hesaplamıştır. Hesaplanan değerleri ve salon boşken ölçülen değerleriyle arasındaki ilişki şu formülle verilmiştir **(4.16)** [10]**.**

$$C_{80-o} = C_{80} + 13\log[T_{60}/T_{60-o}] \qquad \textbf{(4.16)}$$

T_{60}: Çınlama süresi.



Şekil 4.20 : Üç salonda ölçülen ortalama C_{80} değerleri [10].

Birkaç salon haricinde, çınlama arttıkça netlik düşmektedir. Birmingham, Costa Mesa, Dallas ve Lucerne gibi salonlar bu genellemenin dışındadır. Bu salonlarda seyirci alanı dışına kurulmuş çınlama odaları mevcuttur. Netliğin genel fiziksel ölçümü, erken sesteki enerji oranının, çınlayan sesteki enerjiye oranıdır. Bu oranın birimi desibeldir ve C_{80} şeklinde gösterilir [15].

C_{80}'nin ölçümü için 2 çeşit araca ihtiyaç vardır. Birincisi, balon patlaması, tabanca atışı, bir hoparlörden gelen ani, güçlü bip sesi gibi ilk sesi üretecek. Diğeri ise teyp kaydedicisi ki bu salon etrafında hareket edip birkaç koltukta bu ardışık sesleri kaydedebilsin. Bilgisayar ile kaydediciden 2 veri de alınır [15].

1) Hoparlörden doğrudan gelen sesin enerjisine ilaveten bundan sonraki 80 msn içinde salondaki yüzeylerden gelen yansımaların enerjisi.

2) 80 msn'den sonra varan sesin enerjisi; genelde 1 ya da 2 sn'dir.

1'in 2'ye oranı desibel olarak belirtilir ve C_{80} olarak gösterilir. Eğer çınlama yoksa oda ölüyse, müzik çok net olacak ve C_{80} büyük pozitif bir değer alacaktır (desibel cinsinde). Eğer çınlama varsa, mesela büyük bir katedralde, müzik belirsiz olacak ve C_{80} büyük negatif bir değere sahip olacaktır. C_{80}, erken enerji çınlama enerjisine eşit olduğunda 0 dB'ye eşit olur [15].

Verilen C_{80}'ler genellikle salondaki birkaç koltuktaki 500, 1000 ve 2000 Hz oktav bantlarındaki değerlerin ortalamasıdır. $C_{80}(3)$ sembolü, zamanın ve 3 bant aralığının düşünüldüğünü belirtmek için kullanılır [15].

Netlik ile ilgili ilginç bir gözlem de her farklı değerinin farklı durumlarda talep edilebilmesidir. Provalar esnasında, koro şefi, müziğin detaylarının duyulabilmesi için prova salonunda, +1 dB'den +5 dB'e kadar fazla $C_{80}(3)$ değeri isterler. İsterler ki bu da memnuniyetlerini belirtir. Fakat konserde gerek orkestrayı yönetirken gerekse seyirciler arasında dinlerken, aynı kişi genellikle, örneğin, $C_{80}(3)$ değeri -1'den -4'e değişen daha çınlayan alan tercih edecektir [15].

Bu çalışmayı yaparken yapılan görüşmelerde, insanlardan salonları, seyircinin yargılayacağı şekilde değerlendirmelerini istenmiştir. Beklendiği gibi -1, -5 dB arasındaki netlik seviyesi en iyi değerler olarak belirlenmiştir. Tabii ki katedralvari çınlama süresine sahip bir senfoni müziği salonu için bu kabul edilemez. O durumda, C_{80} değeri çok büyük negatif değerlere yol açacaktır. Bu senfoni konseri için kabul edilebilir ama katedraldeki gibi yankılama olsaydı çok daha fazla negatif C_{80}'e sahip olacaktı [15].

$C_{80}(3)$'ün iyi bir özelliği de nitelikli şekilde deneyimli seyirci tarafından değerlendirilebilmesidir. Çünkü müziğin çok net ya da "bulanık" yani anlaşılması zor (çınlayan enerji çok yüksek olduğunda) duyulup duyulmadığını anlamak kolaydır veya çınlayan ve erken ses arasındaki dengenin belirli bir müzik türü için memnun

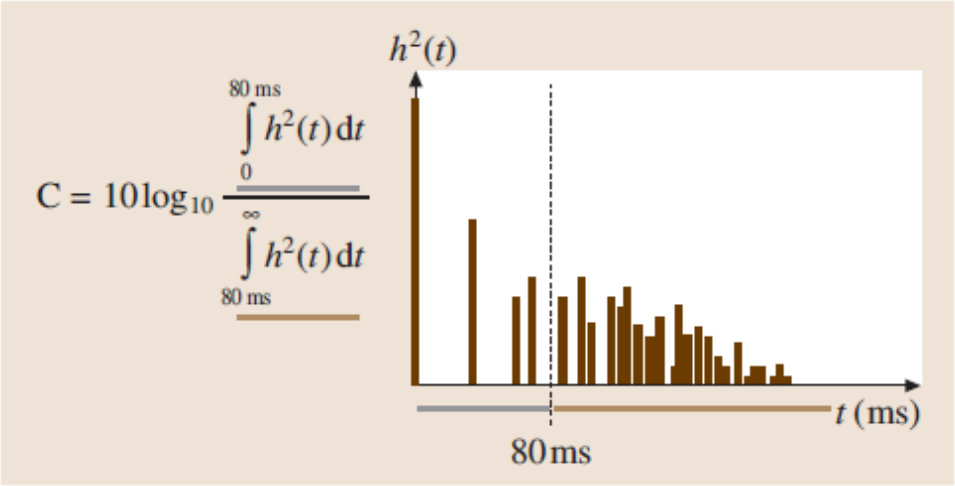
edici olup olmadığını. Bununla birlikte normal konser salonlarında, C_{80}, çınlama süresi ile çok yüksek derecede ters orantılıdır ki bir konser salonunun akustik kalitesini tahmin etmek için kullanılacak ilave bir yöntem değildir [15].

Dallas, Birmingham ve Lucerne salonları özeldir. Temel olarak dikdörtgen şeklindedir. Ve enleri çok geniş değildir. Fakat yanlarda (bir tanesinde yukarıda) ekstra çınlama odaları vardır ki salon dolu iken alçak frekanslarda yüksek çınlama süreleri yaratılabilmektedir. Çünkü netlik hızlı çalınan enstrümanlar için, özellikle kemanlar, gereklidir ve C_{80} o salonlarda; Boston Senfoni Salonu veya Carnegie Salon'undaki değerlere yakındır. Bununla birlikte alçak frekanslarda, 500 Hz ve altında, daha uzun çınlama müziğe yani bir karakter katar ama bu netlik ile ilgili değildir [15]. **Çizelge 4.2**'de literatürden alınan C_{80} verileri yer almaktadır.

Çizelge 4.2 : C_{80} değerleri için literatür verileri.

Kaynak	Klasik Müzik	Genel
[1]	–	2, -2
[6], [27], [29]	–	3, -1
[10], [5]	–	0, -4
[26]	–	5, -5

C değeri ne kadar yüksekse erken ses o kadar baskındır ve o kadar netlik etkisi oluşur. Netlik için sübjektif farkındalık limeni 0,5 dB civarındadır. Netlik (C) parametresinin tanımı **Şekil 4.21**'de verilmiştir [6].



Şekil 4.21 : Netlik (C) tanımı: sinyal tepkisindeki erken ve geç enerji oranı [6].

4.1.12 Konuşma için netlik (C_{50})

C_{50}, konuşma anlaşılırlığı ile ilgilidir. Konuşma anlaşılırlığı için yüksek netlik C_{50} değerleri, klasik müzik için düşük C_{50} değerleri tercih edilmektedir. Çınlama süresi (T) uzadıkça netlik değeri C_{50} ve konuşma anlaşılırlığı azalmaktadır [21].

Tanımlama ölçümü olan C50 için örnek oluşturan bir oda-akustik kuralı yoktur. Konuşma anlaşılırlığı ve tanımlama ölçümü C_{50} arasındaki nitel ilişkiyle oluşturulan değerlendirme kuralları buna karşın bilinmektedir. Bu kurallar, hece anlaşılırlığının %80'in altına düşmesinden kaçınmak için C_{50}'nin ≥ - 2 dB olması gerektiğini gösterir. Cümle anlaşılırlığı (metin anlaşılırlığı), bununla birlikte, içeriği hece anlaşılırlığından daha yüksek olması yardımıyla, hala yaklaşık sonuca varır. %95. C_{50} = - 2 dB değeri, iyi bir konuşma veya metin anlaşılırlığı için "kabul edilebilir" taban sınır değeri olarak addedilir [28]. C_{50}, D_{50} ile ilişkilidir. Bu ikisini birbirine bir formül ile dönüştürmek mümkündür **(4.17) (4.18)** [21]. Netlik için sübjektif farkındalık limeni 0,5 dB (%5) civarındadır [6]. Şu şekilde hesaplanır:

$$C_{50} = 10 \log \left[\frac{\int_0^{0.05} p^2(t)dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t)dt} \right] \quad dB \qquad \textbf{(4.17)}$$

p(t): Ölçüm noktasındaki anlık ses basınç düzeyi.

$$C_{50} = 10 \log \left[\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right] \quad dB \qquad \textbf{(4.18)}$$

C_{50}= Konuşma için netlik parametresi.

D_{50}= Belirginlik parametresi.

4.1.13 Merkez zaman (T_s)

Merkez zaman, T_S, sinyal tepkisinin karesinin ağırlık merkezinin zamanıdır. Sinyal tepkisinin, erken ve geç periyotlardaki ayrı bölümlerinden kaçınır [26]. Kürer, merkez zamanı, T_s, alternatif bir netlik ölçümü olarak ileri sürmüştür. T_s, sinyal tepkisinin ağırlık merkezi olarak hesaplanmıştır [25]. Bu kalite kriteri, konuşma anlaşılırlığı ve müzik netliği ile ilgilidir ve şu formüle göre ölçülüp, hesaplanır **(4.19)** [28]:

$$t_s = 1000. \frac{\int_0^{\infty} tp^2(t)dt}{\int_0^{\infty} p^2(t)dt} \; ms \qquad \textbf{(4.19)}$$

p(t): Ölçüm noktasındaki anlık ses basınç düzeyi.

Erken ve geç ses arasındaki denge veya netlik ve çınlama arasındaki dengeyi tanımlamak için kullanılan diğer bir parametre, merkez zamandır; (center time, T_s) hacim tepkisinin karesinin yerçekiminin merkezini tanımlar. Merkez zaman, hacim içinde belli bir noktada elde edilen seslerin erken ya da gecikmiş olduğunu belirlediğinden, belirginlik (D_{50}), netlik (C_{80}) ve ilk düşme süresi (EDT) ile ilişkilidir [22]. Merkez süresinin (T_s) düşük olması, erken ses enerjisinin fazla olduğunu göstermektedir ve bu değer düştükçe sesin netliği artmaktadır. T_s'nin fazla olması durumunda ise geç enerji fazladır ve çınlama artmaktadır [21]. Subjektif farklılık eşiği T_s için 10 ms civarındadır [22].

Merkez zamanı ne kadar yüksekse, dinleyici konumundaki akustik etki o kadar mekânsaldır (spatial). Elde edilebilecek maksimum T_s, optimum çınlama süresine bağlıdır. Hoffmeier'e göre, merkez zamanı ve 4 oktav bant 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz frekans ölçümlü konuşma anlaşılırlığı arasında iyi bir ilişki vardır [28].

Müzik için istenen merkez zamanı, T_s:

$T_s \approx (70 - 150)$ ms 1000 Hz oktav ile,

Konuşma için:

$T_s \approx (60 - 80)$ ms 500 Hz'den 4000 Hz'e 4 oktav bant ile.

T_s'nin düşük olması erken ses enerjisinin fazla olduğunu gösterir ve bu değer düştükçe sesin netliği artmaktadır. T_s'nin fazla olması durumunda ise geç enerji fazladır ve çınlama artmaktadır [21]. T_s değeri ISO 3382-1' e göre 60 - 260 ms aralığındadır [26].

4.1.14 Direktlik (C_7)

Bu ölçüm doğrudan sesin ses enerjisi bileşenini, yansımaların ve dinleyici pozisyonuna doğrudan sesten sonra ulaşan çınlamanın ses enerjisine bağlantılı olarak etkiler. Bu parametre ses kaynaklarının (şarkıcılar, orkestra, solistler) "yakınlık" veya "doğruluk" sübjektif algısı ile ilgilidir [28]. Kaynaktan çıkan sesin ilk 7 ms'deki enerjisinin tüm ses enerjisine oranının logaritması ile elde edilir. Ölçüm kuralı **(4.20)** [21]:

$$C_7 = 10 \log \frac{\int_0^{0.007} p^2(t)dt}{\int_{0.007}^{\infty} p^2(t)dt} \ dB \qquad \textbf{(4.20)}$$

p(t): Ölçüm noktasındaki anlık ses basınç düzeyi.

Doğrudan ses ölçüsü C_7, ses kaynağından dinleyiciye olan mesafeyle ilişkili, -10'dan -15 dB'e olan aralığın dışında kalmamalıdır. Frekansa bağlı doğrudan ses seviyesi değerlendirme metodu henüz bilinmemektedir [28].

4.1.15 Sessiz harflerin anlaşılırlık kaybı indeksi (AL_{cons})

Objektif bir parametre olan ALcons, ses güçlendirme sistemleri olan salonlardaki konuşma netliğinin objektif değerlendirilmesi için C_{50}'ye ilave bir alternatif ölçümdür. Bu parametrenin salonun tepki yanıtlarından hesaplaması, konuşma iletim indeksi (STI) kullanılarak veya "hızlı" değişken, hızlı konuşma sesi iletim indeksi (RASTI) kullanılarak yapılır [28].

Hesaplanan AL_{cons} değerleri, konuşma anlaşılırlığının sözlü bir değerlendirmesine imkân sağlamak amacıyla bir dereceleme cetveli ile birleştirilebilir [28]:

$AL_{cons} \leq$ %3 ideal anlaşılırlık

AL_{cons} = %3 - %8'e çok iyi anlaşılırlık

AL_{cons} = %8 - %11'e iyi anlaşılırlık

AL_{cons} > %11 - %20 zayıf anlaşılırlık

AL_{cons} > %20 kötü anlaşılırlık (sınır değer %15)

Uzun çınlama süreleri artan anlaşılırlık kaybına neden olur. Uygun düşen süre ile bu çınlama, ileriki sinyallerde gürültü gibi davranır ve böylece anlaşılırlığı düşürür [28].

4.1.16 Konuşma iletim indeksi (STI)

Performans ve konferans mekânlarındaki konuşma anlaşılırlığını belirlemede kullanılan parametre konuşma iletim indeksi (STI) olarak bilinir. Görüntüleme uğraşını düzene koymak için, hızlı konuşma sesi iletim indeksi (RASTI) olarak bilinen metrik bakımdan ticari olarak mevcut araçlarla ölçülebilir. RASTI ölçümleri sadece 500 ve 2000 Hz arasındaki oktav bant seviyelerini göz önünde bulundururken, STI ölçümleri 125 ve 8000 Hz arasındaki oktav bant seviyelerini göz önünde bulundurur. STI, hesaplamalarında çınlama süresini hesaba katar [6].

STI değerlerinin belirlenmesi, ses kaynağının yeri (örneğin; sahne üzerinde) ile tepki ölçüm yeri arasındaki sinyal geçişinin azalmasının, 125 Hz'den 8000 Hz'e olan oktav merkez frekansları ile ölçümüne dayanır [28].

Yazarlar, sadece çınlama ve gürültünün konuşma anlaşılırlığını azaltmadığının tahmini üzerine ilerlemişlerdir ama genel olarak bütün dış sinyaller veya sinyal değişimleri kaynaktan dinleyiciye olan yol üzerinde gerçekleşir. Bu etkinin doğrusunu anlama için, akustik amaçlarla modülasyon transfer fonksiyonunu (MTF) kullanırlar. Mevcut yararlı sinyal S (sinyal), üstün gelip araya giren sinyal N (gürültü) ile ilişki içindedir [28].

Bu parametre, konuşma anlaşılırlığını tahmin etmede fazlasıyla desteklenmiştir ve yerinde ölçülebilir. STI, anlaşılırlığı etkileyen hususlar olan sinyal-gürültü ve sinyal tepkisinin ikisini de barındırır. Bu ölçümün arkasındaki fikir, iyi bir konuşma anlaşılırlığı için sinyalin kuşatmasının muhafaza edilmesidir. Kuşatma bozukluğunu ölçmek için, bir gürültü sinyali sinüs biçimine ayarlanır. Modülasyon frekansları 0.4 ve 20 Hz arasında kullanılır, bunlar konuşma sesleri için ilgili kuşatma frekanslarıdır. Gürültü sinyali %100 ayarlanır ve böylece 10 Hz'lik bir modülasyon frekansı için her 0.1 saniyede bir sessizlik anı vardır. Salonda alınan sinyal en sessiz periyotların bazı seslerini de içerecektir, salonun herhangi arka plan gürültüsü ve odanın kaybolma etkisi sayesinde. Alınan sinyalin modülasyon derinliği, modülasyon frekanslarının serisinde ölçülür, modülasyon transfer fonksiyonunu vermek için. Farklı sinyal frekanslarındaki farklı MTF'ler STI'yı ölçmek için kullanılırlar. Eğer ölçüm için kullanılan ses kaynağının seviyesi açık bir biçimde insan konuşmacıyla eşleşirse, ölçülen STI konuşma anlaşılırlığının sinyal tepkisi ve gürültü açılarının ikisini de hesaba katmış olur [1].

Modülasyon transfer tekniği konuşma kullanımı için ikna edicidir. STI, konuşma anlaşılırlığı ile iyi biçimde bağlantılıdır ama diğer ölçümlerden daha fazla bağlantılı değildir. Karmaşıklığı ve oditoryum mekanları için kolayca belirlenemeyişi bir dezavantajdır. Sinyal tepkisinden tahmin edilebilir, ayrıca odalardaki ses davranışı için olan basit modellerinden de tahmin edilebilir. Bu tahmin tekniği sınıflar gibi mekânlar için değerli olabilir ama tiyatrolar için işe yaramaz. Örneğin, 1 saniyelik çınlama süresine sahip bir salonun tahmin edilen minimum konuşma anlaşılırlığı, STI tahmin tekniğini kullanan "orta" ve "iyi" sınırları arasında kalır [1]. Modülasyon frekansı fm, 0.63 ile 12 Hz arasındaki üç oktav bant arasında yer alır.

Yapılan analizlerde 7 oktav bandı üzerinde 14 modülasyon frekansıyla toplam 98 farklı m değeri elde edilir. MTF ile konuşma sesi davranışı taklit edildikten sonraki adım bunun konuşma anlaşılırlığına uyarlanmasıdır. Bu uyarlama için önce görünürdeki sinyal-gürültü oranı bulunur **(4.21)** [6].

$$L_{SNapp} = 10 \log \frac{m}{1-m} \quad \textbf{(4.21)}$$

L_{SNapp}: Görünürdeki sinyal – gürültü oranı.

m: Modülasyon azaltım faktörü.

Daha sonra **(3.22)**,

$$STI = \left[L_{SNapp} + 15\right]/30 \quad \textbf{(4.22)}$$

Formülü ile STI bulunur. STI değerleri 0 – 1 arasındadır. Yüksek değerler daha iyi konuşma anlaşılırlığı anlamındadır. Kaynaktan çıkan ses düzeyi, yansımaların yön ve şiddeti, çınlama süresi ve sesin maskelenmesi, arka plan gürültü seviyesi ve eko; STI parametresini etkiler [6].

4.1.17 Akustik parametreler için önerilen değerler

Fiziksel ölçümlere dayanan herhangi akustik parametreler konser alanlarının birbirinden bağımsız olma muhakemesine yardımcı olma anlamına gelmektedir. **Çizelge 4.3'**te gerçek konser salonlarında yapılan fiziksel ölçümler arasındaki bağlantı verilmiştir. Bu tabloda, 2 tane niceliğin arasındaki ilişki 0.6 civarından büyükse, bunların birbirinden bağımsız olmadığına işaret eder. Ayrıca görülmektedir ki çınlama süresi (T), erken düşme süresi (EDT) ve netlik faktörü (C_{80}) birbirleriyle yüksek derecede ilişkili ve dahası, konser salonlarının akustik kalitesi değerlendirilirken bunları birbirinden bağımsız olarak kullanmak faydalı değildir. LF_{E4} ve [1-$IACC_{E3}$], (örneğin; BQI) arasında mantıklı bir bağlantı vardır. Çünkü her ikisi de sadece yanal yönlerden gelen yansımalara cevap verir ve her ikisi de doğrudan sesin varmasından sonraki ilk 80 msn'deki sesi ölçmektedir. Bununla birlikte, BQI, akustik kaliteyi değerlendirmede LF'den daha doğru sonuçlar verir. Herhangi bir kişinin de tahmin edebileceği gibi hacim ve oturma kapasitesi arasında mantıksal olarak büyük bir bağlantı vardır [15].

Çizelge 4.3 : Fiziksel özelliklerin birbirleriyle olan ilişkisi [15].

	RT_M	EDT_M	$C_{80,3}$	G_M	1-$IACC_{E3}$	LF_{E4}	BR	ITDG	V	N
T_M	–									
EDT_M	0,99	–								
$C_{80,3}$	-0,84	-0,88	–							
G_M	0,29	0,27	-0,3	–						
1-$IACC_{E3}$	0,15	0,17	-0,33	0,49	–					
LF_{E4}	0,23	0,25	-0,27	0,33	0,71	–				
BR	0,08	0,04	0,03	0,05	-0,13	-0,38	–			
ITDG	-0,48	-0,5	0,57	-0,43	-0,12	-0,2	-0,04	–		
V	0,31	0,27	-0,06	-0,57	-0,53	-0,09	0,2	0,25	–	
N	0,12	0,11	0,02	-0,55	-0,57	-0,28	0,27	0,18	0,83	–

Çınlama Süresi (Salon Dolu), T (occup): Bir salonda tercih edilen T (occup) değeri orada performans sergileyecek grubun repertuarına bağlıdır. 3 olasılık **Çizelge 4.4**'te gösterilmiştir: senfonik repertuar, oda müziği ve opera. Bir salonda geleneksel organ müziğinin en iyi şekilde icra edilebilmesi için çınlama süresinin 3 ile 5 sn arasında olması gerekir [15].

Eğer bir prova odası sağlanmış ise optimum çınlama süresi (T), orkestra şefinin ve orkestranın aynı fikirde olması koşuluyla, daha az olmalıdır. Daha düşük T'den kasıt, 0.2-0.4 saniyeye kadar, müzisyenlerin prova sırasında her notayı ve ince ayrıntıyı (nüansı) duyabilmesi demektir. Çınlama süresinin 1.7 saniyeyi geçtiği konser salonu ayarlarında buna ulaşmak mümkün değildir [15].

Çizelge 4.4 : Parametreler arasındaki ilişki [15].

	sn			dB*				
Durumlar	T(dolu)	EDT(boş)	BQI	G_{mid}	G_{125}	ITDG(ms)	SDI	$C_{80,3}$
	Ort. 0.5-1 kHz T			0.5-1 kHz	125 Hz	orta kat	görsel	0.5-1-2 kHz
Senfonik repertuvar >1400 koltuk	1.8-2.1	2.2-2.6	0.65-0.71	1.5-5.5	3.0-6.0	<25	>0.8	(-3.0)-0
Oda müziği <700 koltuk	1.6-1.8	1.9-2.3	0.7-0.76	9.0-13	9.0-13	<20	>0.8	(-2.0)-2
Opera >1200 koltuk	1.4-1.6	1.5-1.9	0.6-0.71	(-1,0)-2	(-1,05)-2.3	<23	>0.5	1.0-3.0

dB*: Avrupa ayarlaması. Takenaka için 1.2 dB eklenmeli.

Erken Düşme Süresi (Salon Boş), EDT (unoccup): **Çizelge 4.4**'te verilen tercih edilen değerler salondaki oturma yerlerinin orta derece döşendiği varsayılarak ortaya

konmuştur. Deri ile döşenmiş veya döşenmemiş çok fazla sandalyeli salonda EDT daha uzun olacaktır [15].

Çift Kulakla Kalite İndeksi (BQI): Erken yanal yansımaların çok olmasına bağlıdır. BQI'ın değeri kabaca, eğer dikkatli değerlendirme yapılırsa ilk 10-15 erken yansımanın mimari çizimlerinden tahmin edilebilir. Bu tahminin zorluğu ne kadar ses dalgasının zayıflatılacağı ve her yansımada ne kadar yayılımın olacağının tahminidir [15].

BQI'ın belirlenmesindeki en iyi yol, inşaat aşamasından önce modelleme yapmaktır. Bilgisayar modellemesi tasarımın erken safhasında önem taşır. Çünkü ilk 20 erken yansımanın izini doğru şekilde sürebilmektedir. Bu modellemeden, akustik yansıtıcı diyagram (reflektogram) elde edilir ve bu diyagram erken yansımaların sayısını ve aralıklarını/mesafelerini göstermektedir. Ahşap model, 1/10 veya 1/20 ölçüsünde kullanılırsa en doğru sonuç elde edilir [15].

Minyatür hoparlör sahnenin üzerinde hareket ettirilerek orkestranın değişik kısımlarını temsil edebilir ve kulağı temsil eden iki yanında kulağı temsil eden minyatür mikrofonlu küçük bir küre dinleyiciyi temsilen kullanılabilir. "Dinleyici" modeldeki oturma alanlarında hareket ettirilebilir ve BQI doğru şekilde ölçülür. "Gerçek" modelin önemli avantajı odanın içindeki balkon önleri, duvar yayılımı ve oda boyunca olan düzensizlikler, mimarın görsel taleplerini karşılamak için ayarlanabilir ve oturma alanlarındaki BQI'ın homojenliği ayarlanabilir. Eğer düzgün araçlar kullanılırsa kulaklık kullanan birisi sesi sanki tüm salonun tamamlanmış halindeki gibi duyabilir. BQI'ın en iyi özelliği salon dolu ya da boş iken iki durumda da neredeyse aynı değeri vermesidir. **Şekil 4.8**'de gösterilmiştir [15].

G_{MID}: Daha önce **Şekil 4.10** ve **Şekil 4.11**'de de görüldüğü gibi ses şiddeti (büyük oranda G_{mid} ile ilişkili) Royal Albert Hall gibi çok geniş bir salonda, tüm orkestranın performans sergilediği düşünüldüğünde, çok az olabilir ya da 1000'den az seyircili salonlarda da çok iyi olabilir. Bu grafikler Gmid'in, salon boşken erken düşme süresinin, EDT(unoccup), salonun hacmine, V, bölümüyle ilişkilidir. Orta seviyede döşenmiş koltuklu modern salonlarda, salon boşken erken düşme süresi, EDT (unoccupied), değeri çınlama süresinin tahminen 1.2-1.5 katına eşittir. Bu iki grafikteki [EDT/V]×106 değerleri salonlarda, koltukların döşemesi göz ardı edilerek, ölçülmüştür. Bu nedenle, salonların pek çoğunda, saçılmanın veri göstergesinin bir

kısmı koltukların ses emiciliğinin çeşitliliğine bağlanır. Kaliforniya'daki Costa Mesa, Segerstorm Salonu ya da Yeni Zelanda, Christchurch'deki Town Hall gibi salonlarda duvarın üst kısımlarında geniş yansıtıcı paneller, erken sesin büyük bir kısmını direkt dinleyiciye gönderir ve G_{mid} değerini tahmin edilen [EDT/V] değerinden daha yüksek hale getirir [15].

G_{125}: Daha önce detaylandırıldığı üzere basın tepkisi, alçak frekanstaki sesin kuvvetine bağlıdır, özellikle de 125 Hz oktav frekans bandındaki sesin kuvvetine [15].

İlk Gecikme Zaman Aralığı, (ITDG): ITDG genellikle, seyircinin salonun ana katının merkezindeki, sahne önü ve ilk balkon önü arasındaki veya balkon yok ise arka duvar arasındaki mesafenin ortasındaki pozisyonuyla ilgilidir. "Ayakkabı kutusu" şeklindeki salonlardaki ilk yansımalar genellikle balkon önünden, aksi halde yan alçak bir yan duvardan gelir. Yelpaze şeklindeki salonlarda ise ilk yansıma asılı panellerden veya tavandan gelebilir. En iyi konser salonlarında ve opera evlerinde ITDG 25 ms'den azdır [15].

Yüzey Yayılım İndeksi (SDI): Bir salonda ne kadar fazla ve değişken yüzey düzensizlikleri olursa, ortam o kadar daha iyi olur. Aşağı yan duvarlardaki düzensizliğin derinliği, daha yukarı duvarlardakinden daha az öneme sahiptir. Aşağı duvarlardaki düzensizlikler akustik "parıltı"yı kaldırma için tasarlanmıştır. Yukarı duvarlardaki düzensizlikler çınlama süresini etkileyecek, daha geniş frekans aralığını kaplamak için ve sesi layıkıyla homojenize etmek için geniş olmaya ihtiyaç duyacaktır [15].

$C_{80,3}$: Bu terim netlik ile ilgilidir. Eğer pozitif değer ise, bir opera evinde olduğu gibi, ses negatif değerine göre çok daha net olacaktır. Aslında, $C_{80,3}$ (ters orantılı şekilde) çınlama süresi ile yüksek derecede bağlantılıdır ve ikisini ayrı şekilde kontrol etmek zordur [15].

4.2 Subjektif Parametreler

Son yıllarda müzisyenler ve akustikçiler arasındaki diyalogdan akustiğin yaygın bir dili ortaya çıkmıştır. Ne bütün müzisyenler bütün tanımlamalara aşinalar, ne de bütün akustikçiler bu yazıda kullanılan açıklamalara katılıyorlar [15].

Müzik ve akustik birbirinden bağımsız gelişmiştir ve kendilerine ait çeşitli kavramları tanımlamak için birbirinden oldukça farklı kelime dağarcığı geliştirmişlerdir. İki alana da ait kelimeler dilin olağan gelişim süreciyle oluşmuşlardır, ortak sözcükler sözlükten alınmış ve yeni bir amaç için şekillendirilmiş, ihtiyacı karşılamak amacıyla yeni kelimeler icat edilmiş, bunlar da sonunda teknik terimlere dönüşmüştür [30].

Akustik ve müziğin dilbilimsel ihtiyaçları genellikle iç içe geçtiği için, aynı kelimeler iki alanında kelime dağarcığına kaçınılmaz olarak dahil olabilir. Ancak, müzisyenlerin ve akustikçilerin amaçları ve ilgi alanları farklı olduğundan dolayı, aynı sözcükler farlı anlam ifade edebiliyorlar. Kimin konuştuğunu bilinmediği sürece, örneğin yoğunluk ve rezonans gibi bazı kelimelerin hangi anlamda kullanıldıklarından emin olunamaz [30].

Akustik fen bilimlerinin bir dalı olduğundan dolayı, dikkatle tanımlanmış bir sözcük dağarcığına ihtiyaç duymaktadır. Bilim adamları tarafından terimlerin tanımı onaylandıktan sonra, kullanımlarında aynılık olabilmesi amacıyla, bu terimler ulusal ve uluslararası bilim adamları toplulukları tarafından oluşturulan standartlara adapte edimişlerdir. Diğer yandan, müziğin dili ise bir akademinin onayı ya da reddi olmadan gelişmiştir. Bunun sonucunda, müziğin dışında olan birçok terim, bilindik tanımından farklı, özel müzikal bir tanıma sahip olmadan müziğin sözcük dağarcığının anlamlı bir parçası haline gelmiştir [30].

Bilim ve sanat arasında kolay iletişim sağlanmasına engel olan üçüncü bir dil ise müzik eleştirmeninin estetik telaffuzudur. Müzik eleştirmeninin görevi ne akustik ne de müziğin çevirisini yapmaktır, aksine bestenin ve performansının yarattığı etkiyi tanımlamaktır. Onunki sübjektif bir dildir, nadiren tanımlamadan sorumludur, keyfi ve çabuk unutulan bir dildir, çünkü kelimeler sadece eleştirmenin yaşadığı deneyime verdiği tepkiye yaklaşabilir, eleştirmen devamlı kelime dağarcığını değiştirir ve temizler, hislerini ifade edemeyen kelimeleri atar. Bu yüzden bir müzik eleştirmenin yeni bir konser salonuna olan tepkisini “küstah”, “ezici”, “yanardöner” veya “büyüleyici” olarak tanımladığında, bu kelimelerin özel bir akustik tavsiyeye çevirecek kurallar yoktur. Müzik eleştirmeni anlama kabiliyeti olan, deneyimli bir dinleyici olduğu için, hem müzisyenler hem de akustikçiler onun tepkilerine kulak vermektedirler [30].

Leo L. Beranek'in konser salonlarının akustiği konusundaki çalışmasının ilk amaçlarından biri, konser salonunda duyulan müziğin niteliğine dayanan akustik özellikleri tanımlayan sözcüklerin bir derlemesini yapmaktı. Müzisyenlerin ve müzik eleştirmenlerinin yardımıyla, müzikal-mimari akustiği tanımlamakta kullanılan birçok sözcüğü, farklı, kabul edilebilir niteliklerine ve bunların eleştirel değişkenlerini kapsayan antitezlerine göre on sekiz başlık altında listelemiştir. Bu nitelikleri bir araya toplama, salonun müzik performansına verdiği tepkinin özelliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir kontrol listesi oluşturmaktadır. Fakat öncelikle bu terimler; müzisyenler, mimarlar ve akustikçiler tarafından en çok anlaşıldıkları şekilde listelenmiş ve tanımlanmıştır [30].

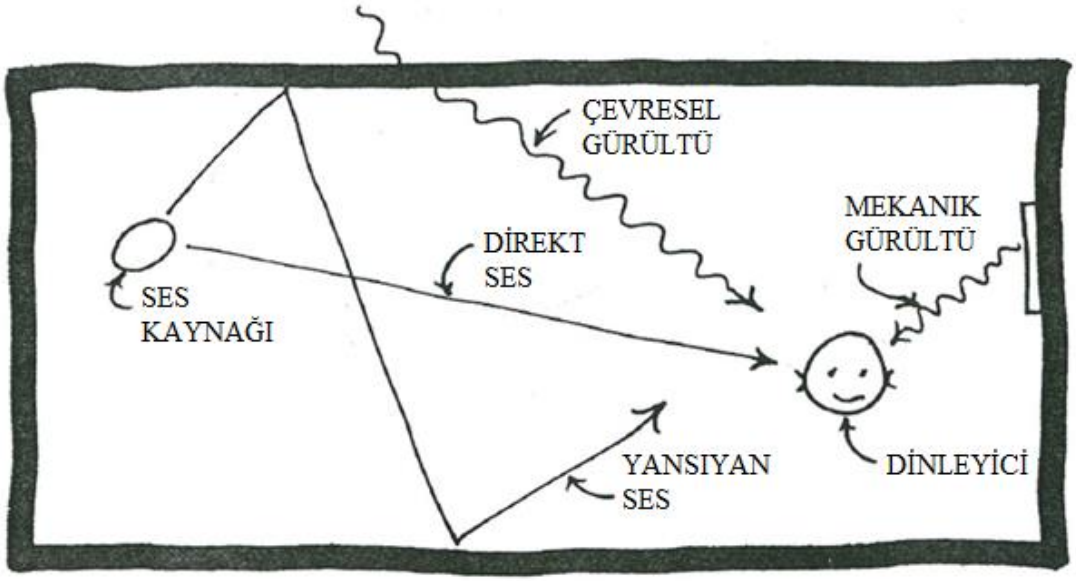
Müzisyen, "rezonans" kelimesini, ses şiddetinin artışıyla birleşmiş bir müzikal tona herhangi bir akustik çalıştan sonra (after-ring) ekleme olarak tanımlar. Bu nedenle, titreyen telin frekansı ile kemanın gövdesinin rezonans frekansı aynı zamana rastlamasa da, müzisyen bir kemanın rezonansından söz edebilir. Hatta rezonans olmadan bile keman, telin sesini artırabilir, çünkü keman, telin sahip olduğundan daha geniş yayıcı bir yüzeye sahiptir. Bilim adamları "çınlama" kelimesini, bir odada sesin duyulabilen azalmasını tanımlamak için kullanırlar, müzik kaynağı tarafından harekete geçirilen tüm normal titreşim modlarının "after-ring"i. Uzun çınlama süresine sahip bir odada çalınan müzik, ölü bir odada çalınan müzikten daha yüksek sesli olduğu için, bir müzisyen çınlama ve rezonans kelimelerini birbirlerinin yerine kullanır [30].

Akustiği tartışırken, rezonans, ses şiddetinin artışı ve çınlama birbirinden ayrılmalıdır. Ancak, bir müzisyen bir odanın ya da bir kemanın rezonant olmasından bahsediyorsa, anlatmaya çalıştığı şey: ses şiddeti artırılmış ve odanın ya da enstrümanın after-ring'i müziği güzelleştirmiştir [30].

4.2.1 Doğrudan ses, erken ses, çınlayan (reverberant) ses

Bir dinleyicinin açısından bakıldığında, bir odanın akustiği **Şekil 4.22**'de gösterildiği gibi şu unsurlar nedeniyle oluşur: dolaysız ses, yansıyan ses ve gürültü [2]. Doğrudan ses, dinleyicinin duyduğu bir enstrümandan çıkan ilk sestir. Başka bir deyişle enstrümandan doğruca dinleyiciye ulaşan sestir. Erken ses terimi ise, doğrudan ses artı doğrudan sesin ulaşmasından sonra ilk 80msn içinde dinleyicinin kulağına ulaşan

bütün yansımaları çevreler. Çınlayan ses, 80msn den sonra ulaşan tüm yansımaları kapsar [15].



Şekil 4.22 : Akustiği oluşturan unsurlar [2].

Bir salonda bir ses kaynağını (diyelim ki kemanı) dinliyor olduğunuzu hayal edin. Ses kaynaktan düz bir hat izleyerek uzaklaşır. Bu, eğer ses yansıtıcı yüzeylerin yakınlarında değilseniz duyacağınız dolaysız sestir. Dolaysız sesi etkilemenin tek yolu, kaynağa olan mesafeyi çeşitlendirmektir. Uzaklaştıkça ses yoğunluğu azalır, yakınlaştıkça ses daha yoğun olur: aynı miktardaki ses enerjisi, kaynaktan çıktıktan sonra zayıflayarak yayılır [2].

Eğer kaynaktan çok uzağa giderseniz, sesin bir kısmının araya giren hava içerisinde emildiğini duymaya başlarsınız. Hava, yüksek frekanslıları düşük frekanslılardan daha etkili şekilde emer [2].

Doğrudan ses kulağımıza gelir ve odanın yüzeylerinden yansıdıktan sonra yansıyan sesler ulaşır. Biz bu yansımaları, farklı olaylar olarak algılamayız. Aksine, biz sesi, doğrudan sesin yönünden gelir gibi duyarız; yansımaları ise, doğrudan sesin takviyesi ya da güçlendirmesi olarak duyarız [2].

Erken ses yansımaları; Doğrudan sesten yeterince sonra ulaşan ses yansımaları, kulak ve beyin tarafından doğrudan sesle kombine edilecektir. Bunlar, "erken ses yansımaları" olarak adlandırılır. Bu erken yansımalar ayrı yansımalar olarak duyulmazlar, daha çok doğrudan sesin algılanmasını güçlendirirler. Onlar bizim sesin niteliğini, kalitesini algılamamızı ve sesi mekânsal açıdan algılamamızı etkilerler.

Normal büyüklükteki odalarda, yanlardaki duvarlardan, tavandan ve mobilyalardan gelen erken ses yansımaları doğrudan sesi güçlendirir ve sohbet edilmesini nispeten kolaylaştırır. Yanlardaki ses yansıtıcı yüzeylerin eksikliği nedeniyle, açık alanda belli bir mesafede sohbet etmek şaşırtıcı bir şekilde zordur [2].

Geç ses yansımaları; diğer yandan geç ses yansımaları ise odada ısrarla süren ses olarak duyulur. Bu farklılığın nedeni, odada tasasız bir şekilde dolaşırken sesin doğasında meydana gelen ani bir değişimden kaynaklanmamaktadır. Daha ziyade, bizim işitim sistemimiz ses yansımalarını, bunların doğrudan sesle olan zamana bağlı ilişkisine göre farklı şekilde işler. Erken ses yansımaları (doğrudan sesi de içeren) ve geç ses yansımaları arasındaki ilişki, var olan odalarda ölçülebilir ve örneklerle hesaplanabilir. Bu, sesin odada nasıl algılanacağına dair, özellikle de konuşmanın ne kadar iyi anlaşılacağına dair bize çok faydalı bilgiler verir [2].

Çınlama; Bir odada sesin duyulabilir kalıcılığı "çınlama" olarak adlandırılır. Bu kalıcı sesin azaldığı orana "çınlama süresi" denir. Geç ses yansımalarının uzun süre kaldığı bir oda, "çınlayan(reverberant)" ya da "canlı" oda, sesin çabucak yok olup gittiği odaya ise "çınlatıcı olmayan/çınlamayan" ya da "ölü" oda denir. Sesin bir odadaki davranışı, odanın şekli ve odanın inşasında kullanılan malzemelerin yapısı tarafından belirlenir. Ses emici birçok malzemenin bulunduğu odalar daha az çınlatıcı olmaya meyillidir. Kiliseler ve oditoryumlar gibi toplantı salonlarında, en önemli ses emici materyal genellikle dinleyicidir (ya da topluluktur). Genellikle dinleyiciler salonun tabanında bulundukları için, yüksek tavanlı salonlar daha çınlayan (reverberant) olmaya meyillidirler. İşte bu nedenle konser salonu tavanları, sadece dinleyicilere ev sahipliği yapan salonlarınkine göre çok daha yüksektir. Dinleyicinin üzerindeki hacim, çınlamayı geliştirmek için önemlidir. Dinleyiciler nadiren çınlamanın farkına varırlar; daha ziyade çınlamanın dinledikleri şeyi nasıl güçlendirdiğinin (ya da ona nasıl karıştığının) farkına varırlar [2].

Eko ve çınlama; insanlar "eko" ve "çınlama" terimlerini genelde karıştırırlar. Bu ikisi bağlantılıdır ama tam anlamıyla aynı değildir. Eko, geri gelen belirgin ses yansımalarının duyulabildiği zamandır: "MERHABA … Merhaba … merhaba … haba … haba … haba. En net ekolar, çınlamanın olmadığı açık alanlardadır [2].

Çınlama; bir odadaki ses, oda sınırları içerisinde yansımaya devam ettiğinde ortaya çıkar. Orijinal ses ve tekrarlanan yansımalar, birbirine karışıp tek ve daha uzun süren

bir sese dönüşür. Yüksek seviyede çınlayan bir odada nadiren eko duyulur, çünkü eko olabilecek güçlü geç yansımalar diğer ses yansımalarıyla kaplanır [2].

Çınlama, tabiatında ne iyidir ne de kötü. Çınlamanın talep edilmesi odanın fonksiyonuna bağlıdır. Çınlama sesi kuvvetlendirir, genel olarak konuşursak bu yüzden konser salonları için iyi, kafeteryalar için kötüdür. Ekolar neredeyse her zaman gösteri mekânlarında kötüdür [2].

Çınlamanın kendisi olağan dinleyici tarafından doğrudan algılanamaz, daha ziyade dinleyicinin duymaya çalıştığı sesle iç içe geçmesi, müziğe bir canlılık ve kuşatma hissi katması ya da konuşmayla çatışması hissi algılanır [2].

Bir konser salonu, 2 saniyelik bir çınlama süresine sahip olabilir. 1 saniyeden daha az olanların konuşma için uygun olduğu düşünülür. Bir odanın ses rengi de çınlamadan etkilenir. Daha düşük frekanslarda daha uzun süreli bir çınlamaya sahip bir oda daha sıcak olarak algılanabilir ya da eğer çok fazlaysa "uğultulu (boomy)" olarak algılanabilir. Çok fazla miktarda yüksek frekans çınlaması içeren bir oda ses perdesi açısından "sert (harsh)" ya da "donuk (glassy)" olarak algılanabilir, böyle algılanması için başka nedenler de olabilir [2].

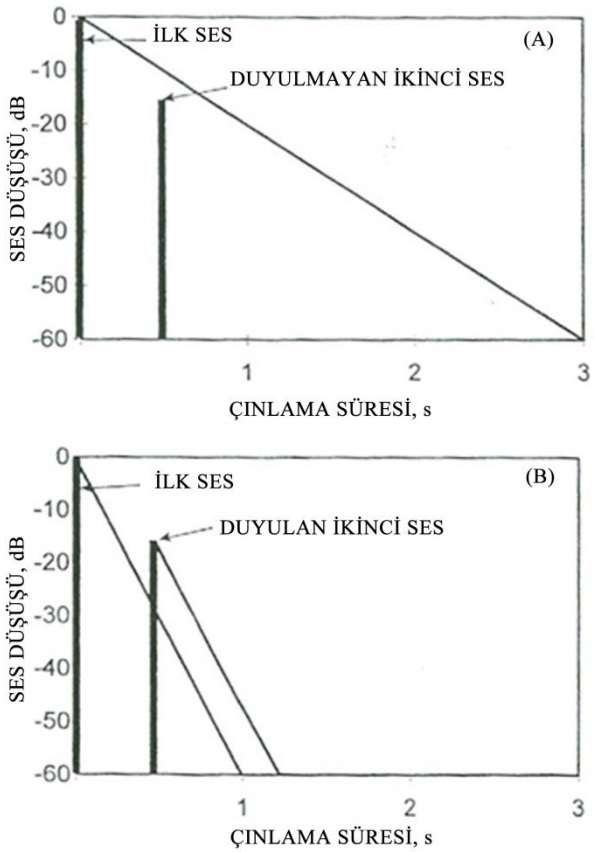
4.2.2 Ardışık tonların hızı

Bir müzisyen çaldığında, müzisyenin çalma hızı ile salon akustiği arasında çok önemli bir ilişki vardır. Özellikle ardışık tonların birbirini takip ettiği hız, çınlama süresi ile etkileşime girer böylece seyircinin duyduğu sesler şekillenir. **Şekil 4.23**'te iki grafik bu süreci açıklar, her grafik farklı akustik ortamlarda çalınan ardışık iki tonu gösterir. Çınlama süresi uzun ise Grafik A'daki gibi (3sn), ikinci ton, çınlayan sesin altına düşer ve duyulmaz hale gelir. Diğer bir deyişle, yüksek çınlama süresi olan bir salonda bu hızda çalınan bir müziğin netliği çok az olacaktır. B grafiği, 1sn'lik çınlama süresine göre aynı iki notayı göstermektedir. Bu durumda ikinci ton, ardından gelen çınlamasını yaptıkça daha net duyulmaktadır. Grafik B, çınlama süresi 1 saniyeden daha kısa olursa, ikinci tonun ve onun düşen çınlamasının işitilebilir kalacağını gösteriyor. İlk notanın düşüşü, iki nota arasındaki boşluğu "köprüler", ki bu da müziğe "tonun doluluğu"nu katar [15].

Müzisyen ne kadar hızlı çalarsa, notalar daha kısa çınlama sürelerinde bile birbirlerinin üstüne o kadar çabuk biner. Grafik B'de gösterilen ardışık notaların hızı arttıkça, iki nota arasındaki süre kısaldığı için, ikinci nota sola kaymaktadır. Hız

yeteri kadar yüksek olursa ikinci ton, 1sn'lik çınlama süresi için bile çınlama çizgisinin altına düşecek ve duyulmaz hale gelecektir. Eğer çınlama yok ise (T=0), tıpkı açık alanda çalındığı gibi notalar ister hızlı ister yavaş çalınsın netliğini koruyacaktır [15].

Şunu vurgulamak gerekir ki verilen bir tempo için, bir müziksel ölçüye sıkıştırılan notaların sayısı, özellikle telli çalgılar için, çok sayıda olabilir. Böylece notalar arasındaki ayrım çok kısadır ve ardışık notaların kuvvetleri çok farklı değildir. **Şekil 4.23**'te görülen ve kuvvet olarak birbirinden 15 dB farklı ve çok yavaş çalınan iki ardışık nota teoride kalır [15].



Şekil 4.23 : Bir müzik notasını maskeleyen uzun çınlama süresi gösterimi [15].

4.2.3 Samimiyet (intimacy) ve ilk gecikme zaman aralığı (ITDG)

Küçük bir salon, görsel samimiyete sahiptir. Eğer bir salonun içinde çalınan müzik küçük bir salonda çalınıyormuş gibi duyulursa, bu salon akustik samimiyete sahip olur. Bir dinleyicinin salonun boyutları hakkındaki izlenimini, dinleyicinin kulağına doğrudan gelen ses ile duvardan veya tavandan gelen ilk yansıma arasındaki süre olan ilk gecikme zaman aralığı (ITDG) belirler. Müzisyenlerin samimi akustiğe sahip olarak tanımladığı salonlarda, ses yansıtıcı yüzeyler öylesine ayarlanmıştır ki ilk

gecikme zaman aralığı kısadır, 20 milisaniyeden daha kısadır [30]. Bu süre kısa ise, salondaki ses yakın hissedilir. Akustik ölçümler gösteriyor ki, en çok beğenilen salonların ana zeminlerinin merkezinde, ITDG 25 msn ve altında kalmaktadır. Daha orta seviyeli bir salonda ITDG 35 msn'yi aşmakta ve düşük seviyeli zayıf salonlarda 60 msn ve daha üstüne çıkmaktadır [15].

İlk yansıma genellikle bir yan duvardan ya da bir balkon önünden gelir. Böylece düşük bir ITDG için bir salon dar ve birbirine yakın paralel duvarlara sahip olmalıdır. Fan şeklindeki bir salonda, erken yansımalar arka köşelere yansıtılırlar, böylece ana zeminin merkezindeki bir dinleyici ilk yansımayı tavan geldiği haliyle duyar, bu da demektir ki ITDG 30 msn'yi hayli hayli aşar. Bu durumda, yan duvarlarda asılı duran yansıtıcı paneller ya da "testere dişli" paneller erken sesi dinleyiciye yönlendirmek ve ITDG yi 20 msn civarına indirmek için kullanılabilir [15].

4.2.4 Canlılık ve orta frekanslar (liveness and mid frequencies)

"Canlı" bir salon, çınlayan bir salon, uzun bir çınlama süresine sahiptir; çok fazla ses emici malzemelere sahip olup dinleyiciye çok az miktarda sesi geri yansıtan, dolayısıyla kısa çınlama sürelerine sahip salonlar "ölü" ya da "kuru" olarak adlandırılır. "Canlılık" çok öznel bir tabirdir ve bir insanın daha duyarlı olduğu 350-1400 Hz frekans aralığındaki çınlama sürelerine tekabül eder. Bir konser salonunda bir ton seslendirilip aniden kesildiğinde, orta-frekanslardaki çınlama süresi 1.5 ile 2.2 sn. boyunca duyulabilir. Bir opera salonunda bu aralık 1.2 ile 1.6 sn. Arasındadır [15].

Hacmi, içindeki dinleyicilerin miktarı için büyük olan ve iç yüzeyleri ses yansıtıcı olan bir salon canlıdır. Bir salondaki canlılık müzikteki tonun tokluğunu açığa çıkarır. Canlılık, saniyede 500 devrin üzerinde olan orta ve yüksek frekanslar için çınlama süresi ile ilgilidir. Bir salon kulağa canlı gelirken, bas da yetersiz olabilir. Sıcaklık (warmth) terimi, düşük frekanslardaki çınlamanın sonucunda ortaya çıkan kaliteyi tanımlar [30].

4.2.5 Sıcaklık (warmth)

Genellikle, bir konser salonundaki müziğin "sıcaklığı", bütün orkestra çaldığı zaman bas seslerinin net bir şekilde duyulup duyulmadığı ile ilgilidir [15]. Müzikteki

sıcaklık basın canlılığı olarak ya da orta frekans tonuna bağlı bas tonunun doluluğu olarak tanımlanır. Bas tonunun tokluğu, düşük frekanslar için olan çınlama süresinin (250 Hz veya daha az), orta frekanslar için olan çınlama süresinden (500-1000 Hz) daha uzun olmasıyla gerçekleşir. Eğer düşük frekanslar için olan çınlama süresi, orta frekanslar için olandan daha kısaysa, sesin kolay kırılır (brittle) olduğu söylenebilir. Bazen küçük bir odada ya da stüdyoda, düşük frekanslardaki akustik rezonanslar arasında o kadar büyük bir aralık olur ki, farklı müzikal tonların artışı farkına varılabilecek şekilde düzensiz olur. Eğer bazı düşük frekanslı tonlar abartılırsa, sonuç olarak ortaya çıkan düzensiz ses "uğultulu" olarak adlandırılabilir. Eğer sadece yüksek frekanslarda etkili olan ses emici materyaller duvarlarda ve tavanda aşırı miktarda kullanılmamışsa, uğultulu akustik konser salonlarında ya da opera salonlarında nadiren görülür. Beğenilen konser salonlarının çoğu, sıcak sese – zengin, tam basa sahiptirler [30].

4.2.6 Ses gücü (strength of sound) ve ses şiddeti (loudness)

"Ses şiddeti", bir kişinin kulağındaki bir sesin yüksekliği veya gücünü öznel algılamasıdır. Öte yandan, akustikçiler şiddeti daha yüksek kesinlikte formüle etmek için "dB" cinsinden ölçülen "sesin gücünü" kullanır. Bir sesin gücü mikrofon ve kalibre edilmiş bir ses-seviye ölçer ile ölçülürken, mühendisler sesin dinleyicinin kulağına ulaşmasındaki iki bölümün şiddetine bakar: erken ve çınlayan. Erken sesin şiddeti, doğrudan kaynaktan gelen ses ile ilk 80msn'deki erken yansımalardan alınan enerjiyi kapsar. Çınlayan sesin şiddeti, ilk 80msn'i takip eden periyotta dinleyicinin kulağına ulaşan toplam ses enerjisi olarak açıklanır. Ayrıca, bir sesin gücü 10 dB kadar artar veya azalırsa, birisi bunu ses şiddetinin iki kat arttığını ya da yarıya indiğini hisseder [15].

Bu tanımlamalardan yola çıkarak bir kişi, her salonun fiziksel tasarımına bağlı olarak salondan salona değişen ses şiddetinin farklı seviyelerinin değerlendirmesini yapabilir. Sesin düzgün olarak çıkarıldığı, aynı çınlama süresine sahip iki salondan 1000 dinleyicinin bulunduğu salon, 3000-5000 arası dinleyici bulunan salona göre daha yüksek sesli hissedilir. Böylece orkestranın yaydığı toplam ses gücü, dinleyici sayısına göre eşit olarak dağılır ve 1000 dinleyicinin her biri, 3000 dinleyiciye göre 3 kat daha şiddetli (5 dB daha fazla) ses alır. Müzik ayrıca, aynı miktarda dinleyiciye

sahip iki salondan diğerine göre daha çınlayan (reverberant) salonda ölü salondan daha yüksek sesli hissedilir [15].

4.2.6.1 Doğrudan sesin şiddeti

Ses şiddeti karmaşık bir niteliktir. Bizim bir salondaki müziğin şiddetine ilişkin izlenimimiz, doğrudan ve çınlayan sesin şiddetiyle oluşmaktadır, bu iki ses şiddetini ayrı ayrı tartışılabilir.

Küçük bir salonda orkestradan çıkan doğrudan ses genellikle arka sıralardaki dinleyicilere yeterli ses şiddetiyle ulaşır. Ancak çok büyük bir salonda, özellikle de koltuklar arkaya doğru yeterince meyilli değilse, doğrudan sesin şiddeti, uzaktaki dinleyicilere ulaştığı zaman oldukça düşük olur. En iyi salonlar sınırlı uzunluktadır, sahnenin üzerindeki ve yanlarındaki yüzeyler sesi arka sıralara eşit olarak göndermek için planlanmıştır. Normal meyilli koltuklara sahip bir salondaki orkestranın doğrudan sesi, orkestra şefinden 60 ft mesafede en iyi seviyededir [30].

4.2.6.2 Çınlayan sesin şiddeti

Çınlayan sesteki enerji iki değişkene bağlıdır; doğrudan dinleyiciye ulaşmayan sesin yoğunluğu, dinleyici ve orkestra salondayken salonun çınlama süresi. Çok geniş bir hacme ve kısa bir çınlama süresine sahip bir salonda, çok kuvvetli olması gereken bir pasaj için çınlayan sesin şiddeti, bir bestecinin tanımlamasını ifade etmek açısından yetersiz kalacaktır. Diğer yandan, eğer salon küçük ve oldukça çınlayan ise, çok kuvvetli bir pasaj çalan bir senfoni orkestrası, kulakları gıdıklayan bir seviyeye ulaşabilir veya birçok dinleyiciyi en azından rahatsız edebilir. İyi salonlar bu uçlar arasında yeterli bir denge sağlamaktadır [30].

4.2.7 Öznel tanımlama (definition) veya netlik (clarity)

Ses, net ve belirgin olduğu zaman bir salonun "öznel tanımlama"ya sahip olduğu söylenir. Öznel tanımlaması eksik bir salon, müziğe bulanık veya karmaşık bir nitelik kazandırır. Bir salondaki öznel tanımlamanın derecesi, içerideki ses yansıtıcı yüzeylerin örüntüsünün işlevidir ve bu nedenle samimiyete bağlıdır. Ayrıca bu, çınlama süresinin de işlevidir ve bu nedenle canlılığı da bağlıdır; dinleyicinin performans sergileyenle arasındaki uzaklığın işlevidir ve bu nedenle doğrudan sesin şiddetine bağlıdır; salonun hacminin işlevidir ve bu nedenle çınlayan sesin şiddetine

bağlıdır. Böylece biz onu bir varlık olarak algılasak da, öznel tanımlama, az önce bahsedilen beş niteliğin dördünün bir çeşit bütünleşmesidir [30].

"Öznel tanımlama" ve "netlik", aynı müzik kalitesine göre eş anlamlıdır. Bunlar, dinleyicinin müzik performansındaki sesleri ayırt edebilme derecesi anlamına gelir. Öznel tanımlama iki biçimde fark edilebilir; ardışık çalınan notalara göre "yatay" ve aynı anda çalınan notalara göre "dikey". Her iki durumda da öznel tanımlama, müzik ve akustik faktörlerinin birleşiminden çıkan bir sonuçtur [15].

"Yatay öznel tanımlama" birbirlerini takip eden seslerin birbirleri arasındaki mesafe derecesidir. Müzisyen, tempo gibi, yatay öznel tanımlamayı belirleyen bazı müzik faktörlerini, bir bölümdeki tonların sayısını ve tekrarlarını ve ardışık tonların birbirlerine göre ses seviyelerini belirleyebilir. Performansçı melodi ya da tempoya göre yatay öznel tanımlamayı değiştirebilir. Her ikisi de salonun akustik nitelikleri içinde çalışmak zorundadır. Yatay öznel tanımlama, çınlama süresi azaldıkça ve erken sesin şiddetinin çınlayan sesinkine oranı arttıkça artar [15].

Yatay öznel tanımlama akustikçiler tarafından, dB cinsinde, erken sesin kuvvetinin çınlayan sesin kuvvetine oranı olarak açıklanır. Böylece dB cinsinden öznel tanımlama pozitif bir değer ise, erken ses daha baskındır. Negatif ise çınlayan sesin gücü daha baskındır. Sıfır ise eşittirler [15].

"Dikey öznel tanımlama" aynı anda çalınan notaların ayrı duyulma derecesidir. Yatay öznel tanımlama gibi dikey öznel tanımlama da, salonun akustiğine bağlı olduğu gibi puana (the score), müzisyenlere ve dinleyicinin işitsel kavrama kalitesine de bağlıdır. Besteci dikey öznel tanımlamayı, hangi tonların beraber çalacağını, her bir ton için enstrüman(lar) ı ve tonlar arasındaki ilişkiyi seçerek belirler. Müzisyenler, dikey öznel tanımlamayı kendilerinin aynı anda çıkan seslerinin dinamiklerini çeşitlendirerek ve topluluğun dakikliğiyle ayarlayabilir. Performans alanı, dikey öznel tanımlamayı, dinleyiciye ulaştığında çeşitli enstrümanların sesleri arasında var olan denge gibi akustik faktörlere göre şekillendirir [15].

4.2.8 Rezonans (resonance)

Konser salonu akustiğinden bahsedilirken, bir müzisyen alternatifli olarak "çınlama" ve "rezonans" terimlerini kullanabilir ama bir akustik uzmanı ikisini de çok belirli ve farklı bir olaya işaret etmek için kullanır. Rezonansın eskimiş bir müzikal örneği yüksek bir notaya çıkan ve kristal saplı cam bir bardağı kıran sopranodur. Yani,

yüksek notalı sesinin frekansı (tonu), camın "normal titreşim modu" frekansı ile denk düşmüştür, dolayısı ile güçlü bir titreşime neden olmak camı kırmak için yetmiştir [15].

Her kişi ya da nesne, tamamen cansız görünenler bile, sürekli olarak moleküler seviyede hareket halindedir. Aynı sebeple, her nesne belirli frekanslarda, gayet doğal olarak titreşir. Rezonans, iki doğal olayın aynı anda olmasına işaret eder: bardak rezonansa girer çünkü bir dış ses, titreşim ya da başka bir güç- soprano nun yüksek notası- bardağın doğal titreşim modlarından biriyle eşleşir ve bardağın kuvvetli bir şekilde bu frekansta titremesine neden olur [15].

Teknik tartışmalar için, rezonansı "ses şiddetinin artması" ndan ayırmak gerekir. Örneğin; bir kemanın teline vurulduğunda, kemanın gövdesi sesi yükseltecektir: kemanın daha geniş yüzey alanı, sesi, telin daha küçük alanından kat kat daha iyi yayar. Telin frekansı, gövdenin doğal titreşim moduyla eşleştiği için ses yükseltimi gerçekleşmez. Keman gövdesinin doğal titreşim modu, yayın titreşimi ile üretilen tonun frekansı ile denk geldiğinde daha yüksek bir ses bile üretebilir [15].

4.2.9 Dinleyicinin çevrelenmesi

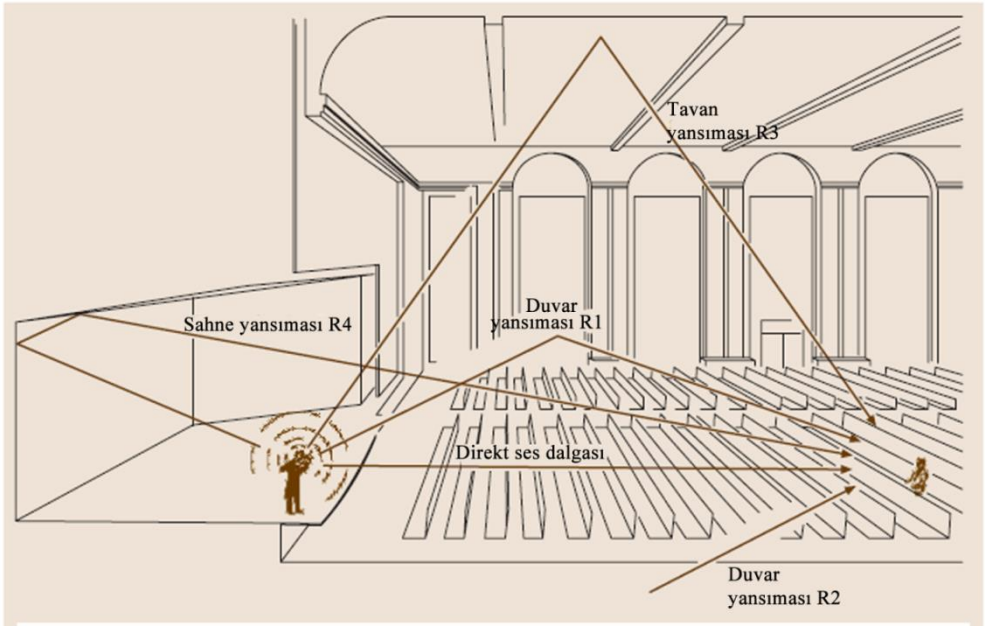
"Dinleyicinin çevrelenmesi" çınlayan sesin dinleyiciyi çepeçevre sarmalama derecesine denir (sesin sınırlı bir yönden ziyade bütün yönlerden gelmesi gibi). Akustik olarak kusursuz kabul edilen Boston Senfoni Orkestrası'nda çınlama, salonun üst boşluğundan geliyormuş gibidir ve seyirciye yukarıdan, önden ve arkadan gelir. Bunun aksine, geride dik bir balkona sahip bir salonun ara katında oturan bir kişi çınlamanın çoğunlukla salonun ön tarafından geldiğini hissedecektir. Dinleyicinin çevrelenmesi için yapılan elektronik ölçümler tartışılamayacak kadar karmaşık olsa da birisi bir salonu gözle inceleyerek kabaca bir değerlendirmede bulunabilir. Ses dalgalarının önde, yanlara ve salonun arkasındaki baş üstü yüzeylerde serbestçe hareket edip etmediğine bakılmalı; ses yansımalarının tüm yüzeylere yayılmasına yardımcı olan balkon önleri, tavan ve yan duvarlarda belirgin herhangi bir düzensizlik veya süsleme var mı yok mu dikkat edilmelidir [15].

4.2.10 Kucaklama (spaciousness)

Nispeten dar, ayakkabı kutusu şeklinde bir salonda çello çaldığında, ses, dinleyiciye, çellonun asıl büyüklüğünden daha büyük bir boşluktan çıkıyormuş gibi gelir. Bu

doğal olay, kucaklama olarak da bilinir, yan duvarlardan ve yan balkon önleri gibi öncelikle salonun yatay yansımalarından kaynaklanır. Doğru bir şekilde ölçüldüğünde kucaklama, bir opera salonunda başka bir salonunkinden daha iyi bir ses alınmasının başlıca sebebidir [15].

Bir dinleyici, sesi iki kanaldan alır yani baş tarafından ayrılmış iki kulak tarafından. Bu yapılandırma ve beynin iki kulak tarafından alınan bilginin yayılmasını yorumlama şekli kucaklama algılamasından sorumludur. Dışarıda dinlenen bir müzik, dinleyici için her iki kulakta da aynı duyulacaktır ve böylece kucaklamadan yoksun kalacaktır fakat müzik sadece bir taraftan geldiğinde bir kulak, müziği diğerinden daha kısa sürede duyar. Ayrıca ikinci kulağa ulaşan ses, araya giren başın kısmen gölgelemesinden dolayı daha düşük güçtedir. İlk 80 msn'de birçok yansımanın, dinleyici üzerinde farklı açılarda bir noktada toplaşarak ulaştığı bir salonda, bu duyulan yansımaların çoğu yatay olacaktır. Bunun gösterimi **Şekil 4.24**'te açıklanmıştır. Eğer yatay yansımalar her dinleyicinin iki kulağında da doğru fark derecelerinde birleşiyorsa, ortaya çıkan kucaklama ile seyirci salonun çok üst düzey bir akustiğe sahip olduğunu düşünecektir. Bu seviyeden daha az bir kucaklama daha düşük bir akustik kalite anlamına gelir. Akustik mühendisleri kucaklamayı, çift kulakla kalite indeksi (BQI) denen bir birime tekabül eden aygıtlarla ölçer. İlginç bir şekilde, güçlü bas seslerinin varlığı bir salonun kucaklama özelliğine ufak da olsa ilavede bulunur [15].



Şekil 4.24 : Performansçıdan dinleyiciye doğru giden sesin yollarının gösterimi [6].

4.2.11 Parlaklık (brilliance)

Parlaklık, harmoni yönünden zengin, parlak, net, çınlayan ses olarak tanımlanır. Tiz sesin (treble) nispi yükselişi ve düşüşünün yavaşlığı sonucu ortaya çıkar. İlk gecikme zaman aralığından, yüksek frekanslardaki çınlama süresi ile orta frekanslardaki çınlama süresi arasındaki orandan, dinleyicinin performans sergileyen kişilere uzaklığından ve salonda uygun ses yansıtıcı yüzeylerin bulunmasından etkilenir. Yüksek frekanslarda canlılığa sahip salon, netliğe ve akustik samimiyete sahip olan bir salon, parlak bir sese sahiptir [30].

Çınlama, salon içinde erken sesi takip ederek etrafta dolaşan ses dalgalarının sonucudur. Erken ses, doğrudan ses ulaştıktan sonraki ilk 80 msn içinde dinleyicinin kulağına gelen yansıyan ses dalgalarının ardışığıdır. Erken ses dalgaları salonun içinde ileri-geri yönde, duyulamayacak seviyeye gelene kadar yansımaya devam eder. Başka bir deyişle, 80 msn sonra bunlar çınlama olarak algılanabilir. Ses dalgası duvardan ya da tavan yüzeyinden yansıdıkça, küçük miktarı emilir. Ses dalgaları seyircilere ulaşacak ve bu alanlarda gelen sesin büyük bir bölümü emilecektir. Fakat ses dalgalarının enerjilerini kaybetmelerinin başka yolları da vardır. Bu enerji kaybı, ses dalgaları havada ilerlerken ortaya çıkar [15].

Oda içinde dolaşan seste oluşan emicilik tipi yalnızca 1500 Hz üzerindeki frekanslarda hissedilir. Bu, doğal nedenlerden dolayı ses gücündeki azalmanın 2000 Hz bandında fark edilebilir olacağı ve 4000 Hz bandında çok daha net ortaya çıkacağı anlamına gelir. Kuru havadaki kayıp nemli havadakinden daha fazladır. Çünkü konser salonlarındaki nem kontrolü genellikle sıkı bir şekilde sağlanamamıştır ve ses emiciliği, sesin çarptığı her yüzeyde azami düzeyde tutulmalıdır. Bunu yapmadaki başarısızlık yüksek frekansta enerji kaybı, başka bir deyişle, yüksek parlaklık kaybı demektir [15].

Kumaşlardan ve halılardan sıkı şekilde alan içinde kaçınılmalı veya kullanımı sınırlandırılmalıdır. Eğer halıların kullanımı gerekli ise sadece koridorlarda kullanılmalıdır. Buralarda bile halılar mümkün olduğunca ince olmalı ve sert bir arka parçaya yapıştırılmalıdır. Akustik ses emici malzemeler, sadece ekoları ya da akustik parıltıyı gidermek gerektiğinde olabildiğince küçük alanlarda kullanılmalıdır [15].

4.2.12 Akustik parıltı (acoustical glare)

Bir salonun yan duvarları ya da asılı duran panellerin yüzeyleri düz ve pürüzsüz ise ve erken ses yansımalarını üretecek şekilde konumlandırıldıysa, bunlardan gelen ses kırılgan (brittle), sert veya kötü kaliteyle optik parıltıya benzer hale gelir. Bu "akustik parıltı", bu yüzeylere ufak ölçekte düzensizlikler ekleyerek ya da bu yüzeyi bükerek engellenebilir. 18. ve 19. yüzyıllarda barok oymacılıklar veya alçı süslemeler ses yansıtıcı yüzeylerde küçük ölçekli düzensizlikler sağlamıştır ve bu da parıltıyı etkili bir şekilde düşürmüştür [15].

4.2.13 Yayılım (diffusion)

Ses alanının yayılımı (diffusion of the sound field) üzerinde durulan bir konu olmuştur. Çeşitli tiplerdeki ses yayıcı (saçıcı) malzemeler veya objeler duvarlara ve salonun tavanına bu amaçla monte edilir [31]. Yayılım, çınlayan sesin mekânsal uyumuyla alakalıdır. Çınlayan ses dinleyicinin kulağına tüm yönlerden eşit miktarda ulaşırsa, yayılım en iyi seviyede olur. Orkestra sesi, uzun bir çınlama süresinin ve tavandaki süsler, duvarlardaki nişler, heykeller, balkon yüzleri gibi iç yüzeylerdeki düzensizliklerin birleşimiyle salonda yayılır. Bir salon, pürüzsüz yan duvarlara ve çapraz yansımaların takviyesi veya ses dalgalarının saçlımı olmadan sahneden sesi direkt dinleyiciye taşıyan tavan varsa, yayılım eksik kalmaktadır. Orkestra üzerindeki sahne tavanı çınlatıcıyken, salonun diğer kısımları ölü olduğunda da yetersiz yayılım ortaya çıkar. Bu tür bir çınlamanın müziğe bazı faydaları olsa da, salonun tümünde gerçekleşen çınlama kadar gelişmiş değildir [30].

4.2.14 Denge (balance)

İyi denge, hem orkestranın bölümleri arasındaki dengeyi hem de orkestra ve vokal ya da enstrümantal solistler arasındaki dengeyi gerektirir [30].

Bir konser salonuna iyi bir denge sağlayan unsurların bazıları akustik, bazıları da müzikaldir. Sahnenin çevresi, genişlik, derinlik ve yükseklik bakımından uygun şekilde tasarlanmalı ve iç yüzeylerinde düzensizlikler olmalıdır. Ya kısmen açık bir tavan veya yanlarda ve dinleyicilerin üzerindeki ilerleyen bölümlerde yansıtıcı paneller olmalıdır. Bunları ötesinde denge, müzisyenlerin elindedir: şefin bölümleri oturtması ve çalgıcıları kontrol etmesi [30].

4.2.15 Harman (blend)

Harman, orkestradaki birçok enstrümandan çıkan seslerin birleşip dinleyiciye armonik olarak aktarılması olarak tanımlanır. Harman, bir bakıma orkestranın tertibine bağlıdır, orkestra ne çok geniş ne de çok derin bir oturma düzenine sahip olmalıdır. Harman, çoğunlukla sahne üzerindeki tavanın tasarımına ve sahne sınırlarından çıkmadan önce sesi karıştıran eğimli yüzeylerin varlığına bağlıdır [30].

4.2.16 Birlik (ensemble)

Birlik, performans sergileyenlerin birlikte enstrümanlarını çalma kabiliyetlerine, yani, başlamalarına ve birçok sesin tek bir ses gibi duyulması sağlayacak şekilde notalarını aynı anda çalmalarına gönderme yapar. İyi bir birlik sağlamak için müzisyenler orkestradaki diğer arkadaşlarını duyabilmelidirler. Eğer sahne ya da orkestra çukuru çok geniş ve sığ olursa, orkestranın iki yanındaki kişiler birbirlerini duyamayacak ve birlik zayıf olacaktır. Sahne çevresi (stage enclosure) ve yanlardaki ve sahnenin üzerindeki yansıtıcı yüzeyler, sahnenin bir bölümünde bulunan müzisyenlerin sesini sahnenin diğer bölümünde bulunanlara iletmekle mükelleftir [30].

4.2.17 Tepki yakınlığı (immedacy of response)

Müzisyen açısından bakıldığında, bir salon gösteri yapan kişiye bir notaya çabucak tepki verdiğini hissettirmelidir. Tepki yakınlığı, salonun yüzeylerinden gelen ilk yansımaların müzisyene tekrar ulaşmasına dayanmaktadır. Eğer yansımalar nota duyulduktan çok sonra gerçekleşirse, müzisyen bunu eko olarak duyacaktır; eğer müzisyen sadece sahnede çevresinde bulunan yan duvarlardan gelen yansımaları duyarsa, salonun akustiğini hissetmede başarısız olacaktır. Bu nedenle, tepki yakınlığı samimiyet, canlılık, yayılım, birlik ve eko tarafından belirlenmektedir [30].

4.2.18 Doku (texture)

Doku, dinleyicinin kulağına ulaşan ses yansımaları dizisinin oluşturduğu yapının, dinleyicinin beyninde oluşturduğu öznel izlenimdir. Örneğin; bazı salonlarda bir dizi yansıma, ilk gecikme zaman aralığını düzenli bir aralıkta takip eder. Diğer salonlarda, ilk ve ikinci ya da ikinci ile üçüncü yansımalar arasında ciddi zaman aralığı vardır. Hatta bazı salonlarda, bazı yansımalar diğerlerinden daha yüksektir. Yansımaların yapısı, akustiğin diğer nitelikleri tarafından üretilmiş daha büyük öznel

etkiler üzerine eklenen bir çeşit doku oluşturmaktadır [30]. Yüksek-kalite "doku", birinin diğerine baskın olmasının önüne geçecek şekilde, düzenli fakat tamamen ayrılmamış bir biçimde çok miktarda erken yansıma gerektirir [15].

Ölçülmesi zor olan ses kalitesi parametrelerinden biri "doku"dur. Bu dinleyicinin kulağına doğrudan sesten sonra gelen erken ses yansımalarının miktarını ve doğasını içerir. Bütün diğer parametreler kabul edilebilir optimum seviyedeyken, memnun kalınmamış bir "doku" şu tarz cümleler söyletebilir. "Müzikte bir şeyler eksik", veya "müzikte bir keskinlik, uçluk var" ya da "hiç iyi değil" şeklinde vs [15].

Doku, **Şekil 4.14**'te gösterilen dinleyicinin pozisyonundaki zaman dokusu olan "yansıtıcı diyagram" ile ilişkilidir. Yüksek salonlar için ilk gecikme zaman aralığı (ITDG) 40 msn ve alçak salonlar için 20 msn'dir. İyi bir doku için ilk gecikme zaman aralığı (ITDG) kısa olmalı ama 80 msn'den önceki yansımalar sayıca fazla ve grafiğin altındaki gibi nispeten homojen bir biçimde yerleştirilmelidir [15].

Yansıtıcı diyagramın (reflectogram) görsel incelemesi ses kalitesindeki çok önemli bir indekstir. Prensip gereği, yansıtıcı diyagramın düzleştirilmesi (smoothing) ve düzeltilmesi (rectifying) bu yönteme yardım etmelidir fakat fiziksel bir sabit gereklidir ve erken sesteki yansımaların sayısı yanlıştır. Hesaptaki belirsizliği gidermenin yolu da yansıtıcı diyagrama matematiksel olarak iyi tanımlanmış bir yöntemi uygulamaktır ve isimlendirmek gerekirse "Çevreleme Fonksiyonu" ("Envelop Function") dur ve EF ile gösterilir [32].

4.2.19 Ekosuzluk (freedom from echo)

Eko, dinleyicileri rahatsız edecek kadar yüksek olan gecikmiş yansımayı tanımlar. Bunlar, çok yüksek olan tavan yüzeylerinden veya sesi salonun bir bölümüne odaklayan tavan yüzeylerinden gelebilmektedir. Eko genellikle, merkez noktası dinleyicinin ön tarafı ya da hatta sahnede olan, uzun çok kıvrımlı arka duvardan kaynaklanmaktadır. Eko çoğunlukla, geniş salonların ön sıralarında ve kısa çınlama süresine sahip salonlarda görülür. Eğer eko bir salonun tasarımının ilk aşamalarında engellenmezse, salon tamamlandıktan sonra yansıtıcı yüzeylerde değişiklik yapılmak zorunda kalınır [30].

4.2.20 Gürültüsüzlük (freedom from noise)

Bir konser salonu, trafikten gelen gürültüden, bitişikteki salonlar veya prova odalarından gelen, metrolardan, uçaklardan, havalandırma istemlerinden gelen gürültüden ve geç gelen dinleyicilerin merdivenlerindeki ve koridorlardaki sesinin oluşturduğu gürültüden kurtulmuş olmalıdır. Müzik için olan bir salonun iyi tasarlanmasında ilk faktör dış kaynaklardan gelen tüm gürültülerin dinleyicilerden yalıtılmasıdır. İyi salonların birçoğu havalandırma sistemlerinin gürültüsü veya trafik veya uçakların gürültüsü nedeniyle mahvolmuştur [30].

4.2.21 Ses rengi ve ton rengi (timbre and tone color)

"Ses rengi" bir enstrümanı diğerinden ya da bir insan sesini ötekinden ayırt eden ses kalitesidir. "Ton rengi", düşük, orta ve yüksek frekanslı seslerin gücü arasındaki dengeyi ve orkestranın bölümleri arasındaki dengeyi ifade eder. Müziğin üretildiği akustik ortam ton rengini etkiler. Eğer salon titreyen sesi artırır veya emerse, kırılganlık (brittleness) veya bastırılan kalite müziğe zarar verebilir. Sahne duvarı veya ana tavan belirli sesleri salonun bazı kısımlarına yönlendirip, bazılarına yönlendirmiyorsa ton rengi bundan etkilenecektir [15].

4.2.22 Dinamik aralık ve arka plan gürültü seviyesi

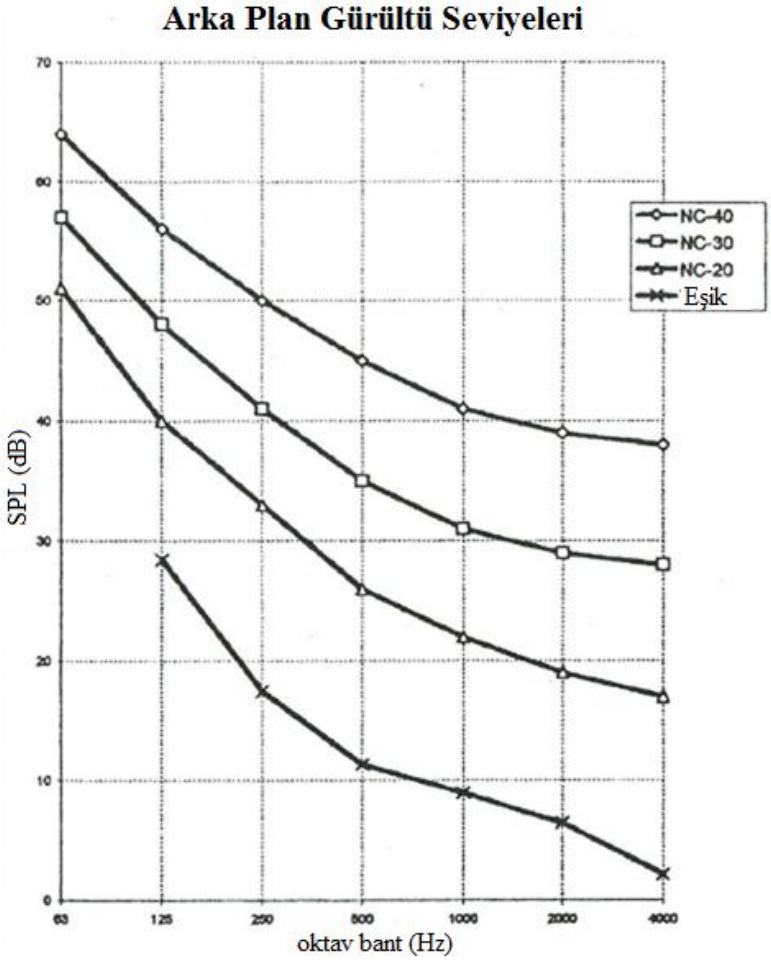
Doğrudan ses ve ses yansımalarına ek olarak, her odada gürültü vardır. Minimal arka plan gürültü seviyeleri, dinleme alanlarındaki iyi akustik için önemlidir. Diğer yandan, belli bir gürültü seviyesi ofisler ve diğer kamu alanlarında insanların sohbetlerinin yarattığı rahatsızlığı maskelemeye ve kişisel gizliliğe katkı sağlamaktadır. Ama bir salonun akustik tasarımı aşamasında gürültüye karşı duyarlı olunmalıdır ve kontrol altına alınmalıdır [2].

Sessizlik (sükut) altındır. Ralph Waldo Emerson, "Bırakın sessiz olalım böylece Tanrıların fısıltılarını duyabilliriz." sözleriyle sessizliğin önemini vurgulamıştır [2].

Sessizlik ve arka plan gürültüleri; boyamak için boş bir tuval ya da bir gurme yemeği için temiz bir tabak gibi, sessizlik iyi akustiğin olmazsa olmazıdır. Sessizlik gürültünün olmamasıdır, gürültü ise istenmeyen sestir. Bir performans sırasında performans sergileyen kişi tarafından çıkarılmayan, duyulabilir seslerin tümü gürültüdür. Gürültü kaynakları, trafik, uçaklar, makineler, tesisat, ışıklar ve diğer

alanlardaki insanları içerir. Bir dinleme alanında, en çok suçlu genellikle ısıtma, havalandırma ve klima sistemleridir [2].

İnsan kulağı öylesine hassastır ki bir hidrojen molekülünün çapıyla kulak zarını değiştiren sesleri algılayabilir. Bu da, arka plandaki gürültünün bir performansçının ya da konuşmacının etkin şekilde kullanabileceği en yumuşak sesi belirlemesini sağladığı anlamına gelmektedir [2].



Şekil 4.25 : Duyma eşiği [2].

Gürültü Kriteri (NC) eğrisi, mekanik havalandırma sistemlerinin gürültü seviyesini karakterize etmek için tasarlanmıştır. Bunlar, objektif ses seviyeleri ile değişken frekanslardaki seslerin algılanan şiddetini karşılaştıran eşit ses şiddeti eğrilerinden (Fletcher Munson eğrileri) elde edilmiştir. Kabaca konuşmak gerekirse, bu, daha yüksek frekanslı bir nota kadar yüksek bir ses çıkarabilmek için daha yoğun bir düşük-frekans notası gerektirir. Bu eşit-ses şiddeti eğrilerinden birini takip eden bir frekans spektrumuna sahip bir gürültü, göze çarpan bir perde(pitch) sahibi olmayacaktır ve dikkat çekmeyecektir [2].

Bir kişi, bu kriterleri takip ederek, insanları rahatsız etmeyen, kabul edilebilir miktarda gürültü yaratan bir mekanik sistem dizayn edebilir. Kabul edilebilirlik, tabii ki, bir alanın kullanımına bağlıdır. Bir ofis, bir konferans salonundan daha gürültülü olmalıdır. Isıtma, havalandırma ve klima sistemlerinden gelen nötr gürültü, konuşmaya dikkat çekmeyerek konuşmanın gizliliğini sağlar ve sohbeti maskeler [2].

Gürültü Kriterleri NC 40, lobiler ve koridorlar gibi kritik olmayan alanlar için kabul edilebilir. NC 30, bir motel odası için kabul edilebilir olacaktır. NC 20 ise kilise ve tiyatro salonları için uygun olarak gösterilmektedir. **Şekil 4.25**'te işitme eğrisi eşiği ile NC 20 arasında ne kadar alan olduğuna bakın. NC 20'de Isıtma, havalandırma ve klima sistemleri tarafından kamufle edilmiş birçok duyulabilir ses vardır [2].

Konuşma; bir tiyatro gerçekten sessiz olduğunda, bir aktör bağırmadan fısıldamaya kadar tüm dinamiklerini kullanabilir ve hala net bir şekilde anlaşılabilir. Oyundaki sessiz dakikalar en çok heyecan verici bölümler olduğundan dolayı, arka gürültülerin sıkı kontrolü önemlidir [2].

Antik Yunan tiyatroları konuşma açısından neredeyse sihirli gibi olan akustikleri ile bilinirler. Epidaurus tiyatrosunda bir kişi en arka koltuktan bile bir drahminin düştüğünü duyabilir. Nedeni duyulabilir hiçbir sesin paranın betona çarpma sesini kamufle etmiyor olmasıdır- bu nedenle ses duyulur [2].

Müzik; müzik için de durum benzerdir, sessiz bir arka plan, performans sergileyen kişinin tüm dinamiklerinden faydalanmasına olanak sağlar. Bir müzik performansının en yüksek sesli kritik noktası muhteşem bir şekilde heyecan verici olabilir, ancak sessiz dakikalar bu can alıcı dakikaları etkiler ve onlara güç verir. Sessiz dakikalar olmadan, müzik her zamanki durgun seviyede kalır. Ayrıca, müziğin en yoğun ve büyülü olduğu anlardan bazıları en hafif olduğu anlardır. Bu anlar, ancak salon gerçekten sessiz olursa mümkün olur [2].

Aynı mekânda konuşma ve müzik; birçok mekân hem konuşma hem de müzik için kullanılmaktadır. Bu tür karışık bir kullanım için, sessiz bir arka plan çok önemlidir. Bunun nedeni çınlamanın müzik için gerekli olmasıdır. Çınlama olmadan, müzik kulağa düz ve donuk gelir. Ancak çınlama, konuşma seslerini uzatarak, zaman içinde yayarak, konuşmanın anlaşılırlığına müdahale edebilir [2].

İyi bir konuşmacı tane tane ve net bir şekilde konuşarak, çınlamayı kendi sesini geliştirmek için kullanarak, bu etkiyi telafi edebilir. Bununla birlikte çınlama, arka

plandaki gürültüyü de güçlendirir, konuşma için iki kat daha zorluk çıkarır. Arka plandaki gürültü en aza indirgendiğinde konuşma, uygun bir şekilde tasarlanmış çınlayan bir mekânda başarılı olur [2].

Dinleyici gürültüsü; mimarın ya da akustik danışmanın doğrudan kontrolü dışında olan bir gürültü kaynağıdır. Ancak, araştırmalar arka plandaki gürültü en aza indirgendiğinde dinleyici unsurların önemli ölçüde daha sessiz olduklarını göstermektedir. İngiltere, Birmingham'da bulunan, arka plan gürültüsü çok az olan Birmingham Senfoni Salonu'nda, dinleyiciler, sessiz müzik geçişlerinde o kadar dikkatlidirler ki dinlemek için nefeslerini tutarlar [2].

Arka plan gürültüsü sesin önünde bir pus oluşturmaktadır. Bu gürültü, birçok kişi tarafından fark edilmemektedir. Daha ziyade kişiler, yaşadıkları deneyimin azaldığını fark ederler: kemanların ton rengi donuktur; ses netlikten yoksundur; kelimeleri tam olarak anlayamazlar [2].

Arka plandaki gürültünün etkisi, kirli bir pencereden bakmaya benzetilebilir; kişi pencere üzerindeki kiri fark etmez, kişi manzarayı kolay kolay seçemez. Pencere temizlendiğinde, netlikteki gelişme çarpıcı olacaktır. Yani bu durum, arka plandaki gürültü kontrol edildiğinde de ortaya çıkacaktır. Bu fark, önce tüm havalandırma ve ışıklandırma sistemlerinin çalışır vaziyette olduğu bir alanda dinleyip, sonra da bunların tümü kapatılarak kolayca gösterilebilir. Ses netliğindeki değişim dikkat çekecektir.

Dinleme için yeni bir mekan tasarlarken, arka plandaki gürültü en başından düşünülmelidir. Gürültü kontrolü akustik için önemlidir, çünkü geometriyi değiştirmek mümkün değildir [2].

Arka plandaki gürültünün yeterince kontrol edilmemesinin en yaygın nedeni maliyettir. Dinleme için yapılan herhangi bir binanın başarısı için gürültü kontrolü büyük önem arz etmektedir. Bu kontrol, mükemmel ses ile aleladeliğin arasındaki farkı belirler [2].

Çok az kişi bilinçli bir şekilde arka plandaki gürültünün farkındadır, ama bu gürültü her yerdedir ve yarattığı etki ses deneyimini bozmaktır. Bu yüzden, sessizlik, gösteri yapılan mekânlardaki ve ibadethanelerdeki uygun arka plandır. Tekrarlamak gerekirse, bu tür mekânların akustiği en başında dikkate alınmalıdır; gürültü kontrolü olmayan iyi akustik, temelsiz bir binaya benzer [2].

“Dinamik aralık”, müziğin bir salonda duyulabilir olmasını sağlayan ses seviyelerinin yayılmasıdır. Bu aralık, iklimlendirme sisteminden ve seyircilerden kaynaklanan düşük seviyeli arka plan gürültülerinden, en yüksek şiddetteki performans seslerine kadar uzanır. Trafik ve uçak gürültüleri gibi dışarıdan gelen tüm seslerin, geniş bir dinamik aralığı korumak için içeriye girmesi önlenmelidir veya normal dinleyici gürültüsünde duyulamaz seviyeye kadar getirilmelidir [15]. Orkestra tarafından üretilen en yüksek seviyeler, rahatsız edici kulak tırmalayıcılara dönüşecek kadar yüksek olmamalıdır [30].

Kentsel bölgelerde dışarıdan gelen sesin de ayrıca hesaba katılması gereklidir. Trafik, demiryolu ya da uçak gürültüsü oditoryum içindeki sesi bastırabilir ve içerdeki sesin duyulamamasına neden olabilir. Bununla ilgili olarak en tipik yaklaşım oditoryumu binanın dış kabuğunun oluşturduğu bir kutu içerisindeki başka bir kutuymuş gibi düşünmektir. Ses geçirmeyen tabanlar, fuayeler (seyirci bekleme odaları) arasında kullanılır. Ses girişini önleme metotların diğer binalar için kullanılan metotlardan yaklaşım olarak hiçbir farkı yoktur. Yeraltı metrolarından gelen titreşimler de özellikle problemler yaratır. Bu gibi ciddi durumlarda uygulanan çözüm oditoryumun tamamını esnek ve dayanıklı yastıklar üzerinde tutturmaktır. Bu titreşim yalıtımı yakın zamanda Glasgow, Birmingham ve Manchester’da bulunan konser salonlarında uygulanmıştır [1].

Daha düşük arka plan gürültüsü ile performansın dinamik aralığı arttırılabilir ve çok daha heyecanlı ses deneyimleri yaşatabilir [1]**. Çizelge 4.5**’te dinleme salonları için gürültü değerlendirme ölçüsü verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Dinleme salonları için gürültü değerlendirme ölçüsü [17].

Konser ve opera salonları	NC 25
Tiyatrolar	NC 30
Sinemalar ve konferans salonu	NC 45

4.2.23 Ton kalitesine verilen zararlar (detriments to tonal quality)

Tonal kalite, tonun güzelliğidir. İyi bir enstrümanın iyi bir ton kalitesi vardır. İyi bir enstrüman gibi, bir konser salonu da iyi bir ton kalitesine sahip olabilir. Bir salonun tonal kalitesi, birçok farklı yolla bozulabilir [30]. Metalik bir yüzeydeki tıkırdama veya bir cihazın önünde belirli notalarda rezonansa giren metal çubuklar gibi herhangi bir sorun ton kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bazen özel bir bozulma türü araya sızabilir - Salonun mimari ya da dekoratif özellikleri orkestra müziğine rahatsız

edici sesler katabilir. Yansıtıcı panel yüzeylerindeki ufak ölçekte düzensizlikler bu tarzdaki bozulmaları hafifletebilir. En iyi salonların bile bazı koltuklarında duyulan bir "kaynak kayması" ton kalitesini bozabilir. Eğer belli bir ses yansıtıcı yüzeyi büyük bir miktardaki sesi dinleyicinin bir kısmına odaklar ise, orada bulunan dinleyiciler, onlara ulaşan sesi orkestradan değil de o yüzeyden geliyormuş gibi duyar [15]. Ton kalitesi, "tekrarlayan eko" nedeniyle düşebilir, yansıtıcı yüzeylerin bitişik şekilde yerleştirilmesi sonucu bazı bölgelerde garip bir "vızıltı" duyulabilir [30].

4.2.24 Dinleyici alanında sesin homojenliği (uniformity of sound)

İyi bir salonun bir özelliği de sesin aynılığıdır. Birçok salon sesin zayıf olduğu bir bölüme sahiptir, örneğin derin bir balkon çıkıntısının altı veya eğer salon özellikle genişse, ön tarafların yanları veya sahnenin yakınları [30].

Belirli yerlerde, yansımalar orkestranın bir bölümünü gereğinden fazla ön plana çıkartabilir ya da ekoların, bulanıklığın oluşumuna ve ses netliğinin kaybına neden olabilir. Müzisyenler bazen müziğin, salonun diğer kısımlarında olduğu kadar canlı veya net olmadığı yerlere "ölü nokta"lar diyebilir. Akustikçiler bu terimi müziğin özelikle zayıf olduğu yerler için kullanırlar [15]. Akustik kullanımda ise, bu terim sadece müziğin zayıf olduğu yerleri tanımlar [30].

5. KABULLER, HESAPLAMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

Tez çalışmasında, müzik ve konuşma işlevlerini karşılayacak çok amaçlı bir salonun her iki faaliyet için göstereceği performansların belirlenen bir ana plan ve onun üzerinde yapılan varyasyonlar ile elde edilen diğer planların karşılıklı olarak modeller ve simülasyon analizleri aracılığıyla değerlendirilmesi ele alınmıştır. Çalışma aşamasında kullanılacak olan çizim, modelleme ve hesaplamalar için bilgisayar programları kullanılmış, gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Ana planın belirlenmesinde literatürdeki tasarım parametrelerinden faydalanılmış ve buna uygun olarak da salon kabullerinde (hacim, kişi sayısı, sahneden maksimum uzaklık…) bulunmuştur. Modeller akustik simülasyon programına atılmış, program içinde ideal ortam ve analiz koşulları sağlanmıştır. Kaynak ve alıcı noktaları belirlendikten sonra belirlenen enerji parametreleri üzerinden analizlere ve karşılıklı değerlendirmelere varılmıştır.

5.1 Kabuller

5.1.1 İrdelenen salon ve varyasyonları için tasarım kabulleri

Daire plan tipli ve kubbe şeklinde bitişli salonların değerlendirildiği bu çalışmada tasarlanan çok amaçlı salonda sahne ortada konumlandırılmıştır. Seyircilerin yer aldığı oturma bölümleri sahneyi çevreleyerek daire biçimini takip edecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu salon tipinde ortaya yerleştirilen sahnenin duvarları olmamasından dolayı yansıma alamaması ve arka duvarlar daire biçimini takip ettiği için de odaklanma riskinde artış beklenir. İlk olarak bir ana salon planı tasarlanmış ve değerlendirme amacıyla karşılaştırma yapılmak üzere iki farklı varyasyon daha geliştirilmiştir. Yararlı yanal yansımaların sağlanabilmesi için yan duvarlardan yararlanılması amaçlanmıştır, ayrıca zemin eğiminin katkısı incelenmiştir.

Simülasyon programında kullanılmak üzere tasarım parametrelerine göre tasarlanmış ana salon 1; daire plan şeklinde, kesitte kubbe bitişli olup 1520 kişilik çok amaçlı bir

salondur. İkinci plan tipi, salon 2; aynı özelliklere ve izleyici sayısına sahip bir salon olup zemin eğimi daha dik biçimlendirilmiştir. Böylelikle eğimin parametreler üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu planlarda yararlı yanal yansımaların eksikliği yardımcı yanal duvarların olmayışıyla öngörülmüştür ve buna bağlı olarak planda oturma düzleminde bir teras düzeni oluşturularak yardımcı yanal duvarlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu öngörü doğrultusunda salon 2'den yola çıkılarak elde edilen üçüncü plan tipi salon 3'tür. Salon 3, oturum düzeninin bölümlenmesiyle oluşturulmuştur ve 8 ayrı oturum parçasından yararlanılmıştır. Bu parçaların 4 tanesi birer atlayarak yerden yükseltilmiş ve sesin dalga boyları da dikkate alınarak yüksek teras duvarları elde edilmiştir. İki terasın arasında kalan oturma alanlarına ise terasların yan duvarlarından gelen yansımalar ile ses iletimi amaçlanmıştır ve gelmesi beklenen yansımaların parametreler üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Böylelikle akustik açıdan, ana salonda olmayan teras duvarlarının salonun akustik performansına etkisi salon 1 ana salonu ve ondan yola çıkılarak elde edilen salon 2 ve salon 3 varyasyonları arasındaki karşılaştırmalar değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca çalışmada bu karşılıklı değerlendirmelere geçilmeden önce salonlar kendi içinde alıcı noktalarında parametrelerinin aldığı sonuçlar bazında değerlendirilip salon içindeki genel durum ele alınmaya çalışılmıştır.

Tasarlanan salon 1ana salonunun teknik özellikleri aşağıda verilmiştir. Plan ve kesitleri de **Şekil 5.1** ve **Şekil 5.2**'de görülmektedir.

Kişi sayısı: 1520 kişi

Hacim: 11613 m^3

Toplam uzunluk/en: 54,30 m

Salonun toplam zemin alanı: 2315,9 m^2

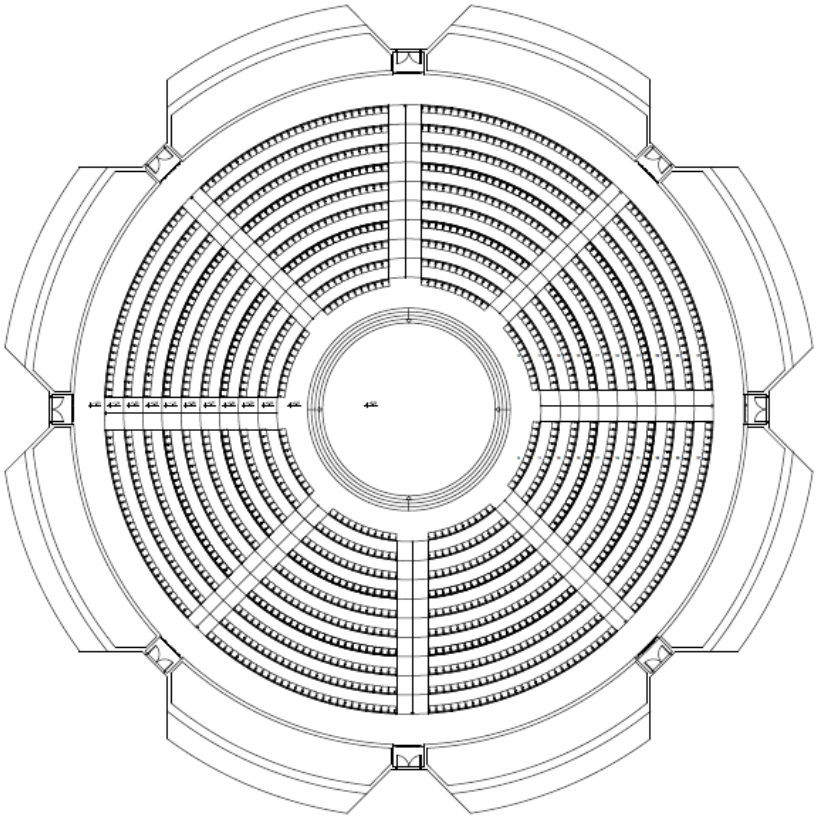
Koridor alanı: 787,07 m^2

Sahne alanı: 201,72 m^2 (sahne merdiven alanı: 54,72 m^2)

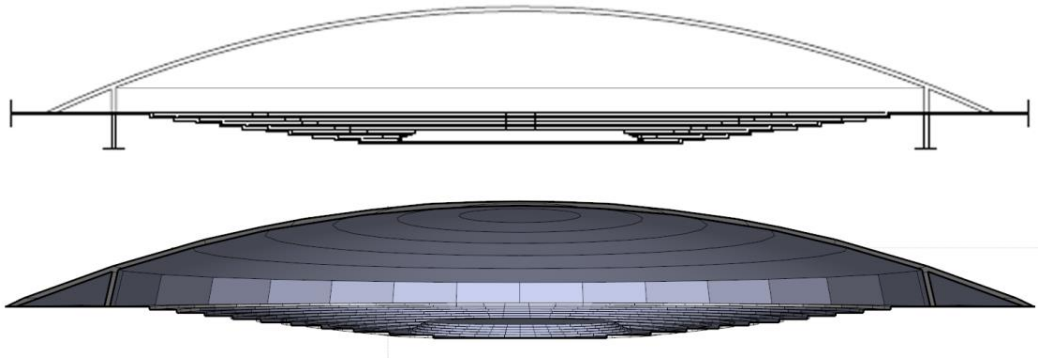
Kişi başına düşen m^3: 7,64 m^3

Kişi başına düşen m^2: 1 m^2

İşlev: Çok amaçlı salon (konuşma ve müzik)



Şekil 5.1 : Salon 1 ana salonu planı.



Şekil 5.2 : Salon 1 ana salonu kesiti.

Salon 2'nin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir. Plan ve kesitleri de **Şekil 5.3** ve **Şekil 5.4**'te görülmektedir.

Kişi sayısı: 1520 kişi

Hacim: 12388 m^3

Toplam uzunluk/en: 54,30 m

Salonun toplam zemin alanı: 2315,9 m^2

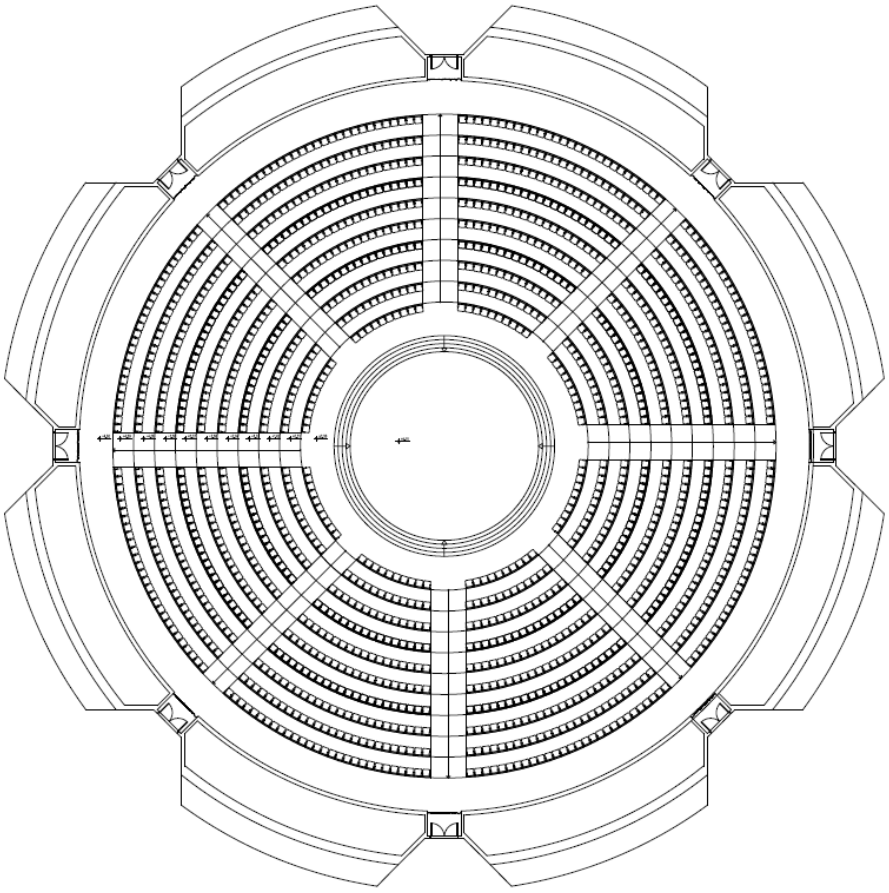
Koridor alanı:841,2 m^2

Sahne alanı: 201,72 m^2 (sahne merdiven alanı: 54,72 m^2)

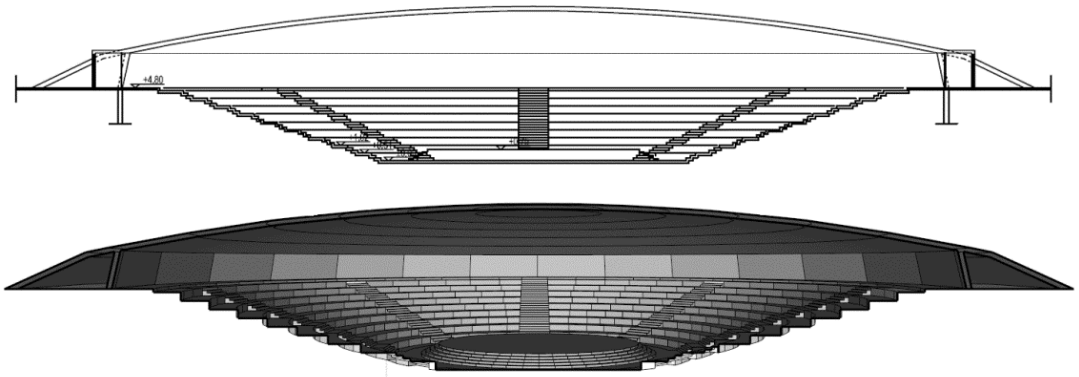
Kişi başına düşen m^3: 8,15 m^3

Kişi başına düşen m^2: 1 m^2

İşlev: Çok amaçlı salon (konuşma ve müzik)



Şekil 5.3 : Salon 2 planı.



Şekil 5.4 : Salon 2 kesiti.

Salon 3'ün teknik özellikleri aşağıda verilmiştir. Plan ve kesitleri de **Şekil 5.5** ve **Şekil 5.6**'da görülmektedir.

Kişi sayısı: 1460 kişi

Hacim: 11825 m^3

Toplam uzunluk/en: 54,30 m

Salonun toplam zemin alanı: 2315,9 m^2

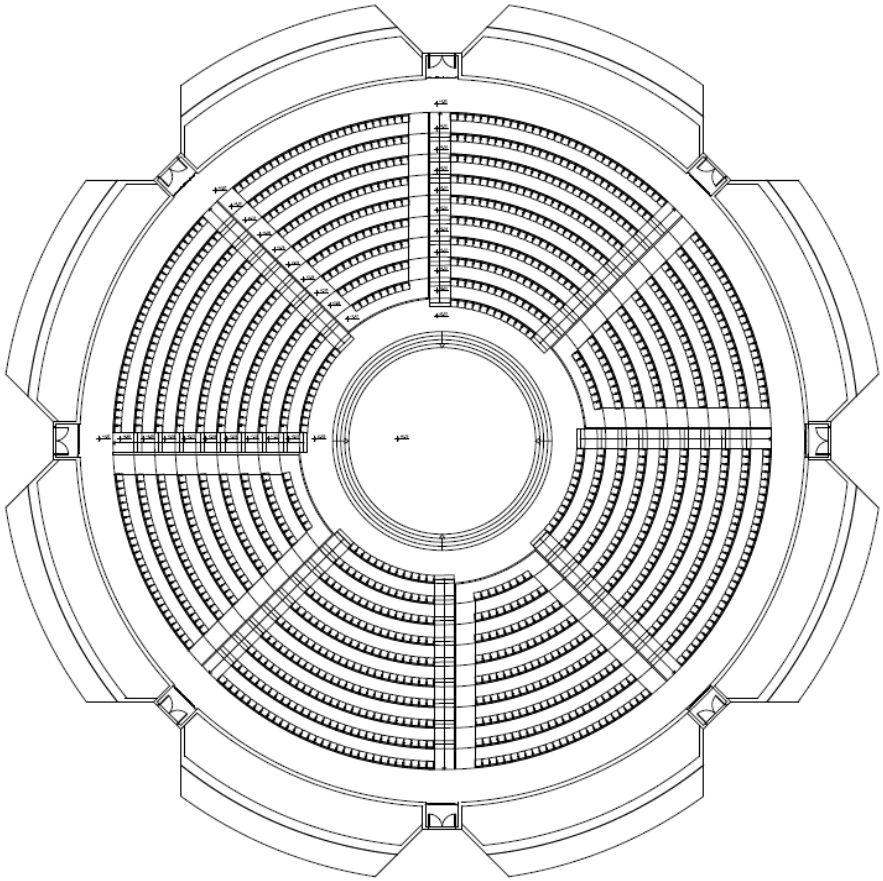
Koridor alanı:920,75 m^2

Sahne alanı: 201,72 m^2

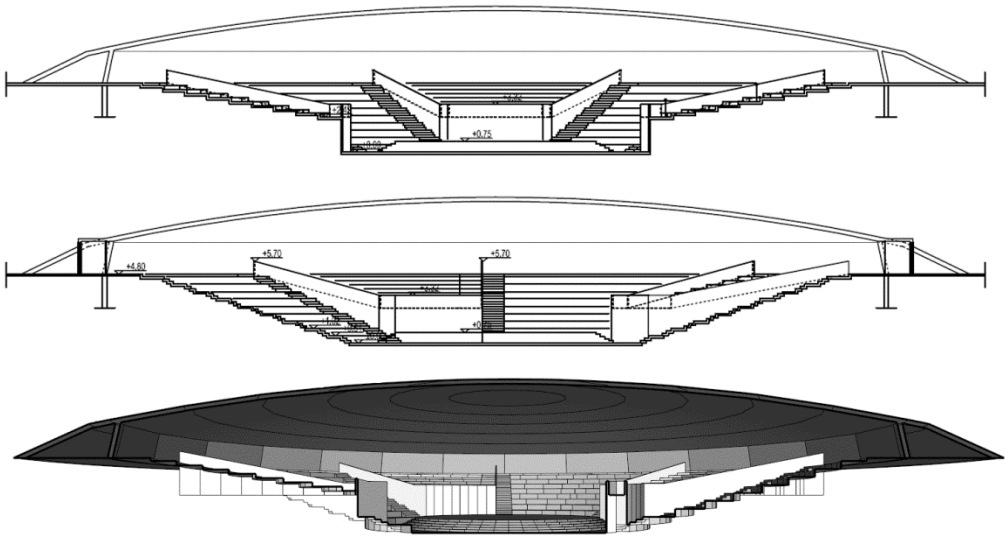
Kişi başına düşen m^3: 8,12 m^3

Kişi başına düşen m^2: 1 m^2

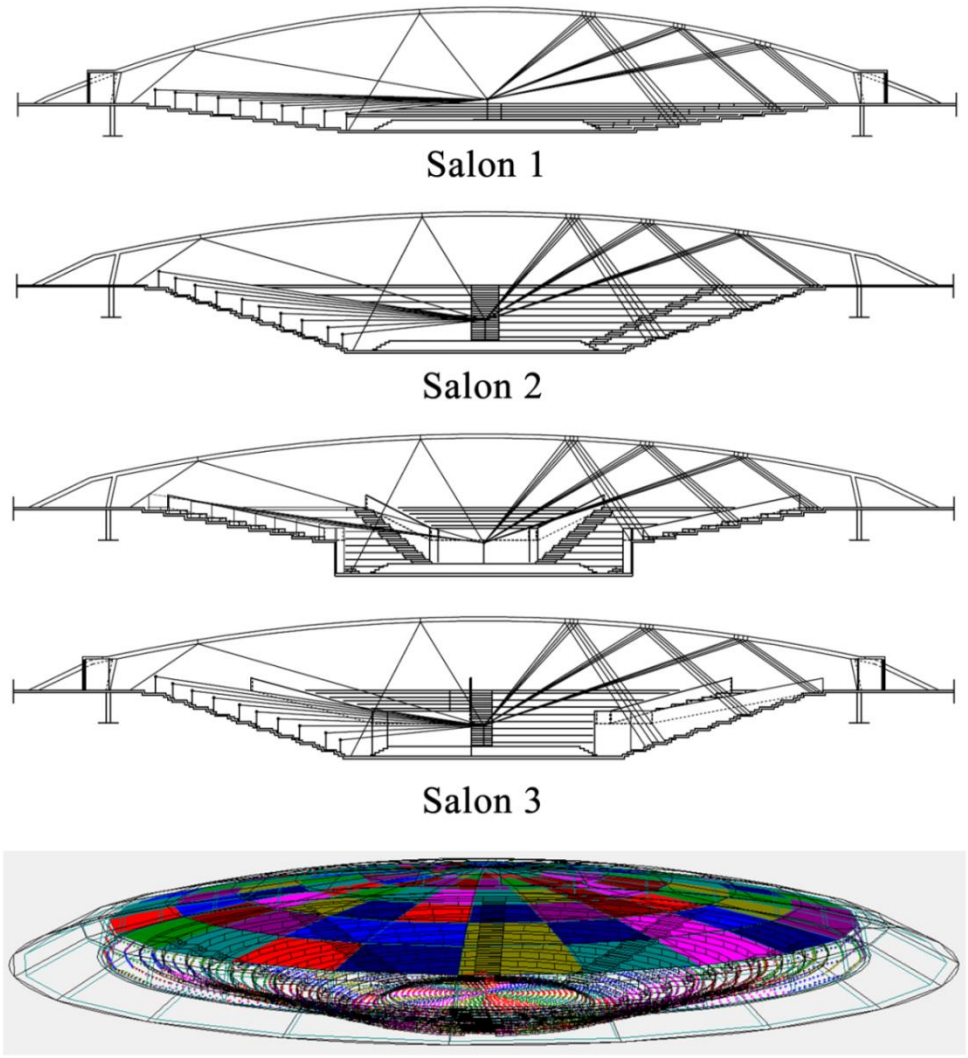
İşlev: Çok amaçlı salon (konuşma ve müzik)



Şekil 5.5 : Salon 3 planı.



Şekil 5.6 : Salon 3 kesitleri.



Şekil 5.7 : Salonların görüş çizgileri, ışın iletimleri, odak kontrolleri.

Zemin eğiminin belirlenmesini etkileyen görüş çizgileri üç plan için ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Salonların kubbe biçimli içbükey tavanlarının ses iletimi ve odaklanma çizim kontrolleri yapılmıştır. **Şekil 5.7** bu analizleri ve görüş çizgilerinin değişimini göstermektedir. Bu şekilde en altta verilen tavan iletim grafiği incelendiğinde tavanın salondaki her yere sesi ilettiği, analizde hiç boşluk kalmaması aracılığıyla görülmüştür. Dolayısıyla salonda yansıtıcı bir panel kullanımına ihtiyaç duyulmamıştır. Ayrıca salonların yüksekliklerinin 10 m civarında olması da salonda yansıtıcı panele ihtiyaç duyulmamasının bir diğer nedenidir.

5.1.2 ODEON kabulleri

Çalışma kapsamında Google Sketch Up 13.0 programında hazırlanan modeller ODEON 10.0 Combined isimli akustik simülasyon programına aktarılmıştır. Hesap metotları belirlenmeden önce, modeller program tarafından kontrol edilmiş (3D Geometry Debugger), üst üste binen yüzey olmadığı ve ışınların model dışına kaçmadığı tespit edilmiştir. Modellerin uygunluğu kontrol edildikten sonra ODEON Akustik Simülasyon Programı'na aktarılan modeller için **Şekil 5.8**'deki hesap parametreleri belirlenmiştir. Bunlar;

• Bir ışının maksimum yansıma süresi (impulse response length),

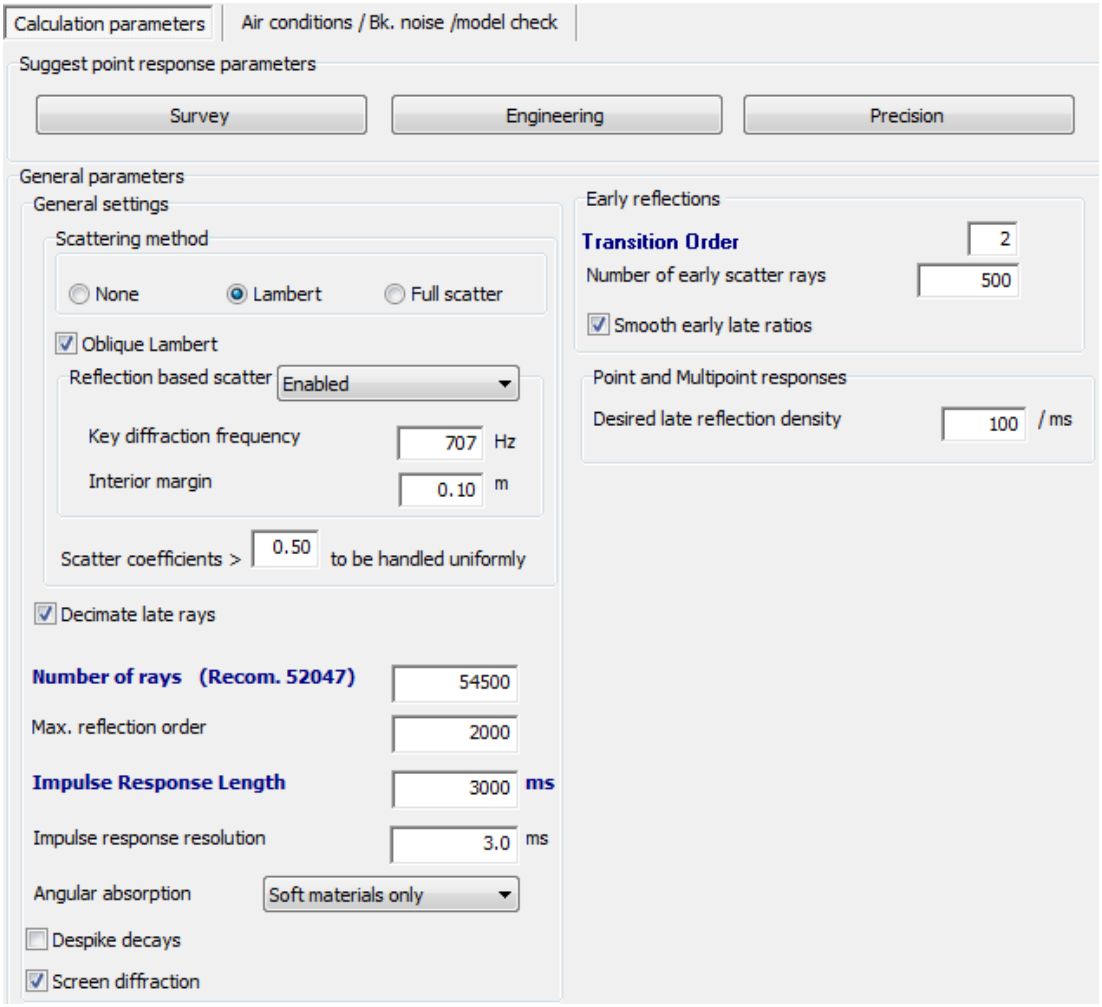
• Bir ışının maksimum yansıma sayısı (maximum reflection order),

• Işın sayısı (number of rays),

• Sanal kaynakların yansıma derecesi (transition order),

• Arka plan gürültü düzeyi, ortam sıcaklığı ve nemdir.

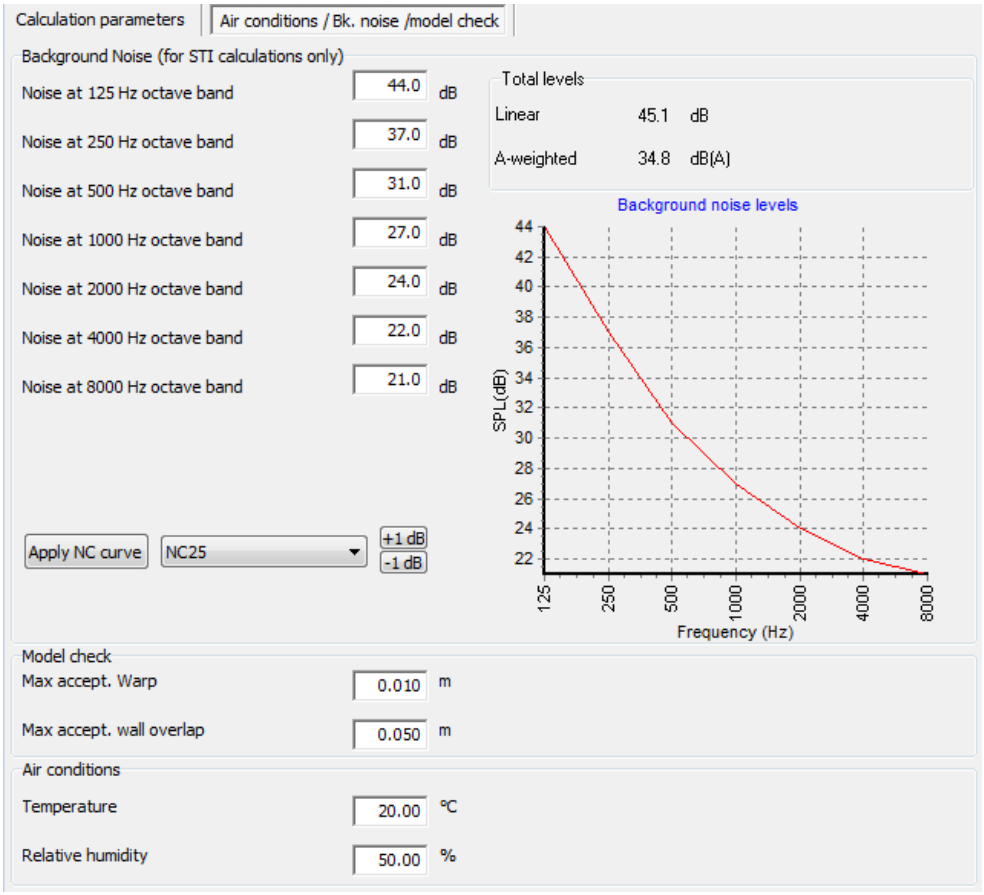
Hesaplama yapılacak modeller için; "engineering" hesaplama hassasiyeti kullanılmıştır. Bir ışının maksimum yansıma süresi 3000 ms, bir ışının maksimum yansıma sayısı 2000, erken ışın sayısı her salon için programın önerdiği değer, sanal kaynakların yansıma derecesi 2, arka plan gürültü seviyesi NC 25, sıcaklık 20º, nem oranı % 50 olarak belirlenmiştir, **Şekil 5.9**'da görülmektedir.



Şekil 5.8 : Odeon hesaplama parametreleri kabulleri.

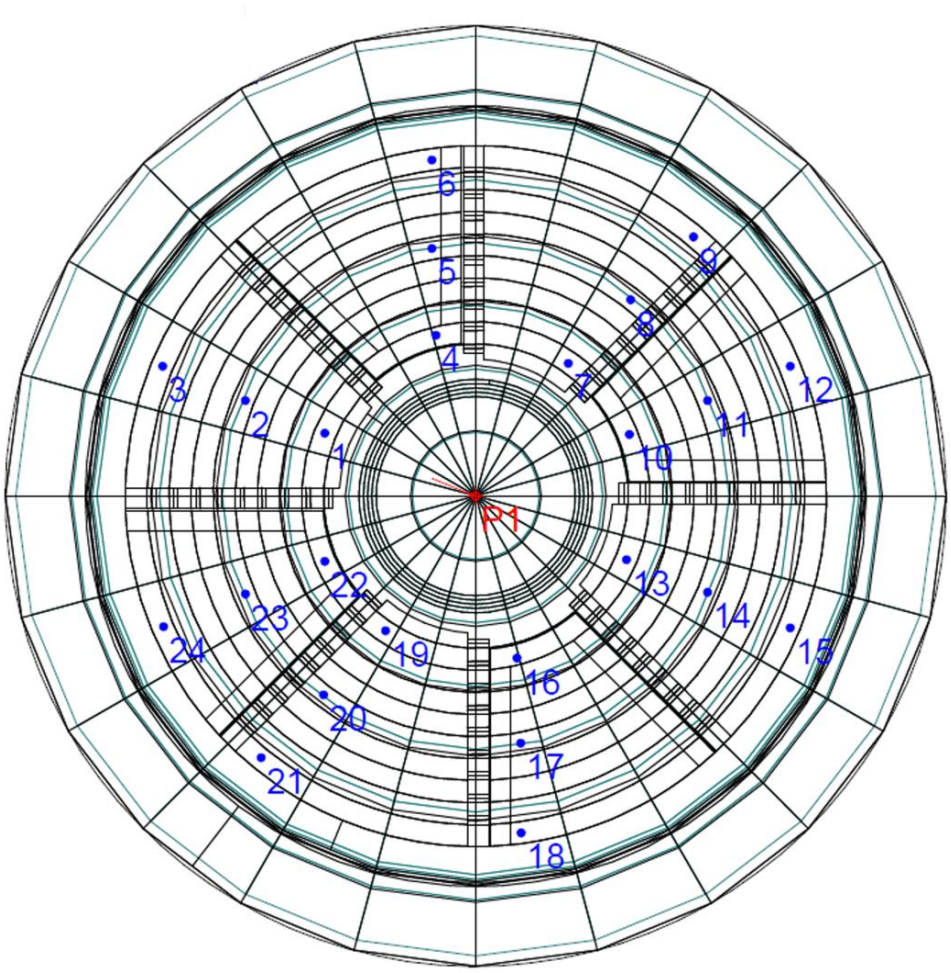
Salonlarda 2 kaynak ile 24 alıcı noktasında ölçüm yapılmıştır. Kaynakların ikisi de sahnenin orta noktasına, yerden 75 cm yükseklikte olan sahne zemininden; 150 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Kaynak olarak her frekans spektrumunda eşit ses düzeyi sağlayan 90 dB ses gücüne sahip omni kaynak olarak seçilmiştir.

ISO 3382-1 standardına göre, alıcı noktaları salonun tamamına eşit biçimde dağıtılmalı, varsa balkon, balkon altı gibi bölümlere de yerleştirilmelidir. Standarda göre 1000 kişilik bir salonda en az 8 alıcı noktası bulunmalıdır. Bu alıcı noktaları dinleyici kulak yüksekliği olan zeminden 1,2 metre yükseklikte konumlandırılmalıdır [21]. Hazırlanan modellerde alıcılar zeminden 1,2 metre yüksekte konumlandırılmış ve salon geneline eşit olarak dağıtılmıştır, bu dağılım **Şekil 5.10**'da görülmektedir.



Şekil 5.9 : Odeon hesaplama parametreleri kabulleri.

Salonda yapılacak ölçümler için iş listeleri belirlenmiştir. Salon genelinde kaynak 1 ile yapılacak olan analizler Job 1'de betimlenmiştir. SPL parametresinin ölçümü için oluşturulan kaynak 2 ile salon genelinde yapılacak olan analizler Job 2'de betimlenmiştir. Salonda oturma alanlarına yerleştirilen yüzeylerle grid ataması yapılır ve parametrelerle ilgili salon genelinde bir grafik elde etmek amacıyla grid analizi yapılır. Bu grid analizlerinde SPL hariç bütün parametreler için kaynak 1 kullanılmıştır. SPL parametresinin grid analizi içinse kaynak 2'den yararlanılmıştır. Alıcıların her birinde ölçümler yapılarak değerlendirme aşamasında faydalanılacak enerji diyagramları, ışın analizleri gibi verilere ulaşılması amaçlanmıştır. Alıcı noktalarındaki tekil hesaplamalarda kaynak 1 kullanılmıştır. Bahsi geçen işlerin tamamı **Şekil 5.11**'de yer almaktadır.



Şekil 5.10 : Alıcı – kaynak ilişkisi.

Salonda kullanılan yüzey bitiş malzemeleri; salonun yalın hali için salona hiçbir akustik müdahale yapılmadığı düşünülerek belirlenmiştir. Bu malzemeler **Çizelge 5.1**'de verilmiştir. Akustik müdahalede malzemelerin belirlenmesinde çınlama süresi hesabı formülünden ve ODEON'da yapılan deneme ölçümlerinden faydalanılmıştır. Öncelikli olarak arka duvar eko ve odaklanma üretme riski sebebiyle tamamen yutucu olarak seçilmiştir. Ancak yapılan hesaplar ve program denemeleri sonucunda fazla yutuculuk elde edildiği görülmüştür. Buradan yola çıkılarak arka duvarların yutuculuğunun bir kısmı saçıcılığa çevrilmiştir. Uygulama yapılırken de duvarda bir birim yutucu bir birim saçıcı malzeme kullanılmıştır, **Şekil 5.12**'de gösterilmektedir. Çok amaçlı bu salon için malzemeler, **Şekil 4.4**'e göre belirlenen çınlama süresi göz önüne alınarak **Çizelge 5.2**'de belirtildiği gibi kabul edilmiştir. Salonun duvarları içbükey olduğu için saçıcılık ve yutuculuk özellikleri buralarda özellikle kullanılmıştır.

Active sources for the selected job

1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source at: (x,y,z) = (-16.20, 37.41, -9.65)
2 Kaynak 2 - 31 dB - Point source at: (x,y,z) = (-16.20, 37.41, -9.65)

Job	Job description	Receiver pointing towards source	Gric	Mult	Single point response receiver	
1	Multi	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☒	(none)	
2	Multi - SPL Ölçümü için	2 Kaynak 2 - 31 dB - Point source	☐	☒	(none)	
3	Grid - SPL Ölçümü için	2 Kaynak 2 - 31 dB - Point source	☒	☐	(none)	
4	Grid - Tüm seyirci alanı	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☒	☐	(none)	
5	Alıcı 1	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	1 A1	(x,y,z) = (-5.60, 33.00, -10.20)
6	Alıcı 2	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	2 A2	(x,y,z) = (0.00, 30.70, -8.30)
7	Alıcı 3	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	3 A3	(x,y,z) = (5.80, 28.30, -6.14)
8	Alıcı 4	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	4 A4	(x,y,z) = (-13.40, 26.10, -8.30)
9	Alıcı 5	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	5 A5	(x,y,z) = (-13.10, 20.00, -7.25)
10	Alıcı 6	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	6 A6	(x,y,z) = (-13.10, 13.80, -6.14)
11	Alıcı 7	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	7 A7	(x,y,z) = (-22.70, 28.10, -10.20)
12	Alıcı 8	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	8 A8	(x,y,z) = (-27.10, 23.60, -8.30)
13	Alıcı 9	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	9 A9	(x,y,z) = (-31.50, 19.20, -6.14)
14	Alıcı 10	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	10 A10	(x,y,z) = (-27.00, 33.10, -8.35)
15	Alıcı 11	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	11 A11	(x,y,z) = (-32.50, 30.70, -7.25)
16	Alıcı 12	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	12 A12	(x,y,z) = (-38.30, 28.30, -6.14)
17	Alıcı 13	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	13 A13	(x,y,z) = (-26.80, 41.90, -10.20)
18	Alıcı 14	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	14 A14	(x,y,z) = (-32.50, 44.20, -8.30)
19	Alıcı 15	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	15 A15	(x,y,z) = (-38.30, 46.70, -6.14)
20	Alıcı 16	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	16 A16	(x,y,z) = (-19.10, 48.80, -8.35)
21	Alıcı 17	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	17 A17	(x,y,z) = (-19.35, 54.80, -7.25)
22	Alıcı 18	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	18 A18	(x,y,z) = (-19.40, 61.10, -6.14)
23	Alıcı 19	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	19 A19	(x,y,z) = (-9.85, 46.90, -10.20)
24	Alıcı 20	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	20 A20	(x,y,z) = (-5.50, 51.40, -8.30)
25	Alıcı 21	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	21 A21	(x,y,z) = (-1.10, 55.80, -6.14)
26	Alıcı 22	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	22 A22	(x,y,z) = (-5.60, 42.00, -8.35)
27	Alıcı 23	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	23 A23	(x,y,z) = (0.00, 44.30, -7.25)
28	Alıcı 24	1 Kaynak 1 - 90 dB - Point source	☐	☐	24 A24	(x,y,z) = (5.75, 46.60, -6.14)

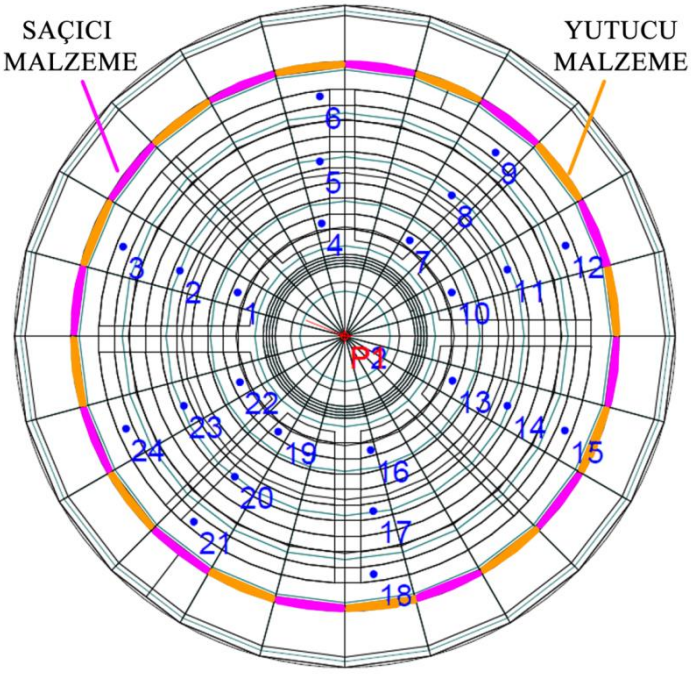
Şekil 5.11 : Salonlar için kullanılan Odeon iş listesi.

Çizelge 5.1 : Yalın halde kullanılan malzemeler ve yutuculuk, saçıcılık değerleri.

	Malzemelerin Yutuculuk Katsayıları	Saçıcılık	Malz. Adı
Salon zemini	63 Hz: 0.02000 / 125 Hz: 0.02000 / 250 Hz: 0.02000 / 500 Hz: 0.03000 / 1000 Hz: 0.04000 / 2000 Hz: 0.04000 / 4000 Hz: 0.05000 / 8000 Hz: 0.05000	0.05	beton üzeri linolyum veya vinil
Arka duvar	63 Hz: 0.02000 / 125 Hz: 0.02000 / 250 Hz: 0.03000 / 500 Hz: 0.03000 / 1000 Hz: 0.03000 / 2000 Hz: 0.04000 / 4000 Hz: 0.07000 / 8000 Hz: 0.07000	0.05	kaba beton
Salon tavanı	63 Hz: 0.02000 / 125 Hz: 0.02000 / 250 Hz: 0.03000 / 500 Hz: 0.03000 / 1000 Hz: 0.03000 / 2000 Hz: 0.04000 / 4000 Hz: 0.07000 / 8000 Hz: 0.07000	0.05	kaba beton
Oturma	63 Hz: 0.51000 / 125 Hz: 0.51000 / 250 Hz: 0.64000 / 500 Hz: 0.75000 / 1000 Hz: 0.80000 / 2000 Hz: 0.82000 / 4000 Hz: 0.83000 / 8000 Hz: 0.83000	0.6	seyirci, hafif döşeli koltuk
Sahne zemini	63 Hz: 0.02000 / 125 Hz: 0.02000 / 250 Hz: 0.02000 / 500 Hz: 0.03000 / 1000 Hz: 0.04000 / 2000 Hz: 0.04000 / 4000 Hz: 0.05000 / 8000 Hz: 0.05000	0.05	beton üzeri linolyum veya vinil

Çizelge 5.2 : Salonda kullanılan malzemeler ve yutuculuk, saçıcılık değerleri.

	Malzemelerin Yutuculuk Katsayıları	Saçıcılık	Malz. Adı
Salon zemini	63 Hz: 0.04000 · 125 Hz: 0.04000 · 250 Hz: 0.04000 · 500 Hz: 0.08000 · 1000 Hz: 0.12000 · 2000 Hz: 0.10000 · 4000 Hz: 0.10000 · 8000 Hz: 0.10000	0,05	kauçuk halı
Arka duvar (1)	63 Hz: 0.22000 · 125 Hz: 0.22000 · 250 Hz: 0.30000 · 500 Hz: 0.29000 · 1000 Hz: 0.23000 · 2000 Hz: 0.19000 · 4000 Hz: 0.28000 · 8000 Hz: 0.28000	0,05	300 mm hava boşluklu, 80-16 (%20) perforeli 4 mm panel
Arka duvar (2)	63 Hz: 0.01000 · 125 Hz: 0.01000 · 250 Hz: 0.05000 · 500 Hz: 0.05000 · 1000 Hz: 0.04000 · 2000 Hz: 0.04000 · 4000 Hz: 0.04000 · 8000 Hz: 0.04000	0,3	silindirik masif ahşap
Salon tavanı	63 Hz: 0.01000 · 125 Hz: 0.01000 · 250 Hz: 0.01000 · 500 Hz: 0.01000 · 1000 Hz: 0.02000 · 2000 Hz: 0.02000 · 4000 Hz: 0.02000 · 8000 Hz: 0.02000	0,05	düzgün beton, boyalı veya cilalı
Oturma	63 Hz: 0.51000 · 125 Hz: 0.51000 · 250 Hz: 0.64000 · 500 Hz: 0.75000 · 1000 Hz: 0.80000 · 2000 Hz: 0.82000 · 4000 Hz: 0.83000 · 8000 Hz: 0.83000	0,6	seyirci, hafif döşeli koltuk
Sahne zemini	63 Hz: 0.15000 · 125 Hz: 0.15000 · 250 Hz: 0.11000 · 500 Hz: 0.10000 · 1000 Hz: 0.07000 · 2000 Hz: 0.06000 · 4000 Hz: 0.07000 · 8000 Hz: 0.07000	0,05	kirişler üzerinde ahşap sahne döşemesi
Teras duvarı	63 Hz: 0.22000 · 125 Hz: 0.20000 · 250 Hz: 0.18000 · 500 Hz: 0.15000 · 1000 Hz: 0.12000 · 2000 Hz: 0.10000 · 4000 Hz: 0.11000 · 8000 Hz: 0.11000	0,05	arkada 3/4" hava boşluklu plywood



Şekil 5.12 : Arka duvara uygulanan saçıcı ve yutucu malzemelerin düzeni.

5.1.3 Belirlenen salonların değerlendirme ve karşılaştırma yönteminin açıklaması

Ele alınan daire tipi odaklanma gibi çeşitli akustik kusurlar ürettiği için akustik parametreler bağlamında incelemeye alınmıştır. Çalışma kapsamında tasarlanan planlar modellenerek tartışılacak olan tasarım değişkenleri haricindeki fiziksel değişkenler sabit tutularak değerlendirme ve karşılaştırmaya gidilmiştir. Tartışılacak olan tasarım değişkenleri malzeme etkisi, zemin eğimi, teraslı oturum biçimi ve teras duvarlarının etkisidir. Bu değişkenlerin akustik konfora etkisi ODEON programında ölçülen objektif parametrelerin değerleri üzerinden tartışılmıştır. Analizler salon genelinde elde edilen gridler, parametrik değerler ve kritik belirlenen alıcı noktaların ışın analizleri, parametrik değerleri ve diyagramları aracılığıyla yapılmıştır. Değerlendirme ve karşılaştırmalar şu şekilde ele alınmıştır:

Salon 1 Yalın Hali: düşük eğimli salon tipidir. Kullanılan malzemeler **Çizelge 5.1**'de verildiği gibidir.

Salon 1: salon 1 yalın hali ile aynı salondur. Kullanılan malzemeler **Çizelge 5.2**'de verildiği gibidir.

- Bu iki salon ele alınırken salon 1'in değerlendirmesi üzerinden gidilmiştir. Önce salon 1 kendi içinde genel olarak ve alıcıları noktasında her parametre bazında değerlendirilmiştir. Sonra, salonda elde edilen genel değerler ile salon 1'in yalın halinde elde edilen değerler her parametre için grafik aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Böylelikle uygulanan malzemelerin parametreler üzerinde oluşturduğu fark yalın hali baz alınarak öğrenilmeye çalışılmıştır.

Salon 2: salon 1 ile aynı plana sahiptir. Ancak eğimi daha dik belirlenmiştir. Kullanılan malzemeler **Çizelge 5.2**'de verildiği gibidir.

- Salon 2 kendi içinde genel olarak ve alıcıları noktasında her parametre bazında değerlendirilmiştir. Sonra, salon 2 ve salon 1'de tüm alıcı noktalarında parametrik değerler her parametre için ayrı olarak grafik aracılığıyla karşılaştırılmış, eğim değişiminin etkisi bağlamında genel bir yoruma gidilmeye çalışılmıştır. Daha sonra, salon 2'de belirlenen kritik alıcı noktalarının parametrik değerleri ile bu alıcıların salon 1'de sahip oldukları

parametrik değerler karşılaştırılmış ve eğim etkisiyle ilgili daha detaylı bir yorum elde edilmeye çalışılmıştır.

Salon 3: salon 1 ve salon 2 ile aynı plan tipine sahiptir. Ancak burada oturum alanlarında teraslamalar yapılmış, bu terasların yükseltimesi ile yan duvarlar elde edilmiştir. Kullanılan malzemeler **Çizelge 5.2**'de verildiği gibidir.

- Salon 3 kendi içinde genel olarak ve alıcıları noktasında her parametre bazında değerlendirilmiştir. Sonra, salon 3 ve salon 2'de tüm alıcı noktalarında parametrik değerler her parametre için ayrı olarak grafik aracılığıyla karşılaştırılmış, teras oturumu, teras duvarı ve teras oturumlarındaki eğim değişiminin etkisi bağlamında genel bir yoruma gidilmeye çalışılmıştır. Daha sonra, salon 3'te belirlenen kritik alıcı noktalarının parametrik değerleri ile bu alıcıların salon 2'de sahip oldukları parametrik değerler karşılaştırılmış ve bahsedilen tasarım değişkenleri ile ilgili daha detaylı bir yorum elde edilmeye çalışılmıştır.

5.2 Hesaplamalar ve Değerlendirmeler

Ölçüm sonuçları ile değerlendirmelerin ve karşılaştırmaların yapıldığı bu bölümde; **bölüm 3.1**'de anlatılan tasarım parametrelerine uygun olarak tasarlanan salonlardaki, **bölüm 4.1**'de anlatılan konuşma ve müzik parametreleri salon genelinde ve alıcı noktaları bazında incelenmekte ve literatürden sağlanan verilerle karşılaştırılmaktadır. **Bölüm 5.1.1**'de teknik özellikleri verilen salonlar; düşük bir eğim baz alınarak tasarlanan ilk ana salon "salon 1", salonun akustik müdahale yapılmamış hali "yalın hal", salon 1'den yola çıkılarak dik eğim kullanılan salon "salon 2" ve ikinci salonda değişiklik yapılarak teraslar oluşturulan salon "salon 3" olarak adlandırılmıştır. Salonlarda değerlendirilecek olan parametreler çınlama süresi (T30), erken düşme süresi (EDT), netlik (C_{80}), belirginlik (D_{50}), yanal yansıma oranı (LF_{80}), merkez zaman (T_s), ses yüksekliği G (SPL) ve konuşma iletim indeksi (STI) parametresidir. Bahsedilen parametreler için bu çalışma kapsamında yararlanılan optimum değer aralıkları **Çizelge 5.3**'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Değerlendirmede yararlanılan parametre aralıkları.

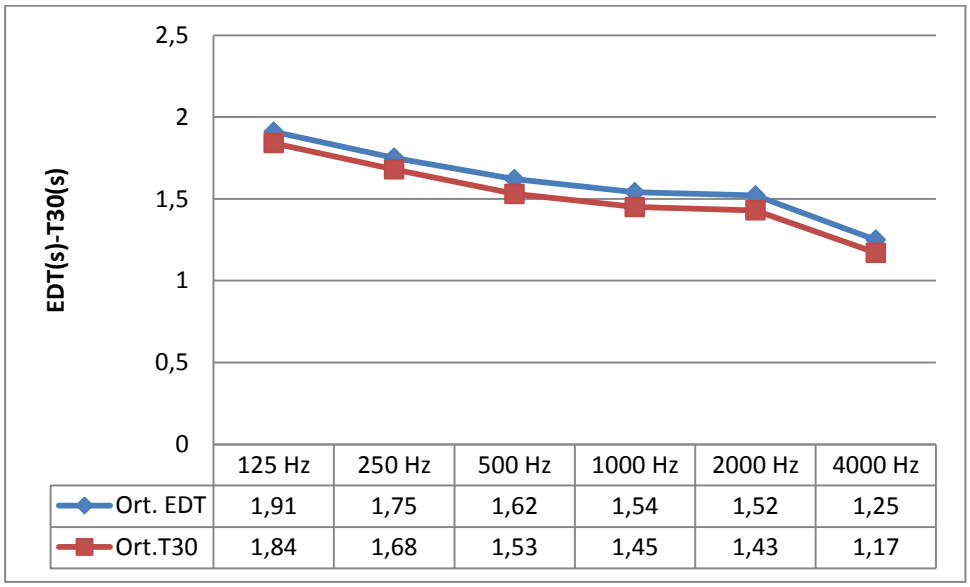
	Literatürden alınan aralıklar /değerler	Kaynak
T30	1,35 – 2 s	[14]
EDT	EDT=1,1xT30 veya EDT=T30	[5]
C80	- 4 ile +4 dB	[10], [6], [27]
LF80	0,05 - 0,35	[26]
D50	0,3 - 0,7	[26]
Ts	60 – 260 ms	[26]
STI	≥ 0,6	[6]
G (SPL)	-2 ile + 10 dB	[26]

5.2.1 Salon 1 için alıcılar bazında parametrelerin değerlendirilmesi, salon 1 ve yalın halinin karşılaştırması

5.2.1.1 Çınlama süresi (T) ve erken düşme süresi (EDT)

Bölüm 4.1.1'de ve **bölüm 4.1.2**'de anlatılanlardan yola çıkıldığında ve çınlama süresi – hacim ilişkisini veren grafik olan **Şekil 4.4**'ten yararlanıldığında istenen çınlama süresi 1,35 – 2 sn aralığındadır. Literatürde de belirtildiği gibi EDT ve T30 parametreleri arasındaki ilişkide EDT'nin T30'dan %10 daha fazla olması veya T30'a eşit olması iyi bir akustik için gereklidir. Analizler sonucu elde edilen T30 ve EDT değerlerine bakılarak salonun çınlama karakteriyle ilgili yorumlarda bulunulabilir ve sesin ilk azalma bölümünü inceleyen EDT parametresi sayesinde de salondaki konuşma anlaşılırlığı ve müzikte tonun tokluğu yorumları çıkarılabilir. Salon 1 için 1000 Hz'deki bu parametreler karşılaştırıldığında salonda yerleştirilen 24 alıcı noktasından (**Şekil 5.14**) çoğunda EDT>T30 durumuna ulaşılmıştır. Bu durum salonda yansıma sağlayan yüzey olan içbükey tavanın yararlı yansımaları alıcılara uygun şekilde ilettiğini, dolayısıyla alıcıların erken yansımaları alabildiğini göstermektedir. Tasarım aşamasında **bölüm 3.2.4**'te anlatılanlar doğrultusunda ve **Şekil 3.24** ve **3.25**'teki durumlar incelenerek belirlenen tavanın, odaklanma üretmeyecek şekilde yapılan geometri tercihinin, odaklanmaya neden olmadığı görülmektedir. **Şekil 5.13**'te salon 1 için frekansa bağlı ortalama T30 ve EDT değerleri verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde salon genelinde EDT>T30 olmaktadır. Bu durum salon genelinde erken ses enerjisinin iyi durumda olduğunu göstermektedir. **Şekil 5.14**'te salon 1 için alıcı noktalarında EDT ve T30 değerleri verilmiştir. Alıcı 8, 18 ve 22 irdelenmiştir. EDT-T30 ilişkisi bakımından bu noktalar

kritik olarak belirlenmiştir. Salonun genelinde bir değerlendirme yapabilmek amacıyla salonun ön, orta ve arka kısımlarından alıcılar alınmaya çalışılmış ve bahsedilen benzer bölgelerdeki alıcıların parametrelerde verdiği değerler benzer olmuştur. Bu durumun salon genelinde sağlandığını göstermek adına alıcılar birbirinin ardı sıra yerleştirilmiş düzenli alıcı sırasının dışında, dağınık olarak seçilmiş ve EDT-T30 ilişkisi bakımından optimum ve optimumun dışında sayılan değerlerin olduğu alıcılar belirlenmiştir.

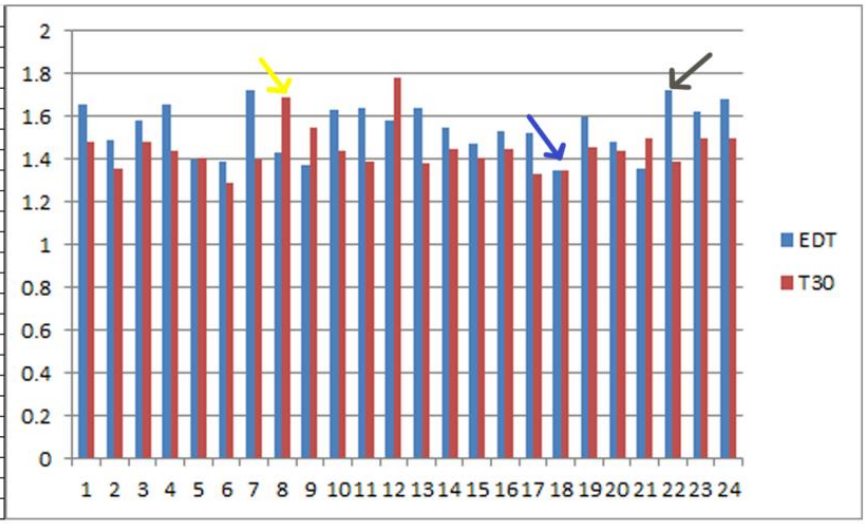


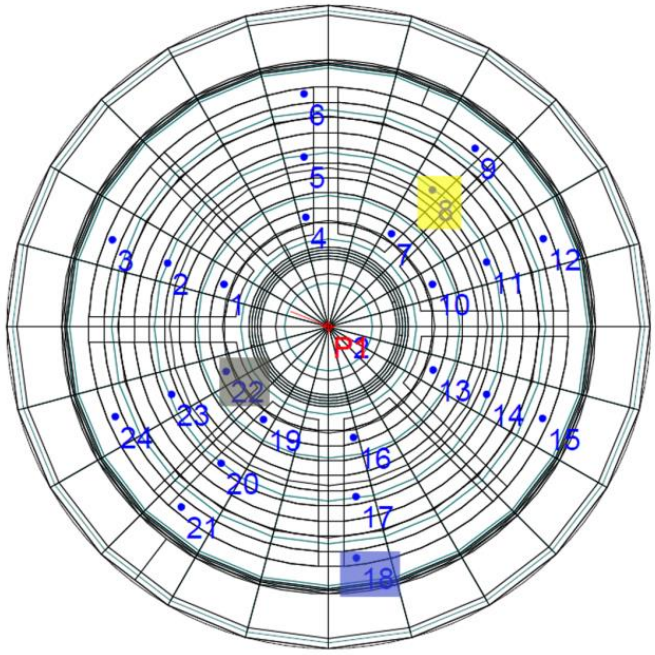
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ort. EDT	1,91	1,75	1,62	1,54	1,52	1,25
Ort.T30	1,84	1,68	1,53	1,45	1,43	1,17

Şekil 5.13 : Salon 1 için frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 değerleri.

Alıcı 22'de EDT değeri T30'dan fazladır, ses burada daha uzun sürede düşüş gerçekleştirmiştir. Bunun nedeni alıcı burada sesin yutularak aniden düşmesine neden olacak bir yutuculuğun burada olmamasına bağlanabilir. Sahne önündeki diğer alıcı noktaları 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 da alıcı 22 ile benzerlik göstermektedir. Konuşma açısından bakıldığında ilk 50 ms içinde gelen yansımaların anlaşılırlığa katkı sağlaması, 50 ms'den sonra gelenlerde ise anlaşılırlığın azalması beklenir. EDT'nin kısa olması "netlik" parametresini artırır. Çünkü sesin düşüşünün kısa sürede gerçekleşmesi sesin sonraki gelecek sesi maskeleme özelliğini düşürüp netliği artırır. Geç enerji, seste tonun tokluğu özelliğini doğru orantılı etkiler. Dolayısıyla geç enerji düştüğünde tonun tokluğu da düşer. Bu durum çınlamanın düşmesine ve bunun sonucu olarak da C_{80} netlik değerlerinin artmasına sebep olur. (Optimum değerin üzerinde EDT değeri olan alıcılarda erken yansımaların fazla artışı var demektir. Fazla bir netlik (C_{80}) değerinin çıkması, bunun sonucu olarak da müzik için seste kurulaşma, konuşma için konuşma anlaşılırlığı artışı beklenir.)

	EDT	T30
1	1.66	1.48
2	1.49	1.36
3	1.58	1.48
4	1.66	1.44
5	1.4	1.41
6	1.39	1.29
7	1.72	1.4
8	1.43	1.69
9	1.37	1.55
10	1.63	1.44
11	1.64	1.39
12	1.58	1.78
13	1.64	1.38
14	1.55	1.45
15	1.47	1.41
16	1.53	1.45
17	1.52	1.33
18	1.35	1.35
19	1.6	1.46
20	1.48	1.44
21	1.36	1.5
22	1.72	1.39
23	1.62	1.5
24	1.68	1.5

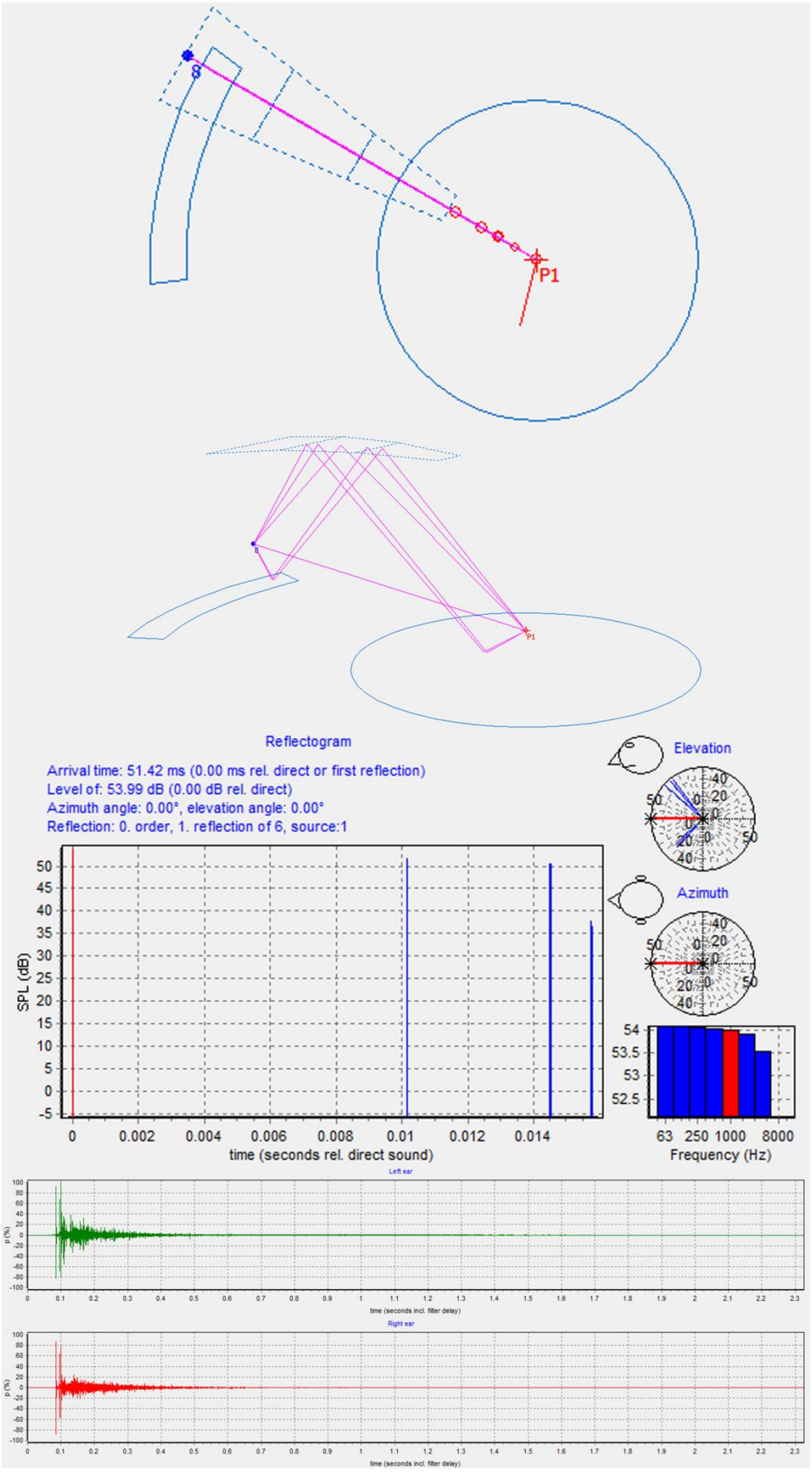




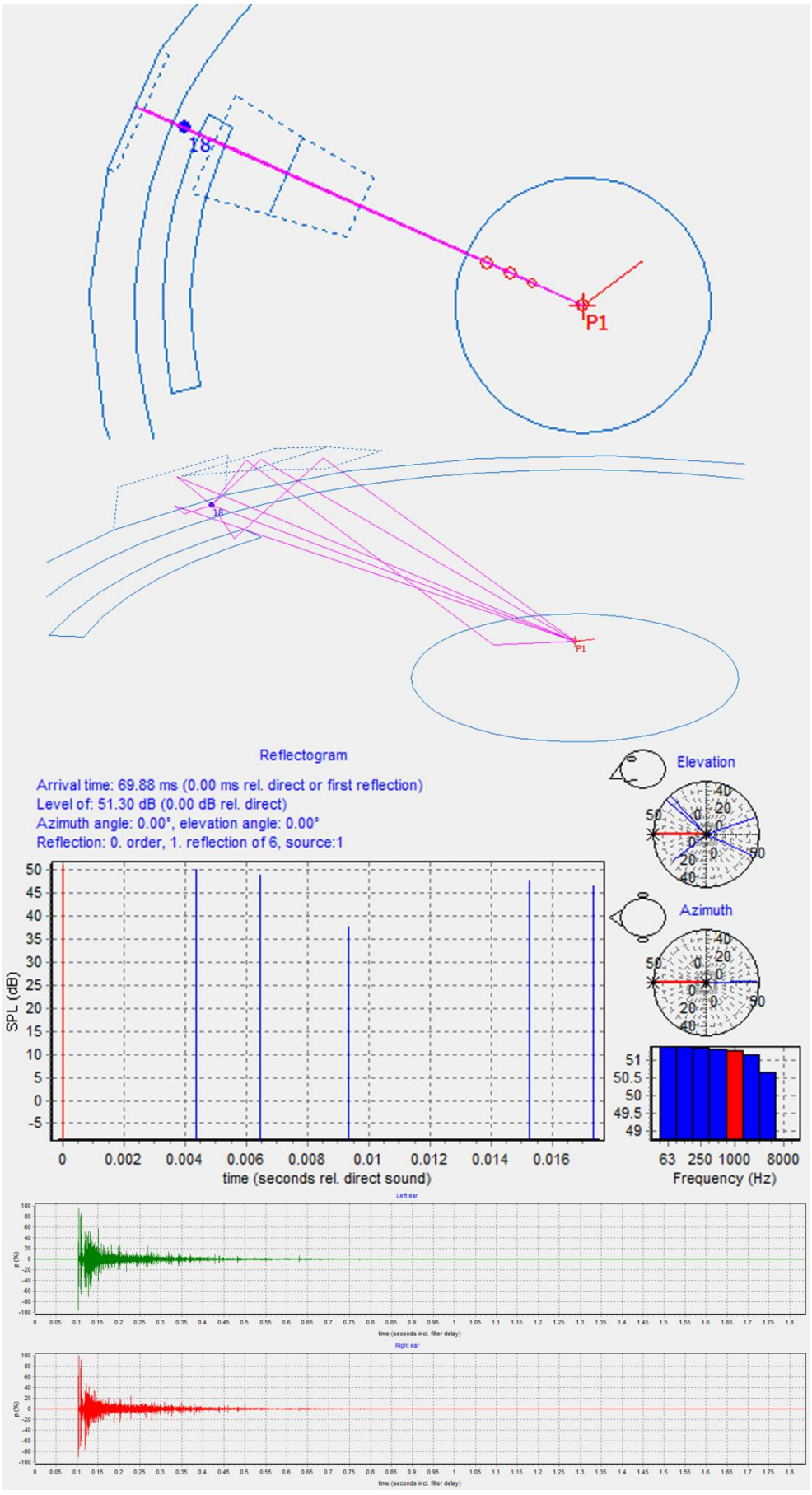
Şekil 5.14 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki EDT-T30 değerleri.

Alıcı 8'deki T30>EDT durumu buradaki erken yansımaların yoğunluğunun azaldığını göstermektedir. Bunun nedeni sahneden uzaklaşmaya bağlanabilir. Konuşma açısından incelendiğinde ilk 50 ms içindeki erken ışınların azalmasıyla burada anlaşılırlığın azalması beklenir. Erken enerjinin diğer noktalara göre daha az olduğu görülmektedir ve bunun sonucu olarak da sesin erken bölümünün hızlı biçimde azalması ile maskelemenin olmaması beklenir.

Alıcı 18'de ise EDT ve T30 değerleri eşit çıkmıştır. Erken ses enerjisinin bu noktada tavan ve duvar yansımaları sebebiyle artması EDT değerinde artışın beklenmesine sebep olur ancak arka duvar yutucuları sebebiyle buradaki enerjinin sönümlenmesi daha hızlıdır. Dolayısıyla EDT değeri düşer ve T30 ile yaklaşır.



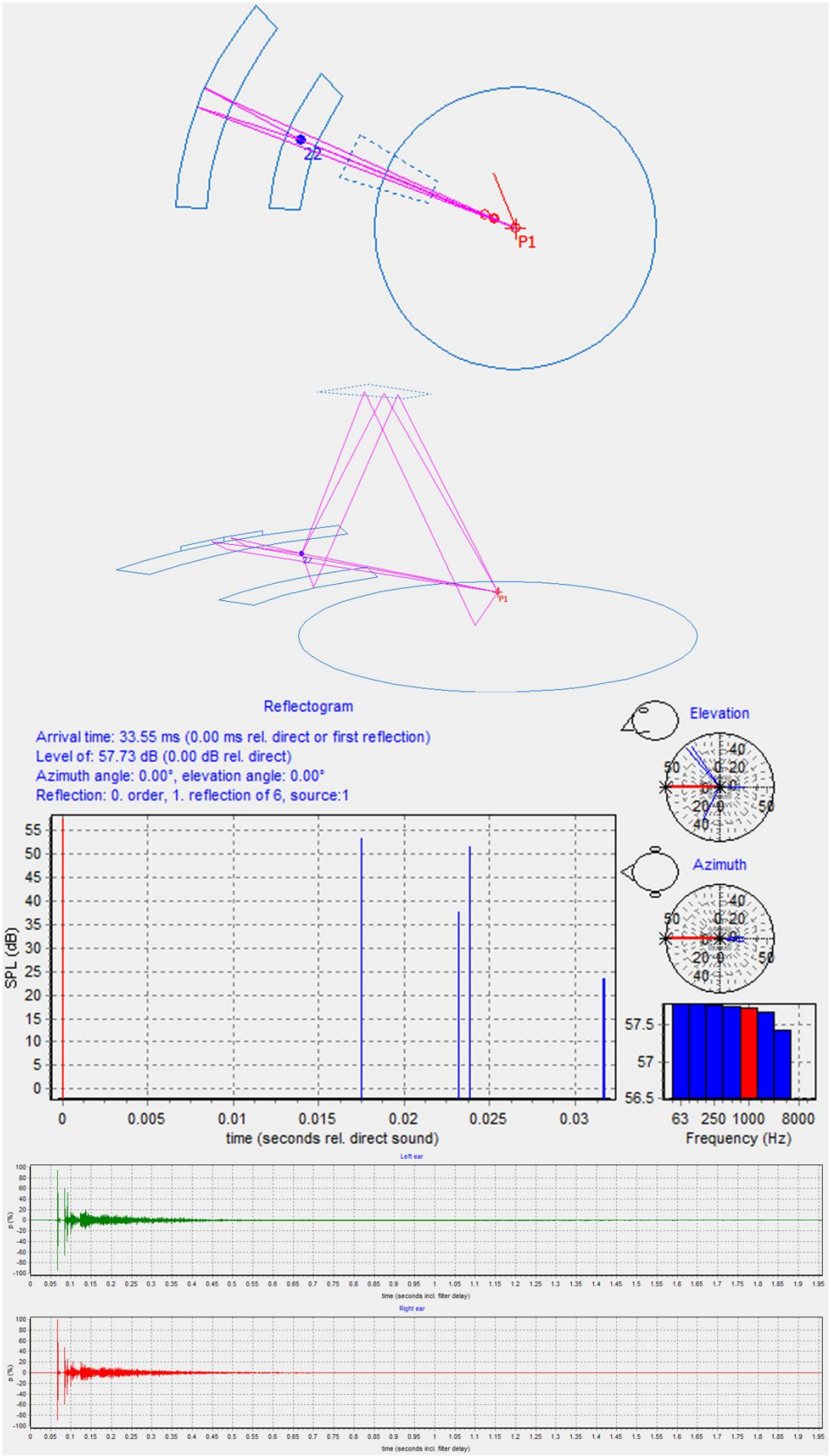
Şekil 5.15 : Salon 1'de alıcı 8 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.



Şekil 5.16 : Salon 1'de alıcı 18 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.

Şekil 5.15, **Şekil 5.16** ve **Şekil 5.17**'de alıcı 8, 18 ve 22 için enerji diyagramları, ışın ve kulaklarda SPL analizleri yer almaktadır, bunlardan alıcılardaki enerji yoğunluğu ve hangi yüzeylerden yansıma aldıklarının analizi yapılabilir. Alıcı 8'in enerji değerlerinin daha yüksek olması ve tavan yüzeyine alıcı 22'den daha yakın olması sebebiyle erken enerjinin daha erken (ilk 15 ms içinde) gelmesi sonucu EDT değeri daha düşüktür. Alıcı 22'de ise enerji diyagramına göre, gelen erken ses (15.ms-31.ms içinde) alıcı 8'e göre daha geç gelir ve EDT değeri daha yüksektir. Bunun sebebi alıcı 22'ye gelen erken ses enerjisinin daha geniş bir aralığa (0-30ms) yayılmasıyla nispeten uzun sürede düşmesine bağlanabilir. İlk yansımanın daha uzun sürede alıcı 22'ye ulaşması sahnenin önünde yer alarak tavana en uzak noktada olmasına, dolayısıyla yansıma yolunun uzamasına bağlıdır. Buradan yola çıkarak bu noktadaki enerjinin daha geç bir niteliğe sahip olduğu söylenebilir. Böylelikle C_{80} değerlerinde bir düşüş beklenir. Diyagramlara göre alıcı 8'deki erken enerji daha kısa bir aralığa yayılmaktadır (0-14 ms). EDT değerinin daha düşük olması buna bağlanabilir. Alıcı 18 tavandan ve arka duvardan gelen yararlı yansımalardan alıcı 8 ve 22'den daha fazla yararlanmakta ve daha fazla enerji almaktadır, bu durum enerji diyagramından görülür ancak arka duvardan gelen yansımaların duvardaki yutucu malzemeler tarafından emilmesiyle EDT değerinin daha düşük çıktığı söylenebilir. Yani ışınlar burada alıcı 8 ve 22'nin olduğu bölgelerdeki gibi daha uzun süre tutunmamaktadır, sesin düşüşü daha hızlıdır.

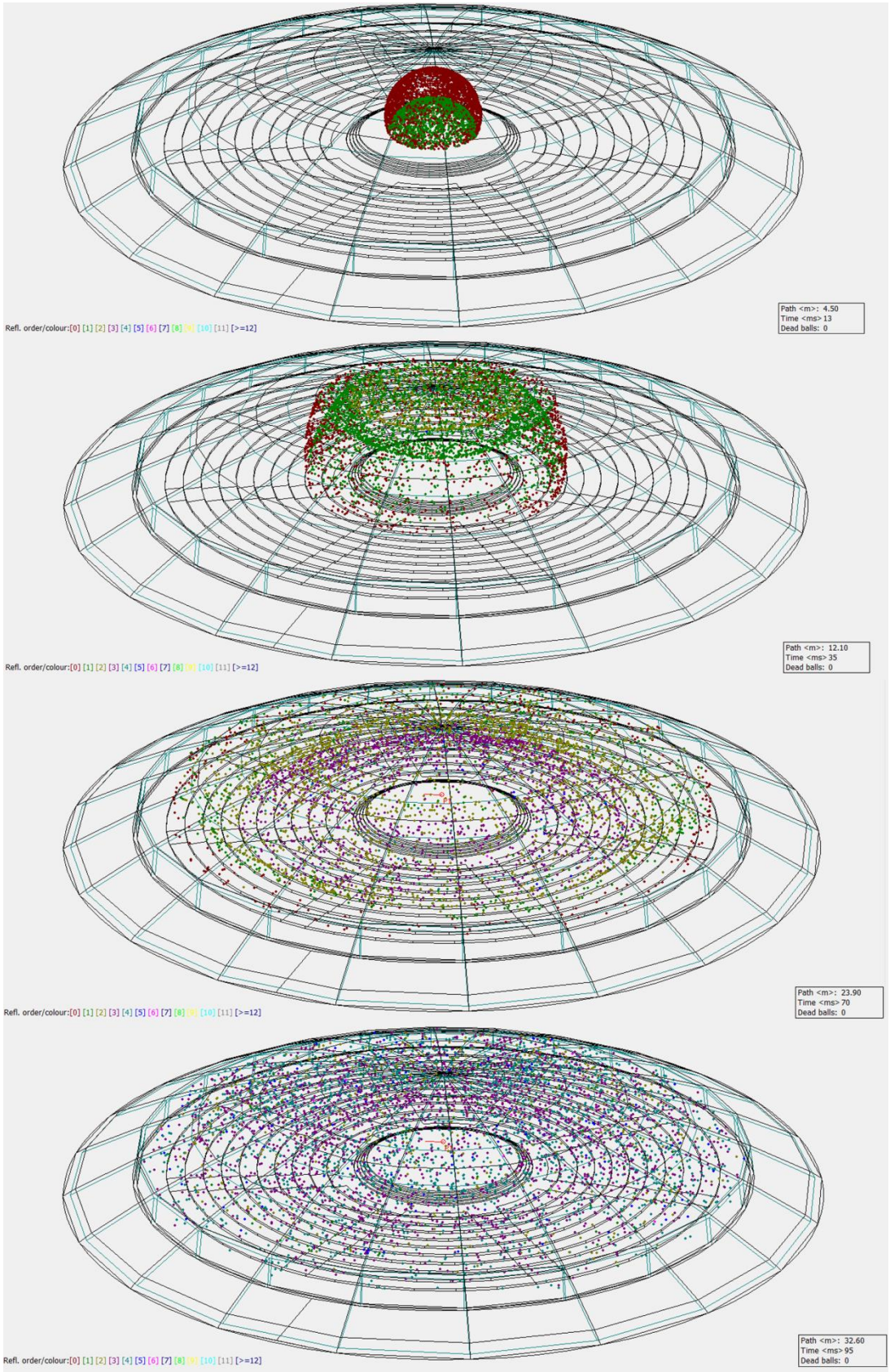
Kulak analizi grafiklerinde direkt sesten sonra ulaşan seslerin ses basınç düzeylerinin giderek azalması ideal durumdur. Değer çizgilerinde ani yükselişler eko göstergesidir. Çınlama düşüş eğrisinin düzgün olmamasının da sebepleridir. Alıcılar için verilen kulak analizi grafikleri incelendiğinde direkt sesten sonra gelen seslerde ilerleyen saniyelerde ani yükselişler görülmektedir. Bu grafiklerinden yola çıkılarak alıcıya ulaşan yansımanın yön tayini de yapılabilir. Alıcı 22 için **Şekil 5.17**'de verilen enerji diyagramı ve sağ-sol kulaktaki ses basınç grafiği ile alıcının sağ ve sol kulağı arasında fark olduğu görülür. Kulaklara doğrudan sesten sonra gelen basınç çizgilerine bakıldığında sol kulak için olan çizgilerin basınç değeri daha yüksektir ve bu durum kulaklara ulaşan yanal yansımaların geldiği yönle ilgilidir. Sol kulaktaki daha fazla olan basınç düzeyi sol kulak yönüne daha yakın bir yansımanın geldiği anlamındadır, bu durum enerji diyagramında alıcıyı temsil eden grafiklerden yansıma yönlerine bakıldığında sol arkadan gelen bir yansımanın etkili olmasına bağlanabilir.



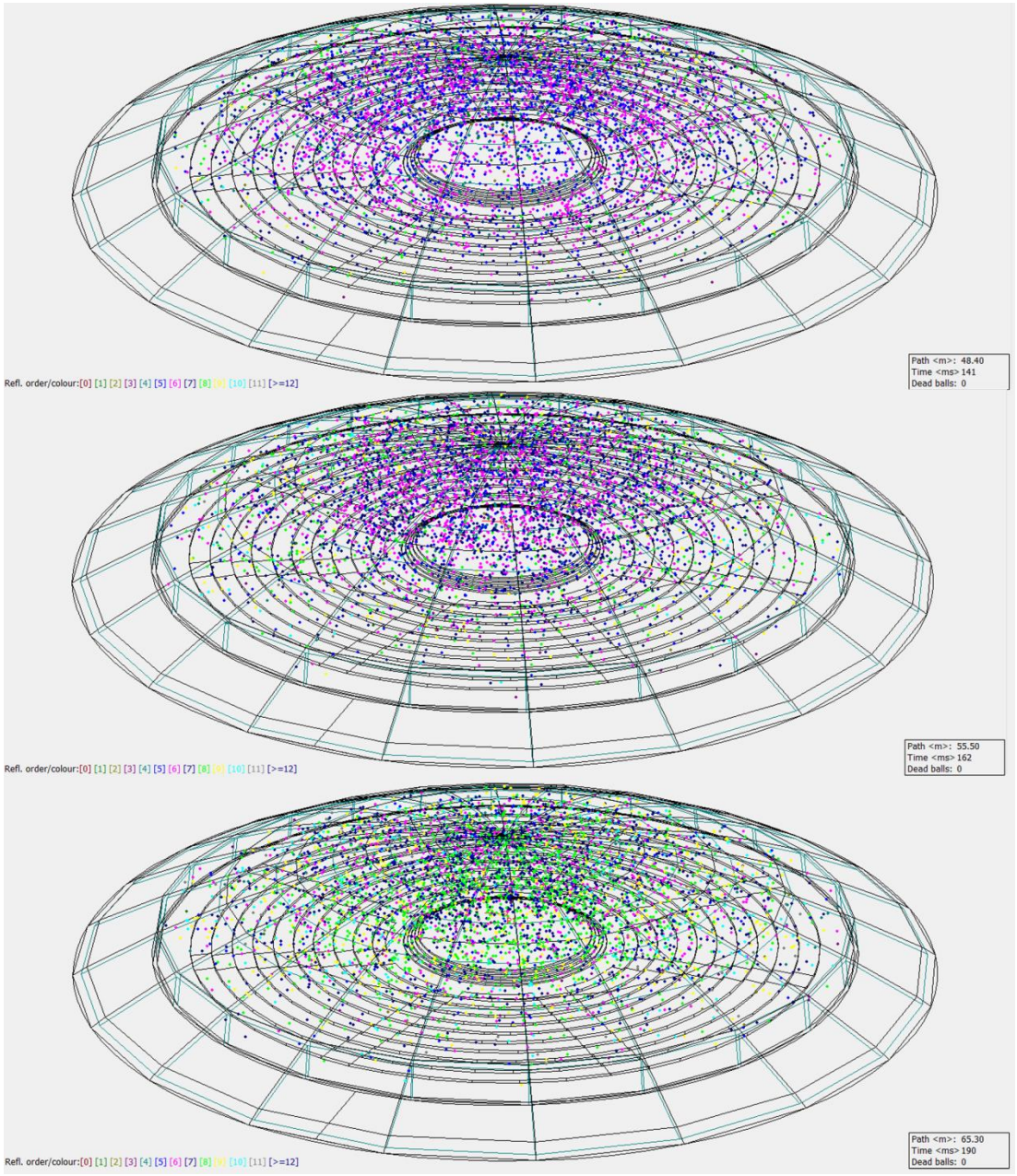
Şekil 5.17 : Salon 1'de alıcı 22 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.

Şekil 5.18'de salon 1'de noktasal direkt ses ve 13., 35., 70. ve 95. milisaniyedelerdeki noktasal dağılımı verilmiştir. **Şekil 5.18** incelendiğinde sesin salon içinde homojen bir biçimde, hiçbir yere odaklanmadan dağıldığı görülmektedir. Bu durum tavan formunun odaklanma üretmeyecek şekilde seçilmiş olmasıdır. Ancak daha ileriki yansıma saniyelerinde bu durum değişmektedir. **Şekil 5.19**'da salon 1'de 141., 162. ve 190. milisaniyelerdeki noktasal dağılım verilmiştir. **Şekil 5.19** incelendiğinde salon 1'de arka duvardan yansıyan ışınların salonun ortasına dönüp toplandığı, yani, odaklandığı söylenebilir. Bu durum arka duvarın tamamen içbükey olmasının bir sonucudur ve sahneye yakın noktalardaki geç enerji fazlalığını açıklamaktadır. Dolayısıyla sahneye yakın alıcılarda çınlayan enerji daha yüksektir ve bunun sonucu olarak da bu noktalarda arka sıralara göre konuşma anlaşılırlığının daha düşük, müzikte tonun tokluğu hissinin daha fazla olması beklenmektedir.

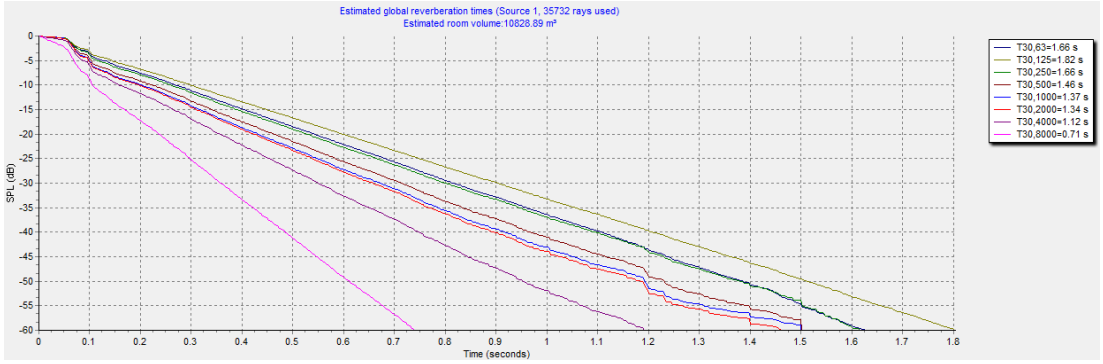
Şekil 5.20'de salon 1 için çınlama düşüş eğrisi verilmiştir. Grafik incelendiğinde ilerleyen saniyelerdeki düşüş eğrilerinin düzgün olmadığı görülmektedir. **Şekil 5.18** ve **Şekil 5.19**'da verilen noktasal ışın analizleri grafiklerinden de analiz edildiği gibi tavandan gerçekleşen yansımaların salonda herhangi bir odaklanma veya ekoya neden olmadığı ancak arka duvar yansımalarından sonra duvarların içbükey olmasının bir sonucu olarak salon içinde odaklanmalar ve ekolar oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu kusurlar etki etmeye başladıkları ilerleyen saniyelerden itibaren çınlama düşüş eğrisini bozmaktadır.



Şekil 5.18 : 13., 35., 70., 95. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri.

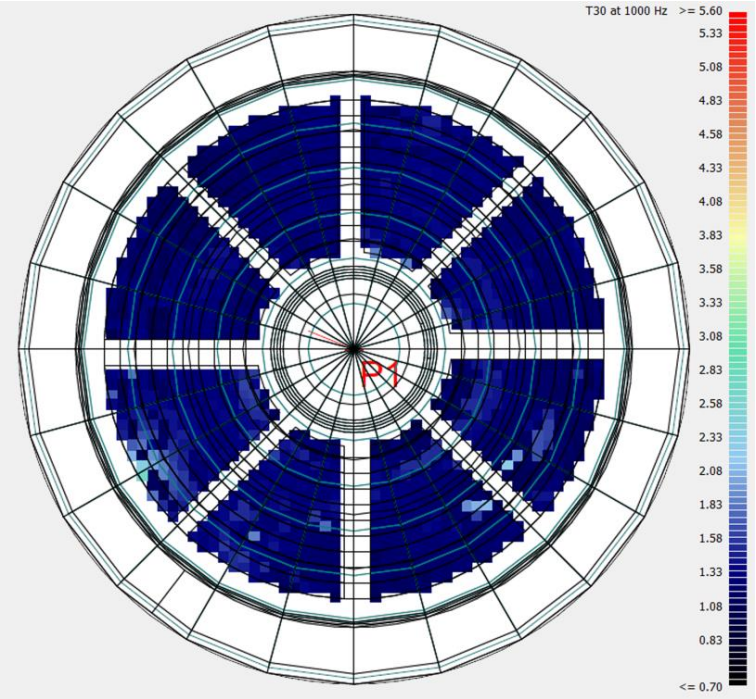


Şekil 5.19 : 141., 162., 190. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri.

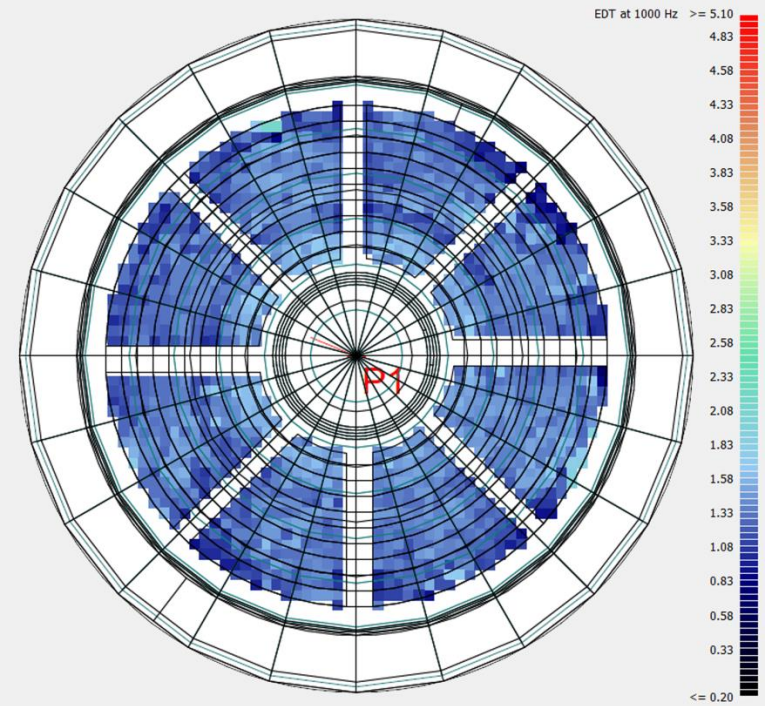


Şekil 5.20 : Salon 1 için çınlama düşüş eğrisi.

Şekil 5.21 ve **Şekil 5.22**'de salon 1 için 1000 Hz'deki T30 ve EDT grid analizleri yer almaktadır. Alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerle aynı doğrultuda olan gridlerde de EDT için değerlerin sahneye daha yakın olan yerlerde daha yüksek olduğu görülmektedir, T30 içinse salon genelindeki çınlama süresi dağılımı görülmektedir.



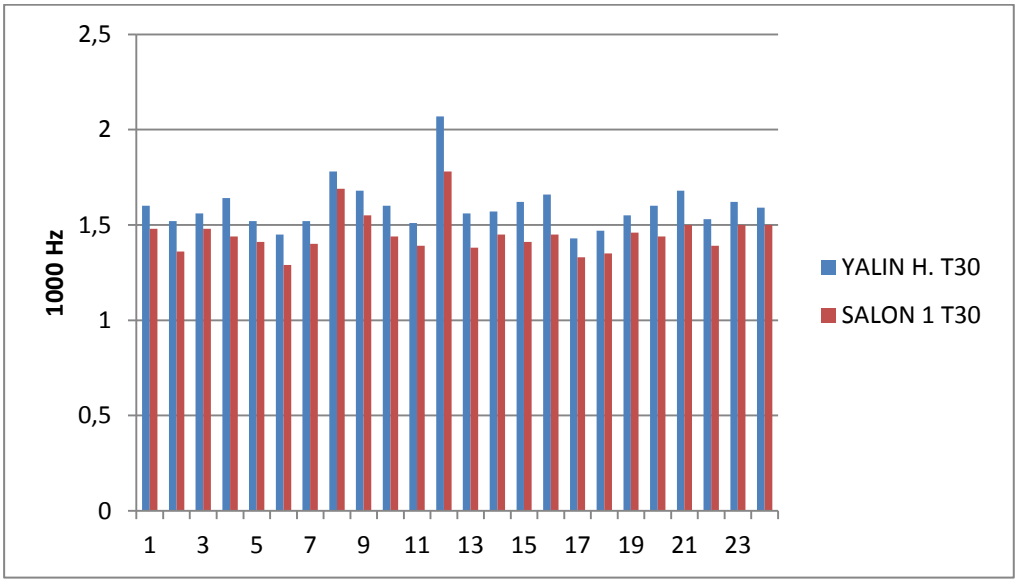
Şekil 5.21 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de T30 değeri.



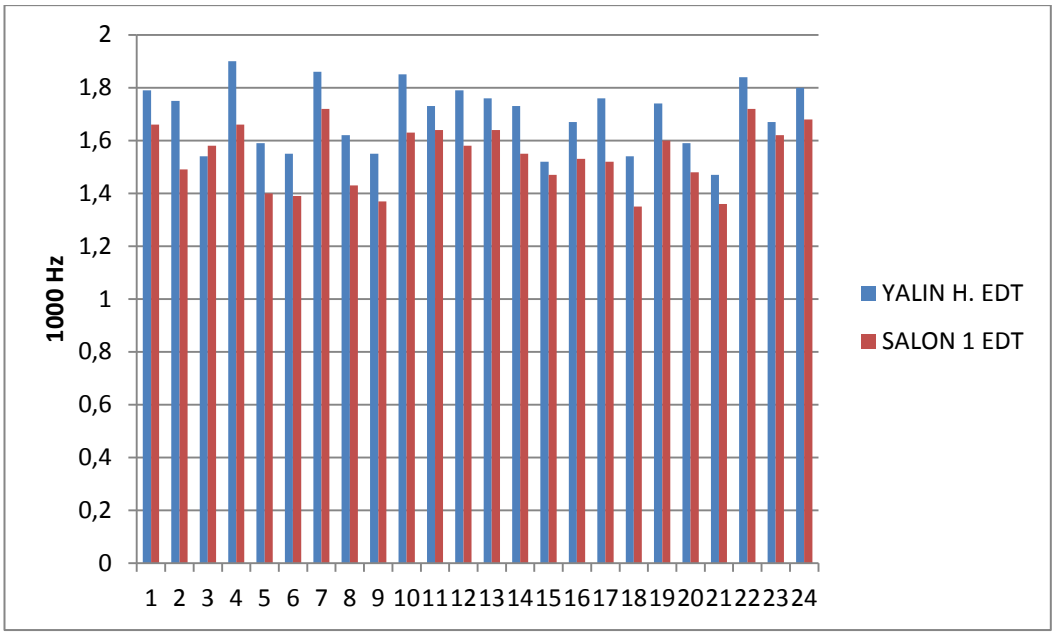
Şekil 5. 22 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de EDT değeri.

Salon 1 yalın hali ile akustik kontrol uygulanmış halinin EDT-T30 parametreleri karşılaştırması

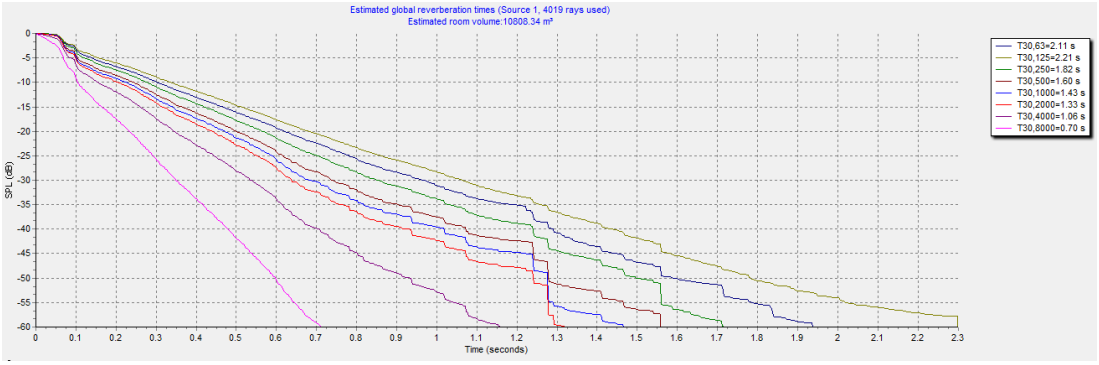
Şekil 5.23 ve **Şekil 5.24**'te salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış halindeki T30 ve EDT değerlerinin alıcı noktalarında karşılaştırıldığı grafikler verilmiştir. Uygulanan yutucu, saçıcı, yansıtıcı malzemelerin çınlama süresi üzerindeki etkisi **Şekil 5.23**'te görülmektedir. Salonda yutuculuğun arka duvar yüzeylerine uygulanan malzeme ile artması T30 değerinin düşmesinde etkili olmuştur. Buna bağlı olarak salondaki serbest dolaşan enerjinin daha büyük bir kısmı yutulmaya başlamıştır. Bu da salondaki sesin erken bölümünün sönümlenme süresini kısaltmıştır. EDT değerindeki bu düşme **Şekil 5.24**'te verilmiştir. **Şekil 5.25**'te salon 1'in yalın hali için çınlama düşüş eğrisi verilmiştir. **Şekil 5.20**'de salon 1 için verilen çınlama düşüş eğrisi grafiği ile karşılaştırıldığında yalın haldeki düşüş eğrilerinin düzensizliği görülmektedir. Çünkü salonun yalın halinde, salon 1'e uygulanan akustik malzemeler yoktur. Salon 1'e uygulanan akustik malzemeler yutuculuğu artırarak, salonun yalın halinden daha düzgün bir düşüş eğrisi grafiği oluşmasını sağlamıştır. **Şekil 5.26**'da salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama T30 ve EDT ilişkilerinin grafikleri verilmiştir. Salonlarda EDT değerinin T30 değerinden daha uzun olması iki durumda da gerçekleşmiştir. EDT'nin uzun olması sesin erken bölümünün hemen sönümlenmediğinin göstergesidir. Dolayısıyla EDT süreleri uzundur. Salon 1 ve yalın hali karşılaştırıldığında ise yutuculuğun artmasının etkileri değerlerin daha düşük olmasıyla görülmektedir.



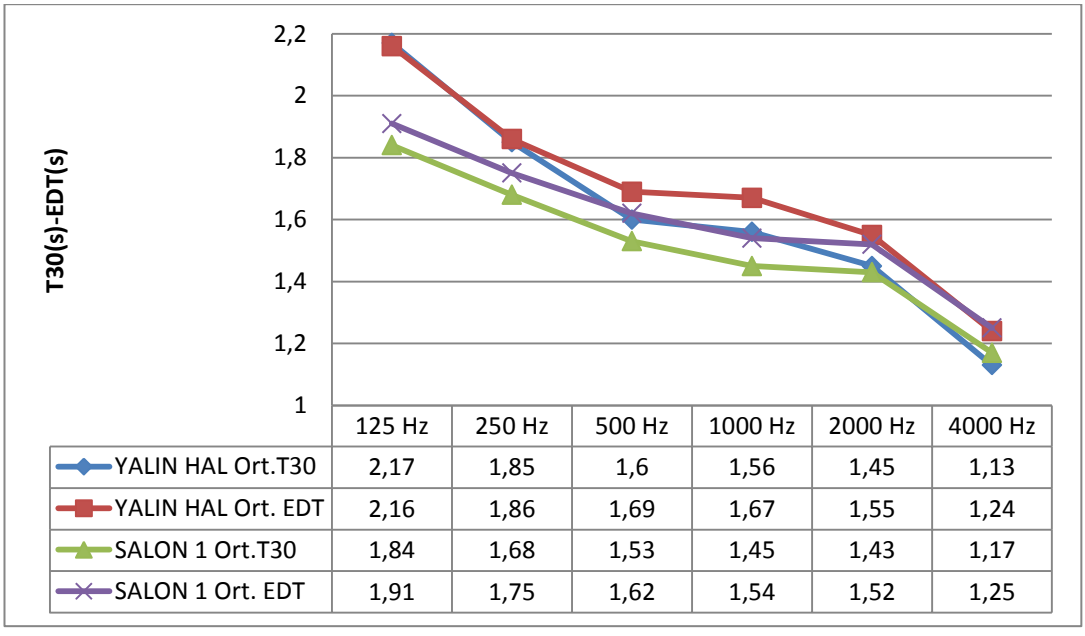
Şekil 5.23 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de T30 karşılaştırması.



Şekil 5.24 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de EDT karşılaştırması.



Şekil 5.25 : Salon 1'in yalın hali için çınlama düşüş eğrisi.

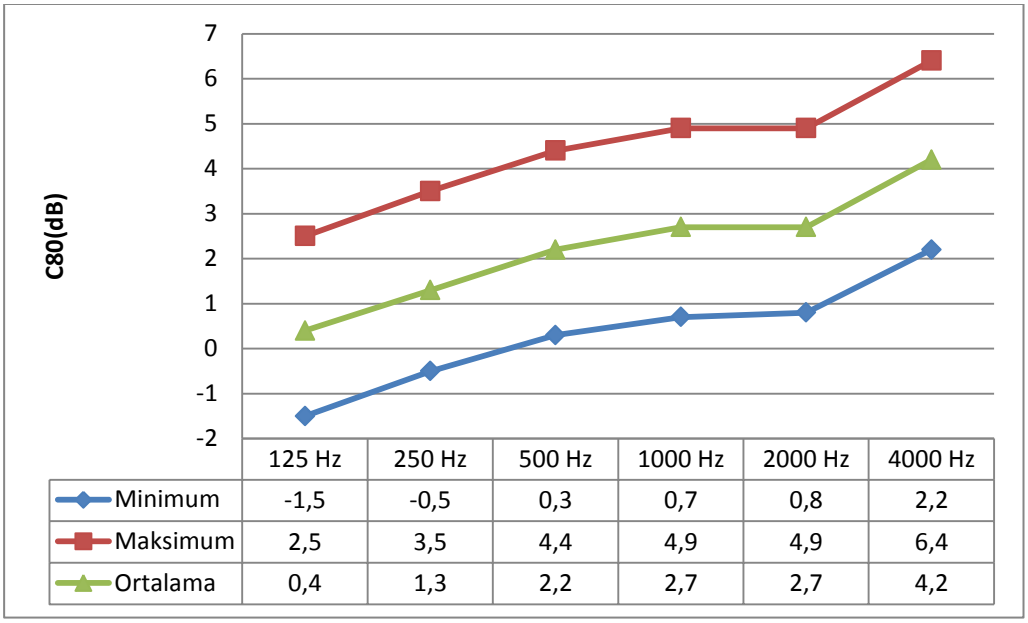


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
YALIN HAL Ort.T30	2,17	1,85	1,6	1,56	1,45	1,13
YALIN HAL Ort. EDT	2,16	1,86	1,69	1,67	1,55	1,24
SALON 1 Ort.T30	1,84	1,68	1,53	1,45	1,43	1,17
SALON 1 Ort. EDT	1,91	1,75	1,62	1,54	1,52	1,25

Şekil 5.26 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisi.

5.2.1.2 Netlik (C_{80})

Bölüm 4.1.11 başlığı altında anlatılanlar ve **Çizelge 4.2** verilerden yola çıkılarak salonun genelinde ve alıcı noktaları bazında bir değerlendirme yapılabilmektedir, optimum aralık (-4) – (+4) arasındadır. C_{80} parametresi erken ulaşan sesin geç ulaşan sese oranıdır, doğrudan sesin ulaşmasından itibaren ilk 80 milisaniye, bir seviye olarak belirlenmiştir [1]. Çınlamanın az olduğu salonlarda bu değer pozitif bir değer olarak çıkar, çınlama yüksek olduğundaysa negatif değerleri alır. **Şekil 5.27**'de C_{80} parametresinin salon 1 için frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama değerleri yer almaktadır. Salon genelinde elde edilen ortalama C_{80} değerlerinin optimum sınır değerleri arasında kaldığı **Şekil 5.27**'de görülmektedir. Düşük frekanslarda C_{80} değerinin daha düşük olması çınlama süresi – frekans eğrisi grafiğinde 500 Hz'den düşük frekanslarda eğrinin yükselmesinin getirdiği bir sonuçtur. 4000 Hz'deki ani yükseliş yutuculuğun o frekansta artmasına ve çınlamayı düşürerek C_{80}'i arttırmasına bağlanabilir.



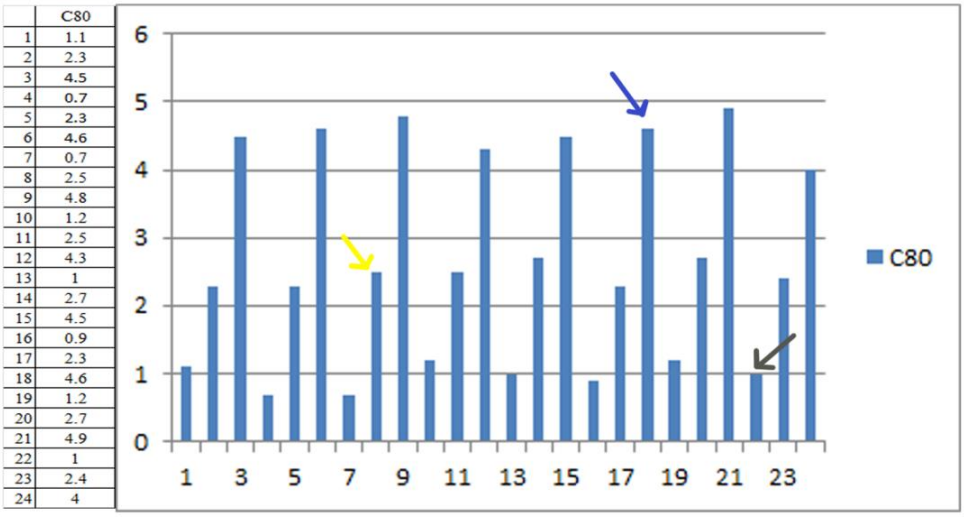
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Minimum	-1,5	-0,5	0,3	0,7	0,8	2,2
Maksimum	2,5	3,5	4,4	4,9	4,9	6,4
Ortalama	0,4	1,3	2,2	2,7	2,7	4,2

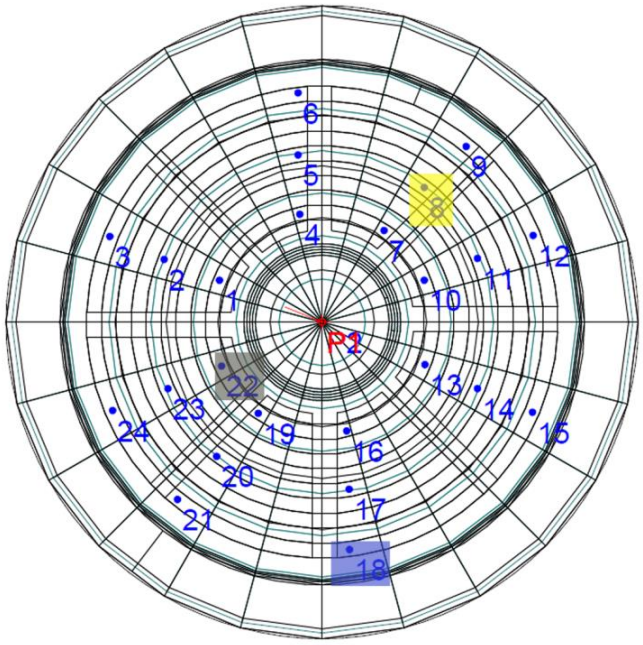
Şekil 5.27 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama C_{80} değerleri.

Şekil 5.28'deki salon 1 için alıcı noktalarındaki C_{80} değerlerinden yola çıkılarak salonda alıcılarda C80 değerleri anlamında bir denge olduğu söylenebilir ve salonun ön kısımlarında daha düşük, arka kısımlarında daha yüksektir. T30-EDT ilişkisi bakımından kritik olarak ele alınan alıcı 8, 18 ve 22 irdelenmiştir. Arka sıralardaki

alıcılarda, alıcı 18 baz alındığında, C_{80} değerlerinin üst sınırı biraz aştığı görülmektedir. Sahneye yakın olan alıcılarda, alıcı 22 baz alındığında, C_{80} değerleri daha düşüktür. C_{80} parametresinin tanımından yola çıkıldığında değerin negatif çıkması geç ses enerjisi ile ilgilidir. Yani geç ses enerjisi yüksektir. Bu durumun nedeni sahneye yakın olan alıcıların arka duvardan gelen yansımalara uzak olmalarıdır. Duvardan yansıyarak salon geometrisi sebebiyle merkeze dönene ses enerjisi yansıma yolunun uzaması ile buralardaki geç enerjiyi artırır. Alıcıların **Şekil 5.15**, **Şekil 5.16** ve **Şekil 5.17**'de verilen enerji diyagramlarına bakıldığında alıcı 22'ye ulaşan enerjiler 31 ms'ye kadar gecikirken alıcı 18'de 17ms'ye ve alıcı 8'de 15 ms'ye uzanmaktadır ve dolayısıyla alıcı 22'deki enerji alıcı 8 ve 18'e nispeten geç enerji etkisi oluşturmaktadır. Bu da C_{80} seviyesini düşürmektedir.

	C80
1	1.1
2	2.3
3	4.5
4	0.7
5	2.3
6	4.6
7	0.7
8	2.5
9	4.8
10	1.2
11	2.5
12	4.3
13	1
14	2.7
15	4.5
16	0.9
17	2.3
18	4.6
19	1.2
20	2.7
21	4.9
22	1
23	2.4
24	4

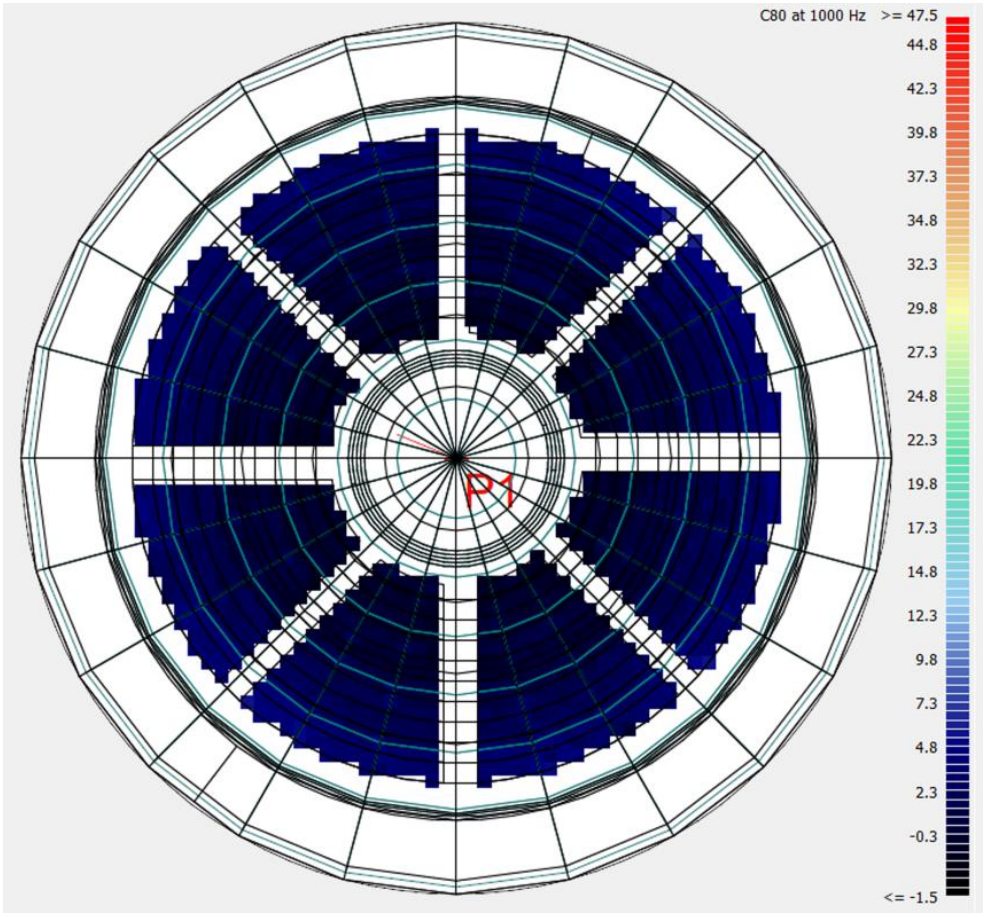




Şekil 5.28 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki C_{80} değerleri.

Alıcı 18 ve salonun arkasındaki diğer alıcılarda C_{80} değerleri en yüksek değerlere sahiptir. Fazla bir netlik (C_{80}) değerinin çıkması, geç enerjinin az olmasıyla ilgilidir. Çünkü bu nokta tavan ve arka duvardan gelen yansımalarla erken ses enerjisini daha fazla almaktadır. Bunun sonucu olarak da müzik için seste kurulaşma, konuşma için konuşma anlaşılırlığı artışı beklenir. Nedeni ise geç yansıyan ışınların, arka duvar tarafından emilerek azalmasına ve yansıyan ışın yolunun kısalmasına bağlanabilir. Dolayısıyla C_{80} değerlerinin artması netliği arttırır. Netliğin artması çınlama süresinin çok uzun olmamasına, yani, ilk 80 ms'den sonra ulaşan enerjinin yüksek olmamasına bağlıdır. Netlik değerinin üst sınırı aşması müzik işlevi için olumsuz durum teşkil etmektedir. Oda kuru, ölü olarak algılanır. Notalar birbirlerine eklenerek ahenk oluşturma özelliğinde azalma gösterir. Bu da canlılık sübjektif algısında düşüşe götürür.

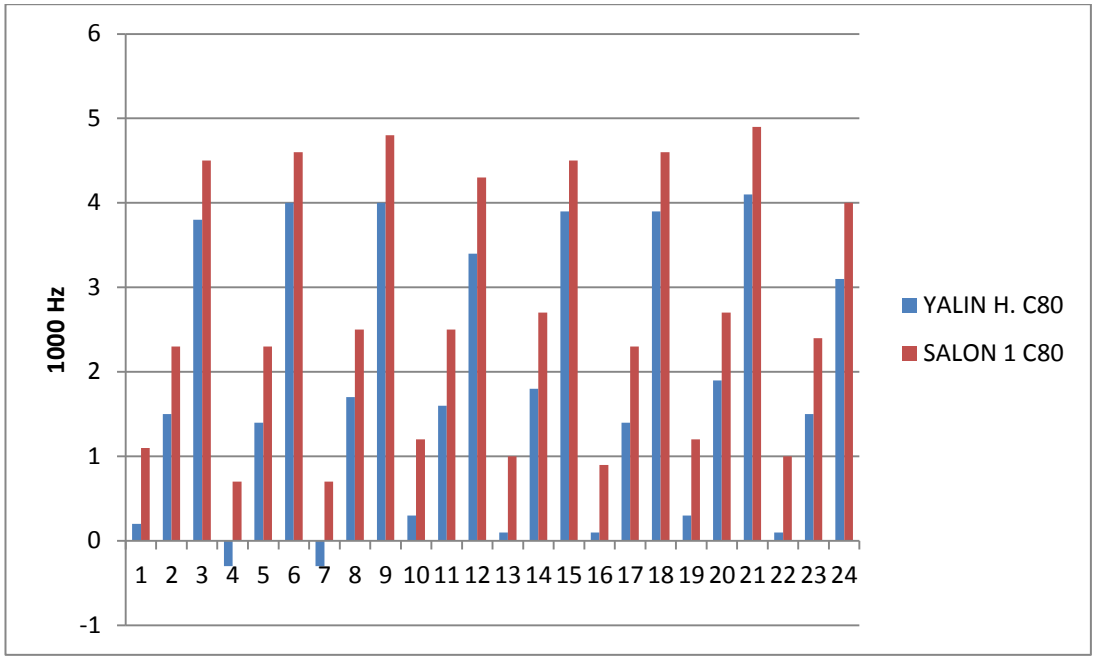
Şekil 5.29'da salon 1 için 1000 Hz'deki C_{80} grid analizi yer almaktadır. Sahne önünde C_{80} değerlerinin daha yüksek olduğu ve arkalara doğru gidildikçe artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.29 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de C_{80} değeri.

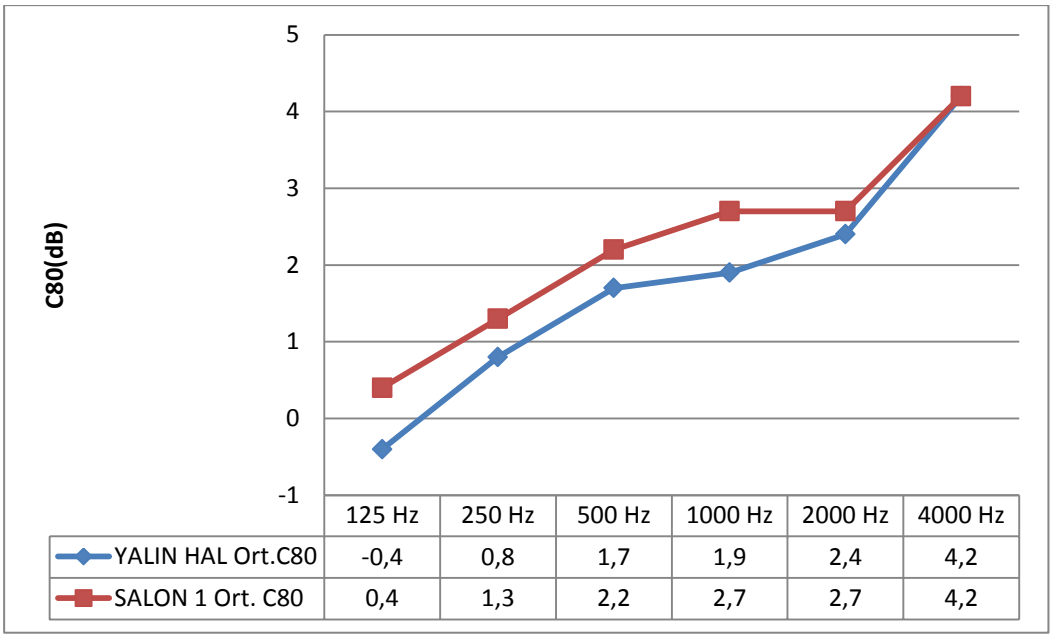
Salon 1 yalın hali ile akustik kontrol uygulanmış halinin C_{80} parametresi karşılaştırması

Şekil 5.30'da salon 1 ve yalın halinin alıcı noktalarında 1000 Hz'deki C_{80} değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde yapı elemanları bitiş yüzeylerine uygulanan malzemelerin salondaki C_{80} parametresi değerlerinde anormal etkiler oluşturmadığı görülmektedir, salondaki C_{80} dengesi korunmuştur. Uygulanan malzemelerin yutuculuğu artırması ile salondaki T_{30} değerinin düşmesi netlik, C_{80}, parametresini de etkilemiştir. Çınlamanın düşmesi netliğin artmasıdır ve grafikten bu etki okunmaktadır. Sahne önünde C_{80} değerlerinin daha düşük olması bu noktaya gelen yansımaların yansıma yolunun uzunluğu nedeniyle geç enerji olmasıdır. Dolayısıyla, sahne önünde en düşük C_{80} değerleri elde edilmiştir. Arka sıralara doğru gidildikçe C_{80} değerleri artmaktadır. Bunun nedeni geç enerjinin azalmasıdır. Bunu sağlayan ise arka duvardan ve tavandan gelen yansımaların daha kısa yansıma yolu nedeniyle erken enerjiyi artırmasıdır.



Şekil 5.30 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de C_{80} karşılaştırması.

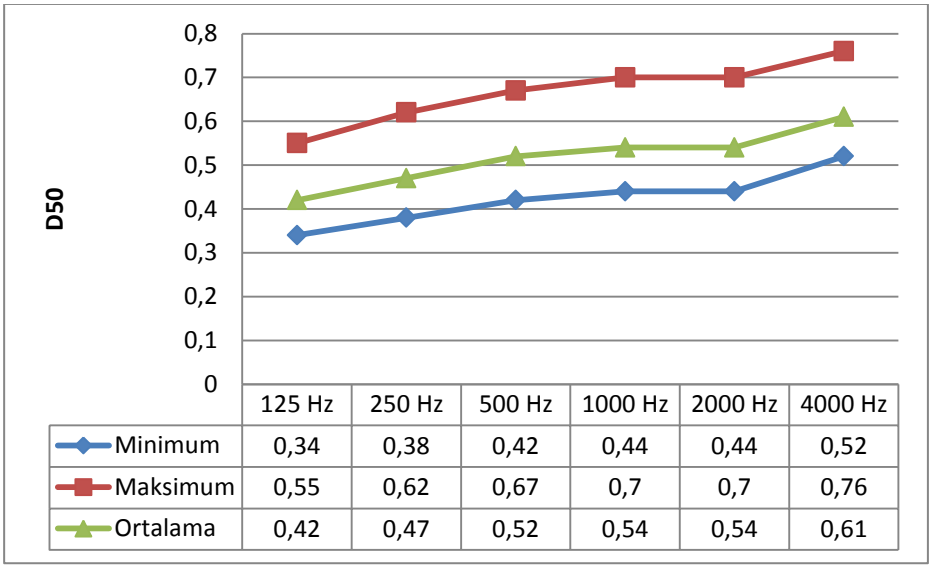
Şekil 5.31'de salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki netlik değeri karşılaştırmalarının frekanslara bağlı değişimleri verilmiştir. Yutuculuğun artmasıyla çınlamanın düştüğü salon 1'de netlik değerlerinde artış olduğu burada da görülmektedir.



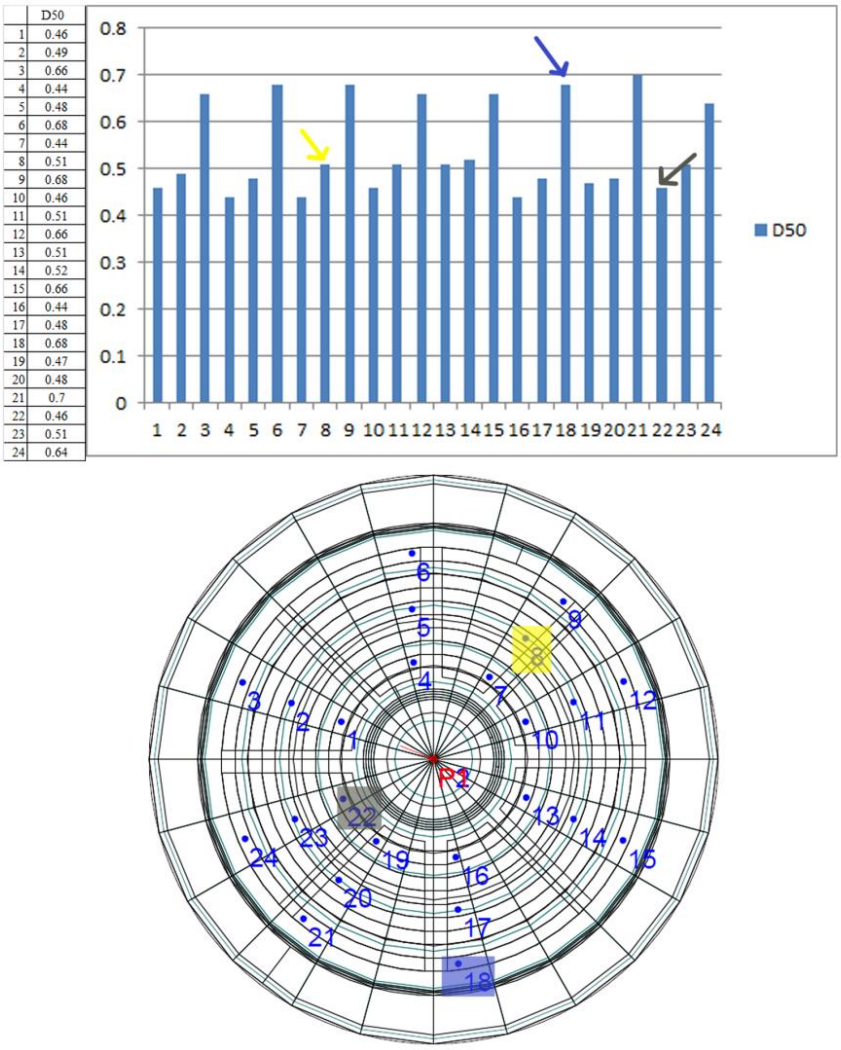
Şekil 5.31 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama C_{80} karşılaştırması.

5.2.1.3 Belirginlik (D_{50})

Bölüm 4.1.10'da anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'de verilen aralığa göre D_{50} parametresi için optimum değer 0,3 – 0,7 arasındadır [26]. Alıcı noktasına ilk 50 ms içinde gelen yansımalar direkt sese eklenir ve anlaşılırlığını artırır. Bu verilerden yola çıkarak **Şekil 5.32**'de verilen salon 1 için frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama D_{50} değerlerine ve **Şekil 5.33**'teki 1000 Hz'deki D_{50} değerlerine bakıldığında bütün alıcı noktalarındaki değerlerin optimum aralıkta olduğu görülür. Alıcı 8, 18 ve 22 noktaları incelenmiştir.



Şekil 5.32 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama D_{50} değerleri.



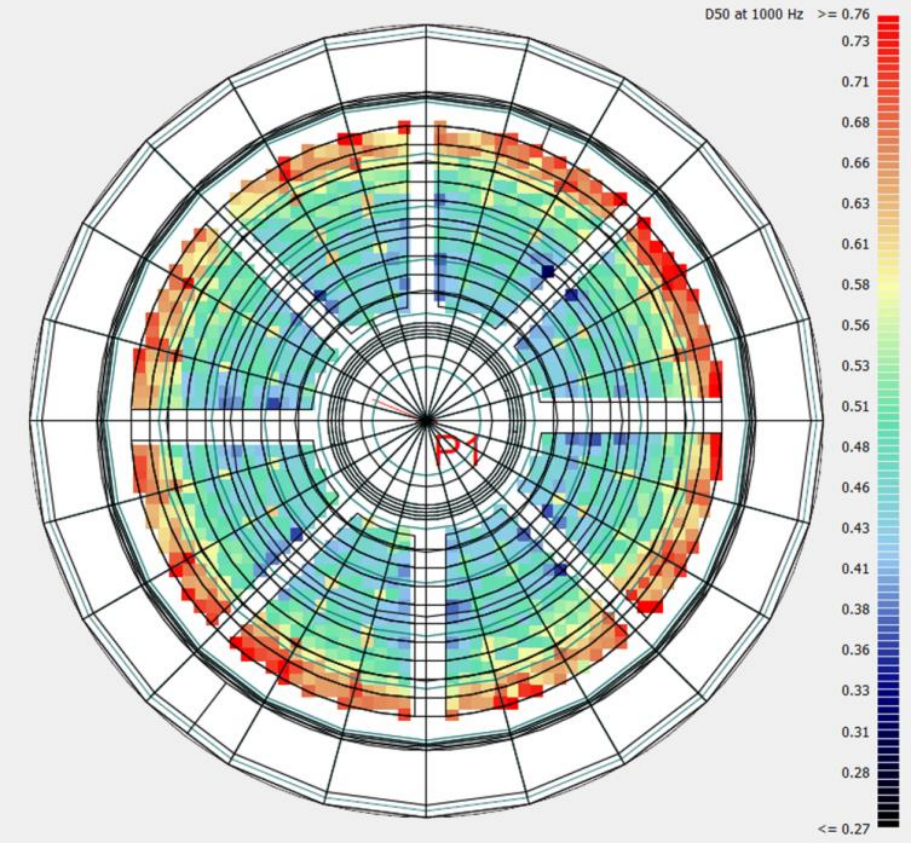
Şekil 5.33 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki D_{50} değerleri.

Bu şekillerde verilen verilerden yola çıkarak salonun genelinde konuşma anlaşılırlığının iyi düzeyde olduğu sonucuna varılabilir. **Şekil 5.33**'teki alıcı – kaynak ilişkisine bakıldığında alıcı 18 ve benzer şekilde salonun arka sırasındaki 3, 6, 9, 12, 15, 21 ve 24'te D_{50} değerlerinin sahneye daha yakın olan diğer alıcı noktalarına göre daha yüksek olduğu görülür. Bunun sebebi ise **Şekil 5.16**'da alıcı 18'in enerji diyagramı ile **Şekil 5.15**'te alıcı 8'in ve **Şekil 5.17**'de alıcı 22'nin enerji diyagramlarının karşılaştırılmasından da anlaşılacağı üzere ilk 50 ms'de bu alıcı ve benzerlerinde daha fazla erken enerjinin olmasıdır. Bunu sağlayan da tavan ve arka duvar yansımalarıdır.

Alıcı 22'deki ve sahne önündeki diğer alıcı noktalarındaki D_{50} değerleri salon geneline göre daha düşük değerlerdir. Çünkü bu alıcı noktalarına ulaşan enerji arka duvardan gelen enerjinin yansıma yolunun uzunluğu nedeniyle sahnenin arka sıralarına göre daha gecikmiş bir enerjidir ve dolayısıyla D_{50} değerleri alıcı 22 ve

benzeri alıcı noktalar için daha düşüktür. Alıcı 22 ve benzerlerindeki bu düşüklük optimum sınırlar içindedir. Yani bu noktalardaki konuşma anlaşılırlıkları kötüdür denemez.

Şekil 5.34'te salon 1'de D_{50} parametresinin grid analizi yer almaktadır. Bu grid incelendiğinde de D_{50} değerleri salonun arka sıralarında daha yüksektir ve daha önceden de söylendiği gibi bunun sebebi ilk 50 ms içindeki enerjinin tavan ve arka duvar yansımaları sayesinde buralarda daha yüksek olması ve **Şekil 5.18** ve **Şekil 5.19**'da verilen noktasal iletim analizleri salon ortasındaki geç enerji miktarının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum sahne önündeki konuşma anlaşılırlığı düşürmektedir.

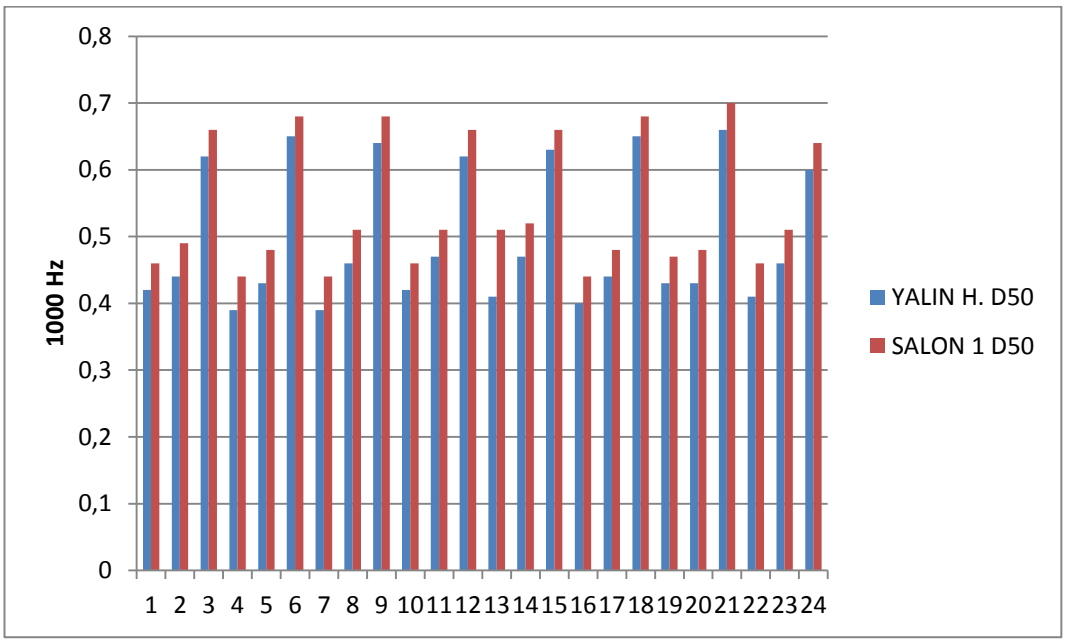


Şekil 5.34 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de D_{50} belirginlik değeri.

Salon 1 yalın hali ile akustik kontrol uygulanmış halinin D_{50} parametresi karşılaştırması

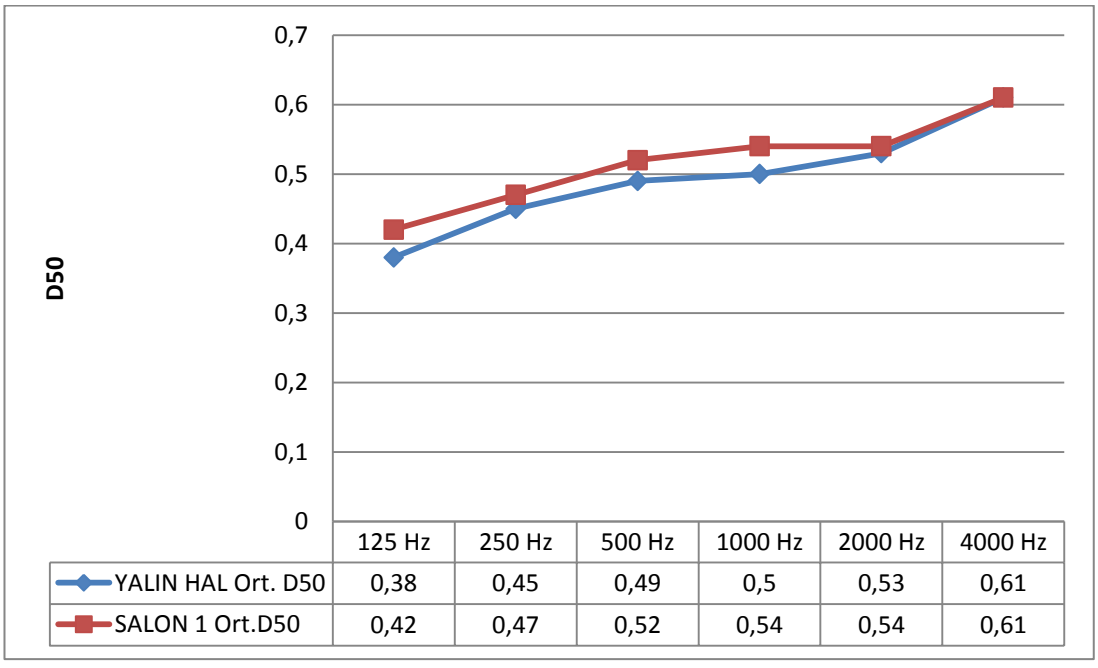
Şekil 5.35'te salon 1 ve yalın halinin 1000 Hz'deki D_{50} değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde salon 1'deki D_{50} değerlerinin, yani, konuşma anlaşılırlığının salonun yalın halinden daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, salona akustik kontrol amacıyla uygulanan

malzemelerin salondaki çınlama süresini düşürmesiyle anlaşılırlığa katkı sağlamasına bağlanabilir.



Şekil 5.35 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de D_{50} karşılaştırması.

Şekil 5.36'da salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki konuşma anlaşılırlığı değeri karşılaştırmalarının frekanslara bağlı değişimleri verilmiştir. Yutuculuğun artmasıyla çınlamanın düştüğü salon 1'de konuşma anlaşılırlığı değerlerinde az da olsa artış olduğu burada da görülmektedir.

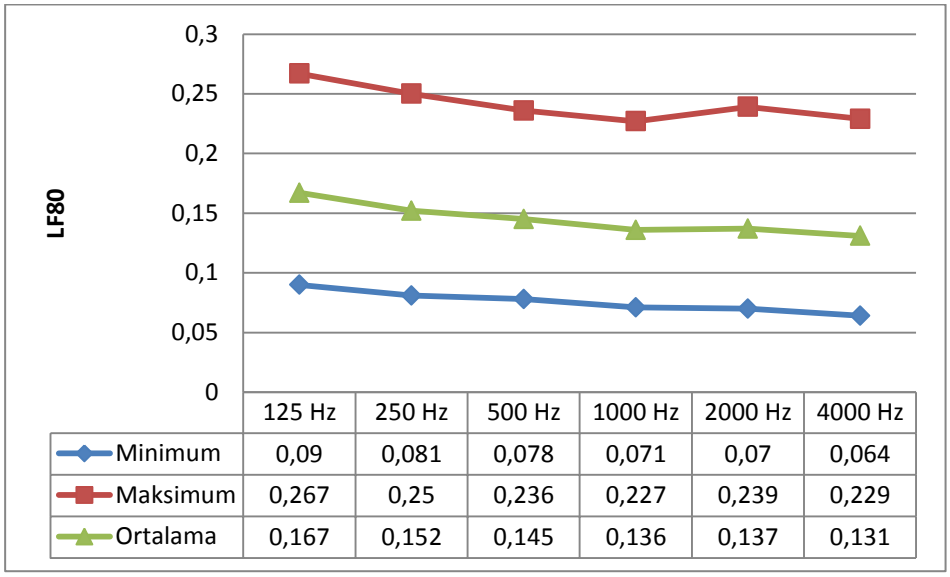


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
YALIN HAL Ort. D50	0,38	0,45	0,49	0,5	0,53	0,61
SALON 1 Ort.D50	0,42	0,47	0,52	0,54	0,54	0,61

Şekil 5.36 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama D_{50} karşılaştırması.

5.2.1.4 Yanal yansımalar (LF_{80})

Bölüm 4.1.7'de anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'deki literatür değerleri doğrultusunda LF_{80} parametresi için optimum değer aralığının 0,05 – 0,35 olduğu belirlenmiştir. Bu nicelik, alıcı noktasına gelen yanal yansımalarla ilgilidir. **Şekil 5.37**'de salon 1'in frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama LF_{80} değerleri vardır. Bu değerlere göre alıcı noktaları optimum değer aralığında gözlenmektedir.



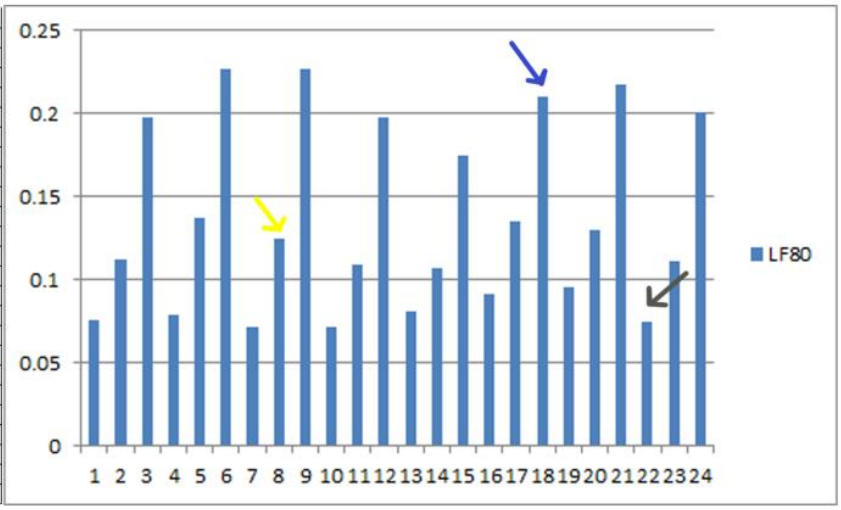
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Minimum	0,09	0,081	0,078	0,071	0,07	0,064
Maksimum	0,267	0,25	0,236	0,227	0,239	0,229
Ortalama	0,167	0,152	0,145	0,136	0,137	0,131

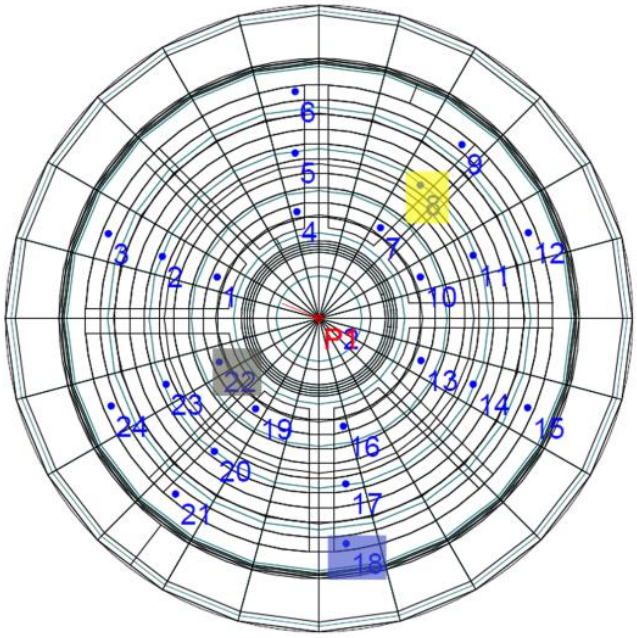
Şekil 5.37 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama LF_{80} değerleri.

Şekil 5.38'de salon 1 için alıcıların 1000 Hz'deki LF_{80} değerleri verilmiştir, bu değerler incelendiğinde hepsinin istenen aralıkta olduğu görülmektedir. Alıcı 8, 18 ve 22 noktaları incelenmiştir. Sahne önündeki alıcılar ve alıcı 22 dikkate alındığında daha düşük değerler olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu alıcı noktalarda ilk 80 ms içindeki yanal yansıma miktarının düşük olmasıdır, çünkü çevrelerinde herhangi bir yanal yüzey yoktur, arka duvardan gelecek olan yansımalara uzaktırlar ki bu durum salon geometrisinin bir sonucudur. Buradan yola çıkarak yine **Şekil 5.38**'deki alıcı 18 ve arka sıralardaki alıcıların en yüksek LF_{80} değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu noktalarda arka duvardan gelen yanal yansımalar ile LF_{80} değerinde artış olduğu söylenebilir. Dolayısıyla buralarda ses tarafından çevrelenme/sarmalanma hissinde, yani, sesin içindeymiş gibi hissetme durumunda artış beklenir. İlk gecikme zaman aralığının düşük olması ile dinleyicinin bu noktalardaki ses kaynağına yakınmış gibi, küçük bir salondaymış gibi hissetme durumu, yani, samimiyet hissi daha fazladır. Alıcı 8 ve benzeri diğer noktalar ise orta bir değere sahiptir. Salondaki konumu gereği ne sahneye çok yakın ne de arka duvara

çok yakın olmaması bu sonucu doğurmuştur diyebiliriz, salon geometrisinden kaynaklanmaktadır. Salonun orta kısımları, arka kısımlarına göre arka duvarlardan gelen yansımalardan daha az faydalanmaktadır.

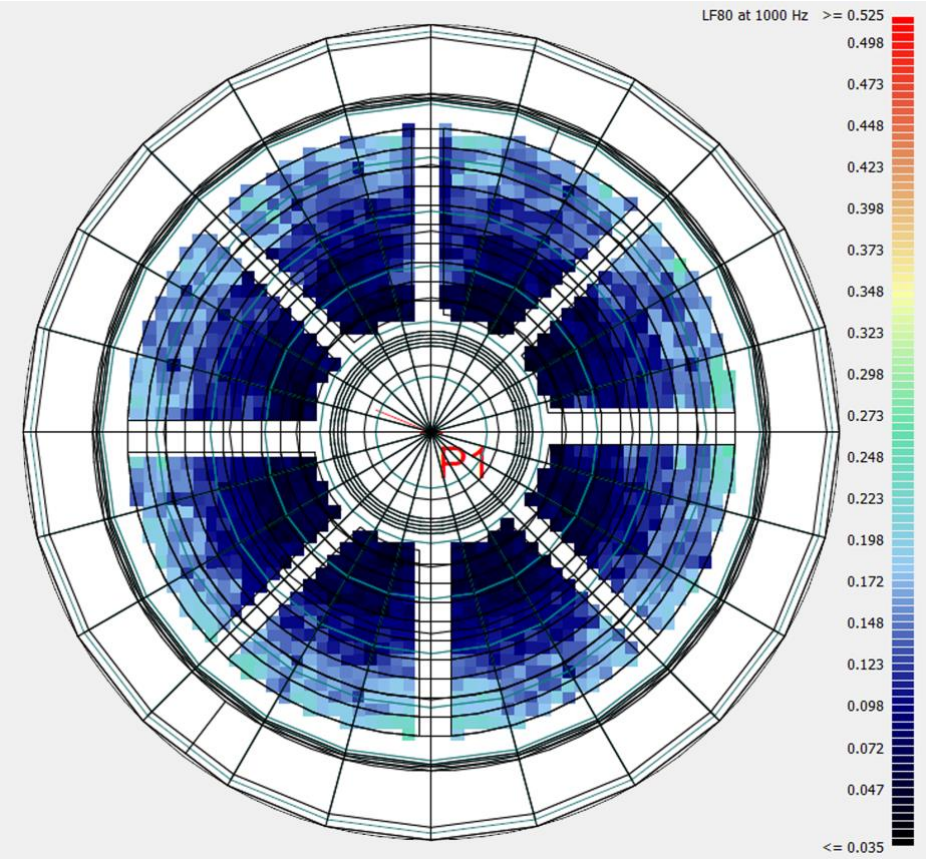
	LF80
1	0.076
2	0.112
3	0.198
4	0.079
5	0.137
6	0.227
7	0.071
8	0.125
9	0.227
10	0.072
11	0.109
12	0.198
13	0.081
14	0.107
15	0.175
16	0.091
17	0.135
18	0.21
19	0.095
20	0.13
21	0.217
22	0.075
23	0.111
24	0.201





Şekil 5.38 : Salon 1 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki LF_{80} değerleri.

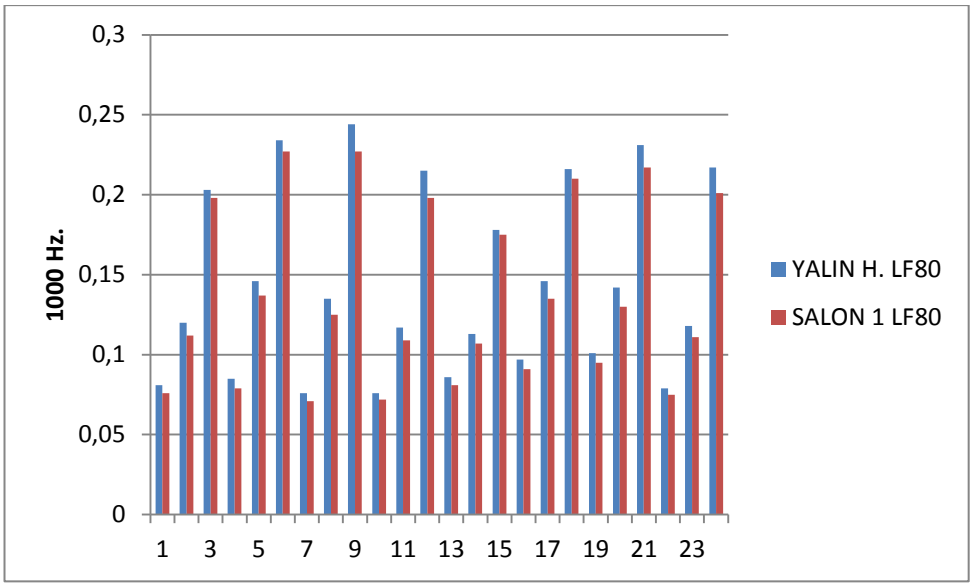
Alıcı 8, 18 ve 22 için **Şekil 5.15**, **Şekil 5.16** ve **Şekil 5.17**'de verilen enerji diyagramları anlatılanları doğrulamaktadır. **Şekil 5.39**'da salon 1'deki LF_{80} yanal yansıma grid analizi mevcuttur ve bu şekilde de sahneye yakın yerlerin yanal yansımalardan arka sıralara göre daha az faydalanabildiği görülmektedir. Bunun nedeni arka duvarın arka sıralara yanal yansıma iletiyor olması ama ön tarafların bu yansımaları alamıyor olmasıdır.



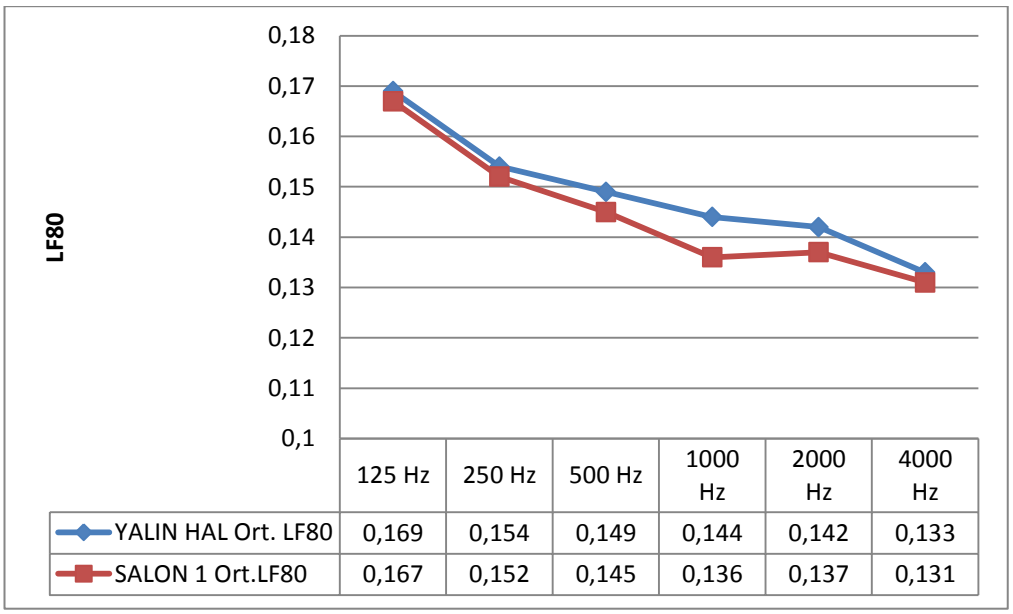
Şekil 5.39 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de LF_{80} değerleri.

Salon 1 yalın hali ile akustik kontrol uygulanmış halinin LF_{80} parametresi karşılaştırması

Şekil 5.40'ta salon 1 ve yalın halinin 1000 Hz'deki LF80 değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde salon 1'deki LF80 değerlerinin salonun yalın halinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, salona akustik kontrol amacıyla arka duvara uygulanan yutucu malzemelerdir. Çünkü salonda yanal yansımaları sağlayan yüzeyler arka duvarlardır. LF80 parametresi de ilk 80 ms içinde alıcılara ulaşan yanal yansımalarla ilgilidir. Yanal yansıma sağlayan arka duvarın yutuculuğunun artmasıyla yanal yansımalarda düşüş olmuştur denebilir. **Şekil 5.41**'de salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki yanal yansıma oranı değeri karşılaştırmalarının frekanslara bağlı değişimleri verilmiştir. Yutuculuğun artmasıyla çınlamanın düştüğü salon 1'de yanal yansıma oranı değerlerinde düşüş olduğu burada da görülmektedir. Bunun nedeni yanal yansıma sağlayan arka duvarın yutuculuğunun artmasıyla yanal yansımalarda düşüş olmasıdır.



Şekil 5.40 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de LF_{80} karşılaştırması.

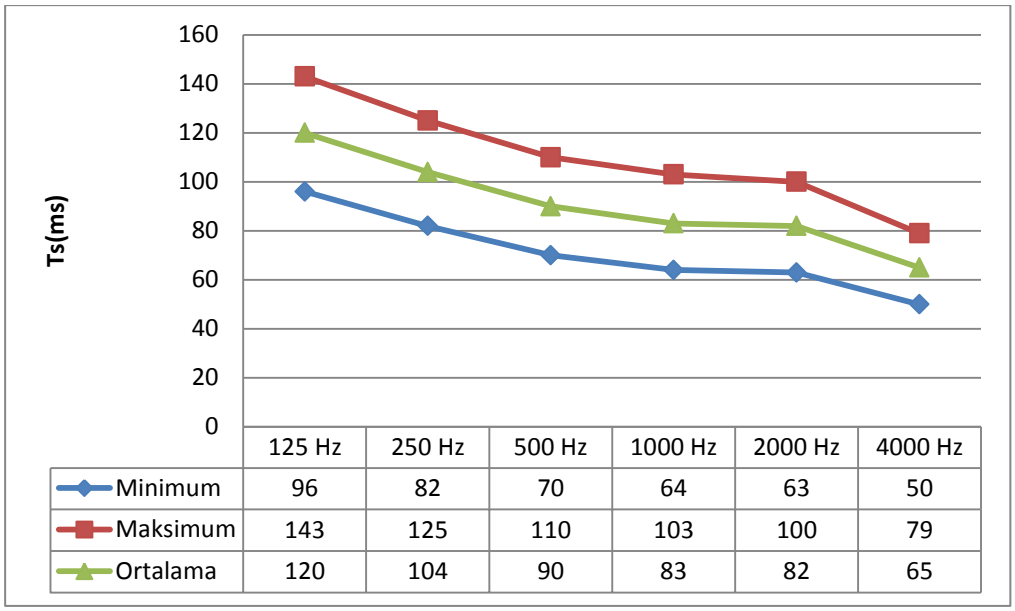


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
YALIN HAL Ort. LF80	0,169	0,154	0,149	0,144	0,142	0,133
SALON 1 Ort.LF80	0,167	0,152	0,145	0,136	0,137	0,131

Şekil 5.41 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama LF_{80} karşılaştırması.

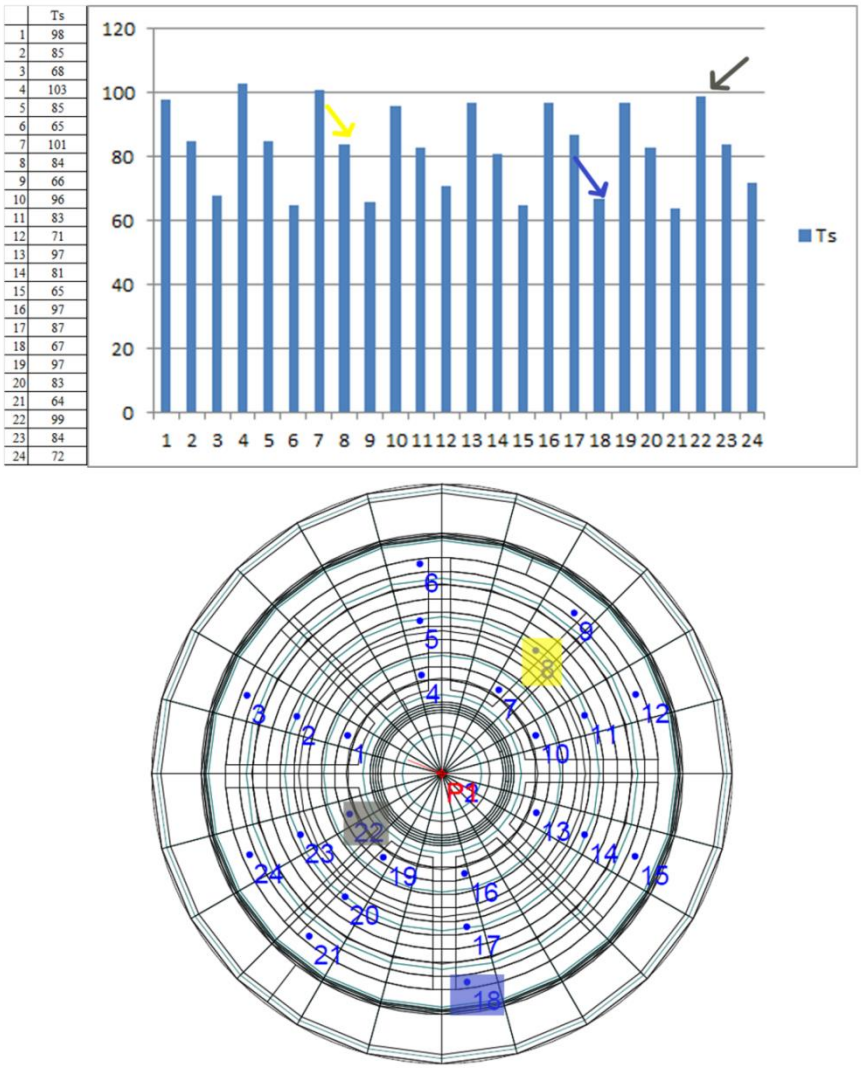
5.2.1.5 Merkez zaman (T_s)

Bölüm 4.1.13'te anlatılanlar ve **Çizelge 6.1'**de verilen aralığa göre T_s parametresi için optimum değerler 60-260 ms arasındadır [26]. Merkez zaman, hacim içinde belli bir noktada elde edilen seslerin erken ya da gecikmiş olduğunu belirlediğinden, belirlilik (D_{50}), netlik (C_{80}) ve ilk düşme süresi (EDT) ile ilişkilidir [22]. Dolayısıyla salonda bu parametrelerden yola çıkılarak bir değerlendirmeye gidilebilir. **Şekil 5.42**'de salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama T_s değerleri verilmiştir. Salon genelinde bu parametrenin optimum değerler arasında olduğu görülmektedir.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Minimum	96	82	70	64	63	50
Maksimum	143	125	110	103	100	79
Ortalama	120	104	90	83	82	65

Şekil 5.42 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama T_s değerleri.

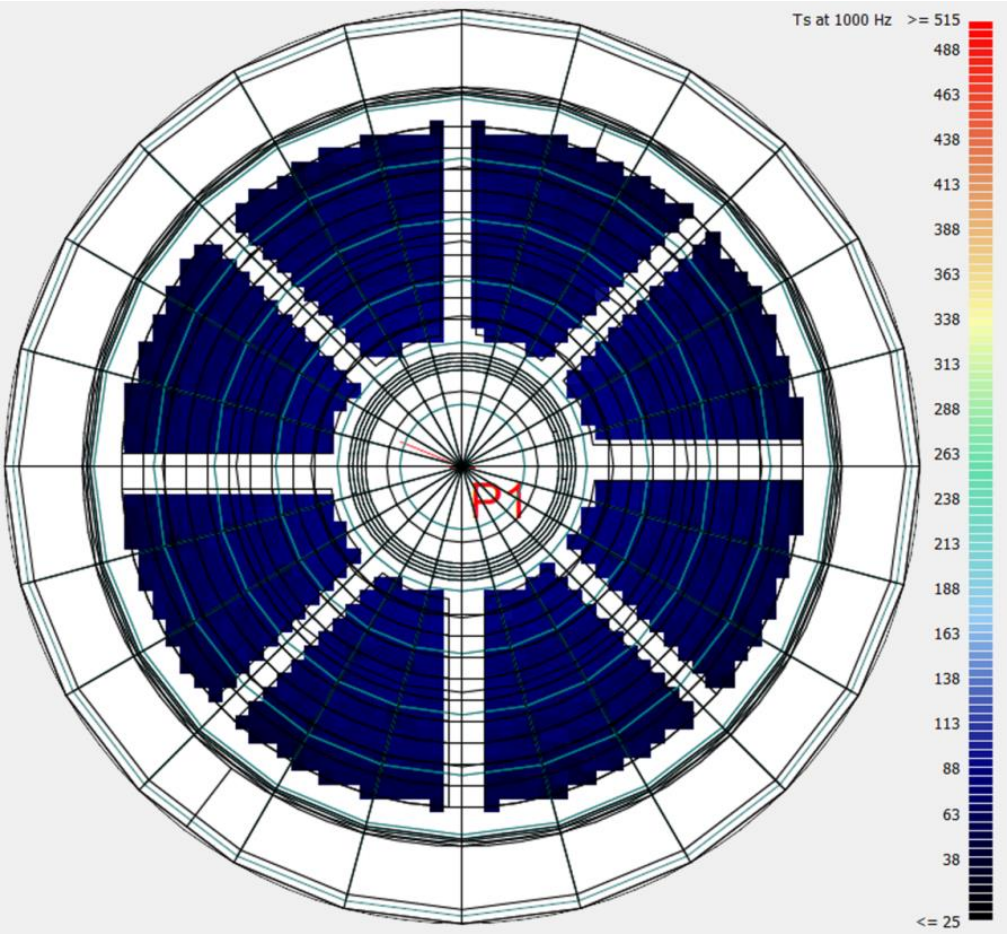


Şekil 5.43 : Salon 1 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de T_s değerleri.

Şekil 5.43'teki 1000 Hz'deki T_s değerlerine bakıldığında bütün alıcı noktalarındaki değerlerin optimum aralıkta olduğu görülür. Salon genelinde alıcı noktaları bazında T_s parametresi açısından bir denge vardır. Alıcı 8, 18 ve 22 noktaları incelenmiştir.

Alıcı 22 ve benzeri şekilde salonun en ön sıralarında yer alan noktalarda en yüksek T_s değerleri elde edilmiştir. Bu durum, bu alıcılarda erken ses enerjisinin, örneğin alıcı 18 ile karşılaştırıldığında daha düşük olmasından kaynaklanır.

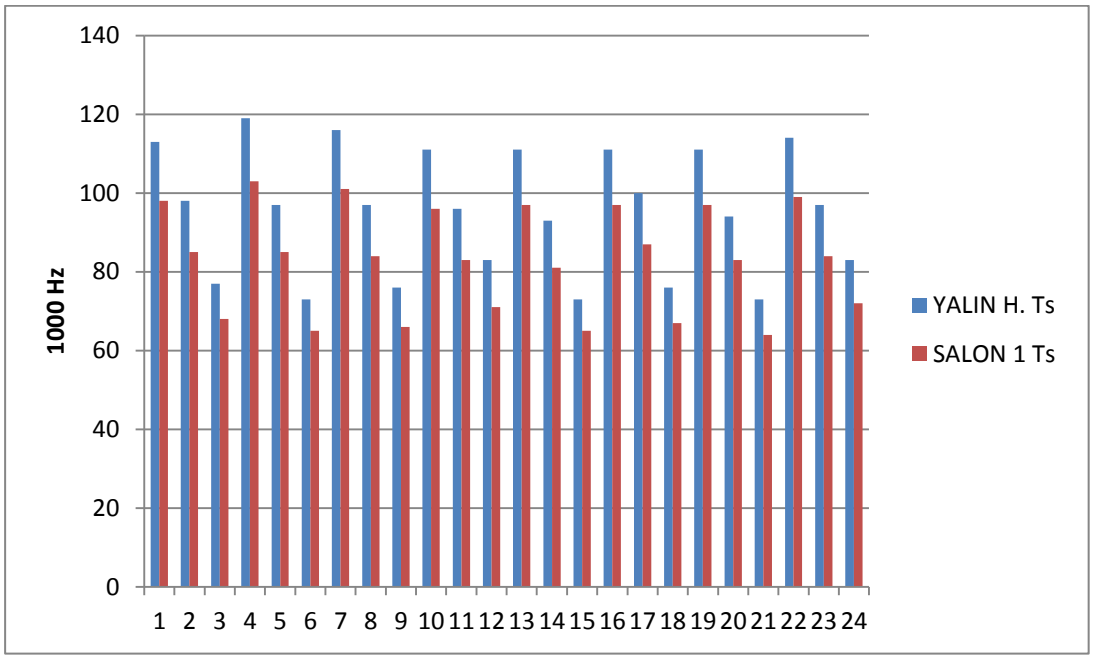
Alıcı 18 en düşük T_s parametresi değerini almıştır. Bu parametrenin düşük olması erken ses enerjisinin fazla olduğunu göstermektedir. **Şekil 5.16**'da alıcı 18 için verilen enerji diyagramı da bu noktadaki erken enerji miktarının alıcı 8 ve alıcı 22'nin **Şekil 5.15** ve **Şekil 5.17**'de verilen enerji diyagramlarına göre daha fazla olduğunu göstermektedir. **Şekil 5.44**'te salon 1 için 1000 Hz'de T_s parametresi grid analizi yer almaktadır. Alıcı noktalarında yapılan değerlendirmeleri doğrulamaktadır. T_s değerleri salonun arka sıralarında daha düşük çıkmıştır. Nedeni tavan ve arka duvar yansımalarının bu noktalarda daha fazla olması ile erken enerjinin artmasından gelir.



Şekil 5.44 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de T_s değeri.

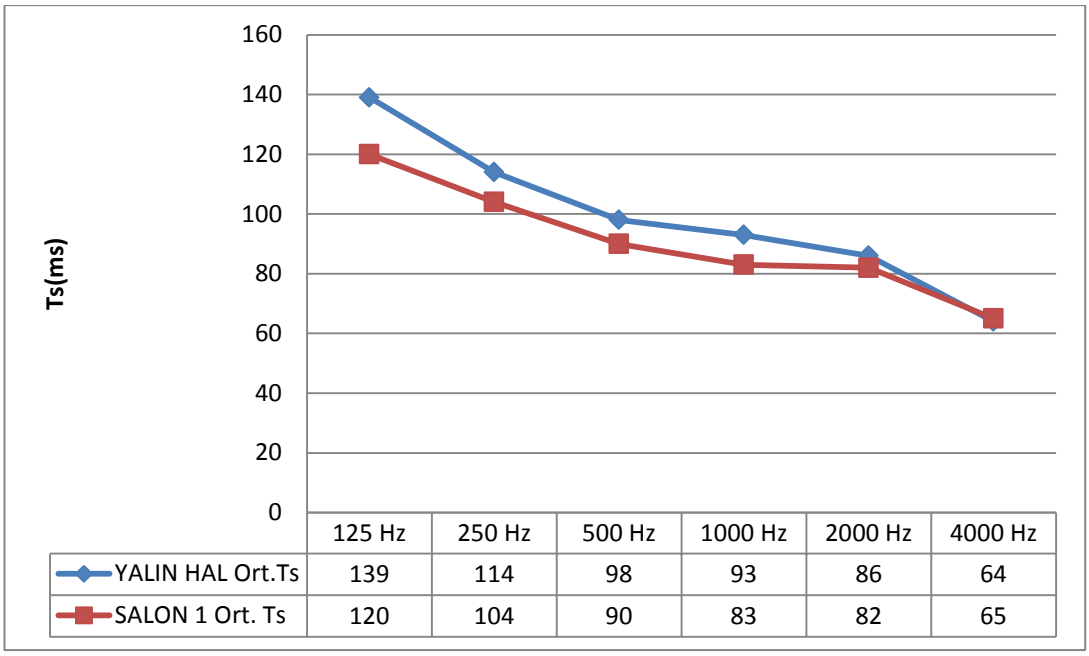
Salon 1 yalın hali ile akustik kontrol uygulanmış halinin T_s parametresi karşılaştırması

Şekil 5.45'te salon 1 ve yalın halinin 1000 Hz'deki T_S değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde salon 1'deki T_S değerlerinin salonun yalın halinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, salona akustik kontrol amacıyla uygulanan malzemelerin salon genelinde yutuculuk değerlerini artırması ve salondaki toplam enerjinin düşmesidir. Alıcı bazında T_s değerleri incelendiğinde salon genelindeki durumun korunduğu görülmektedir. Sahnenin ön kısmında yer alan alıcılarda merkez zaman parametresi değerleri salonun arka kısımlarında yer alan alıcıların merkez zaman parametresi değerlerinden daha yüksektir. Bu durumun sebebi sahne önündeki alıcılarda arka duvardan gelen enerjinin mesafe yolu nedeniyle nispeten geç enerji olarak ulaşmasıdır.



Şekil 5.45 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de T_s karşılaştırması.

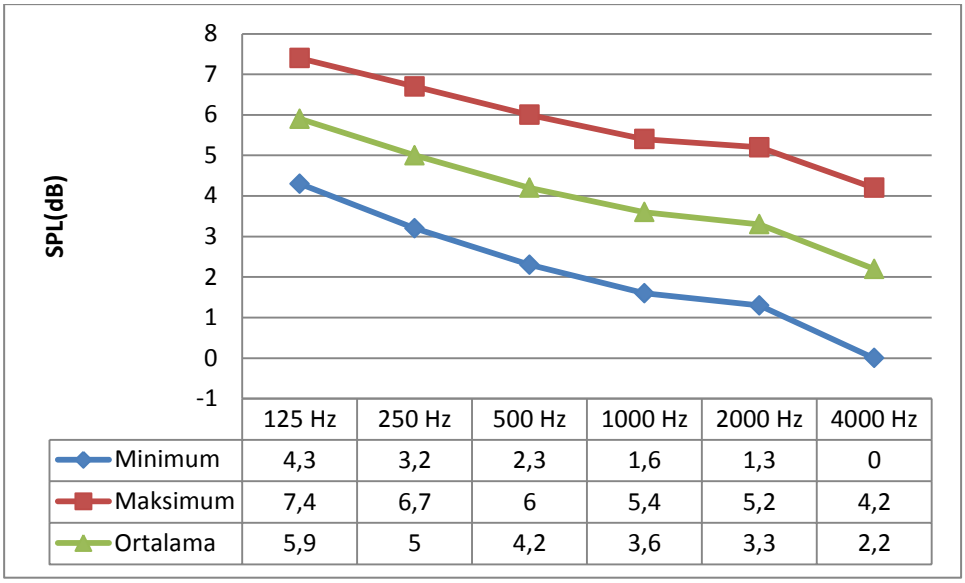
Şekil 5.46'da salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki merkez zaman değeri karşılaştırmalarının frekanslara bağlı değişimleri verilmiştir. Yutuculuğun artmasıyla çınlamanın düştüğü salon 1'de merkez zaman değerlerinde düşüş olduğu burada da görülmektedir.



Şekil 5.46 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama Ts karşılaştırması.

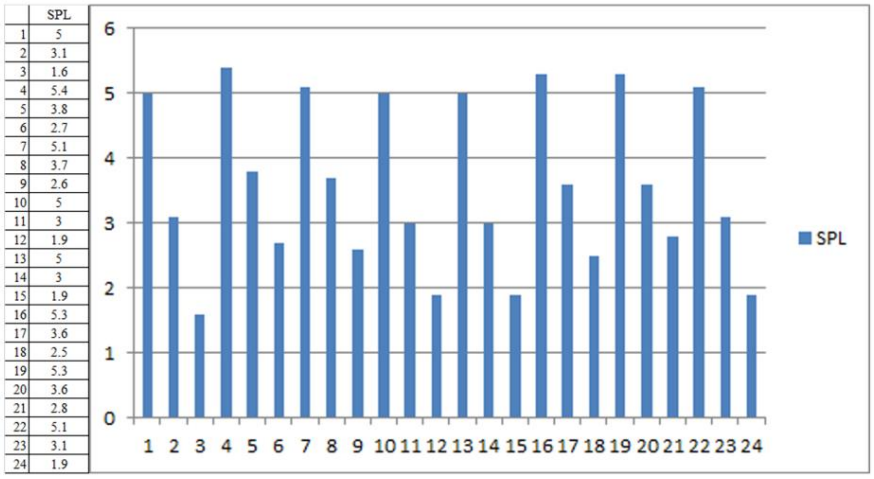
5.2.1.6 Ses yüksekliği (G, SPL)

Bölüm 4.1.4'te anlatılanlardan yola çıkılarak; G parametresini etkileyen faktörler şunlardır: dinleyicinin sahneye olan mesafesi, erken sesi ileten yüzeyler, hacmin büyüklüğü, hacimde kullanılan ses yutucu malzemeler. Literatürde G parametresi için verilen optimum aralık -2 ile 10 aralığındadır [26]. Bu parametre için verilen sübjektif limen ise 1 dB'dir [27]. Kaynaktan uzaklaştıkça G seviyesinde oluşacak düşüş normaldir. Ayrıca oturum azalması (seat dip attenuation) sesin dinleyiciler üzerinden sürünerek giderken azalmasına da neden olur. Tavan ve duvarların dinleyici alanına erken ses enerjisini iletmesi bu azaltımı düşürür**. Çizelge 6.1**'de verilen optimum G değeri aralığı -2 ile 10 arasındadır. **Şekil 5.47**'de salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri verilmiştir. Salon genelinde bu parametrenin optimum değerler arasında olduğu görülmektedir. Yüksek frekanslardaki G değerlerinin düşük frekanslara göre daha düşük olmasının sebebi yüksek frekansların hava tarafından daha çok yutulmasıdır.

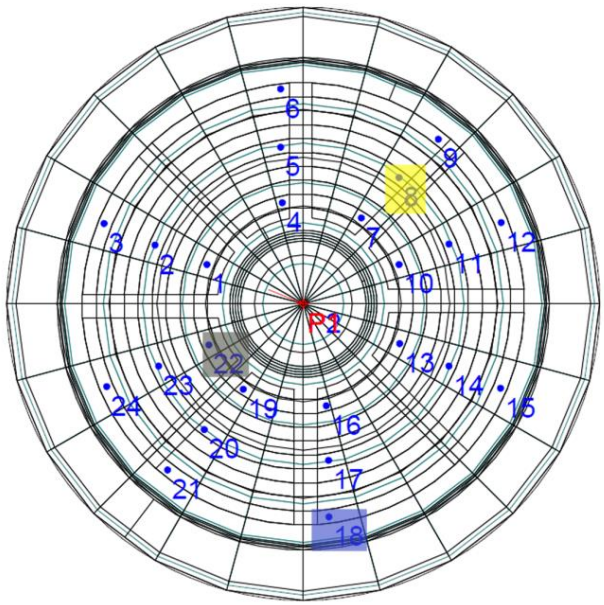


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Minimum	4,3	3,2	2,3	1,6	1,3	0
Maksimum	7,4	6,7	6	5,4	5,2	4,2
Ortalama	5,9	5	4,2	3,6	3,3	2,2

Şekil 5.47 : Salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama G (SPL) değerleri.

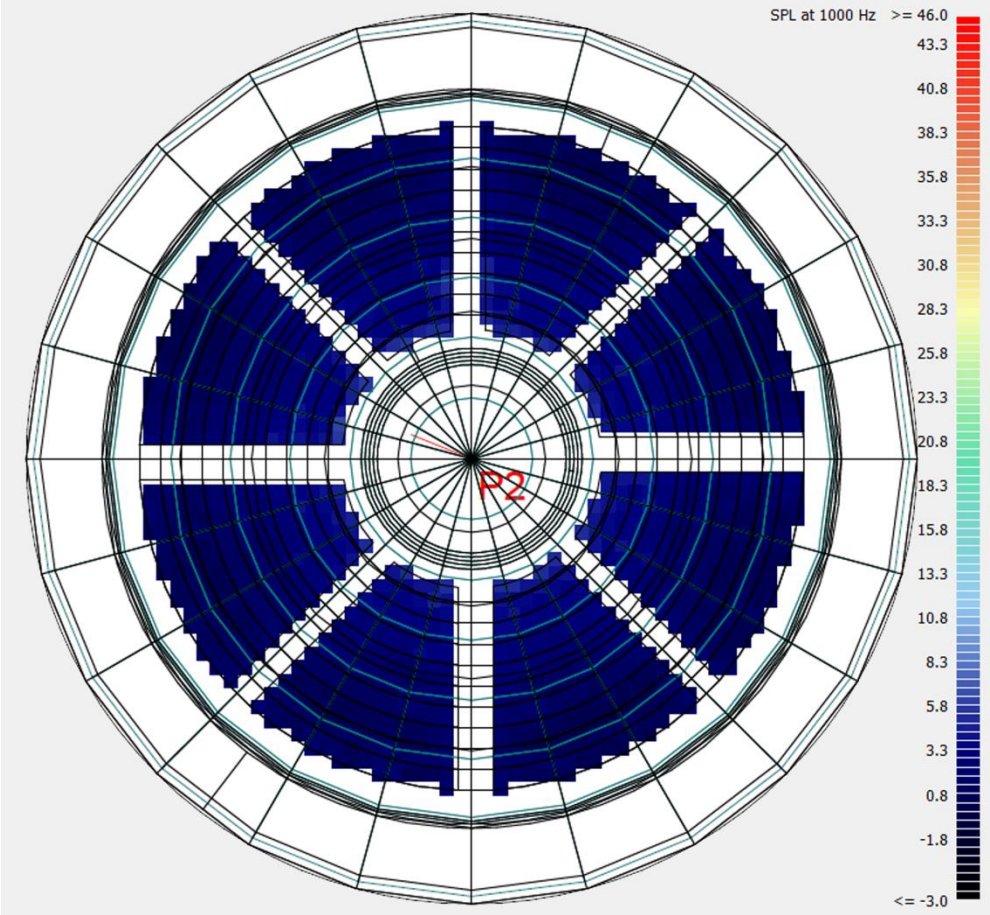


	SPL
1	5
2	3.1
3	1.6
4	5.4
5	3.8
6	2.7
7	5.1
8	3.7
9	2.6
10	5
11	3
12	1.9
13	5
14	3
15	1.9
16	5.3
17	3.6
18	2.5
19	5.3
20	3.6
21	2.8
22	5.1
23	3.1
24	1.9



Şekil 5.48 : Salon 1 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de G (SPL) değerleri.

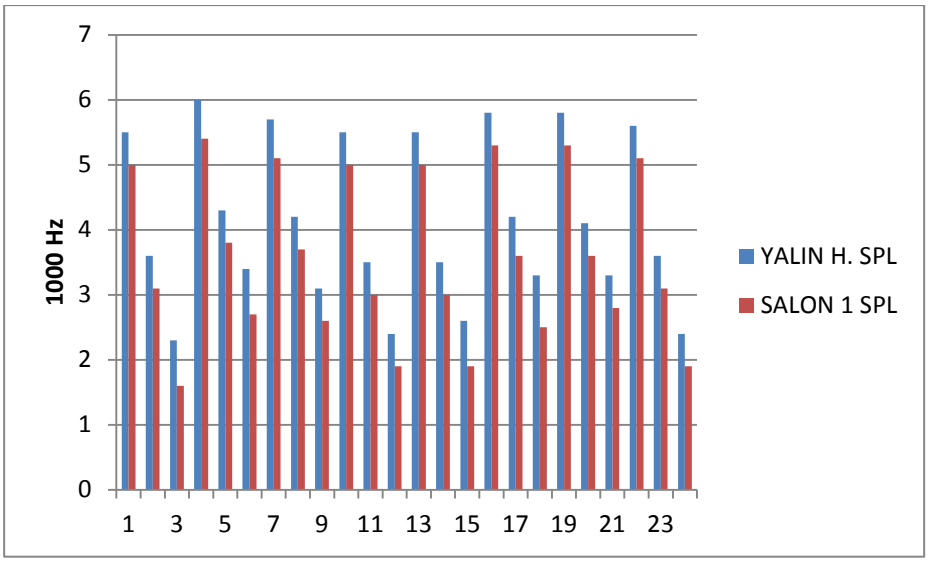
Şekil 5.48'de alıcıların tamamının belirtilen aralıkta olduğu görülmektedir. Grafikten ise sahneye olan alıcı mesafesinin etkisi okunmaktadır. Sahneye yakın olan alıcılarda SPL değeri daha yüksektir ve arka sıralara doğru bu değer azalmakta, en arka sırada grafikteki en düşük değerine ulaşmaktadır, ki bu değer optimum değer aralığındadır. **Şekil 5.49**'da salon 1 için 1000 Hz'de G parametresi grid analizi yer almaktadır ve grid anlatılanları doğrular niteliktedir.



Şekil 5.49 : Salon 1 için grid analizi ile 1000 Hz'de G değeri.

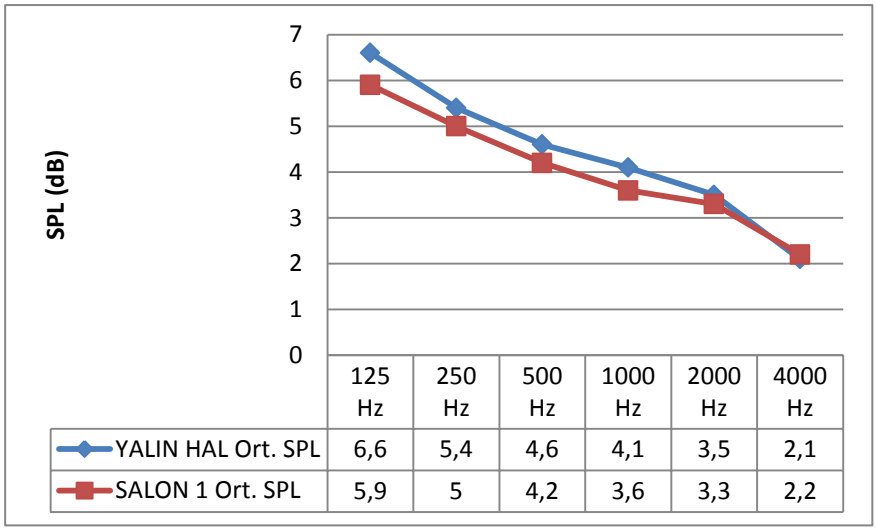
Salon 1 yalın hali ile akustik kontrol uygulanmış halinin G (SPL) parametresi karşılaştırması

Şekil 5.50'de salon 1 ve yalın halinin 1000 Hz'deki SPL değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Grafik incelendiğinde salon 1'deki SPL değerlerinin salonun yalın halinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, salona akustik kontrol amacıyla uygulanan malzemelerin salon genelinde yutuculuk değerlerini artırması ve salondaki toplam enerjinin düşmesidir. Alıcı bazında SPL değerleri incelendiğinde salon genelindeki durumun korunduğu görülmektedir. En yüksek SPL değerleri sahne önündedir. Arka sıralara doğru bu değer düşmektedir.



Şekil 5.50 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda 1000 Hz'de SPL karşılaştırması.

Şekil 5.51'de salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki merkez zaman değeri karşılaştırmalarının frekanslara bağlı değişimleri verilmiştir. Yutuculuğun artmasıyla enerjinin düştüğü salon 1'de ses yüksekliği değerlerinde düşüş olduğu burada da görülmektedir.



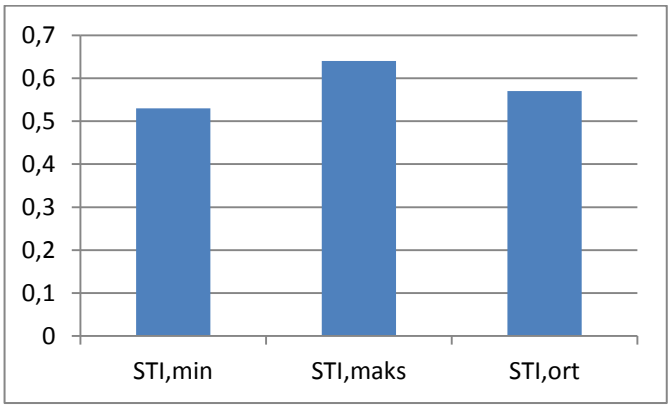
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
YALIN HAL Ort. SPL	6,6	5,4	4,6	4,1	3,5	2,1
SALON 1 Ort. SPL	5,9	5	4,2	3,6	3,3	2,2

Şekil 5.51 : Salon 1 ve yalın halinin frekanslara bağlı ortalama SPL karşılaştırması.

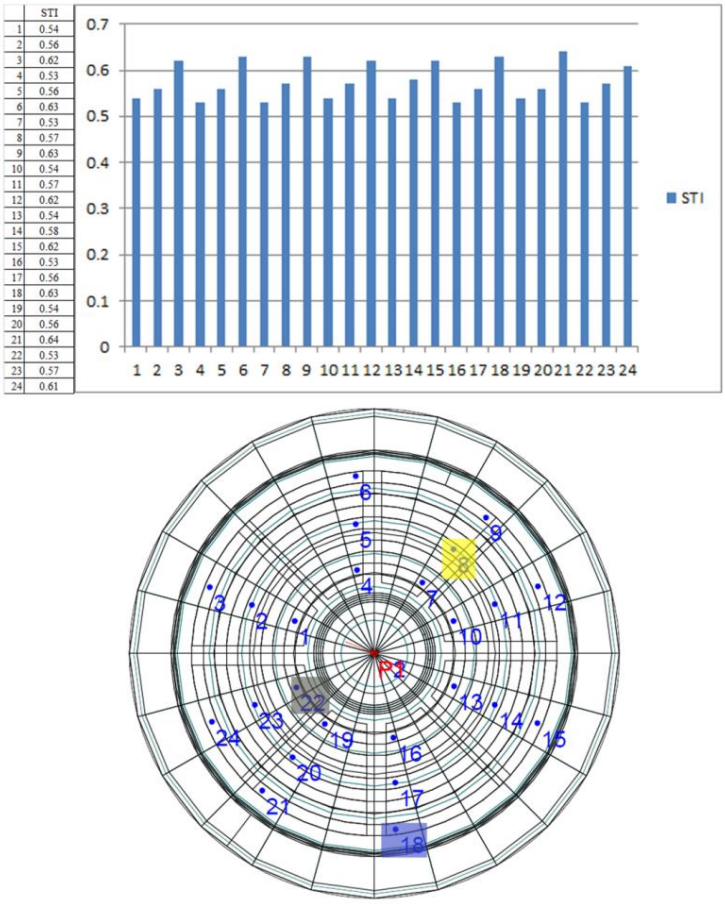
5.2.1.7 Konuşma iletim indeksi (STI)

Bölüm 4.1.16'da anlatılanlar ve **Çizelge 6.1'de** verilen aralığa göre STI parametresi 0.6'dan büyük olmalıdır. Performans ve konferans mekânlarındaki konuşma anlaşılırlığını belirlemede kullanılan parametre konuşma iletim indeksi (STI) olarak bilinir. STI değerleri 0 – 1 arasındadır. Yüksek değerler daha iyi konuşma anlaşılırlığı anlamındadır. Kaynaktan çıkan ses düzeyi, yansımaların yön ve şiddeti,

çınlama süresi ve sesin maskelenmesi, arka plan gürültü seviyesi ve eko; STI parametresini etkiler [6]. STI parametresi için 0.45-0.60 arası orta derece, 0.60'tan büyük değerler iyi derece, 0.75-1 arasındaki değerler mükemmel derece kabul edilmektedir [6, 27]. **Şekil 5.52**'de salon 1 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında ortalama değerlerin 0.6 alt sınırının biraz altına düştüğü görülmektedir. Bu değer kötü kabul edilmese de optimumun altında kalmaktadır.

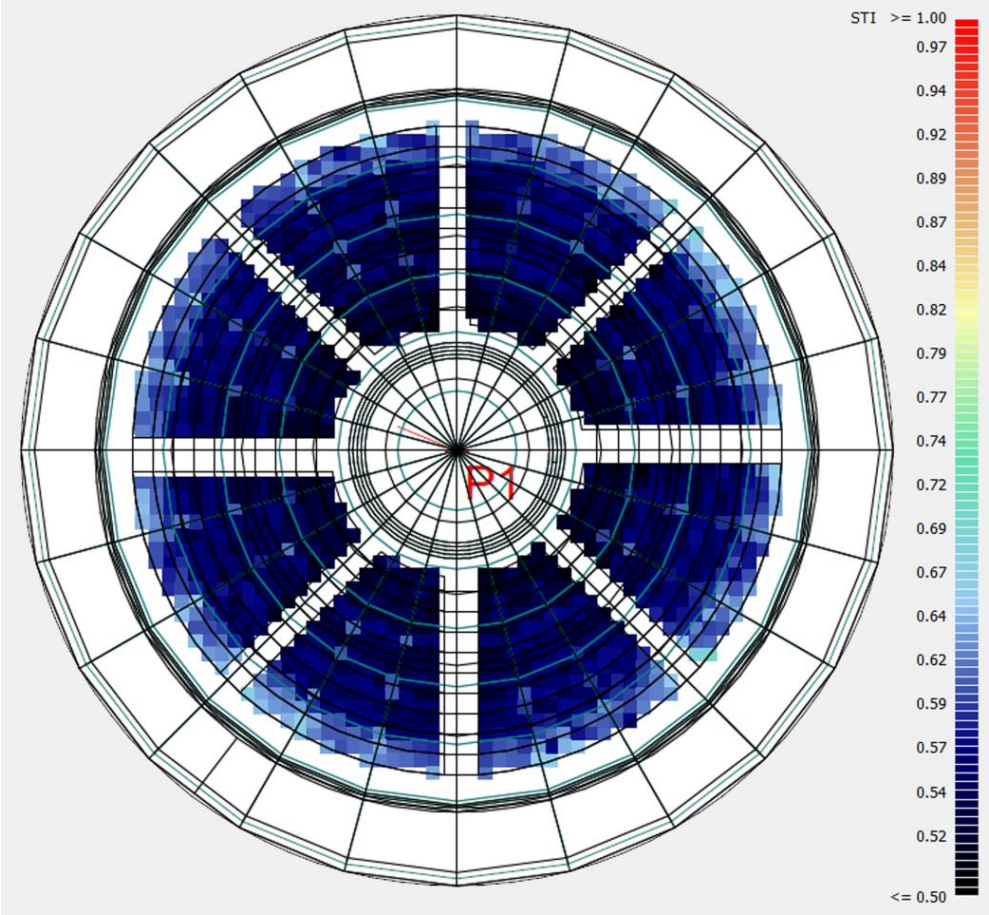


Şekil 5.52 : Salon 1 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri.



Şekil 5.53 : Salon 1 için alıcı noktalarındaki STI değerleri.

Şekil 5.53'te alıcı noktalarındaki STI değerleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında değerler arasında bir denge olduğu ve STI değerlerinin sahnenin önünden salonun arkasına doğru arttığı görülmektedir. Bu durumun sebebi salonun arkasında yer alan alıcı noktalarına tavan ve arka duvardan iletilen ses yansımalarına bağlanabilir. **Şekil 5.54**'te salon 1 için STI parametresi grid analizi verilmiştir ve bu şekilden de anlatılanlar doğrulanmaktadır. Salonun orta kısımlarında tavandan gelen yansımaları alan belli noktalarda STI değerinin arttığı görülmektedir.

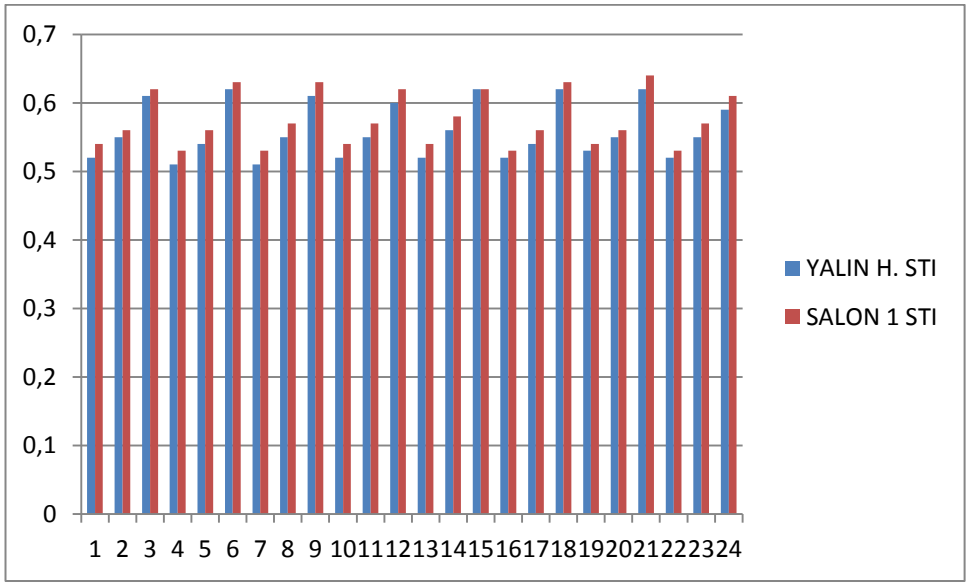


Şekil 5.54 : Salon 1 için grid analizi ile STI değeri.

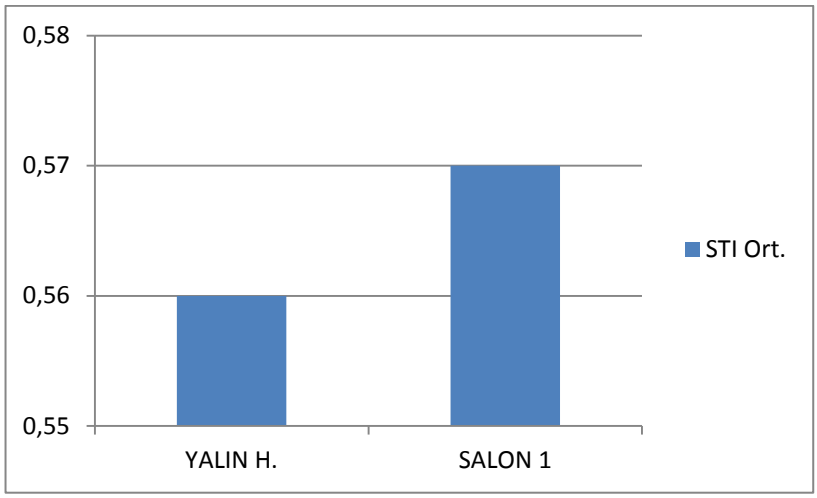
Salon 1 yalın hali ile akustik kontrol uygulanmış halinin STI parametresi karşılaştırması

Şekil 5.55'te salon 1 ve yalın halinin alıcı noktalarındaki STI değerlerinin karşılaştırıldığı grafik ve **Şekil 5.56**'da salon 1 ve yalın halinin ortalama STI değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Grafikler incelendiğinde salon 1'deki STI değerlerinin salonun yalın haliyle birbirine çok yakın olduğu görülmektedir, hatta neredeyse aynıdır denilebilir. Ancak salon 1'in değerleri ufak

bir farkla fazladır. Eğer oluşan bu farkın nedeni açıklanırsa, salona akustik kontrol amacıyla uygulanan malzemeler sayesinde salondaki yansıtıcılık, saçıcılık ve yutuculukların salon içinde doğru yapı elemanlarında konumlanmasına bağlanabilir.



Şekil 5.55 : Salon 1 ve yalın halinin alıcılarda STI karşılaştırması.



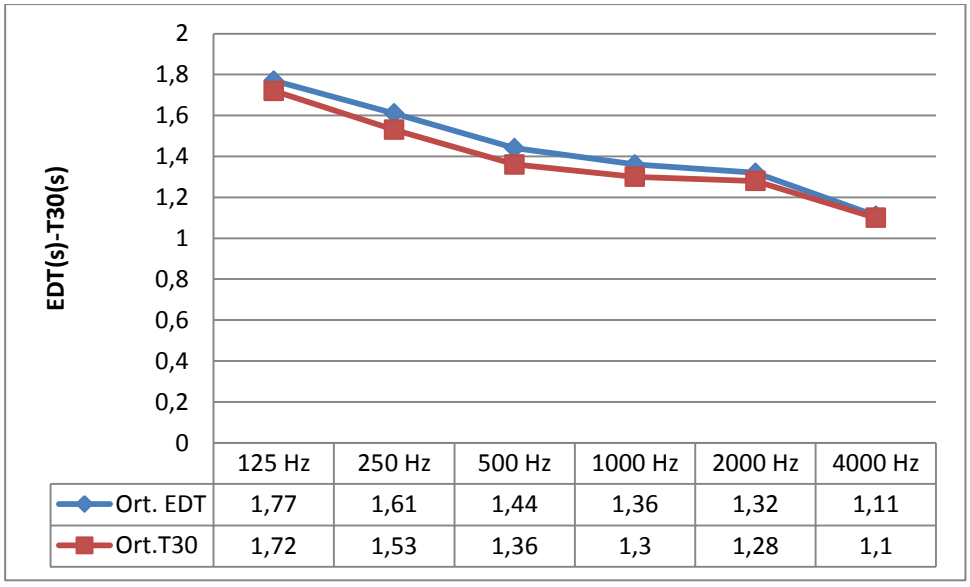
Şekil 5.56 : Salon 1 ve yalın halinin ortalama STI değerlerinin karşılaştırması.

5.2.2 Salon 2 için alıcılar bazında parametrelerin değerlendirilmesi, salon 2 ve salon 1'in karşılaştırması

5.2.2.1 Çınlama süresi (T) ve erken düşme süresi (EDT)

Bölüm 4.1.1'de ve **bölüm 4.1.2**'de anlatılanlardan yola çıkıldığında ve çınlama süresi – hacim ilişkisini veren grafik olan **Şekil 4.4**'ten yararlanıldığında istenen çınlama süresi 1,35 – 2 sn aralığındadır. Literatürde de belirtildiği gibi EDT ve T30 parametreleri arasındaki ilişkide EDT'nin T30'dan müzik için %10 daha fazla

olması, konuşma içinse T30'a eşit olması iyi bir akustik için gereklidir. Analizler sonucu elde edilen T30 ve EDT değerlerine bakılarak salonun çınlama karakteriyle ilgili yorumlarda bulunulabilir ve sesin ilk azalma bölümünü inceleyen EDT parametresi sayesinde de salondaki konuşma anlaşılırlığı ve müzikte tonun tokluğu yorumları çıkarılabilir. Salon 2 için 1000 Hz'deki bu parametreler karşılaştırıldığında salonda yerleştirilen 24 alıcı noktasından çoğunda EDT>T30 değerleri sağlanabilmiştir. Bu durum alıcıların erken yansımaları alabildiğini göstermektedir. **Şekil 5.57**'de salon 2 için ortalama T30 ve EDT değerleri verilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü üzere salon genelinde EDT>T30 sağlandığı görülmektedir

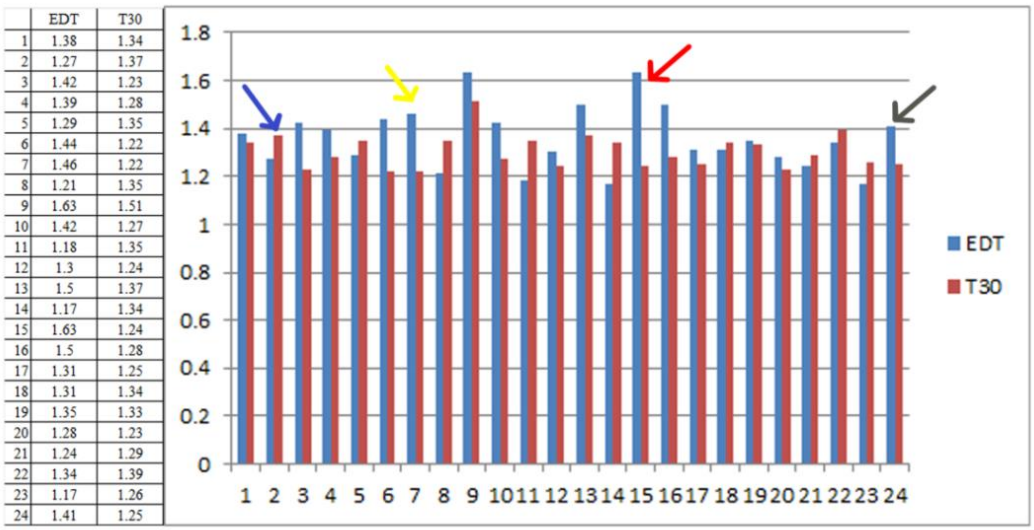


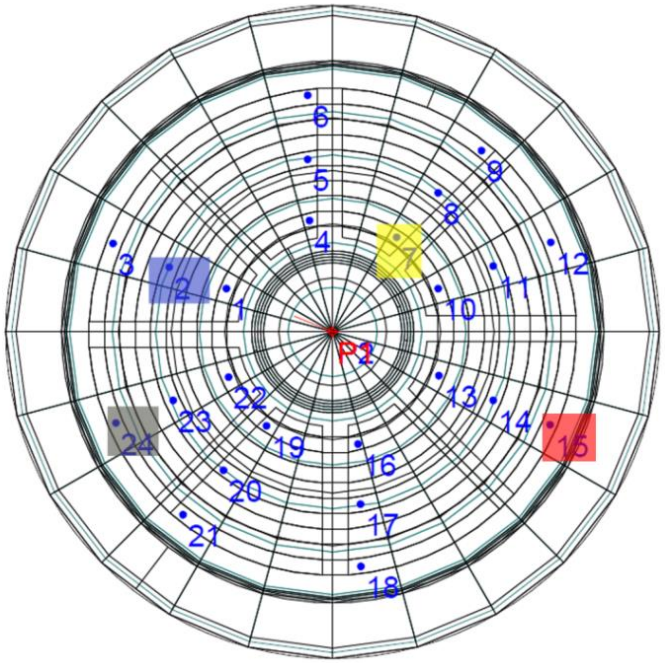
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ort. EDT	1,77	1,61	1,44	1,36	1,32	1,11
Ort.T30	1,72	1,53	1,36	1,3	1,28	1,1

Şekil 5.57 : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 değerleri.

Şekil 5.58'de salon 2 için alıcı noktalarında EDT ve T30 değerleri verilmiştir. Alıcı 2, 7, 15 ve 24 irdelenmiştir. EDT-T30 ilişkisi bakımından bu noktalar kritik olarak belirlenmiştir. Salonun genelinde bir değerlendirme yapabilmek amacıyla salonun ön, orta ve arka kısımlarından alıcılar alınmaya çalışılmış ve bu bölgelerdeki alıcıların parametrelerde verdiği değerler benzer olmuştur. Bu durumun salon genelinde sağlandığını göstermek adına alıcılar birbirinin ardı sıra yerleştirilmiş düzenli alıcı sırasının dışında, dağınık olarak seçilmiş ve EDT-T30 ilişkisi bakımından optimum ve optimumun dışında sayılan değerlerin olduğu alıcılar belirlenmiştir. Salon genelinde sahne önünde yer alan alıcılara bakıldığında EDT>T30 durumunun sağlandığı görülmektedir. EDT sesin ilk bölümünün düşüşünü inceler. Bu değerin T30'dan büyük olması bu noktada erken enerjinin düşüşünün daha uzun olduğu anlamına gelir.

	EDT	T30
1	1.38	1.34
2	1.27	1.37
3	1.42	1.23
4	1.39	1.28
5	1.29	1.35
6	1.44	1.22
7	1.46	1.22
8	1.21	1.35
9	1.63	1.51
10	1.42	1.27
11	1.18	1.35
12	1.3	1.24
13	1.5	1.37
14	1.17	1.34
15	1.63	1.24
16	1.5	1.28
17	1.31	1.25
18	1.31	1.34
19	1.35	1.33
20	1.28	1.23
21	1.24	1.29
22	1.34	1.39
23	1.17	1.26
24	1.41	1.25



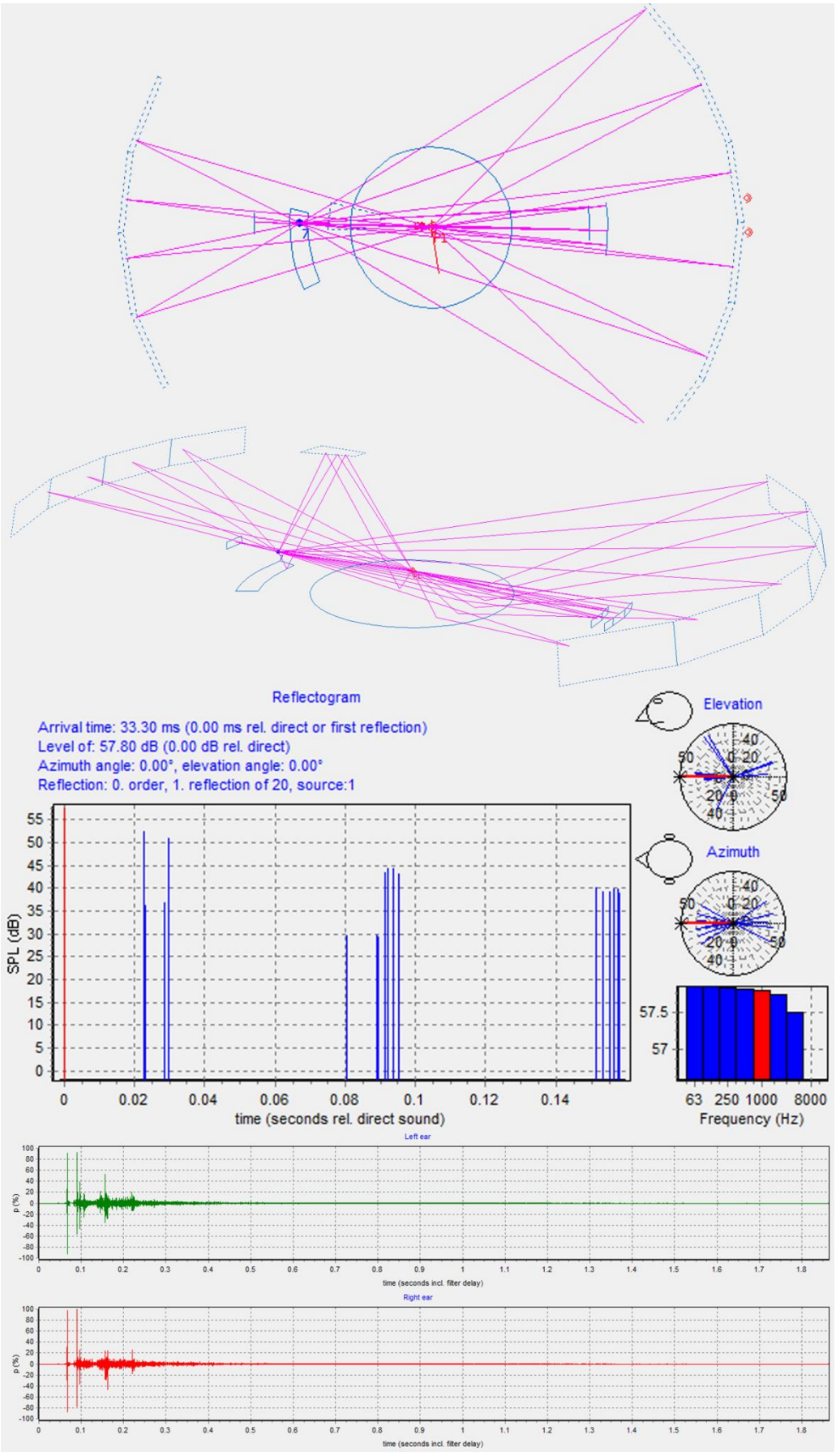


Şekil 5.58 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki EDT-T30 değerleri.

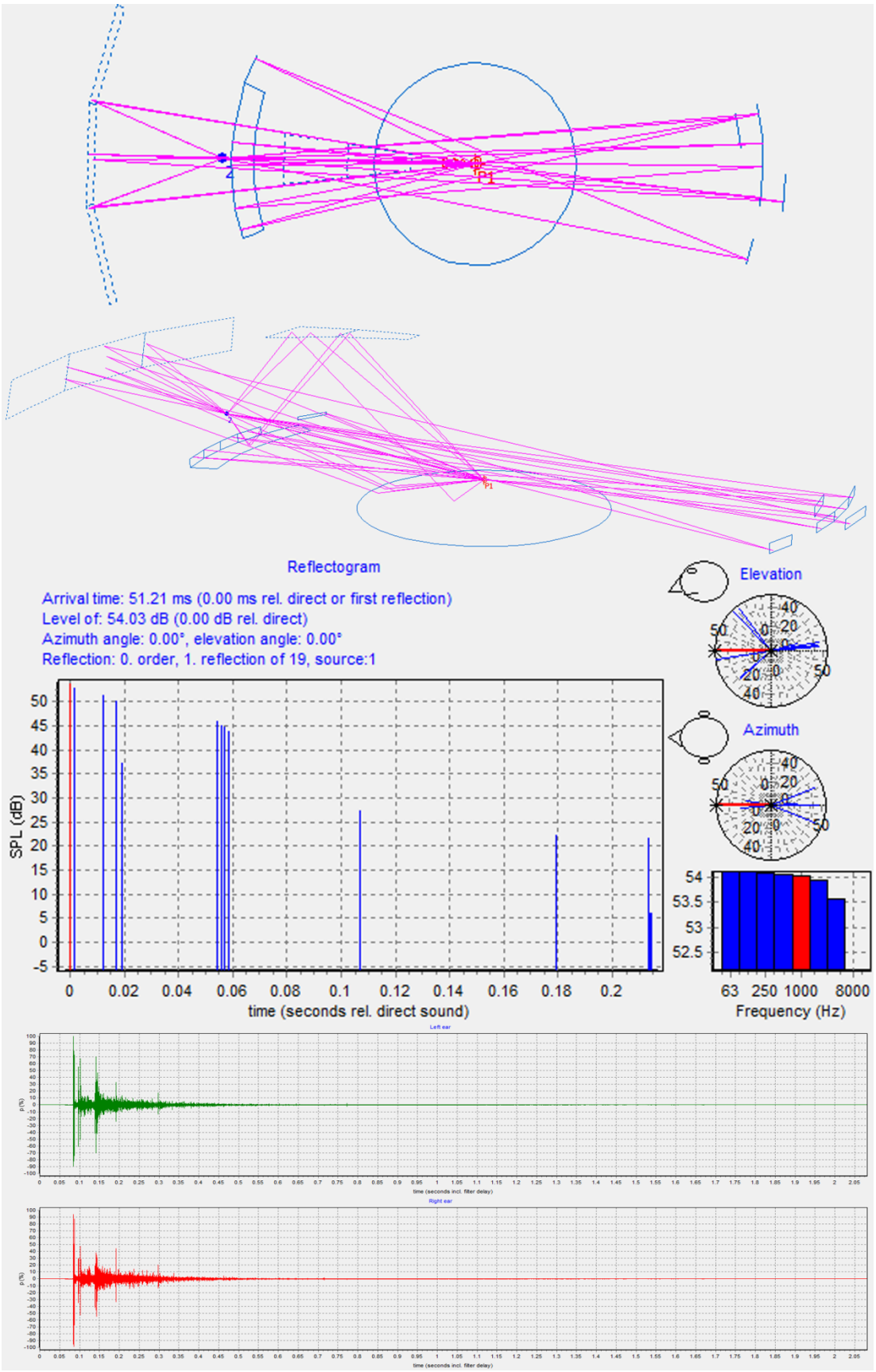
Alıcı 7'de EDT>T30 sağlanmıştır, ses burada daha uzun sürede düşüş gerçekleştirmiştir. Bunun nedeni alıcı burada sesin yutularak aniden düşmesine neden olacak bir yutuculuğun burada olmamasına bağlanabilir. Sahne önündeki diğer alıcı noktaları 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 da alıcı 22 ile benzerlik göstermektedir. Bu noktalarda konuşma açısından bakıldığında ilk 50 ms içinde gelen yansımaların anlaşılırlığa katkı sağlaması, 50 ms'den sonra gelenlerde ise anlaşılırlığın azalması beklenir. **Şekil 5.59**'da alıcı 7 için enerji diyagramı ve bu noktaya gelen ışın analizleri verilmiştir. Bu diyagram ve analizlere bakılarak 80 ms'den sonra arka yüzeylerden gelen yansımaların yoğunluğunun çınlamayı artırması beklenir. Geç

enerjinin fazlalığı çınlamanın artmasına dolayısıyla da seste tonun tokluğunun artışına götürür. Bunun sonucunda da C_{80} değerlerinde bu nokta ve benzerleri için düşük değerler beklenir. Tonun tokluğu müzik için faydalı bir özelliktir, ancak konuşmanın anlaşılırlığının düşmesine neden olur. Sahne önünde yer alan alıcı 7'de ise arka duvarlardan yansıyarak salon geometrisi nedeniyle salonun ortasına dönen geç yansımaların yoğunluğu artmıştır. **Şekil 5.59**'da verilen enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda ses basınç analizi grafiğinde bu durum görülmektedir. Artan geç yansımaların etkisiyle buradaki ve sahne önündeki diğer noktalardaki C_{80} değeri salon genelinde en düşük değerdedir. Yani salonun bu bölgeleri daha fazla çınlayan özellik taşımaktadır. Buna bağlı olarak bu konumdaki alıcılarda tonun tokluğunun artması, konuşma anlaşılırlığının düşmesi beklenir. Alıcıya karşı tarafından gelen yansımalar ilk saniye içinde kulaklar arasında fark oluşturmamış ancak daha sonraki saniyelerd sol tarafından gelen yanal yansımalar sol kulaktaki basıncı yükseltmiştir. Sesin arka duvarlardan yansıyarak salonun ortasında odaklanması sahneye yakın alıcılarda da etkisini göstermektedir. Arka duvardan yansıyıp alıcı 7'de odaklanan gecikmiş yansımalar alıcıda ekoya neden olmaktadır. Bu durum kulakta oluşan ses basıncı grafiğindeki ani yükselişlerden de görülmektedir.

Alıcı 2'deki T30>EDT durumu buradaki erken yansımaların yoğunluğunun az olduğunu gösterir. Konuşma açısından incelendiğinde ilk 50 ms içindeki erken ışınların azlığıyla burada anlaşılırlığın azalması beklenir. **Şekil 5.60**'da bu alıcı için verilen enerji diyagramı ve ışın analizine bakıldığında erken enerjinin (ilk 50 ms içindeki enerjinin) az olduğu 50.ms'den sonra arka yüzeylerden gelen yansımaların yoğunluğu ile karşılaştırıldığında görülmektedir. Ancak alıcı 7 ile benzer enerji değerleri alınmıştır. Alıcı 7'nin alıcı 2'den uzun EDT değerlerine sahip olmasının nedeni 7'de erken yansımaların sonuncu ışınının 30.ms'de gelmesi, 2'de ise 20.ms'de gelmesi ve bu farkın alıcı 7 için EDT süresini uzatmasına bağlanabilir. (bu ms'den sonra alıcı 2'de EDT süresi içinde düşecek ses enerjisini yükseltecek ışın yoktur).



Şekil 5.59 : Salon 2'de alıcı 7 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.

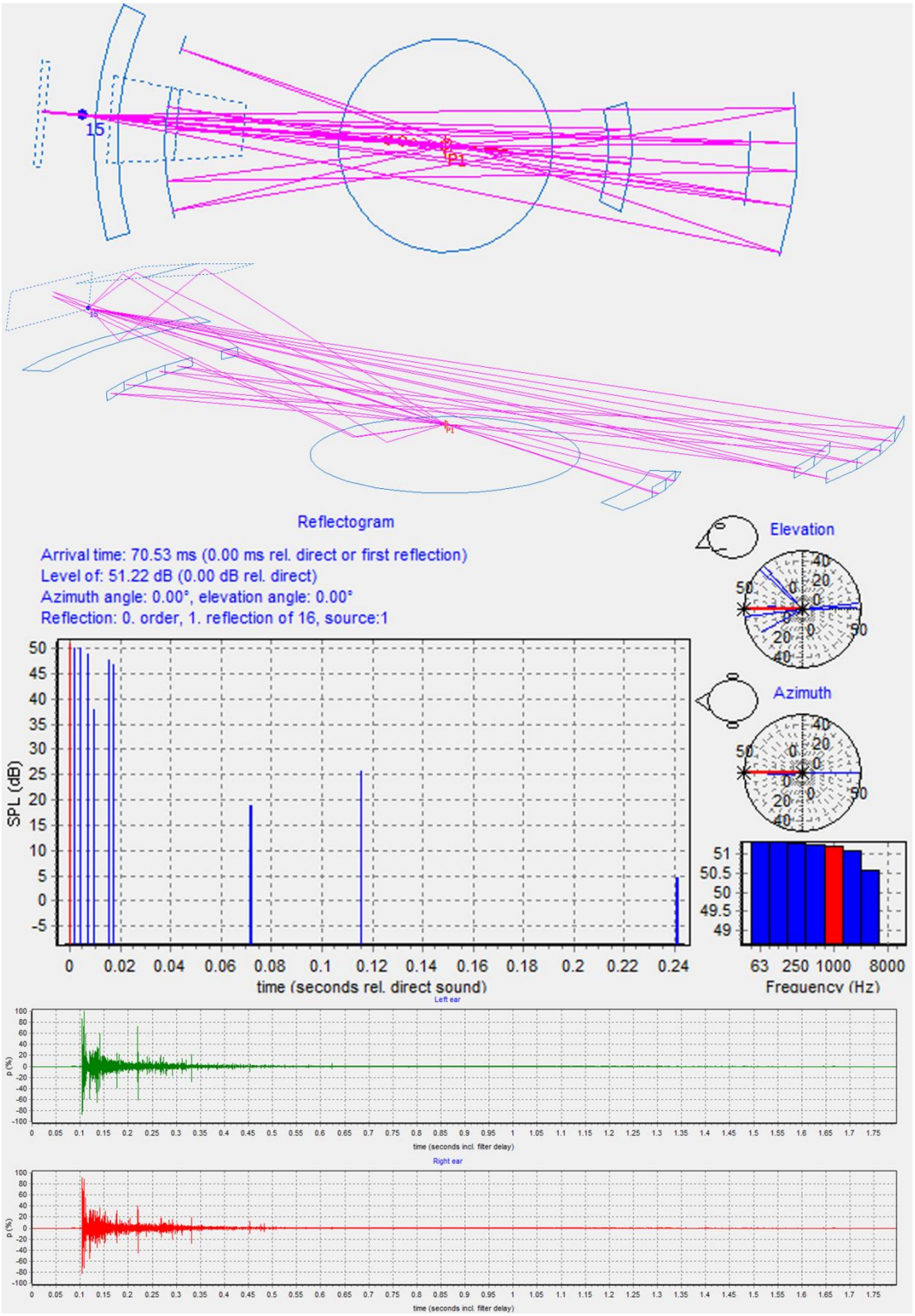


Şekil 5.60 : Salon 2'de alıcı 2 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.

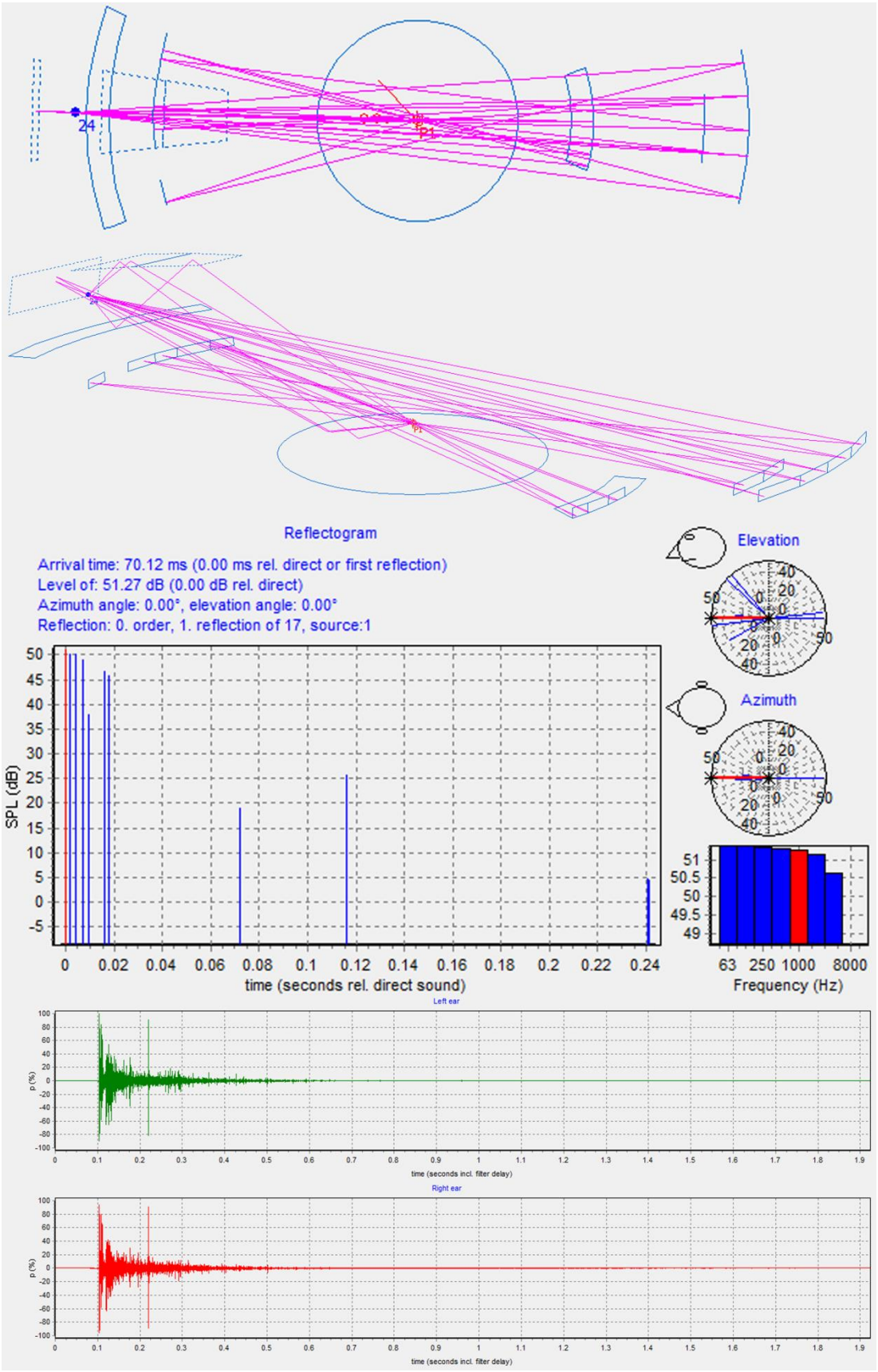
Alıcı 24'te EDT>T30 durumu sağlanmıştır ve optimuma en yakın durum bu alıcıdadır. EDT değerinin yüksek olması ile erken enerjinin yüksek olduğu söylenebilir. Erken enerjinin fazla olması konuşmanın anlaşılırlığını arttırır. Salonda en arka sırada yer alan bir diğer alıcı 15'tir ve bu noktadaki EDT değeri alıcı 24'e oranla daha fazladır. **Şekil 5.61** ve **Şekil 5.62**'de alıcı 15 ve alıcı 24 için enerji diyagramları verilmiştir. Alıcıların erken enerji miktarları benzer görünmektedir, ancak alıcı 24'ün 80.ms civarında aldığı ışın miktarı alıcı 15'ten fazladır, diyagramda görülmektedir. Oluşan farkın sebebi alıcı 24'ün salonun karşısından aldığı ışının alıcı 15'ten fazla olmasıdır. Dolayısıyla alıcı 24'te EDT süresi daha uzun sürmektedir.

Kulak analizi grafiklerinde direkt sesten sonra ulaşan seslerin ses basınç düzeylerinin giderek azalması ideal durumdur. Değer çizgilerinde ani yükselişler eko göstergesidir. Çınlama düşüş eğrisinin düzgün olmamasının da sebepleridir. Alıcılar için verilen kulak analizi grafikleri incelendiğinde direkt sesten sonra gelen seslerde ilerleyen saniyelerde ani yükselişler görülmektedir. **Şekil 5.60** ve **Şekil 5.62**'de alıcı 2 ve alıcı 24 için enerji diyagramları ve sağ ve sol kulaklardaki ses basıncı grafiğine bakıldığında kulaklardaki ses basıncı düzensizliğine neden olan geç gelen enerjinin kulaklarda fark edilir etkiler oluşturduğu, özellikle alıcı 24'te kulaklarda 2.s'de eko oluşturacak bir yükseklik olduğu görülmektedir. Sağ kulak ve sol kulak arasındaki oluşan farklar kulaklara yansımaların geldiği yönle ilgilidir. Alıcıya sağ tarafından gelen yanal yansıma sağ kulağın basıncının sol kulaktan fazla olmasına neden olur. Alıcı 2 için **Şekil 5.60**'ta verilen enerji diyagramı ve sağ-sol kulaktaki ses basınç grafiği ile alıcının sağ ve sol kulağı arasında fark olduğu görülür. Kulaklara doğrudan sesten sonra gelen basınç çizgilerine bakıldığında 1.s'den sonra gelen yansımada sol kulak için olan çizgilerin basınç değeri daha yüksektir ve bu durum kulaklara ulaşan yanal yansımaların geldiği yönle ilgilidir. Sol kulaktaki daha fazla olan basınç düzeyi sol kulak yönüne daha yakın bir yansımanın geldiği anlamındadır. 2.s'ye yakın olan diğer yükseliş çizgisinin sağ kulakta daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. bunun anlamı alıcıya sağ tarafından gelen bir yansımanın olmasıdır. Enerji diyagramında alıcıyı temsil eden grafiklerden yansıma yönlerine bakıldığında sol arkadan gelen ve sağ arkadan gelen yansımaların olduğu görülmektedir. Alıcı 15 için verilen **Şekil 5.61**'deki kulak analiz grafiği incelendiğinde burada da işitme çizgilerinde eko göstergesi olan yükseliş noktalarının varlığı görülmektedir. Alıcılardaki bu ani yükselişlerin nedeni plandaki ışın analizlerinden de görüldüğü

gibi arka duvardan yansıyan geç enerjinin alıcılarda odaklanması ve burada ses yüksekliğini artırmasıdır.



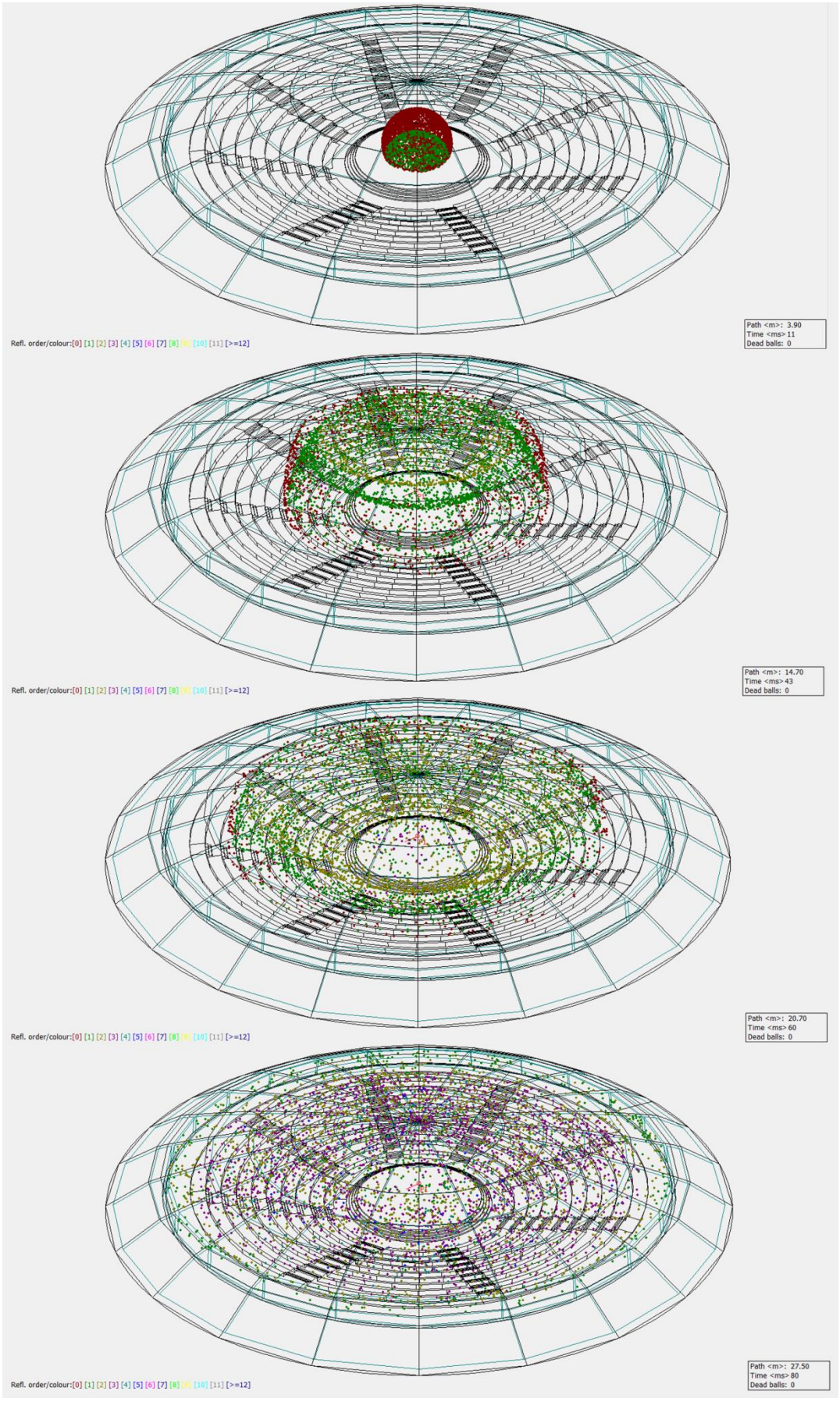
Şekil 5.61 : Salon 2'de alıcı 15 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.



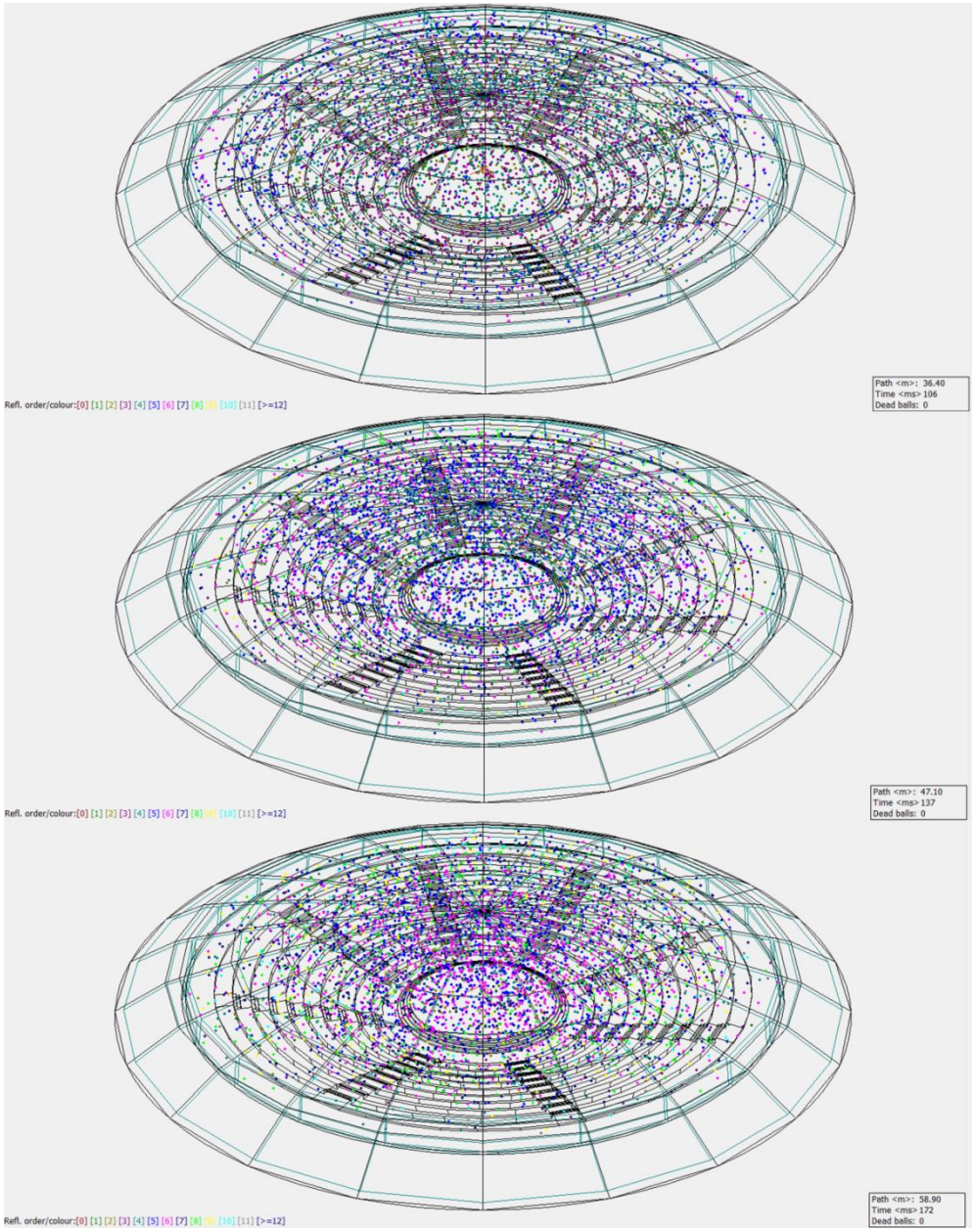
Şekil 5.62 : Salon 2'de alıcı 24 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.

Şekil 5.63'te salon 2'de noktasal direkt ses ve 11., 43., 60. ve 80. milisaniyedelerdeki noktasal dağılımı verilmiştir. **Şekil 5.63** incelendiğinde sesin salon içinde homojen bir biçimde, hiçbir yere odaklanmadan dağıldığı görülmektedir. Bu durum tavan formunun odaklanma üretmeyecek şekilde seçilmiş olmasıdır. Ancak daha ileriki yansıma saniyelerinde bu durum değişmektedir. **Şekil 5.64**'te salon 1'de 106., 137. ve 172. milisaniyelerdeki noktasal dağılım verilmiştir. **Şekil 5.64** incelendiğinde salon 2'de arka duvardan yansıyan ışınların salonun ortasına dönüp toplandığı, yani, odaklandığı söylenebilir. Bu durum arka duvarın tamamen içbükey olmasının bir sonucudur ve sahneye yakın noktalardaki geç enerji fazlalığını açıklamaktadır. Dolayısıyla sahneye yakın alıcılarda çınlayan enerji daha yüksektir ve bunun sonucu olarak da bu noktalarda arka sıralara göre konuşma anlaşılırlığının daha düşük, müzikte tonun tokluğu hissinin daha fazla olması beklenmektedir.

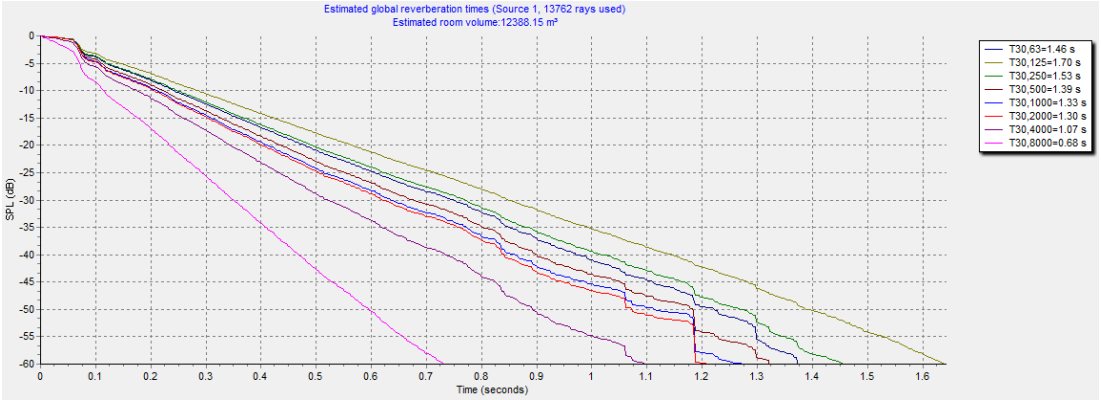
Şekil 5.65'te salon 2 için çınlama düşüş eğrisi verilmiştir. Grafik incelendiğinde ilk 30 dB'lik düşüş bölümündeki eğrilerin daha sonraki düşüş eğrilerinden daha düzgün olduğu görülmektedir. **Şekil 5.63** ve **Şekil 5.64**'te verilen noktasal ışın analizleri grafiklerinden de analiz edildiği gibi tavandan gerçekleşen yansımaların salonda herhangi bir odaklanma veya ekoya neden olmadığı ancak arka duvar yansımalarından sonra duvarların içbükey olmasının bir sonucu olarak salon içinde odaklanmalar ve ekolar oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu kusurlar etki etmeye başladıkları ilerleyen saniyelerden itibaren çınlama düşüş eğrisini bozmaktadır.



Şekil 5.63 : 11., 43., 60., 80. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri.

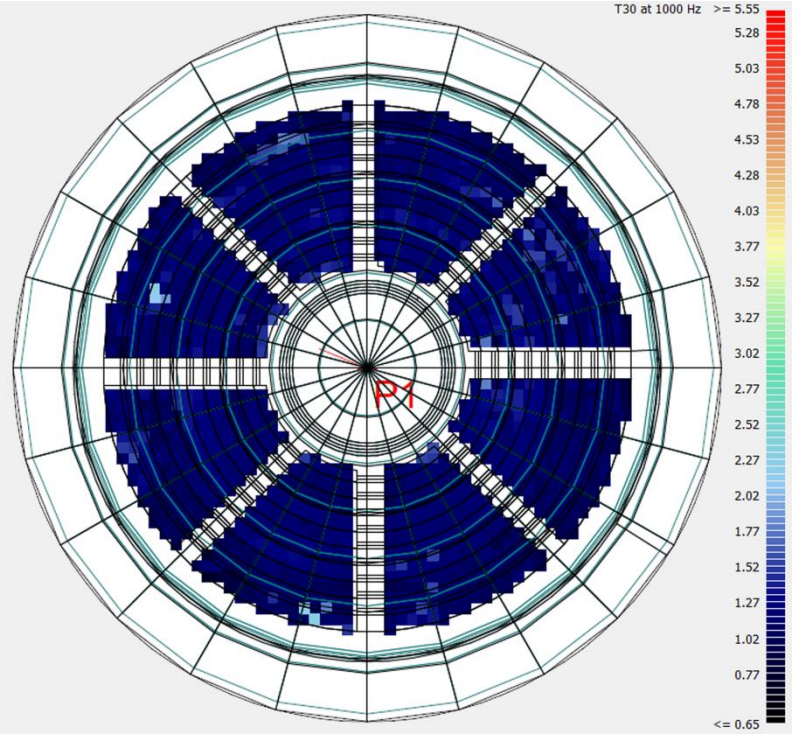


Şekil 5.64 : 106., 137., 172. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri.

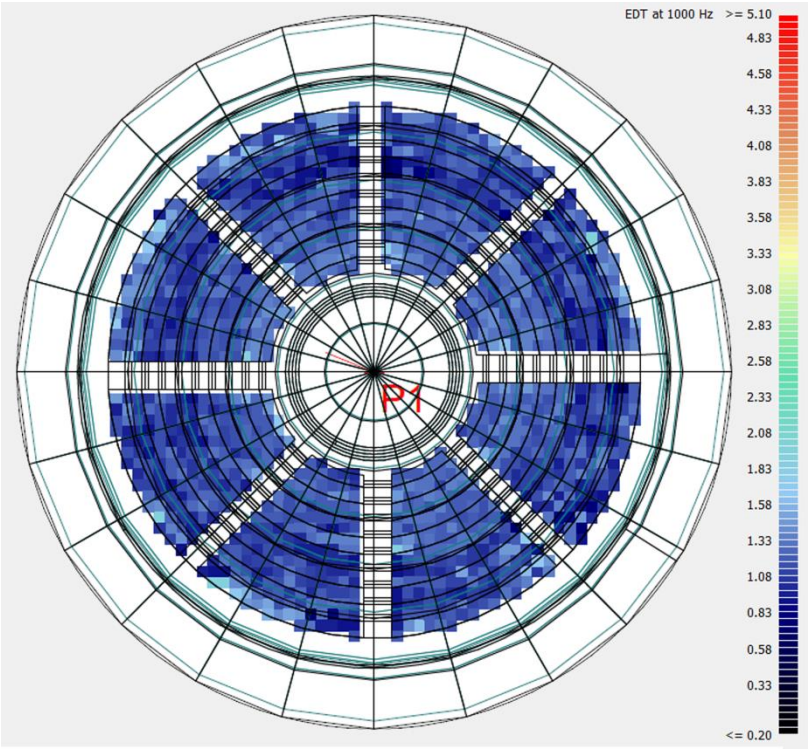


Şekil 5.65 : Salon 2 için çınlama düşüş eğrisi.

Şekil 5.66 ve **Şekil 5.67**'de salon 2 için 1000 Hz'deki T30 ve EDT grid analizleri yer almaktadır. Alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmeler şekillerde yer alan gridler üzerinden de söylenebilir.



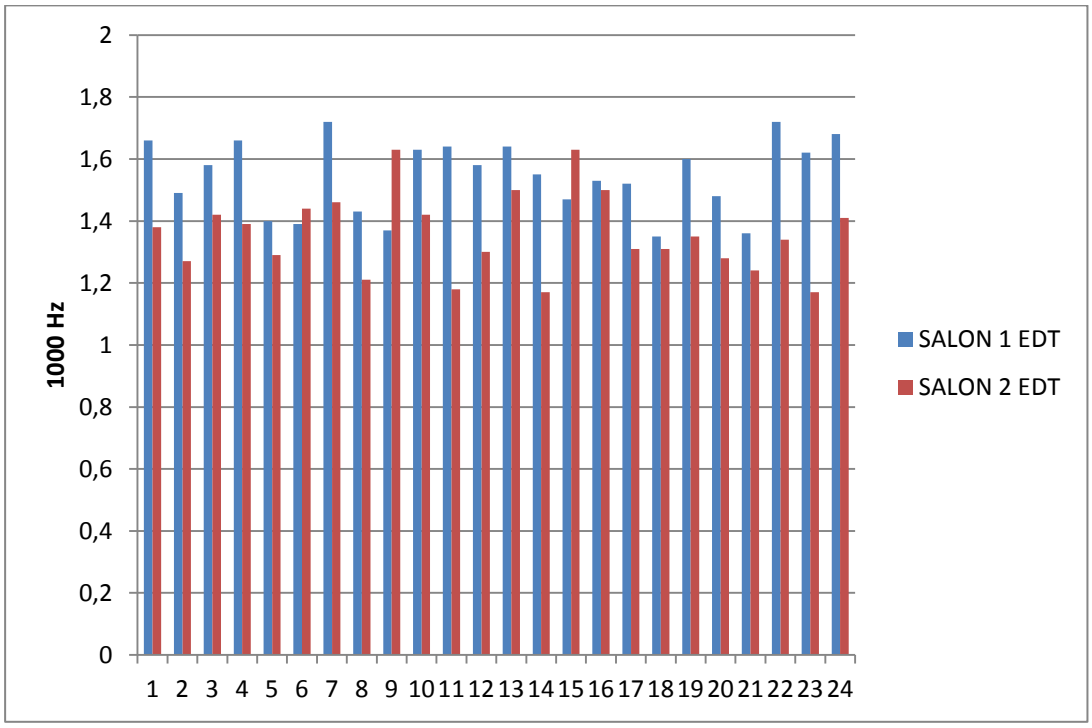
Şekil 5.66 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de T30 değeri.



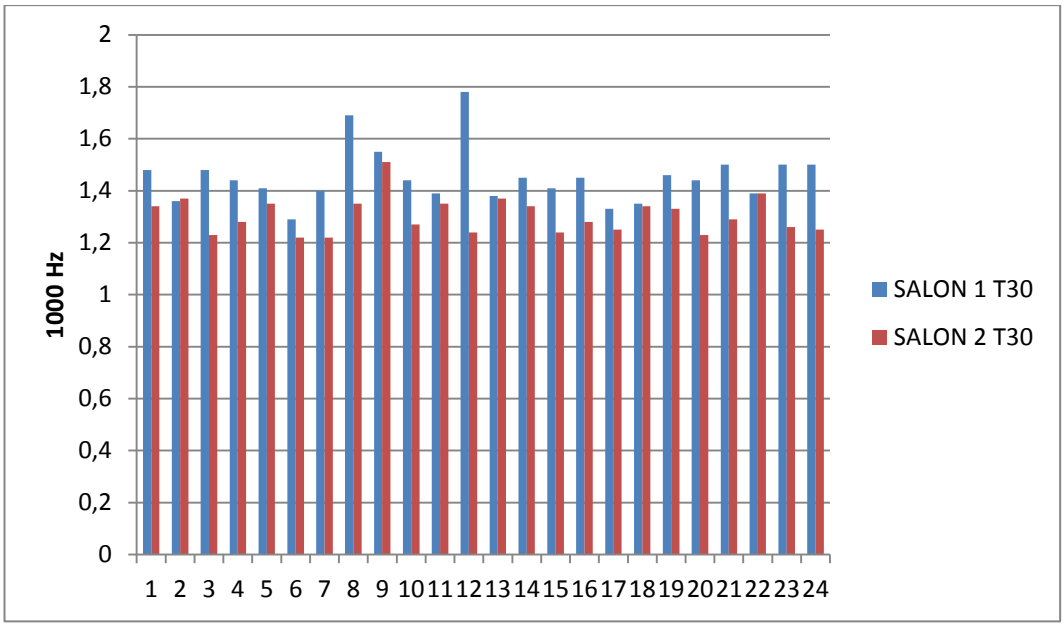
Şekil 5.67 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de EDT değeri.

Salon 2 ve salon 1 zemin eğimi farkının T30-EDT parametreleri bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

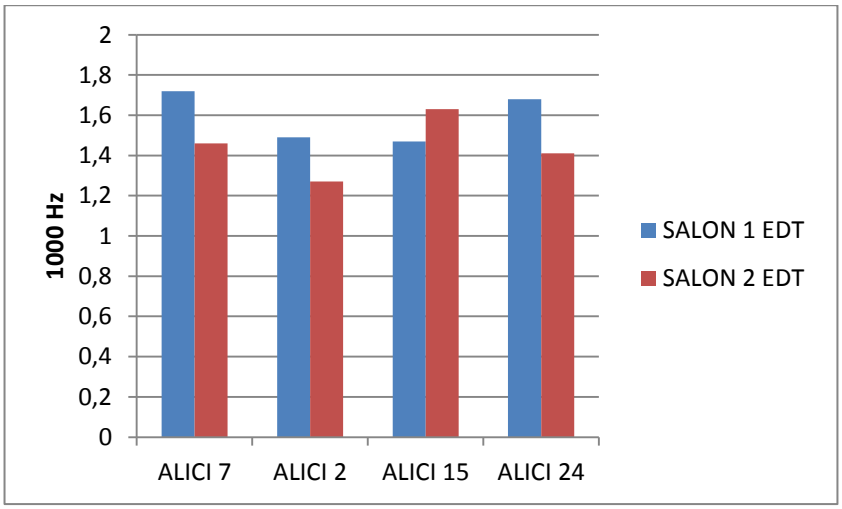
Şekil 5.68 ve **Şekil 5.69**'da salon 1 ve salon 2'nin EDT ve T30 değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafikleri yer almaktadır. EDT için verilen grafiğin geneline bakıldığında alıcıların çoğunda salon 2'deki EDT değerlerinin salon 1'deki değerlerden daha düşük görülmektedir. Yani sesin erken bölümünün sönümlenmesi daha çabuk olmaktadır. Bunun nedeni toplam yüzey alanı olarak dinleyici alanının artmasına ve yutuculuğun artmasına bağlanabilir. T30 için verilen grafikte de salon 2 genelinde T30 değerlerinin düştüğü görülmektedir. Eğimin artışıyla hacim miktarı arttığı halde T30 değeri düşmüştür, bu durum yutuculuğun arttığının bir kanıtıdır. Bu bağlamda salon 2'de kritik olarak belirlenen alıcı noktaları olan alıcı 2, alıcı 7, alıcı 15 ve alıcı 24'teki EDT ve T30 değişimi **Şekil 5.70** ve **Şekil 5.71**'de verilmiştir. Buradaki verilerden de yola çıkılarak salon genelindeki T30 değerlerinde düşüş yaşandığı görülür. Çınlama süresinin salonda düşüş göstermesinin netlik parametresi değerlerini artırması beklenir.



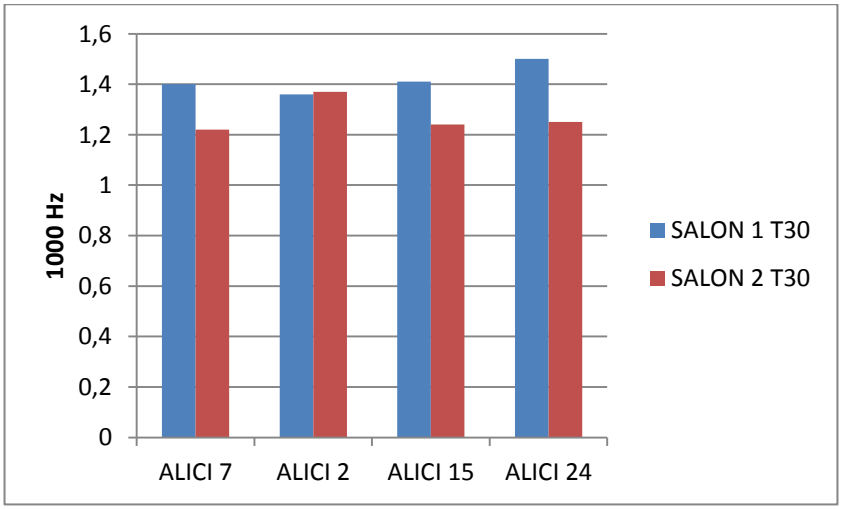
Şekil 5.68 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında EDT karşılaştırması.



Şekil 5.69 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında T30 karşılaştırması.



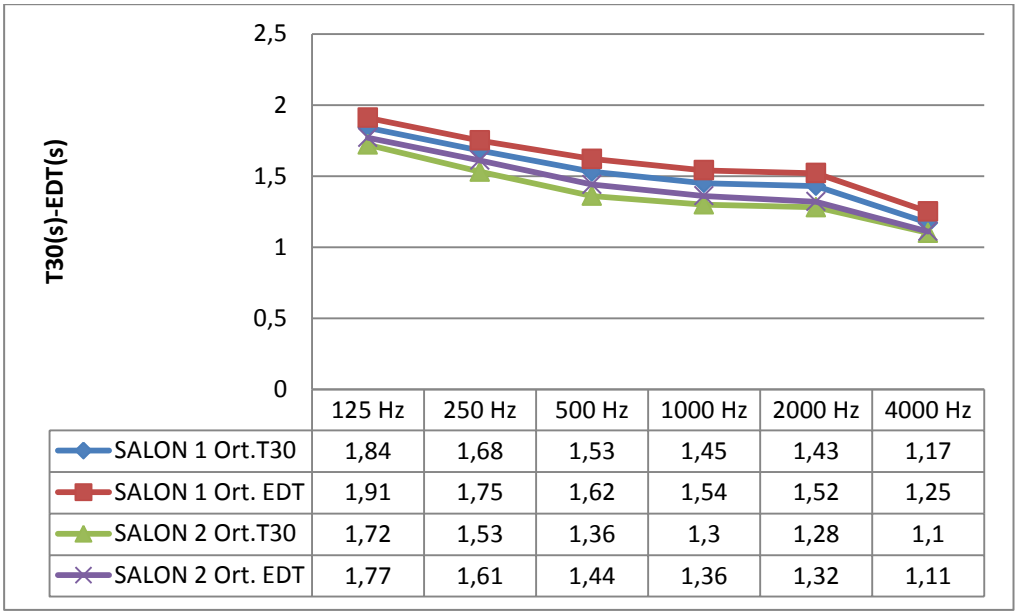
Şekil 5.70 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda EDT karşılaştırması.



Şekil 5.71 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda T30 karşılaştırması.

Şekil 5.65'te verilen salon 2 için çınlama düşüş eğrisi ile **Şekil 5.20**'de verilen salon 1 için çınlama düşüş eğrisi karşılaştırıldığında ilk 30 dB'lik düşüş bölümünde eğrilerin benzer olduğu ancak ilerleyen saniyelerde salon 2 eğrilerinin salon 1'e kıyasla daha bozuk olduğu görülmektedir. Bunun sebebi salonda artan eğimidir. Salon 2 alıcılarının ışın analizlerinde bu alıcıların arka duvardan odaklanmaya sebep olan daha fazla yansıma aldığı görülmektedir. Salon 1'de eğim daha düşüktür ve alıcıların arka duvarlardan aldıkları yansımalarda odaklanma etkisi salon 2 alıcılarından daha düşüktür. Dolayısıyla, salon 1 düşüş eğrisi ilerleyen saniyelerde daha düzgündür.

Şekil 5.72'de salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama T30 ve EDT ilişkilerinin grafikleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında zemin eğimi daha yüksek olan salon 2'de T30 ve EDT değerlerinin salon 1'e göre genel olarak düşük olduğu bir kez daha görülmektedir. Kritik alıcı noktalarının salon 1 ve salon 2 için karşılaştırmaları **Şekil 5.73**, **Şekil 5.74**, **Şekil 5.75** ve **Şekil 5.76**'da verilmiştir.

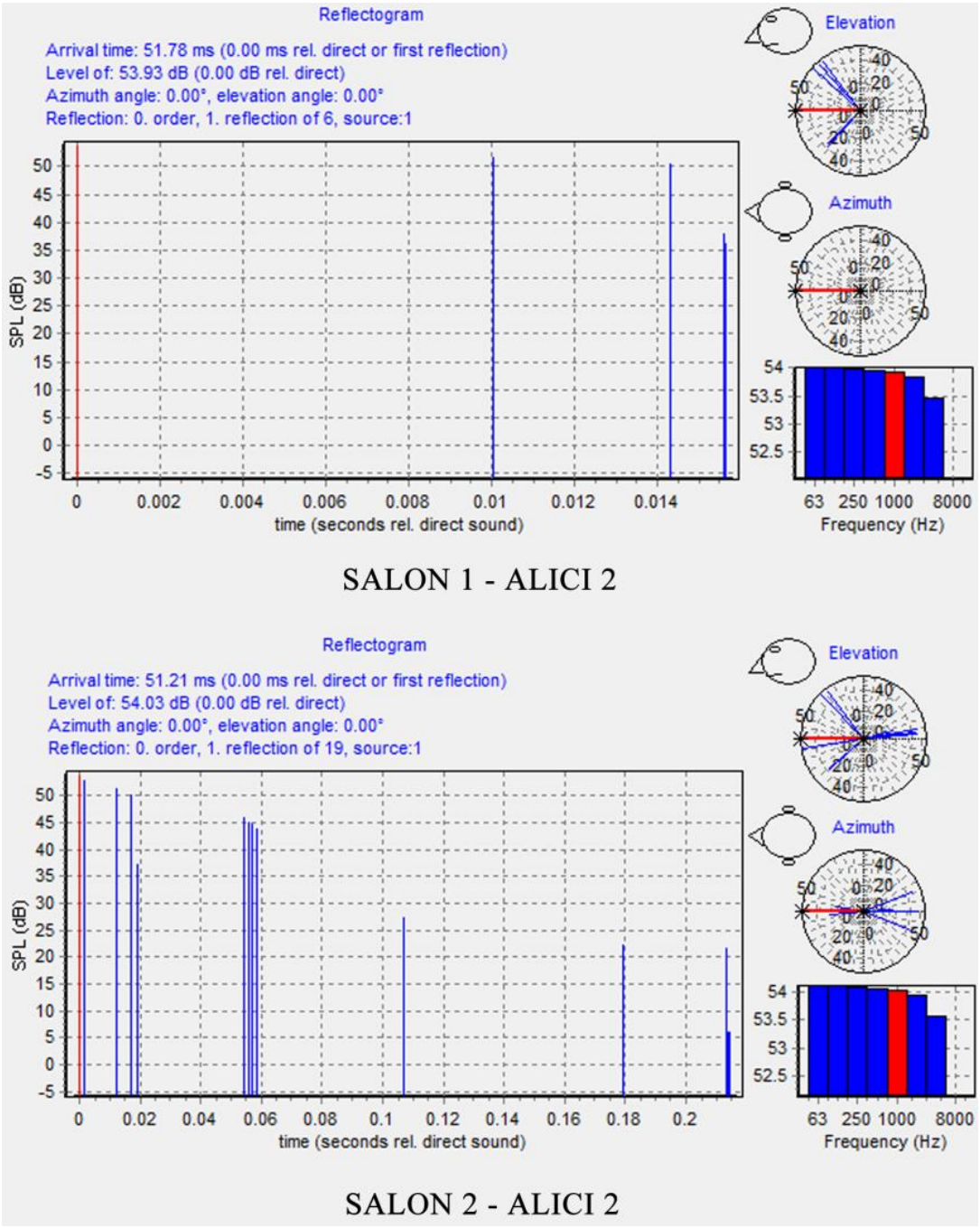


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 1 Ort.T30	1,84	1,68	1,53	1,45	1,43	1,17
SALON 1 Ort. EDT	1,91	1,75	1,62	1,54	1,52	1,25
SALON 2 Ort.T30	1,72	1,53	1,36	1,3	1,28	1,1
SALON 2 Ort. EDT	1,77	1,61	1,44	1,36	1,32	1,11

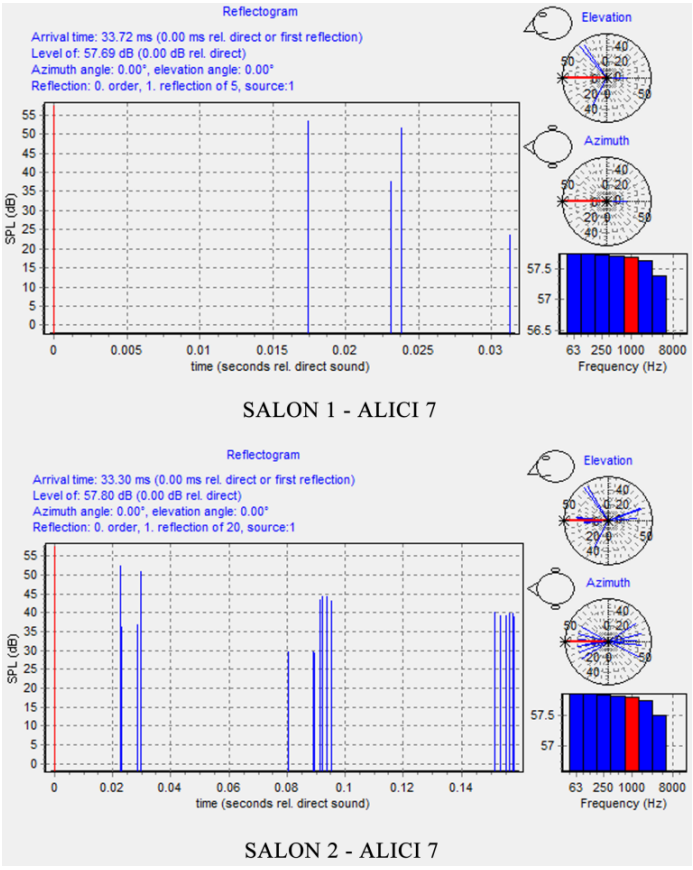
Şekil 5.72 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisi.

Salon genelinde EDT ve T30 değerleri daha düşük olsa da seçilen kritik alıcı noktalarının salon 1 ve salon 2'deki enerji diyagramları incelendiğinde alıcı 2, 7, 15 ve 24'ün hepsinde salon 2'deki enerji miktarlarında artış olduğu görülmektedir. Artan eğimin etkisiyle salonda "seat dip attenuation" etkisi, yani seyirci üzerinden geçen sesin yutulma miktarı azalmıştır. Bunun doğal bir sonucu olarak alıcılara gelen toplam ses enerjisi miktarlarında artış olmuştur. Enerji diyagramlarının karşılaştırmalarında da görüldüğü üzere salon 2'deki ilk gecikme zaman aralığı

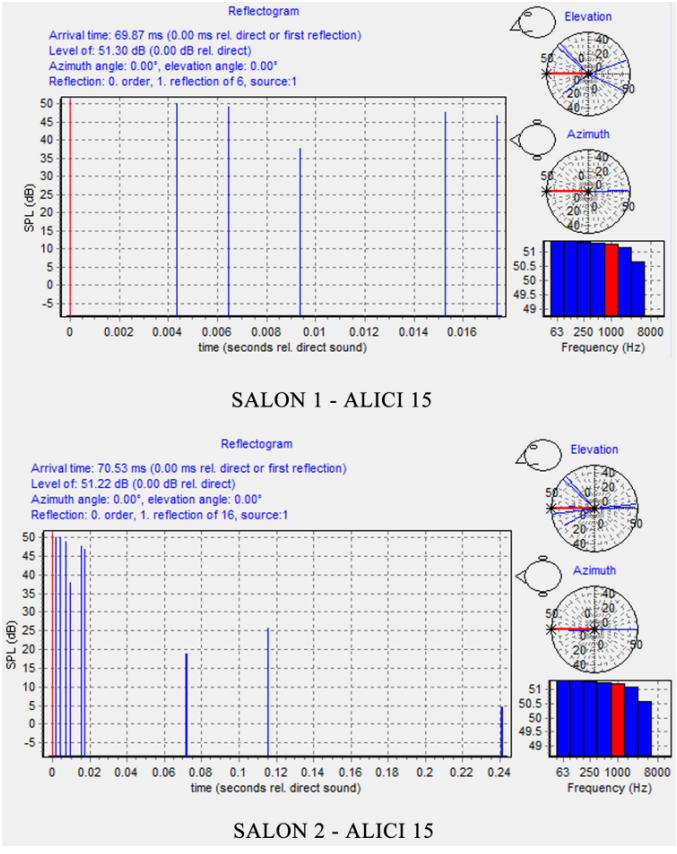
(ITDG), salon 1'deki ilk gecikme zaman aralığından daha düşüktür. Bu durum eğimin artmasıyla gerçekleşmiştir. ITDG'nin azalması dinleyicilerin salonu daha samimi algılamalarını sağlar, kendilerini salondaki performansa daha fazla dahil olmuş hissederler. Samimiyet salonlarda başarılı olarak sağlanması istenen bir sübjektif parametredir.



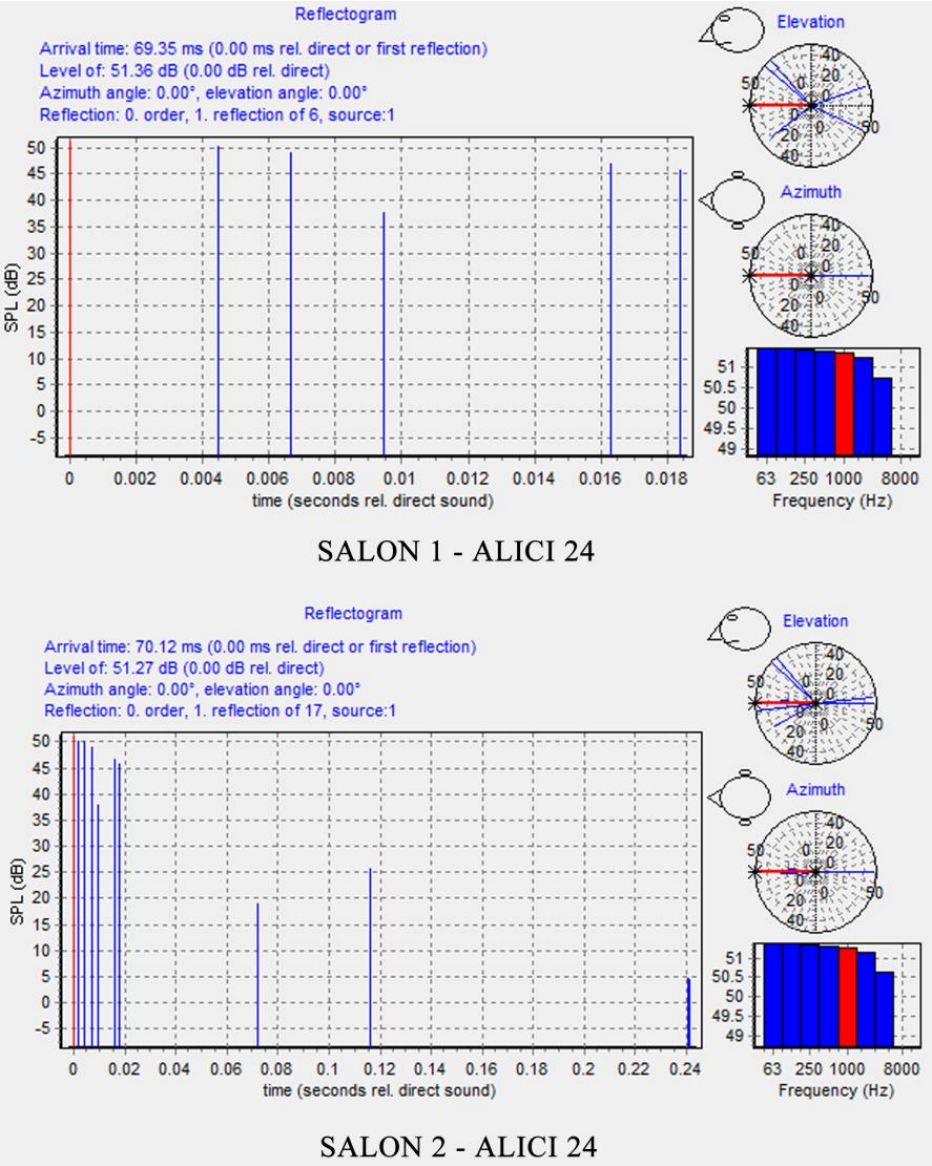
Şekil 5.73 : Salon 1 ve 2'de alıcı 2 için enerji karşılaştırması.



Şekil 5.74 : Salon 1 ve 2'de alıcı 7 için enerji karşılaştırması.



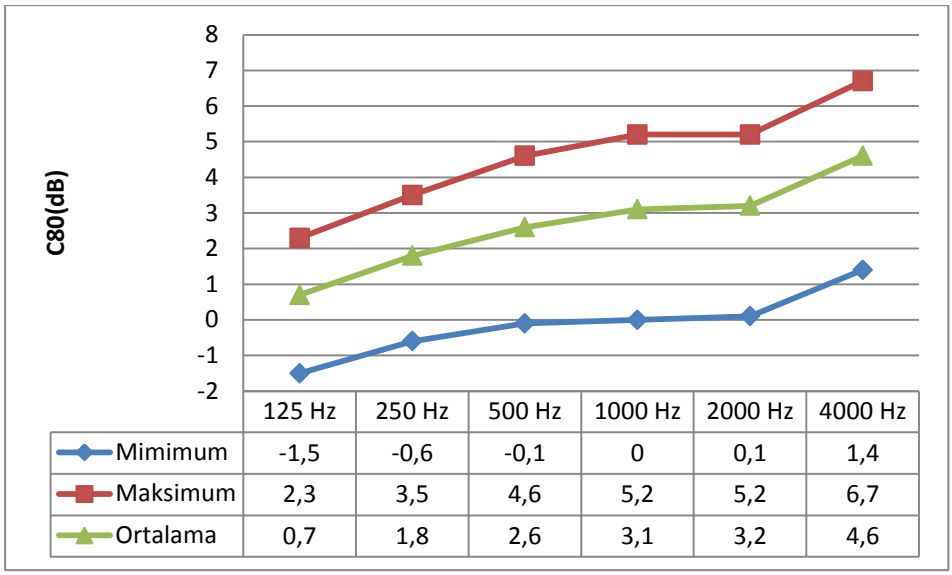
Şekil 5.75 : Salon 1 ve 2'de alıcı 15 için enerji karşılaştırması.



Şekil 5.76 : Salon 1 ve 2'de alıcı 24 için enerji karşılaştırması.

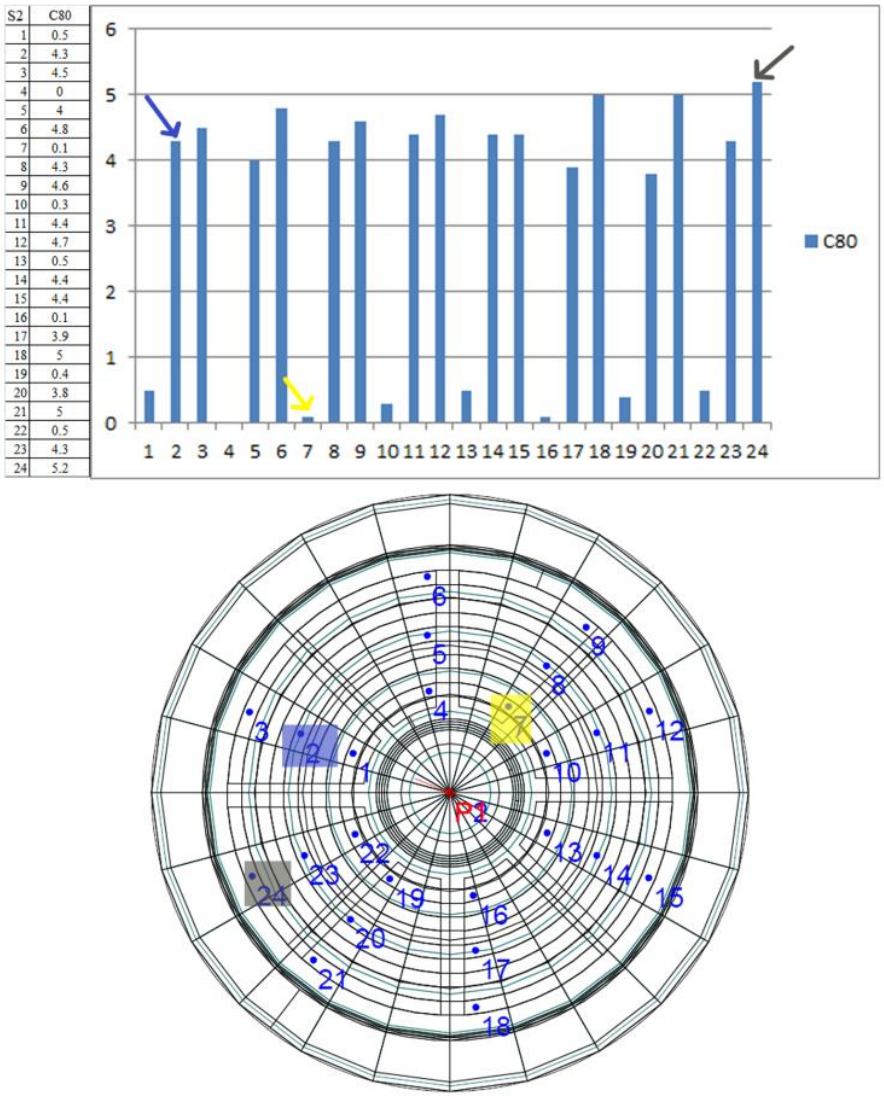
5.2.2.2 Netlik (C_{80})

Bölüm 4.1.11 altında anlatılanlar ve **Çizelge 4.2**'deki verilerden yola çıkılarak salonun genelinde ve alıcı noktaları bazında bir değerlendirme yapılabilmektedir, optimum aralık (-4) – (+4) arasındadır. C_{80} parametresi erken ulaşan sesin geç ulaşan sese oranıdır, doğrudan sesin ulaşmasından itibaren ilk 80 milisaniye, bir seviye olarak belirlenmiştir [1]. Çınlamanın az olduğu salonlarda bu değer pozitif bir değer olarak çıkar, çınlama yüksek olduğundaysa negatif değerleri alır. **Şekil 5.77**'de C_{80} parametresinin salon 2 için frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama değerleri yer almaktadır. Salon genelinde elde edilen ortalama C_{80} değerlerinin optimum sınır değerleri arasında kaldığı görülmektedir.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	-1,5	-0,6	-0,1	0	0,1	1,4
Maksimum	2,3	3,5	4,6	5,2	5,2	6,7
Ortalama	0,7	1,8	2,6	3,1	3,2	4,6

Şekil 5.77 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama C_{80} değerleri.

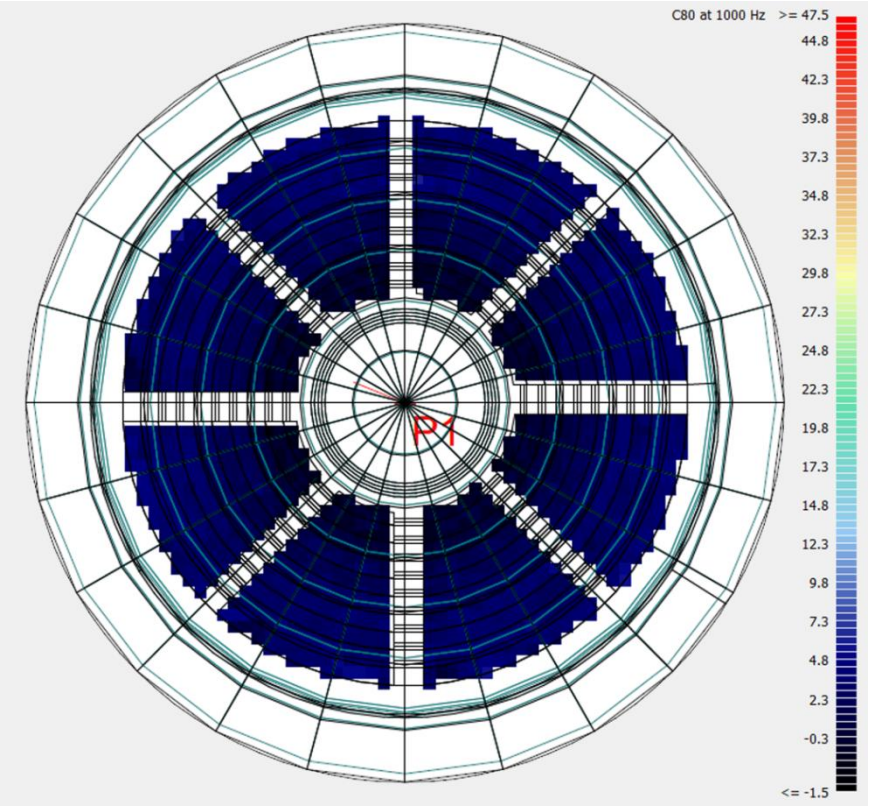


S2	C80
1	0.5
2	4.3
3	4.5
4	0
5	4
6	4.8
7	0.1
8	4.3
9	4.6
10	0.3
11	4.4
12	4.7
13	0.5
14	4.4
15	4.4
16	0.1
17	3.9
18	5
19	0.4
20	3.8
21	5
22	0.5
23	4.3
24	5.2

Şekil 5.78 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki C_{80} değerleri.

Şekil 5.78'deki salon 2 için alıcı noktalarındaki C_{80} değerlerinden yola çıkılarak netlik anlamında salonun orta ve arka bölümlerinin benzerlik gösterdiği, sahneye yakın ön bölümlerinin ise daha düşük değerler göstererek daha fazla çınlama özelliğine sahip olduğu söylenebilir. T30-EDT ilişkisi bakımından kritik olarak ele alınan alıcı 2, 7 ve 24 incelenmiştir. Alıcı 2 ve 24 baz alınarak, salonun orta ve arka bölümlerinde C_{80} değerlerinin üst sınıra çok yaklaştığı veya biraz aştığı görülür. Bunun nedeni 80 ms'den sonra gelen geç enerjinin daha düşük, bundan önceki enerjinin ise daha yüksek olmasıyla ilgilidir. Bu noktalardaki erken enerjinin geç enerjiden yüksek olması ise sahne önündeki alıcılara oranla eğimin artmasıyla "seat dip attenuation" etkisinin, yani sesin dinleyici üzerinden geçerken yutularak azalma miktarının düşmesidir. Alıcı 2 ve 24 kendi içlerinde karşılaştırıldığında ise alıcı 24'ün C_{80} değeri daha yüksektir, bunun nedeni ise alıcı 2'de 80.ms'den sonra gelen ışının daha fazla olmasıdır. Bu bağlamda bu iki noktadaki konuşma anlaşılırlığında farklılık beklenir.

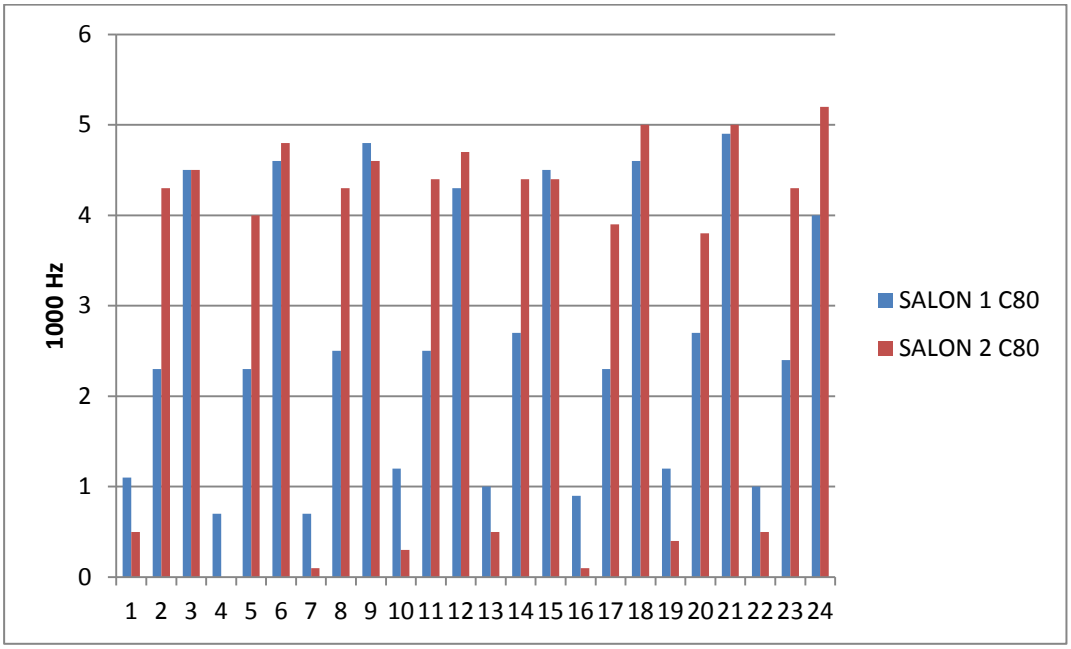
Şekil 5.79'da verilen salon 2 için 1000 Hz'deki C_{80} grid analizi anlatılanları doğrulamaktadır. Sahneye yakın oturma alanlarına bakıldığında C_{80} değerlerinin düştüğü, salonun arka sıralarına doğru C_{80} değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.79 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de C_{80} değeri.

Salon 2 ve salon 1 zemin eğimi farkının C_{80} parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

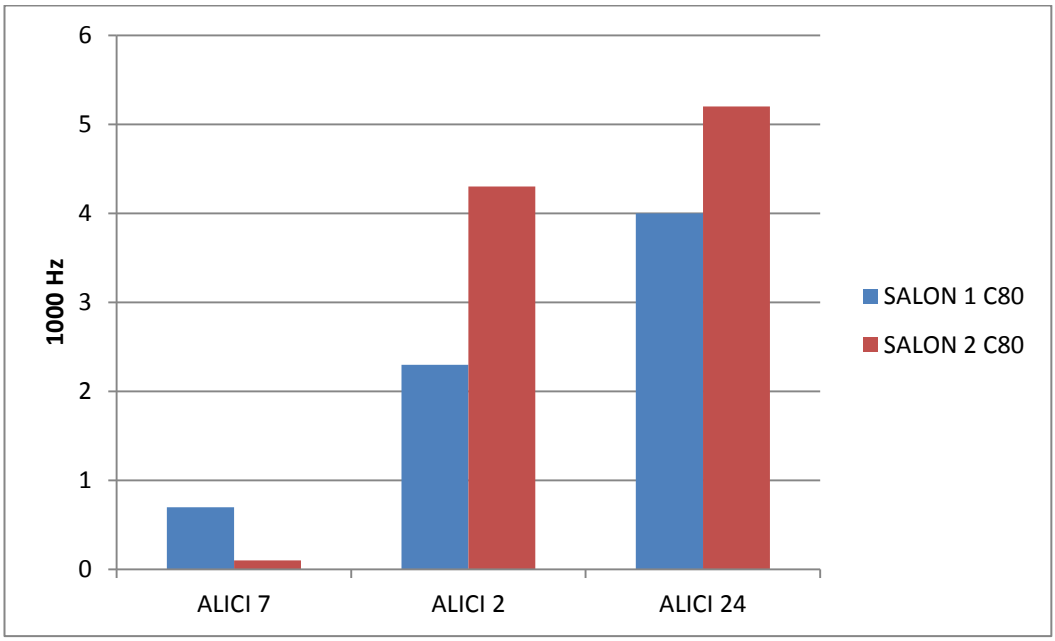
Şekil 5.80'de salon 1 ve salon 2'nin C_{80} değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salonun orta ve arka bölümlerinde yer alan alıcılarda C_{80} değeri artış gösterirken, salonun ön sırasında yer alan alıcı noktalarında bu değer düşüş göstermiştir. Bunun nedeni salonun ön kısımlarında yer alan alıcı noktalarının geç enerjiye, salon geometrisinin getirdiği odaklanma özelliği sebebiyle daha fazla maruz kalmasıdır. Arka duvardan yansıyıp salonun orta kısımlarına biriken, yani sahne önüne gelen enerji alıcı 7 ve benzeri noktalarda geç enerji miktarını artırmaktadır. Çünkü salon 2'de zemin eğiminin artması arka duvardan yansıyarak gelen ışının yansıma yolunu arttırarak geç enerji miktarını arttırmış, dolayısıyla da salon 1'de ön sırada yer alan alıcıların C_{80} değerlerinden daha düşük çıkmasına neden olmuştur. Bu durum, **Şekil 5.74**'te alıcı 7 için verilen salon 1 ve salon 2'deki enerji diyagramları karşılaştırmasından da 80.ms'den sonra ulaşan toplam enerji miktarındaki artışla görülmektedir.



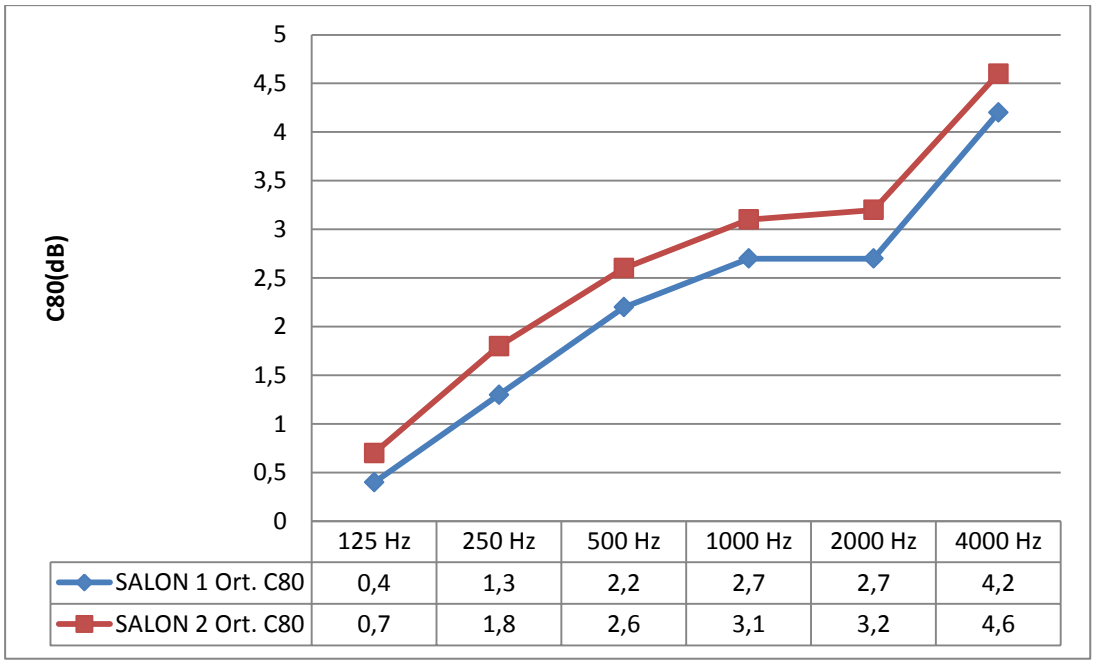
Şekil 5.80 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında C_{80} karşılaştırması.

Arka duvardan yansıyıp gelerek sahne önündeki alıcılarda geç enerji miktarının artması, **Şekil 5.81**'de verilen belirlenen kritik noktaların salon 1 ve salon 2'deki C_{80} değerleri karşılaştırması tarafından doğrulanmaktadır. Salonun orta ve arka kısımlarında yer alan alıcı 2 ve alıcı 24'te ise C_{80} değerleri artış göstermiştir, yani

netlik artmıştır. Bunun sebebi eğimin artmasıyla beraber koltuk yutumunun (seat dip attenuation), yani sesin dinleyici üzerinden geçerken yutularak azalma miktarının düşmesidir. Bu durum salonun orta ve arka bölümlerindeki alıcılara ulaşan erken enerji miktarını artırmıştır. **Şekil 5.64** ve **Şekil 5.67**'de verilen alıcı 2 ve alıcı 24 için salon 1 ve salon 2'deki enerji diyagramları karşılaştırmasından da alıcılara ulaşan toplam enerji miktarındaki artış görülmektedir. Erken enerjinin artmasıyla alıcı 2, alıcı 24 ve benzeri noktalarda (salonun orta ve arka kısımlarında) C_{80} değerleri artış göstermiştir. Hatta üst sınırı geçen değerler olmuştur. Nedeni salon 2'deki çınlama süresinin salon 1'den daha düşük olmasıyla beraber, en belirgin etki enerji diyagramlarında da analiz edildiği gibi ilk 80 ms içinde ulaşan erken enerji miktarının eğimin artmasıyla artış göstermesidir. Bu durum müzikte olumsuz koşul oluşturur. Çünkü çınlama değeri daha düşüktür ve tonun tokluğu azalır, dolayısıyla salondaki canlılık sübjektif parametresinde düşüş yaşanır. Sahne önünde yer alan alıcı 7 ve benzerlerindeki C_{80} değerlerinin düşüşü eğimin artmasıyla, arka duvardan yansıyan ışınların yansıma yolunun uzamasıdır. **Şekil 5.82**'de salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama C_{80} değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Salon 2'nin 1000 Hz'deki ortalama C_{80} değeri salon 1'den yüksektir. Anlatılanlar doğrultusunda salonda ön kısımlardaki alıcılarda C_{80} değerleri düşüş gösterse de orta ve arka kısımlardaki alıcı noktalarındaki C_{80} değerlerinin belirgin artışı salon 2'nin genelindeki C_{80} değerlerinin artmasını sağlamıştır.



Şekil 5.81 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda C_{80} karşılaştırması.

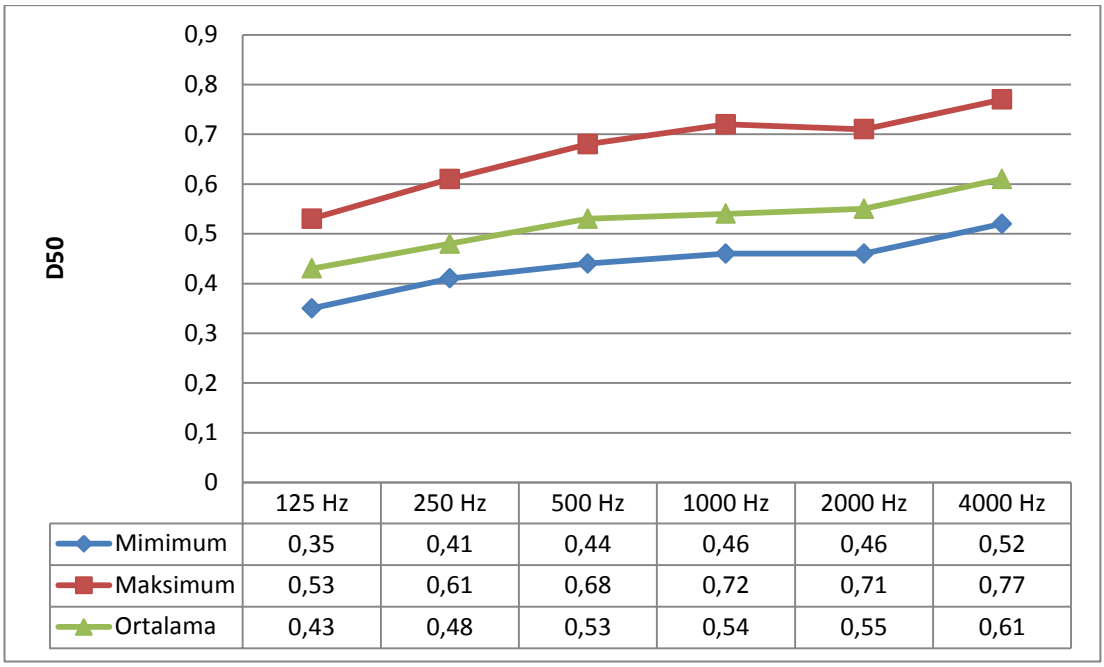


Şekil 5.82 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama C_{80} karşılaştırması.

5.2.2.3 Belirginlik (D_{50})

Bölüm 4.1.10'da anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'de verilen aralığa göre D_{50} parametresi için optimum değer 0,3 – 0,7 arasındadır [26]. Alıcı noktasına ilk 50 ms içinde gelen yansımalar direkt sese eklenir ve anlaşılırlığını artırır. Bu verilerden yola çıkarak **Şekil 5.83**'te verilen salon 2 için frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama D_{50} değerlerine ve **Şekil 5.80**'deki 1000 Hz'deki D_{50} değerlerine bakıldığında salondaki ortalama değerlerin optimum aralıkta olduğu görülür. D_{50} değerinin yüksek çıkması ilk 50 ms içinde gelen yansımaların olması gerekenden fazla olduğunu gösterir. T30-EDT ilişkisi bakımından kritik olarak ele alınan alıcı 2, 7 ve 24 incelenmiştir.

Şekil 5.84'teki D_{50} grafiği incelendiğinde alıcılardaki D_{50} değerlerinin optimum aralıkta olduğu görülmektedir. Alıcı 24 ve salonun arka bölümlerindeki alıcılar baz alındığında D_{50} değerlerinin ise salonun orta ve ön bölümlerine göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bunun nedeni bu alıcı noktalarındaki ilk 50 ms içinde gelen erken yansımaların bu noktalarda daha fazla olduğunun bir kanıtıdır. Bunu doğrulayan bir diğer grafik ise alıcı 24'ün salon 2'deki enerji diyagramını veren **Şekil 5.62**'dir. Alıcı 24'ün daha fazla erken yansıma almasının nedeni eğimin artması ve ışınlarda seyirci üzerinden geçerken gerçekleşen yutumun azalmasıyla buraya ilk 50 ms'de ulaşan enerjinin artmasıdır.

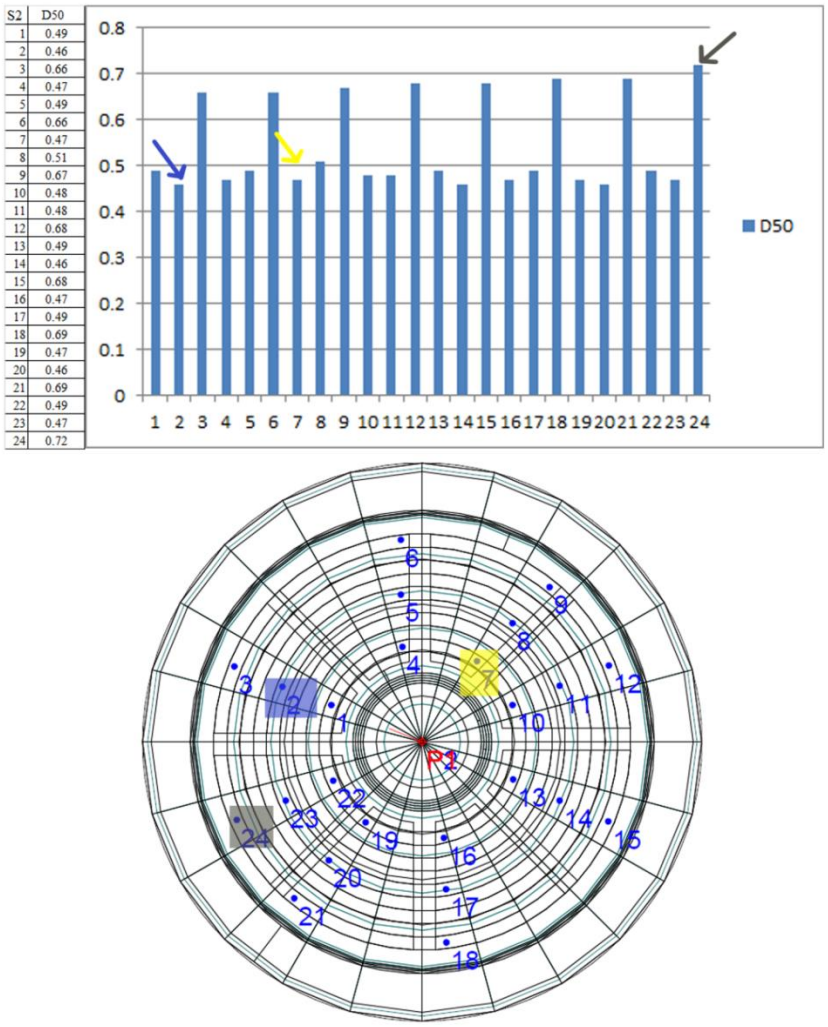


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	0,35	0,41	0,44	0,46	0,46	0,52
Maksimum	0,53	0,61	0,68	0,72	0,71	0,77
Ortalama	0,43	0,48	0,53	0,54	0,55	0,61

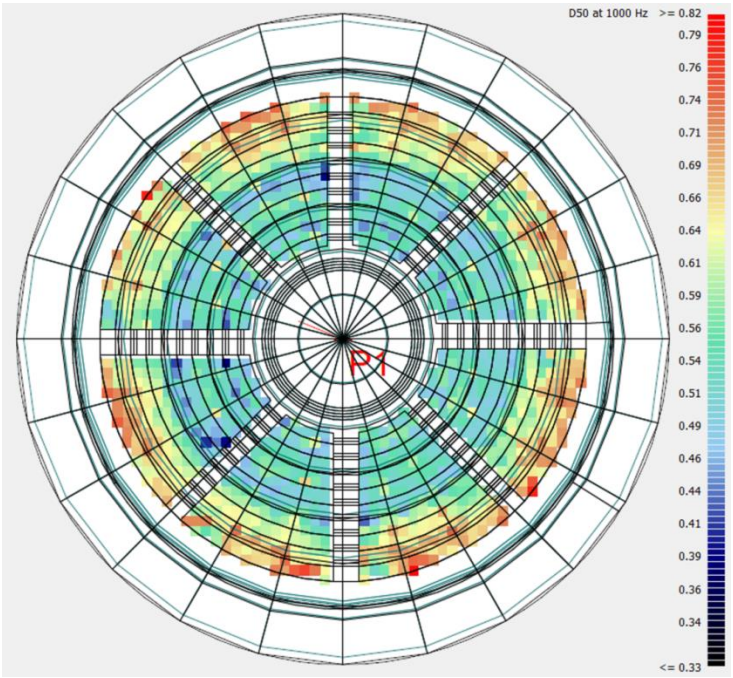
Şekil 5.83 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama D_{50} değerleri.

Salonun ön bölümünde bulunan alıcı 7 ve salonun orta bölümünde bulunan alıcı 2'deki D_{50} değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır. Salonun genelinde ön ve orta bölümdeki alıcıların D_{50} değerlerine bakıldığında da D_{50} değerlerinin yakın olduğu görülür. Bu durum, D_{50}'nin tanımından yola çıkıldığında bu bölgelerdeki alıcı noktalarına ulaşan ilk 50 ms'deki erken yansımaların ve toplam enerjinin çok benzer olduğunu gösterir. Bunu doğrulayan diğer grafikler ise alıcı 7 ve alıcı 2'nin salon 2'deki enerji diyagramını veren **Şekil 5.59** ve **Şekil 5.60**'tır.

Şekil 5.85'te salon 1'de D_{50} parametresinin grid analizi yer almaktadır. Bu gridden de anlaşılacağı üzere D_{50} değerleri salonun arka sıralarında daha yüksektir, bunun sebebi ilk 50 ms içindeki enerjinin tavan ve arka duvar yansımaları sayesinde buralarda daha yüksek olmasıdır. Orta sıra alıcılarının değerlerinin ön sıra alıcılarının değerlerinden düşük olduğu görülmektedir ve bunun nedeni orta sıra alıcılarına ulaşan toplam enerji miktarının daha fazla olması ile erken enerji ve toplam enerji arasındaki oranın düşmesidir. Yani, salonda orta sırada konuşma anlaşılırlığı daha düşüktür. Gridde de bu durum görülmektedir.



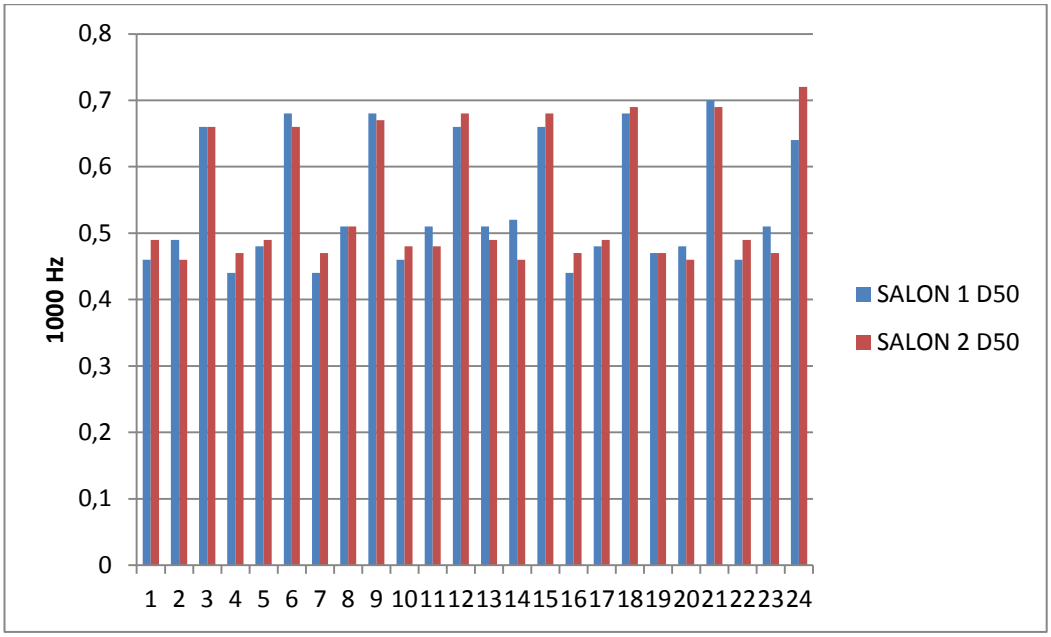
Şekil 5.84 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki D_{50} değerleri.



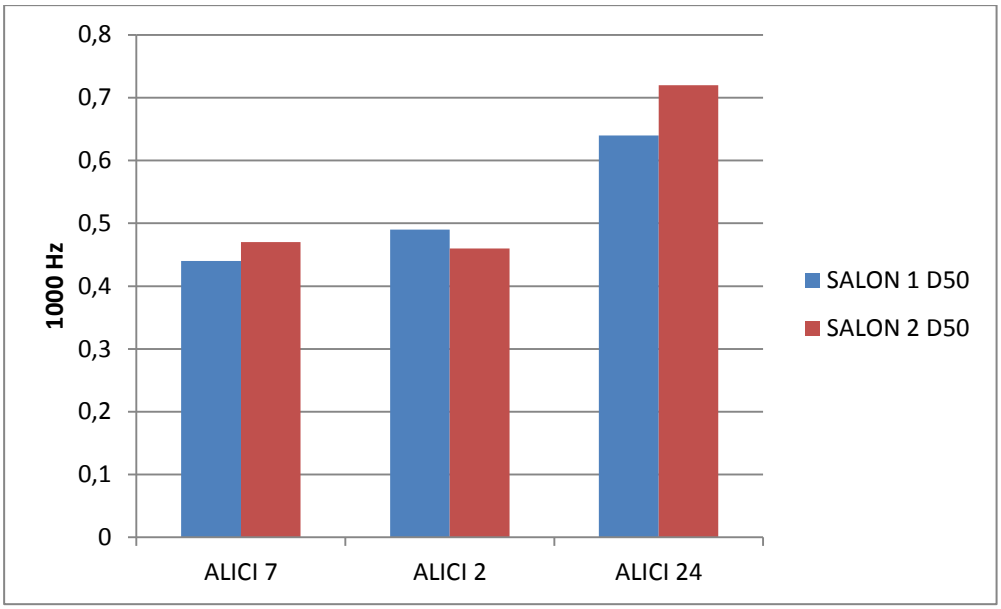
Şekil 5.85 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de D_{50} belirginlik değeri.

Salon 2 ve salon 1 zemin eğimi farkının D_{50} parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

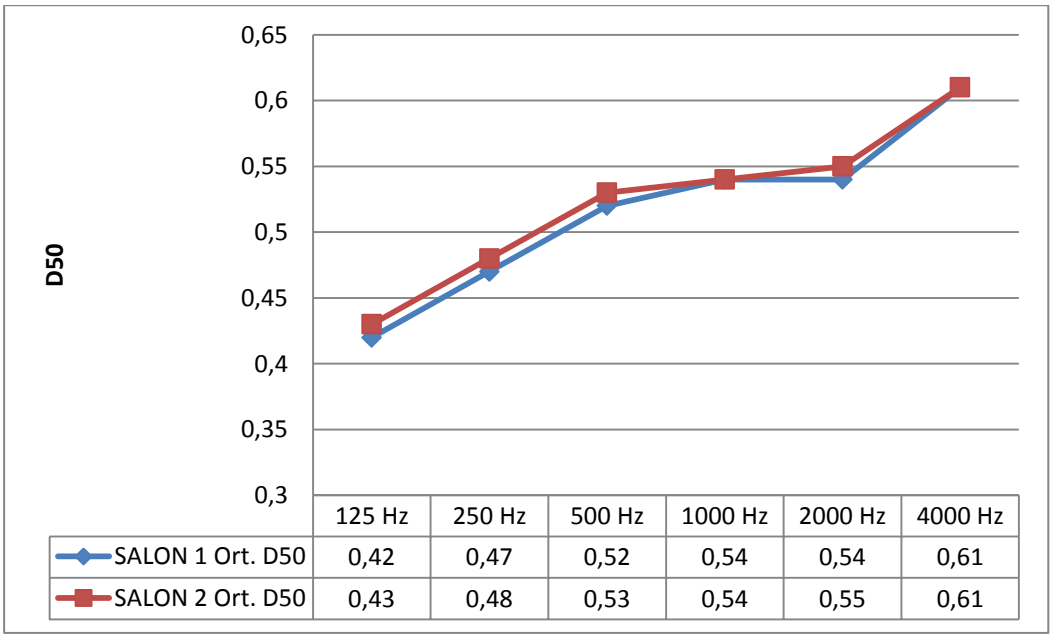
Şekil 5.86'da salon 1 ve salon 2'nin D_{50} değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 1 ve salon 2'deki D_{50} değerlerinde çok büyük farklar yoktur. Salon 2'de salonun arka kısımlarında olan alıcılarda genel olarak D_{50} değerlerinin artmış olması eğimin artışıyla koltuk yutumunun (seat dip attenuation) azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum ayrıca sahne önünde yer alan alıcıların D_{50} değerinde de artış sağlamıştır. **Şekil 5.87**'de kritik olarak belirlenen alıcılardaki D_{50} değerleri değişimi vardır. Artışın gerçekleştiği noktalar olan alıcı 7 ve 24'te eğimin katkısıyla ilk 50 ms içindeki enerjinin arttığı, enerji diyagram karşılaştırmasının verildiği **Şekil 5.74** ve **Şekil 5.76**'da görülmektedir. Alıcı 2'de gerçekleşen düşüş analizi için, **Şekil 5.73**'te verilen enerji diyagramı karşılaştırmasında salon 2'de alıcı 2'nin toplam enerji miktarının artması ile D_{50} değerinin düştüğü analiz edilmiştir.



Şekil 5.86 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında D_{50} karşılaştırması.



Şekil 5.87 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda D_{50} karşılaştırması.



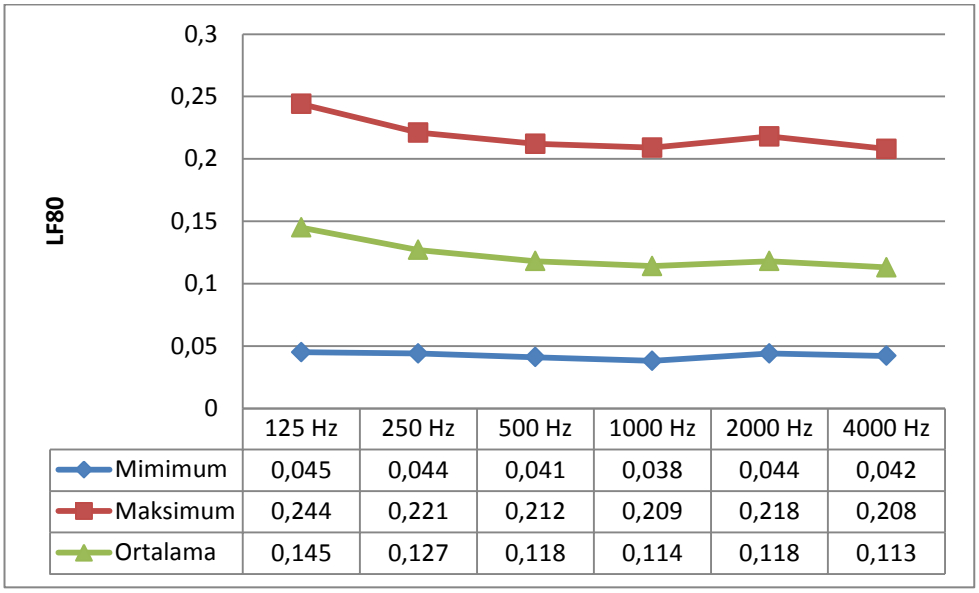
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 1 Ort. D50	0,42	0,47	0,52	0,54	0,54	0,61
SALON 2 Ort. D50	0,43	0,48	0,53	0,54	0,55	0,61

Şekil 5.88 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama D_{50} karşılaştırması.

Şekil 5.88'de salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama D_{50} değerlerinin karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır. Alıcı noktalarındaki çok belirgin olmayan D_{50} farklılıkları, ön ve arka sıra alıcılarındaki artış ve orta sıra alıcılarındaki düşüş birbirini dengelemiş, dolayısıyla salonlardaki ortalama D_{50} değerlerinde belirgin bir değişikliğe sebep olmamıştır.

5.2.2.4 Yanal yansımalar (LF_{80})

Bölüm 4.1.7'de anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'deki literatür değerleri doğrultusunda LF_{80} parametresi için optimum değer aralığı 0,05 – 0,35'tir. Bu nicelik, alıcı noktasına gelen yanal yansımalarla ilgilidir. **Şekil 5.89**'da salon 2'nin frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama LF_{80} değerleri vardır. Bu değerlere göre alıcı noktalarındaki ortalama LF_{80} değerleri optimum değer aralığında gözlenmektedir.



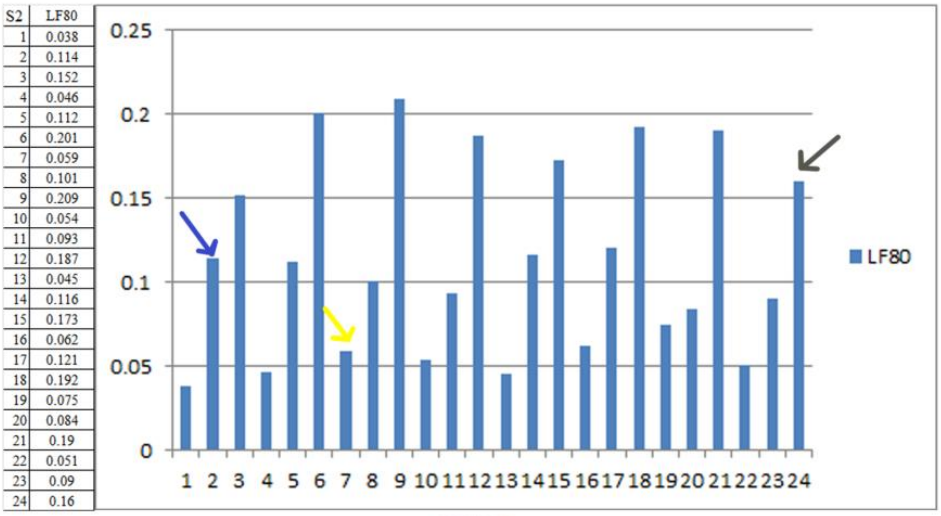
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	0,045	0,044	0,041	0,038	0,044	0,042
Maksimum	0,244	0,221	0,212	0,209	0,218	0,208
Ortalama	0,145	0,127	0,118	0,114	0,118	0,113

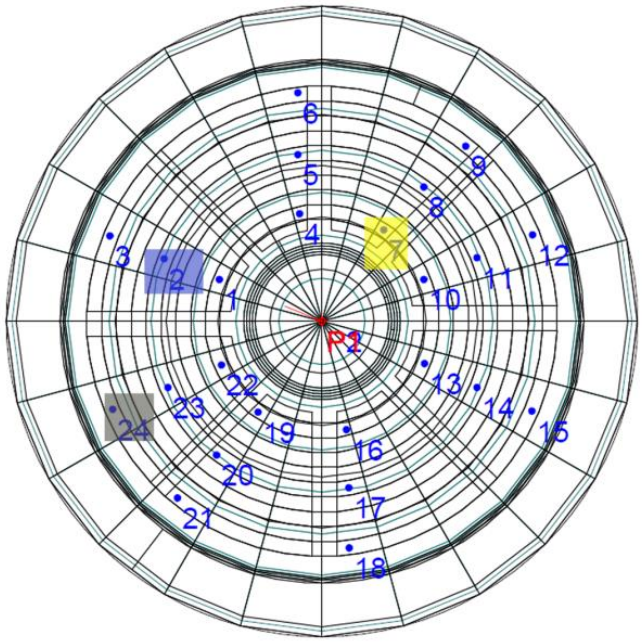
Şekil 5.89 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama LF_{80} değerleri.

Şekil 5.90'da salon 2 için alıcıların 1000 Hz'deki LF_{80} değerleri verilmiştir, bu değerler incelendiğinde salonun orta ve arka kısımlarındaki LF_{80} değerlerinin salonun sahneye yakın kısımlarına göre daha iyi değerlerde olduğu ve sahne önündeki noktaların LF_{80} alt sınır değerine çok yaklaştığı veya biraz altına düştüğü görülmektedir. En iyi LF_{80} değerine sahip alıcılar salonun arka kısımlarında konumlandırılmış olanlardır. Bunun nedeni buralardaki alıcılarda, alıcı 24 de baz alındığında, ilk 80 ms içinde yan duvarlardan, yani arka duvarlardan gelen yanal yansımaların daha yoğun olmasıdır. Buradan yola çıkarak sahne önünde yer alan alıcılar için, alıcı 7 de baz alındığında, değerlendirme yapılırsa ilk 80 ms içindeki yan yüzeylerden gelen yansıma yoğunluğunun düşük olduğu sonucuna varılır ki bu sonuç salon geometrisinin getirdiği bir durumdur. Sahne önündeki alıcılar arka duvarlardan gelecek olan erken yansımalara uzak kalmaktadır, arka duvardan gelen erken yansımalar sahne önündeki alıcılara ulaştıklarında geç yansıma niteliği taşımaya başlamaktadır, yani, 80.ms'den sonra ulaşmaktadırlar. Dolayısıyla buralardaki LF_{80} değerleri daha düşüktür. Alıcı 2 ve benzerleri salonun orta sıralarında yer almaktadır.

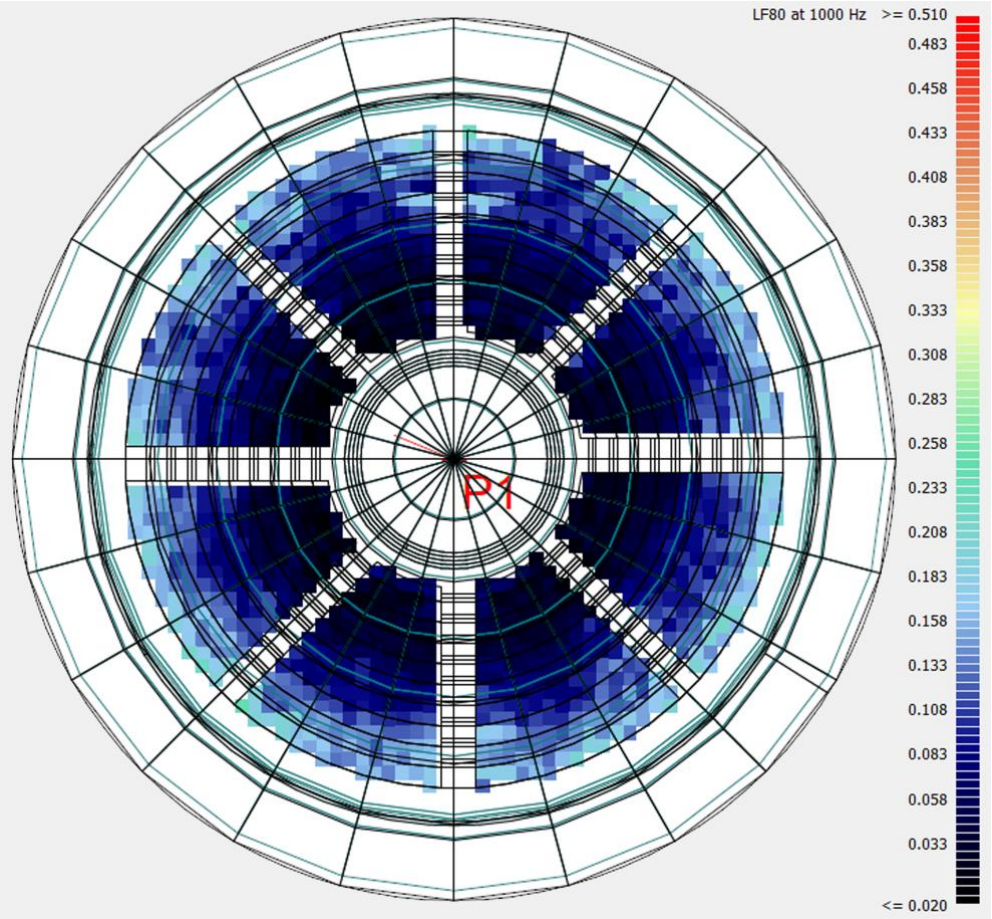
Buradaki LF_{80} değerleri de salondaki ortalama nitelik taşıyan değerlerdir. Alıcı 24 kadar arka duvarlara yakın veya alıcı 7 kadar arka duvarlara uzak olmadıkları için ilk 80 ms içindeki yanal yansımalardan ne çok fazla ne de çok az yararlanmışlardır, böylelikle ilk 80 ms içindeki yanal yansıma miktarları diğerlerine oranla ortalama bir değerdedir. **Şekil 5.59**, **Şekil 5.60** ve **Şekil 5.62**'de sırasıyla alıcı 7, alıcı 2 ve alıcı 24 için verilen enerji diyagramları incelendiğinde anlatılanlar doğrulanmaktadır. **Şekil 5.91**'de salon 2'deki LF_{80} yanal yansıma grid analizi mevcuttur ve bu şekilde de sahneye yakın yerlerin yanal yansımalardan arka sıralara göre daha az faydalanabildiği görülmektedir. Bunun nedeni arka duvar yansımalarının arka sıralara yanal yansıma iletiyor olmasıdır ve ön tarafların bu yansımaları alamıyor olmasıdır.

S2	LF80
1	0.038
2	0.114
3	0.152
4	0.046
5	0.112
6	0.201
7	0.059
8	0.101
9	0.209
10	0.054
11	0.093
12	0.187
13	0.045
14	0.116
15	0.173
16	0.062
17	0.121
18	0.192
19	0.075
20	0.084
21	0.19
22	0.051
23	0.09
24	0.16





Şekil 5.90 : Salon 2 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki LF_{80} değerleri.



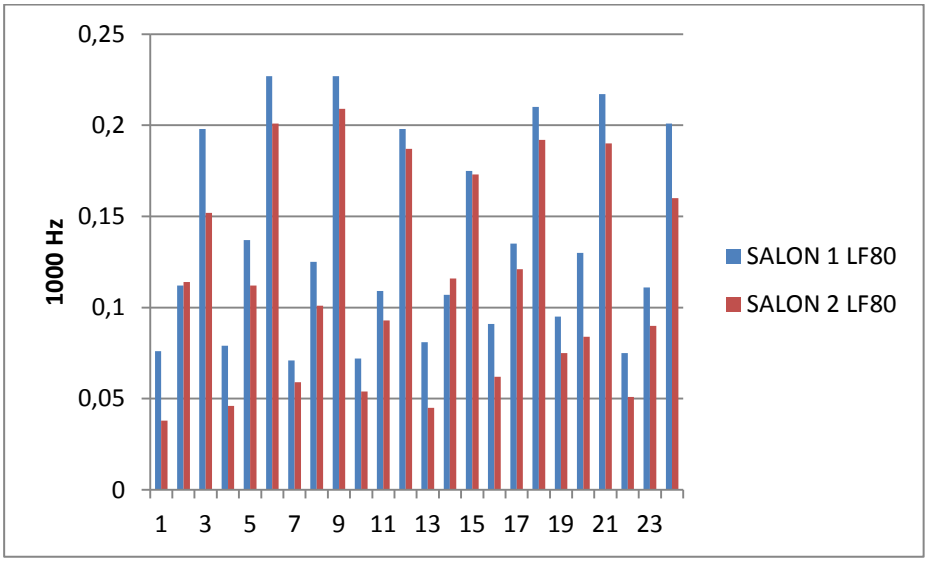
Şekil 5.91 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de LF80 değerleri.

Salon 2 ve salon 1 zemin eğimi farkının LF_{80} parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

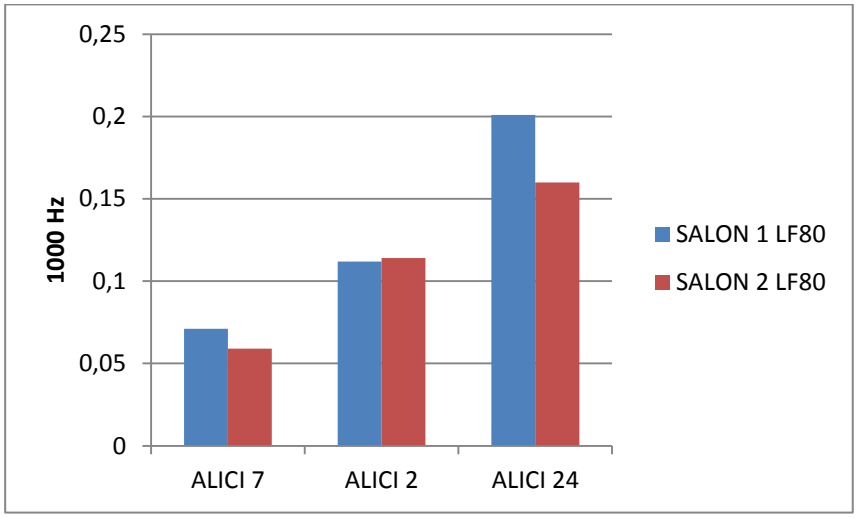
Şekil 5.92'de salon 1 ve salon 2'nin LF_{80} değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 1 LF_{80} değerlerinin, salon 2'deki LF_{80} değerlerinde daha büyük oldukları görülür. Salon 2'nin genelinde alıcılarda LF_{80} değerlerinde bir düşüş yaşanmıştır.

Şekil 5.93'te kritik olarak belirlenen alıcı noktalarındaki salon 1 ve salon 2 için 1000 Hz'de LF_{80} parametresi değerlerindeki değişim grafiği yer almaktadır. Salonun arkasına doğru gidildikçe LF_{80} değerlerinin iki salon için de genel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Alıcı 7 ve alıcı 24'te salon geneliyle uyumlu olarak LF_{80} değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Alıcı 7 için bu durumun sebebi ilk 80 ms içindeki yanal yansıma miktarının düşmesidir. Çünkü eğimin artmasıyla arka duvardan uzaklaşmış, yani yanal yansımalardan uzaklaşmıştır. Alıcı 24'te ise LF_{80} değerinin düşmesinin nedeni eğimin artışıyla bu alıcıya ulaşan toplam enerji miktarının artmasıdır. İlk 80 ms'deki yanal yansıma miktarı yüksektir ancak alıcıya 80 ms

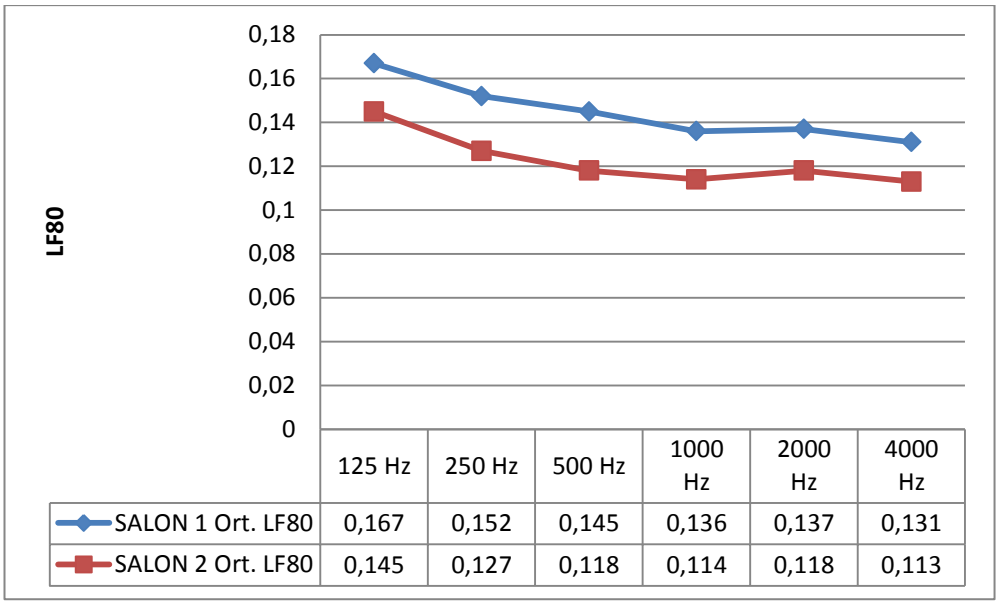
içinde gelen enerji miktarı da yükselmiştir. **Şekil 5.74** ve **Şekil 5.76**'da sırasıyla alıcı 7 ve alıcı 24 için verilen salon 1 ve salon 2'deki enerji diyagramları karşılaştırmaları anlatılanları doğrular niteliktedir. Alıcı 2'de ise belirgin bir değişiklik yoktur. Bu alıcının benzeri noktalarda da salonun geneliyle uyumlu olarak LF_{80} değerleri düşüş göstermektedir. Alıcı 2'nin **Şekil 5.73**'te verilen salon 1 ve salon 2 için verilen enerji diyagramları incelendiğinde alıcı 2'ye ilk 80 ms içinde ulaşan yanal ve toplam enerjinin artışı LF_{80} değerinin belirgin değişikliğe uğramamasını sağlamıştır. Salon genelinde LF_{80} değerlerinde bir düşüş olduğu **Şekil 5.94**'te verilen salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama LF_{80} karşılaştırması grafiğinden görülmektedir. Bu durumun sebebi salon genelinde eğimin artışıyla beraber alıcılara ilk 80 ms içinde ulaşan erken enerji miktarlarındaki artıştır.



Şekil 5.92 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında LF_{80} karşılaştırması.



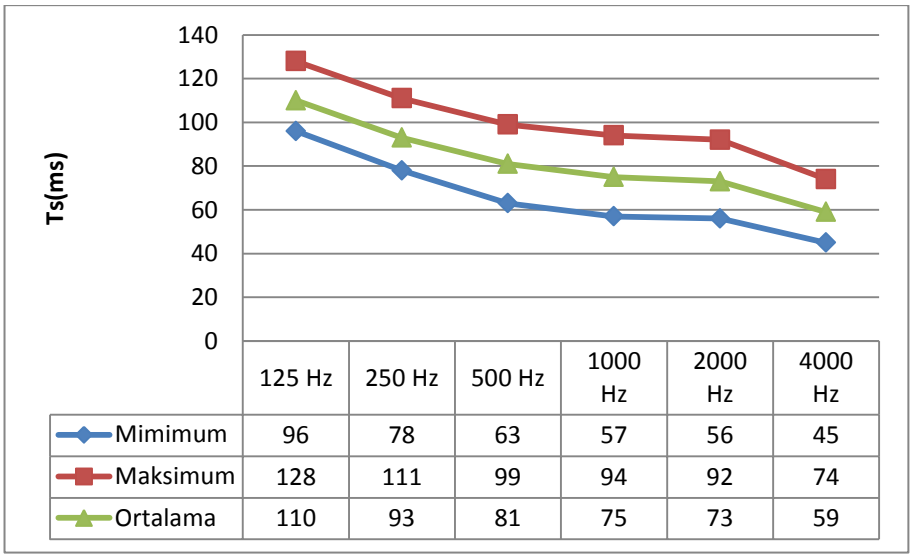
Şekil 5.93 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda LF_{80} karşılaştırması.



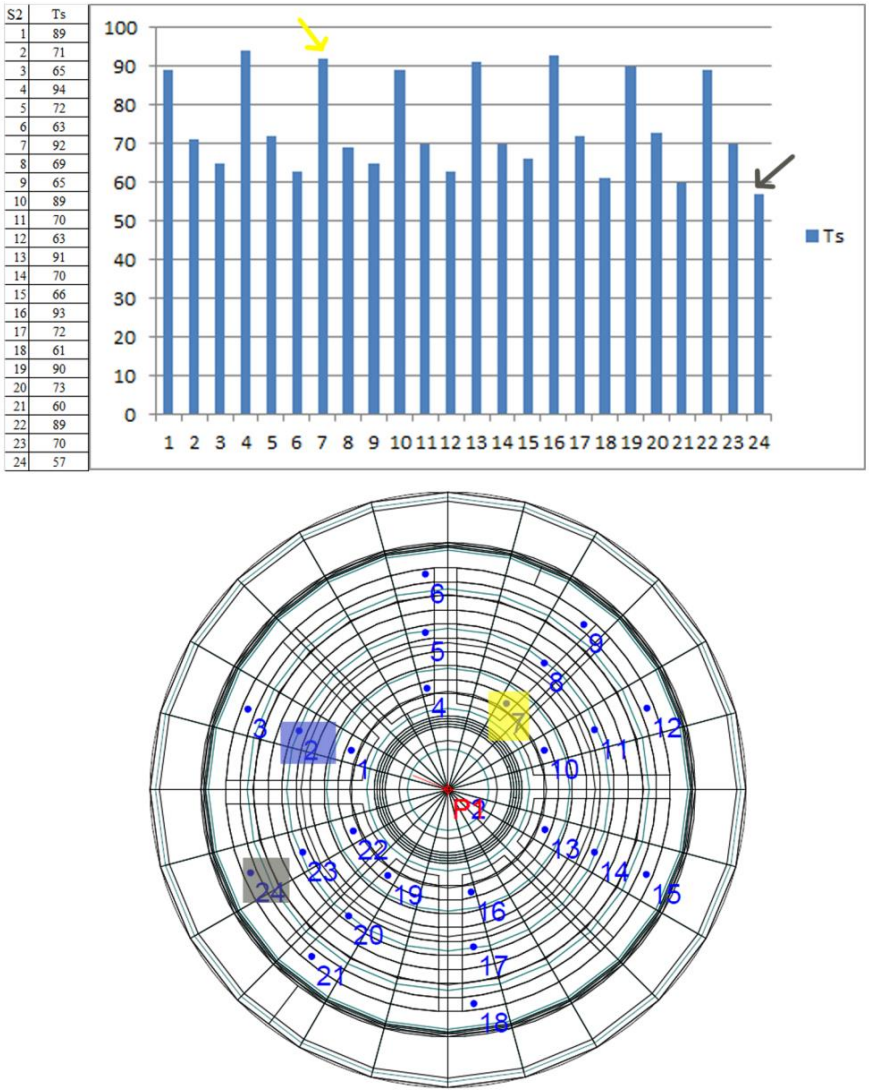
Şekil 5.94 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama LF_{80} karşılaştırması.

5.2.2.5 Merkez zaman (T_s)

Bölüm 4.1.13'te anlatılanlar ve **Çizelge 6.1'**de verilen aralığa göre T_s parametresi için optimum değerler 60-260 ms arasındadır. Merkez zaman, hacim içinde belli bir noktada elde edilen seslerin erken ya da gecikmiş olduğunu belirlediğinden, belirlilik (D_{50}), netlik (C_{80}) ve ilk düşme süresi (EDT) ile ilişkilidir [22]. Dolayısıyla salonda bu parametrelerden yola çıkılarak bir değerlendirmeye gidilebilir. **Şekil 5.95**'te salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama T_s değerleri verilmiştir. Salon genelinde bu parametrenin ortalama değerlerinin optimum sınırlar içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.95 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama T_s değerleri.

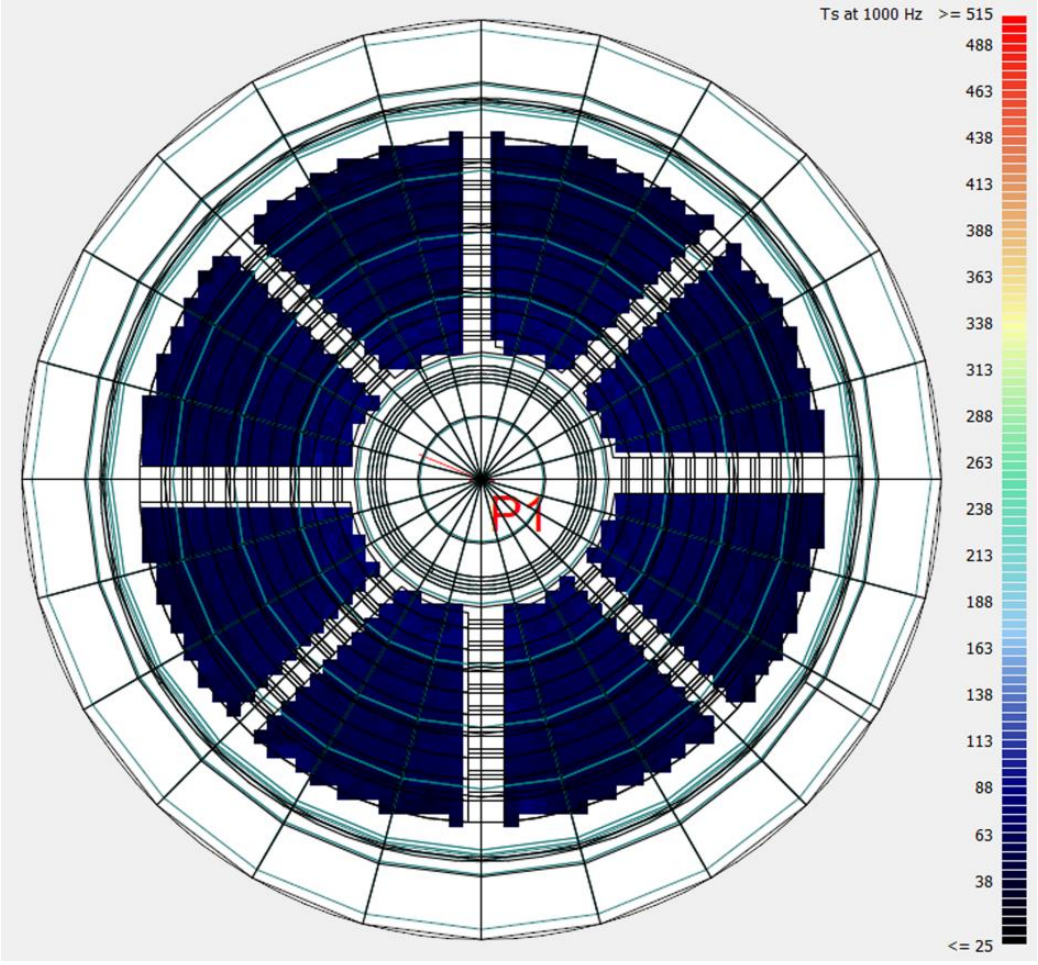


Şekil 5.96 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de T_s değerleri.

Şekil 5.96'daki 1000 Hz'deki T_s değerlerine bakıldığında alıcı noktalarındaki değerlerin optimum aralıkta olduğu görülür. Salonda sahne önünden arka sıralara doğru gidildikçe merkez süresi (T_s) değerlerinde düşüş gerçekleşmektedir. En düşük T_s değerine sahip olan alıcı noktaları salonun arka bölümünde yer alan alıcılardır. Merkez süresinin düşük olması, erken ses enerjisinin fazla olduğunu gösterir. Dolayısıyla bu değer düştükçe sesin netliği artar. Alıcı 24'ün daha fazla erken yansıma almasının nedeni eğimin artması ve ışınlarda seyirci üzerinden geçerken gerçekleşen yutumun azalmasıdır ve bunun sonucu olarak da buraya ilk 50 ms'de ulaşan enerji artar. Alıcı 24 için **Şekil 5.62**'de verilen enerji diyagramı incelendiğinde ilk 50 ms içindeki enerji yoğunluğunun fazla olduğu görülür. Alıcının D_{50} ve C_{80} değerleri incelendiğinde anlatılanlar doğrulanmaktadır.

Salonun ön bölümünde sahneye yakın yerlerde yer alan alıcılar merkez süresi için en yüksek değerlere sahiptir. Bunun anlamı bu noktalardaki geç enerjinin fazla olmasıdır. Alıcı 7'de arka duvarlardan yansıyarak salon geometrisi nedeniyle salonun ortasına dönen geç yansımaların yoğunluğu artmıştır. Artan geç yansımaların etkisiyle buradaki ve sahne önündeki diğer noktalardaki C_{80} değeri salon genelinde en düşük değerdedir. Yani salonun bu bölgeleri daha fazla çınlayan özellik taşımaktadır. Dolayısıyla bu noktalardaki T_s değerleri de geç enerjinin fazla olmasıyla artış göstermektedir. Alıcı 7'nin **Şekil 5.59**'da verilen enerji diyagramından bakıldığında da bu alıcı için 80 ms'den sonra gelen enerjinin, yani geç ses enerjisinin fazla olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak bu konumdaki alıcılarda tonun tokluğunun artması, konuşma anlaşılırlığının düşmesi beklenir.

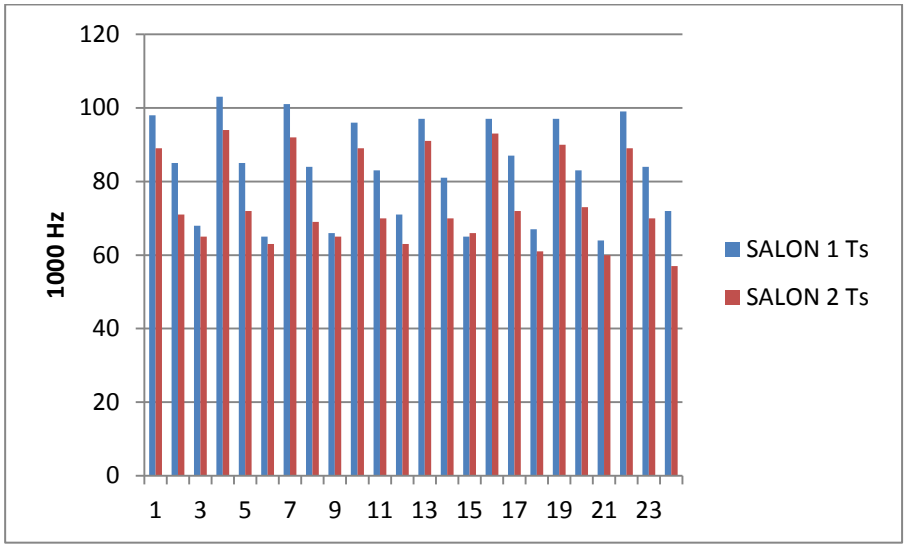
Şekil 5.97'de salon 2 için 1000 Hz'de T_s parametresi grid analizi yer almaktadır. Grid alıcı noktalarında yapılan değerlendirmeleri doğrulamaktadır. T_s değerleri salonun arka sıralarına doğru düşmektedir.



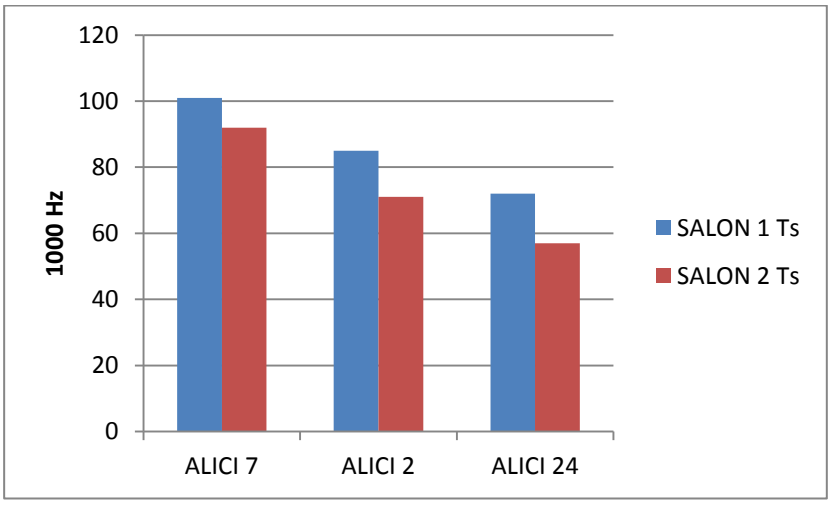
Şekil 5.97 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de T_s değeri.

Salon 2 ve salon 1 zemin eğimi farkının T_s parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.98'de salon 1 ve salon 2'nin T_s değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 1 T_s değerlerinin, salon 2'deki T_s değerlerinde daha büyük oldukları görülür. Salon 2'nin genelinde alıcılarda T_s değerlerinde bir düşüş yaşanmıştır.



Şekil 5.98 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında T_s karşılaştırması.

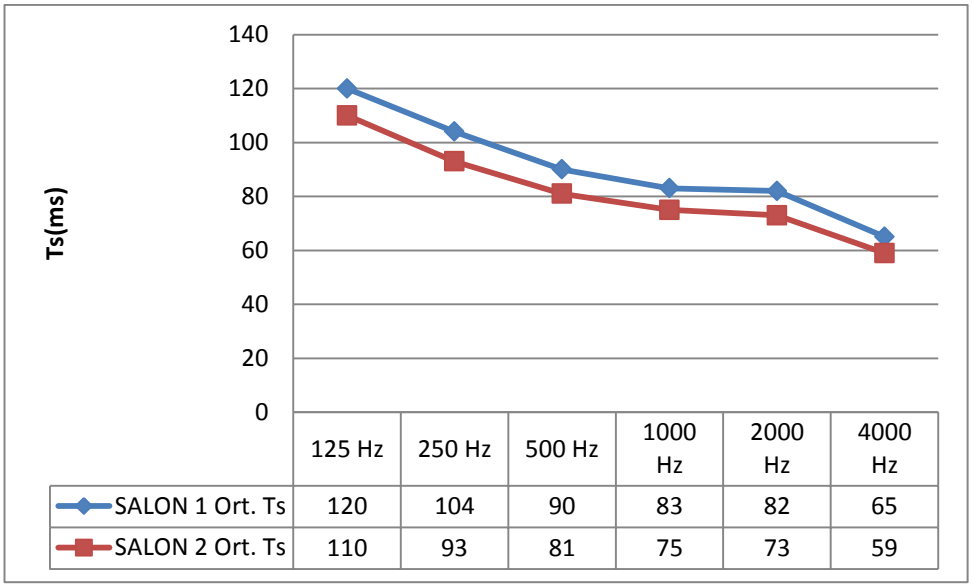


Şekil 5.99 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda T_s karşılaştırması.

Şekil 5.99'da kritik olarak belirlenen alıcı noktalarındaki salon 1 ve salon 2 için 1000 Hz'de T_s parametresi değerlerindeki değişim grafiği yer almaktadır. Salonun arkasına doğru gidildikçe T_s değerlerinin iki salon için de genel olarak düşüş gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni arka duvarlardan arka sıradaki alıcılara ilk 50 ms içinde salonun ön ve orta kısımlarına göre daha fazla erken enerji iletiyor olmasıdır.

İki salon birbiriyle karşılaştırıldığında ise salon 2'deki T_s değerleri daha düşüktür. Bunun nedeni alıcıların salon 1'den daha fazla erken yansıma almasıdır. Eğimin artışı ile düşen koltuk yutumu (seat dip attenuation) bunu sağlamıştır. Bunun sonucu olarak da buraya ilk 50 ms'de ulaşan enerji artar.

Şekil 5.100'de verilen salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama T_s karşılaştırması grafiğinden de salon 2 değerlerinin düşüş gösterdiği görülmektedir. Bu durumun sebebi salon genelinde eğimin artışıyla beraber alıcılara ulaşan erken enerji ve toplam enerji miktarlarındaki artıştır.



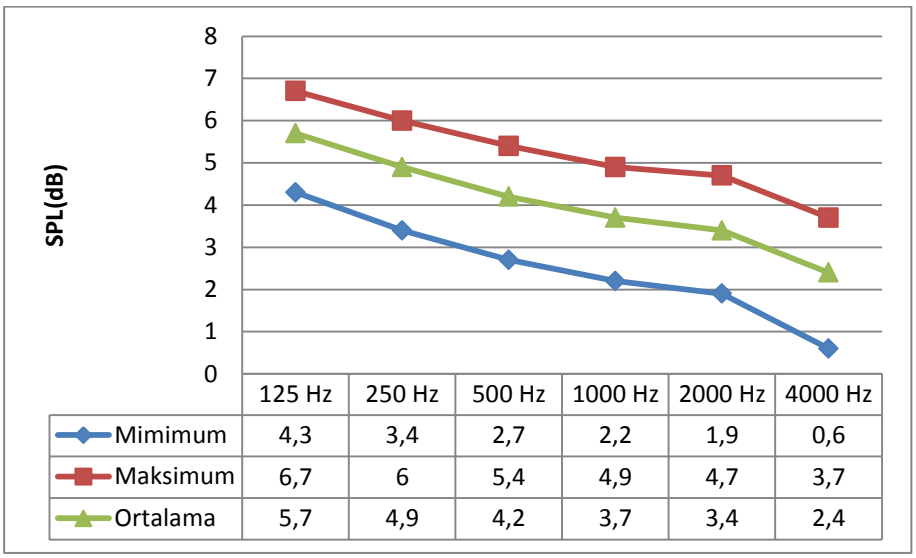
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 1 Ort. Ts	120	104	90	83	82	65
SALON 2 Ort. Ts	110	93	81	75	73	59

Şekil 5.100 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama T_s karşılaştırması.

5.2.2.6 Ses yüksekliği (G, SPL)

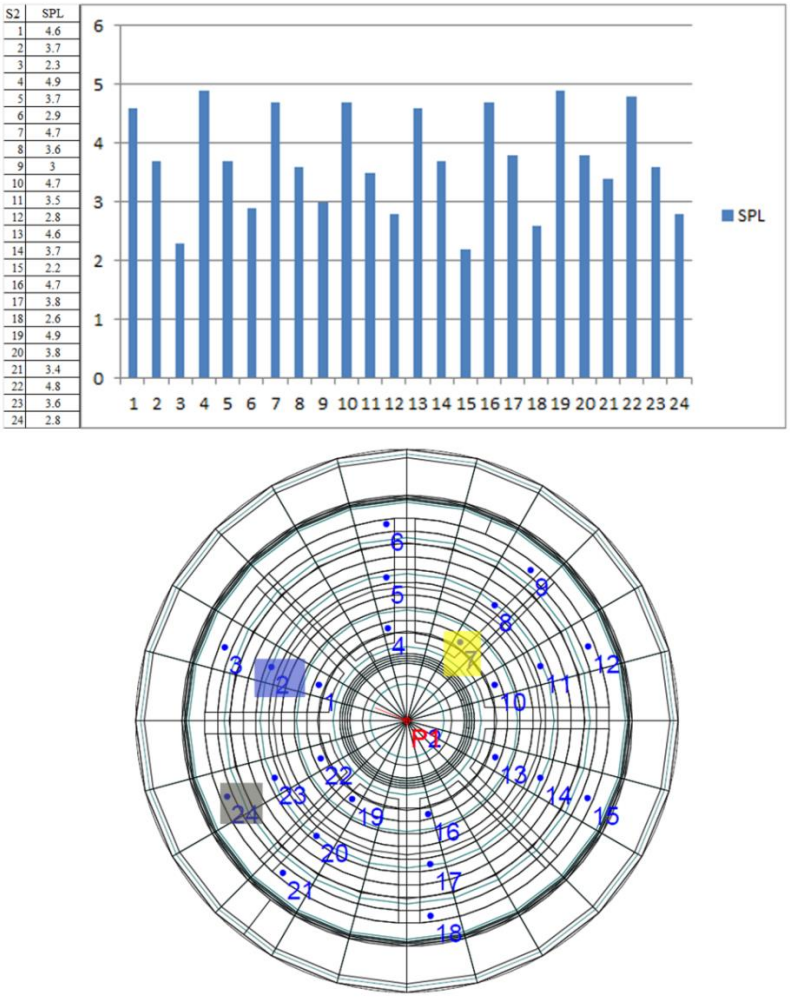
Bölüm 4.1.4'te anlatılanlardan yola çıkılarak; G parametresini etkileyen faktörler şunlardır: dinleyicinin sahneye olan mesafesi, erken sesi ileten yüzeyler, hacmin büyüklüğü, hacimde kullanılan ses yutucu malzemeler. Literatürde G parametresi için verilen optimum aralık -2 ile 10 aralığındadır [26]. Bu parametre için verilen sübjektif limen ise 1 dB'dir [27]. Kaynaktan uzaklaştıkça G seviyesinde oluşacak düşüş normaldir. Ayrıca oturum azalması (seat dip attenuation) sesin dinleyiciler üzerinden sürünerek giderken azalmasına da neden olur. Tavan ve duvarların dinleyici alanına erken ses enerjisini iletmesi bu azaltımı düşürür. Tablo 1.1'de verilen optimum G değeri aralığı -2 ile 10 arasındadır. **Şekil 5.101**'de salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri verilmiştir. Salon genelinde bu parametrenin optimum değerler arasında olduğu görülmektedir. Yüksek

frekanslardaki G değerlerinin düşük frekanslara göre daha düşük olmasının sebebi yüksek frekansların hava tarafından daha çok yutulmasıdır.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	4,3	3,4	2,7	2,2	1,9	0,6
Maksimum	6,7	6	5,4	4,9	4,7	3,7
Ortalama	5,7	4,9	4,2	3,7	3,4	2,4

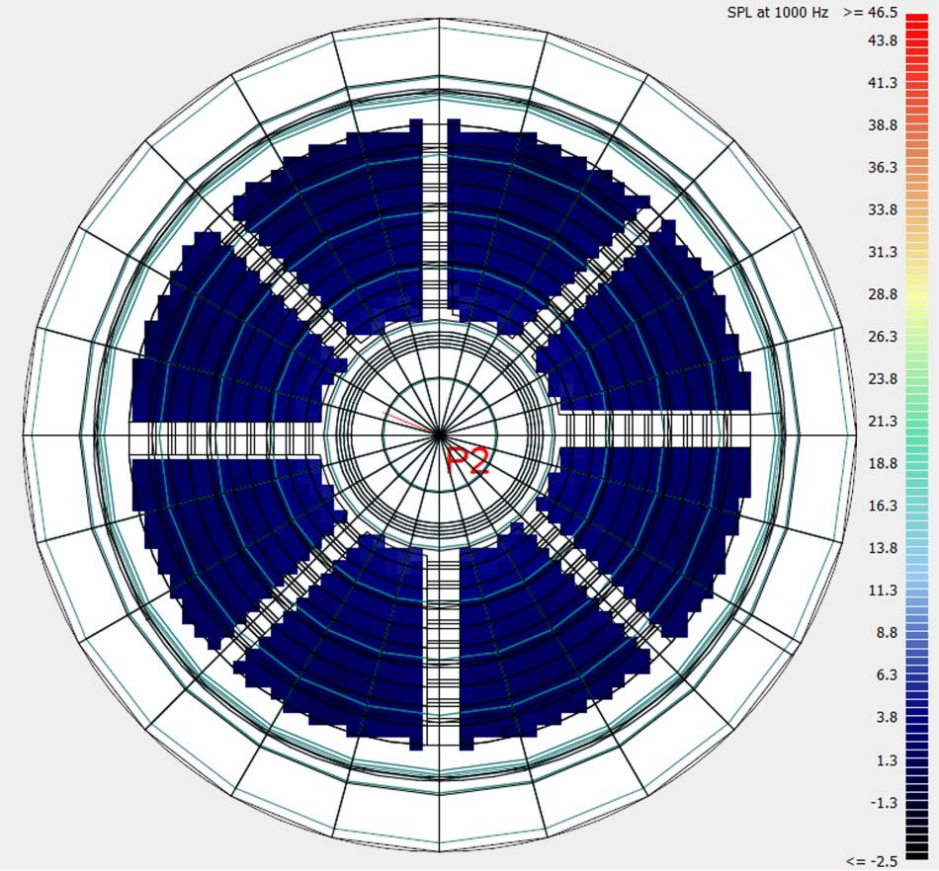
Şekil 5.101 : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri.



S2	SPL
1	4.6
2	3.7
3	2.3
4	4.9
5	3.7
6	2.9
7	4.7
8	3.6
9	3
10	4.7
11	3.5
12	2.8
13	4.6
14	3.7
15	2.2
16	4.7
17	3.8
18	2.6
19	4.9
20	3.8
21	3.4
22	4.8
23	3.6
24	2.8

Şekil 5.102 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de G (SPL) değerleri.

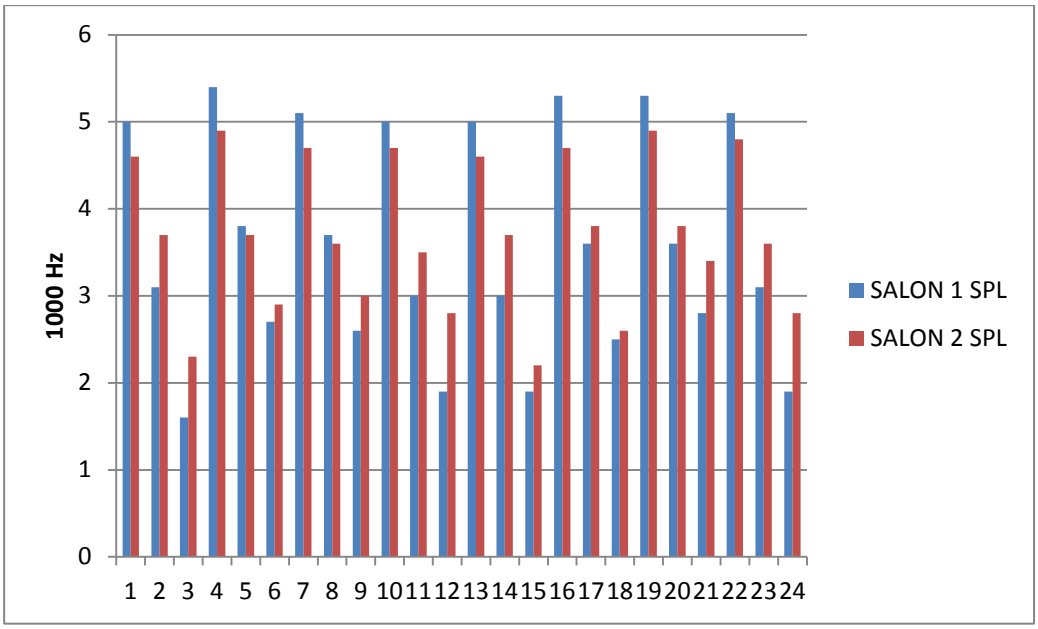
Şekil 5.102'de salon 2 için 1000 Hz'de alıcılardaki G değerlerinin olduğu grafik verilmiştir. Grafikten, kaynak-alıcı mesafesinin G (SPL) parametresi üzerindeki etkisi okunmaktadır. Sahneye yakın olan alıcılarda SPL değeri daha yüksektir ve arka sıralara doğru bu değer azalmakta, en arka sırada grafikteki en düşük değerine ulaşmaktadır, ki bu değer optimum değer aralığındadır. **Şekil 5.103**'te salon 2 için 1000 Hz'de G parametresi grid analizi yer almaktadır ve grid anlatılanları doğrular niteliktedir. Sahne önlerinden salonun arka kısımlarına doğru gidildikçe G değerlerinde mesafenin etkisiyle düşüş yaşanır.



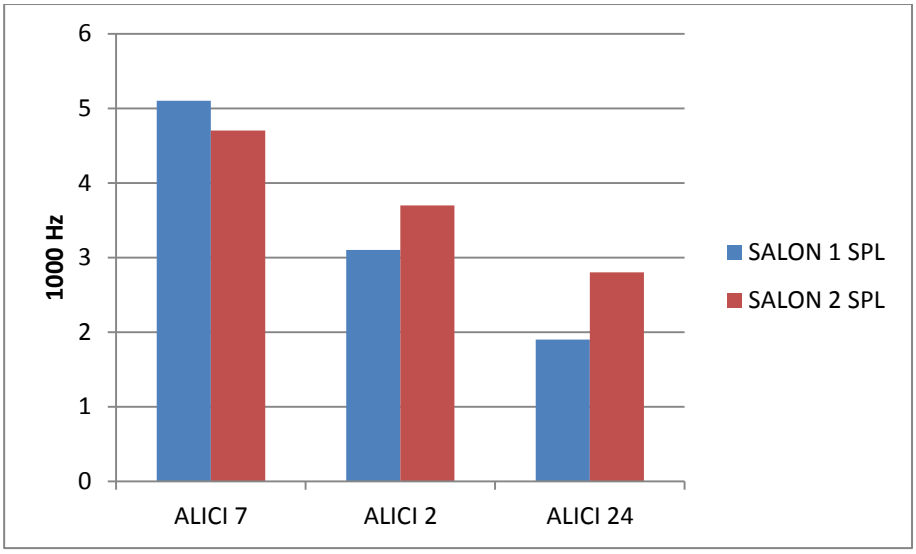
Şekil 5.103 : Salon 2 için grid analizi ile 1000 Hz'de G değeri.

Salon 2 ve salon 1 zemin eğimi farkının G (SPL) parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.104'te salon 1 ve salon 2'nin G (SPL) değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 1'deki G değerlerinin, salon 2'deki G değerlerinden daha küçük oldukları görülür. Salon 2'nin genelinde alıcılarda G değerlerinde bir artış yaşanmıştır. Bu artış salonun orta ve arka bölümlerinde olmuştur. Salon 2'de ön sıralarda ise G değerlerinde salon 1'e göre bir düşüş yaşanmıştır.



Şekil 5.104 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında G (SPL) karşılaştırması.

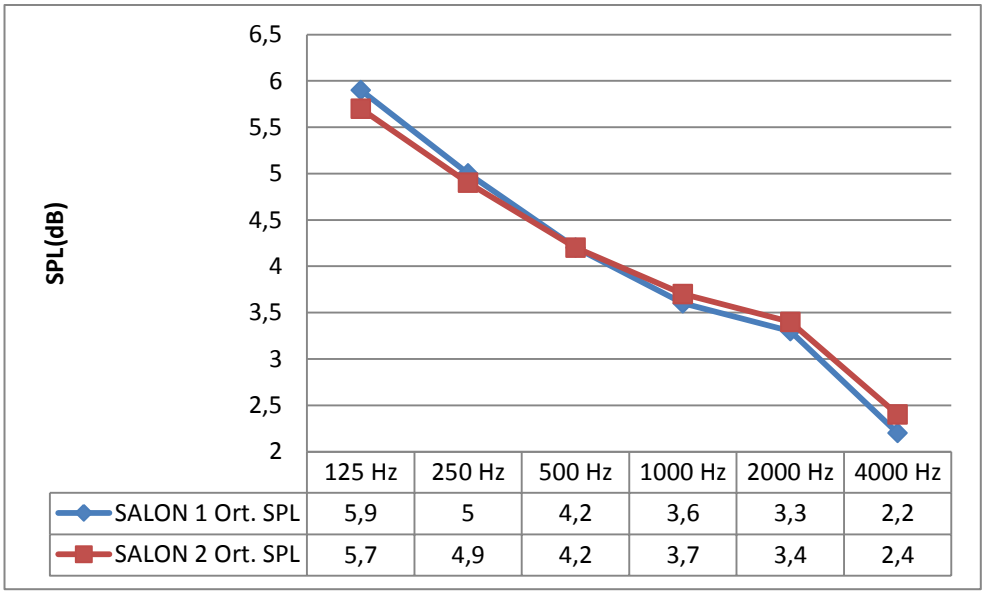


Şekil 5.105 : Salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de kritik noktalarda G (SPL) karşılaştırması.

Şekil 5.105'te kritik olarak belirlenen alıcı noktalarındaki salon 1 ve salon 2 için 1000 Hz'deki G (SPL) parametresi değerlerindeki değişim grafiği yer almaktadır. Salonun arkasına doğru gidildikçe G (SPL) değerlerinin iki salon için de genel olarak düşüş gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni G değerlerinde mesafesinin etkisiyle düşüşün olmasıdır. İki salon birbiriyle karşılaştırıldığında ise salon 2'deki G (SPL) değerleri salonun orta ve arka bölümlerinde **Şekil 5.105**'teki alıcı 2 ve alıcı 24 değerlerinden görüldüğü üzere daha yüksektir bunun nedeni eğimin artmasıyla koltuk yutumunun (seat dip attenuation) azalmasıdır. Dolayısıyla bu noktalara gelen

ses yüksekliği salon 1'den daha fazladır. Alıcı 7 ve sahne önündeki diğer alıcılarda ise salon 2 G (SPL) değerlerinin salon 1 değerlerinden daha düşük olduğu görülür. Bu durumun nedeni sahne önünde yer alan bu alıcıların, ses ileten yüzeyler olan tavan ve arka duvarlardan salon 1'e göre uzaklaşmalarına bağlanabilir.

Şekil 5.106'da verilen salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama G karşılaştırması grafiğinden de salon 2 değerinin çok değişmediği ancak orta frekanslardan itibaren artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumun sebebi salon genelinde eğimin artışıyla beraber alıcılara ulaşan enerjinin seyirci üzerinden geçerken daha az yutulmasına ve düşük frekansların yutulma oranının daha fazla olduğuna bağlanabilir. Ancak salon 1 değeri (3.6 dB) ve salon 2 değeri (3.7 dB) sayısal olarak ele alınırsa bu iki salon arasındaki G değerlerinde çok büyük bir fark olmadığı görülür. Bu parametre için subjektif limen 1 dB'dir. Yani 1 dB ve üzerindeki farklar salonda fark edilir olacaktır.



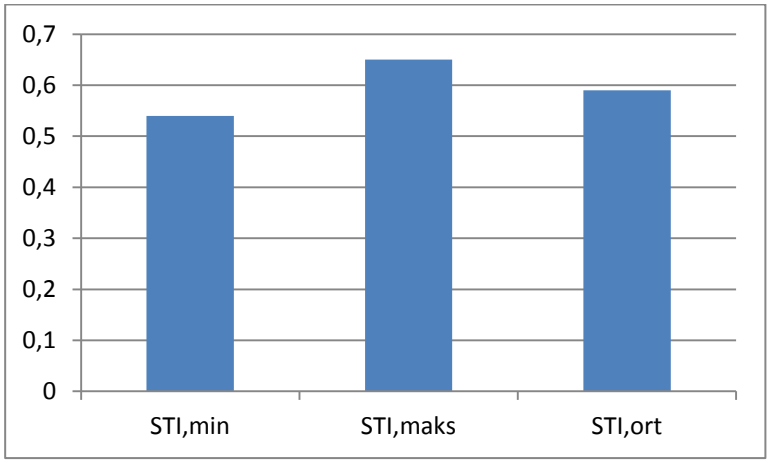
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 1 Ort. SPL	5,9	5	4,2	3,6	3,3	2,2
SALON 2 Ort. SPL	5,7	4,9	4,2	3,7	3,4	2,4

Şekil 5.106 : Salon 1 ve salon 2'nin frekanslara bağlı ortalama G (SPL) karşılaştırması.

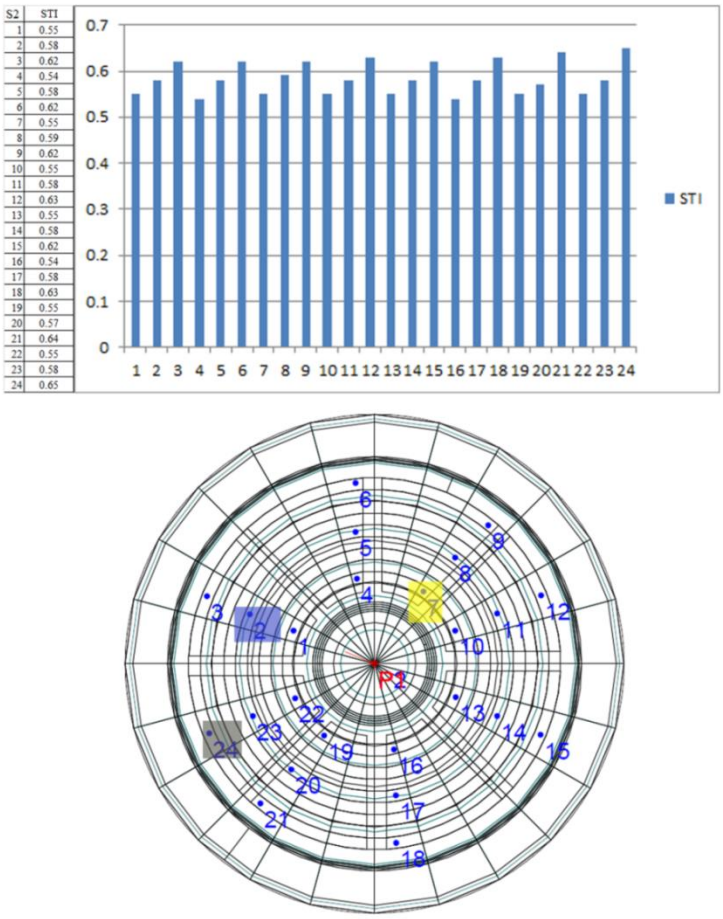
5.2.2.7 Konuşma iletim indeksi (STI)

Bölüm 4.1.16'da anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'de verilen aralığa göre STI parametresi 0.6'dan büyük olmalıdır. Performans ve konferans mekânlarındaki konuşma anlaşılırlığını belirlemede kullanılan parametre konuşma iletim indeksi (STI) olarak bilinir. STI değerleri 0 – 1 arasındadır. Yüksek değerler daha iyi konuşma anlaşılırlığı anlamındadır. Kaynaktan çıkan ses düzeyi, yansımaların yön ve şiddeti, çınlama süresi ve sesin maskelenmesi, arka plan gürültü seviyesi ve eko; STI

parametresini etkiler [6]. STI parametresi için 0.45-0.60 arası orta derece, 0.60'tan büyük değerler iyi derece, 0.75-1 arasındaki değerler mükemmel derece kabul edilmektedir [6, 27]. **Şekil 5.107**'de salon 2 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında ortalama değerlerin 0.6 alt sınırının biraz altına düştüğü görülmektedir. Bu değer kötü kabul edilmese de optimumun altında kalmaktadır.

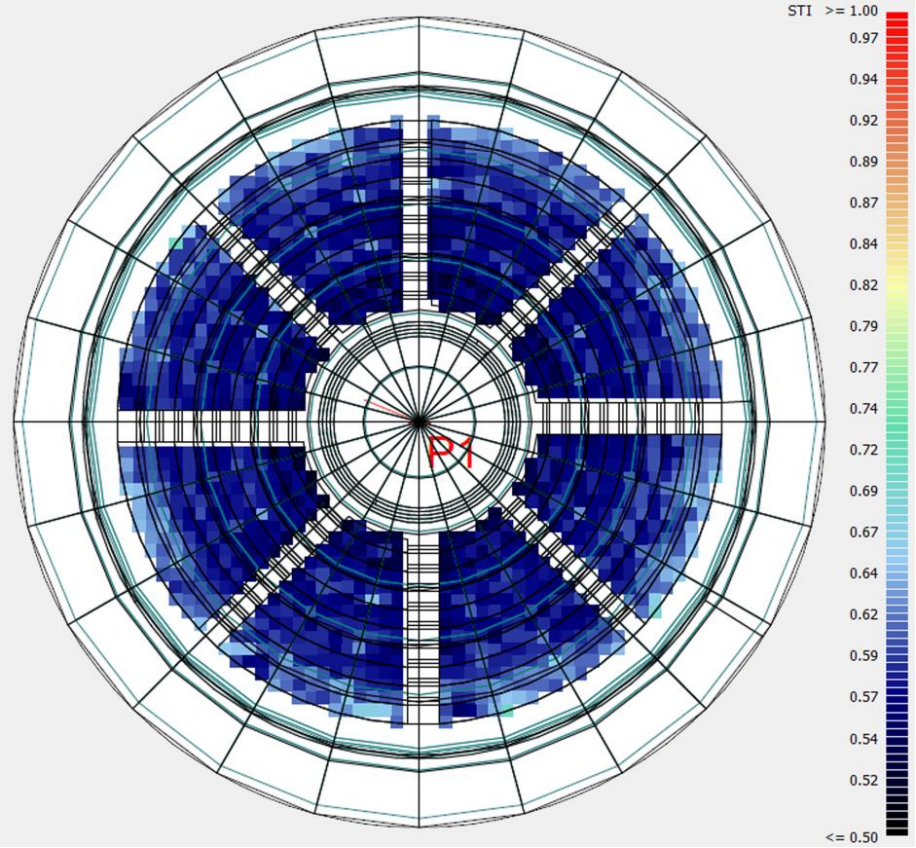


Şekil 5.107 : Salon 2 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri.



Şekil 5.108 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki STI değerleri.

Şekil 5.108'de alıcı noktalarındaki STI değerleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında değerler arasında bir denge olduğu ve STI değerlerinin sahnenin önünden salonun arkasına doğru arttığı görülmektedir. Bu durumun sebebi salonun arkasında yer alan alıcı noktalarına tavan ve arka duvardan iletilen ses yansımalarına bağlanabilir. **Şekil 5.109**'da salon 2 için STI parametresi grid analizi verilmiştir ve bu şekilden de anlatılanlar doğrulanmaktadır.

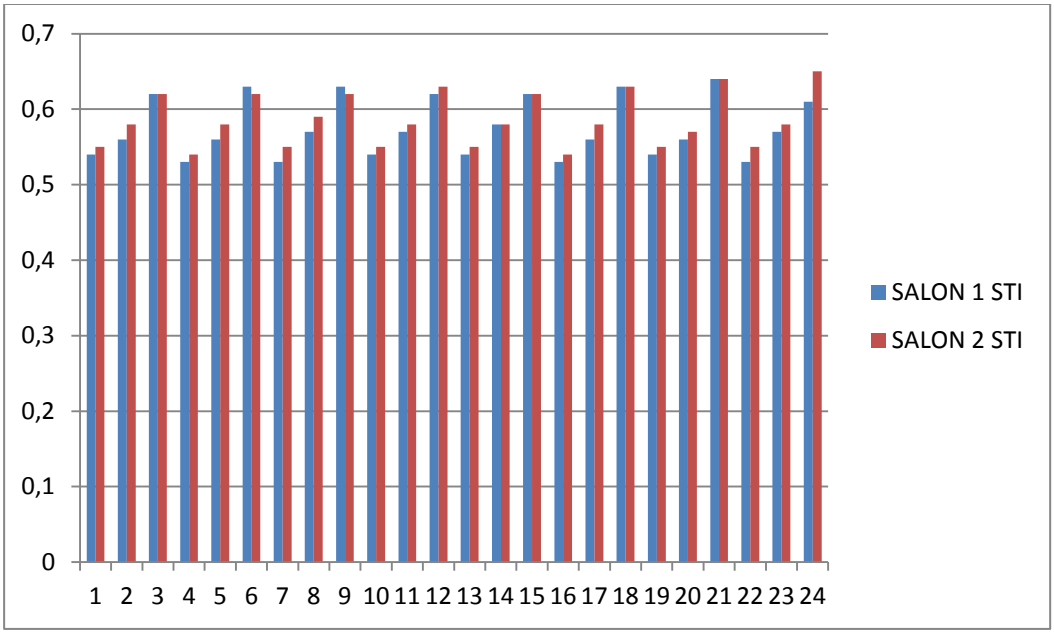


Şekil 5.109 : Salon 2 için grid analizi ile STI değeri.

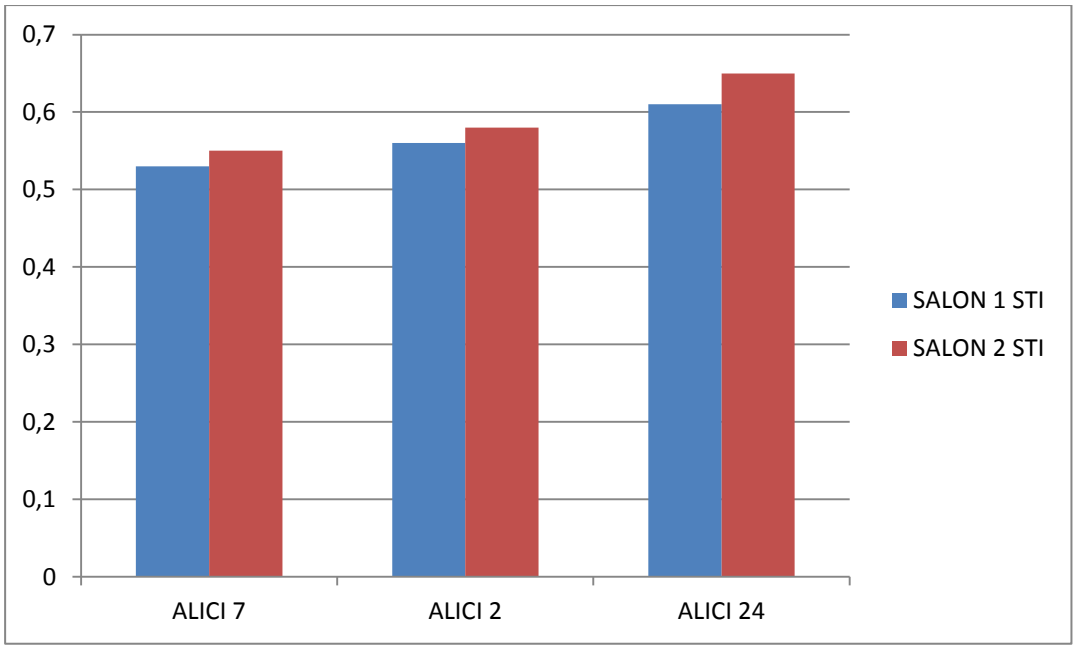
Salon 2 ve salon 1 zemin eğimi farkının STI parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.110'da salon 1 ve salon 2'nin STI değerlerinin alıcı noktaları bazında değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 1'deki STI değerlerinin, salon 2'deki STI değerleriyle aynı denebilecek kadar benzediği görülür. Salon 2'nin genelinde bazı alıcılarda STI değerlerinde çok ufak çapta bir artış olmuştur. Bu artış salonun ön, orta ve arka bölümlerinde yer yer gerçekleşmiştir. **Şekil 5.111**'de de salon 2 için belirlenen kritik noktalardaki STI değerleri karşılaştırması incelendiğinde bu artışın çok az miktarda olduğu bir kez daha görülür. Ufak çaptaki bu artışın sebebi salon 2'de alıcılara ulaşan ışınların

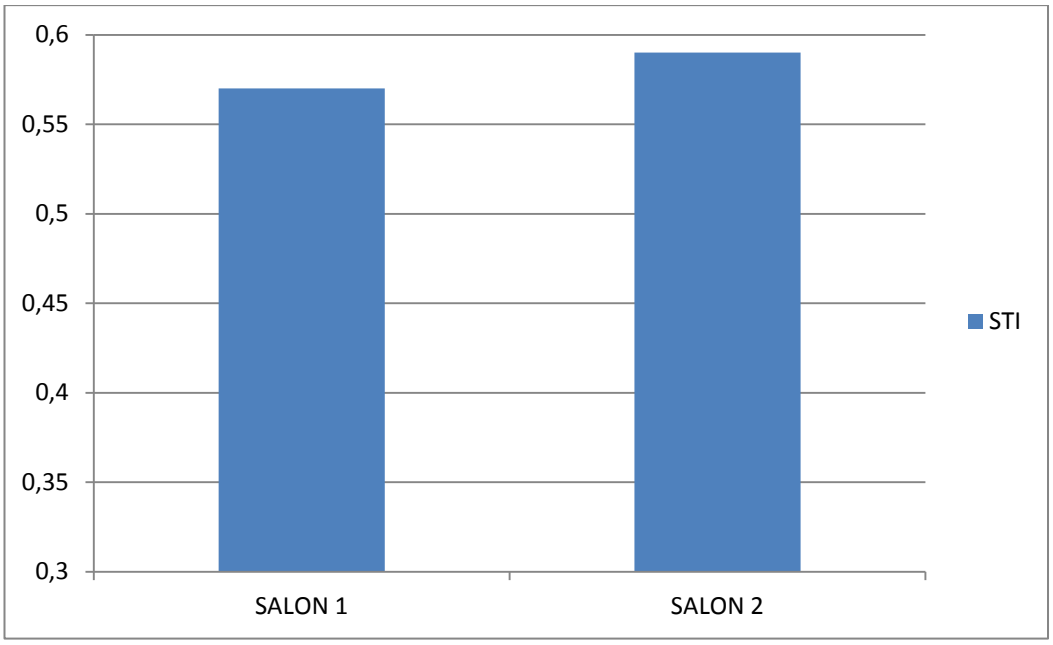
sayısının artmasına bağlanabilir. Ancak eğim faktörünün STI parametresi üzerinde belirgin bir etkisi olduğu söylenemez. **Şekil 5.112**'de salon 1 ve salon 2'deki ortalama STI değerlerinin karşılaştırması da çok etkin bir farkın oluşmadığını ve hatta neredeyse aynı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.110 : Salon 1 ve salon 2'nin alıcı noktalarında STI karşılaştırması.



Şekil 5.111 : Salon 1 ve salon 2'nin kritik noktalarda STI karşılaştırması.

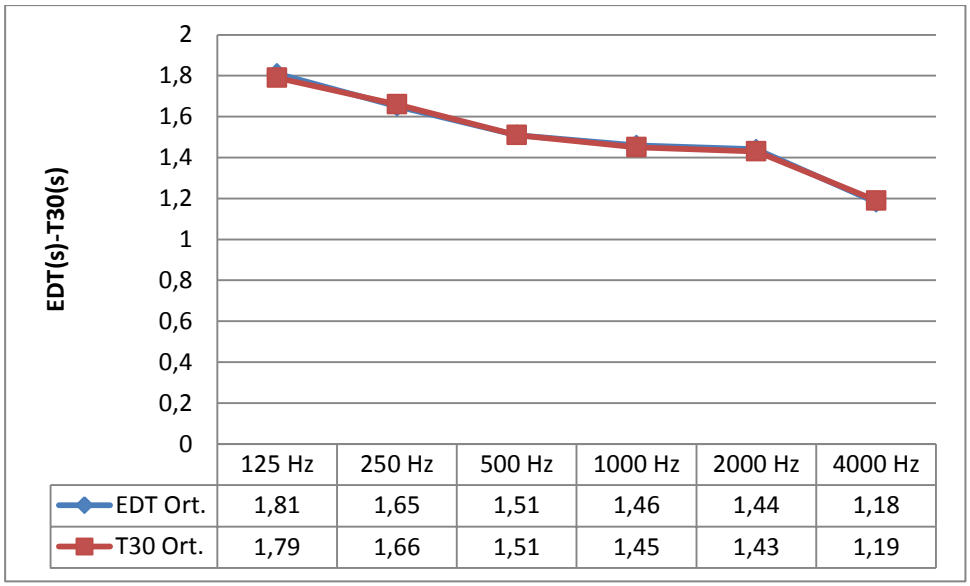


Şekil 5.112 : Salon 1 ve salon 2'nin ortalama STI değerleri karşılaştırması.

5.2.3 Salon 3 için alıcılar bazında parametrelerin değerlendirilmesi, salon 3 ve salon 2'nin karşılaştırması

5.2.3.1 Çınlama süresi (T) ve erken düşme süresi (EDT)

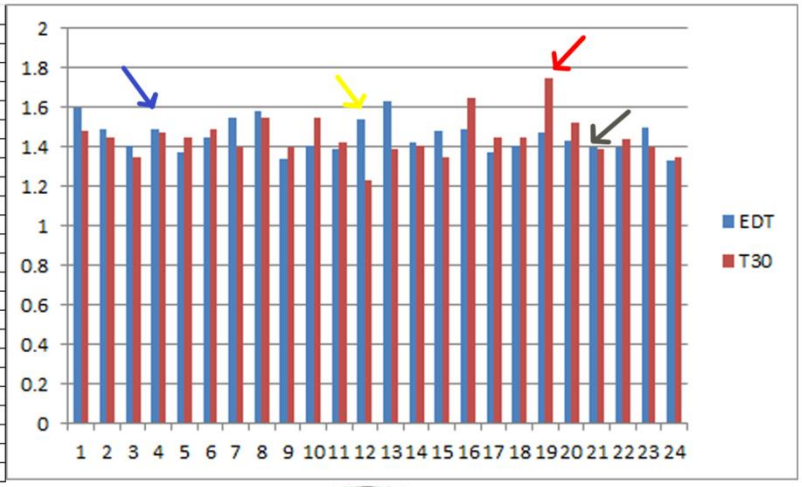
Bölüm 4.1.1'de ve **bölüm 4.1.2**'de anlatılanlardan yola çıkıldığında ve çınlama süresi – hacim ilişkisini veren grafik olan **Şekil 4.4**'ten yararlanıldığında istenen çınlama süresi 1,35 – 2 sn aralığındadır. Literatürde de belirtildiği gibi EDT ve T30 parametreleri arasındaki ilişkide EDT'nin T30'dan müzik için %10 daha fazla olması, konuşma içinse T30'a eşit olması iyi bir akustik için gereklidir. Analizler sonucu elde edilen T30 ve EDT değerlerine bakılarak salonun çınlama karakteriyle ilgili yorumlarda bulunulabilir ve sesin ilk azalma bölümünü inceleyen EDT parametresi sayesinde de salondaki konuşma anlaşılırlığı ve müzikte tonun tokluğu yorumları çıkarılabilir. **Şekil 1.113**'te salon 3 için frekanslara bağlı EDT-T30 değerleri ilişkisine bakıldığında salon genelinde EDT ve T30 değerlerinin birbirine çok yakın, hatta neredeyse eşit olduğu söylenebilir. Bu durum salon genelinde homojene yakın bir ses düşüş eğrisinin olduğunu gösterir.

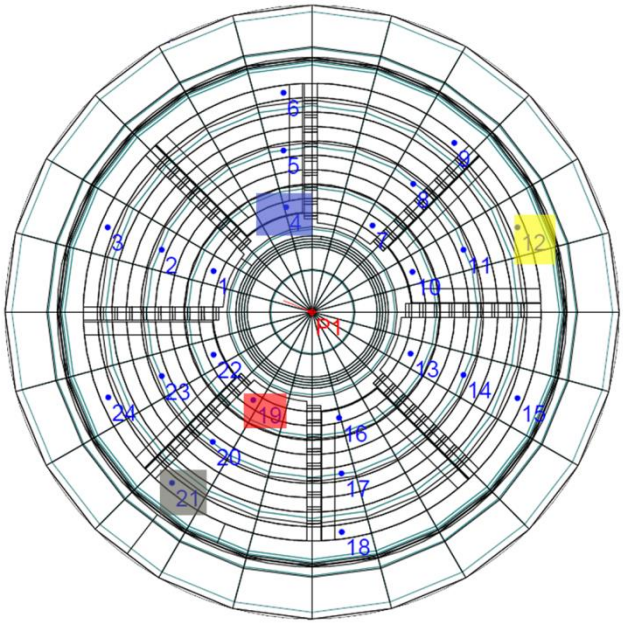


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
EDT Ort.	1,81	1,65	1,51	1,46	1,44	1,18
T30 Ort.	1,79	1,66	1,51	1,45	1,43	1,19

Şekil 5.113 : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 değerleri.

	EDT	T30
1	1.6	1.48
2	1.49	1.45
3	1.41	1.35
4	1.49	1.47
5	1.37	1.45
6	1.45	1.49
7	1.55	1.4
8	1.58	1.55
9	1.34	1.4
10	1.41	1.55
11	1.39	1.42
12	1.54	1.23
13	1.63	1.39
14	1.42	1.41
15	1.48	1.35
16	1.49	1.65
17	1.37	1.45
18	1.41	1.45
19	1.47	1.75
20	1.43	1.52
21	1.4	1.39
22	1.4	1.44
23	1.5	1.4
24	1.33	1.35





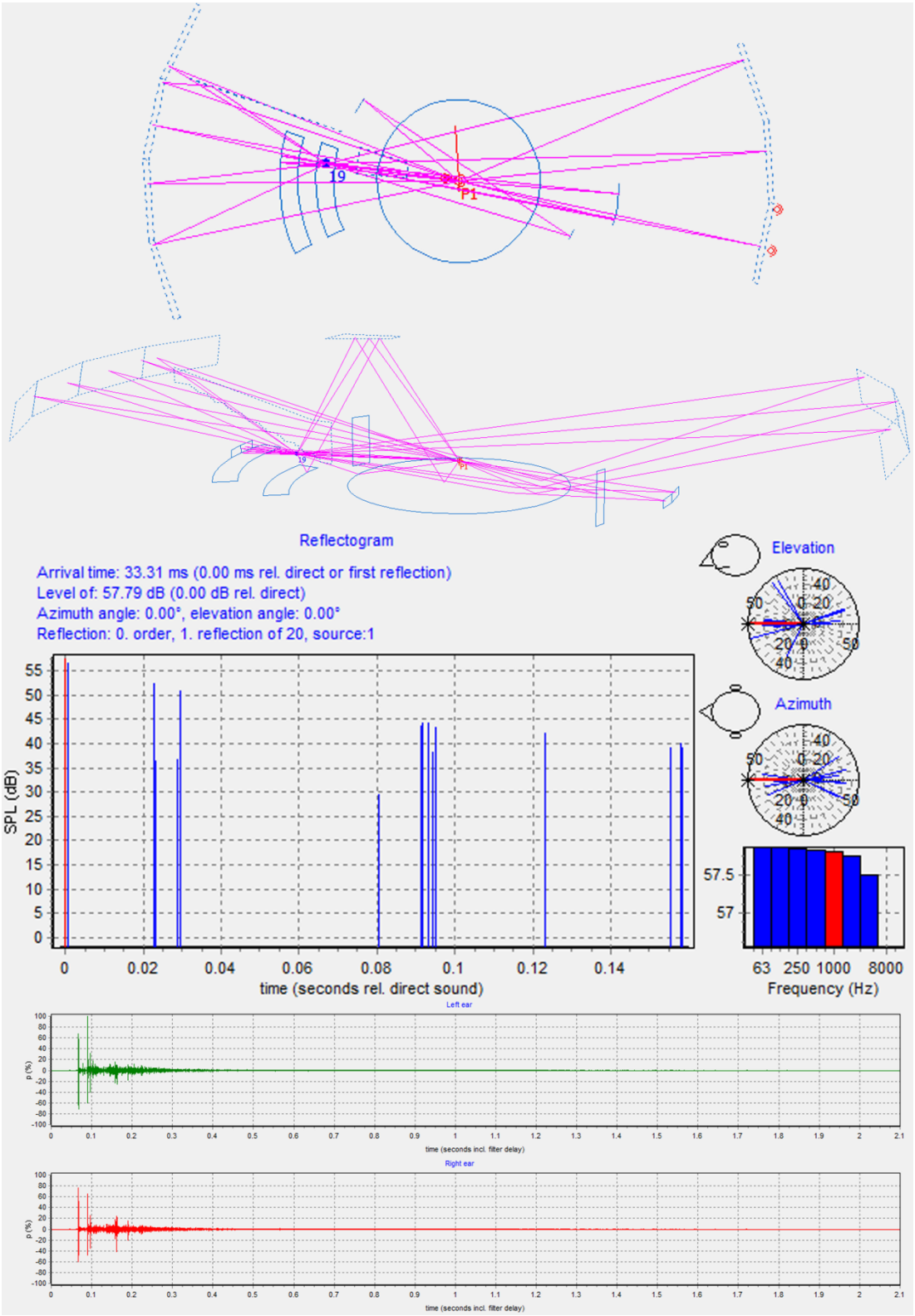
Şekil 5.114 : Salon 3 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki EDT-T30 değerleri.

Şekil 5.114'te salon 3 için alıcı noktalarında EDT ve T30 değerleri verilmiştir. Alıcı 4, 12, 19 ve 21 irdelenmiştir. EDT-T30 ilişkisi bakımından bu noktalar kritik olarak belirlenmiştir. Salonun genelinde bir değerlendirme yapabilmek amacıyla salonun ana ve teras oturumlarının ikisinden de alıcılar seçilmeye çalışılmıştır. Bu yapılırken salonun orta bölümleri aynı aksta bulundukları ön ve arka alıcılarla uyumlu sonuçlar verdikleri için değerlendirme verileri oluşturan, salonun ön ve arka kısımlardan alıcılar alınmıştır. Orta bölümde bulunan alıcılar aynı aksta oldukları alıcılar ile uyumludurlar, ani bir yükseliş düşüş gibi kritik durumlar oluşturmamışlardır. Salon genelinde EDT-T30 ilişkisi bakımından optimum ve optimumun dışında sayılan değerlerin olduğu alıcılar belirlenmiştir.

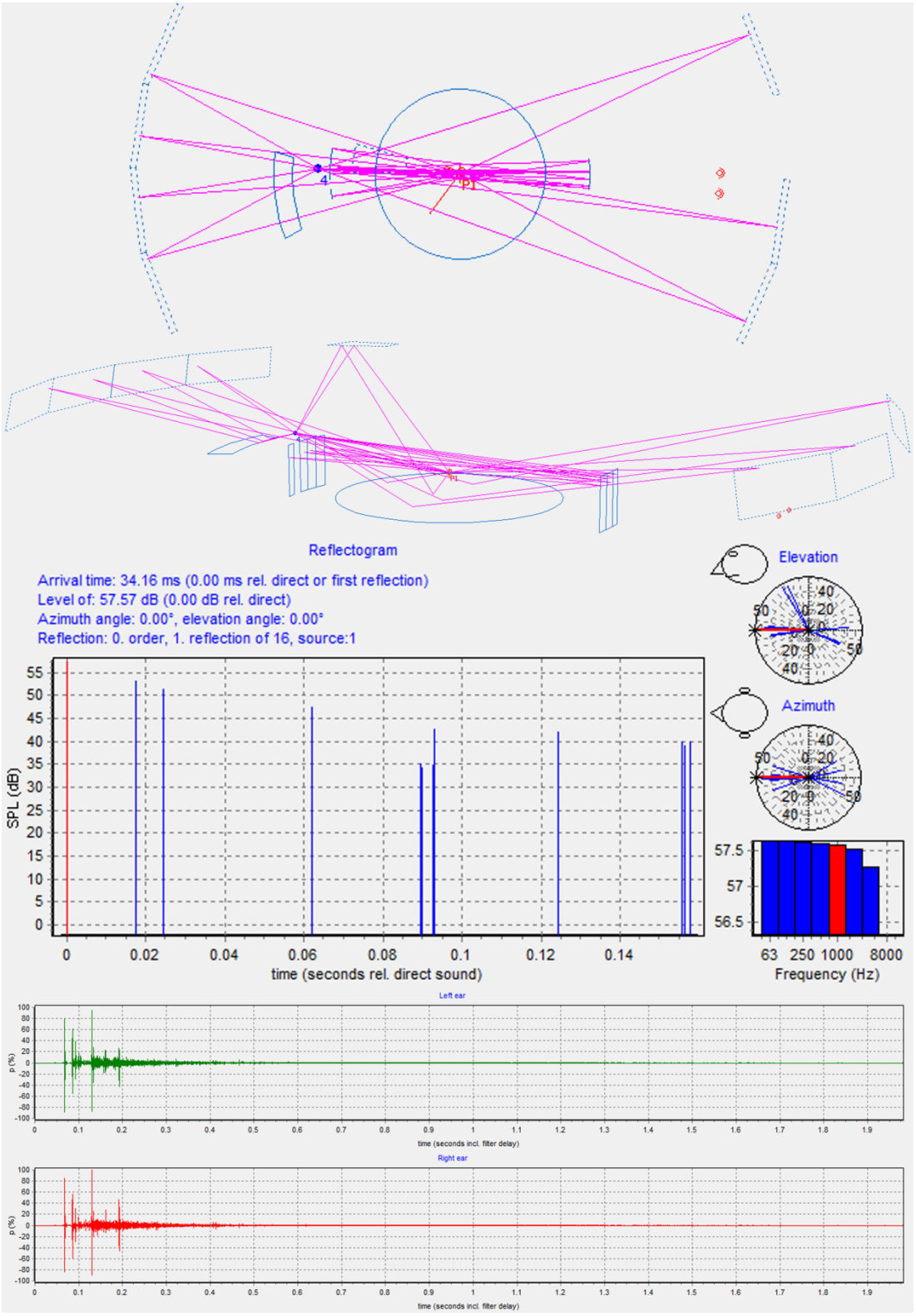
Alıcı 19'da T30>EDT durumu oluşmuştur. Bu, buradaki erken yansımaların yoğunluğunun az olduğunu gösterir. Geç yansıma yoğunluğu erken yansıma yoğunluğundan fazladır. Konuşma açısından incelendiğinde ilk 50 ms içindeki erken ışınların azlığıyla burada anlaşılırlığın azalması beklenir. **Şekil 5.115**'te bu alıcı için verilen enerji diyagramı ve analizine bakıldığında erken enerjinin (ilk 50 ms içindeki enerjinin) az olduğu, 50.ms'den sonra arka yüzeylerden gelen yansımaların yoğunluğu ile karşılaştırıldığında görülmektedir. Bu yoğunluk geç enerjiyi artırarak çınlama süresini uzatmıştır.

Alıcı 4, 12 ve 21 noktalarında EDT>T30 sağlanmıştır. EDT değerinin yüksek olması burada sesin sönümlenmesinin daha uzun sürede olduğunu göstermektedir. Konum olarak bu alıcılar ele alındığında alıcı 4, alıcı 19 ile plan düzleminde benzer konumda sahne önünde görünmektedir. Ancak EDT ve T30 ilişkileri birbirilerinden farklıdır. Bu durumun nedeni alıcı 4'ün terastaki oturum alanında yer almasıdır. Sonuçta, alıcı 4'e arka duvarlardan ulaşan geç enerji yoğunluğu alıcı 19'a ulaşan enerji yoğunluğu kadar yüksek değildir. Bu fark alıcı 4 için **Şekil 1.4**'te verilen enerji diyagramı, ışın ve SPL analizi grafiğinde görülür. İki alıcı için verilen enerji diyagramlarında 80.ms'den sonraki enerji yoğunluğuna bakıldığında alıcı 19'un daha fazla bir yoğunluğa sahip olduğu görülür. Bu durum arka duvardan gelen geç enerjinin salon geometrisi sebebiyle salon ortasında yani sahnede odaklanmasının ve yakın olduğu teras duvarının alıcı 19'a arka duvardan yansıyarak gelen ışını yansıtmasının bir sonucudur. Alıcı 19'da yaşanan bu durum aynı nitelikteki diğer alıcı olan alıcı 7'de de gerçekleşmiştir. Dolayısıyla sahneye yakın olan alıcılarda da geç enerji miktarı fazladır. Alıcı 4'ün terasta konumlanmasıyla bu noktaya arka duvardan ulaşan geç

yansımaların sayısı azalmıştır, ayrıca yansıma yolu alıcı 19'a ulaşanlardan daha kısa olduğu için geç enerji miktarı daha azdır.



Şekil 5.115 : Salon 3'te alıcı 19 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.



Şekil 5.116 : Salon 3'te alıcı 4 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.

Alıcı 12, teras oturumunun en arka sırasında ve alıcı 21 ise ana salon oturumunda teras duvarına yakın kenarda en arka sırada yer alırlar. Bu alıcıların arka duvardan ilk 50 ms içinde aldıkları erken yansımaların yoğunluğu erken enerjiyi artırmıştır. Alıcı 12 için **Şekil 5.117**'de ve alıcı 21 için **Şekil 5.118**'de verilen enerji diyagramları ve

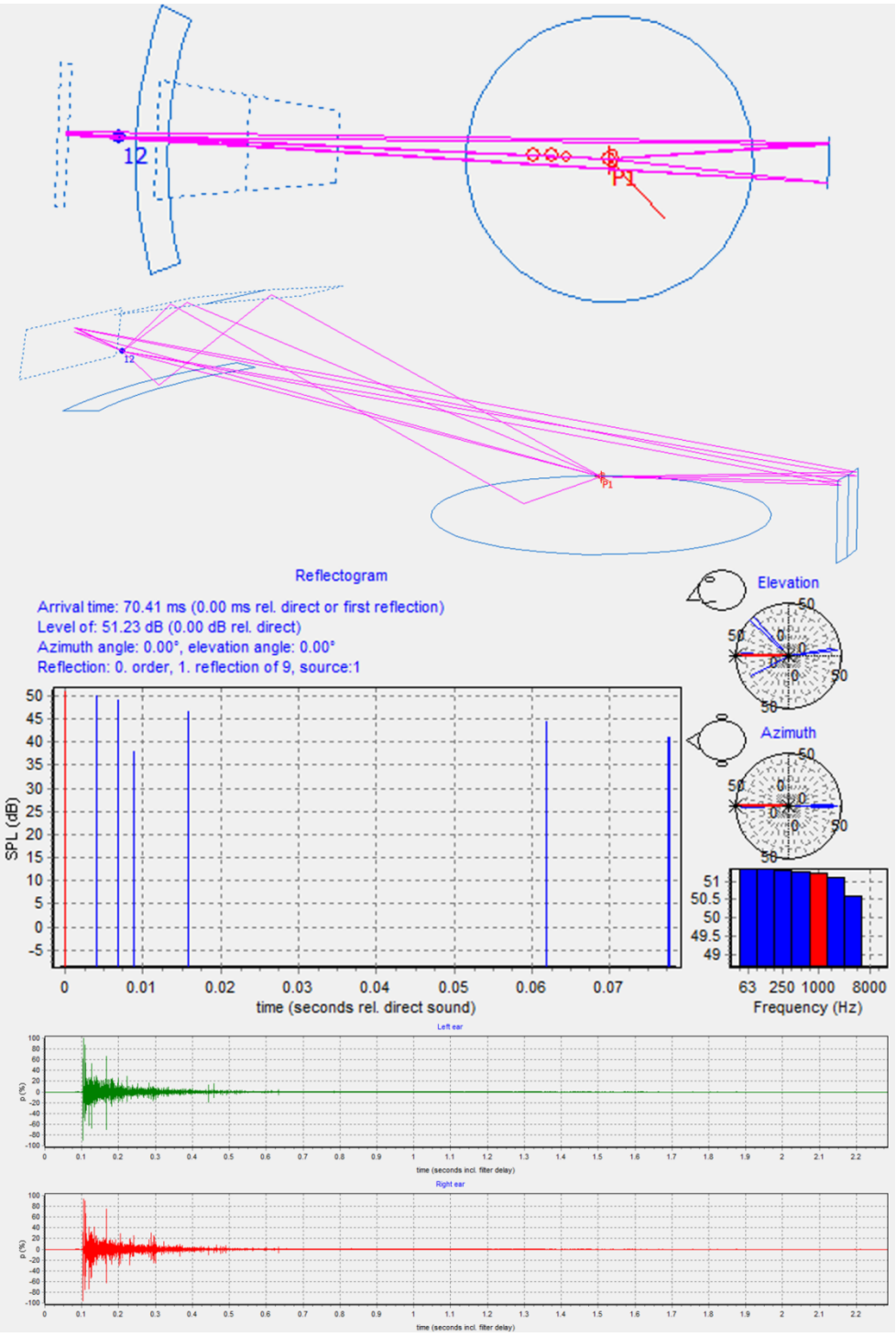
ışın analizinden erken enerji yoğunlukları görülmektedir. Bu noktalarda ilk 50 ms içindeki erken enerjinin artışıyla D_{50} değerlerinde de, yani konuşma anlaşılırlığında da bir artış beklenir. Erken enerjinin artışı müzik için netlik parametresini de etkiler ve daha yüksek bir değerde çıkmasını sağlar. Ancak C_{80} değerlerinin fazla yüksek olması müzik için olumlu bir durum değildir. Odanın "kuru, ölü" algılanmasına neden olur.

Kulak analizi grafiklerinde direkt sesten sonra ulaşan seslerin ses basınç düzeylerinin giderek azalması ideal durumdur. Değer çizgilerinde ani yükselişler eko göstergesidir. Çınlama düşüş eğrisinin düzgün olmamasının da sebepleridir. Alıcılar için verilen kulak analizi grafikleri incelendiğinde direkt sesten sonra gelen seslerde ilerleyen saniyelerde ani yükselişler görülmektedir. **Şekil 5.60** ve **Şekil 5.62**'de alıcı 2 ve alıcı 24 için enerji diyagramları ve sağ ve sol kulaklardaki ses basıncı grafiğine bakıldığında kulaklardaki ses basıncı düzensizliğine neden olan geç gelen enerjinin kulaklarda fark edilir etkiler oluşturduğu, özellikle alıcı 24'te kulaklarda 2.s'de eko oluşturacak bir yükseklik olduğu görülmektedir. Sağ kulak ve sol kulak arasındaki oluşan farklar kulaklara yansımaların geldiği yönle ilgilidir. Alıcıya sağ tarafından gelen yanal yansıma sağ kulağın basıncının sol kulaktan fazla olmasına neden olur. Örneğin; alıcı 19'da yansıyan ışının 1.s'ye yakın değerinin sol kulakta sağ kulaktan yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi alıcıya sol tarafından gelen bir yansımanın olmasıdır. Sağ kulak sol taraftan ulaşan sesi alırken baş tarafından gölgelenir. Bu sebeple sağ taraftaki ses basıncı daha düşük olur.

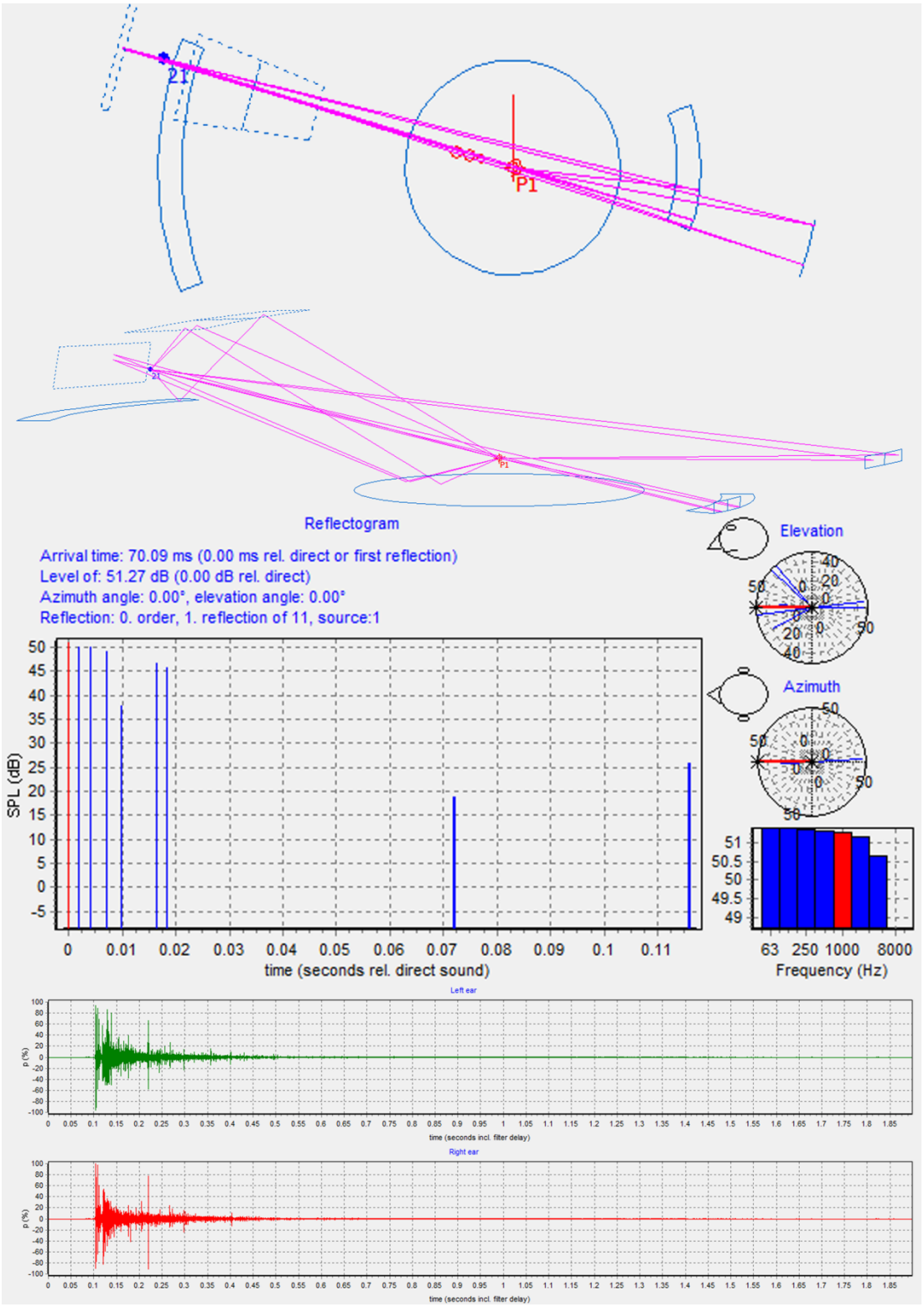
Çizelge 5.4'te salon 3 alıcılarındaki eko kontrolü değerleri verilmiştir. Alıcılara arka duvardan yansıyarak gelen ışınların eko riski oluşturduğu burada elde edilen değerlerde de görülmektedir. özellikle ön ve orta kısımlar yüksek risk taşımaktadır. Çünkü arka duvara en uzak olan noktalar salonun ön ve orta kısımlarıdır.

Şekil 5.119'da salon 3'te noktasal direkt ses ve 13., 32., 60. ve 81. milisaniyelerdeki noktasal dağılımı verilmiştir. **Şekil 5.119** incelendiğinde sesin salon içinde homojen bir biçimde, hiçbir yere odaklanmadan dağıldığı görülmektedir. Bu durum tavan formunun odaklanma üretmeyecek şekilde seçilmiş olmasının bir sonucudur. Ancak daha ileriki yansıma saniyelerinde bu durum değişmektedir. **Şekil 5.120**'de salon 1'de 100., 143. ve 186. milisaniyelerdeki noktasal dağılım verilmiştir. **Şekil 5.120** incelendiğinde salon 3'te arka duvardan yansıyan ışınların salonun ortasına dönüp

toplandığı, yani, odaklandığı söylenebilir. Bu durum arka duvarın tamamen içbükey olmasının bir sonucudur ve sahneye yakın noktalardaki geç enerji fazlalığını açıklamaktadır. Dolayısıyla sahneye yakın alıcılarda çınlayan enerji daha yüksektir ve bunun sonucu olarak da bu noktalarda arka sıralara göre konuşma anlaşılırlığının daha düşük, müzikte tonun tokluğu hissinin daha fazla olması beklenmektedir.



Şekil 5.117 : Salon 3'te alıcı 12 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.



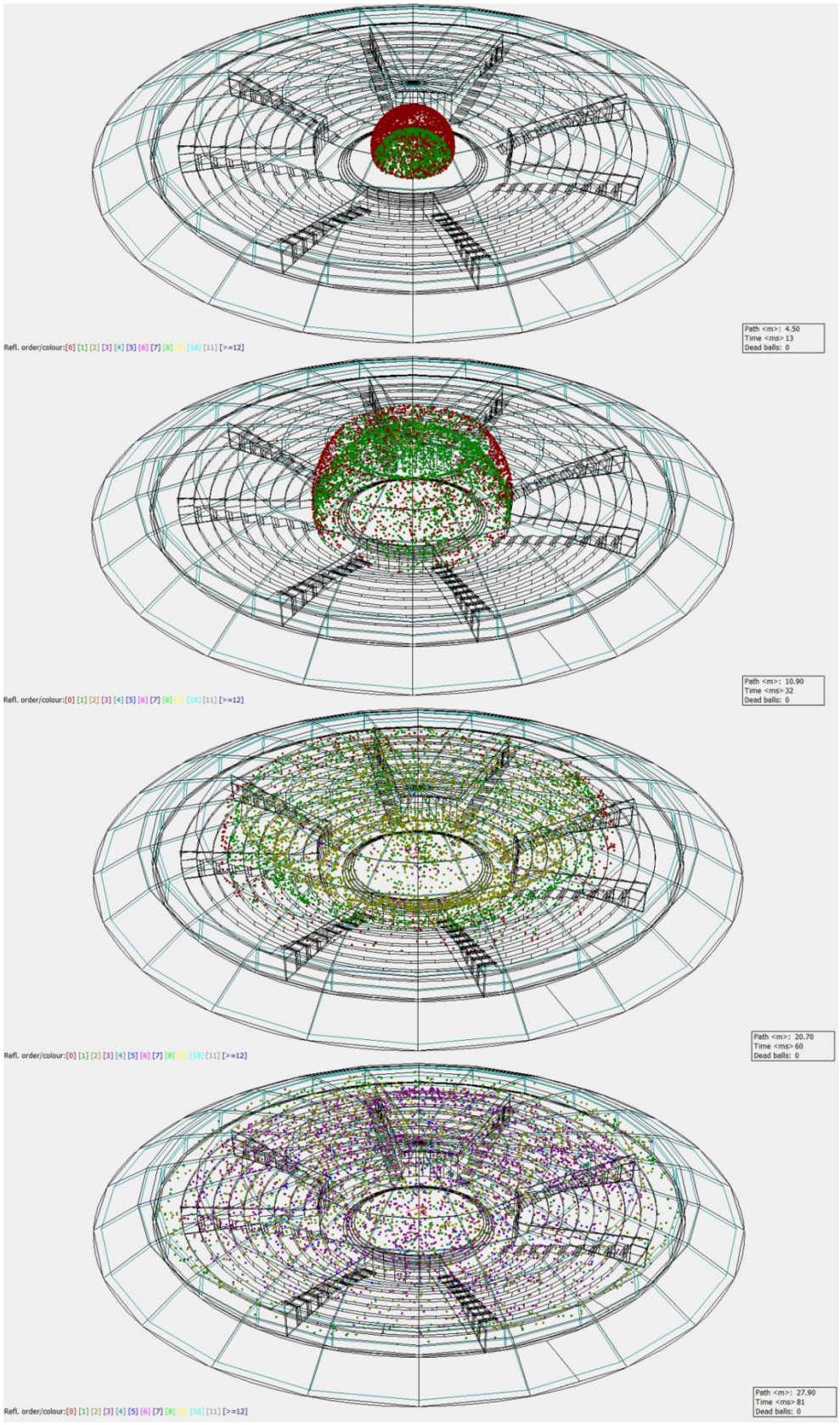
Şekil 5.118 : Salon 3'te alıcı 21 için enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi.

Çizelge 5.4 : Salon 3 alıcılarında eko kontrolü.

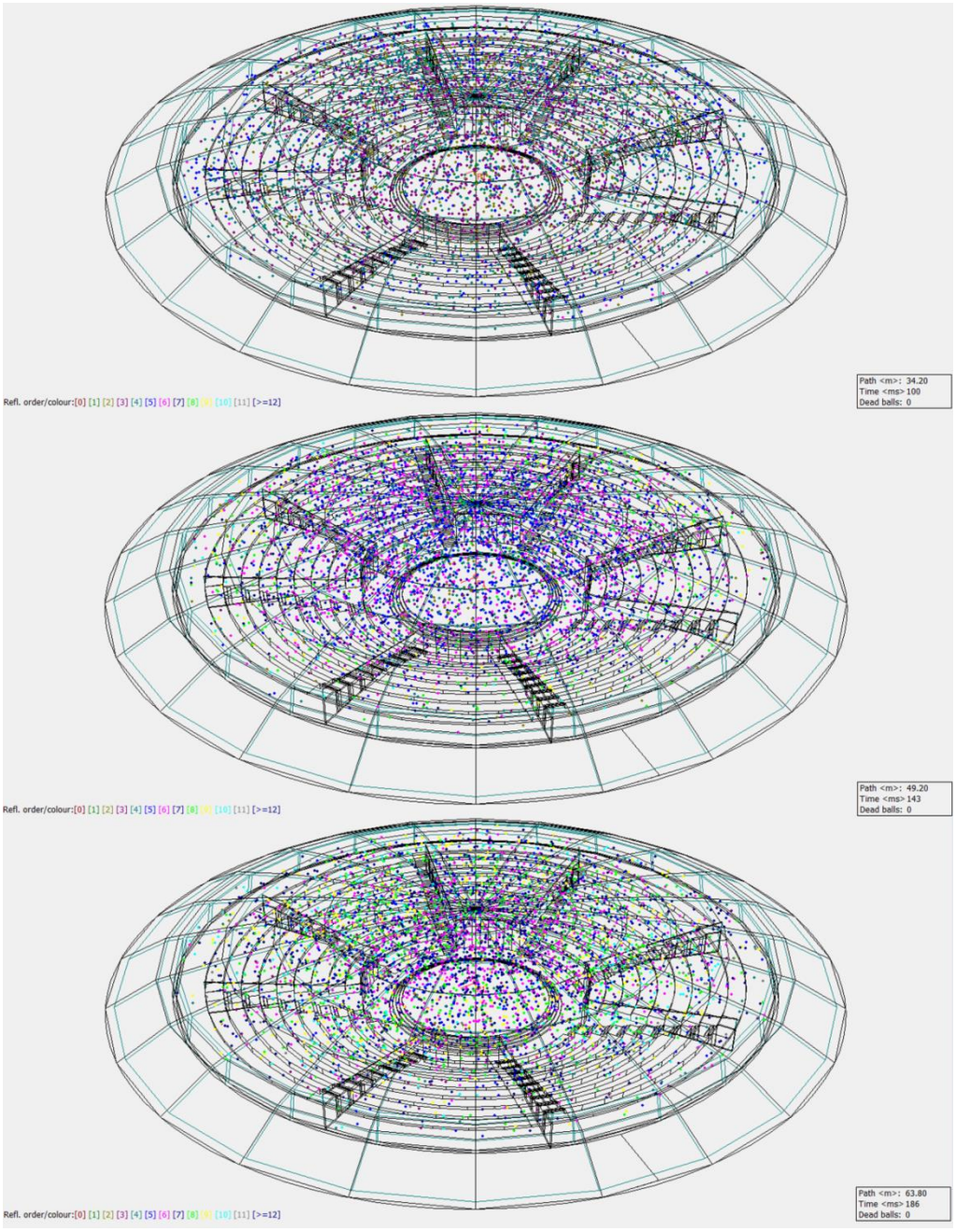
Salon 3	Alıcı Nokt.			Direkt Ses Yolu (m)	Yansıyan Ses Yolu (en uzun yansıyan ışın) (m)		Fark (m)		Fark (ms)	
					Arkadan	Karşıdan				
Ön Sıra Alıcıları	Orta Aks	Ana S.	1	11,5	44,5	65,8	33,05	54,3	97,21	159,7
			13	11,5	44,4	65,9	32,86	54,34	96,65	159,8
		Teras	10	11,7	42	54,4	30,34	42,65	89,24	125,4
			22	11,6	44,5	65,6	32,92	54	96,82	158,8
	Duvara Yakın Aks	Ana S.	7	11,4	44,4	65,7	32,98	54,29	97	159,7
			19	11,4	44,1	65,8	32,68	54,32	96,12	159,8
		Teras	4	11,7	43,7	65,9	31,97	54,19	94,03	159,4
			16	11,8	43,6	54,5	31,75	42,66	93,38	125,5
Orta Sıra Alıcıları	Orta Aks	Ana S.	2	17,6	37,2	54,4	19,61	36,81	57,68	108,3
			14	17,7	37	54,5	19,29	36,81	56,74	108,3
		Teras	11	17,8	36,9	39,1	19,06	21,3	56,06	62,65
			23	17,8	36,9	39	19,16	21,27	56,35	62,56
	Duvara Yakın Aks	Ana S.	8	17,6	37	54,5	19,4	36,82	57,06	108,3
			20	17,7	37,1	60	19,39	42,35	57,03	124,6
		Teras	5	17,8	36,5	70,6	18,7	52,77	55	155,2
			17	17,8	36,5	70,7	18,61	52,86	54,74	155,5
Arka Sıra Alıcıları	Orta Aks	Ana S.	3	24,1	30,3	63,9	6,28	39,79	18,47	117
			15	24,2	30,1	69,2	5,88	44,98	17,29	132,3
		Teras	12	24,2	29,6	50,8	5,44	26,67	16	78,44
			24	24,1	29,7	50,9	5,65	26,85	16,62	78,97
	Duvara Yakın Aks	Ana S.	9	24	30,4	63,8	6,35	39,8	18,68	117,1
			21	24,1	30,3	63,8	6,28	39,79	18,47	117
		Teras	6	24,1	29,7	50,9	5,67	26,88	16,68	79,06
			18	24,2	29,6	50,8	5,39	26,6	15,85	78,24
Konuşma:14 m'den (30 ms), Müzik: 34 m'den (80 ms) fazla direkt ses-yansıyan ışın yolu farkı.										

Şekil 5.121'de salon 3 için çınlama düşüş eğrisi verilmiştir. Salonda terasların yükseltilmesiyle seyircinin kapladığı yutucu alnda düşme olmuştur. Yutuculuğun azalması ile salonda çınlama süresinde artış yaşanmıştır. Dolayısıyla, geç enerji artmıştır. Grafik incelendiğinde ilk 30 dB'lik düşüş bölümündeki eğrilerin daha sonraki düşüş eğrilerinden daha düzgün olduğu görülmektedir. **Şekil 5.119** ve **Şekil 5.120**'de verilen noktasal ışın analizleri grafiklerinden de analiz edildiği gibi tavandan gerçekleşen yansımaların salonda herhangi bir odaklanma veya ekoya neden olmadığı ancak arka duvar yansımalarından sonra duvarların içbükey olmasının bir sonucu olarak salon içinde odaklanmalar ve ekolar oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu kusurlar etki etmeye başladıkları ilerleyen saniyelerden

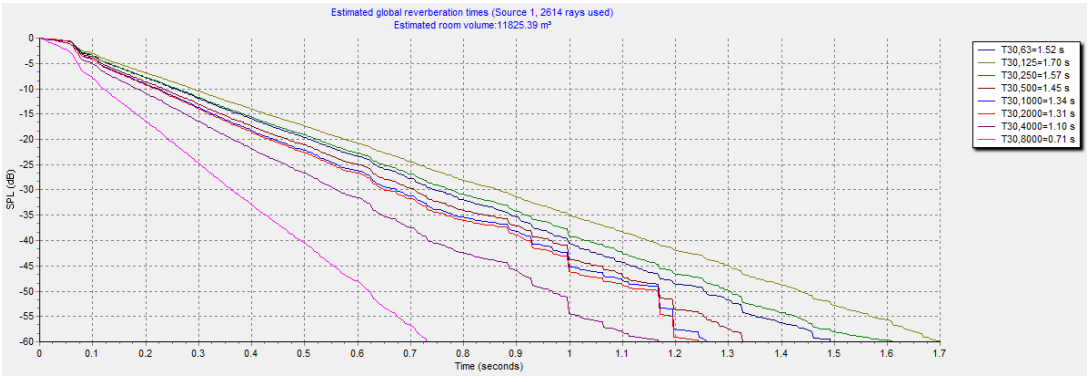
itibaren çınlama düşüş eğrisini bozmaktadır. Yutuculuğun düştüğü bu salonda eğrilerdeki bozulmalar salon 2'ye kıyasla daha önce başlamaktadır.



Şekil 5.119 : 13., 32., 60. ve 81.milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri.

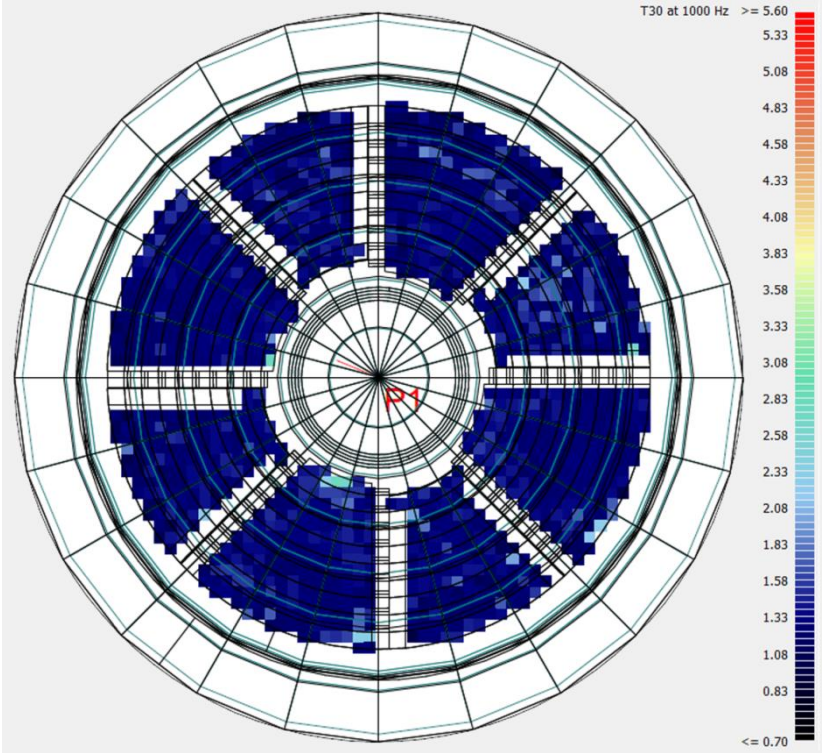


Şekil 5.120 : 100., 143. ve 186. milisaniyelerdeki noktasal ışın analizleri.

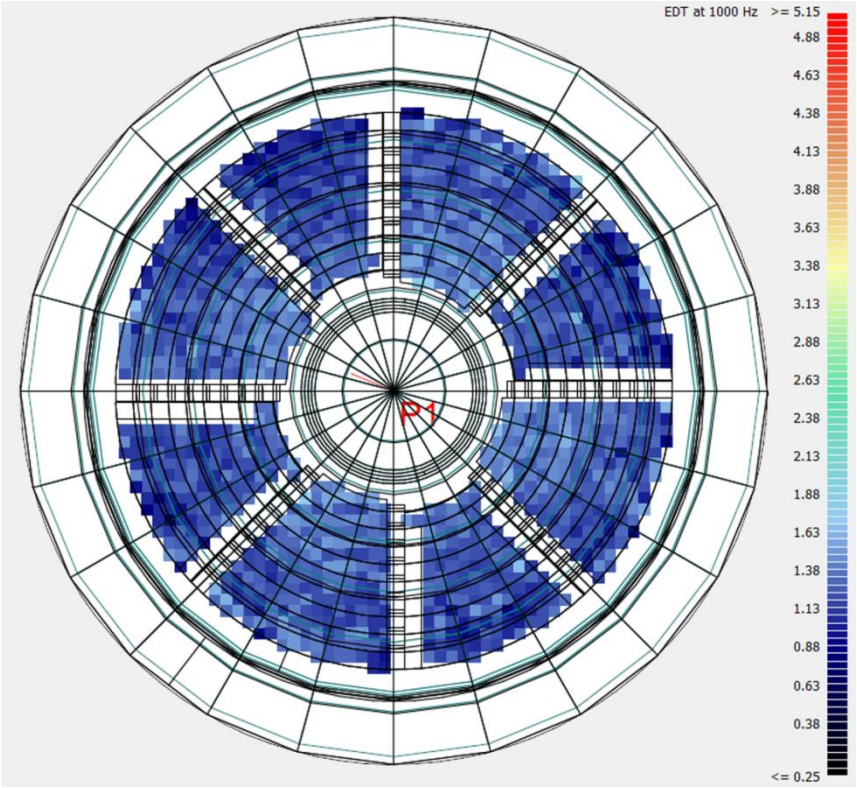


Şekil 5.121 : Salon 3 için çınlama düşüş eğrisi.

Şekil 5.122'de ve **Şekil 5.123**'te salon 3 için 1000 Hz'deki T30 ve EDT grid analizleri yer almaktadır. Alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmeler gridler aracılığıyla doğrulanmaktadır.



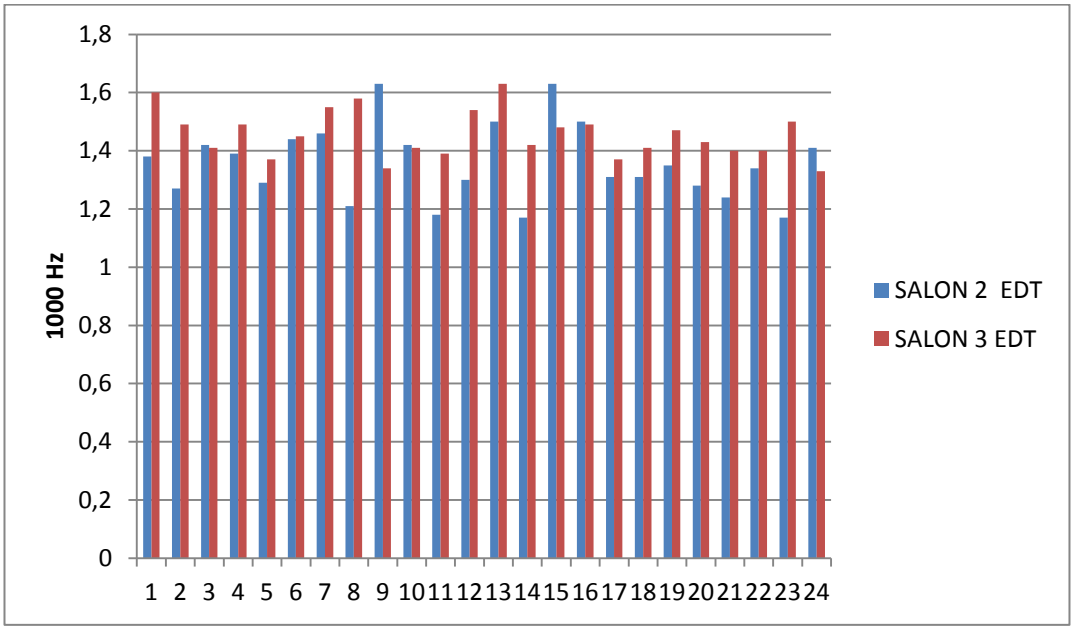
Şekil 5.122 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de T30 değeri.



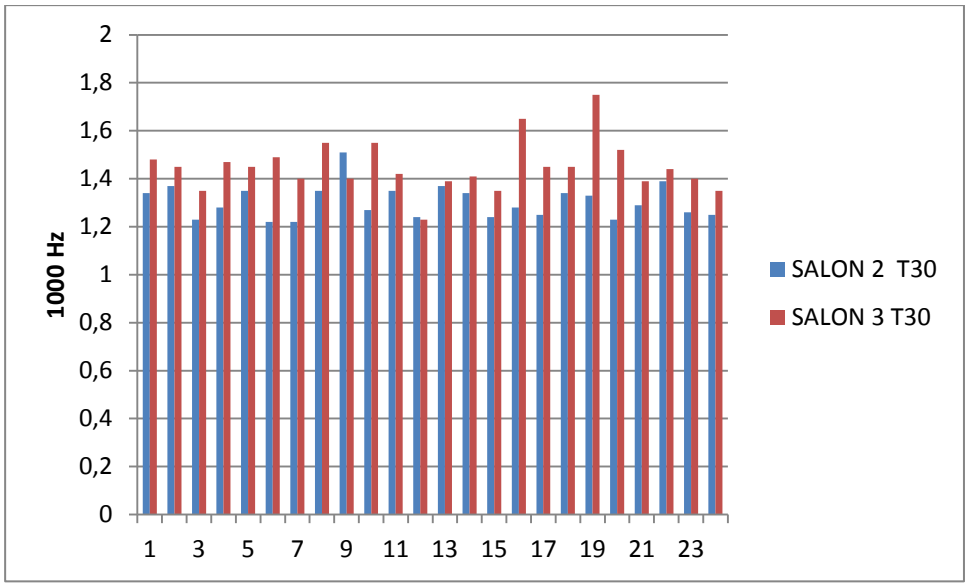
Şekil 5.123 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de EDT değeri.

Salon 3 ve salon 2 teraslı oturum farkının T30-EDT parametreleri bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

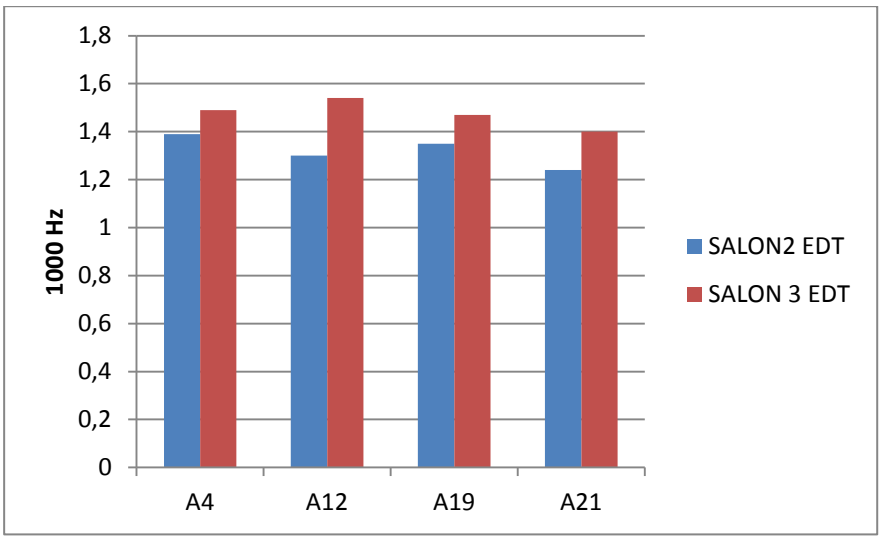
Şekil 5.124 ve **Şekil 5.125**'te salon 2 ve salon 3'ün EDT ve T30 değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafikleri yer almaktadır. EDT grafiğinin geneline bakıldığında EDT değerlerinin salon 3'te arttığı görülmektedir. Yani sesin erken bölümünün sönümlenmesi daha yavaş olmaktadır. Bunun nedeni toplam yüzey alanı olarak dinleyici alanının teraslardaki oturumlarda küçülerek azalmasına ve bunun sonucunda da yutuculuğun azalmasına bağlanabilir. T30 grafiğinde de salon genelinde T30 değerlerinin arttığı görülmektedir. Teras oturumlarının oluşumuyla salon genelinde hacim düştüğü halde T30'da artış olmuştur. Bunun nedeni seyirci alanının azalmasıyla yutuculuğun azalmasıdır. Bu bağlamda, salon 3'te kritik olarak belirlenen alıcı noktaları olan alıcı 4, alıcı 12, alıcı 19 ve alıcı 21'deki EDT ve T30 değişimi **Şekil 5.126** ve **Şekil 1.12**'de verilmiştir. Buradaki verilerden de yola çıkılarak salon genelindeki T30 değerlerinde artış yaşandığı görülür. Çınlama süresinin salonda artış göstermesinin netlik ve anlaşılırlık parametresini olumsuz etkilemesi beklenir.



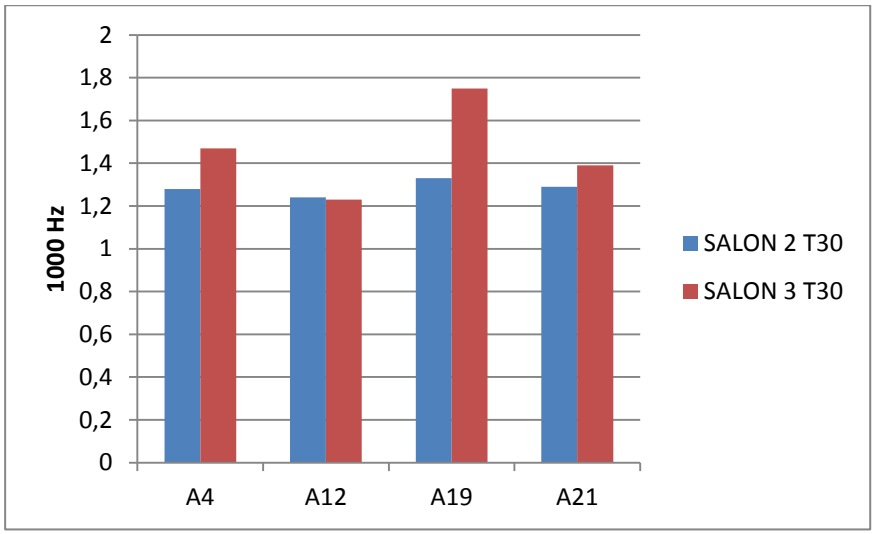
Şekil 5.124 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de alıcılarda EDT karşılaştırması.



Şekil 5.125 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de alıcı noktalarında T30 karşılaştırması.



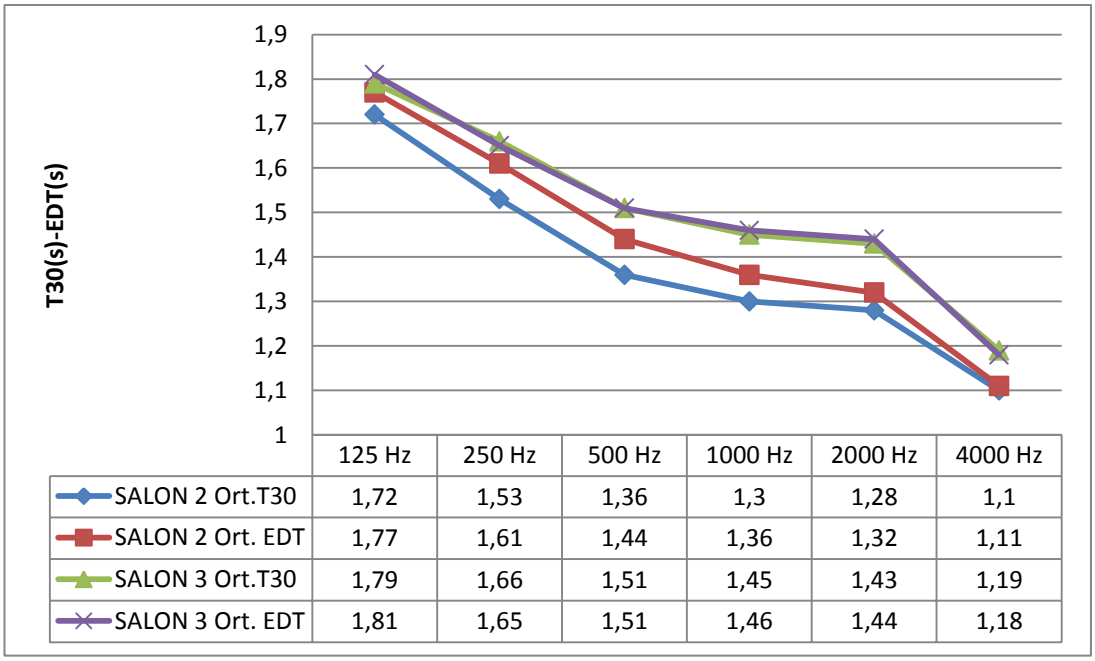
Şekil 5.126 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de kritik noktalarda EDT karşılaştırması.



Şekil 5.127 : Salon 2 ve salon 3'te 1000 Hz'de kritik noktalarda T30 karşılaştırması.

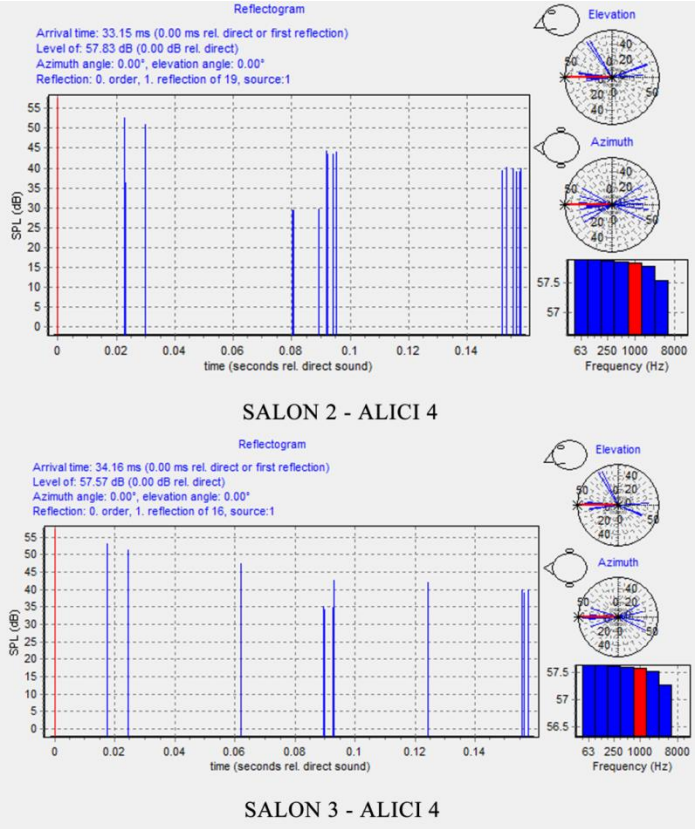
Şekil 5.121'de verilen salon 3 için çınlama düşüş eğrisi ile **Şekil 5.65**'te verilen salon 2 için çınlama düşüş eğrisi karşılaştırıldığında ilk 30 dB'lik düşüş bölümünde eğrilerin benzer olduğu ancak ilerleyen saniyelerde salon 3 eğrilerinin salon 2'ye kıyasla daha bozuk olduğu görülmektedir. Bunun sebebi salonda terasın yükselmesiyle azalan yutuculuk miktarıdır. Yutuculuğun düştüğü bu salonda eğrilerdeki bozulmalar salon 2'ye kıyasla daha önce başlamaktadır.

Şekil 5.128'de salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisi verilmiştir. Grafiğe bakıldığında teras duvarları olan salon 3'te T30 ve EDT değerlerinin salon 2'ye göre yüksek olduğu bir kez daha görülmektedir. Bunun nedeni salon genelindeki yutuculuğun oturumların teraslara yükseltilmesiyle azalmasından kaynaklanır. Kritik alıcı noktaları alıcı 4, 12, 19 ve 21'in salon 2 ve salon 3 için enerji diyagramı karşılaştırmaları **Şekil 5.129**, **Şekil 5.130**, **Şekil 5.131** ve **Şekil 5.132**'de verilmiştir.

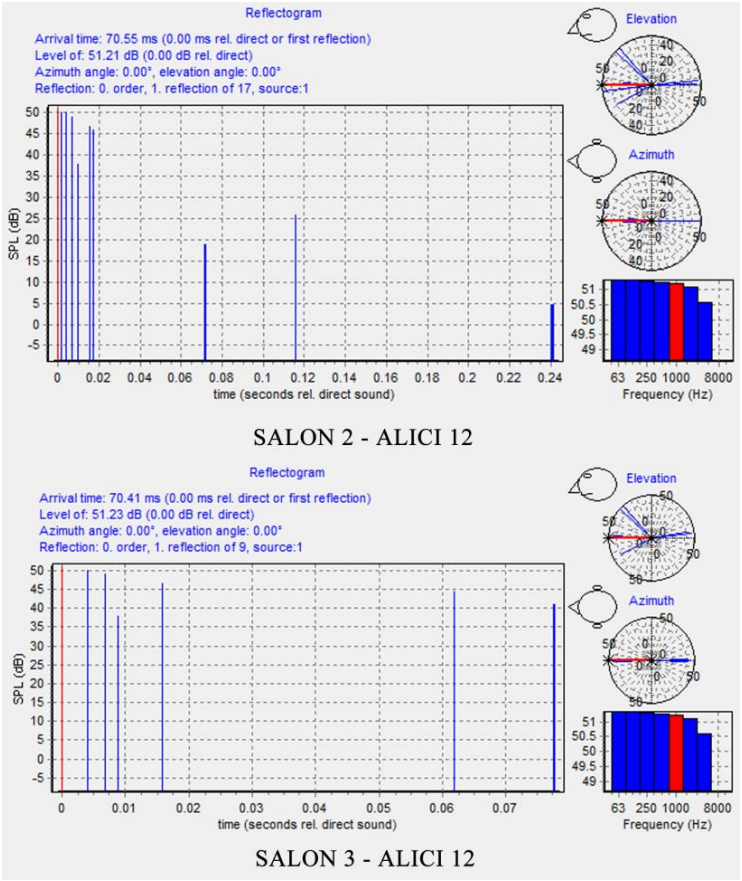


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 2 Ort.T30	1,72	1,53	1,36	1,3	1,28	1,1
SALON 2 Ort. EDT	1,77	1,61	1,44	1,36	1,32	1,11
SALON 3 Ort.T30	1,79	1,66	1,51	1,45	1,43	1,19
SALON 3 Ort. EDT	1,81	1,65	1,51	1,46	1,44	1,18

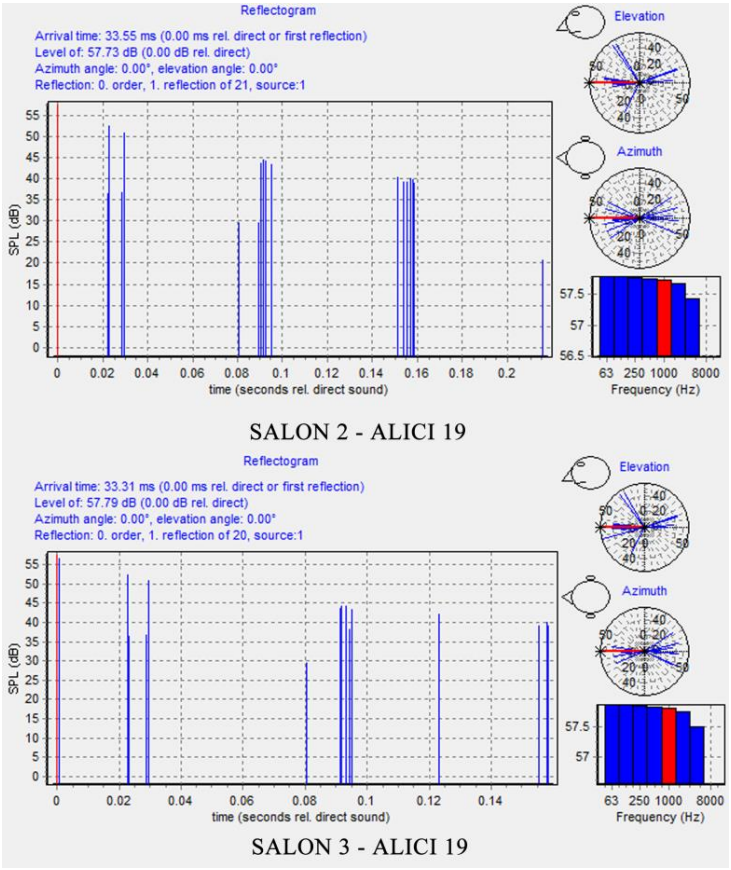
Şekil 5.128 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisi.



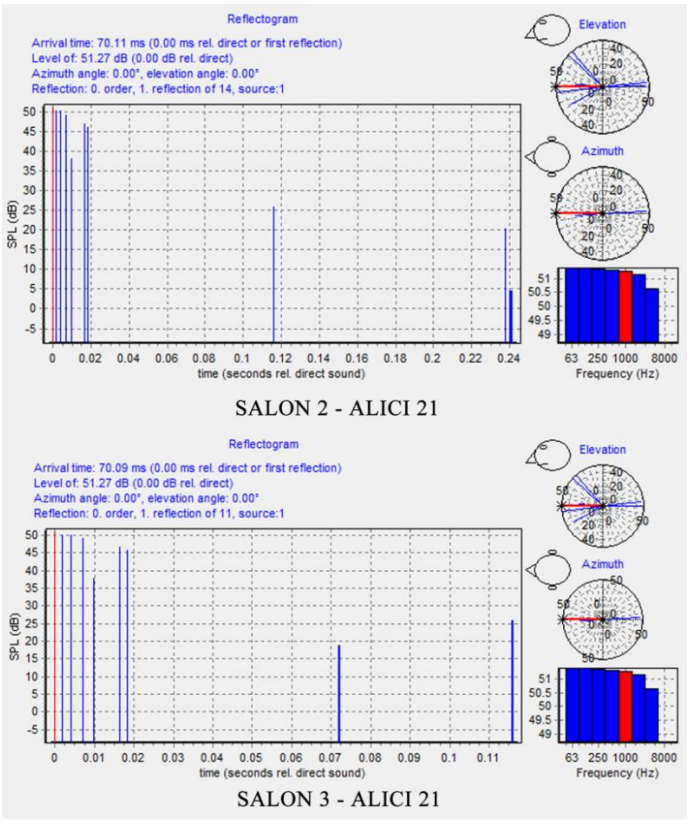
Şekil 5.129 : Salon 2 ve 3'te alıcı 4 için enerji karşılaştırması.



Şekil 5.130 : Salon 2 ve 3'te alıcı 12 için enerji karşılaştırması.



Şekil 5.131 : Salon 2 ve 3'te alıcı 19 için enerji karşılaştırması.



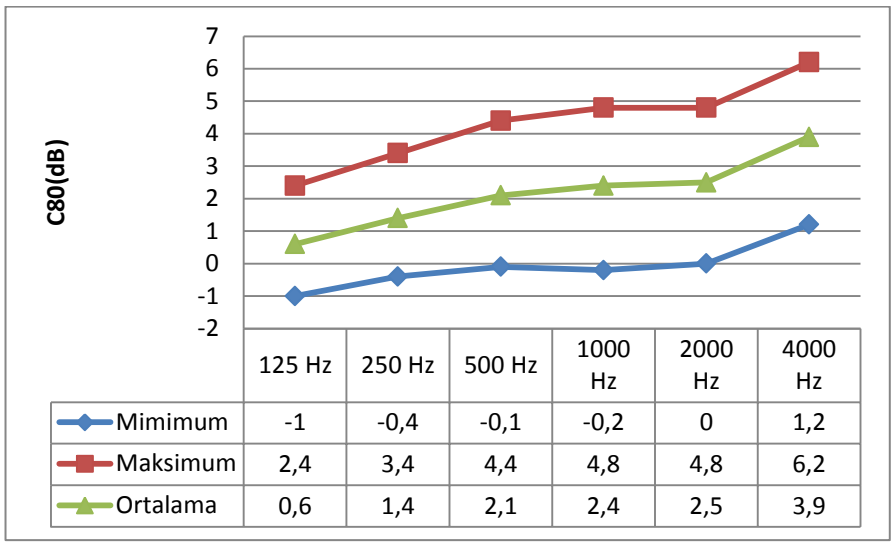
Şekil 5.132 : Salon 2 ve 3'te alıcı 21 için enerji karşılaştırması.

Kritik alıcı noktaları için verilen diyagram karşılaştırmaları incelendiğinde ulaşan toplam ışın sayısında azalma olduğu hesaplanmıştır. En belirgin azalım alıcı 12'de olmuştur. Alıcı 12 teras oturumunun en arkasında yer alan bir alıcıdır. Bulunduğu oturumun teras duvarları alıcıya ulaşan ışınlarda belirgin bir azalmaya sebep olmuştur. Terasta önde yer alan alıcı 4'te de toplam enerjide bir düşüş yaşanmıştır. Teras ile yükseltilmesi ve duvar ile çevrelenmesi alıcıya ulaşan ışınların miktarını düşürmüştür. Terasta olmayan alıcılarda, örneğin alıcı 19'da, toplam gelen ışın sayısındaki azalımın nedeni yine teras duvarlarıdır. Alıcıların tam karşı yüzeylerinden kendilerine ulaşan ışınlar salon 3'te teras duvarlarınca kesintiye uğramıştır. Bununla beraber bu alıcıda, arka duvardan yansıyan ışın, alıcının yakın olduğu teras duvarından yansıyarak kendine ulaşmaktadır, bu da geç enerjiyi bu noktada artırmaktadır. **Şekil 5.131**'de alıcı 19 için verilen değişim miktarının diğer alıcılardan fazla olmasının sebebi budur. Aynı durum alıcı 7'de de yaşanmıştır. Ancak toplam enerjide bir düşüş vardır. Salon genelindeki yutuculuğun düşmesi ile T30 ve EDT değerleri salon 2'den daha yüksektir. Alıcıların ışın analizlerinden yola çıkılarak, teras duvarlarının salonda bu biçimde konumlandırılmasının alıcı noktalarında yan duvarlardan istenen yanal yansımalara katkı sağlamadığı söylenebilir. Bunun bir sonucu olarak salonda ana oturum kısımlarının ön sırasında teras duvarına yakın iki köşe bölgesinde teras duvarından gelen geç enerjinin iletimi olmaktadır.

5.2.3.2 Netlik (C_{80})

Bölüm 4.1.11 altında anlatılanlar ve **Çizelge 4.2**'deki verilerden yola çıkılarak salonun genelinde ve alıcı noktaları bazında bir değerlendirme yapılabilmektedir, optimum aralık (-) – (+4) arasındadır. C_{80} parametresi erken ulaşan sesin geç ulaşan sese oranıdır, doğrudan sesin ulaşmasından itibaren ilk 80 milisaniye, bir seviye olarak belirlenmiştir [1]. Çınlamanın az olduğu salonlarda bu değer pozitif bir değer olarak çıkar, çınlama yüksek olduğundaysa negatif değerleri alır. **Şekil 5.133**'te C_{80} parametresinin salon 3 için frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama değerleri yer almaktadır. Salon genelinde elde edilen ortalama C_{80} değerlerinin optimum sınır değerleri arasında kaldığı görülmektedir. **Şekil 5.134** incelendiğinde salonda sahne önünden arka sıralara doğru C_{80} değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Salon geometrisinden dolayı arka duvarlardan yansıyan ses salonun merkezine geri dönmektedir. Dolayısıyla salonun merkezine yakın olan ön

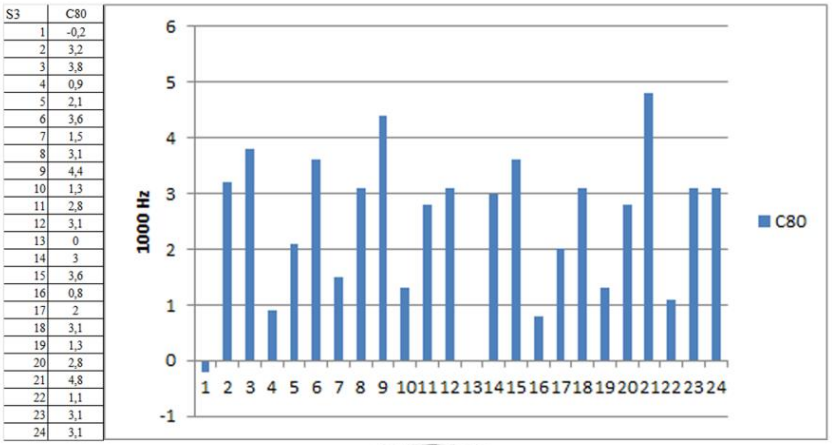
sıralardaki alıcılarda C_{80} değerleri daha düşüktür. **Şekil 5.135** ve **Şekil 5.136**'da ana salon oturumları ve teras oturumlarındaki alıcılar için ayrı ayrı grafik verilmiştir.

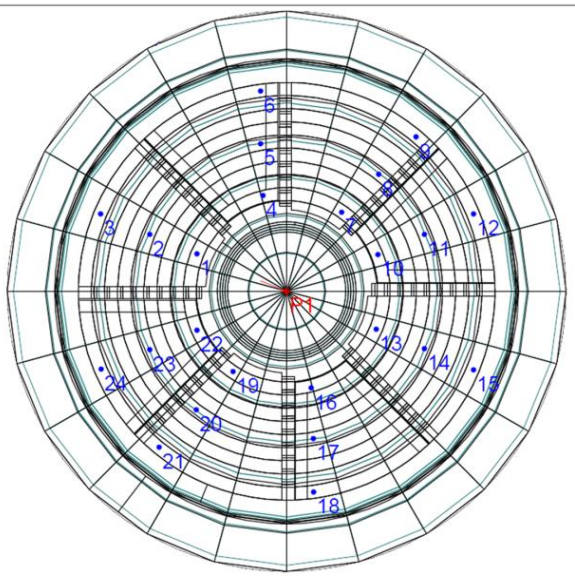


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	-1	-0,4	-0,1	-0,2	0	1,2
Maksimum	2,4	3,4	4,4	4,8	4,8	6,2
Ortalama	0,6	1,4	2,1	2,4	2,5	3,9

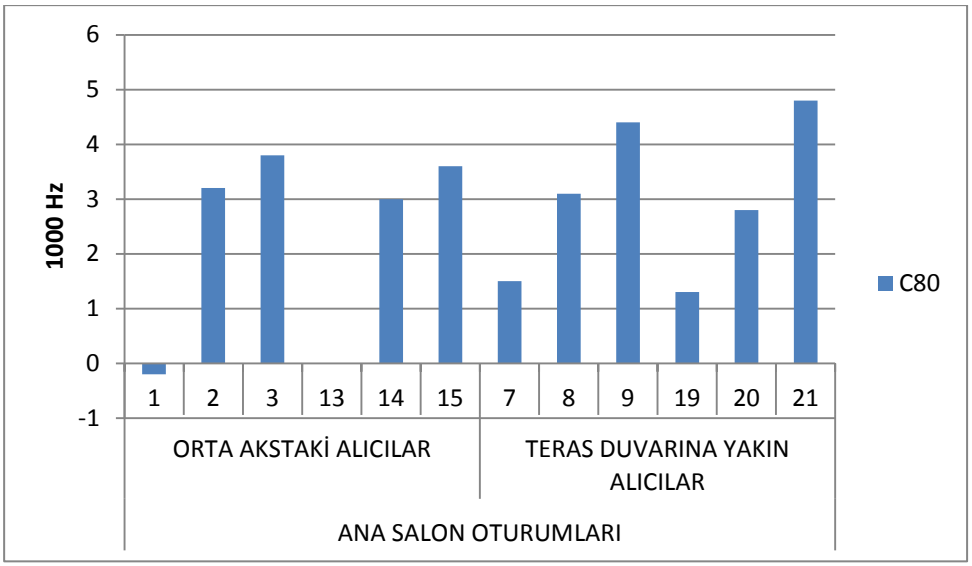
Şekil 5.133 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama C_{80} değerleri.

S3	C80
1	-0,2
2	3,2
3	3,8
4	0,9
5	2,1
6	3,6
7	1,5
8	3,1
9	4,4
10	1,3
11	2,8
12	3,1
13	0
14	3
15	3,6
16	0,8
17	2
18	3,1
19	1,3
20	2,8
21	4,8
22	1,1
23	3,1
24	3,1

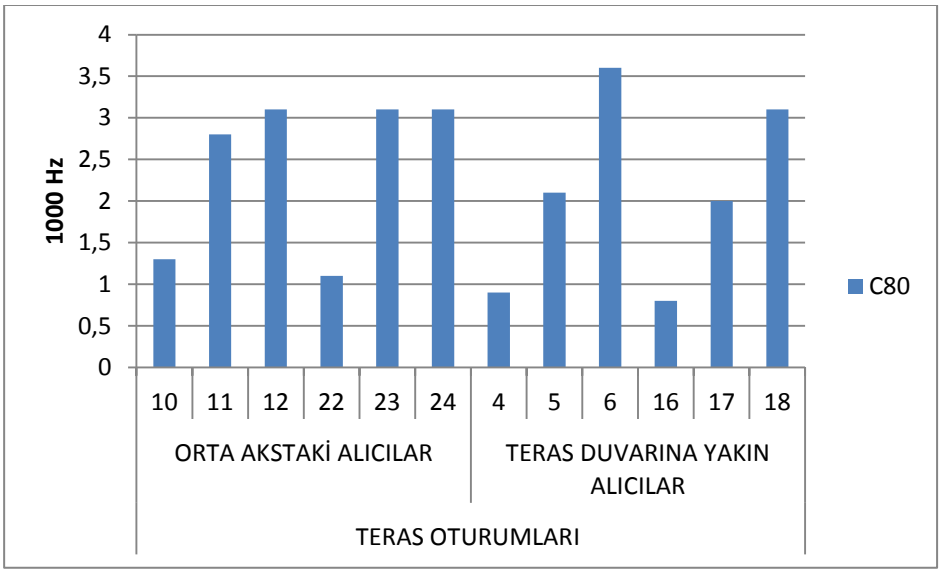




Şekil 5.134 : Salon 3 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki C_{80} değerleri.



Şekil 5.135 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de C_{80} değerleri.



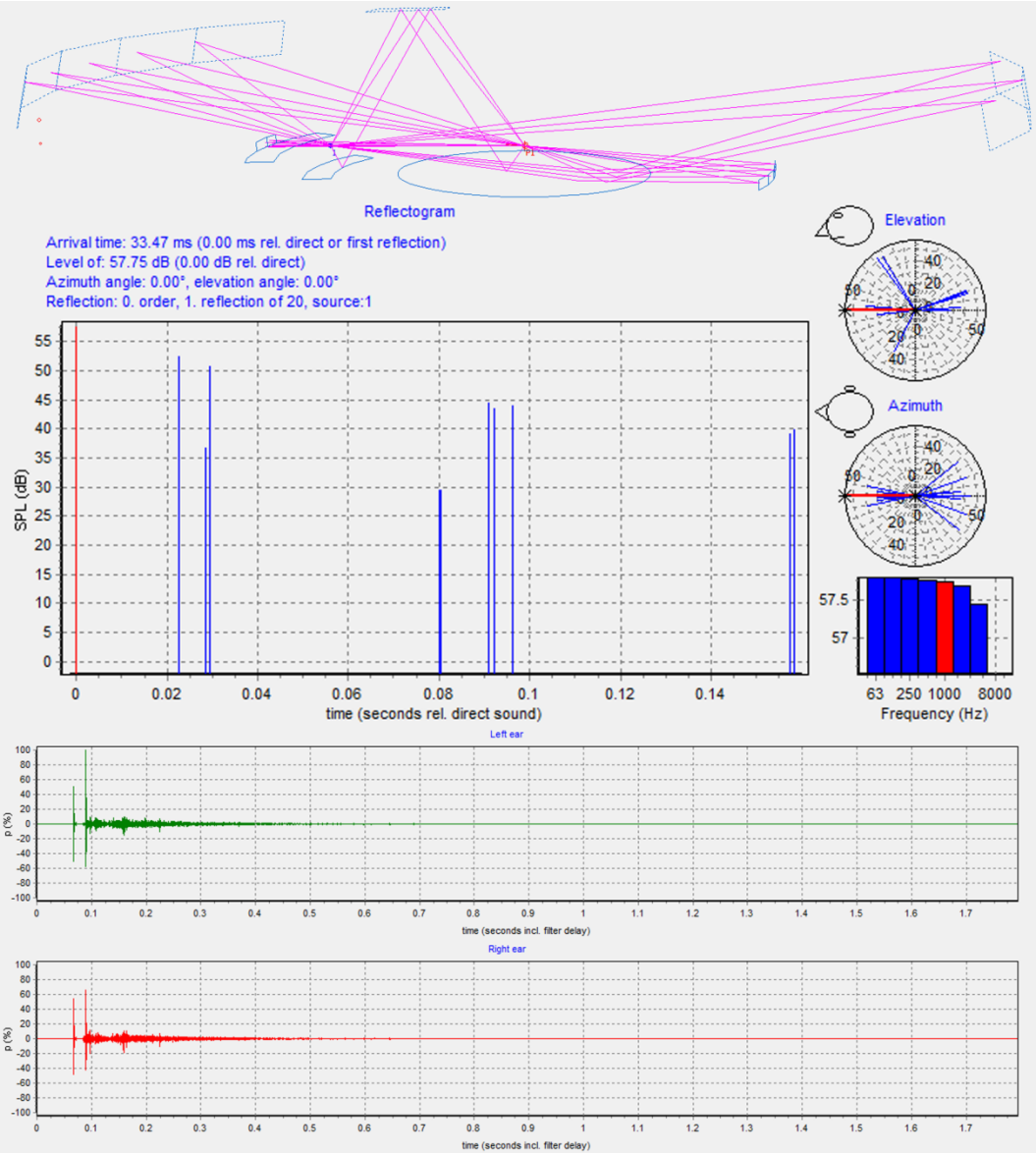
Şekil 5.136 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de C_{80} değerleri.

Şekil 5.135 ve **Şekil 5.136** incelendiğinde hem ana salon hem de teras oturumlarında teras duvarlarına yakın alıcılardaki değerler daha düzenli bir grafik vermiştir. C_{80} değerleri duvar kenarı aksında incelendiğinde sahnenin önünden salonun arkasına doğru artış göstermektedir, hem ana salon hem de terastaki alıcılar için. Bu durumun nedeni alıcıların arka duvara yaklaşarak arka duvardan gelen erken yansımaları almasıdır. Böylece alıcıların aldıkları erken enerji miktarı artar. Duvar kenarı aksında yer alan ve kritik olarak belirlenen alıcı 19 ve alıcı 21 bu bölgedeki alıcıları temsilen örnek verilebilir. **Şekil 5.131**'de alıcı 19 ve **Şekil 5.132**'de alıcı 21 için verilen enerji diyagramları incelendiğinde, alıcı 19'un 80.ms'den sonra aldığı yansımalar geç enerji

miktarını artırmış ve C_{80} değerini düşürmüştür. Alıcı 21'de ise 80.ms'den sonra gelen geç enerji miktarı daha düşüktür. Bu durum arka duvara yakın olmasının bir sonucudur. Dolayısıyla C_{80} değerleri bu noktalarda daha yüksektir.

Şekil 5.135 ve **Şekil 5.136** incelendiğinde hem ana salon hem de teras oturumlarında orta aksta yer alan alıcılarda C_{80} değerleri sahneye daha yakın olan ön sıradaki alıcılarda daha düşüktür. Bu akstaki orta ve arka sıradaki alıcılar için ise C_{80} değerleri iki oturum tipi için de birbirine yakındır. Orta akstaki bu alıcılar için sahneye yakın alıcıları temsilen alıcı 1, en arka sıradaki alıcıları temsilen alıcı 12 seçilmiş ve incelenmiştir. **Şekil 5.136**'da alıcı 1 için verilen enerji diyagramı, ışın analizi ve sağ-sol kulaktaki ses basınç grafiği ile **Şekil 5.130**'da alıcı 12 için verilen enerji diyagramı ve ışın analizi grafiği incelendiğinde alıcı 1'in alıcı 12'den daha fazla geç yansıma aldığı görülür. Alıcı 12 duvara en yakın alıcılar arasındadır, böylece duvardan gelen erken yansımalardan alıcı 1'den daha fazla yararlanır. Arka duvardan gelen yansımalar alıcı 1'e ulaştığında yansıma yolunun uzunluğu nedeniyle geç enerji özelliği kazanır ve buradaki geç enerji yoğunluğu artar. Geç enerji yoğunluğunun artması alıcı 1 ve benzeri konumda yer alan alıcılar için C_{80} değerlerini düşürür. Bu bölgelerde daha fazla çınlayan özellik oluşmasına neden olur. Yansıyan ışınlar kulaklar üzerinde belirli işitme etkileri oluştururlar. Alıcı 1'de 80.ms'den sonra yoğunlaşan ve şiddeti artan geç yansımaların kulakta işitilebilir bir etki, eko yaratması beklenir. **Şekil 5.137**'de alıcı 1 için verilen enerji diyagramı, ışın analizi ve sağ-sol kulaktaki ses basınç grafiğinden kulakta hissedilen yükselen ses basıncı okunmaktadır. Sol kulakta ilk saniye içindeki ses basıncının sağ kulaktakinden yüksek olması alıcıya gelen yansımaların alıcının sol tarafından gelmesinin bir sonucudur.

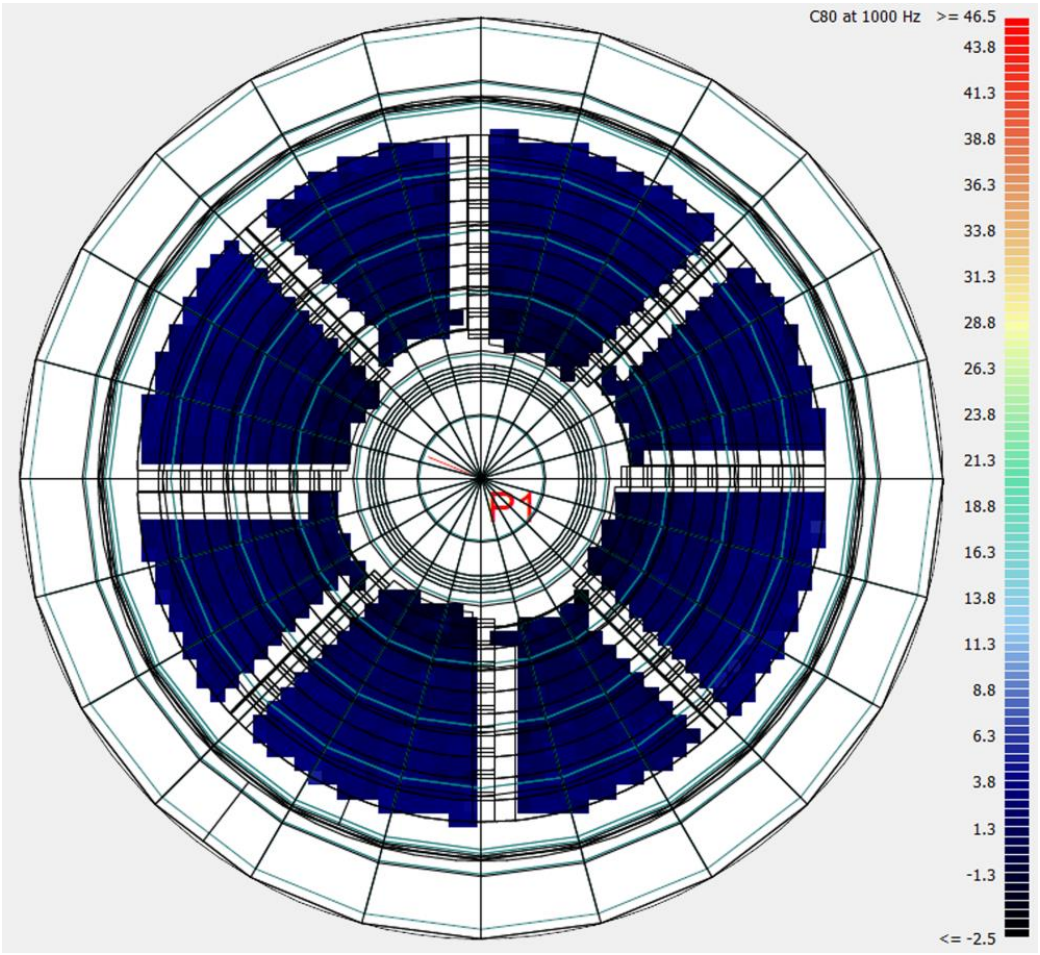
Ana salon ve teras oturumlarının orta aksta ön sırada yer alan alıcılarının (yani ana salon için orta aks ön sırada yer alan alıcı 1 ve alıcı 13, teraslar için alıcı 10 ve alıcı 22'nin) C_{80} değerleri karşılaştırıldığında terastaki alıcıların değerlerinin ana salondaki alıcıların değerlerinden daha yüksek bir değere sahip olduğu görülür. Oluşan bu farkın sebebi terasların yükseltilmesiyle buradaki alıcıların duvara yakınlaşmış olmasıdır. Dolayısıyla bu alıcılara ulaşan yansımaların yolu kısalmıştır. Bu da bu alıcılara biriken geç enerji miktarını azaltmış, C_{80} değerlerinin yükselmesini sağlamıştır.



Şekil 5.137 : Salon 3'te alıcı 1 için enerji diyagramı ve sağ-sol kulaktaki ses basıncı.

İki oturum tipi için de orta akstaki alıcıların orta sırasında yer alan alıcılardaki, yani 2, 14, 11 ve 23'teki, C_{80} değerleri teras duvarına yakın alıcıların orta sırasındaki alıcıların, yani 8, 20, 5 ve 17'nin, C_{80} değerlerinden yüksektir. Bunun nedeni duvar kenarına yakın olan alıcılara salonun öbür ucundan yansıyıp gelen bir geç yansıma ışınının etki etmesidir. Bu geç enerjinin etkisiyle buralardaki C_{80} değerleri, orta aksın ortasında konumlanmış alıcıların C80 değerlerinden daha düşük olmuştur.

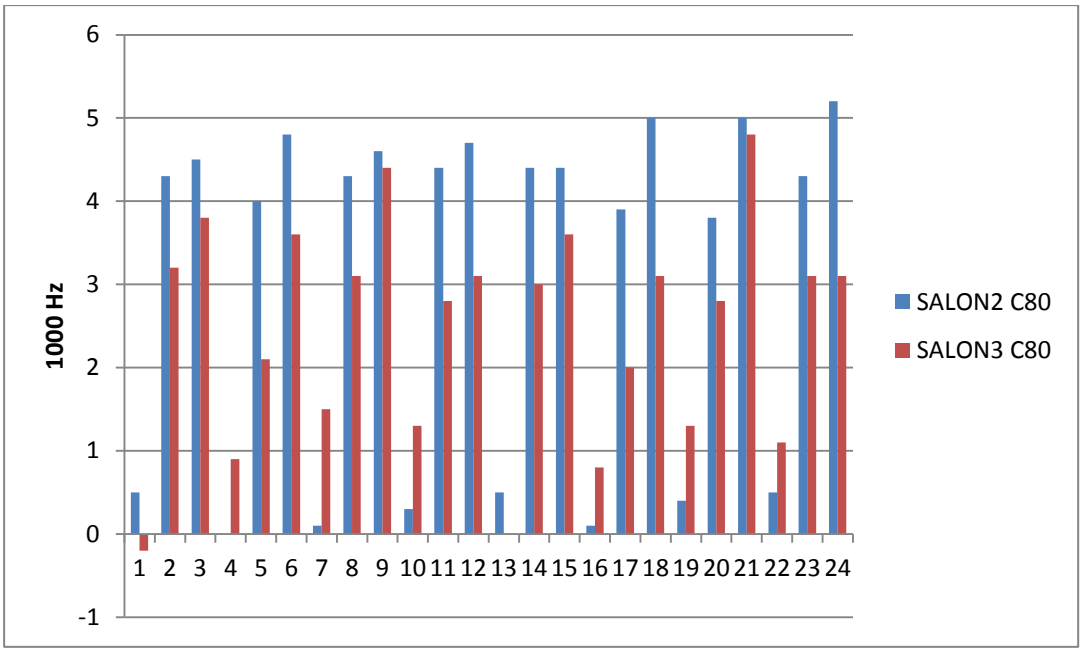
Şekil 5.138'de verilen salon 3 için 1000 Hz'deki C_{80} grid analizi anlatılanları doğrulamaktadır. Sahneye yakın oturma alanlarına bakıldığında C_{80} değerlerinin düştüğü, salonun arka sıralarına doğru C_{80} değerlerinin arttığı görülmektedir.



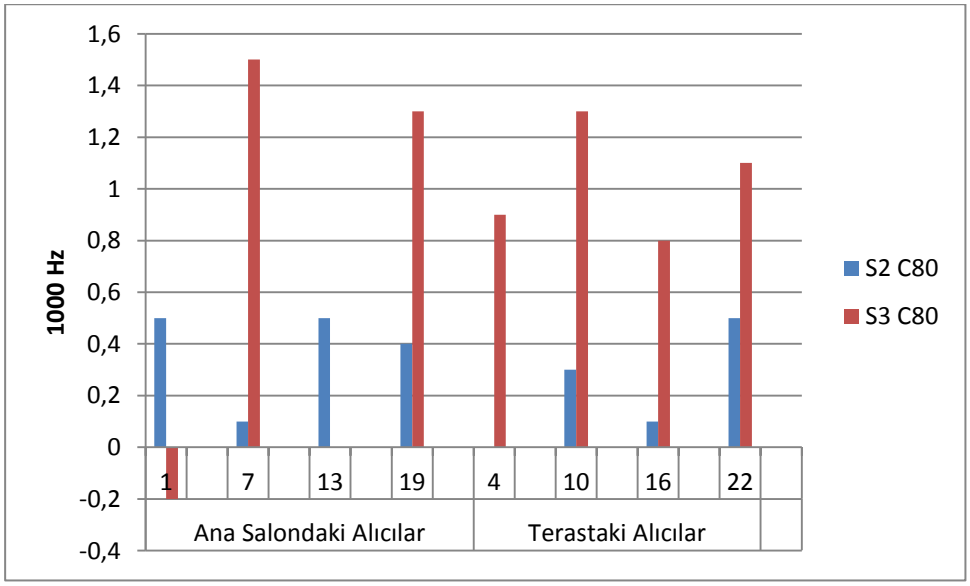
Şekil 5.138 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de C_{80} değeri.

Salon 3 ve salon 2 teraslı oturum farkının C_{80} parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.139'da salon 2 ve salon 3'ün C_{80} değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salonun orta ve arka bölümlerinde yer alan alıcılarda C_{80} değeri düşüş gösterirken, salonun ön sırasında yer alan alıcı noktalarında ise bu değerdeki farklılık alıcının konumuna bağlı olarak artış veya azalış göstermiş. Orta ve arka bölümlerdeki düşüş salonun genel olarak çınlama değerinin artmasına bağlanabilir. Ayrıca salonun teras oturumlarının orta ve arka alıcılarındaki (alıcı 5, 6, 11, 12, 17, 18, 23, 24) C_{80} değerleri ana salon oturumunda yer alan orta ve arka alıcıların (alıcı 2, 3, 8, 9, 14, 15, 20, 21) değerlerinden daha düşüktür. Bunun nedeni teras bölümünde azalan eğimle beraber koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artması ve alıcılara ulaşan erken enerjinin düşmesidir. Bu durum **Şekil 5.128**'de salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama EDT-T30 ilişkisinin verildiği grafikten de görülmektedir. Salon 3'teki çınlama süresi artmıştır.



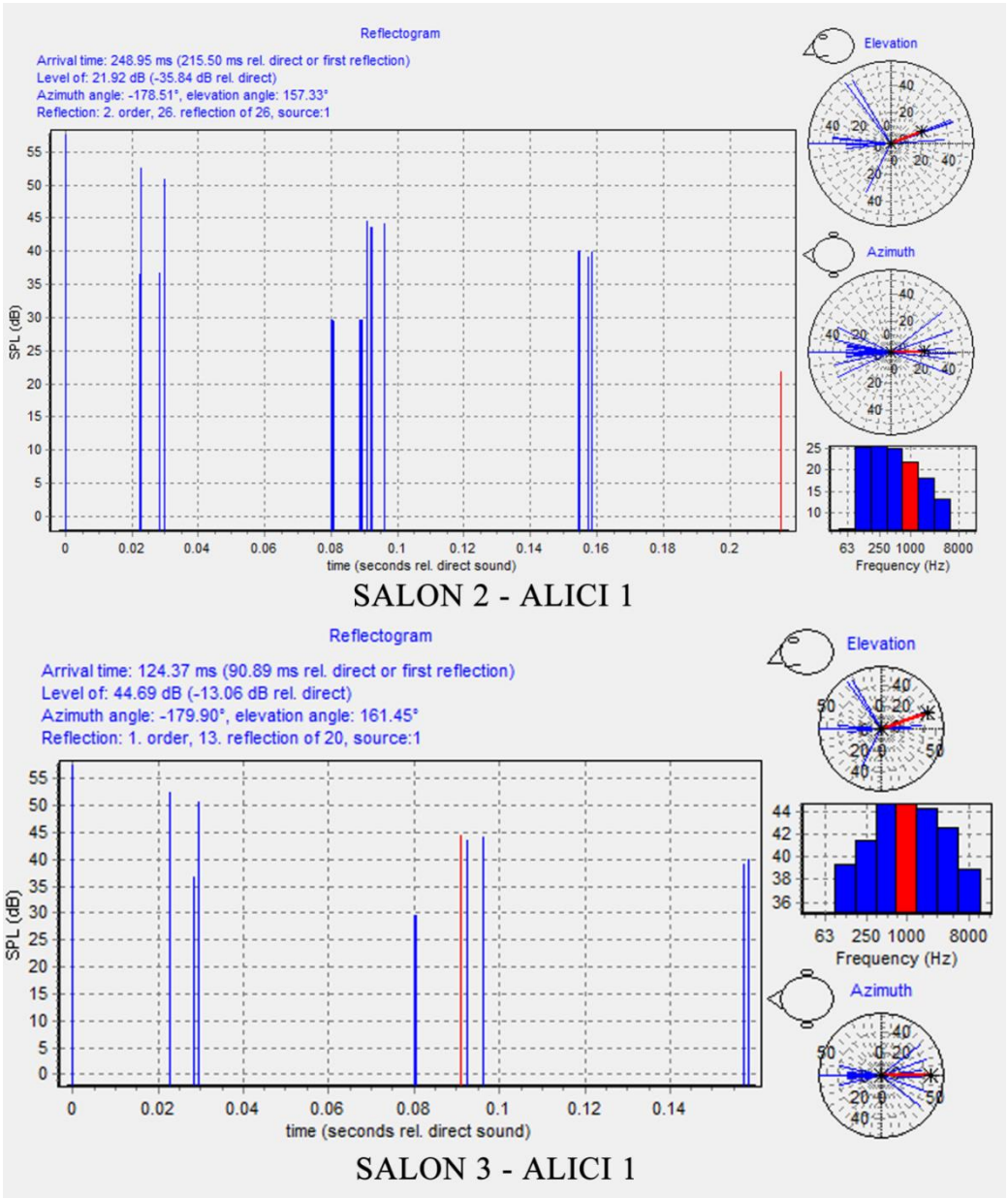
Şekil 5.139 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında C_{80} karşılaştırması.



Şekil 5.140 : Salon 3 ana salon ve terastaki ön sıra alıcılarının C_{80} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması.

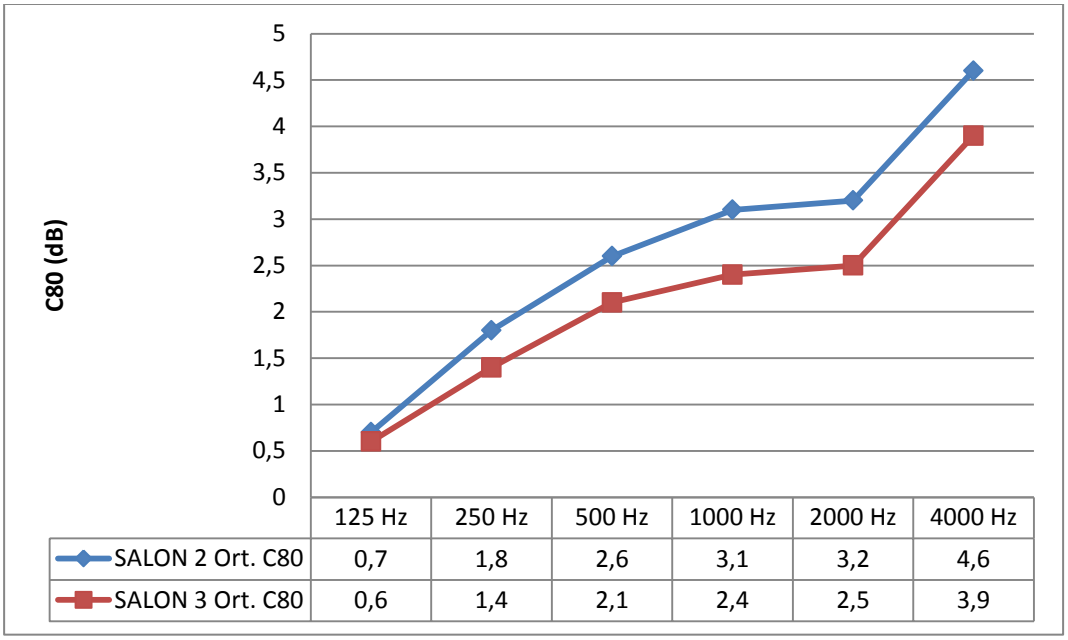
Şekil 5.140'da sahne önünde konumlandırılmış alıcıların salon 3 ve salon 2'de aldıkları C80 değerlerinin karşılaştırmasının olduğu grafik verilmiştir. Alıcılardaki değer değişimleri konumlarına bağlı olarak gerçekleşmiştir. Terastaki alıcıların tamamında C_{80} değerleri artış göstermiştir. Bunun nedeni terasın yükselmesi ile alıcıların da yükselmesi ve arka duvardan gelen gecikmiş yansımaların yolunun kısalması olmuştur. Böylelikle bu noktalardaki alıcılarda biriken gecikmiş enerji azalmış, bu da C_{80} değerlerini artırmıştır. Bu durumun örneği **Şekil 5.129**'da alıcı 4 için verilen enerji diyagram karşılaştırmasından görülmektedir. Ana salon

oturumunda yer alan alıcılarda orta aksta yer alan alıcı 1 ve 13'teki C_{80} değerleri düşmüştür, teras duvarına yakın aksta yer alan alıcı 7 ve 19 ise C_{80} değerlerinde artış göstermiştir. 1 ve 13 benzer konumlardadır. Alıcı 1'in salon 2 ve salon 3'teki enerji diyagramları karşılaştırması **Şekil 5.141**'de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde alıcı 1'in toplam enerjisinin düştüğü, 80 ms'den sonra gelen gecikmiş enerji miktarının azaldığı görülür. Buna rağmen C_{80} değerinde düşüş yaşanmıştır. Bunun nedeni salon genelinde azalan toplam yutuculuk değerinin çınlama süresini artırmasıdır, salonda daha fazla çınlayan özellik vardır. **Şekil 5.131**'de alıcı 19 için salon 2 ve salon 3'teki enerji diyagramı karşılaştırması vardır. Alıcıdaki geç enerji yoğunluğu azaldığı için C_{80} değerlerinde artış yaşanmıştır.



Şekil 5.141 : Salon 2 ve 3'te alıcı 1 için enerji karşılaştırması.

Şekil 5.142'de salon 2 ve salon 3 için frekanslara bağlı ortalama C_{80} karşılaştırma grafiği yer almaktadır. Salon 3'teki C_{80} değerlerinin salon 2'den düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni terasların yükselip seyirci yutuculuk alanının azaltması ile çınlama süresinin artmasıdır.

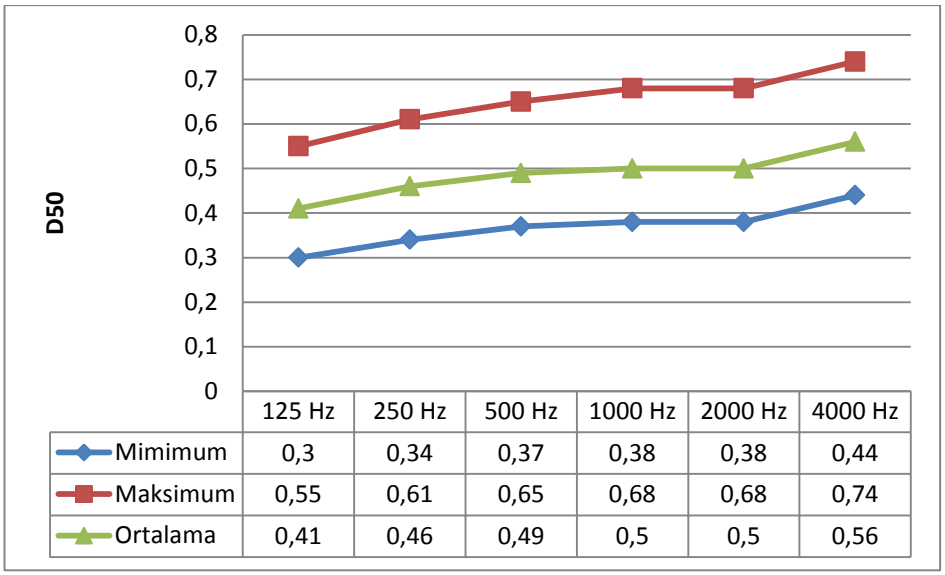


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 2 Ort. C80	0,7	1,8	2,6	3,1	3,2	4,6
SALON 3 Ort. C80	0,6	1,4	2,1	2,4	2,5	3,9

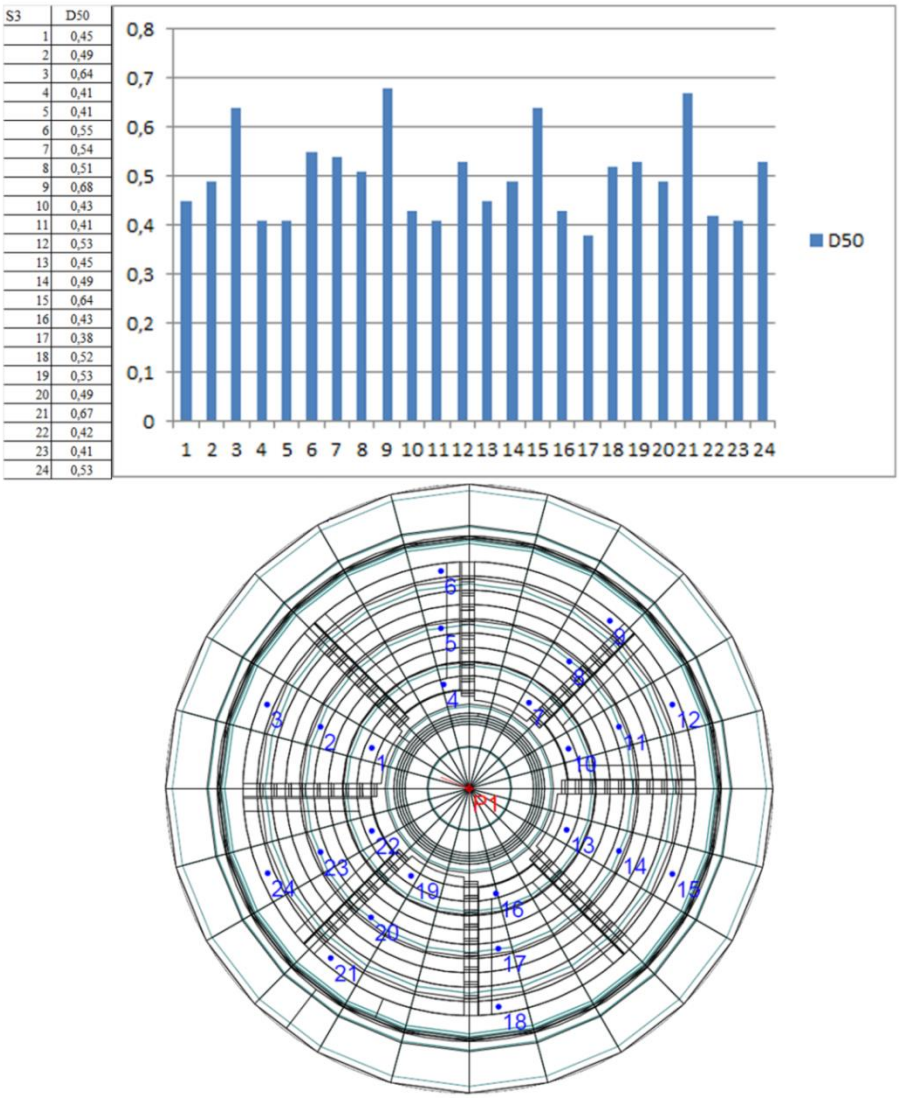
Şekil 5.142 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama C_{80} karşılaştırması.

5.2.3.3 Belirginlik (D_{50})

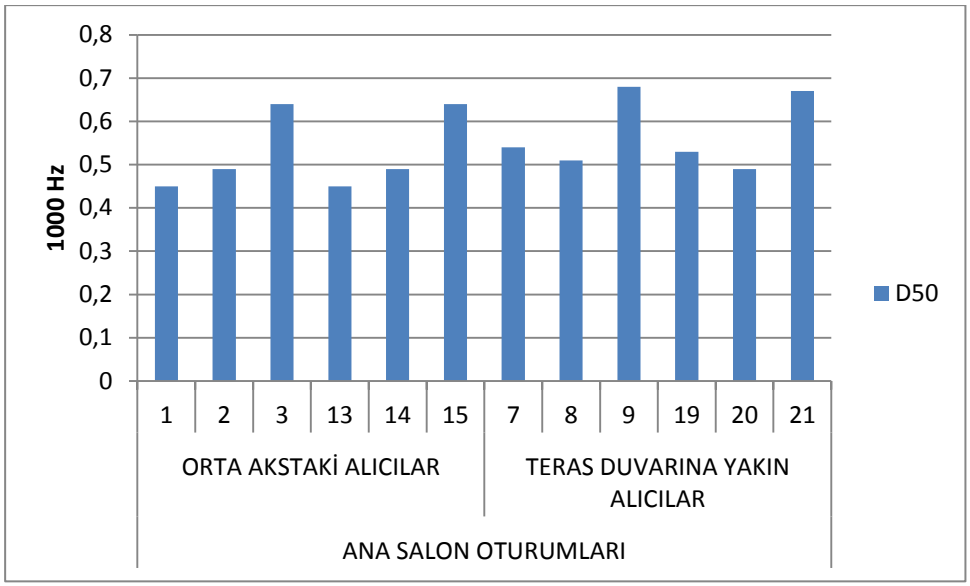
Bölüm 4.1.10'da anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'de verilen aralığa göre D_{50} parametresi için optimum değer 0,3 – 0,7 arasındadır [26]. Alıcı noktasına ilk 50 ms içinde gelen yansımalar direkt sese eklenir ve anlaşılırlığını artırır. Bu verilerden yola çıkarak **Şekil 5.143**'te verilen salon 3 için frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama D_{50} değerlerine ve **Şekil 5.144**'te salon 3 için alıcı noktalarında 1000 Hz'deki D_{50} değerlerine bakıldığında salondaki ortalama değerlerin optimum aralıkta olduğu görülür. **Şekil 5.144** incelendiğinde salonda en yüksek D_{50} değerlerinin salonun arka sıralarında olduğu görülmektedir. Arka duvara yakın olan arka sıradaki alıcıların ilk 50 ms içinde arka duvardan aldıkları erken enerjinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Salonun orta ve ön sıralarındaki değerler ana salon ve teras oturumları için farklılık göstermektedir. **Şekil 5.145** ve **Şekil 5.146**'da ana salon oturumları ve teras oturumlarındaki alıcılar için ayrı ayrı grafik verilmiştir. Verilen şekiller incelendiğinde alıcılardaki D_{50} değerlerinin optimum sınır değerleri aralığında kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.143 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama D_{50} değerleri.

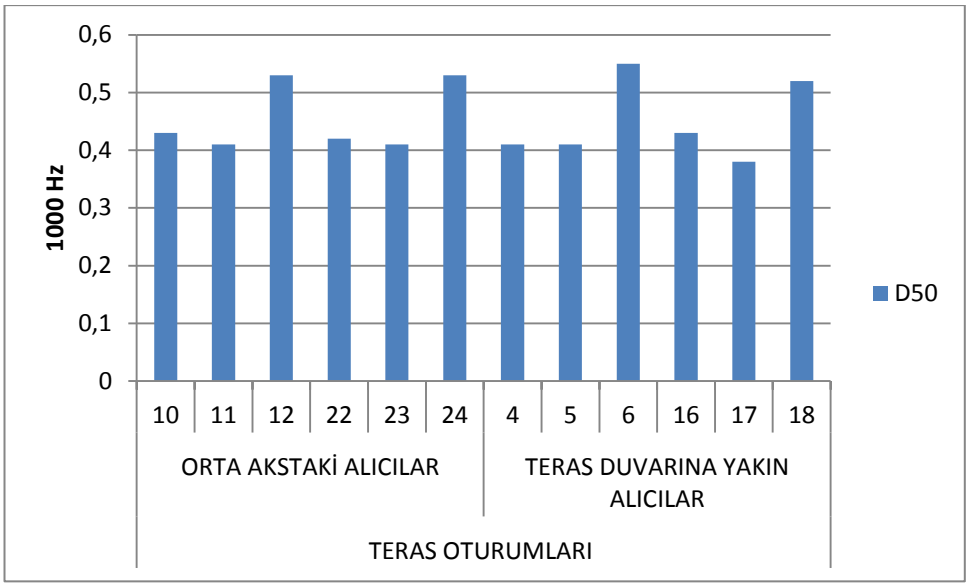


Şekil 5.144 : Salon 3 için 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki D_{50} değerleri.



Şekil 5.145 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de D_{50} değerleri.

Şekil 5.145'ten ana salon oturumları için 1000 Hz'deki D_{50} değerleri incelendiğinde orta aksta yer alan alıcılardaki D_{50} değerlerinin sahnenin önünden arkasına doğru gidildikçe arttığı görülmektedir. Bu durumun nedeni salonun arkasındaki alıcıların arka duvara yakın olmasıyla arka duvardan gelen erken yansımaları daha yoğun almasıdır. Ayrıca sahne önünde yer alan alıcılarda, **Şekil 5.120**'de verilen noktasal ışın analizleri incelendiğinde enerjinin salon geometrisi sebebiyle salon ortasında toplanması sonucu geç enerji miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da buralardaki çınlayan enerjiyi artırır, yani 50.ms'den sonra ulaşan enerjiyi artırır, dolayısıyla belirginlik parametresinde düşüş yaşanır. Bu durum, ana salon orta aksta sahne önünde yer alan alıcıları temsilen örnek verilebilecek olan alıcı 1'in **Şekil 5.137**'de verilen enerji diyagramı ve ışın analizi diyagramından görülmektedir. Ana salon oturumlarında teras duvarına yakın yer alan alıcılardaki değerler incelendiğinde orta ve arka sıralardaki alıcılar (8, 9, 20, 21) için D_{50} değerlerinin orta aksta yer alan orta ve arka alıcıların (2, 3, 14, 15) D_{50} değerleri ile benzer olduğu görülmüştür. Ancak teras duvarına yakın aksta ön sırada yer alan alıcılar olan 7 ve 19'daki D_{50} değerleri orta aksta önde yer alan alıcıların 1 ve 13'ün değerlerinden daha yüksektir. Alıcı 19'un **Şekil 5.115**'te verilen enerji diyagramı ve ışın analizi ile alıcı 1'in **Şekil 5.137**'de verilen enerji diyagramı ve ışın analizi karşılaştırıldığında alıcılara ulaşan toplam enerjinin aynı olduğu hesaplanmıştır. Ancak alıcı 19'a direkt sesin hemen ardından sahneden yansıyarak gelen erken yansıma ilk 50 ms enerjisinin alıcı 1'den daha fazla olmasını, dolayısıyla da D_{50} değerinin daha yüksek olmasını sağlamıştır.

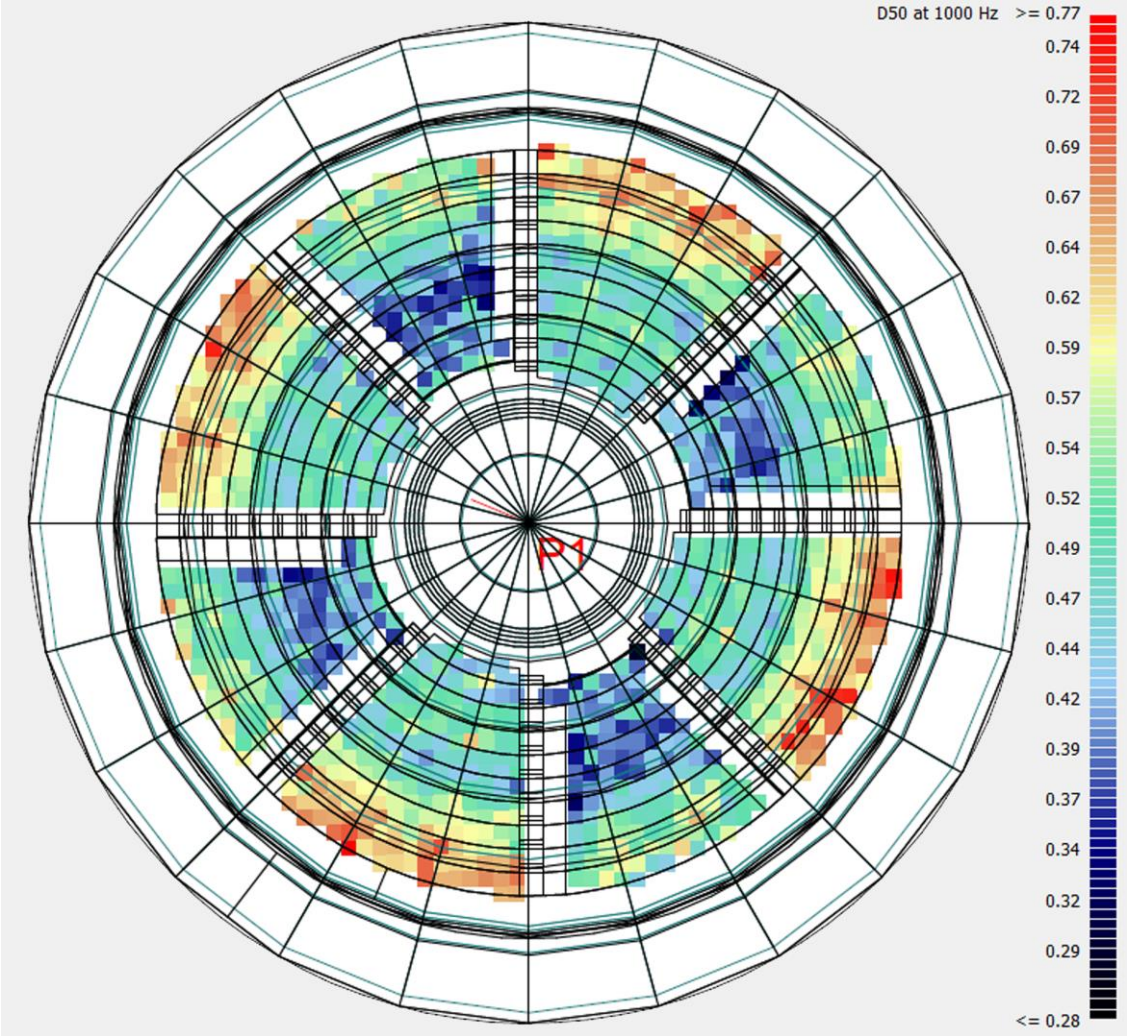


Şekil 5.146 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de D_{50} değerleri.

Şekil 5.146'dan teras oturumları için 1000 Hz'deki D_{50} değerleri incelendiğinde alıcılarda değerler için düzenli bir grafik çıkmıştır denilebilir. Terasın ön ve orta bölümünde yer alan alıcıların değerleri benzerdir ve arka sıradaki alıcıların değerleri daha yüksektir. Arka sırada yer alan alıcılar (12, 24, 6, 18) arka duvara daha yakın oldukları için erken yansımaları orta ve ön bölümdeki alıcılara göre daha fazla almaktadır. Ön sıra alıcıları için teras ve ana salon oturum değerleri incelendiğinde terasta ön sırada yer alan alıcıların değerlerinin ana salon ön sırada yer alıcıların değerleri ile çok yakın olduğu görülmektedir ama çok az da olsa daha düşük olduğu söylenebilir. Bu durumun sebebi terasın yükselmesiyle alıcıların kaynaktan uzaklaşmasına ve aldıkları erken enerjinin azalmasına bağlanabilir. Orta ve arka sıradaki alıcılar için teras ve ana salon oturum değerleri incelendiğinde yine terastaki alıcı değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebi terasın yükselmesi ve eğimin azalmasıyla koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artmasının sonucu terasta orta ve arka sırada yer alan alıcılara ulaşan enerjinin azalmasına bağlanabilir.

Şekil 5.147'de verilen salon 3 için 1000 Hz'deki D_{50} grid analizi verilmiştir. Şekil incelendiğinde ana salon oturumları ve teras oturumları için de en yüksek D_{50} değerlerinin arka sıralarda elde edildiği görülmektedir. Teras oturumlarının arka sıralarındaki D_{50} değerlerinin ana salon oturumlarının arka sıralarındaki D_{50} değerlerinden daha düşük olması teraslardaki eğimin düşmesiyle oturum azaltma etkisinin (seat dip attenuation) artmasına bağlanabilir. Sahne önlerindeki D_{50}

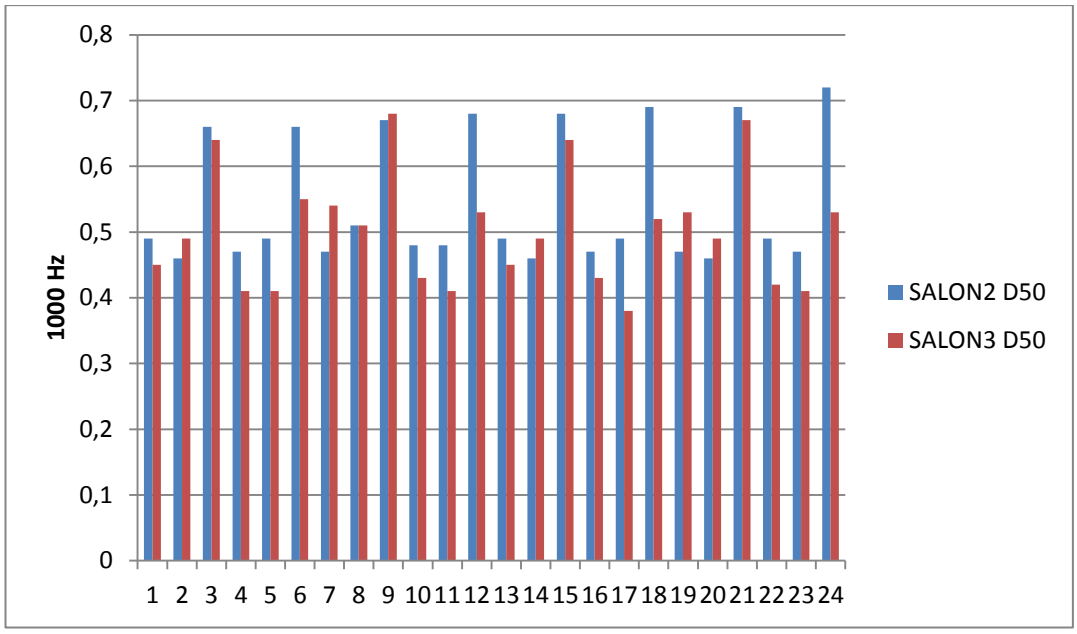
değerleri incelendiğinde, teraslarda ön sıradaki alıcıların değerlerinin ana salon ön sıradaki alıcıların değerlerinde daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni terasın yükselmesiyle alıcının kaynaktan uzaklaşmasına ve aldığı erken enerjinin azalmasına bağlanabilir.



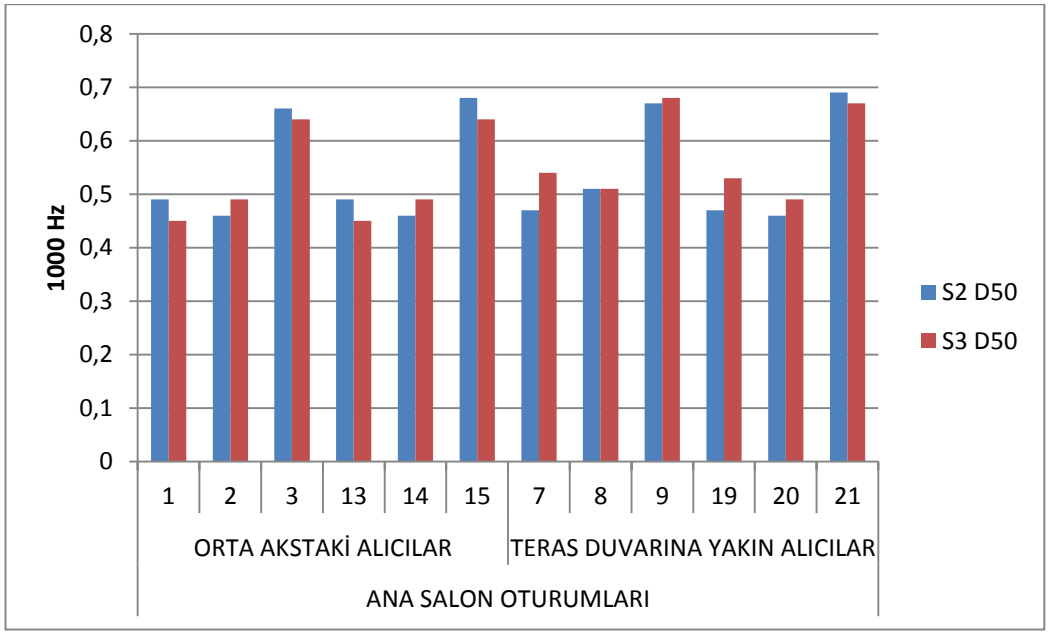
Şekil 5.147 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de D_{50} değeri.

Salon 3 ve salon 2 teraslı oturum farkının D_{50} parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.148'de salon 2 ve salon 3'ün D_{50} değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 3'teki alıcılar için arka sıralarda yer alan alıcılarda genel olarak bir düşüş olduğu görülmektedir. Ön ve orta sıralarda yer alan alıcılar içinse bu durum alıcıların konumlarına bağlı olarak değişmektedir. **Şekil 5.149** ve **Şekil 5.150**'de salon 3 ana salon ve teras oturumlarında yer alan alıcılar için D_{50} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.



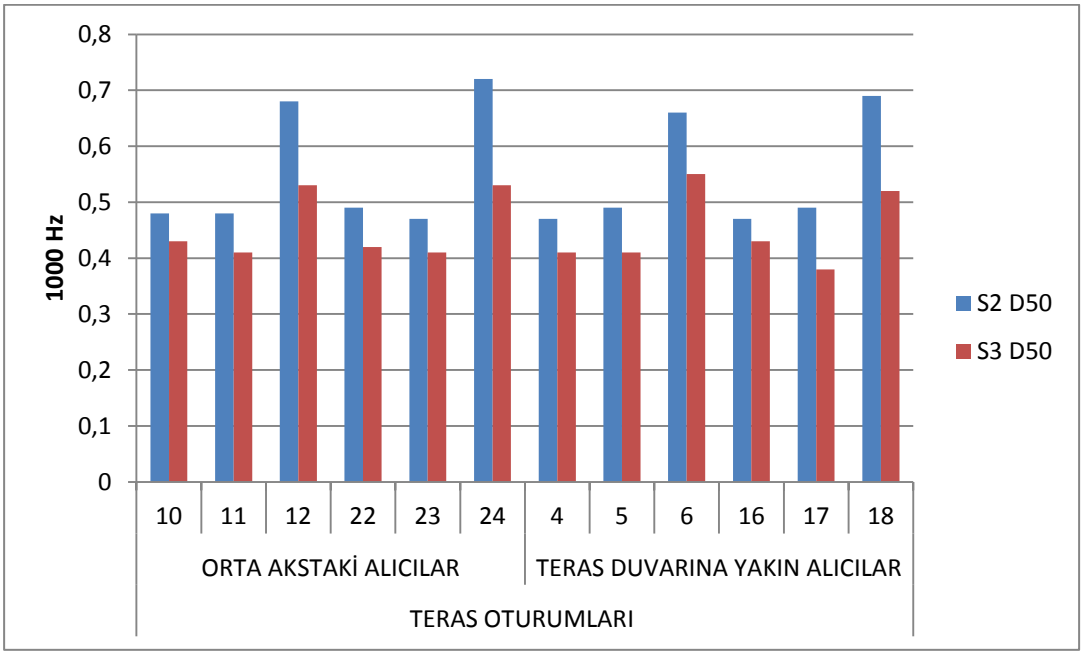
Şekil 5.148 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında D_{50} karşılaştırması.



Şekil 5.149 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için D_{50} değerleri karşılaştırması.

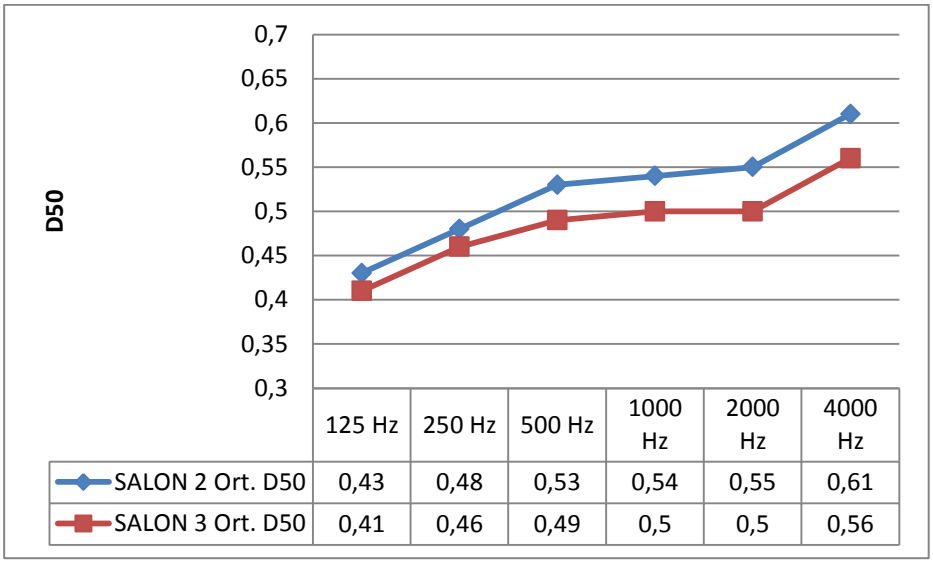
Şekil 5.149 incelendiğinde arka sırada ve orta aks ön sırada yer alan alıcılardaki D_{50} değerlerinin düştüğü görülmüştür. **Şekil 5.141**'de alıcı 1 için verilen enerji diyagramı karşılaştırması incelendiğinde sahne önünde yer alan bu alıcı için ilk 50 ms içinde ulaşan enerjinin düştüğü görülmektedir. Teras duvarları alıcıların karşı yüzeylerden aldığı yansımaların miktarını düşürmüştür. Bu da D_{50} değerlerinin az da olsa düşmesine sebep olmuştur. Teras duvarına yakın alıcıların ön sırasında yer alan alıcı 7 ve 19'da belirginlik parametresi değerleri artış göstermiştir. **Şekil 5.131**'de alıcı

19'un salon 2 ve salon 3 enerji diyagramı karşılaştırması incelendiğinde alıcı 19'a ilk 50 ms içinde ulaşan enerjinin arttığı görülür. Dolayısıyla bu noktalardaki belirginlik değeri daha yüksektir.



Şekil 5.150 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların D_{50} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması.

Şekil 5.150'deki grafik incelendiğinde salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te terasta yer alan bu alıcıların tamamında D_{50} değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise terasta yer alan bu alıcıların kaynaktan uzaklaşarak ilk 50 ms içinde aldıkları erken enerji miktarının düşmesi ve zemin eğiminin düşmesi ile beraber koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artmasıdır.

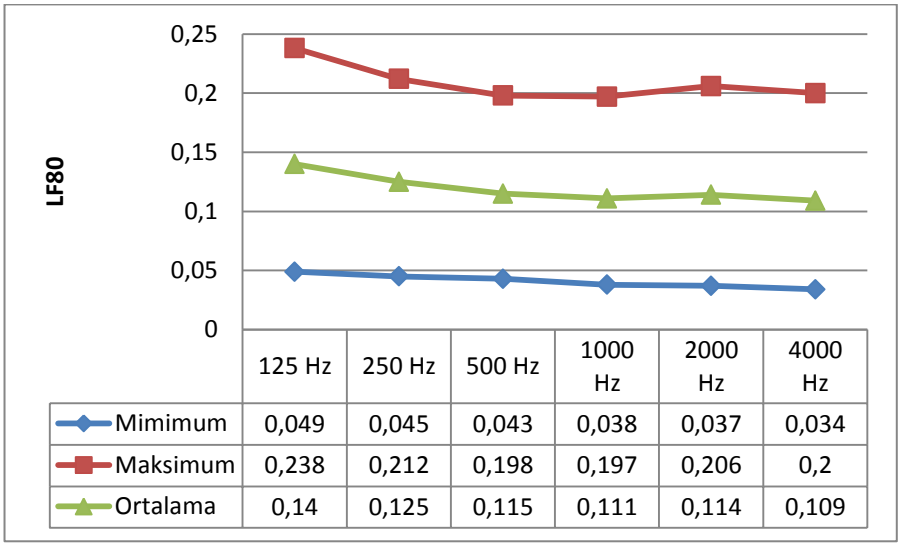


Şekil 5.151 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama D_{50} karşılaştırması.

Şekil 5.151'de salon 2 ve salon 3 için frekanslara bağlı ortalama belirginlik parametresi değerleri karşılaştırması verilmiştir. Salon 3 değerleri salon 2 değerlerinden daha düşüktür. Salonda teras duvarların varlığı ile alıcılara ulaşan erken ışınlardaki düşüş ve terasta yer alan alıcılarda kaynaktan uzaklaşma nedeniyle alınan erken ışınlardaki düşüş salon genelinde de D_{50} değerlerini düşürmüştür. Özellikle teras oturma alanındaki eğimin azalmasıyla koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artışı buralardaki alıcılara ulaşan enerjinin düşmesine de sebep olmuştur.

5.2.3.4 Yanal yansımalar (LF_{80})

Bölüm 4.1.7'de anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'deki literatür değerleri doğrultusunda LF_{80} parametresi için optimum değer aralığı 0,05 – 0,35'tir. Bu nicelik, alıcı noktasına ilk 80 ms içinde gelen yanal yansımalarla ilgilidir. İlk 80 ms içinde ulaşan yanal yansımalaraın, ilk 80 ms içinde alıcıya ulaşan toplam enerjiye oranıdır. **Şekil 5.152**'de salon 3'ün frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama LF_{80} değerleri vardır. Bu değerlere göre alıcı noktalarındaki ortalama LF_{80} değerleri optimum değer aralığında gözlenmektedir.

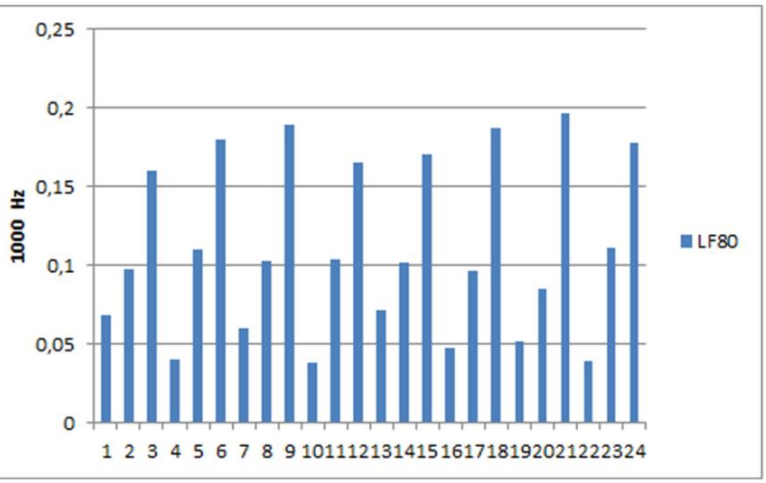


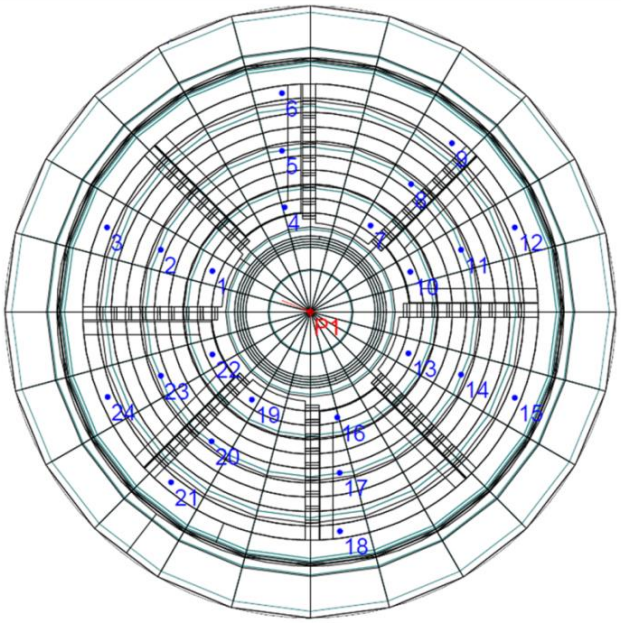
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	0,049	0,045	0,043	0,038	0,037	0,034
Maksimum	0,238	0,212	0,198	0,197	0,206	0,2
Ortalama	0,14	0,125	0,115	0,111	0,114	0,109

Şekil 5.152 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama LF_{80} değerleri.

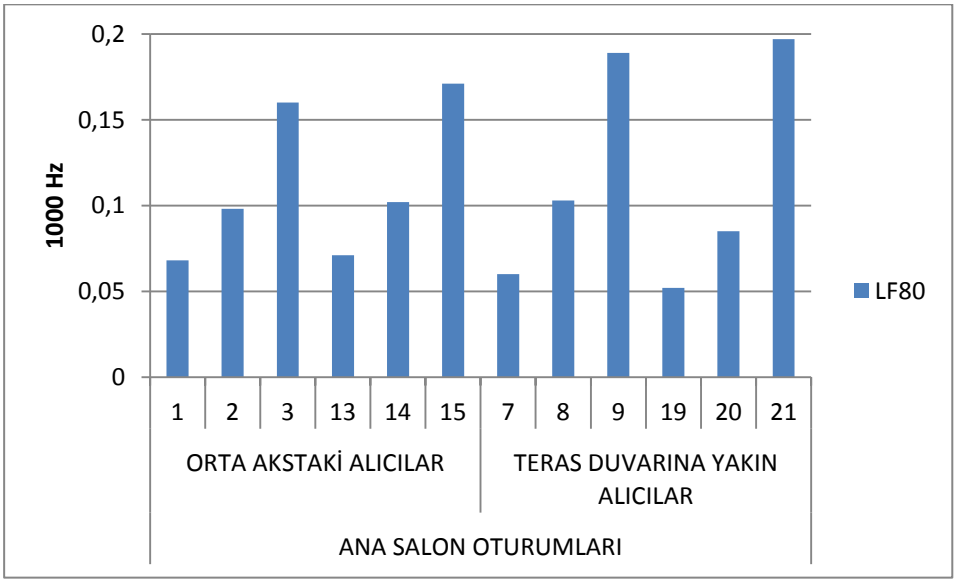
Şekil 5.153 incelendiğinde salonda sahnenin önünden salonun arkasına doğru gidildikçe yanal yansıma (LF_{80}) değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni arka sıralara gidildikçe arka duvarlara yaklaşılıyor olmasıdır. Arka duvarlara yaklaştıkça arka duvardan gelen yanal yansıma miktarı artmaktadır. Dolayısıyla LF_{80} değerleri artış göstermektedir. **Şekil 1.41** ve **Şekil 1.42**'de ana salon oturumları ve teras oturumlarındaki alıcılar için ayrı ayrı grafik verilmiştir.

S3	LF80
1	0,068
2	0,098
3	0,16
4	0,04
5	0,11
6	0,18
7	0,06
8	0,103
9	0,189
10	0,038
11	0,104
12	0,165
13	0,071
14	0,102
15	0,171
16	0,048
17	0,097
18	0,187
19	0,052
20	0,085
21	0,197
22	0,039
23	0,111
24	0,178



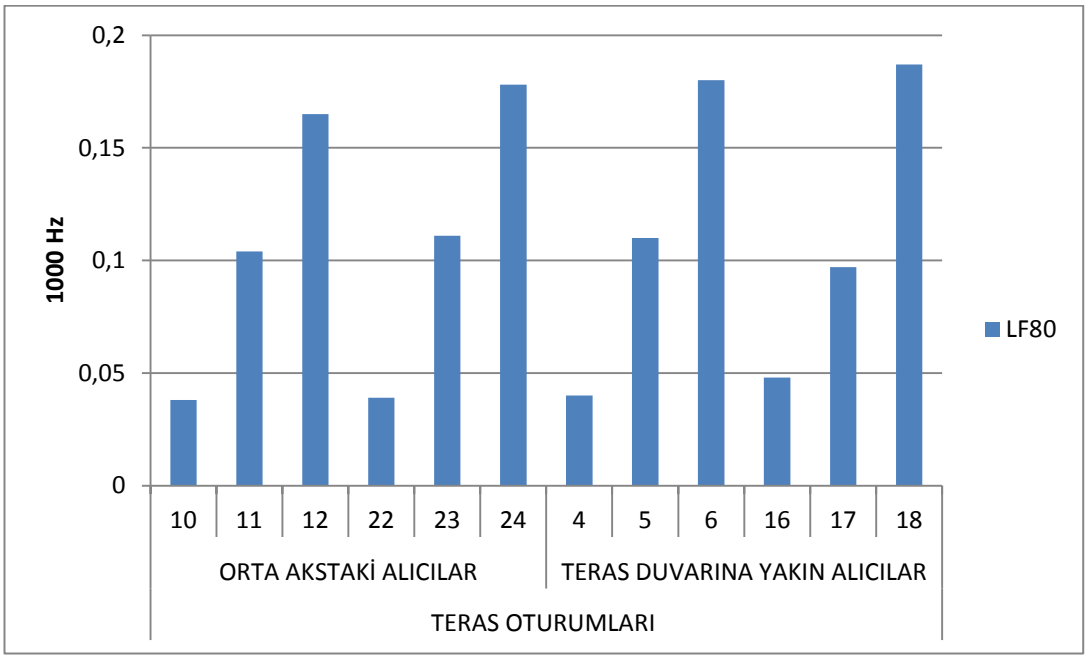


Şekil 5.153 : Salon 3 için alıcı noktalarında 1000 Hz'de LF_{80} değerleri.



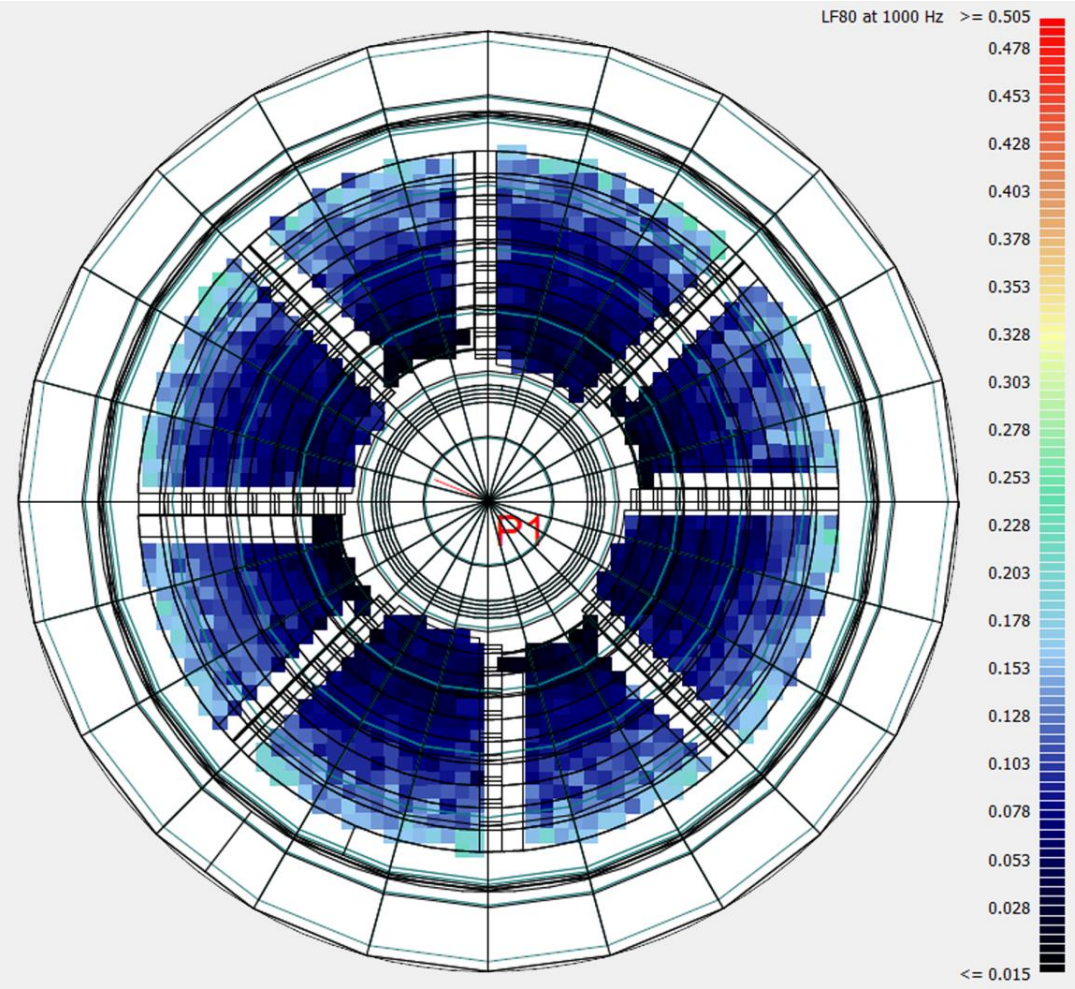
Şekil 5.154 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de LF_{80} değerleri.

Şekil 5.154 incelendiğinde ana salon oturumunda yer alan alıcıların tümünde yanal yansıma parametresi (LF_{80}) değerlerinin optimum sınırlar arasında kaldığı görülmektedir. Sahnenin önünden arka sıralara doğru gidildikçe yanal yansıma değerlerinin artışı grafikten görülmektedir. Bu artışın sebebi sahneden uzaklaşılıp salonun arkasına gidildikçe arka duvarlara yaklaşılmasıdır. Arka duvara yaklaşıldıkça arka duvardan alınan yanal yansıma miktarı artmaktadır, böylelikle LF_{80} değerleri artış göstermektedir.



Şekil 5.155 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de LF_{80} değerleri.

Şekil 5.155 incelendiğinde salonda sahnenin önünden arka sıralara doğru gidildikçe yanal yansıma değerlerinin artışı burada da görülmektedir. Bu artışın sebebi sahneden uzaklaşılıp salonun arkasına gidildikçe arka duvarlara yaklaşılmasıdır. Arka duvara yaklaşıldıkça arka duvardan alınan yanal yansıma miktarı artmaktadır, böylelikle LF_{80} değerleri artış göstermektedir. Terasta ön sırada yer alan alıcıların LF_{80} değerlerinin alt sınırın altına düştüğü görülmektedir. Bu durumun sebebi alıcıların terasta teras duvarları ile çevrelenmesi sonucu aldıkları yanal yansıma miktarının düşmesidir. Bu alıcılar, salonda ses tarafından en düşük çevrelenme hissine sahip alıcı noktalardır. Yani, dinleyicinin bu noktalardaki sesin içindeymiş gibi hissetme durumu daha düşüktür.



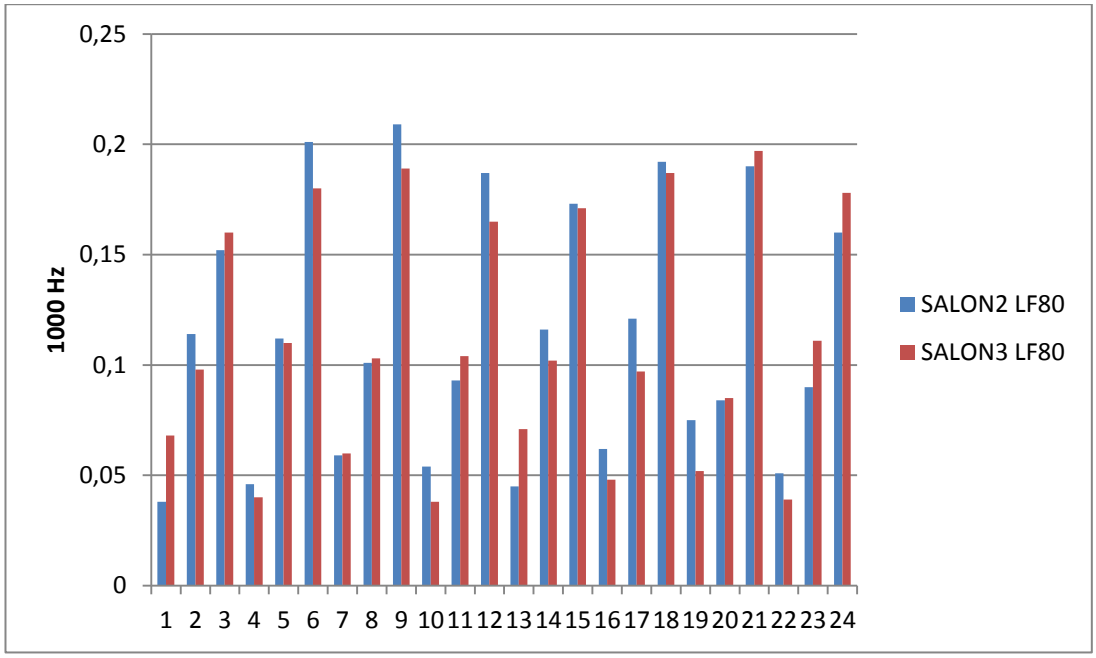
Şekil 5.156 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de LF_{80} değeri.

Şekil 5.156'da salon 3 genelinde LF_{80} parametresinin grid analizi verilmiştir. Grid incelendiğinde arka sıralardaki LF_{80} değerlerinin salonun diğer bölümlerine göre daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni arka duvardan gelen yanal yansımaların arka sıralarda daha yoğun olmasıdır. Sahneye yaklaştıkça yanal yansıma değerleri düşmektedir. En düşük LF_{80} değerlerinin terasların ön sıralarında elde edildiği görülmektedir. En düşük sarmalanma/çevrelenme hissi bu alıcı noktalarında oluşur. Yani, dinleyicinin bu noktalardaki sesin içindeymiş gibi hissetme durumu en düşüktür. Bu durumun nedeni alıcıların ana salon zemininden yükselerek kaynaktan uzaklaşması ve çevresinin teras duvarı ile çevrelenerek yanal yansıma miktarının düşmesidir. Terastaki diğer alıcılar da teras duvarı ile çevrelenmiştir ancak o alıcılar arka duvara daha yakın konumdadır, dolayısıyla LF_{80} değerleri teras oturumunda ön sırada yer alan alıcılardan daha yüksektir. Ses tarafından en iyi sarmalanma/çevrelenme hissi en yüksek LF_{80} değerlerine sahip arka sırada yer alan alıcılardadır. Yani, dinleyicinin bu noktalardaki sesin içindeymiş gibi

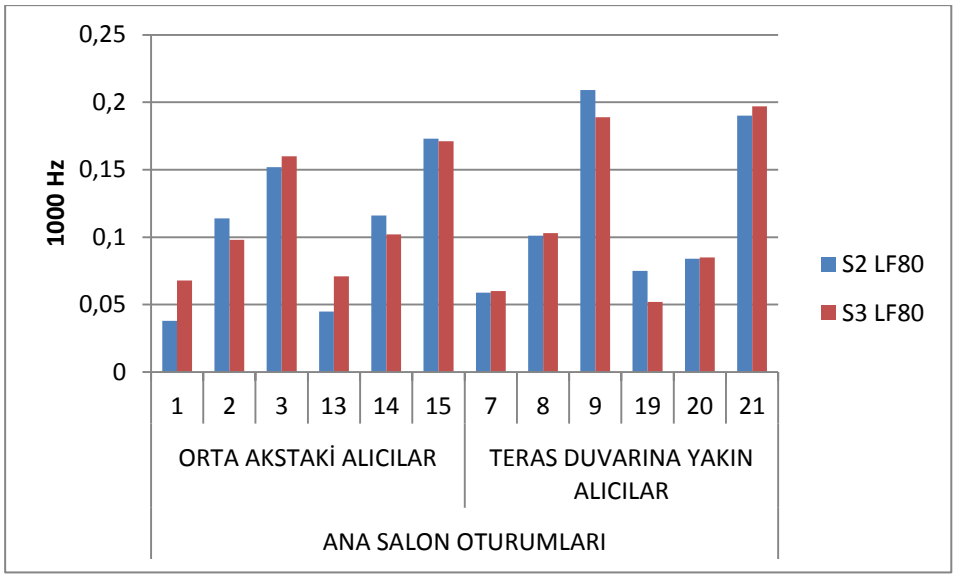
hissetme durumu en yüksektir. Ayrıca teras duvarlarının çevresinde LF_{80} değerlerinde herhangi bir artış olmadığı gridden de görülmektedir. Dolayısıyla teras duvarlarının bu şekilde konumlandırılmasının yanal yansımalara katkı sağlamadığı belirlenmiştir.

Salon 3 ve salon 2 teraslı oturum farkının LF_{80} parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.157'de salon 2 ve salon 3 için alıcı noktalarındaki LF_{80} değerleri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon genelinde alıcılarda yanal yansıma oranlarının düştüğü görülmektedir. Bu değerlere bakıldığında terasların duvarlarının yanal yansımalara katkı sağlamadığı görülmektedir. Hatta alıcılara ulaşan enerjilerde düşüşe sebep olduğu daha önceki anlatılanlara bakılarak analiz edilmiştir. **Şekil 5.158** ve **Şekil 5.159**'da salon 3 ana salon ve teras oturumlarında yer alan alıcılar için LF_{80} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

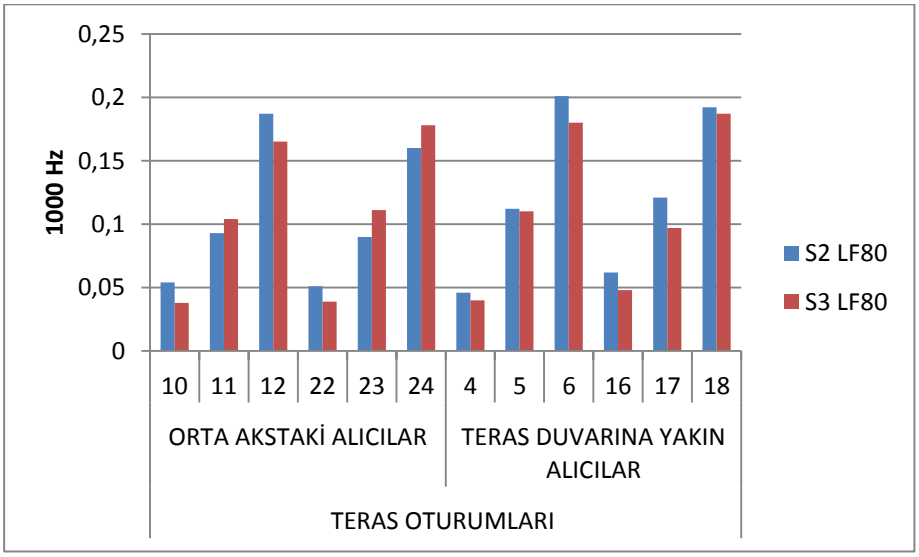


Şekil 5.157 : Salon 2 ve salon 3 1000 Hz'de alıcı noktalarında LF_{80} karşılaştırması.



Şekil 5.158 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için LF_{80} değerleri karşılaştırması.

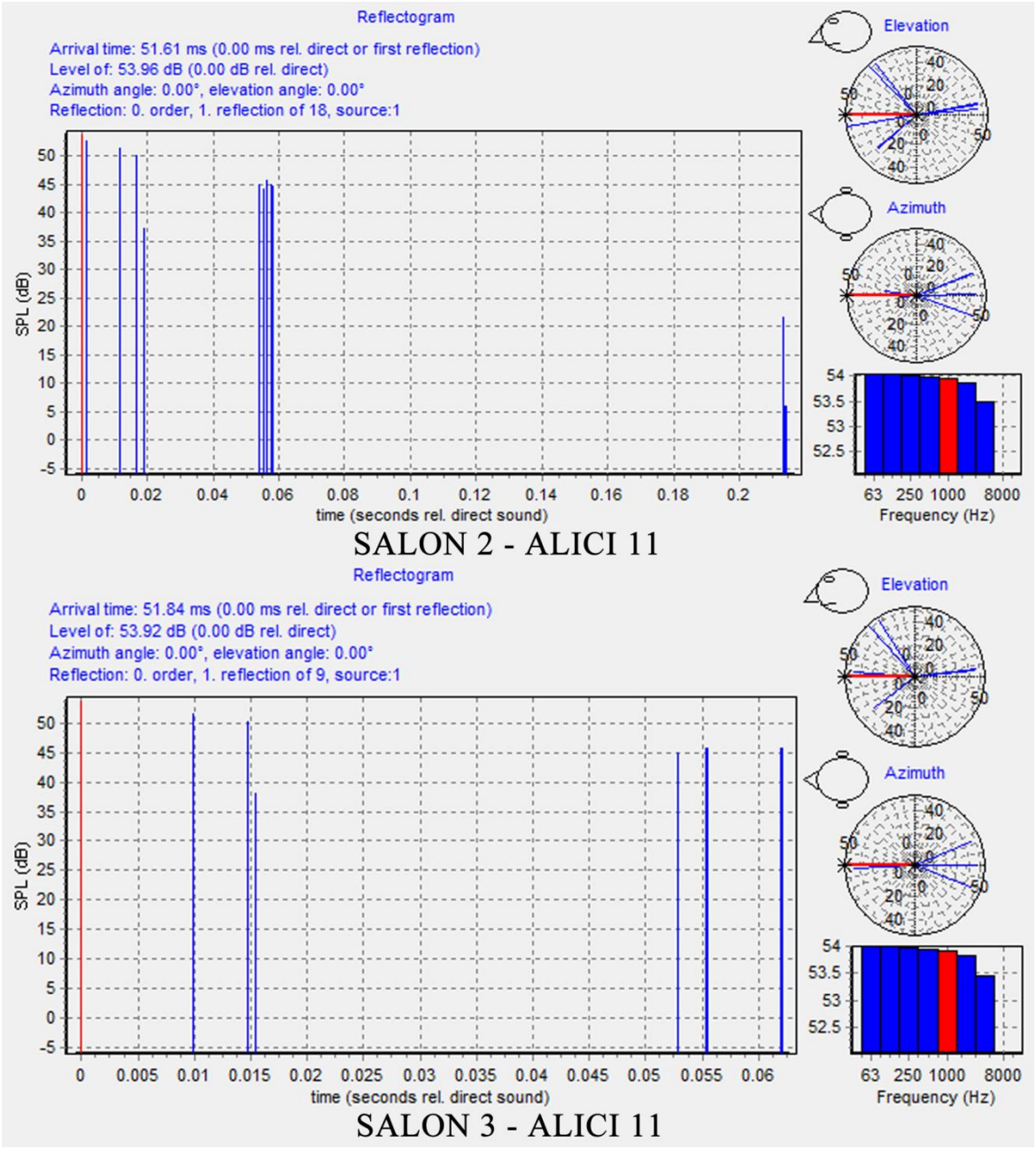
Şekil 5.158'de salon 2 ve salon 3 ana salon oturumunda yer alan alıcılardaki LF_{80} değerleri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde teras duvarlarının yer aldığı salon 3'te LF_{80} değerlerinin alıcı noktalarının genelinde daha düşük olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkılarak teras duvarlarının yanal yansımalara katkı sağlamadığı söylenebilir. Duvarların bu şekilde biçimlenişi alıcılara ulaşan yansımaların yoğunluğunu artırmaktan ziyade düşürmüştür.



Şekil 5.159 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların LF_{80} değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması.

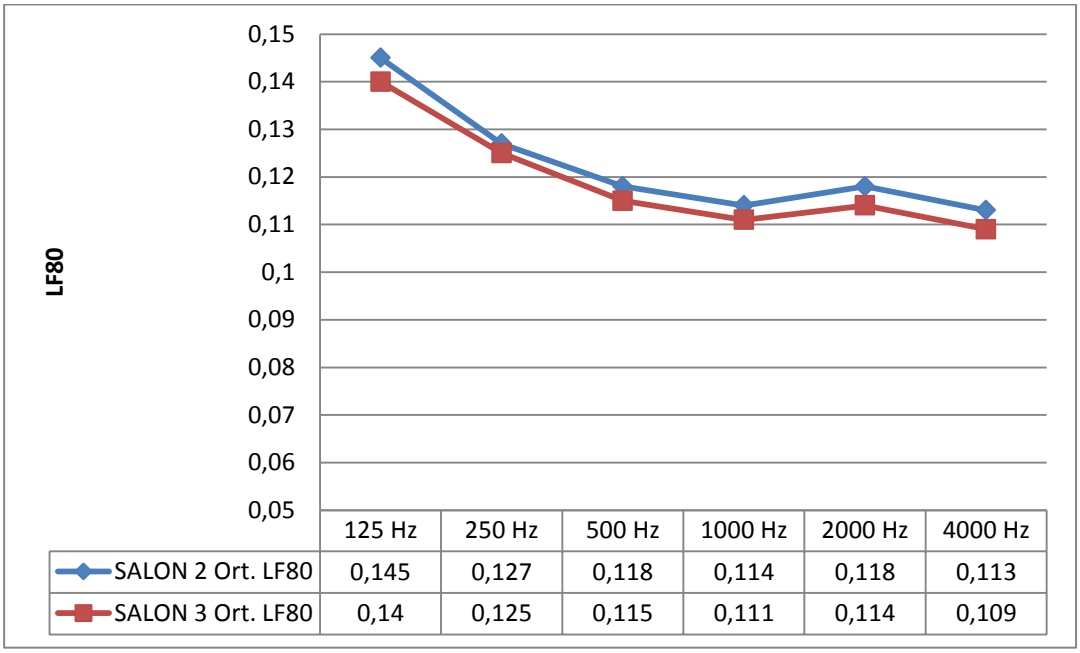
Şekil 5.159'da salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te teras oturumlarında olan alıcılar için LF_{80} değerleri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde değerlerde genel bir düşüş olduğu burada da görülmektedir. Daha önce de

bahsedildiği gibi terasta ön sırada yer alan alıcılar hem kaynaktan uzaklaşmaları, hem de teras duvarları ile çevrilmeleri sebebiyle en düşük değerlere sahiptir. Ayrıca teras duvarına daha yakın olan alıcılarda duvarın ışınların yolunu kesmesi sebebiyle LF_{80} değerleri düşmüştür. Eğimin azalıp koltuk yutumunun artmasıyla orta aks orta sırada yer alan alıcılara ilk 80 ms içinde ulaşan toplam enerji miktarlarındaki düşüş bu noktalardaki yanal yansıma oranlarında artışa sebep olmuştur. Bu durum, bu konumda yer alan alıcı 11'in **Şekil 5.160**'ta verilen salon 2 ve salon 3 enerji diyagramı karşılaştırmasında görülmektedir.



Şekil 5.160 : Salon 2 ve 3'te alıcı 11 için enerji karşılaştırması.

Şekil 5.161'de salon 2 ve salon 3 için frekanslara bağlı ortalama yanal yansıma oranı karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 değerlerinin salon 2 değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkılarak bir kez daha salonda yer alan teras oturumlarının ve duvarlarının beklenilenin aksine yanal yansımaları düşürdüğü görülmektedir. Salona yerleştirilen bu biçimdeki yanal duvarların yanal yansımalara katkısının olmadığı söylenebilir.

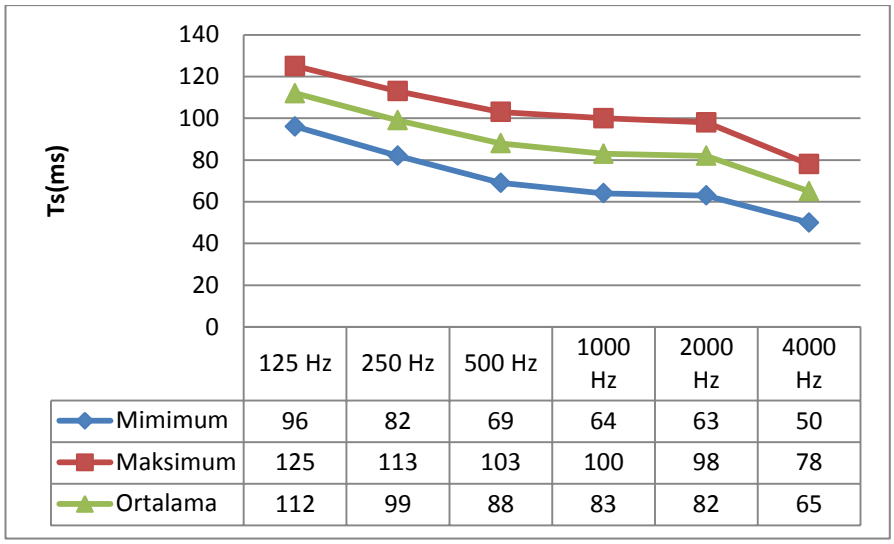


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 2 Ort. LF80	0,145	0,127	0,118	0,114	0,118	0,113
SALON 3 Ort. LF80	0,14	0,125	0,115	0,111	0,114	0,109

Şekil 5.161 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama LF_{80} karşılaştırması.

5.2.3.5 Merkez zaman (T_s)

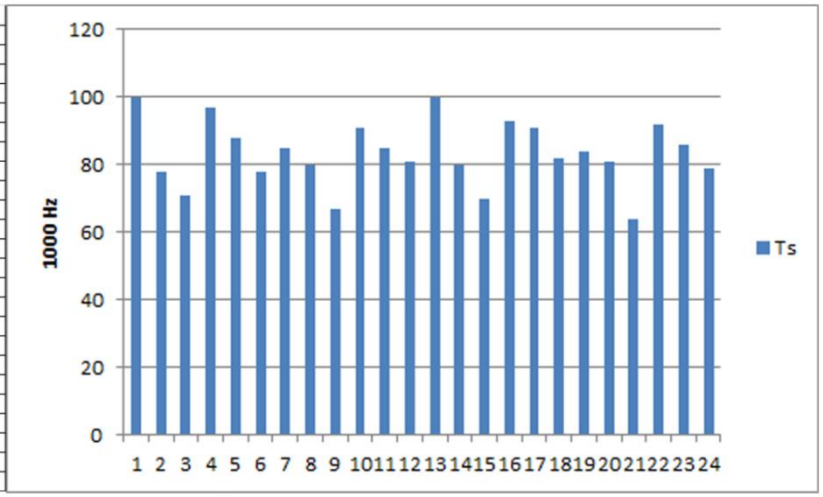
Bölüm 4.1.13'te anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'de verilen aralığa göre T_s parametresi için optimum değerler 60-260 ms arasındadır. Merkez zaman, hacim içinde belli bir noktada elde edilen seslerin erken ya da gecikmiş olduğunu belirlediğinden, belirlilik (D_{50}), netlik (C_{80}) ve ilk düşme süresi (EDT) ile ilişkilidir [22]. Dolayısıyla salonda bu parametrelerden yola çıkılarak bir değerlendirmeye gidilebilir. **Şekil 5.162**'de salon 1 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama T_s değerleri verilmiştir. Salon genelinde bu parametrenin ortalama değerlerinin optimum sınırlar içinde olduğu görülmektedir.

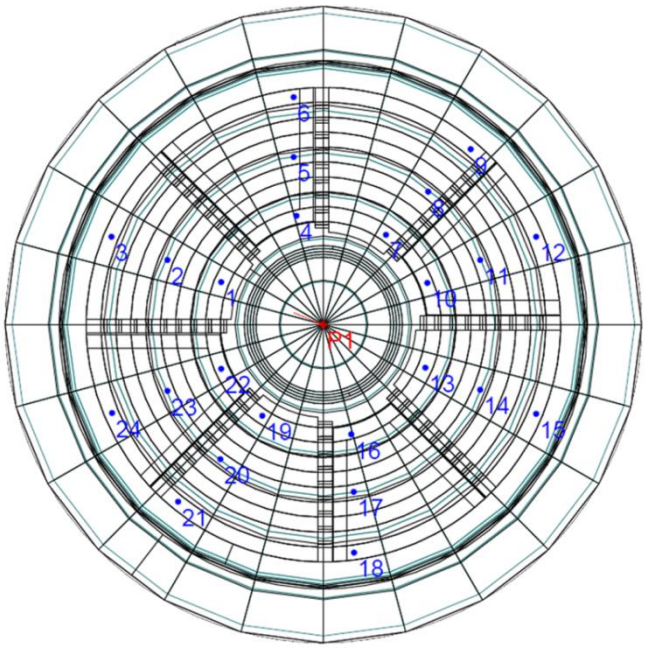


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	96	82	69	64	63	50
Maksimum	125	113	103	100	98	78
Ortalama	112	99	88	83	82	65

Şekil 5.162 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama Ts değerleri.

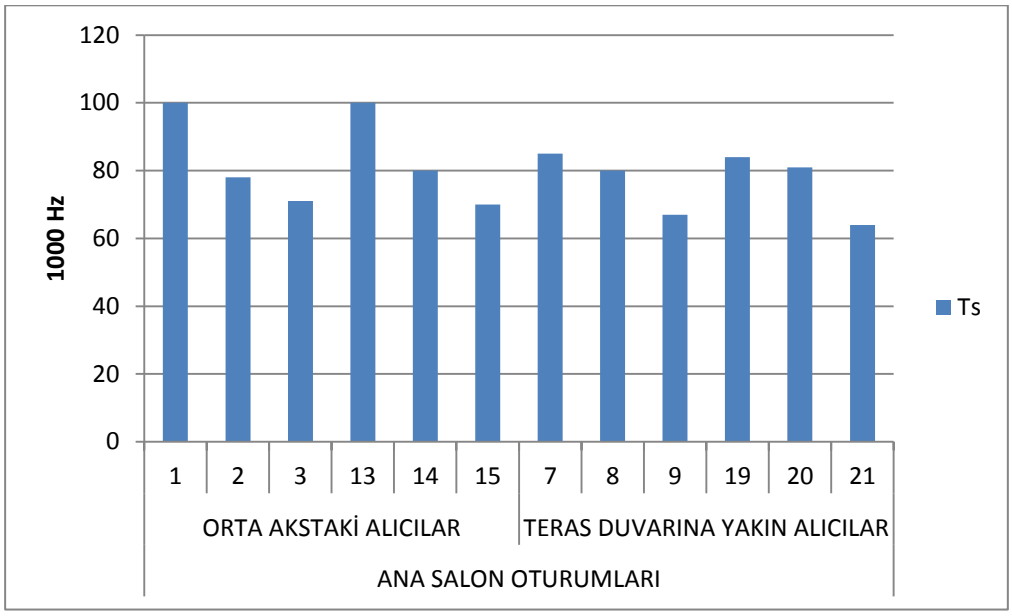
S3	Ts
1	100
2	78
3	71
4	97
5	88
6	78
7	85
8	80
9	67
10	91
11	85
12	81
13	100
14	80
15	70
16	93
17	91
18	82
19	84
20	81
21	64
22	92
23	86
24	79





Şekil 5.163 : Salon 2 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de T_s değerleri.

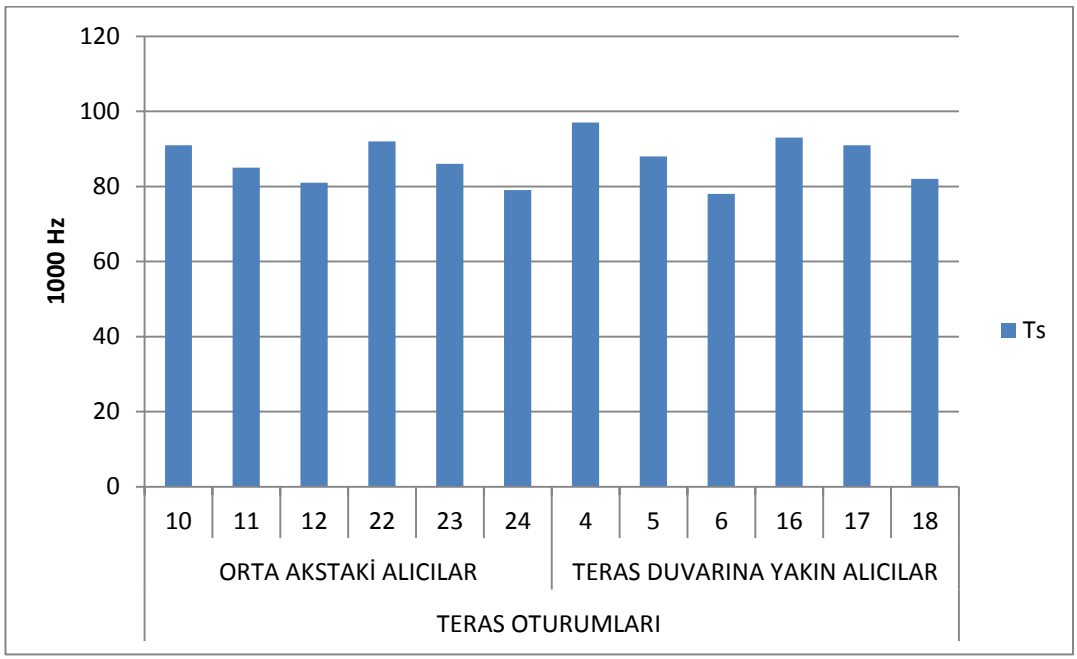
Şekil 5.163'teki 1000 Hz'deki T_s değerlerine bakıldığında alıcı noktalarındaki değerlerin optimum aralıkta olduğu görülür. Salonda sahne önünden arka sıralara doğru gidildikçe merkez süresi (T_s) değerlerinde düşüş gerçekleşmektedir. En düşük T_s değerine sahip olan alıcı noktaları salonun arka bölümünde yer alan alıcılardır. Merkez süresinin düşük olması, erken ses enerjisinin fazla olduğunu gösterir. Dolayısıyla bu değer düştükçe sesin netliği artar. Grafik incelendiğinde salonda terasta yer alan ön ve orta sıradaki alıcıların T_s değerlerinin, ana salondaki ön ve orta sıradaki alıcıların T_s değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. **Şekil 5.164** ve **Şekil 5.165**'te salon 3 için ana salon ve teras oturumlarındaki alıcıların T_s değerleri verilmiştir.



Şekil 5.164 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de T_s değerleri.

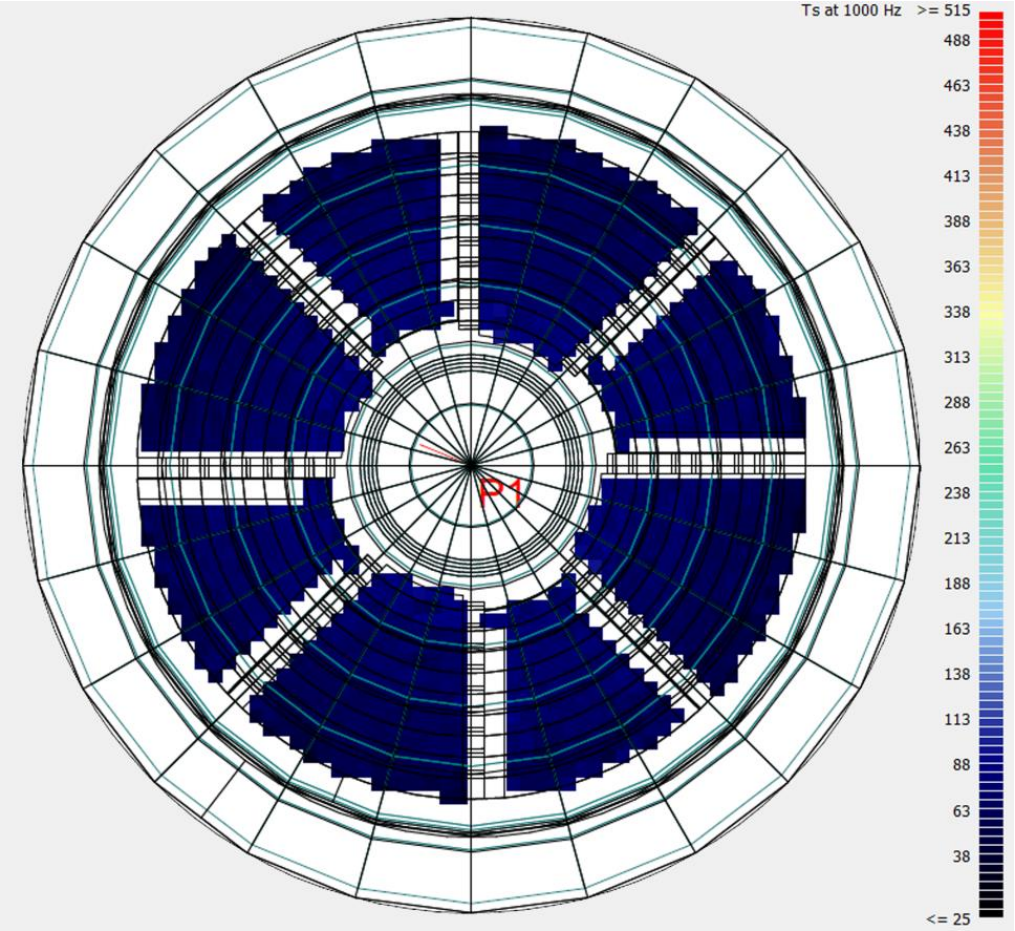
Şekil 5.164'te ana salon oturumlarındaki alıcıların merkez zaman parametresi değerleri verilmiştir. Salonda sahnenin önünden salonun arka sıralarına doğru gidildikçe değerler düşmektedir. Merkez zamanın düşük olması erken enerjinin fazla olduğunu göstermektedir. Salonda erken enerjinin yüksek olduğu yerler arka duvara yakın olan alıcılardır. Çünkü arka duvardan gelen erken yansımalardan faydalanırlar. Dolayısıyla bu noktalarda T_s değerleri daha düşüktür. Ana salon oturumlarında teras duvarına yakın alıcıların arka sırasında yer alan alıcılarda (alıcı 7 ve 19) T_s değerlerinin ön sırada yer alan diğer alıcılara (alıcı 1, 13) göre daha düşük olduğu görülmektedir. **Şekil 5.137**'de alıcı 1 ve **Şekil 5.115**'te alıcı 19 için verilen enerji diyagramları incelendiğinde alıcı 1'e ulaşan erken enerji miktarının alıcı 19'dan daha az olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu alıcının merkez zaman değeri daha

yüksektir. Alıcı 19'a sahne üzerinden yansıyarak gelen erken ışın alıcı 19'daki erken enerji miktarını artırmıştır.



Şekil 5.165 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için 1000 Hz'de T_s değerleri.

Şekil 5.165'te teras oturumlarındaki alıcıların merkez zaman parametresi değerleri verilmiştir. Salonda sahnenin önünden salonun arka sıralarına doğru gidildikçe değerler düşmektedir. Merkez zamanın düşük olması erken enerjinin fazla olduğunu göstermektedir. Salonda erken enerjinin yüksek olduğu yerler arka duvara yakın olan alıcılardır. Çünkü arka duvardan gelen erken yansımalardan faydalanırlar. Dolayısıyla bu noktalarda T_s değerleri daha düşüktür. Teras oturumlarında orta ve arka sırada yer alan alıcıların (alıcı 11, 12, 23, 24, 5, 6, 17, 18) merkez zaman değerlerinin, ana salon orta ve arka sıralarında yer alan alıcıların (alıcı 2, 3, 14, 15, 8, 9, 20, 21) merkez zaman değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni terasın yükselmesi ve buradaki eğimin düşmesiyle terasta orta ve arka sırada yer alan alıcılara gelen enerji miktarının, koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artması sonucu, azalmasıdır. Bunun sonucunda da merkez zaman değerleri yükselmiştir.

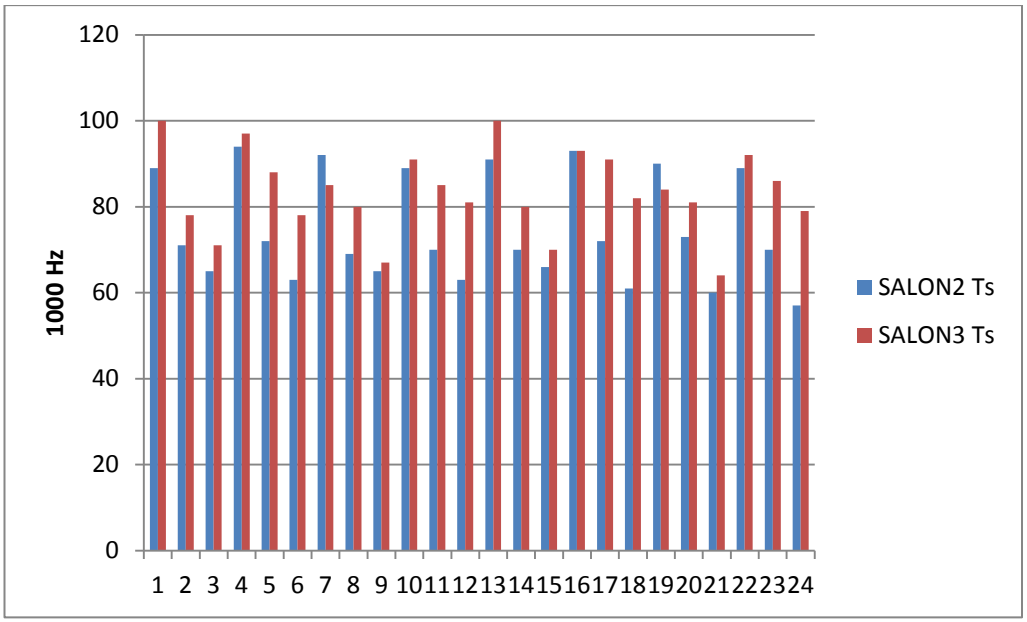


Şekil 5.166 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de T_s değeri.

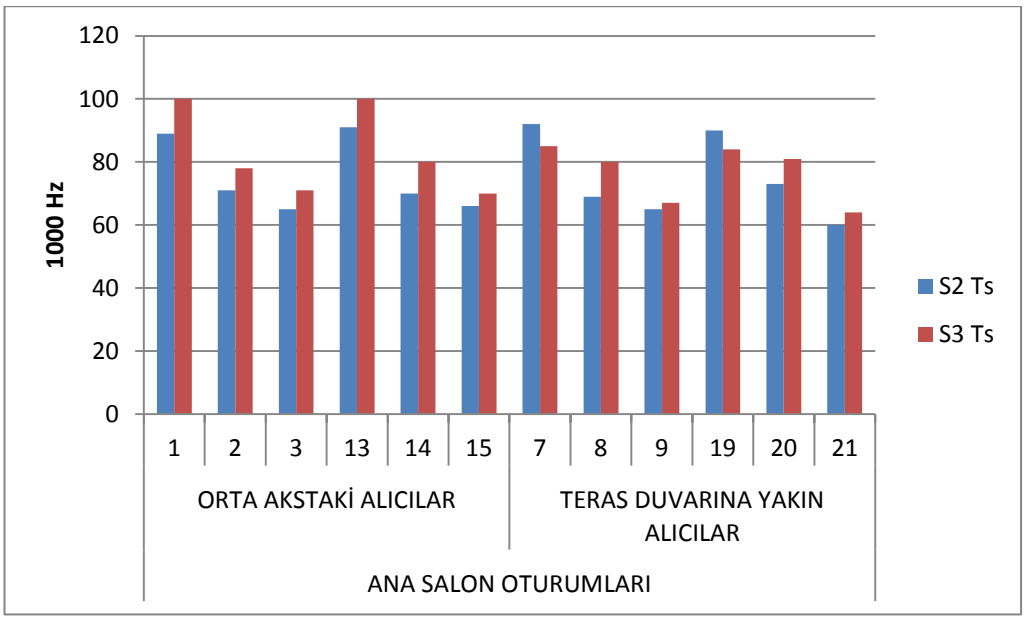
Şekil 5.166'da salon 3 için merkez zaman parametresinin 1000 Hz'deki grid analizi verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde sahne önündeki merkez zaman değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni salon geometrisi sonucunda arka duvardan yansıyarak dönen geç enerjinin salonun orta kısımlarında toplanıp geç enerji miktarını artırmasıdır. Arka duvarlara yakın kısımlarda ise T_s değerleri daha düşüktür, çünkü buralara arka duvardan gelen erken yansımalar ulaşmakta ve erken enerji daha yüksek olmaktadır.

Salon 3 ve salon 2 teraslı oturum farkının T_s parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.167'de salon 2 ve salon 3'ün T_s değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 3 T_s değerlerinin, salon 2'deki T_s değerlerinde daha büyük oldukları görülür. Salon 3'ün genelinde alıcılarda T_s değerlerinde bir artış yaşanmıştır. **Şekil 5.168** ve **Şekil 5.169**'da salon 3 ana salon ve teras oturumlarında yer alan alıcılar için Ts değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.



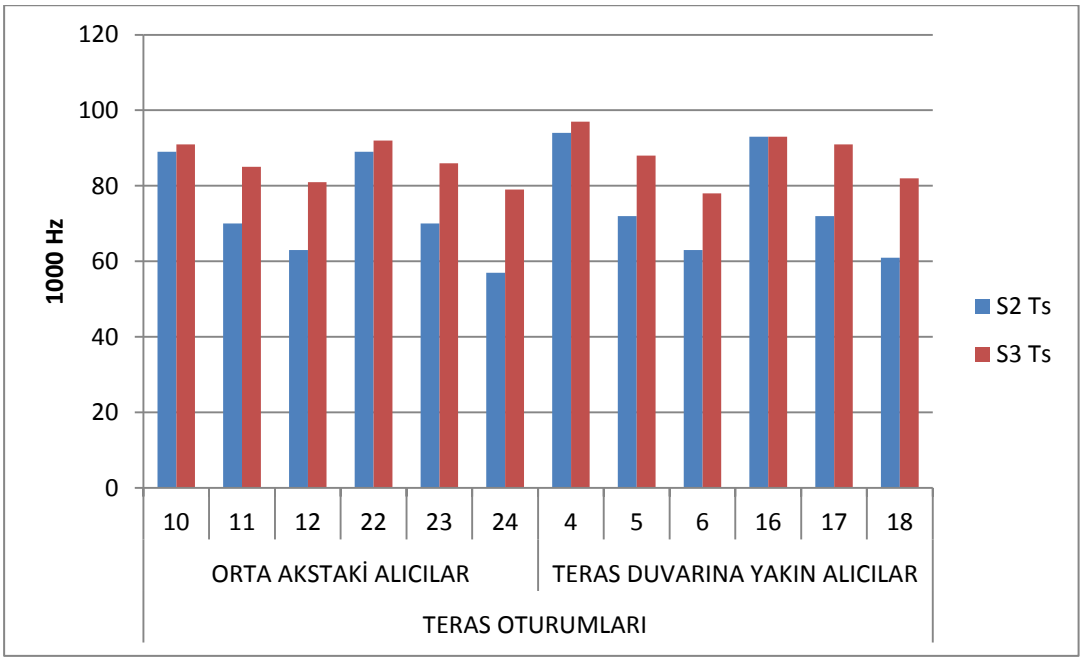
Şekil 5.167 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında T_s karşılaştırması.



Şekil 5.168 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için T_s değerleri karşılaştırması.

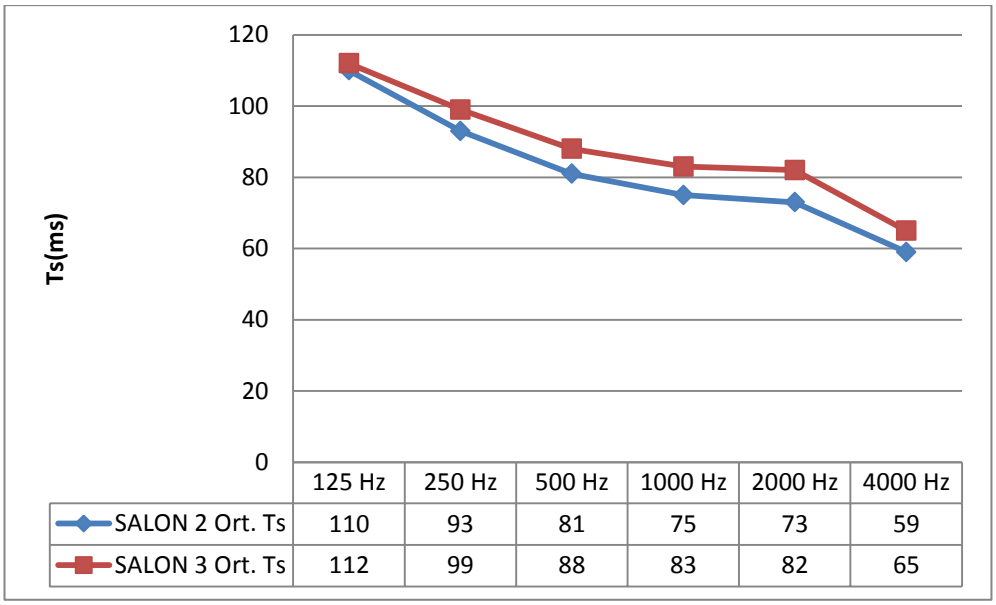
Şekil 5.168'de salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için merkez zaman değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Merkez zaman değerinin yüksek olması geç enerjinin yüksek olmasından, çınlamanın artmasından kaynaklanır. **Şekil 5.125**'te verilen salon 2 ve salon 3'ün T30 değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği incelendiğinde salon 3 çınlama süresinin salon 2'den yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi salon genelindeki yutuculuğun, oturumların teraslara yükseltilmesiyle azalmasından kaynaklanır. Bu da çınlama

süresini uzatmıştır, dolayısıyla merkez zaman süresi de uzamıştır. Alıcı 7 ve 19'da merkez zaman süresinin düşmesinin nedeni bu alıcılara ulaşan erken enerjinin sahne üzerinden yansıyarak gelen ışın sayesinde artmasından kaynaklanmaktadır. **Şekil 5.115**'te alıcı 19 için verilen enerji diyagramı ve ışın analizi grafiği incelendiğinde görülmektedir.



Şekil 5.169 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların T_s değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması.

Şekil 5.169'da salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te teras oturumlarında olan alıcılar için merkez zaman değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada da merkez zaman süresinin artmasının sebebi ana salonda merkez zaman süresinin artmasının sebebiyle aynıdır. Merkez zaman değerinin yüksek olması geç enerjinin yüksek olmasından, çınlamanın artmasından kaynaklanır. **Şekil 5.125**'te verilen salon 2 ve salon 3'ün T30 değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği incelendiğinde salon 3 çınlama süresinin salon 2'den yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi salon genelindeki yutuculuğun, oturumların teraslara yükseltilmesiyle azalmasından kaynaklanır. Bu da çınlama süresini uzatmıştır, dolayısıyla merkez zaman süresi de uzamıştır.



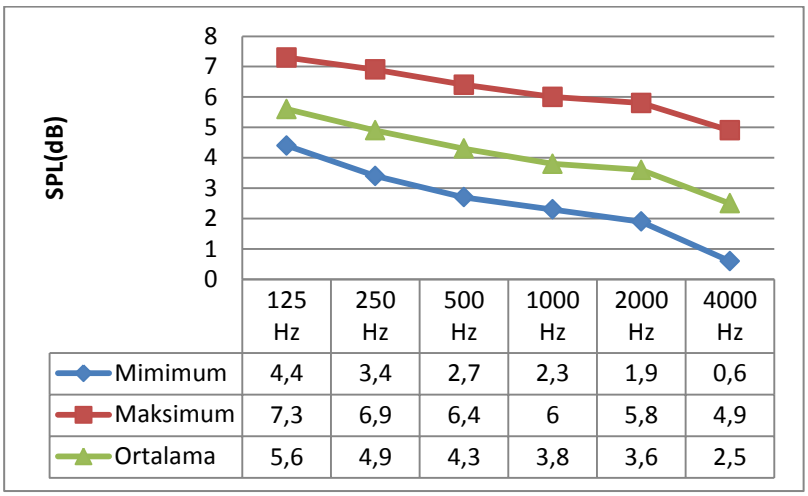
Şekil 5.170 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama T_s karşılaştırması.

Şekil 5.170'de salon 2 ve salon 3 için frekanslara bağlı ortalama merkez zaman değeri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 değerlerinin salon 2 değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Merkez zaman süresinin yüksek olması geç enerjinin yüksek olmasından, çınlamanın artmasından kaynaklanır. Salon 3'te salon genelindeki yutuculuğun, oturumların teraslara yükseltilmesiyle azalması çınlama süresinin uzamasına neden olmuştur. Bu da geç enerjinin erken enerjiden fazla olmasının bir sonucu olarak merkez zaman süresini artırmıştır.

5.2.3.6 Ses yüksekliği (G, SPL)

Bölüm 4.1.4'te anlatılanlardan yola çıkılarak; G parametresini etkileyen faktörler şunlardır: dinleyicinin sahneye olan mesafesi, erken sesi ileten yüzeyler, hacmin büyüklüğü, hacimde kullanılan ses yutucu malzemeler. Literatürde G parametresi için verilen optimum aralık -2 ile 10 aralığındadır [26]. Bu parametre için verilen sübjektif limen ise 1 dB'dir [27]. Kaynaktan uzaklaştıkça G seviyesinde oluşacak düşüş normaldir. Ayrıca oturum azalması (seat dip attenuation) sesin dinleyiciler üzerinden sürünerek giderken azalmasına da neden olur. Tavan ve duvarların dinleyici alanına erken ses enerjisini iletmesi bu azalmayı düşürür**. Çizelge 6.1**'de verilen optimum G değeri aralığı -2 ile 10 arasındadır. **Şekil 5.171**'de salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri verilmiştir. Salon genelinde bu parametrenin optimum değerler arasında olduğu görülmektedir. Yüksek

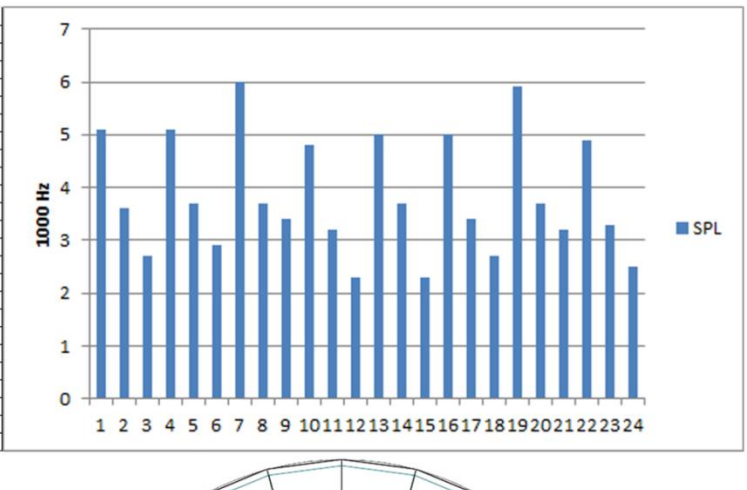
frekanslardaki G değerlerinin düşük frekanslara göre daha düşük olmasının sebebi yüksek frekansların hava tarafından daha çok yutulmasıdır.

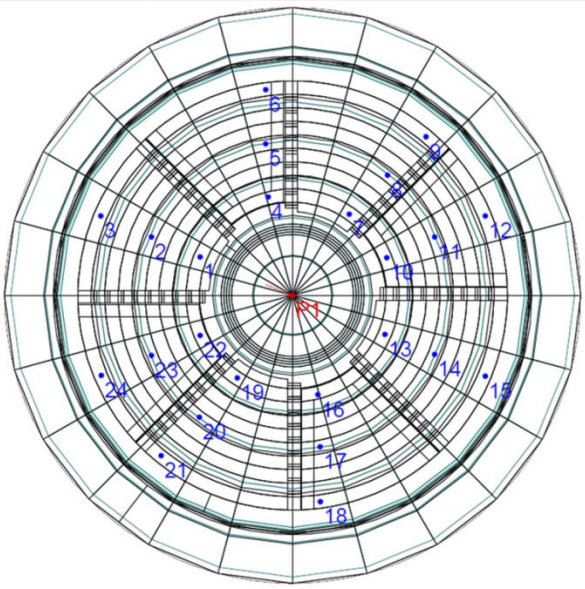


	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mimimum	4,4	3,4	2,7	2,3	1,9	0,6
Maksimum	7,3	6,9	6,4	6	5,8	4,9
Ortalama	5,6	4,9	4,3	3,8	3,6	2,5

Şekil 5.171 : Salon 3 için frekanslara bağlı maksimum, minimum, ortalama SPL değerleri.

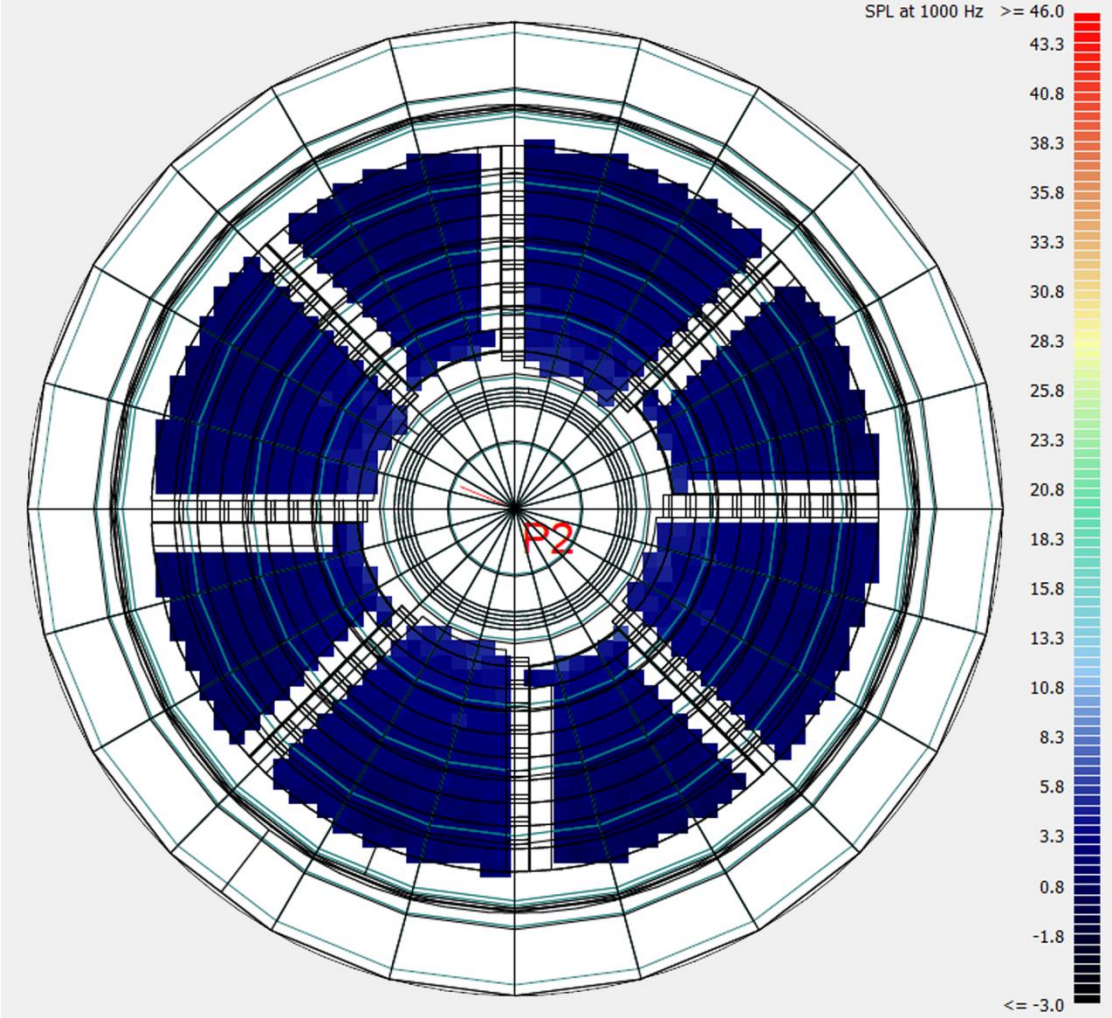
S3	SPL
1	5,1
2	3,6
3	2,7
4	5,1
5	3,7
6	2,9
7	6
8	3,7
9	3,4
10	4,8
11	3,2
12	2,3
13	5
14	3,7
15	2,3
16	5
17	3,4
18	2,7
19	5,9
20	3,7
21	3,2
22	4,9
23	3,3
24	2,5





Şekil 5.172 : Salon 3 için alıcı noktalarındaki 1000 Hz'de G değerleri.

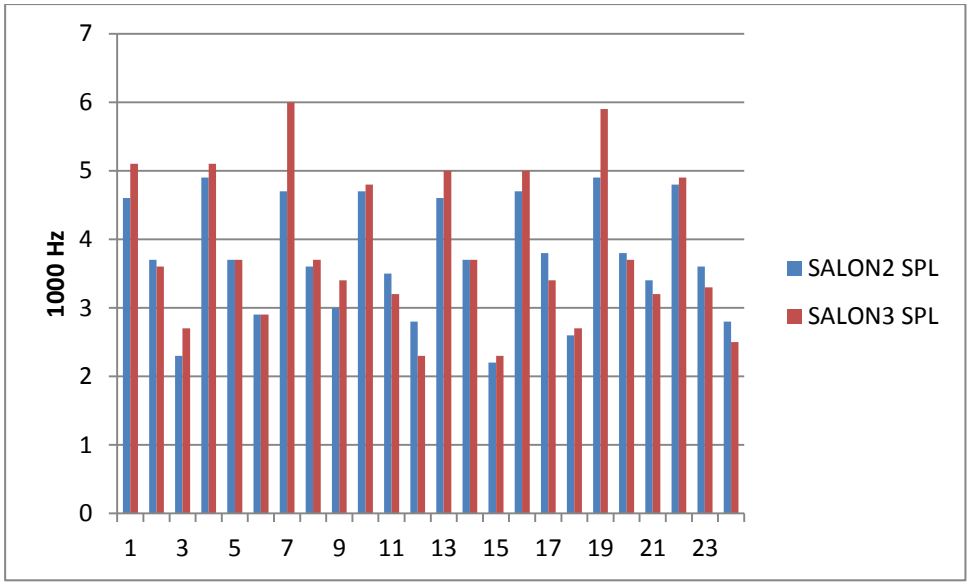
Şekil 5.172'de alıcıların tamamının belirtilen aralıkta olduğu görülmektedir. Grafikten ise sahneye olan alıcı mesafesinin etkisi okunmaktadır. Sahneye yakın olan alıcılarda SPL değeri daha yüksektir ve arka sıralara doğru bu değer azalmakta, en arka sırada grafikteki en düşük değerine ulaşmaktadır, ki bu değer optimum değer aralığındadır. Alıcı 7 ve 19 sahne önünde yer alan diğer alıcılara göre daha yüksek SPL değerlerine sahiptir. Bu durum, sahne yansımasıyla alıcıların aldığı yansımanın artmasının bir sonucudur. **Şekil 5.173**'te salon 3 için 1000 Hz'de G parametresi grid analizi yer almaktadır ve grid anlatılanları doğrular niteliktedir. Salonda sahne önünde G değerleri en yüksek seviyededir ve salonun arkasına doğru ilerledikçe bu değerler düşmektedir. Bu durum kaynağa olan mesafenin ve hava ile sesin yutulmasının bir sonucudur.



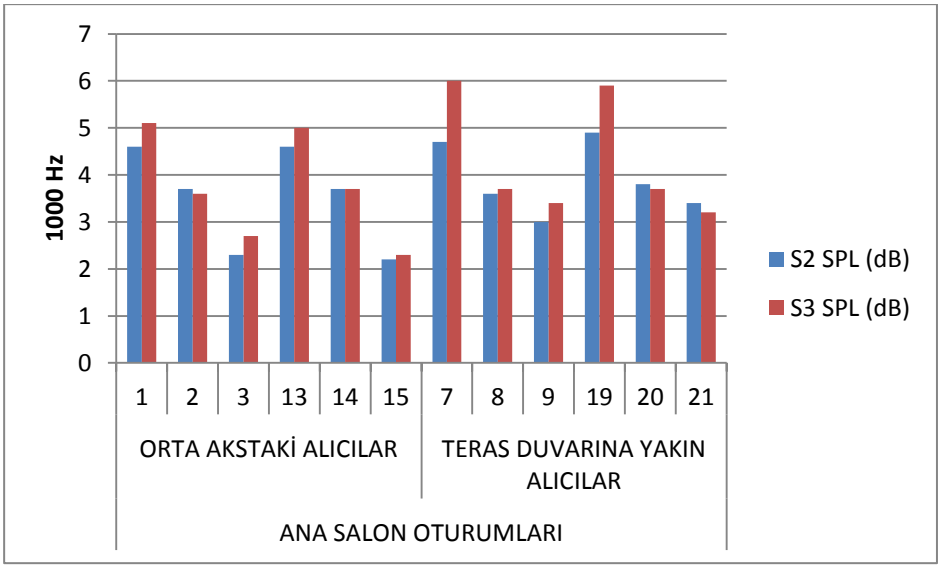
Şekil 5.173 : Salon 3 için grid analizi ile 1000 Hz'de G (SPL) değerleri.

Salon 3 ve salon 2 teraslı oturum farkının G (SPL) parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

Şekil 5.174'te salon 2 ve salon 3'ün G (SPL) değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında arka sıradaki alıcıların salon 3'teki G değerlerinin, salon 2'deki G değerlerinden daha yüksek oldukları görülür. Bu durumun nedeni terasların yükseltilmesiyle salon genelinde azalan dinleyici oturum alanının yutuculuğuna bağlanabilir. **Şekil 5.175** ve **Şekil 5.176**'da salon 3 ana salon ve teras oturumlarında yer alan alıcılar için G (SPL) değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırıldığı grafik yer almaktadır.

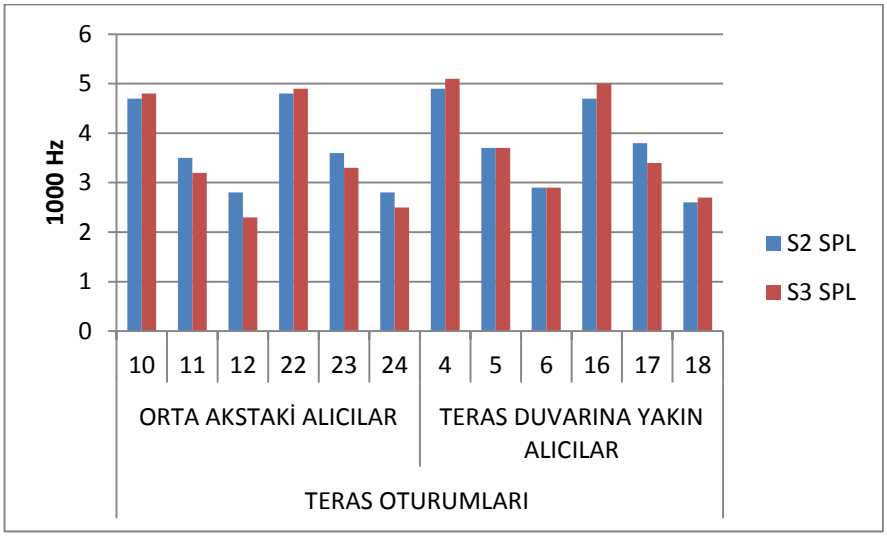


Şekil 5.174 : Salon 2 ve salon 3'ün 1000 Hz'de alıcı noktalarında G karşılaştırması.



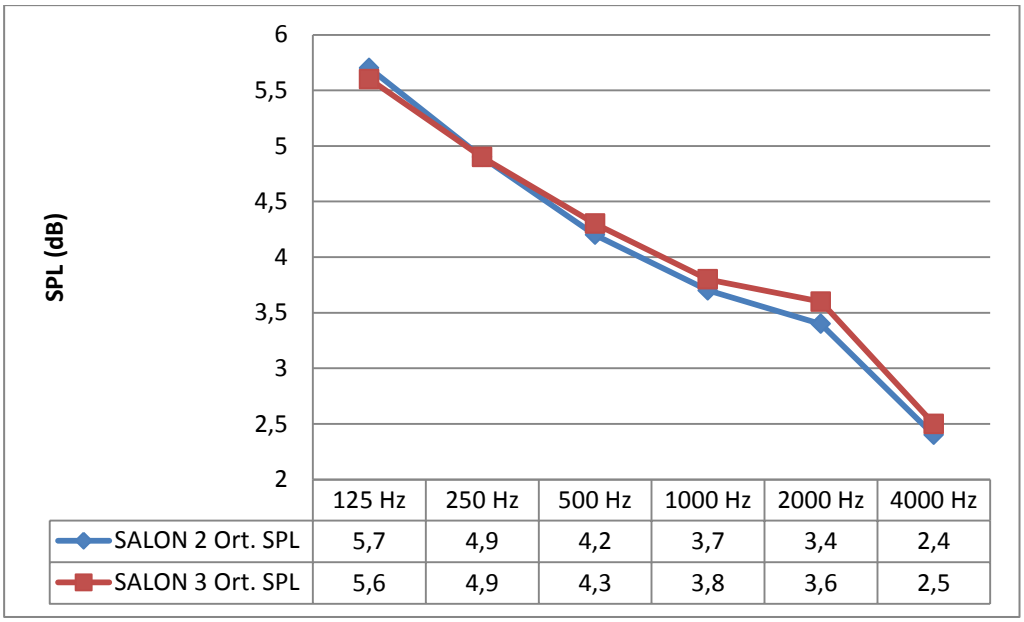
Şekil 5.175 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için G (SPL) değerleri karşılaştırması.

Şekil 5.175'te salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için ses yüksekliği değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılardaki ses yükseklik değerlerinin geneline bakıldığında salon 2'den daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni terasların yükseltilmesiyle salon genelinde azalan dinleyici oturum alanının yutuculuğuna bağlanabilir.



Şekil 5.176 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların G (SPL) değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması.

Şekil 5.176'da salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te teras oturumlarında olan alıcılar için ses yüksekliği değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde ön sırada yer alan alıcıların salon 3 değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir, bu durumun nedeni terasların yükseltilmesiyle salon genelinde azalan dinleyici oturum alanının yutuculuğuna bağlanabilir. Ancak teras oturumunda orta ve arka sırada yer alan alıcıların değerlerinde genel olarak bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu durum teras yükselmesiyle alıcıların kaynaktan uzaklaşmasına, dolayısıyla kaynak alıcı mesafesinin artmasına bağlanabilir. Ayrıca terasın yükselmesi eğimin düşmesine de neden olmuştur. Bu da koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artmasına neden olmuştur. Bu da alıcılara ulaşan ses yüksekliğinin düşmesine neden olmuştur. **Şekil 5.175** ve **Şekil 5.176**'da arka sıralardaki alıcıların artışları karşılaştırıldığında teras oturumundaki ön sıra alıcılarının artışının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin artan kaynak-alıcı mesafesi olduğu söylenebilir. Ancak alıcılardaki G (SPL) değer farklılıkları alıcı noktalarında seyircilerin fark edebileceği farklar değildir. Çünkü 1 dB'lik sübjektif limen aralığında kalmaktadır.



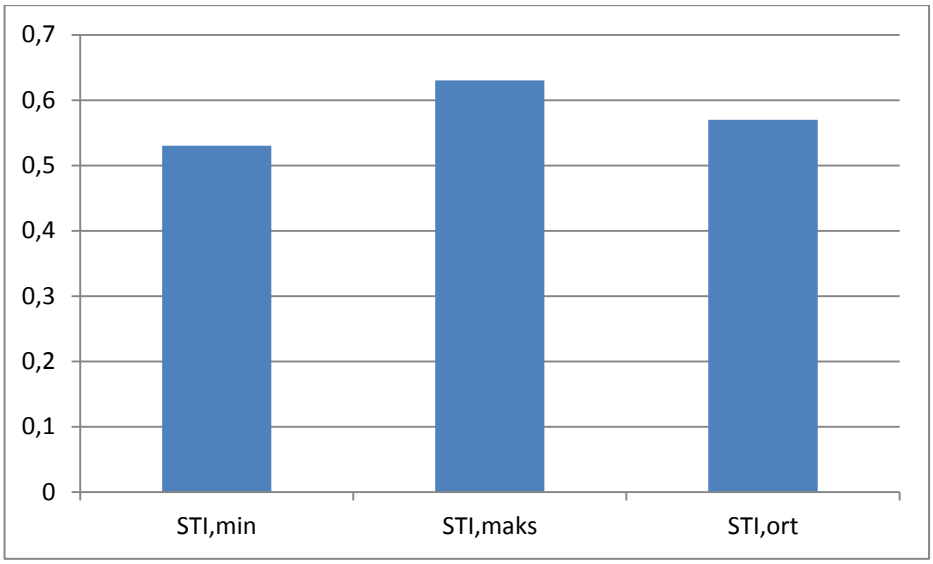
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
SALON 2 Ort. SPL	5,7	4,9	4,2	3,7	3,4	2,4
SALON 3 Ort. SPL	5,6	4,9	4,3	3,8	3,6	2,5

Şekil 5.177 : Salon 2 ve salon 3'ün frekanslara bağlı ortalama SPL karşılaştırması.

Şekil 5.177'de salon 2 ve salon 3 için frekanslara bağlı ortalama ses yüksekliği değeri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 değerlerinin salon 2 değerlerinden çok farklı olmadığı ancak az da olsa daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni terasların yükseltilmesiyle salon genelinde azalan dinleyici oturum alanının yutuculuğuna bağlanabilir.

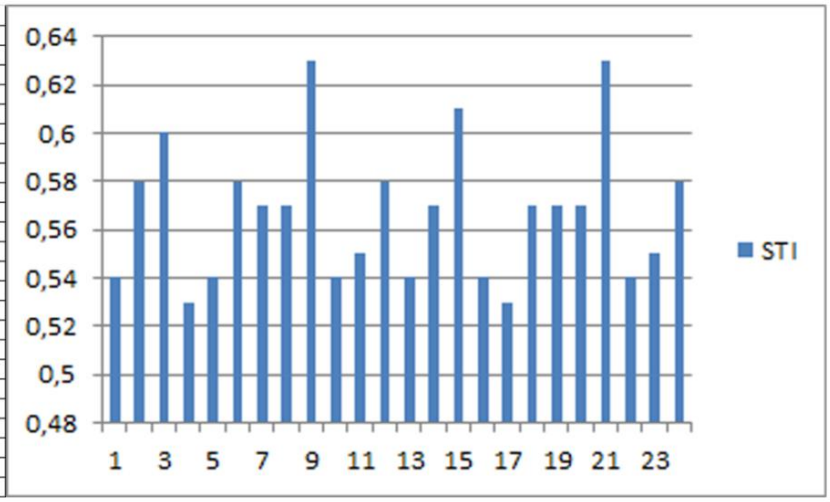
5.2.3.7 Konuşma iletim indeksi (STI)

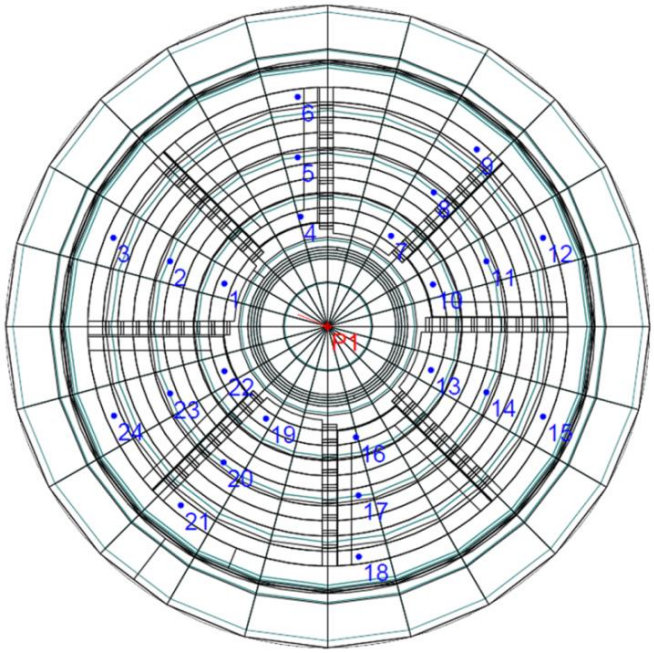
Bölüm 4.1.16'da anlatılanlar ve **Çizelge 6.1**'de verilen aralığa göre STI parametresi 0.6'dan büyük olmalıdır. Performans ve konferans mekânlarındaki konuşma anlaşılırlığını belirlemede kullanılan parametre konuşma iletim indeksi (STI) olarak bilinir. STI değerleri 0 – 1 arasındadır. Yüksek değerler daha iyi konuşma anlaşılırlığı anlamındadır. Kaynaktan çıkan ses düzeyi, yansımaların yön ve şiddeti, çınlama süresi ve sesin maskelenmesi, arka plan gürültü seviyesi ve eko; STI parametresini etkiler [6]. STI parametresi için 0.45-0.60 arası orta derece, 0.60'tan büyük değerler iyi derece, 0.75-1 arasındaki değerler mükemmel derece kabul edilmektedir [6, 27]. **Şekil 5.178**'de salon 2 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında ortalama değerlerin 0.6 alt sınırının biraz altına düştüğü görülmektedir. Bu değer kötü kabul edilmese de optimumun altında kalmaktadır.



Şekil 5.178 : Salon 3 için maksimum, minimum, ortalama STI değerleri.

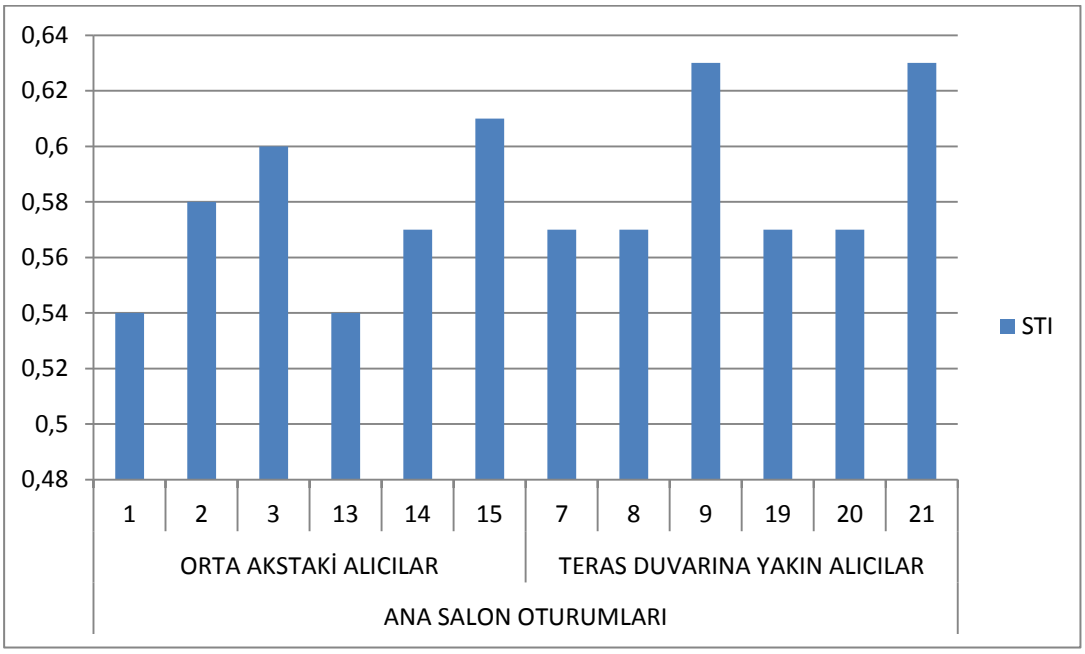
S3	STI
1	0,54
2	0,58
3	0,6
4	0,53
5	0,54
6	0,58
7	0,57
8	0,57
9	0,63
10	0,54
11	0,55
12	0,58
13	0,54
14	0,57
15	0,61
16	0,54
17	0,53
18	0,57
19	0,57
20	0,57
21	0,63
22	0,54
23	0,55
24	0,58





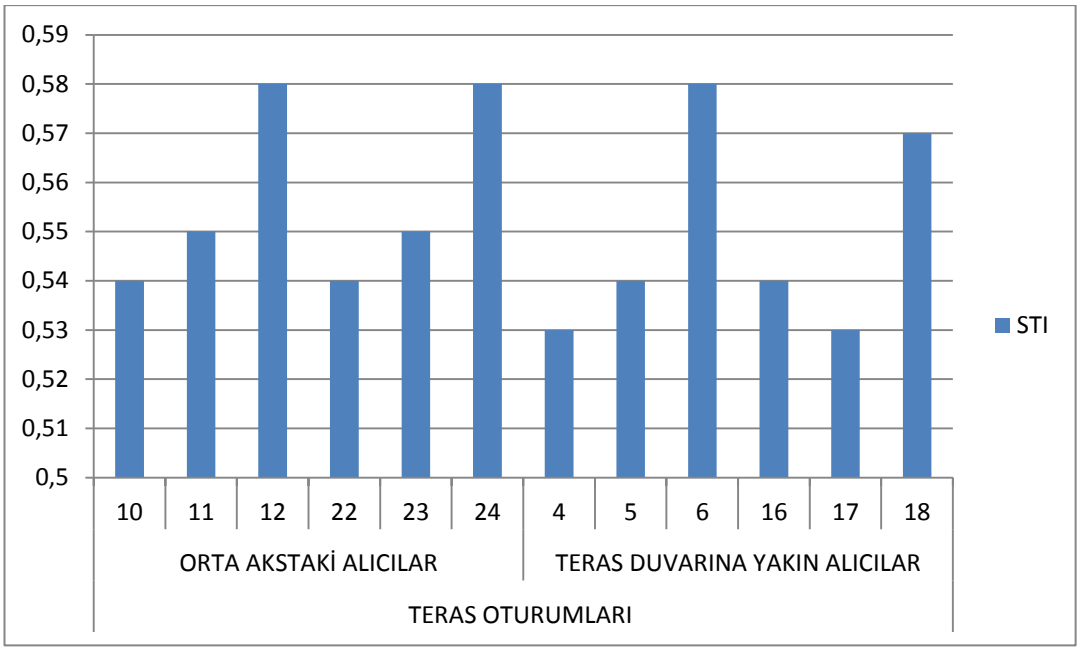
Şekil 5.179 : Salon 3 için alıcı noktalarındaki STI değerleri.

Şekil 5.179'da alıcı noktalarındaki STI değerleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında STI değerlerinin sahnenin önünden salonun arkasına doğru arttığı görülmektedir. Bu durumun sebebi salonun arkasında yer alan alıcı noktalarına tavan ve arka duvardan iletilen ses yansımalarına bağlanabilir. **Şekil 5.180** ve **Şekil 5.181**'de salon 3 için ana salon ve teras oturumlarındaki alıcıların STI değerleri verilmiştir. Alıcılardaki konuşma iletim indeksi parametresi değerleri konumlarına göre çeşitlilik göstermektedir.



Şekil 5.180 : Salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için STI değerleri.

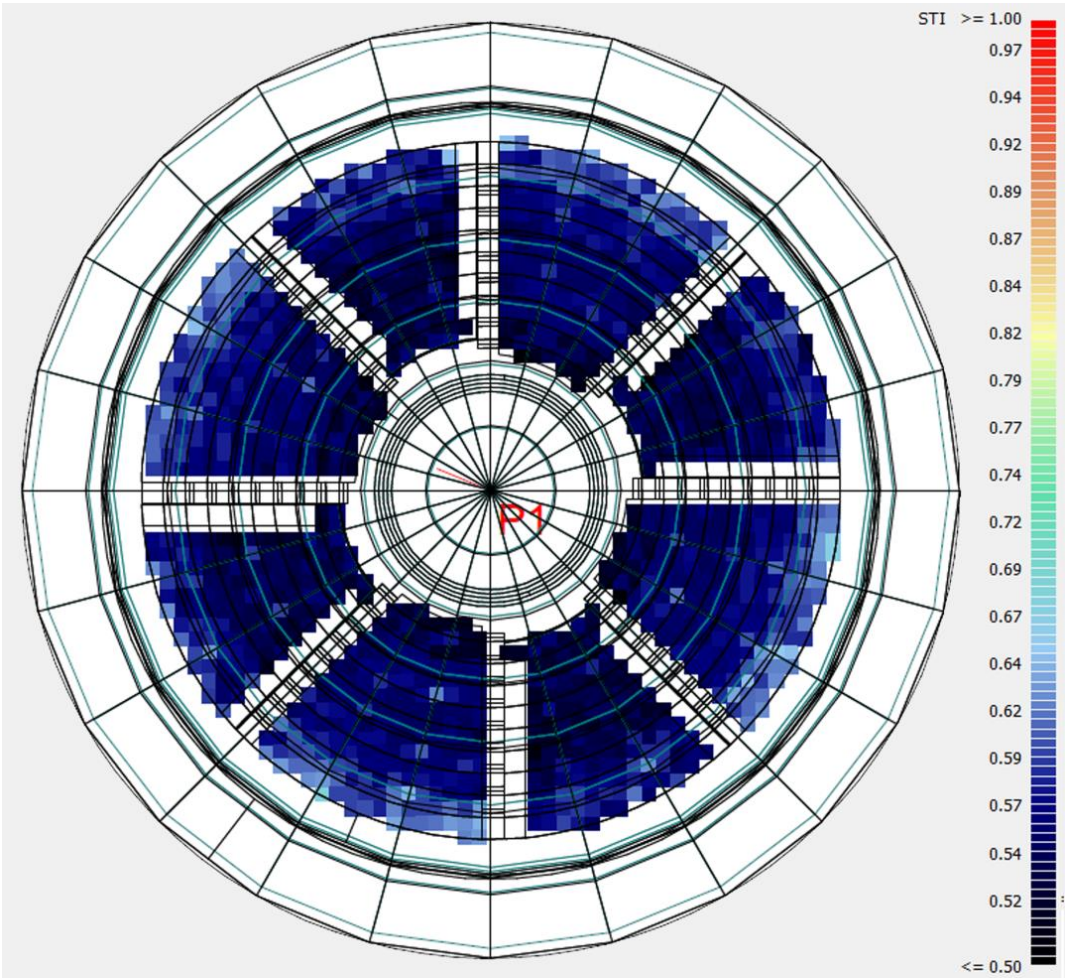
Şekil 5.180'de ana salon oturumlarındaki alıcıların konuşma iletim indeksi parametresi değerleri verilmiştir. Salonda sahnenin önünden salonun arka sıralarına doğru gidildikçe değerler artmaktadır. Bu durumun sebebi salonun arkasında yer alan alıcı noktalarına tavan ve arka duvardan iletilen ses yansımalarına bağlanabilir. Ana salonda teras duvarına yakın alıcılardan ön sırada yer alan alıcı 7 ve 19'daki STI değerleri, orta aksta yer alan ön sıra alıcıları olan alıcı 1 ve 13'ten daha yüksektir. Bunun sebebi alıcı 7 ve 19'a direkt sesin hemen ardından sahneden yansıyarak ulaşan ses ışınının konuşma iletimini artırmasına bağlanabilir.



Şekil 5.181 : Salon 3 teras oturumlarındaki alıcılar için STI değerleri.

Şekil 5.181'de teras oturumlarındaki alıcıların konuşma iletim indeksi parametresi değerleri verilmiştir. Salonda sahnenin önünden salonun arka sıralarına doğru gidildikçe değerler artmaktadır. Bu durumun sebebi salonun arkasında yer alan alıcı noktalarına tavan ve arka duvardan iletilen ses yansımalarına bağlanabilir. Teras oturumlarında yer alıcılarının değerlerinin ana salon oturumunda yer alıcıların değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi terasın yükselmesiyle azalan eğimin koltuk yutumunu (seat dip attenuation) artırması, ayrıca artan kaynak-alıcı mesafesidir. Koltuk yutumu arttığı için sesin seyirci üzerinden geçtiği zamandaki azalma miktarı artmış ve alıcılara daha az iletimin olmasına sebep olmuştur. Teras duvarına yakın ön ve orta sırada bulunan alıcıların değerlerinin geneline bakıldığında terasta orta aksta ön ve orta sırada yer alan alıcıların değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi duvara yakın olan alıcıların aldığı ışınların teras duvarının engel oluşturması ile düşmesidir.

Şekil 5.182'de salon 3 için konuşma iletim indeksi parametresinin grid analizi verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde arka sıralardaki konuşma iletim indeksi değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tavan ve arka duvarın iletiminin buralarda daha yüksek olmasıdır. Sahneye yaklaştıkça konuşma iletim indeksi değerleri düşmektedir.



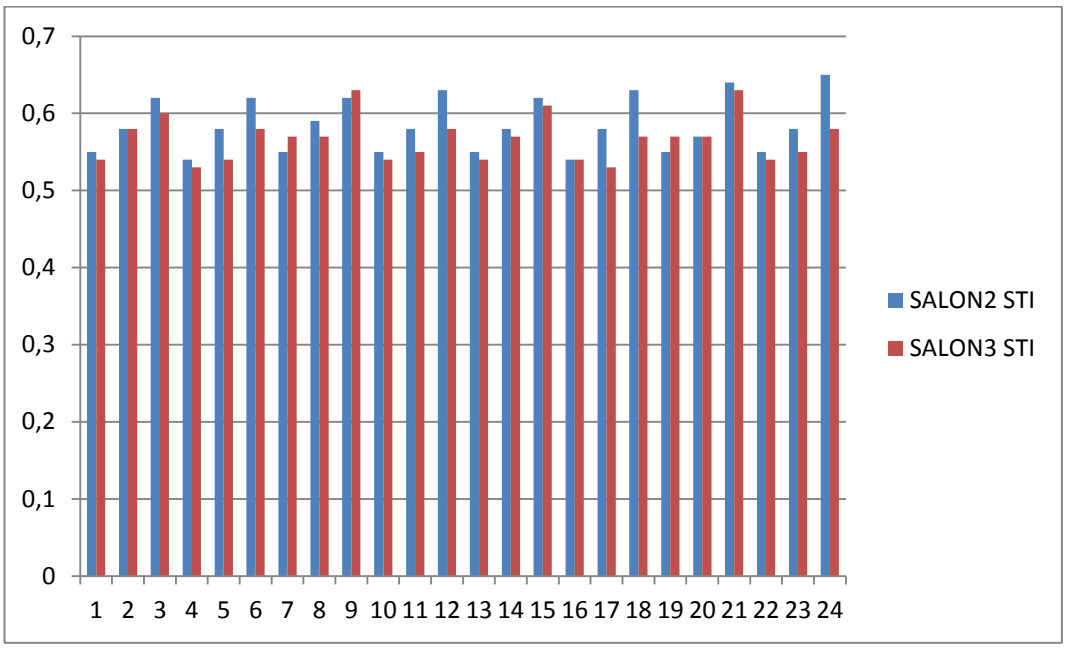
Şekil 5.182 : Salon 3 için grid analizi ile STI değeri.

Salon 3 ve salon 2 teraslı oturum farkının STI parametresi bağlamında kritik alıcı noktaları aracılığıyla karşılaştırılması

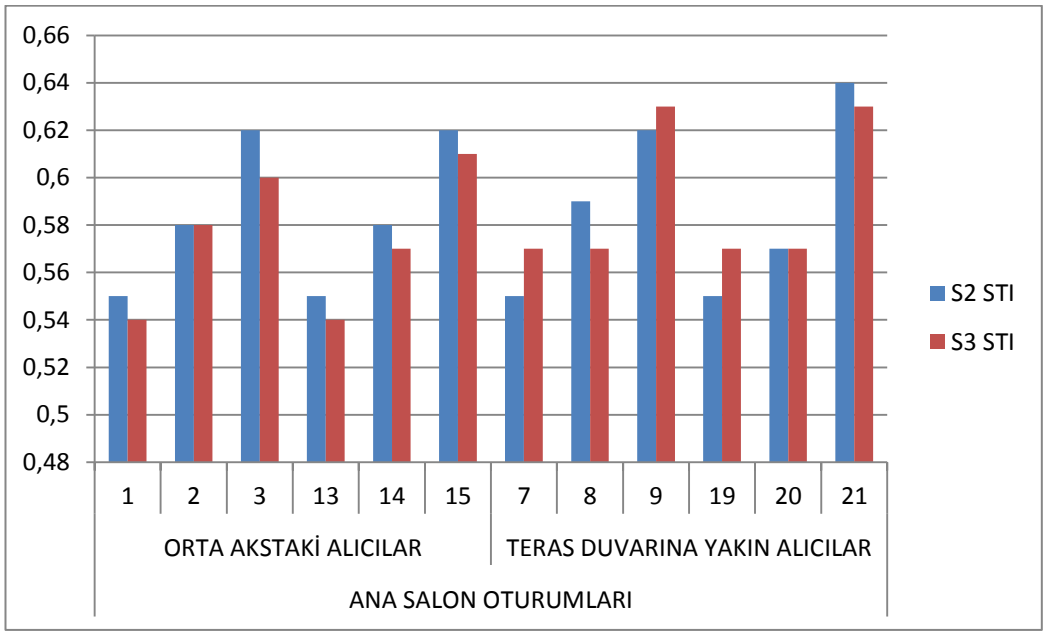
Şekil 5.183'te salon 2 ve salon 3'ün STI değerlerinin alıcı noktaları bazında değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salon 3'teki STI değerlerinin, salon 2'deki STI değerlerinden daha düşük olduğu görülür. Bunun sebebi salon içinde oluşturulan teras oturumlarının alıcılara ulaşan ışınların sayısını düşürmesine, iletimde engel oluşturmasına bağlanabilir.

Şekil 5.184'te salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için konuşma illetim indeksi değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılardaki konuşma iletim indeksi değerlerinin geneline bakıldığında salon 2'den daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni terasların yükseltilmesiyle oluşan teras duvarlarının ses iletimine engel oluşturmasına bağlanabilir. Alıcı 7 ve alıcı 19 değerlerinin salon 2'den yüksek

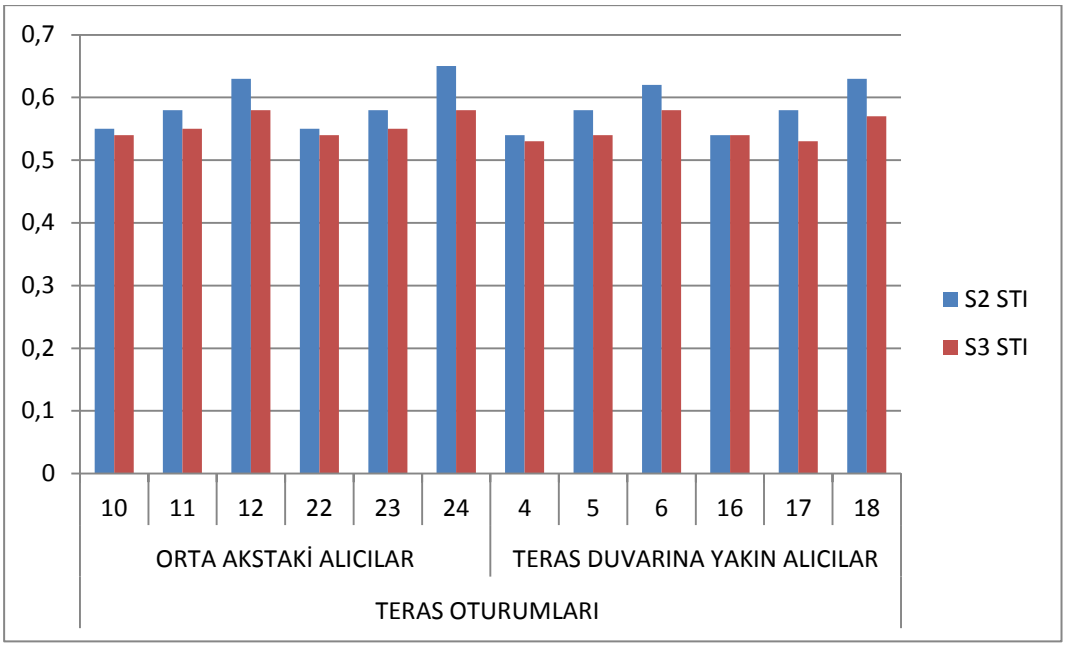
olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, direkt sesten sonra sahneden yansıyarak gelen ses ışınının iletim indeksini artırmasıdır.



Şekil 5.183 : Salon 2 ve salon 3'ün alıcı noktalarında STI karşılaştırması.

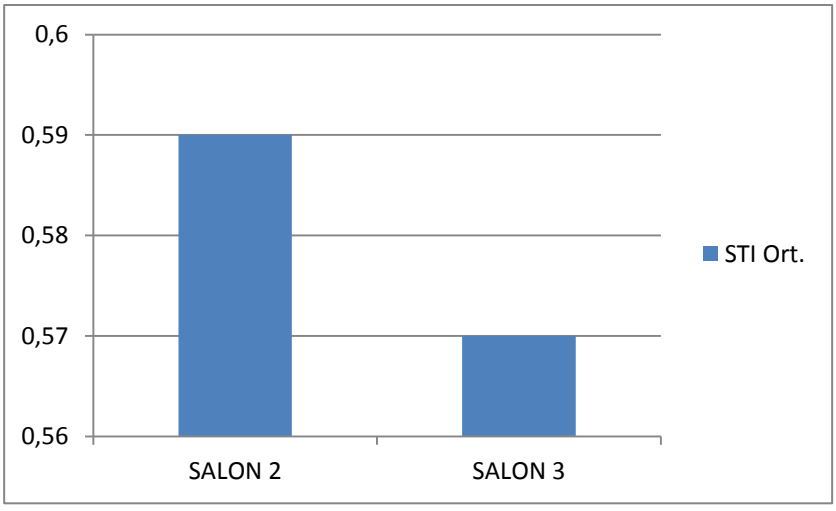


Şekil 5.184 : Salon 2 ve salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılar için STI değerleri karşılaştırması.



Şekil 5.185 : Salon 3'te teras oturumlarında yer alan alıcıların STI değerlerinin salon 2'deki değerleri ile karşılaştırılması.

Şekil 5.185'te salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te teras oturumlarında olan alıcılar için konuşma iletim indeksi değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde teras oturumunda yer alan alıcıların tamamının salon 3 değerlerinin, salon 2 değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Terasların yükseltilmesiyle alıcılar kaynaktan uzaklaşmıştır ve direkt olarak kaynaktan ulaşan ses iletimi azalmıştır. Ayrıca terasın yükselmesi buradaki eğimin düşmesine neden olmuştur. Bu da sesin seyirci üzerinden geçtiği zamandaki yutulma miktarını artırmış ("seat dip attenuation" artmış) ve alıcılara daha az iletim gerçekleşmesine neden olmuştur.



Şekil 5.186 : Salon 2 ve salon 3'ün ortalama STI değerleri karşılaştırması.

Şekil 5.186'da salon 2 ve salon 3 için ortalama konuşma iletim indeksi değeri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde salon 3 değerlerinin salon 2 değerlerinden daha düşük olduğu bu grafikte de görülmektedir. Bu durumun nedeni terasların yükseltilmesiyle teras duvarlarının salon genelindeki ses iletimine engel oluşturmasıdır. Duvarların bu şekildeki konumlanışı ve yükselişi konuşma iletim indeksi parametresinde olumlu bir etki oluşturmamıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

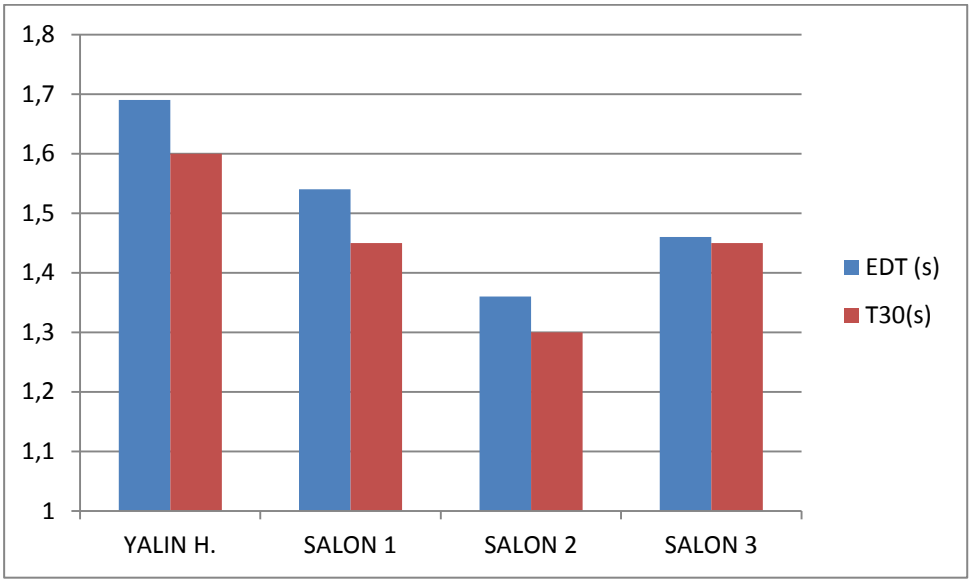
Tez çalışması kapsamında arena plan tipi, tam daire salonlar üzerinde konuşma ve müzik işlevleri için etkin olan parametrelerin tasarım değişkenleri aracılığıyla incelemeleri yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler incelenecek parametreler için her bir salona özel olarak gruplanmış, grafikler ve şekiller üzerinden değerlendirilmiştir. Salonlarda malzemeler, malzemelerin yutuculuk, saçıcılık, yansıtıcılık değerleri, sahne konumlanması, kişi başı m^2, salon hacmi gibi fiziksel özellikler sabit tutulup; zemin eğimi, oturumlarda terasların ve teras duvarların oluşturulması gibi fiziksel tasarım elemanlarının kontrollü değişimi ve uygulaması sağlanmış, elde edilen varyasyonlarda simülasyon programı aracılığıyla akustik hesaplamalar yapılmış, elde edilen verilerle parametreler ve alıcılar bazında değerlendirme ve karşılaştırmalara gidilmiştir. Parametrelerin değerlendirilmesinde literatürden elde edilen optimum değer aralıklarından faydalanılmıştır. Karşılaştırmalar ve değerlendirmeler sırasında parametrelerin orta frekans (1000 Hz) değerleri kullanılmıştır. Parametrenin salon genelindeki maksimum, minimum ve ortalama değerleri incelenirken düşük, orta ve yüksek frekans değerleri incelemenin yapıldığı ilgili grafikte verilmiştir. Ayrıca iki salonun aynı parametre için karşılaştırmalarının yapıldığı grafiklerde de düşük, orta ve yüksek frekanslara yer verilmiştir. Salonların karşılaştırmalarında frekanslara bağlı ortalama değerlerden de yararlanılmıştır. Bahsedilen salonların değerlendirme ve karşılaştırmaları akustik objektif parametreler olan çınlama süresi (T30), erken düşme süresi (EDT), netlik (C_{80}), belirginlik (D_{50}), yana yansıma oranı (LF_{80}), merkez zaman (T_s), ses yüksekliği (G, SPL), konuşma iletim indeksi (STI) parametreleri açısından yapılmıştır.

Zemin eğiminin, teras oturumlarının ve teras duvarlarının salon içerisindeki etkisinin analizi açısından belirlenen bir tip salondan yola çıkılarak iki plan varyasyonu tasarlanmıştır. Tasarlanan bu salonlarda sabit tutulan fiziksel değişkenler belirlenmiştir. Salon varyasyonları oluşturmayı sağlayan tasarım değişkenlerinin akustik parametreler üzerinde oluşturdukları etkiler değerlendirme ve karşılaştırma yöntemiyle ortaya konmaya çalışılmıştır. Elde edilen çalışma verilerinden çeşitli

sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuç verileri parametrelerin her biri için ele alınan incelemeler ve karşılaştırmaların sonuçları yine her biri için ayrı bir şekilde verilmiştir.

6.1 Çınlama Süresi (T30), Erken Düşme Süresi (EDT)

Bölüm 5.2.1.1, **bölüm 5.2.2.1** ve **bölüm 5.2.3.1**'de salon 1, salon 1 yalın hali, salon 2 ve salon 3 için T30-EDT ilişkilerinin salon genelinde ve alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerinde ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalarında enerji diyagramları ve karşılaştırma grafiklerinden yararlanılmıştır. Çınlama süresi ve erken düşme süresi için verilen sübjektif limen değerinin %5 olduğu literatür verilerinde elde edilmiştir [27]. Elde edilen sonuçlar bu grafikler ve enerji diyagramlarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. **Şekil 6.1**'de bahsedilen salonlar için EDT-T30 ilişkilerinin 1000 Hz' deki ortalama değerlerinin olduğu grafik verilmiştir.



Şekil 6.1 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama EDT-T30 değerleri.

Salon 1'in yalın hali T30 (1,6 s) ve EDT (1,69 s) ile akustik kontrol uygulanmış halindeki T30 (1,45 s) ve EDT (1,54 s) arasındaki T30 ve EDT değerleri farkının sübjektif limen değerinden (%5'ten) fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, salona uygulanan malzemelerin bu parametreler üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu sonucuna varılabilir. Uygulanan malzemeler salon genelindeki yutuculuk miktarını artırmıştır, EDT ve T30 değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.

Şekil 5.18, **Şekil 5.19**, **Şekil 5.63**, **Şekil 5.64**, **Şekil 5.119** ve **Şekil 5.120**'de salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen noktasal ışın analizlerinden de görüldüğü üzere

tavandan gelen yansımalarda herhangi bir odaklanmanın olmadığı, sesin homojen dağıldığı görülmektedir. Ancak arka duvardan yansıyan ışınların salonun ortasına dönüp toplandığı, yani, odaklandığı söylenebilir. Dolayısıyla salonlarda sahneye yakın bölümlerde geç enerji daha fazladır, salonun çınlayan özelliği buralarda artış göstermektedir. Arka duvardan yansıyarak özellikle ön ve orta sıra alıcılarına ulaşan yansımalar alıcılarda ekoya sebep olmaktadır.

Salon 2'nin salon 1'den farkı zemin eğiminin daha dik olmasıdır. Zemin eğiminin artması ile seyircilerin kapladıkları yüzey alanı artmıştır. Salon 2 T30 (1,3 s) ve EDT (1,36 s) değerleri ile salon 1 T30 (1,45 s) ve EDT (1,54 s) değerleri karşılaştırıldığında iki salon arasındaki farkın %5 olan sübjektif limen değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Yüzey alanının artması salon genelindeki yutuculuk miktarını artırmıştır, bu da çınlama formülünden de bilindiği üzere çınlama süresini düşürmüştür. Yutuculuğun artması salon genelindeki erken düşme sürelerinin düşmesine neden olmuştur.

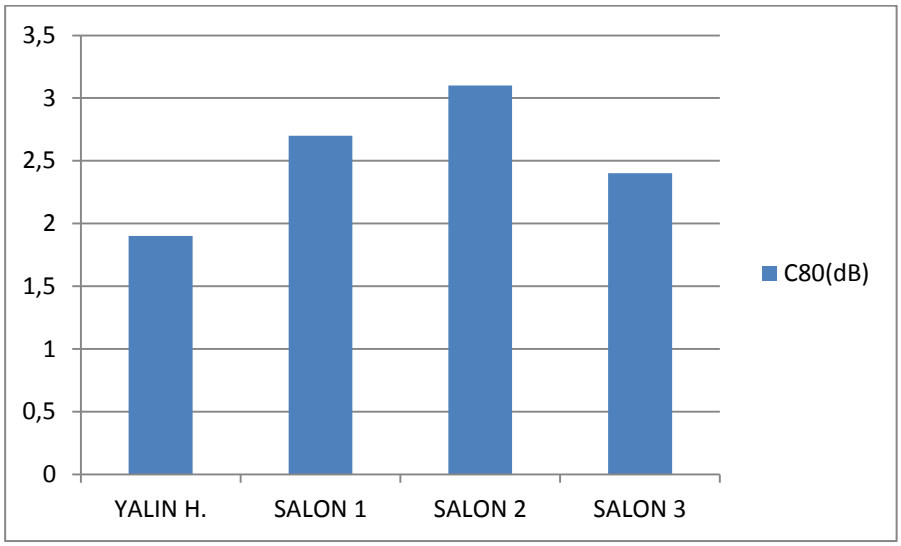
Salon 3'ün farkı teras oturumu ve teras duvarlarının varlığıdır. **Şekil 6.1** incelendiğinde salon 3'teki çınlama (1,45 s) ve erken düşme süresinin (1,46 s), salon 2'deki çınlama (1,3 s) ve erken düşme süresi (1,36 s) değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir ve oluşan bu farklar sübjektif limen değeri %5'ten daha fazladır. Yani salondaki bu değişim dinleyicinin algılayabileceği düzeydedir. Bunun nedeni **bölüm 5.2.3.1**'de analiz edildiği gibi ana salon bölümlerinin teras olarak yükseltilmesiyle zemin eğiminde düşmenin olmasıdır. Teraslardaki seyircilerin kapladıkları yüzey alanları azalmıştır. Bunun sonucunda da salon genelindeki toplam yutuculuk miktarında azalma gerçekleşmiştir. Dolayısıyla salondaki enerji miktarı ile beraber çınlama ve erken düşme süreleri de artmıştır. Salon 3 değerlerinin salon 1 değerlerinden düşük olmasının nedeni yine seyircilerin kapladığı alandır. Salon 3 genelindeki zemin eğimi salon 1'den yüksektir ve bu da yutuculuk miktarı ile yansıma yolunu artırmıştır. Dolayısıyla, EDT ve T30 değerleri salon 1'e göre daha düşüktür.

Yapılan değerlendirmelerden yola çıkılarak salona uygulanan akustik malzemelerin, bu malzemelerin yutuculuk katsayılarının, kapladıkları yüzey alanının çınlama ve erken düşme süresi üzerinde belirgin bir etkisi olduğu sonucuna varılabilir. Tasarım aşamasında yapı elemanlarının yüzey alanları ve malzemeleri, çınlama süresi ayarlamalarının yapılmasında kullanılacak birinci basamaktır denebilir. Bu

malzemelerin uygulandıkları yüzey alanı ve yutuculuk katsayıları yardımıyla salonda istenen çınlama süresinin hesabı yapılabilmektedir. Arka duvardan gelen yansımaların orta ve ön sıra alıcılarında odaklanma yaparak eko kusuruna neden olması arka duvarda verilen 0,3 saçıcılık katsayısının yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmanın devamında, **bölüm 6.8**'de, arka duvar yüzeyi malzemelerinin saçıcılık katsayısı değeri daha büyük seçilerek eko durumları tekrar irdelenmiştir.

6.2 Netlik (C_{80})

Bölüm 5.2.1.2, **bölüm 5.2.2.2** ve **bölüm 5.2.3.2**'de salon 1, salon 1 yalın hali, salon 2 ve salon 3 için C_{80} değerlerinin salon genelinde ve alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerinde ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalarında enerji diyagramları ve karşılaştırma grafiklerinden yararlanılmıştır. Netlik parametresi C_{80} için verilen sübjektif limen değerinin 0,5 dB olduğu literatür verilerinde elde edilmiştir [6]. Elde edilen sonuçlar bu grafikler ve enerji diyagramlarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. **Şekil 6.2**'de bahsedilen salonlar için C_{80} parametresinin 1000 Hz'deki ortalama değerlerinin olduğu grafik verilmiştir.



Şekil 6.2 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama C_{80} değerleri.

Salon 1' in yalın hali (1,9 dB) ve akustik kontrol uygulanmış hali (2,7 dB) arasındaki C_{80} değerleri farkının sübjektif limen değerinden (0,5 dB' den) fazla olduğu görülmektedir. Yani, C_{80} değerleri arasında oluşan değişim fark edilebilir düzeydedir. Dolayısıyla, uygulanan malzemelerin bu parametre üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu sonucuna varılabilir. Uygulama malzemeleri ile salon genelindeki yutuculuk

miktarı artmış ve bu da salondaki toplam enerji miktarını düşürmüştür. Salonda çınlayan özelliğin azalması netlik değerinin artışı ile sonuçlanmıştır.

Şekil 5.28, **Şekil 5.78** ve **Şekil 5.134**'da salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki C_{80} değerlerini gösteren grafikler incelendiğinde salonda ön sıradan arka sıralara doğru gidildikçe C_{80} değerlerinin artışı görülmektedir. Bunun nedeni, arkada yer alan alıcıların arka duvara daha yakın olması, arka duvardan aldıkları yansımaların yolunun kısalmasıdır. Dolayısıyla, arka duvardan ulaşan erken enerji miktarı arka sıra alıcılarında daha fazladır. **Şekil 5.18**, **Şekil 5.19**, **Şekil 5.63**, **Şekil 5.64**, **Şekil 5.119** ve **Şekil 5.120**'de salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen noktasal ışın analizlerinden de görüldüğü üzere tavandan gelen yansımalarda herhangi bir odaklanmanın olmadığı, sesin homojen dağıldığı görülmektedir. Ancak arka duvardan yansıyan ışınların salonun ortasına dönüp toplandığı, yani, odaklandığı söylenebilir. Bu durum arka duvarların içbükey olmasının bir sonucudur ve sahneye yakın alıcı noktalarındaki geç enerji fazlalığını açıklamaktadır. Dolayısıyla, sahneye yakın alıcılarda çınlayan enerji daha yüksektir. Bu da buralardaki C_{80} değerlerinin düşmesine neden olur. Dolayısıyla bu alıcılarda geç enerjinin artması ile çınlayan özellik artar, müzik için tonun tokluğu hissinde artış olur. Konuşma içinse anlaşılırlık değerlerinde düşüşle sonuçlanır.

Salon 2'nin tasarım değişkeni zemin eğimidir. Salon 2'deki eğim salon 1'den daha fazladır. **Şekil 6.2** incelendiğinde salon 2 C_{80} değerinin (3,1 dB), salon 1'den (2,7 dB) yüksek olduğu görülmektedir. Oluşan bu fark sübjektif limen değeri olan 0,5 dB'e yakın bir değerdir, yani bu değişim göz ardı edilebilecek kadar az bir değişim değildir. **Şekil 5.76**'da salon 1 ve salon 2'de alıcıların C_{80} değerlerinin karşılaştırmasının grafik verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde salonun orta ve arka kısımlarında yer alan alıcıların genelinin değerlerinde artış, salonun ön bölümünde yer alan alıcıların değerlerinde düşüş görülmektedir. Zemin eğiminin artması koltuk yutumunu (seat dip attenuation) azaltmıştır. Bu durum salonun orta ve arka bölümlerindeki alıcılara ilk 80 ms içinde ulaşan enerji miktarlarını artırmıştır. **Şekil 5.73** ve **Şekil 5.76**'da verilen alıcı 2 ve alıcı 24 için salon 1 ve salon 2'deki enerji diyagramları karşılaştırmasından alıcılara ulaşan enerji miktarındaki artış görülmektedir. Zemin eğiminin artması arka duvardan yansıyan ışınlar için salon ortasına dönerken izledikleri yansıma yolunu uzatmıştır. Dolayısıyla, sahneye yakın alıcı noktalarındaki geç enerji miktarı artmış, C_{80} değerleri daha düşük olmuştur.

Şekil 5.74'te alıcı için salon 1 ve salon 2'deki enerji diyagramı karşılaştırmasında alıcıya 80.ms'den sonra ulaşan enerjinin artışı görülmektedir. Netlik parametresi ilk 80 ms içindeki enerjinin 80.ms'den sonra ulaşan enerjiye oranıdır. Dolayısıyla, 80.ms'den sonra olan enerji artış gösterdiği için buradaki alıcılarda netlik değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.

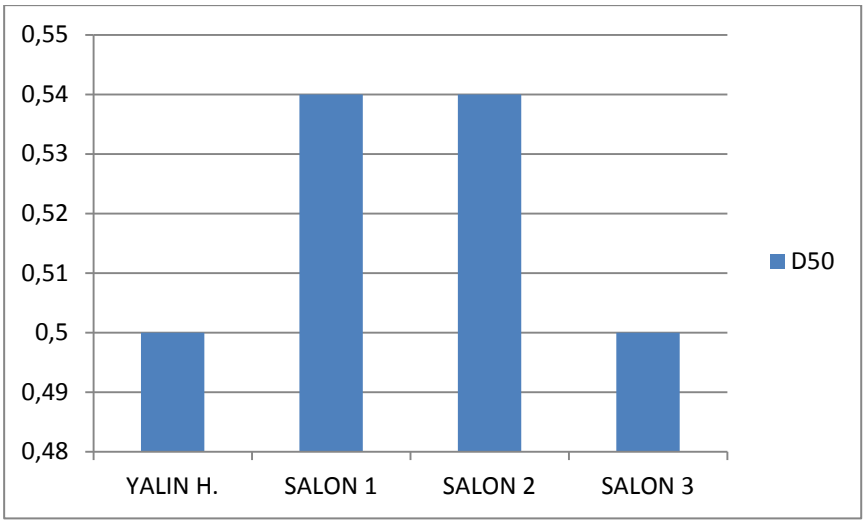
Salon 3'ün tasarım değişkeni teras oturumları ve teras duvarlarıdır. **Şekil 6.2**'den salon 3 netlik (C_{80}) değerinin (2,4 dB), salon 1 (2,7 dB) ve salon 2'den (3,1 dB) daha düşük olduğu görülmektedir. Bu veriden yola çıkılarak salon 3'ün salon 1 ve salon 2'den daha çınlayan bir özelliğe sahip olduğu sonucuna varılabilir. Özellikle salon 2 ile arasındaki oluşan fark salon içinde algılanabilir düzeydedir. 0,5 dB olan sübjektif limen değerinden fazladır. Netlik parametresi çınlama süresi ile ilişkilidir. Çınlama süresi uzadıkça netlik değerleri düşmektedir. **Şekil 5.139**'da salon 2 ve salon 3'ün C_{80} değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz' deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Grafiğin geneline bakıldığında salonun orta ve arka bölümlerinde yer alan alıcılarda C_{80} değeri düşüş gösterirken, salonun ön sırasında yer alan alıcı noktalarında ise bu değerdeki farklılık alıcının konumuna bağlı olarak artış veya azalış göstermiştir. Terasların oluşumu ile seyircilerin kapladığı yüzey alanında düşüş olmuştur. Bu da salondaki toplam yutuculuğun azalıp çınlama süresini artırması ile sonuçlanmıştır. Orta ve arka sırada yer alan alıcıların C_{80} değerlerinin düşüşü salonun genel olarak çınlama değerinin artmasına bağlanabilir. Teras oturumlarında yer alan orta ve arka sıra alıcılarının C_{80} değerleri, ana salon oturumunda yer alan orta ve arka sıra alıcılarının değerlerinden düşüktür. Bunun nedeni teras bölümünde azalan eğimle beraber koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artması ve alıcılara ulaşan erken enerjinin düşmesidir. **Şekil 5.140**'ta ön sıra alıcılarının salon 2 ve salon 3'te aldıkları C_{80} değerlerinin karşılaştırma grafiği yer almaktadır. Alıcılardaki değer değişimlerinin konumlarına bağlı olarak çeşitlilik gösterdiği görülmektedir. Terastaki alıcıların tamamında C_{80} değerleri artış göstermiştir. Bunun nedeni terasın yükselmesi ile alıcıların da yükselmesi ve arka duvardan gelen gecikmiş yansımaların yolunun kısalmasıdır. Bu durum bu alıcılardaki geciken enerjinin azalması, C_{80} değerlerinin artması ile sonuçlanmıştır. Ana salon orta aksta yer alan alıcı 1 ve alıcı 13'te netlik değerleri düşmüş, teras duvarına yakın aksta yer alan alıcı 7 ve alıcı 19'da netlik değerleri artmıştır. Salonda toplam yutuculuk miktarının azalması çınlama süresini artırmış, salona daha fazla

çınlayan bir özellik katmıştır. Salon genelinde alıcılarda yaşanan C_{80} değeri düşüşü buna bağlanabilir. Ayrıca, alıcı 1 ve 13'e ulaşan toplam enerji teras duvarlarının ses yayılımını engellemesiyle düşmüştür. Erken enerjinin düşüşü C_{80} değerlerini düşürmüştür. **Şekil 5.131**'de alıcı 19 için salon 2 ve salon 3'teki enerji diyagramları karşılaştırması verilmiştir. Alıcıya ulaşan geç enerji yoğunluğu azaldığı için C_{80} değerleri artmıştır. Bunun nedeni teras duvarlarının ulaşan enerji miktarını düşürmesidir.

Yapılan değerlendirmelerden ve karşılaştırmalardan yola çıkılarak içbükey duvarların odaklanmaya neden olduğu sonucuna varılabilir. Duvarların odaklanma riskini düşürmek amacıyla duvar yüzeyinde saçıcı veya yutucu malzemeler kullanılmalıdır. Salon 1 ve salon 2 değerlendirmelerinden yola çıkılarak zemin eğiminin alıcılara ilk 80 ms'de ve 80.ms'den sonra ulaşan enerji miktarını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılabilir. Eğime bağlı olarak koltuk yutumu (seat dip attenuation) değişmektedir. Eğim arttıkça koltuk yutumu azalmakta ve alıcılara ulaşan enerji miktarı artmaktadır. Teras duvarının ise salon 3'teki gibi konumlandırılması salon içindeki enerji dolaşımını engellemiştir denebilir. Alıcıların aldığı enerji miktarının düşüşünde teras duvarlarının etkisi büyüktür. Tasarım aşamasında terasların salon 3'te kullanıldığı gibi kullanılmaması önerilebilir. Kullanılması durumunda ise salon içindeki enerji miktarına katkı sağlayacak olan tavan panellerinden yararlanılabilir.

6.3 Belirginlik (D_{50})

Bölüm 5.2.1.3, **bölüm 5.2.2.3** ve **bölüm 5.2.3.3**'te salon 1, salon 1 yalın hali, salon 2 ve salon 3 için D_{50} değerlerinin salon genelinde ve alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerinde ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalarında enerji diyagramları ve karşılaştırma grafiklerinden yararlanılmıştır. Belirginlik parametresi D_{50}'nin % 50'den daha fazla olması önerilir ve 0,3 - 0,7 arasında bir değer alması uygundur [22]. Elde edilen sonuçlar bu grafikler ve enerji diyagramlarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. **Şekil 6.3**'te bahsedilen salonlar için D_{50} parametresinin 1000 Hz'deki ortalama değerlerinin olduğu grafik verilmiştir.



Şekil 6.3 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama D_{50} değerleri.

Salon 1'in yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki D_{50} farkı **Şekil 6.3**'te görülmektedir. Salonda arka duvar, koridor, tavan ve sahnede uygulanan malzemeler salon genelindeki yutuculuk miktarını artırmıştır. Bu da salondaki çınlama süresinin düşüşü ile sonuçlanmıştır. D_{50} değerlerindeki artış çınlama süresinin düşerek konuşma anlaşılırlığına katkı sağlamasına bağlanabilir.

Şekil 5.33, **Şekil 5.84** ve **Şekil 5.144**'te salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki D_{50} değerlerini gösteren grafikler incelendiğinde sahne önünden salonun arkasına doğru gidildikçe değerlerde artış olduğu görülmektedir. Salonların arka sıralarında yer alan alıcıların konuşma anlaşılırlıklarının daha yüksek olmasının nedeni ilk 50 ms içindeki enerji miktarının tavan ve arka duvardan gelen yansımalar sayesinde artmasıdır. **Şekil 5.19**, **Şekil 5.64** ve **Şekil 5.120**'de salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen noktasal ışın analizlerinden de görüldüğü gibi ilerleyen ms'lerde gerçekleşen arka duvar yansımalarının salonların ortasında odaklandığı söylenebilir. Bu durum arka duvarların içbükey olmasının bir sonucudur. Dolayısıyla, sahneye yakın alıcı noktalarındaki geç enerji miktarının artışı; konuşma anlaşılırlığı parametresinin tanımında geçen, alıcıya ilk 50 ms içinde ulaşan enerji ve alıcıya ulaşan toplam enerji miktarlarının birbirine olan oranını düşürmektedir. Yani, sahne önünde yer alan alıcılardaki konuşma anlaşılırlıkları daha düşüktür.

Salon 2'nin tasarım değişkeni zemin eğimidir. Salon 2'nin zemin eğimi salon 1'den daha fazladır. **Şekil 6.3** incelendiğinde salon 2 D_{50} değerleri ile salon 1 D_{50} değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Salon 2'de de en yüksek D_{50} değerlerinin salonun arka bölümünde elde edildiği **Şekil 5.85**'te salon 2 için verilen 1000 Hz'de

D_{50} grid analizinden görülmektedir. Arka sıra alıcılarının değerleri salondaki en yüksek değerlerdir. Bunun nedeni arka duvardan aldıkları enerjinin daha yüksek olmasıdır. Zemin eğiminin artışı ile koltuk yutumu (seat dip attenuation) düşmüş, alıcılara ulaşan erken enerjide ve toplam enerjide artış yaşanmıştır. Alıcı 7 ve alıcı 24'teki D_{50} değerlerinin artışı bu enerjiler arasındaki oranın artmasının bir sonucudur. Alıcı 2'de de **Şekil 5.73**'te verilen salon 1 ve salon 2 enerji diyagramı karşılaştırmasından görüldüğü gibi ilk 50 ms'de ulaşan erken enerji ve toplam enerjide artış olmuştur. Ancak koltuk yutumunun (seat dip attenuation) azalması ile alıcıya ulaşan toplam enerjinin artışının daha fazla olması erken enerji ve toplam enerji arasındaki oranı düşürmüştür. Bu da konuşma anlaşılırlığının salonun orta sıralarında düşmesiyle sonuçlanmıştır. Dolayısıyla, salonda ön ve arka sırada yer alan alıcıların değerlerinin artışı ile orta sırada yer alan alıcıların değerlerinin düşüşü birbirini dengelemiştir. Sonuçta, salon 1 ve salon 2'deki ortalama konuşma anlaşılırlıkları birbirinden farklı olmamıştır.

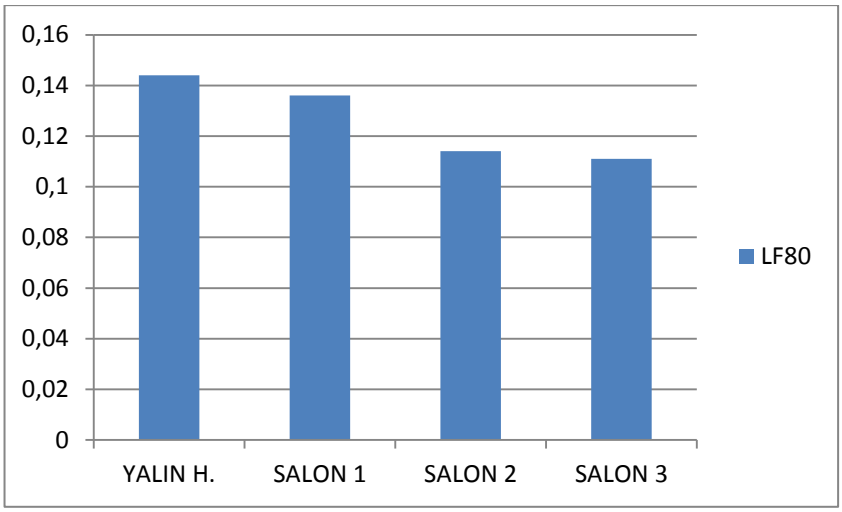
Salon 3'ün tasarım değişkeni teras oturumları ve teras duvarlarıdır. **Şekil 6.3**'ten salon 3 belirginlik değerinin salon 1 ve salon 2'den düşük olduğu görülmektedir. **Şekil 5.149** ve **Şekil 5.150**'de salon 3 alıcılarının ana salon oturumunda ve teras oturumunda yer almalarına göre iki ayrı grafik olarak salon 2'deki D_{50} değerleri ile karşılaştırmaları verilmiştir. **Şekil 5.149** incelendiğinde arka sırada ve orta aks ön sırada yer alan alıcıların D_{50} değerlerinin düştüğü görülür. **Şekil 5.141**'de alıcı 1 için verilen enerji diyagramı karşılaştırması incelendiğinde sahne önünde yer alan bu alıcı için ilk 50 ms içinde ulaşan enerjinin düştüğü görülmektedir. Teras duvarları alıcıların karşı yüzeylerden aldığı yansımaların miktarını düşürmüştür. Bu da D_{50} değerlerinin az da olsa düşmesine sebep olmuştur. Teras duvarına yakın alıcıların ön sırasında yer alan alıcı 7 ve 19'da belirginlik parametresi değerleri artış göstermiştir. **Şekil 5.131**'de alıcı 19'un salon 2 ve salon 3 enerji diyagramı karşılaştırması incelendiğinde alıcı 19'a ilk 50 ms içinde ulaşan enerjinin arttığı görülür. Dolayısıyla bu noktalardaki belirginlik değeri daha yüksektir. **Şekil 5.150**'deki grafik incelendiğinde salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te terasta yer alan bu alıcıların tamamında D_{50} değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise terasta yer alan bu alıcıların kaynaktan uzaklaşarak ilk 50 ms içinde aldıkları erken enerji miktarının düşmesi ve zemin eğiminin düşmesi ile beraber koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artmasıdır. Salonda teras duvarların varlığı ile alıcılara ulaşan erken

ışınlardaki düşüş ve terasta yer alan alıcılarda kaynaktan uzaklaşma nedeniyle alınan erken ışınlardaki düşüş salon genelinde de D_{50} değerlerini düşürmüştür. Özellikle teras oturma alanındaki eğimin azalmasıyla koltuk yutumunun (seat dip attenuation) artışı buralardaki alıcılara ulaşan enerjinin düşmesine de sebep olmuştur.

Yapılan değerlendirmelerden ve karşılaştırmalardan yola çıkılarak zemin eğiminin salon 1 ve salon 2 için bu parametre bağlamında ortalama salon değerlerinde bir fark oluşturmadığı sonucuna varılabilir. Ancak alıcı noktaları bazında incelendiğinde zemin eğimi artışı ile azalan koltuk yutumunun (seat dip attenuation) bir sonucu olarak alıcılara ulaşan enerji miktarlarında artış olduğu görülür. Salon 3'teki gibi konumlandırılan teras oturumlarının ve duvarlarının ise salon içindeki enerji iletimine engel oluşturduğu sonucuna varılabilir. Teraslardaki eğimin düşmesi ile koltuk yutumu (seat dip attenuation) artmış ve buralarda yer alan alıcıların enerjilerinde buna bağlı olarak düşüş gerçekleşmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda tasarım aşamasında terasların salon 3'te kullanıldığı gibi kullanılması önerilmemektedir. Kullanılması durumunda alıcılardaki erken enerji miktarına katkı sağlayacak olan tavan panellerinden yararlanılabilir.

6.4 Yanal Yansımalar (LF_{80})

Bölüm 5.2.1.4, **bölüm 5.2.2.4** ve **bölüm 5.2.3.4**'te salon 1, salon 1 yalın hali, salon 2 ve salon 3 için LF_{80} değerlerinin salon genelinde ve alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerinde ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalarında enerji diyagramları ve karşılaştırma grafiklerinden yararlanılmıştır. Yanal yansıma oranı parametresi LF_{80}'in 0,05 - 0,35 arasında bir değer alması uygundur [26]. Elde edilen sonuçlar bu grafikler ve enerji diyagramlarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. **Şekil 6.4**'te bahsedilen salonlar için LF_{80} parametresinin 1000 Hz'deki ortalama değerlerinin olduğu grafik verilmiştir.



Şekil 6.4 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama LF_{80} değerleri.

Salon 1 yalın hali (0,144) ve akustik kontrol uygulanmış halinin (0,136) yanal yansıma parametresi değerleri arasındaki fark çok fazla değildir. Ancak oluşan bir fark vardır ve bu farkın sebebi salona uygulanan malzemelerdir. Arka duvarda, tavanda, koridorda ve sahnede uygulanan akustik malzemeler salon genelindeki yutuculuğu artırmıştır. Bu da salondaki enerjinin düşmesiyle sonuçlanmıştır. Salon genelinde azalan enerji LF_{80} değerlerinin de düşmesine sebep olmuştur.

Şekil 5.38, **Şekil 5.90** ve **Şekil 5.153**'te salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki LF_{80} değerlerini gösteren grafikler incelendiğinde sahne önünden salonun arka sıralarına doğru değerlerde artış olduğu görülmüştür. Salonlar arka sıralarda yer alan alıcıların yanal yansıma oranlarının yüksek olmasının nedeni arka duvarlardır. Salon içerisinde yanal yansıma açısından en faydalı yansımaları sağlayan yüzey arka duvardır ve arka duvara yaklaştıkça ilk 80 ms içinde alınan yanal yansıma miktarları artar. Dolayısıyla, LF_{80} değerleri artış gösterir. Arka sıra alıcılarının (örneğin alıcı 21, **Şekil 5.118**) enerji diyagramları incelendiğinde arka duvara yakın olmalarının sonucu olarak direkt ses ve ilk yansıma arasındaki sürenin, yani, ilk gecikme zaman aralığının (ITDG) daha kısa olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda, sübjektif bir parametre olan "samimiyet" salonun arka sıralarında daha fazla hissedilmektedir.

Salon 2'nin tasarım değişkeni zemin eğimidir. Salon 2'deki eğim salon 1'den daha fazladır. **Şekil 6.4** incelendiğinde salon 2'nin 1000 Hz'deki ortalama LF_{80} değerinin (0,114) salon 1'den (0,136) daha az olduğu görülmektedir. **Şekil 5.73**, **Şekil 5.74** ve **Şekil 5.76**'da alıcı 2, alıcı 7 ve alıcı 24 için verilen salon 1 ve salon 2'deki enerji

diyagramları karşılaştırmaları incelendiğinde alıcılara ilk 80 ms'de ulaşan ve toplam ulaşan enerjinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni zemin eğiminin artışıyla azalan koltuk yutumudur (seat dip attenuation). Bu karşılaştırmalarda verilen yansımaların geliş yönleri çizimleri (azimuth-elevation) incelendiğinde salonun ön ve orta bölümlerinde özellikle arka yüzeylerden gelen yansımaların artmasıyla ilk 80 ms içindeki yanal yansımaların miktarının arttığı söylenebilir. Ancak salon 2'nin 1000 Hz'de verilen ortalama LF_{80} değeri salon 1 değerinden daha düşüktür. Salon 2'de zemin eğiminin artması ile alıcılara ulaşan toplam enerjinin artışı, yanal yansımaların artışından daha fazladır. Dolayısıyla, ilk 80 ms içindeki yanal yansımaların bu ms içindeki toplam enerjiye oranında düşüş gerçekleşmiştir. Bu durum **Şekil 5.88**'de salon 1 ve salon 2'nin 1000 Hz'de alıcı noktalarında verilen LF_{80} değeri karşılaştırma grafiğinde görülmektedir.

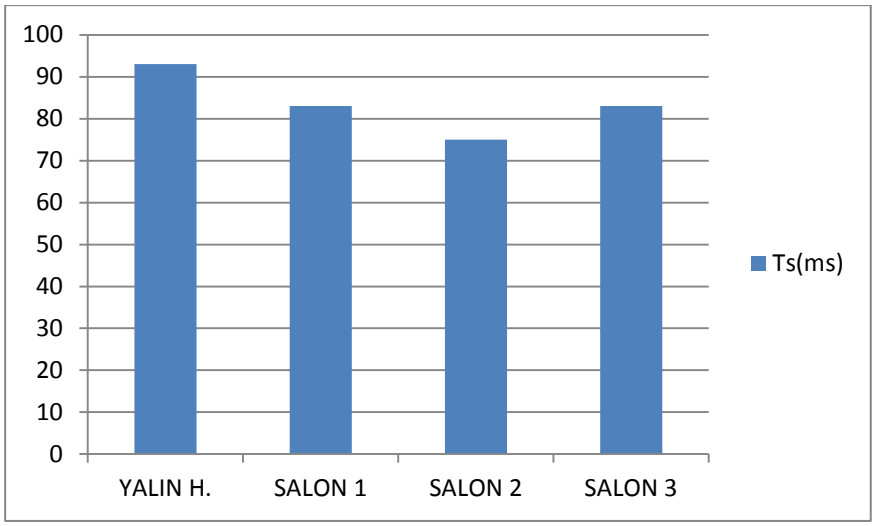
Salon 3'ün tasarım değişkeni teras oturumları ve teras duvarlarıdır. **Şekil 6.4** incelendiğinde salon 3 değerinin (0,111) salon 1'den (0,136) daha düşük, salon 2 (0,114) ile yaklaşık değere sahip olduğu görülmektedir. Salon 3'teki eğimin salon 1'den yüksek olması sebebiyle alıcılara ulaşan toplam enerjinin daha fazla artışı, ilk 80 ms'de ulaşan yanal yansıma ve ilk 80 ms'de ulaşan toplam enerjinin birbirine olan oranını düşürmüştür. Salon 3 ve salon 2 değerlerinin yaklaşık olmasından yola çıkılarak oluşturulan teras duvarlarının yanal yansımalara katkı sağlamadığı söylenebilir. **Şekil 5.158**'de salon 2 ve salon 3 ana salon oturumunda yer alan alıcılardaki LF_{80} değerleri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde teras duvarlarının yer aldığı salon 3'te LF_{80} değerlerinin alıcı noktalarının genelinde daha düşük olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkılarak teras duvarlarının yanal yansımalara katkı sağlamadığı söylenebilir. Duvarların bu şekilde biçimlenişi alıcılara ulaşan yansımaların yoğunluğunu artırmaktan ziyade düşürmüştür. **Şekil 5.159**'da salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te teras oturumlarında olan alıcılar için LF_{80} değerleri karşılaştırması verilmiştir. Grafik incelendiğinde değerlerde genel bir düşüş olduğu burada da görülmektedir. Terasta ön sırada yer alan alıcılar hem kaynaktan uzaklaşmaları, hem de teras duvarları ile çevrilmeleri sebebiyle en düşük değerlere sahiptir. Ayrıca teras duvarına daha yakın olan alıcılarda duvarın ışınların yolunu kesmesi sebebiyle LF_{80} değerleri düşmüştür. Eğimin azalıp koltuk yutumunun artmasıyla orta aks orta sırada yer alan alıcılara ilk 80 ms içinde ulaşan toplam enerji miktarlarındaki düşüş bu noktalardaki yanal yansıma oranlarında artışa sebep

olmuştur. Bu durum, bu konumda yer alan alıcı 11'in **Şekil 5.160**'ta verilen salon 2 ve salon 3 enerji diyagramı karşılaştırmasında görülmektedir.

Yapılan değerlendirmeler ve karşılaştırmalardan yola çıkılarak zemin eğiminin salon 1 ve salon 2'de, bu parametre bağlamında, alıcılara ulaşan toplam enerjiyi artırmasıyla LF_{80} yanal yansıma oranının düştüğü sonucuna varılabilir. Salon 3'teki teras oturumlarının ve teras duvarlarının salondaki enerji iletimine engel oluşturduğu ışın analizlerinden görülmektedir. Terastaki eğimin düşmesi ile koltuk yutumu (seat dip attenuation) artmış ve buralarda yer alan alıcıların enerjilerinde buna bağlı olarak düşüş gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda orta sıra orta aks alıcılarında LF_{80} artmıştır. Terastaki alıcıların, özellikle teras duvarına yakın olanlarında, teras duvarları ile çevrilmelerinden dolayı yanal yansıma miktarları da düşmüştür. Dolayısıyla, bu iki enerji arasındaki oran, yani, LF_{80} parametresi değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda tasarım aşamasında terasların salon 3'te kullanıldığı gibi kullanılması önerilmemektedir. Kullanılması durumunda ise alıcılardaki yanal yansımaları ve enerji miktarlarının artırılmasına katkı sağlayacak olan tavan panellerinden yararlanılabilir.

6.5 Merkez Zaman (T_s)

Bölüm 5.2.1.5, **bölüm 5.2.2.5** ve **bölüm 5.2.3.5**'te salon 1, salon 2 ve salon 3 için merkez zaman, T_s, parametresinin salon genelinde ve alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerinde ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalarında enerji diyagramları ve karşılaştırma grafiklerinden yararlanılmıştır. Merkez zaman için verilen sübjektif limen değerinin 10 ms olduğu literatür verilerinde elde edilmiştir [6]. Elde edilen sonuçlar bu grafikler ve enerji diyagramlarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. **Bölüm 4.1.13**'te anlatılanlardan yola çıkılarak C_{80} değerleri üzerinden T_s değerleri için yorum yapılabilir. Merkez zaman değerinin düşük olması erken ses enerjisinin fazla olduğunu göstermektedir ve bu değer düştükçe sesin netliği artar. Merkez zaman değerinin fazla olması ise geç enerjinin fazla olması demektir ve çınlama artmaktadır [22]. **Şekil 6.5**'te bahsedilen salonlar için 1000 Hz'deki ortalama merkez zaman, T_s, değerlerinin olduğu grafik verilmiştir.



Şekil 6.5 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama T_s değerleri.

Salon 1 yalın hali (93 ms) ve akustik kontrol uygulanmış hali (83 ms) arasındaki merkez zaman değeri farkının sübjektif limen değeri (10 ms) kadar olduğu analiz edilmiştir. Yani, oluşan değişim salon içinde fark edilebilir düzeydedir. Uygulanan malzemelerin bu parametre üzerinde fark edilir bir etkisinin olduğu sonucuna varılabilir. Salon 1 merkez zaman değeri, salonun yalın halinde elde edilen merkez zaman değerinden düşüktür. Uygulanan akustik malzemeler ile salon genelindeki yutuculuk miktarı artmıştır. Dolayısıyla, salonda çınlayan özellik azalmış, netlik değerleri artmıştır. Buradan yola çıkılarak merkez zaman değerlerinin düşüş gösterdiği söylenebilir.

Şekil 5.43, **Şekil 5.96** ve **Şekil 5.163**'te salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki T_s değerlerini gösteren grafikler incelendiğinde sahne önünden salonun arkasına doğru gidildikçe değerlerde düşüş olduğu görülmektedir. T_s değerinin düşmesi, netlik değerlerinin artması demektir. Salonun arkasındaki alıcılar arka duvara daha yakın oldukları için duvardan aldıkları erken enerji (ilk 50 ms içinde aldıkları enerji) sahne önündeki alıcılara göre daha fazladır. Bu da netlik değerlerinin artışı, merkez zaman değerlerinin düşüşü ile sonuçlanmıştır. **Şekil 5.19**, **Şekil 5.64** ve **Şekil 5.120**'de salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen noktasal ışın analizleri incelendiğinde arka duvardan yansıyan ışınların salonun ortasında odaklandığı görülmektedir. Dolayısıyla, salonun ortasında sahneye yakın alıcılarda geç enerji daha fazladır. Bu da merkez zaman, T_s, değerlerinin bu alıcılarda artışı ile sonuçlanmıştır.

Salon 2'nin tasarım değişkeni zemin eğimidir. Salon 2'deki eğim salon 1'den daha fazladır. **Şekil 6.5** incelendiğinde salon 2 ortalama T_s değerinin (75 ms), salon 1 ortalama T_s değerinden (83 ms) düşük olduğu görülmektedir. Oluşan fark sübjektif limen değeri (10 ms) içinde kalmaktadır. Dolayısıyla salon içinde bu fark belirgin bir şekilde algılanmaz. **Şekil 5.98** ve **Şekil 5.99**'da tüm alıcılar ve kritik alıcılar için salon 1 ve salon 2 1000 Hz'de T_s değerleri karşılaştırması grafikleri incelendiğinde de salon 2 alıcılarındaki düşüş görülmektedir. Zemin eğiminin artışıyla koltuk yutumu (seat dip atenuation) azalmıştır. Bu da alıcıların, **Şekil 5.73**, **Şekil 5.74** ve **Şekil 5.76**'da verilen enerji diyagramları karşılaştırmalarında görüldüğü gibi, ilk 50 ms içinde aldıkları enerji miktarını artırmıştır. Buna bağlı olarak erken enerjinin artışı ile merkez zaman, T_s, değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.

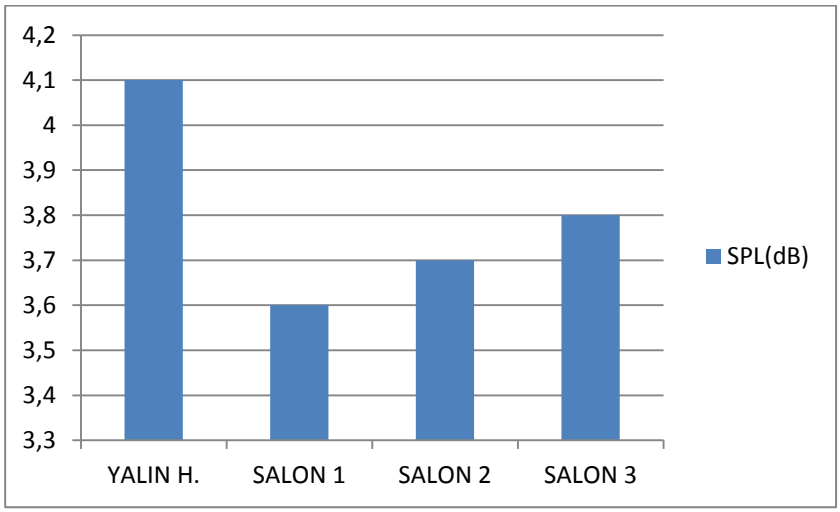
Salon 3'ün tasarım değişkeni teras oturumları ve teras duvarlarıdır. **Şekil 6.5** incelendiğinde salon 3 ortalama merkez zaman, T_s, değerinin (83 ms), salon 2'den (75 ms) yüksek, salon 1 (83 ms) ile aynı olduğu görülmektedir. **Şekil 5.167**'de salon 3 ve salon 2'nin T_s değerlerinin alıcı noktaları bazında 1000 Hz'deki değerlendirme grafiği yer almaktadır. Salon 3'teki alıcıların değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Salonda terasların oluşturulması ile seyircinin kapladığı alan azalmış ve salon genelindeki yutuculuk düşmüştür. Bunun sonucunda da Sabine çınlama formülünden ileri gelerek çınlama süresinde artış yaşanmıştır. Çınlamanın artışı netlik değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Yani geç enerji erken enerjiden fazladır. Bu durumda merkez zaman, T_s, değerleri yükselmiştir. Salonda sadece alıcı 7 ve alıcı 19'da düşüş gözlenir. Alıcı 7 ve 19'da merkez zaman süresinin düşmesinin nedeni bu alıcılara ulaşan erken enerjinin sahne üzerinden yansıyarak gelen ışın sayesinde artmasından kaynaklanmaktadır. **Şekil 5.115**'te alıcı 19 için verilen enerji diyagramı, ışın ve kulaklarda SPL analizi grafiği incelendiğinde görülmektedir.

Yapılan değerlendirmeler ve karşılaştırmalardan yola çıkılarak zemin eğimi artışının alıcılara ulaşan toplam ve erken enerji miktarını artırdığı sonucuna varılabilir. Erken enerjinin artması ile alıcılardaki netlik değerleri artış göstermiştir. Netlik değerleri ile ters orantılı olan merkez zaman değerleri ise düşmüştür. Salon 3'teki teraslar salon içindeki enerji iletimini düşürmüştür. Tasarım aşamasında teras oturumlarının salon 3'teki gibi kullanılmaması önerilebilir. Dinleyicilerin kapladığı alanın azalması yutuculuğu düşürmüş, Sabine formülünden ileri gelerek de bu durum çınlama süresinin artışı ile sonuçlanmıştır. Çınlama süresinin artması ise, salondaki geç enerji

miktarının erken enerjiden fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum alıcıların enerji diyagramlarında da görülmektedir.

6.6 Ses Yüksekliği (G, SPL)

Bölüm 5.2.1.6, **bölüm 5.2.2.6** ve **bölüm 5.2.3.6**'da salon 1, salon 2 ve salon 3 için ses yüksekliği, G (SPL), parametresinin salon genelinde ve alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerinde ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalarında enerji diyagramları ve karşılaştırma grafiklerinden yararlanılmıştır. Ses yüksekliği için verilen sübjektif limen değerinin 1 dB olduğu literatür verilerinde elde edilmiştir [27]. Elde edilen sonuçlar bu grafikler ve enerji diyagramlarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. **Şekil 6.6**'da bahsedilen salonlar için 1000 Hz'deki ortalama G (SPL) değerlerinin olduğu grafik verilmiştir.



Şekil 6.6 : Salonların 1000 Hz'deki ortalama G (SPL) değerleri.

Salon 1'in yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki ses yüksekliği arasındaki farkın sübjektif limen sınırları içinde kaldığı görülmektedir. Yani fark 1 dB ve üzerinde olmadığı müddetçe seyirci tarafından çok belirgin bir şekilde fark edilmeyecektir. Ancak oluşan farklar beli sebeplere dayanmaktadır. Salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki farkın sebebi salona uygulanan akustik malzemelerdir. Arka duvarda, tavanda, koridor zeminlerinde ve sahnede uygulanan akustik malzemeler salon genelindeki yutuculuğu artırmıştır. Dolayısıyla salondaki ses yüksekliği düşmüştür.

Şekil 5.48, **Şekil 5.102** ve **Şekil 5.172**'de salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen 1000 Hz'de alıcı noktalarındaki G değerlerini gösteren grafikler incelendiğinde sahne

önünden salonun arkasına doğru değerlerde düşüş olduğu görülmüştür. Salonların arka sıralarında yer alan alıcıların ses yüksekliklerinin daha düşük olmasının nedeni alıcı-kaynak mesafesidir. Mesafenin artışı ile arka sıralara doğru ses yüksekliği düşmektedir.

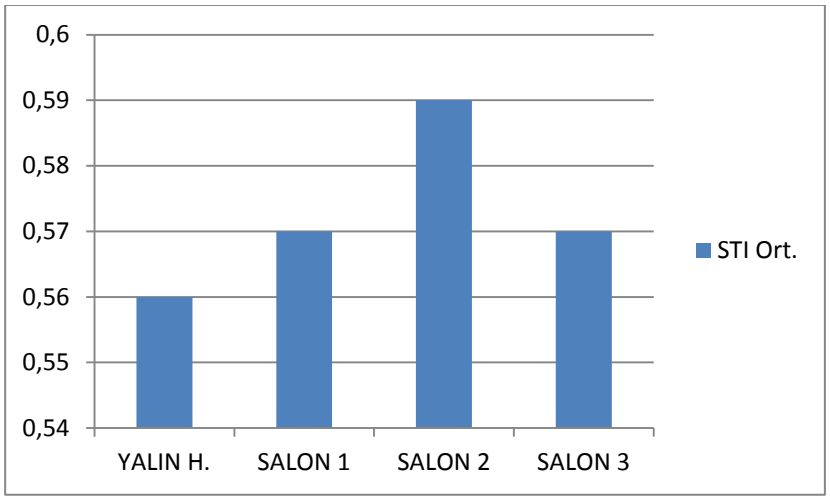
Salon 2'nin tasarım değişkeni zemin eğimidir. Salon 2'deki eğim salon 1'den daha fazladır, oluşan fark sübjektif limen aralığındadır. Ancak oluşan bu fark belli sebeplere dayanmaktadır. Salon 2'nin ortalama G değerlerinin salon 1'den yüksek olduğu **Şekil 6.6**'da görülür. Çünkü artan eğim sesin seyirci üzerinden geçtiği zaman maruz kaldığı yutulma miktarını (koltuk yutumu, seat dip attenuation) düşürmüştür. Bu yutulmanın düşmesiyle salon 2'de özellikle arka ve orta sırada yer alan alıcıların G değerlerinin artışı **Şekil 5.104**'te salon 1 ve salon 2 değerlerinin alıcı noktalarındaki karşılaştırma grafiğinde görülmektedir. Sahne önündeki alıcılarda salon 2 G (SPL) değerlerinin salon 1 değerlerinden daha düşük olduğu görülür. Bu durumun nedeni sahne önünde yer alan alıcıların, salon 1'e nazaran ses ileten yüzeyler olan tavan ve arka duvarlardan en uzak alıcılar olmalarına bağlanabilir. Bu bağlamda, zemin eğiminin G (SPL) parametresini etkilediği sonucuna varılabilir. Bu sebeple, tasarım aşamasında koltuk yutumunun (seat dip attenuation) azaltılması amacıyla daha dik bir eğim tercih edilebilir, ön sıralardaki alıcılar için ise iletilen enerji miktarının artırılması yansıtıcı panel kullanımı ile sağlanabilir.

Salon 3' ün tasarım değişkeni teras oturumları ve teras duvarlarıdır. Salon 3 değerlerinin salon 1 ve salon 2'den daha yüksek olduğu görülmektedir, değişimler sübjektif limen değeri aralığındadır. Yani salonda belirgin bir şekilde fark edilmeyecektir. Ancak oluşan fark belli sebeplere dayanmaktadır. **Şekil 5.175** ve **Şekil 5.176**'da salon 3 ana salon ve teras alıcılarının salon 2'deki değerleri ile karşılaştırma grafikleri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde ana salon alıcıları ve teras ön sıra alıcılarında artış, teras orta ve arka sıra alıcılarında düşüş olduğu görülmüştür. Ana salondaki alıcıların değerlerinin artışının sebebi terasların yükseltilmesiyle salon genelindeki yutuculuğun düşmesine bağlanabilir. Terasta orta ve arka sırada yer alan alıcıların değerlerinin düşmesinin nedeni kaynak-alıcı mesafesinin artmasıyla beraber teras bölümünün eğiminin düşmesidir. Azalan eğim koltuk yutumunu (seat dip attenuation) artırmıştır. Yani, sesin seyirci üzerinden geçerken maruz kaldığı yutum artmış, dolayısıyla ses yüksekliği değerleri bu noktalarda düşmüştür. Buradan yola çıkarak tasarım aşamasında terasların eğiminin

artırılmasının bu yutulma miktarını düşüreceği sonucu çıkarılabilir. Ayrıca, terasta yer alan seyircilerin kaynakla olan mesafesinin artışının bu parametreyi olumsuz yönde etkilediği sonucuna da elde edilen veriler aracılığıyla varılabilir. Bu alıcılardaki ses yüksekliğinin artırılması buralara iletilen ses enerjisinin artırılmasıyla sağlanabilir. Yani, tasarımda bu bölgelere sesi iletecek ses yansıtıcı panellerden yararlanılabilir.

6.7 Konuşma İletim İndeksi (STI)

Bölüm 5.2.1.7, **bölüm 5.2.2.7** ve **bölüm 5.2.3.7**'de salon 1, salon 2 ve salon 3 için konuşma iletim indeksi, STI, parametresinin salon genelinde ve alıcı noktaları bazında yapılan değerlendirmelerinde ve birbirleri arasındaki karşılaştırmalarında enerji diyagramları ve karşılaştırma grafiklerinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu grafikler ve enerji diyagramlarının incelenmesiyle oluşturulmuştur. Konuşma iletim indeksi parametresi STI'nın değerleri 0-1 arasındadır. STI parametresi için 0.45-0.60 arası orta derece, 0.60'tan büyük değerler iyi derece, 0.75-1 arasındaki değerler mükemmel derece kabul edilmektedir [6, 27]. Yüksek değerler daha iyi konuşma anlaşılırlığı anlamındadır. Kaynaktan çıkan ses düzeyi, yansımaların yön ve şiddeti, çınlama süresi ve sesin maskelenmesi, arka plan gürültü seviyesi ve eko; STI parametresini etkiler [6]. **Şekil 6.7**'de bahsedilen salonlar için ortalama STI değerlerinin olduğu grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde salonların genelindeki konuşma iletiminin orta derecede iyi olduğu söylenebilir. Ancak istenen değer 0.6'dan daha düşük oldukları görülmektedir. Buradan yola çıkılarak salonlardaki konuşma iletimlerinin yetersiz kaldığı söylenebilir.



Şekil 6.7 : Salonların ortalama STI değerleri.

Salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali arasındaki STI farkı **Şekil 6.7**'de görülmektedir. **Şekil 5.55**'te salon 1 ve yalın halinin alıcılardaki STI değerleri karşılaştırma grafiği incelendiğinde salon 1 yalın hali ve akustik kontrol uygulanmış hali değerlerinin birbirine çok yakın oldukları görülmektedir. Ancak salon 1'in değerleri az bir farkla fazladır. Oluşan bu farkın nedeni, salona akustik kontrol amacıyla uygulanan malzemeler sayesinde salondaki yansıtıcılık, saçıcılık ve yutuculukların salon içinde doğru yapı elemanlarında konumlanmasına bağlanabilir.

Şekil 5.53, **Şekil 5.108** ve **Şekil 5.179**'da salon 1, salon 2 ve salon 3 için verilen alıcı noktalarındaki ortalama STI değerlerini gösteren grafikler incelendiğinde sahnenin önünden salonun arkasına doğru değerlerde artış olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi salonun arkasında yer alan alıcı noktalarına tavan ve arka duvardan iletilen ses yansımalarına bağlanabilir. Sahneye yakın alıcılar, sesi ileten yüzeylere (tavan ve arka duvar) en uzak alıcılar oldukları için iletim indeksi değerleri de en düşüktür.

Salon 2'nin tasarım değişkeni zemin eğimidir. Salon 2'deki eğim salon 1'den daha fazladır. **Şekil 6.7** incelendiğinde salon 2 STI değerinin, salon 1 STI değerinden fazla olduğu görülmektedir. Zemin eğiminin artışı ile koltuk yutumu (seat dip attenuation) düşmüş, alıcılara ulaşan erken enerji ve toplam enerjide artış yaşanmıştır. **Şekil 5.73**, **Şekil 5.74**, **Şekil 5.75** ve **Şekil 5.76**'da alıcı 2, alıcı 7, alıcı 15 ve alıcı 24 için verilen salon 1 ve salon 2'deki enerji diyagramı karşılaştırmasında artan ışın/enerji miktarı görülmektedir. Bunun sonucunda salon 2'deki STI değerleri artış göstermiştir.

Salon 3'ün tasarım değişkeni teras oturumları ve teras duvarlarıdır. **Şekil 6.7**'den salon 3 konuşma iletim indeksi değerinin salon 2'den düşük, salon 1 ile aynı olduğu görülmektedir. Salon 3'teki eğim salon 1'dekinden yüksek olmasına rağmen iki salondaki konuşma iletim indeksi değeri aynıdır. Çünkü salon 3'teki teras oturumlarının duvarları yansımaların iletimine katkı sağlamak yerine salon içindeki enerji iletimine engel olmaktadır. Ayrıca teraslardaki azalan eğimin koltuk yutumunu (seat dip attenuation) artırması ile terastaki alıcılardaki enerji iletiminde düşüş gerçekleşmiştir. Bunların sonucunda da konuşma iletim indeksi değerleri düşmüş ve salon 1 ile denk hale gelmiştir. Salon 3 değerlerinin salon 2'den daha düşük olmasının sebebi terasların salon içindeki enerji iletimine engel olmasıdır. Bu durum, **Şekil 5.129**, **Şekil 5.130**, **Şekil 5.131** ve **Şekil 5.132**'de alıcı 4, alıcı 12, alıcı 19 ve alıcı 21 için salon 2 ve salon 3'teki enerji diyagramları karşılaştırmasından görülmektedir. **Şekil 5.184** ve **Şekil 5.185**'te salon 3 alıcılarının ana salon

oturumunda ve teras oturumunda yer almalarına göre iki ayrı grafik olarak salon 2'deki STI değerleri ile karşılaştırmaları verilmiştir. **Şekil 5.184** incelendiğinde salon 3 ana salon oturumlarındaki alıcılardaki konuşma iletim indeksi değerlerinin geneline bakıldığında salon 2'den daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni terasların yükseltilmesiyle oluşan teras duvarlarının ses iletimine engel oluşturmasına bağlanabilir. Alıcı 7 ve alıcı 19 değerlerinin salon 2'den yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, direkt sesten sonra sahneden yansıyarak gelen ses ışınının iletim indeksini artırmasıdır. Bu durum **Şekil 5.115**'te alıcı 19 için salon 3'teki enerji diyagramı ve ışın analizinde görülmektedir. **Şekil 5.185**'te salon 2'de ana salonda yer alıp salon 3'te teras oturumlarında olan alıcılar için konuşma iletim indeksi değerlerinin karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde teras oturumunda yer alan alıcıların tamamının salon 3 değerlerinin, salon 2 değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Terasların yükseltilmesiyle alıcılar kaynaktan uzaklaşmıştır ve direkt olarak kaynaktan ulaşan ses iletimi azalmıştır. Ayrıca terasın yükselmesi buradaki eğimin düşmesine neden olmuştur. Bu da sesin seyirci üzerinden geçtiği zamandaki yutulma miktarını artırmış (koltuk yutumu, "seat dip attenuation" artmış) ve alıcılara daha az iletim gerçekleşmesine neden olmuştur.

Yapılan değerlendirmelerden ve karşılaştırmalardan yola çıkılarak, salon 1 ve salon 2 değerlerinin karşılaştırmasında da görüldüğü gibi, artan zemin eğiminin alıcılara ulaşan ses enerjisini artırdığı sonucuna varılabilir. Ancak iki salondaki (salon 1 ve salon 2) STI ortalamalarının değerleri ele alındığında çok büyük bir farkın oluşmadığı, yani, eğim faktörünün STI parametresi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Arka sıra alıcılarının değerlerinin daha yüksek olmasının sebebinin arka duvar ve tavan yüzeylerinden gelen ışınlar olduğu göz önünde bulundurulduğunda, konuşma iletim indeksi parametresi bağlamında, yansımayı ileten yüzeylerin zemin eğiminden daha etkili olduğu sonucuna varılabilir. Terasların oluşumu ile iletim düşmüştür. Ayrıca terastaki eğimin düşmesi ile koltuk yutumu (seat dip attenuation) artmış ve alıcılara ulaşan enerji miktarları düşmüştür. Salon 3'teki terasların alıcıların enerjilerini düşürme etkisinin, ışın ve enerji diyagramları karşılaştırması ile incelenmesi üzerine terasların buradaki gibi kullanımı önerilmemektedir. Kullanılması durumunda alıcılara olan iletime katkı sağlayacak tavan panellerinden yararlanılabilir.

Sonuç değerlendirmesi; Salonların 1000 Hz' deki alıcılara bağlı parametre değerleri, parametrelerin 1000 Hz'deki ortalama değerleri, alıcıların yansıma ışın grafikleri doğrultusunda elde edilen sonuçlar **Çizelge 6.1**' de gösterilmiştir. Parametrelerin salonlarda elde edilen ortalama değerleri ilgili kısımda sayısal olarak verilmiştir. Değerlerdeki farklılıkların sebepleri kısa açıklamalarla tabloda verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Parametreler için salonlarda elde edilen değerler ve açıklamaları.

Parametre	Salon 1 Yalın H.	Salon 1	Salon 2	Salon 3
EDT(s)	1,69 s Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, enerji en yüksek	1,54 s Akustik malz. ile yutuculuk arttı, salonda yalın hale göre daha az enerji	1,36 s Eğim artışı ile artan yutucu yüzey sonucu azalan enerji	1,46 s Terasta düşen eğim, azalan yutucu yüzey enerjiye katkı sağlar
T30(s)	1,6 s Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, enerji/T30 en yüksek	1,45 s Akustik malz. ile yutuculuk arttı, salonda yalın hale göre daha az enerji, T30 daha düşük	1,3 s Eğim artışı ile artan yutucu yüzey, enerjiyi düşürdü, T30 değeri düştü	1,45 s Terasta düşen eğim, azalan yutucu yüzey enerjiye katkı sağladı, T30 arttı
EDT-T30 ilişkisi	1,69 s-1,6 s Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, enerji en yüksek	1,54 s-1,45 s Yutuculuk, saçıcılık, yansıtıcılık salonda doğru konumlandı, eğim düşük, enerji yüksek. En optimum EDT-T30 ilişkisi	1,36 s-1,3 s Eğim artışı, yutucu yüzey artışı sonucu salonda daha az enerji	1,46 s-1,45 s Terasların enerji iletimini engellemesi ile salonda daha az enerji
C80 (dB) (-4),(+4) dB	1,9 dB Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, enerji/T30 en yüksek,C80 en düşük	2,7 dB Eğim düşük, koltuk yutumu fazla, enerji düşük, T30 düşük, C80 yüksek	3,1 dB Eğim artışı ile alıcılara ulaşan erken enerji en yüksek, C80 en yüksek	2,4 dB Terasların alıcılara enerji iletimini düşürmesi ile erken enerjide düşüş, C80 düşük
D50 (0,3-0,7)	0,5 Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, enerji/T30 en yüksek,D50 düşük	0,54 Akustik malzemeler ile yutuculuk arttı, salonda yalın hale göre daha az T30, D50 yüksek	0,54 Eğim artışı ile erken ve toplam enerjideki artış, salon 1 ile D50 dengesi	0,5 Terasların alıcılara enerji iletimini düşürmesi ile erken enerjide düşüş, D50 düşük

Çizelge 6.1 (devam) : Parametreler için salonlarda elde edilen değerler ve açıklamaları.

Parametre	Salon 1 Yalın H.	Salon 1	Salon 2	Salon 3
LF80 (0,05-0,35)	0,144 Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, arka duvar yansımalarında en düşük yutum ile LF80 en yüksek	0,136 Eğim düşük, alıcılar arka duvara yakın, yanal yansıma yüksek, LF80 yüksek	0,114 Eğim artışı, alıcılarda toplam enerji artışı yanal enerji artışından fazla, LF80 düşüşü	0,111 Terasların alıcılara enerji iletimine engel oluşturması ile LF80 en düşük
Ts(ms) (60-260 ms)	93 ms Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, enerji/T30 en yüksek,C80 en düşük, Ts en yüksek	83 ms Akustik malz. ile yutuculuk arttı, salonda yalın hale göre daha az enerji, daha düşük T30, Ts daha düşük	75 ms Eğim artışı, azalan koltuk yutumu ile alıcılarda erken enerji en fazla, Ts en düşük	83 ms Teras kullanımı ile yutuculuk azaldı, T30 arttı, Ts düştü
SPL (dB) (-2), (+10) dB	4,1 dB Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk en az, SPL en yüksek	3,6 dB Koltuk yutumu en fazla, SPL en düşük	3,7 dB Eğim artışı koltuk yutumunu düşürdü, SPL arttı	3,8 dB Terasta eğim azaldı, yutuculuk düştü, SPL arttı
STI ≥0,6	0,56 Yapı elemanları yalın hallerinde, yutuculuk, saçıcılık, yansıtıcılık doğru konumlanmamış, iletim en düşük	0,57 Koltuk yutumunun fazla olması ile konuşma iletimi düşük	0,59 Eğim artışı ile koltuk yutumu düştü, konuşma iletimi en yüksek	0,57 Teras duvarlarının enerji iletimini engellemesi ile konuşma iletim indeksi düştü

Tasarım aşamasında yararlanılan mimari tasarım parametrelerinin salonun akustik performansı ve akustik konforuna olan etkisi hesaba katılmalıdır. Salonlarda yararlanılan tasarım parametresi farklılıklarının akustik konfor, akustik performans ve akustik parametrelerde farklı sonuçlara neden olduğu bu çalışma süresince analiz edilmiştir. Analizde yararlanılan akustik malzeme kullanımı etkisi, zemin eğimi, teras oturumu, teras duvarı, arka duvar katkısı, tavan katkısı, içbükey yüzeylerin duvar ve tavan formunda bulunması, sahne - en arka sıra mesafesi; salon içindeki toplam enerji miktarını, alıcılara ulaşan enerji miktarını, erken yansımaları, yanal yansımaları, geç yansımaları etkilemektedir. Bunların bağlamında da EDT, T30, C80, D50, LF80, Ts, SPL, STI gibi müzik ve konuşma için etkili olan akustiğin

objektif parametreleriyle beraber tonun tokluğu, samimiyet-ilk gecikme zaman aralığı, canlılık, çevrelenme, netlik gibi sübjektif parametreleri de etkilemektedir.

Bu çalışma boyunca; daire planlı, kubbeli salon tipinde zemin eğimi, teras oturumu ve teras duvarı değişiklikleri ile üç plan varyasyonu geliştirilmiş ve bu tasarım değişkenlerinin akustik parametreler üzerindeki etkileri incelenip sonuçlar ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bunlara ek olarak ana plan tipi salon 1'in yalın hali de incelemeye dahil edilmiş, böylelikle uygulanan akustik malzemelerin etkileri de bu bağlamda irdelenmiştir. Uzun yansıma yolları salon içinde ekolara neden olmaktadır. Duvarlarda saçıcılık katsayıları artırılarak bu problem çözülmelidir. Daire plan tipinden gelen içbükey arka duvarlar salonun ortasında ve ortasına yakın bölgelerde odaklanmalara sebep olmaktadır. Dolayısıyla, bu içbükey yüzeylerde saçıcı ve yutucu malzemeler ile odaklanma problemi çözülmeli veya en aza indirilmelidir. Çünkü odaklanmalar, odaklanmanın olduğu bölgelerde ses enerjisinin artışına neden olurlar, bunun sonucunda da salonun başka bölgelerinde enerjinin düşmesine sebep olarak sesin salon içinde homojen dağılmasına engel oluşturur. Bu bağlamda, tavanda kullanılan kubbe formu için de odaklanma üretmeyecek yarıçap ilişkileri kurulmalıdır. Daire plan tipinde salonda çevrelenme hissini ve samimiyeti artıracak olan yanal yansımalar ve ilk yansımalar arka duvarlardan sağlanmaktadır. Salonun ortasında sahneye yakın alıcıların yanal yansımalardan en az faydalanabilen bölgeler olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bölgeler salon içinde oluşturulacak yanal duvarlar aracılığıyla ve/veya tavan yansımalarıyla desteklenmelidir. Bu bağlamda faydalanılacak yanal duvarların salon 3'teki biçimleniş ve konumlanışı yanal yansımalara katkı sağlamamaktadır. Aksine, salon içindeki enerji iletimine engel olmaktadır. Bu sebeple, salondaki teras konumlandırmaları alıcılara yanal yansımalara ve toplam enerji iletimine katkı sağlayacak şekilde biçimlendirilmelidir. Bu biçimleniş için salonlardaki oturum sıralarının (10 sıra) sahneye yakın olanlarının (örneğin ilk 5 sıra) aynı tutulup geride kalan arka sıraların (son 5 sıra) ön sıralardan daha yukarıda bir kota oturtulması örnek verilebilir. Böylelikle salonda 8 ayrı teras oluşturulur, bu teraslar sahne önü sıralarından daha yukarıda bir kota oturur. Oluşturulan teraslarda da farklı kot tercihleri ile yanal duvarlar çeşitlendirilebilir. Bu şekildeki bir biçimleniş ön sıra alıcılarının, arkalarında kalan teraslardan faydalı yanal yansımalar almalarını; teraslardaki alıcıların ise arka duvarlardan faydalı yanal yansımalar almalarını sağlayacaktır. Bunun sonucunda alıcıdaki faydalı enerji

artacaktır, dolayısıyla salonda akustik performans analizinde etkin olan akustik parametreler de faydalı enerji ile daha iyi sonuçlar verecektir. Alıcılardaki ve salon genelindeki enerji miktarını etkileyen bir diğer değişken zemin eğimidir. Zemin eğiminin artışı sesin alıcılar üzerinden geçerken maruz kaldığı yutum miktarını, yani, koltuk yutumunu (seat dip attenuation) azaltmaktadır. Bu yutumun azalması alıcı noktalarının daha fazla erken enerji ve toplam enerji alması demektir. Alıcıya ulaşan enerjinin artışı salonun akustik performansı, alıcının akustik konforu açısından önemli bir noktadır. Salondaki koltuk yutumundan kaynaklanan enerji kaybının en aza indirilmesi açısından az/normal bir eğimden ziyade daha dik bir eğim tercih edilebilir. Ancak eğimin artışının odaklanma ve ekoya sebep olan ışın sayısını artırdığı unutulmamalı ve eğim artışı da kontrollü biçimde sağlanmalıdır.

Çizelge 6.2 ve **Çizelge 6.3**'te salonların oturma bölümü gruplarına göre (sahneye yakın koltuklar ön grup, arka duvara yakın koltuklar arka grup, bunların arasında kalan koltuklar orta grup) genel değerlendirmeleri olumlu ve olumsuz özellikleri bağlamında tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.2 : Salonların oturma bölümleri gruplarına göre değerlendirilmesi (Salon 1 yalın hali ve salon 1).

Oturma	Salon 1 Yalın H.		Salon 1	
	Düşük eğim, yapı elemanları yalın halde.		Düşük eğim, akustik malzeme uygulamalı	
	Artı	Eksi	Artı	Eksi
Ön grup	1) Yutuculuğun az olması ile salonda çınlama yüksek, sahne önlerinde geç enerji artışı ile netlik düşer ve müzikte tonun tokluğu hissi yüksek. 2)Sahneye en yakın olduğu için ses yüksekliği en fazla.	1)Salon geometrisi sebebiyle odaklanma. 2)Yansıma yolunun uzaması ile eko. 3)Konuşma anlaşılırlığı düşük. 4) Arka duvara uzak. Ses ile çevrelenme hissini artıran yanal yansımalar en düşük.	1)Yutuculuğun artması çınlamayı düşürür. Konuşma anlaşılırlığı ve netlik artar ama salon içinde en düşük seviyededir. 2) Sahneye en yakın olduğu için ses yüksekliği en fazla. 3)Salonda müzikte tonun tokluğu en yüksektir.	1)Salon geometrisi sebebiyle odaklanma. 2)Yansıma yolunun uzaması ile eko. 3) Çınlamanın düşmesi ile tonun tokluğu hissi düşer. 4) Arka duvara uzak. Ses ile çevrelenme hissini artıran yanal yansımalar en düşük.

Çizelge 6.2 (devam) : Salonların oturma bölümleri gruplarına göre değerlendirilmesi (Salon 1 yalın hali ve salon 1).

Oturma	Salon 1 Yalın H.		Salon 1	
	Düşük eğim, yapı elemanları yalın halde.		Düşük eğim, akustik malzeme uygulamalı.	
	Artı	Eksi	Artı	Eksi
Orta grup	1)Arka duvara yaklaşma nedeniyle salonda hissedilen samimiyet artar. 2) Arka d. yansımalarına yaklaşma nedeniyle ses ile çevrelenme hissi artar. 3) Sahneden uzaklaştıkça konuşma anlaşılırlığı artar. 4) Ses ileten tavan ve arka d. yaklaştıkça konuşma iletimi artar.	1)Salon geometrisi sebebiyle odaklanma. 2)Yansıma yolunun uzaması ile eko. 3) Sahneden uzaklaşma ile tonun tokluğu hissi düşer. 4) Sahneden uzaklaşma ile ses yüksekliği düşer.	1)Arka duvara yaklaşma ile samimiyet artar. 2) Arka duvar yansımalarına yaklaşma nedeniyle ses ile çevrelenme hissi artar. 3)Çınlamanın düşmesi ile konuşma anlaşılırlığı daha yüksek. 4)Ses ileten tavan ve arka duvara yaklaştıkça konuşma iletimi artar.	1)Salon geometrisi sebebiyle odaklanma. 2)Yansıma yolunun uzaması ile eko. 3) Sahneden uzaklaşma ile tonun tokluğu hissi düşer. 4) Sahneden uzaklaşma ile ses yüksekliği düşer.
Arka grup	1) Duvardan gelen erken yansımalar ile samimiyet hissi en yüksek. 2) Ses ile çevrelenme hissi en yüksek. 3) Konuşma anlaşılırlığı en yüksek, netlik en yüksek. 4) Ses ileten yüzeylere yakınlık ile konuşma iletimi en yüksek. 5) Arka d. yaklaşma ile yansıma yolu daha kısa, eko açısından daha iyi değerler.	1)Salon geometrisi sebebiyle odaklanma. 2)Yansıma yolunun uzaması ile eko. 3) Tonun tokluğu hissi en düşük. 4)Sahneden en uzak olması nedeniyle ses yüksekliği en düşük.	1) Duvardan gelen erken yansımalar ile samimiyet hissi en yüksek. 2) Ses ile çevrelenme hissi en yüksek. 3) Konuşma anl. en yüksek, netlik en yüksek. (Yutuculuğun artmasıyla yalından daha yüksek.) 4) Ses ileten yüzeylere yakınlık ile konuşma iletimi en yüksek. 5) Arka d. yaklaşma ile yansıma yolu daha kısa,eko açısından daha iyi değerler.	1)Salon geometrisi sebebiyle odaklanma. 2)Yansıma yolunun uzaması ile eko. 3) Tonun tokluğu hissi en düşük. 4)Sahneden en uzak olması nedeniyle ses yüksekliği en düşük.

Çizelge 6.3 : Salonların oturma bölümleri gruplarına göre değerlendirilmesi (Salon 2 ve salon 3).

Oturma	Salon 2		Salon 3	
	Dik eğim, akustik malzeme uygulamalı.		Dik eğim, teraslı, akustik malzeme uygulamalı.	
	Artı	Eksi	Artı	Eksi
Ön grup	1)Yutuculuğun artması çınlamayı düşürür. Konuşma anlaşılırlığı artar. 2) Eğim artışı ile sahne önlerinde geç enerji artışı, müzikte tonun tokluğu hissi en yüksek. 3)Sahneye en yakın olduğu için ses yüksekliği en fazla.	1)Eğim artışı ile ışınlarda daha belirgin odaklanma. 2)Eğim artışı sonucu yansıma yolunun uzaması ile daha belirgin eko. 3)Yutuculuk arttı, çınlama düştü. 4)Eğim artışı arka d. olan mesafeyi artırdı, ses ile çevrelenme hissini artıran yanal yansımalar düştü.	1)Yutuculuğun düşmesi sonucu çnlamanın artması ile netlik ana salonda düştü ve tonun tokluğu hissi arttı (salonda en yüksek). Terasta arka duvara yaklaşıldı, netlik arttı, tonun tokluğu düştü. 2) Sahneye en yakın olduğu için ses yüksekliği en fazla.	1)Dik eğim ile ışınlarda daha belirgin odaklanma. 2)Dik eğim sonucu yansıma yolunun uzaması ile daha belirgin eko. 3) Arka duvara uzak. Ses ile çevrelenme hissini artıran yanal yansımalar en düşük. 4) Çınlama arttı, konuşma anlaşılırlığı düştü. 5) Teraslar enerji iletimine engel oldu, alıcılarda enerji düştü.
Orta grup	1)Arka duvara yaklaşma ile salonda hissedilen samimiyet artar. 2) Arka duvar yansımalarına yaklaşma nedeniyle ses ile çevrelenme hissi artar. 3) Sahneden uzaklaştıkça konuşma anlaşılırlığı artar. 4) Ses ileten tavan ve arka duvara yaklaştıkça konuşma iletimi artar. 5) Eğim artışı ile alıcılara ulaşan enerji artar. Bu da konuşma iletimini artırır.	1)Eğim artışı ile ışınlarda daha belirgin odaklanma. 2)Eğim artışı sonucu yansıma yolunun uzaması ile daha belirgin eko. 3) Sahneden uzaklaşma ile tonun tokluğu hissi düşer. 4) Sahneden uzaklaşma ile ses yüksekliği düşer. 5) Eğim artışı ile arka duvara olan mesafe salon 1'den fazla, çevrelenme düşer.	1)Arka duvara yaklaşma ile samimiyet artar. 2) Arka duvar yansımalarına yaklaşma nedeniyle ses ile çevrelenme hissi artar. 3)Sahneden uzaklaştıkça konuşma anlaşılırlığı artar. 4)Ses ileten tavan ve arka duvara yaklaştıkça konuşma iletimi artar.	1)Dik eğim ile ışınlarda daha belirgin odaklanma. 2)Dik eğim sonucu yansıma yolunun uzaması ile daha belirgin eko. 3) Sahneden uzaklaşma ile tonun tokluğu hissi düşer. 4) Sahneden uzaklaşma ile ses yüksekliği düşer. 5) Terasların enerji iletimine engel olması ile salon 2'ye göre çevrelenmeyi artıran yanal yansıma azalır, konuşma iletimi azalır. 6) Artan çınlama salondaki anlaşılırlığı düşürür. Teraslarda artan koltuk yutumu enerjiyi düşürür, konuşma anlaşılırlığı düşer.

Çizelge 6.3 (devam) : Salonların oturma bölümleri gruplarına göre değerlendirilmesi (Salon 2 ve salon 3).

Oturma	Salon 2		Salon 3	
	Dik eğim, akustik malzeme uygulamalı.		Dik eğim, teraslı, akustik malzeme uygulamalı.	
	Artı	Eksi	Artı	Eksi
Arka grup	1) Duvardan gelen erken yansımalar ile samimiyet hissi en yüksek. 2) Ses ile çevrelenme hissi en yüksek. 3) Konuşma anlaşılırlığı en yüksek, netlik en yüksek. 4) Ses ileten yüzeylere yakınlık ile konuşma iletimi en yüksek. 5) Eğim artışı ile alıcılara ulaşan enerji artar.	1)Eğim artışı ile ışınlarda daha belirgin odaklanma. 2)Eğim artışı sonucu yansıma yolunun uzaması ile daha belirgin eko. 3) Tonun tokluğu hissi en düşük. 4)Sahneden en uzak olması nedeniyle ses yüksekliği en düşük. 5)Alıcılara ulaşan enerji artışı çevrelenme oranını salon 1'e kıyasla düşürdü.	1) Duvardan gelen erken yansımalar ile samimiyet hissi en yüksek. 2) Ses ile çevrelenme hissi en yüksek. 3) Konuşma anl. en yüksek, netlik en yüksek. 4) Ses ileten yüzeylere yakınlık ile konuşma iletimi en yüksek. 5) Arka duvara yaklaşma ile yansıma yolu daha kısa, eko açısından daha iyi değerler.	1) Dik eğim ile ışınlarda daha belirgin odaklanma. 2) Dik eğim sonucu yansıma yolunun uzaması ile daha belirgin eko. 3) Tonun tokluğu hissi en düşük. 4) Sahneden en uzak olması nedeniyle ses yüksekliği en düşük. 5) Terasların enerji iletimini engellemesi ile konuşma iletimi Salon 2'ye göre düşük. Terasta ise artan koltuk yutumu ile iletim ve enerji düşük.

Salonların genel değerlendirmeleri verilen çizelgeler aracılığıyla da incelendiğinde arka gruptaki koltuklarda; arka duvardan alınan erken yansımalar sayesinde salon içindeki samimiyetin en yüksek derecede hissedildiği, yanal yansımalar sayesinde ses ile çevrelenme hissinin en yüksek olduğu, ses ileten yüzeyler olan arka duvar ve tavana en yakın koltuklar olmaları sebebiyle konuşma iletiminin en fazla ve erken yansımalar ile konuşma anlaşılırlığının en yüksek olduğu sonucuna varılabilir. Dolayısıyla, salonda konuşma performansı için buralardaki dinleme koşulu daha iyidir. Geç enerjinin düşmesi ile tonun tokluğu düşer ve bu grupta salon daha "kuru" hissedilir. En ön koltuklarda, salonun geometrisinden ileri gelen odaklanma kusuru nedeniyle arka duvar yansımaları salonun ortasına dönüp odaklanmaktadır, bunun sonucunda da ön grupta geç enerji fazlalığı vardır. Bu grupta tonun tokluğu hissi bu sebeple daha fazladır. Dolayısıyla, salonda müzik performansı için buralardaki dinleme koşulu daha iyidir. Salon buralarda daha "canlı" hissedilir. Konuşma anlaşılırlığı geç enerji artışıyla en düşüktür. Yansıma yollarının uzunluğu sonucu ortaya çıkan eko kusuru, özellikle buralarda etkindir. Yararlı yansımaların alındığı tavan ve arka duvara en uzak noktalar olmaları sebebiyle bu alıcılarda konuşma iletimi, ses ile çevrelenme hissi en düşüktür. Orta sıralarda yer alan koltuklar, ön sıra

koltularına göre arka duvara daha yakın olduğu için daha iyi konuşma anlaşılırlığına, daha iyi ses ile çevrelenme hissine, samimiyete ve konuşma iletimine sahiptir.

Salonların değerlendirilmesinin sonuç verilerinden yola çıkılarak salonda uygulanan akustik malzemelerin çınlama düşüş eğrisinde faydalı sonuçlar çıkardığı söylenebilir. Salon içindeki yutuculuk yardımı ile sesin kontrollü düşüşü sağlanmaktadır. Dolayısıyla, salonun yalın halde kalması akustik konfor açısından uygun değildir. İdeal şartların sağlanabilmesi için salon içindeki yutuculuk, yansıtıcılık ve saçıcılık özelliklerinin doğru yapı elemanlarında konumlandırılmış olması gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarından analiz edildiği gibi arka duvarda uygulanacak olan saçıcılık değeri 0,3 katsayısı değerinden daha büyük tercih edilmelidir. (**Bölüm 6.8**'de saçıcılık katsayısının 0,3'ten büyük seçildiğinde oluşan durumlar irdelenmiştir). **Çizelge 6.2** ve **Çizelge 6.3** incelendiğinde salon 2 ve salon 3'teki gibi artan zemin eğiminin alıcılara ulaşan enerjiyi artırdığı, bunun sonucunda netlik ve konuşma anlaşılırlığına katkı sağladığı söylenebilir. Ancak eğimin artışının odaklanma ve eko akustik kusurlarını artırdığı görülmektedir. Bu bağlamda, daire planlı bu tip salonların eğiminin çok dik olmaması önerilir. Konuşma iletimi, konuşma anlaşılırlığı gibi akustik konfor bileşenleri salonda kullanılacak yansıtıcı paneller yardımı ile iyileştirilebilir. Salon 3'teki gibi kullanılan teras oturumlarının akustik konfora neredeyse hiç katkı sağlamadığı çizelgelerden de okunmaktadır. Salon içindeki enerji iletimine engel olmuştur. Buna bağlı olarak konuşma iletimi, alıcılardaki enerji değerleri bu salonda düşük seviyededir. Terasta yer alan alıcılarda kaynaktan uzaklaşma etkisi ve eğimin düşmesi sonucu koltuk yutumunun artması ile enerji düşmüştür. Dolayısıyla, teras alıcılarında konuşma anlaşılırlığı düşmüştür. Alıcıların teras duvarları ile çevrelenmesi kendilerine gelen yansımaların sayısını azaltmıştır. Bunun sonucunda da terastaki alıcıların, özellikle ön grup alıcılarının salonun en düşük ses ile çevrelenme hissine sahip noktaları olduğu söylenebilir. Terasların iletimi engellemesi ile ana salonda da ses ile çevrelenme hissinin düştüğü sonucuna varılabilir. Bahsi geçen salon 1 yalın hali, salon 1, salon 2 ve salon 3 arasında en iyi akustik konfor sağlayan salon, salon 1'dir. Çünkü fazla dik olmayan eğimi ile odaklanma ve eko kusurları salon 2 ve salon 3'e göre daha minimal boyuttadır. Var olan kusurlar, arka duvarda uygulanacak malzemelerin saçıcılık katsayısının artırılması ile iyileştirilebilir. Özellikle ön ve orta grup alıcıları, salon 2 ve salon 3'teki gibi tavan ve arka duvara çok uzak değildir. Tavan ve arka duvar

yansımalarına daha yakındırlar. Bunun sonucunda salon içindeki samimiyet ve ses ile çevrelenme hissi artar. Eğimin düşük olması ile koltuk yutumu daha fazladır, bu da konuşma iletimini ve alıcılardaki enerjiyi düşürür ama ses yansıtıcı panellerden alınan tavan yansımaları sayesinde alıcılardaki enerji miktarları ve konuşma iletimleri kuvvetlendirilebilir. Diğer bir seçenek zemin eğiminin kontrollü bir şekilde biraz daha artırılmasıdır. Salon 2 ve salon 3'teki gibi dik olmadığına dikkat edilmelidir. Aksi halde eko ve odaklanma kusurları artış gösterecektir. Salonlarda eko riskini engellemenin bir yolu da plan düzleminde daire çapının düşürülmesidir, daha küçük çaplı bir dairede yansıma yolları daha kısa olacak ve eko riski düşecektir.

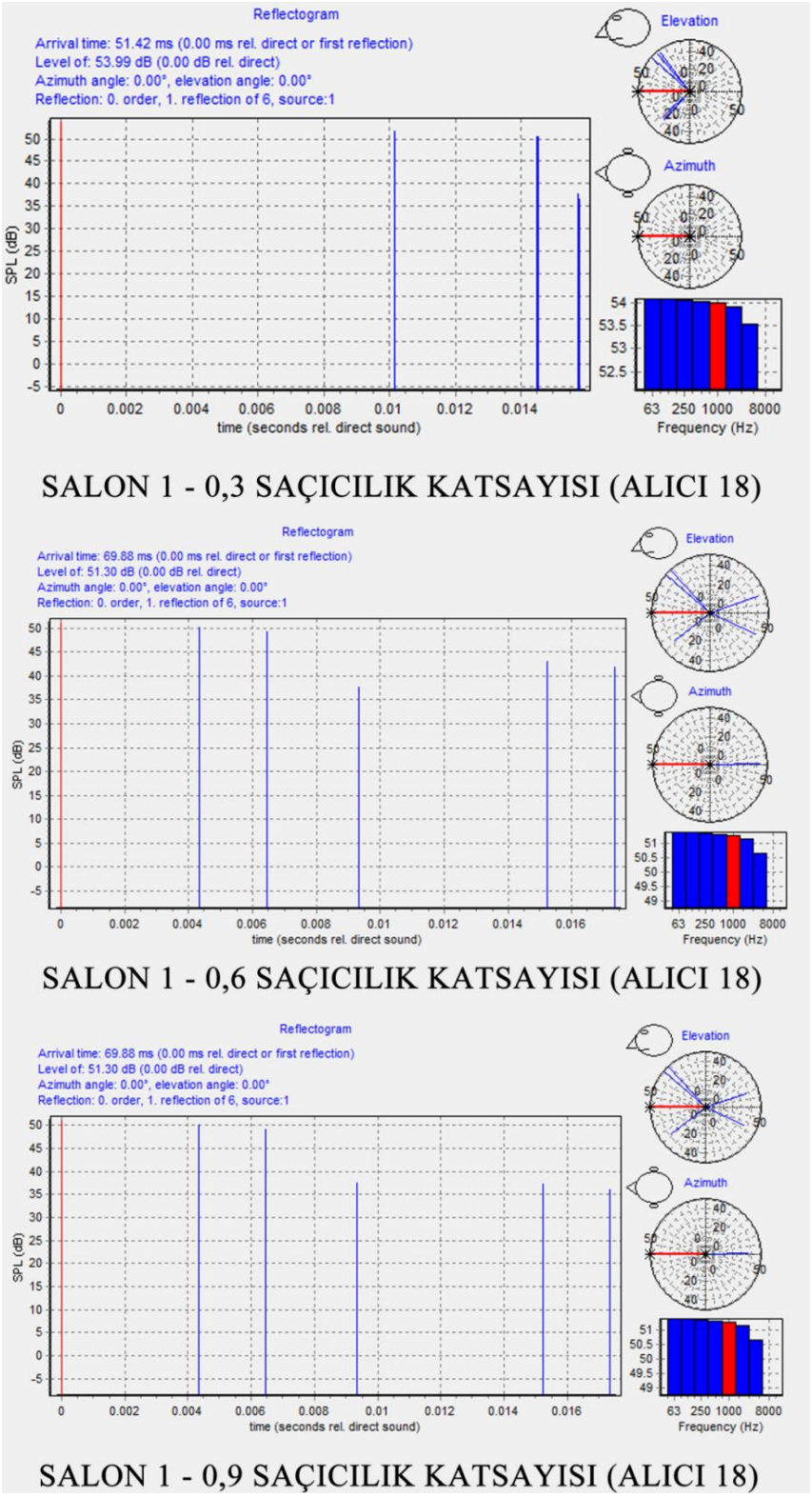
6.8 Saçıcılık Katsayısı Değişiminin Eko Kusuru Üzerindeki Etkisinin Salon 1 ve Salon 2'de İrdelenmesi

6.8.1 Salon 1 arka duvar saçıcılık katsayısının artırılması ve karşılaştırması

Arka duvarlara uygulanan saçıcılık katsayılarının oluşturduğu farkın incelendiği bu bölümde salon 1, salon 2 ve salon 3 arasında en iyi akustik performansa sahip olan salon 1 ele alınmıştır. Salon 1'de eğim fazla dik olmadığı için alıcı noktalarında odaklanan ışın sayısı fazla değildir. Dolayısıyla, eko riski salon 2 ve salon 3'e göre daha düşüktür. Salon 1 içinde en çok yansıma alan alıcılar arka duvara ve tavana yakın alıcılardır ve bu alıcılardaki ışın sayıları ön ve orta grup alıcılarından daha fazladır. Ön ve orta grupta yer alan alıcılar arka duvar yansımalarından faydalanamamaktadır. Bu bağlamda, saçıcılık değerlerinin oluşturduğu fark arka duvardan yansıma alan arka sıra alıcılarında incelenmiştir. Alıcı 18 temsilen seçilmiştir. Arka duvarda kullanılan yansıtıcı ve yutucu malzemelerin saçıcılık değerleri önce 0,6'ya sonra 0,9'a artırılarak farklı durumlar elde edilmiş ve bu durumların karşılaştırmalarından yola çıkılarak sonuçlara varılmıştır.

Şekil 6.8'de, alıcı 18'in salon 1 içinde arka duvarlara 0,6 ve 0,9 saçıcılık katsayısı değerleri verildiğindeki enerji diyagramlarının, 0,3 katsayısı değeri verildiğindeki enerji diyagramı ile karşılaştırması verilmiştir. Diyagramlar incelendiğinde alıcının arka duvardan ulaşan yansımalarının (0.014 s'den sonraki yansımalar) ses yüksekliği değerlerinin saçıcılık katsayısı arttıkça düştüğü görülmektedir. Buradan yola çıkılarak saçıcılığın artışının arka duvardan yansıyan seslerin yüksekliğini düşürdüğü söylenebilir. En geç ulaşan ve en uzun yansıma yoluna sahip bu yansımaların ses yüksekliği değerlerinin düşmesi kulaklara ulaştığı zamanki eko yaratma riskini

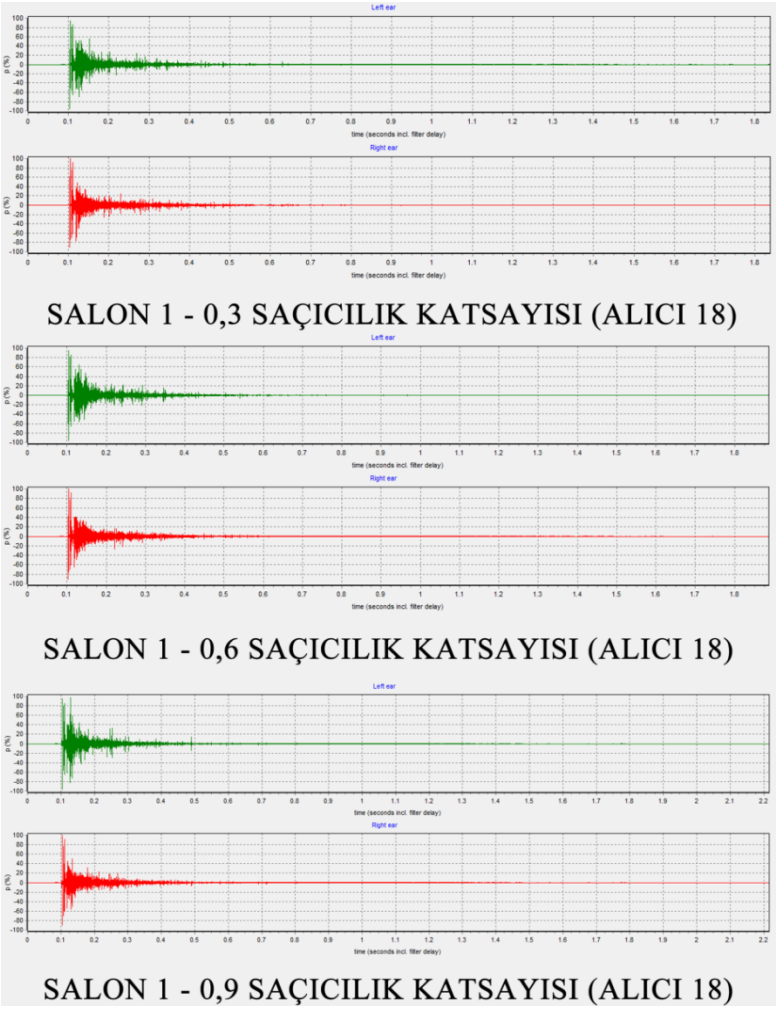
düşürecektir. Çünkü eko, yansımanın aldığı yolun ve ulaştığı sürenin uzunluğuyla ilgili olduğu kadar kulağa ulaştığı zaman sahip olduğu ses yüksekliği ile de ilgilidir. Ses yüksekliği düştükçe eko riski düşmektedir.



Şekil 6.8 : Salon 1 için saçıcılık artışının alıcı 18'e ulaşan yansımaların enerjileri üzerindeki etkisi.

Ses yüksekliğinin saçıcılık arttıkça düşmesi analizi **Şekil 6.9**'da alıcı 18 için üç farklı saçıcılık katsayılarındaki işitme analizleri (BRIR) grafiğinden de görülmektedir. Farklı saçıcılık katsayıları için verilen BRIR analizleri incelendiğinde sol kulak grafiklerinin sağ kulaktan daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni alıcının sol tarafından ulaşan yansımalara bağlanabilir. Saçıcılık arttıkça özellikle sağ kulak grafiğindeki işitme grafiklerinin daha düzgün şekilde azaldığı görülmektedir. Bu durum saçıcılığın artması ile alıcıya arka duvardan ulaşan yansımaların ses yüksekliğinin düşmesinin bir sonucudur. Ses yüksekliği düştükçe eko riski de düşmektedir.

Saçıcılığın artışı ilk gecikme zaman aralığını da düşürmüştür. **Şekil 6.8**'de görülmektedir. Katsayı 0,3 iken alıcıya ilk ulaşan ışın 0,01 s'de gelirken saçıcılık katsayısının artması ile ilk ulaşan ışının ulaşma süresi 0,004 s'ye düşmüştür. Buradan yola çıkılarak saçıcılık katsayısının artışının salon içindeki samimiyet hissini katkı sağlayarak artırdığı söylenebilir.

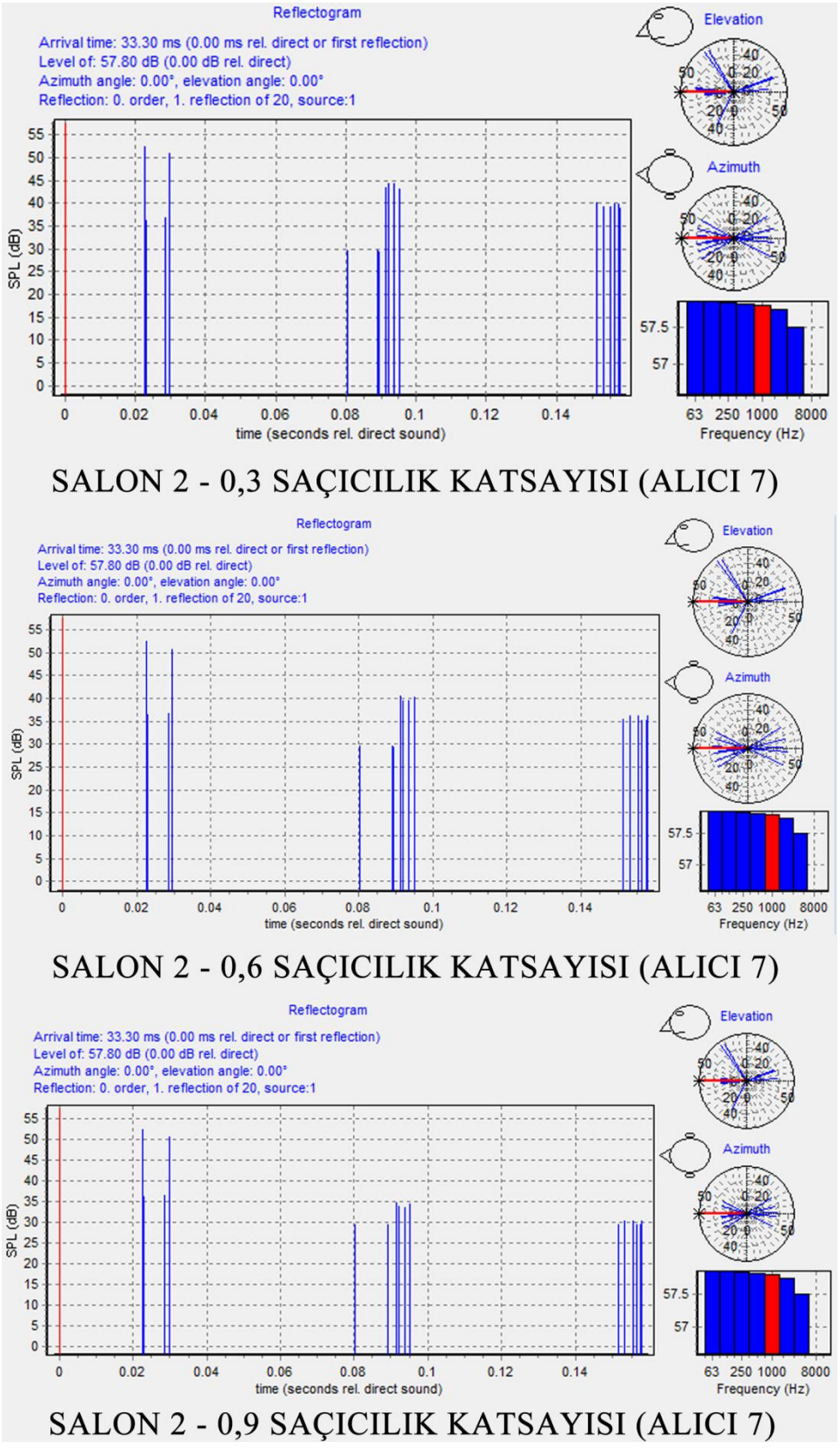


Şekil 6.9 : Salon 1 için saçıcılık artışının alıcı 18 işitme grafikleri üzerindeki etkisi.

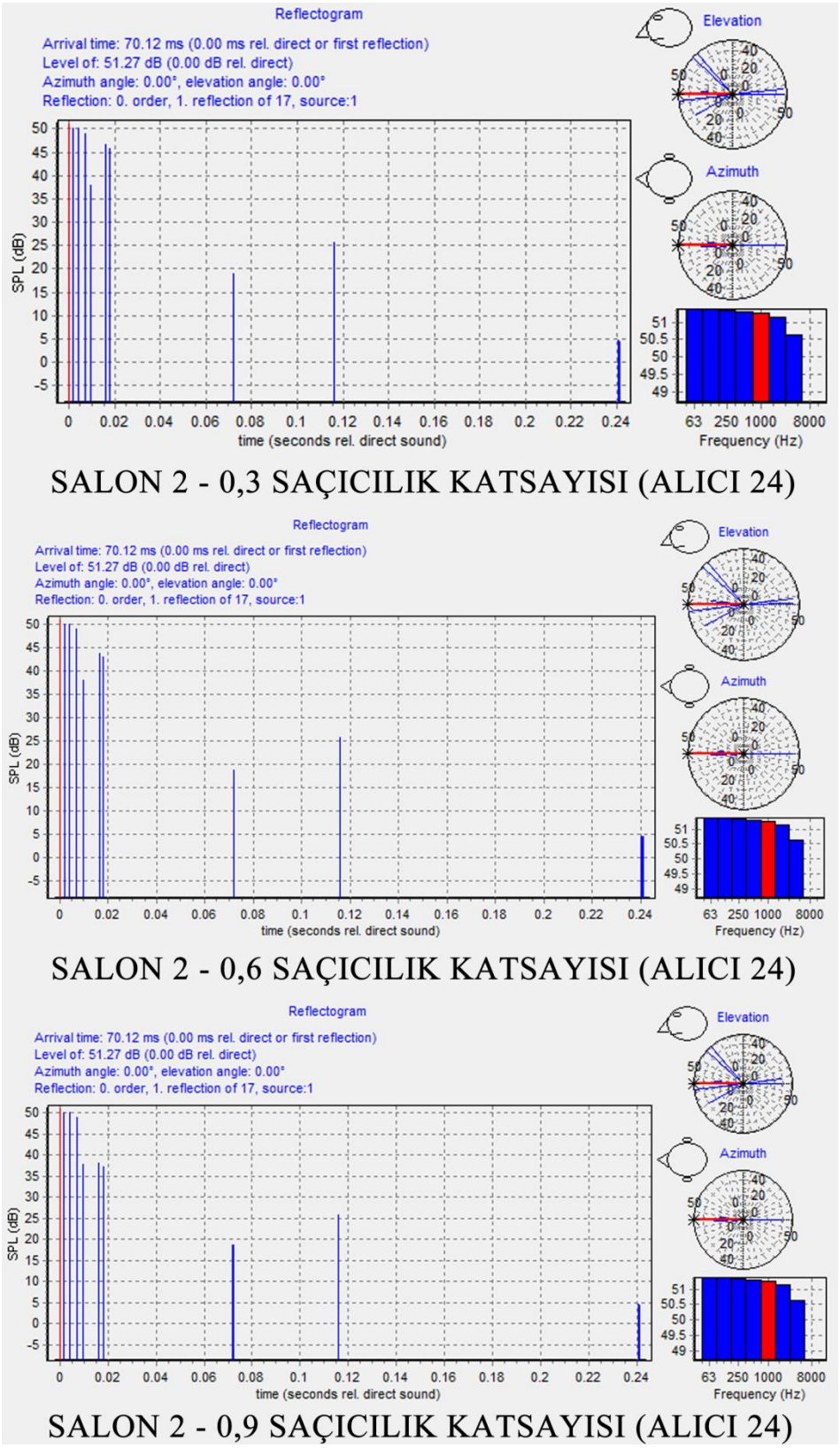
6.8.2 Salon 2 arka duvar saçıcılık katsayısının artırılması ve karşılaştırması

Arka duvarlara uygulanan saçıcılık katsayılarının oluşturduğu farkın incelendiği bu çalışmada salon 1, salon 2 ve salon 3 arasında en iyi akustik performansa sahip olan salon 1 ele alınmıştır. Salon 1'de saçıcılık değişiminin etkisinin incelenmesinin ardından eğimin artarak yansıma yollarını uzatması ve teras duvarlarının da engel oluşturmaması ile salon içinde en belirgin odaklanma ve eko kusuru olan salon, salon 2'dir. Salonun ön ve arka bölümlerinde yer alan alıcılardaki enerji ve işitme analizleri değişimi karşılaştırması ile salon 2'de saçıcılığın etkisi ele alınmıştır. Bu bağlamda, ön sıradaki alıcıları temsilen alıcı 7, arka sıradaki alıcıları temsilen alıcı 24 seçilmiştir. Bu alıcılar tavan ve arka duvar yansımalarından faydalanabilmektedirler ve saçıcılık katsayısındaki değişiklikler bu alıcıların enerji ve işitme diyagramları aracılığıyla irdelenebilir. Arka duvarda kullanılan yansıtıcı ve yutucu malzemelerin saçıcılık değerleri önce 0,6'ya sonra 0,9'a artırılarak farklı durumlar elde edilmiş ve bu durumların karşılaştırmalarından yola çıkılarak sonuçlara varılmıştır.

Şekil 6.10 ve **Şekil 6.11**'de alıcı 7 ve alıcı 24'ün salon 2 içinde arka duvarlara 0,6 ve 0,9 saçıcılık katsayısı değerleri verildiğindeki enerji diyagramlarının, 0,3 katsayısı değeri verildiğindeki enerji diyagramı karşılaştırması verilmiştir. Ön sırada yer alan alıcı 7 için verilen diyagram karşılaştırmaları incelendiğinde alıcıya arka duvardan ulaşan yansımaların ses yüksekliğinin saçıcılık katsayısı arttıkça düştüğü görülmektedir. Salon 1 için söylendiği gibi yansımanın ses yüksekliğinin (enerjisinin) düşmesi eko riskini de düşürmektedir. Çünkü eko, kulağa ulaştığı zaman sahip olduğu ses yüksekliği ile de ilgilidir. Alıcı 24 için verilen karşılaştırma incelendiğinde alıcıya 0.02 s civarında arka duvardan ulaşan erken yansımaların ses yüksekliklerinin düştüğü görülür. Alıcıya 0.24 s civarında ulaşan yansımalar dinleyici alanından gelmektedir. Bu yüzden bu yansımaların ses yüksekliği değerlerinde bir değişiklik olmamıştır.

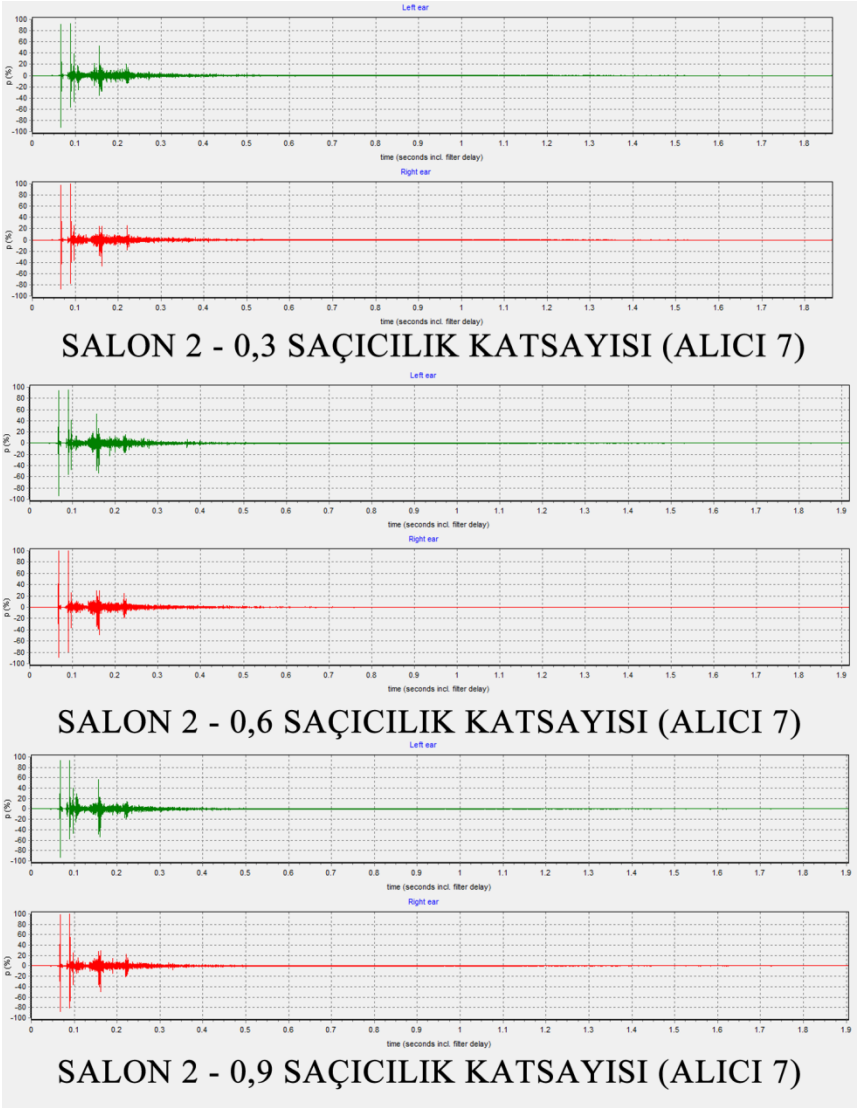


Şekil 6.10 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 7'ye ulaşan yansımaların enerjileri üzerindeki etkisi.

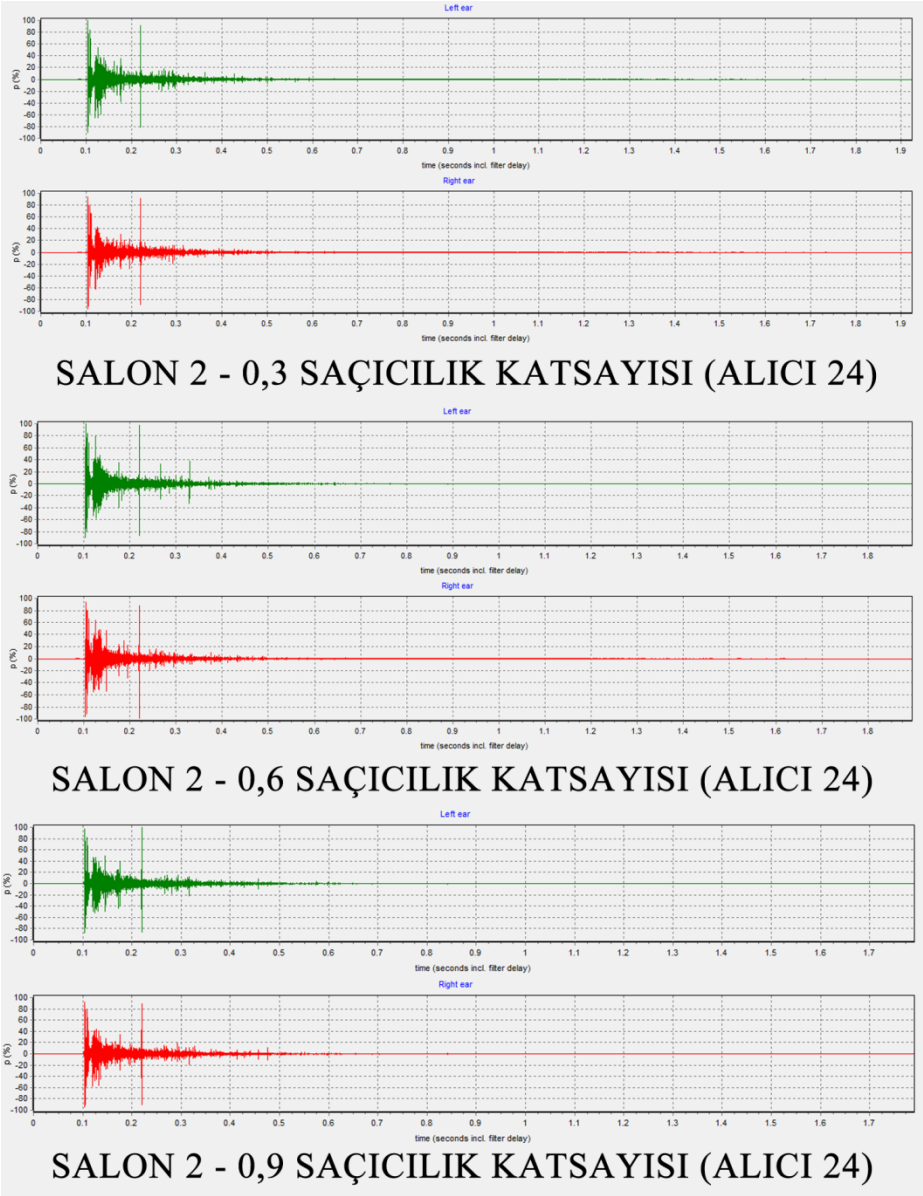


Şekil 6.11 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 24'e ulaşan yansımaların enerjileri üzerindeki etkisi.

Şekil 6.13'te alıcı 24 için üç farklı saçıcılık katsayılarındaki işitme analizleri (BRIR) grafiği incelendiğinde de 0.24 s civarındaki yansımaların neden olduğu ekonun varlığını sürdürdüğü görülmektedir. **Şekil 6.12**'de alıcı 7 için verilen işitme analizi grafiği incelendiğinde de saçıcılık katsayılarının artışının alıcı için belirgin farklar oluşturmadığı ve genel işitme grafiğinin incelenen üç durum için çok benzer olduğu söylenebilir. Buradan yola çıkılarak saçıcılık değerinin artışının salon 2'de, salon 1 ile kıyaslandığında, çok verimli olmadığı sonucuna varılabilir. Dolayısıyla, saçıcılık katsayısı artışının eğim faktörü ile desteklenmesi gerektiği söylenebilir. Yani, saçıcılık artışının etkisini gösterebilmesi için salon içindeki zemin eğiminin salon 2'deki gibi dik olmaması gerekmektedir. Tasarım sürecinde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Saçıcılık katsayısı artışının verimli olabilmesi için salon içinde dik bir zemin eğimi olmamalıdır.



Şekil 6.12 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 7 işitme grafikleri üzerindeki etkisi.



Şekil 6.13 : Salon 2 için saçıcılık artışının alıcı 24 işitme grafikleri üzerindeki etkisi.

Yapılan analizlerden yola çıkılarak saçıcılık katsayılarının artışının tek başına problem çözücü olmadığı ve salon içindeki her etkenin ayrı ayrı değil beraber işleyiş gösterdiği sonucuna varılabilir. Tasarım sürecinde bileşenler beraber düşünülmeli ve optimum durum bulunmalıdır. Saçıcılık katsayılarının artışının verimli sonuçlar çıkarması salon içindeki eğimle ilişkilidir. Çünkü eğim değişikliği salon içindeki yansımaların aldıkları yansıma yollarını belirlemektedir. Salon içinde faydalı bir saçıcılık kullanımı için eğimin dik olmamasına, yani, yansıma yollarının eğim nedeniyle artış göstermemesine özen gösterilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] **Barron, M.** (2010). Auditorium Acoustics and Architectural Design, Second Edition, Spon Press, London and New York, USA.

[2] **Brooks, C. N.** (2003). Architectural Acoustics, North Carolina, McFarland & Company, Inc. Publishers, North Carolina, USA.

[3] **Parkin, P. H., Humphreys, H. R.** (1958). Acoustics Noise and Buildings. London: Frederick A. Praeger Publishers, London, UK.

[4] **Cavanaugh, W. J., Tocci, G. C., Wilkes, J. A.** (2010). Architectural Acoustics Principles and Practice, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., USA.

[5] **Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J.** (1999). Architectural Acoustics: Principles and Design . Prentice Hall, Inc., New Jersey,USA.

[6] **(Ed.) Rossing, T. D.** (2007). Springer Handbook of Acoustics, Springer Science+Business Media. New York, USA.

[7] **Makrinenko, L. I.** (1994). Acoustics of Auditoriums in Public Buildings, Acoustical Society of America, New York, USA.

[8] **Doelle, L. L.** (1965). Acoustics in Architectural Design. Ottawa, Canada.

[9] **Doelle, L. L.** (1972). Environmental Acoustics, McGraw Hill, Inc., USA.

[10] **Long, M.** (2006). Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, Massachusetts, USA.

[11] **Roderick, H.** (1972). Theatre Plannin, The Architectural Press, London, UK.

[12] **İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2013). İstanbul İmar Yönetmeliği, İstanbul, Türkiye..

[13] **Everest, F. A., Pohlmann, K. C.** (2009). Master Handbook of Acoustics, Fifth Edition, The McGraw-Hill Companies, USA.

[14] **Moore, J. E.** (1978). Design for Good Acoustics and Noise Control, Macmillan Education LTD., London, UK.

[15] **Beranek, L.** (2004). Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture, Second Edition, Springer - Verlag, New York, Inc., New York, USA.

[16] **Rettinger, M.** (1988). Handbook of Architectural Acoustics and Noise Control, TAB Books Inc., USA.

[17] **Demirkale, S.** (2007). Çevre ve Yapı Akustiği – Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[18] **Raichel, D. R.** (2000). The Science and Applications of Acoustics, Springer-Verlag New York Inc., USA.

[19] **Teke, D.** (2012). Arena Tip Salonlarda Mimari Tasarım Öğelerinin Bilgisayar Simülasyon Çalışması İle Akustik Açıdan İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[20] **ISO 3382-2.** (2009). *Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters, Part 2 : Reverberation Time in Ordinary Rooms.*

[21] **Gürkan, E.** (2012). At Nalı Plan Tipi Salonların Konser ve Opera İşlevlerinde Akustik Tasarım Açısından İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[22] **Çelebi Şeker, N. N.** (2013). Salonların Mimari Tasarımının Akustik Performansa Etkileri : Dikdörtgen, Fan, Elmas Salon Örnekleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[23] **Smith, B. J., Peters, R. J., Owen, S.** (1982). Acoustics and Noise Control, Longman Group Limited, New York, USA.

[24] **Cerdá, S., Giménez, A., Romero, J., Cibrián, R., Miralles, J. L.** (2009). Room Acoustical Parameters: A Factor Analysis Approach . *Applied Acoustics* 70 (2009), 97 - 109.

[25] **Bradley, J. S.** (2011). Review of Objective Room Acoustics Measures and Future Needs, *Applied Acoustics* 72 (2011), 713 – 720.

[26] **ISO 3382-1.** (2009). *Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters, Part 1 : Performance Spaces.*

[27] **Christensen, C. L.** (2009). Odeon Room Acoustics Program Version 10 Manual, Industrial, Auditorium and Combined Editions.

[28] **Ahnert, W., Schmidt S.** (t.y.). EASERA Manual Appendix (Electronic and Acoustic System Evaluation and Response Analysis).

[29] **Gade, A. C.** (1989). Investigations of musicians' room-acoustic conditions in concert halls.

[30] **Beranek, L.** (1962). Music, Acoustics and Architecture, John Wiley and Sons Inc., New York, USA.

[31] **Nagata, M.** Uncertain Factors in Acoustical Design. Music and Concert Hall Symposium, *Music and Concert Hall Acoustics* (1997), 337 – 344, Academic Press Inc., London, UK.

[32] **Kuttruff, H.** (1991) Room Acoustics, Third Edition, Elsevier Science Publishers LTD, USA.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Büşra AKTI

Doğum Tarihi ve Yeri: 13.05.1990/Elazığ

E-posta : aktibusra@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2012, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü (3.'lükle).