

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SPOR SALONLARININ ÇOK AMAÇLI KULLANIMINDA  
AKUSTİK PERFORMANSIN MALZEME VE TASARIM  
DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Onur TEKİN**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**HAZİRAN 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SPOR SALONLARININ ÇOK AMAÇLI KULLANIMINDA  
AKUSTİK PERFORMANSIN MALZEME VE TASARIM  
DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Onur TEKİN  
(502161513)**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ**

**HAZİRAN 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502161513 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onur TEKİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SPOR SALONLARININ ÇOK AMAÇLI KULLANIMINDA AKUSTİK PERFORMANSIN MALZEME VE TASARIM DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Mine AŞÇIGİL DİNÇER** .....  
Bahçeşehir Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **3 Mayıs 2019**  
**Savunma Tarihi** : **11 Haziran 2019**





*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışma sürecim boyunca bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen, sabırla destek olan ve yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Sevtap YILMAZ'a; tez çalışma sürecim boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili Pro-Plan ailesine ve Prof. Dr. Temel BELEK'e çok teşekkür ederim.

Bana her konuda destek olan anne ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Onur Tekin  
(Mimar)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxv
SUMMARY .....	xxvii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Konu Alanının Tanıtılması.....	2
1.2 Çalışma Yöntemi.....	3
<b>2. AKUSTİK KUSURLAR VE HACİM AKUSTİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....</b>	<b>5</b>
2.1 Akustik Kusurlar .....	6
2.1.1 Yankılanma (echo).....	6
2.1.2 Tekrarlayan yankı (flutter echo) .....	6
2.1.3 Ses odaklanması (sound focusing).....	7
2.1.4 Sesin taşınması (acoustical creep).....	7
2.1.5 Aşırı ses gücü (excessive loudness) .....	8
2.1.6 Rezonans (resonance) .....	8
2.1.7 Ses gölgeleri (sound shadows).....	9
2.2 Nesnel Parametreler .....	10
2.2.1 Çınlama (reverberation, T).....	10
2.2.1.1 $T_{60}$ .....	11
2.2.1.2 $T_{30}$ , RT .....	12
2.2.1.3 $T_{20}$ , $T_{15}$ ve $T_{10}$ (EDT) .....	12
2.2.2 Ses şiddeti (loudness, G).....	13
2.2.3 Bas oranı (bass ratio, BR) .....	15
2.2.4 Netlik (clarity, C) .....	16
2.2.4.1 $C_7$ .....	17
2.2.4.2 $C_{50}$ .....	17
2.2.4.3 $C_{80}$ .....	18
2.2.5 Yanal enerji oranı (lateral energy fraction, $LF_{80}$ ) .....	20
2.2.6 Geç yanal enerji oranı (late lateral energy fraction, $L_j$ ) .....	22
2.2.7 Ayırt edilebilirlik (definition, $D_{50}$ ).....	22
2.2.8 Merkez süre (center time, $T_s$ ).....	23
2.2.9 Konuşma iletim indeksi (speech transmission index, STI).....	23
2.2.10 Telaffuz indeksi (articulation index, AI).....	24
2.2.11 İlk ulaşım gecikmesi (initial time delay gap, ITDG) .....	26
2.2.12 Arka plan gürültüsü (noise criteria, NC).....	27
2.2.13 Ses yayılım indeksi (sound diffusion index, SDI) .....	28

2.2.14	Çift kulakla kalite indeksi (binaural quality index, BQI).....	29
2.2.15	Sesin yayılımı (Diffusivity(ss)).....	30
2.2.16	Eko parametresi (Echo(Dietsch)).....	30
2.2.17	Eğrilik (curvature, C).....	30
2.2.18	Erken destek (early support, ST <sub>Erken</sub> ) ve geç destek (late support, ST <sub>Geç</sub> ) .....	31
2.2.18.1	Erken destek, ST <sub>Erken</sub> .....	31
2.2.18.2	Geç destek, ST <sub>Geç</sub> .....	31
2.3	Öznel Parametreler.....	32
2.3.1	Kucaklama (spaciousness).....	32
2.3.2	Kuşatılma (envelopment).....	33
2.3.3	Yayılım (diffusion).....	33
2.3.4	Samimiyet (intimacy).....	34
2.3.5	Sıcaklık (warmth).....	35
2.3.6	Parlaklık (brilliance).....	35
2.3.7	Denge (balance).....	36
2.3.8	Harman (blend).....	36
2.3.9	Birlik (ensemble).....	36
2.3.10	Sesin homojenliği (uniformity of sound).....	36
2.3.11	Akustik parıltı (acoustical glare).....	37
2.3.12	Ses tınısı ve rengi (timbre and tone color).....	37
2.3.13	Dinamik aralık (dynamic range).....	37
2.3.14	Doku (texture).....	37
2.3.15	Tepki hızı (immediacy of response).....	38
2.4	Mimari Tasarım Parametreleri.....	39
2.4.1	Salon formu.....	41
2.4.2	Plan tipi.....	41
2.4.3	Bölgesel formların seçimi.....	43
2.4.3.1	Tavan.....	43
2.4.3.2	Balkon.....	44
2.4.3.3	Zemin.....	45
2.4.3.4	Arka ve yan duvarlar.....	45
2.4.4	Sahne tasarımı.....	46
2.4.4.1	Orkestra kabuğu.....	47
2.4.4.2	Orkestra liftleri.....	48
2.4.4.3	Sahne-önü (forestage) yansıtıcıları.....	49
2.4.5	Malzemeler.....	50
2.4.5.1	Ses yansıtıcı paneller.....	50
2.4.5.2	Saçıcı yüzey veya birimler.....	50
2.4.5.3	Yutucu yüzey veya birimler.....	51
<b>3.</b>	<b>GÜÇLENDİRİLMİŞ MÜZİK KARAKTERİSTİĞİ.....</b>	<b>55</b>
3.1	Elektro-akustik Sistemler.....	56
3.1.1	Elektro-akustik sistemlerin işlevleri ve amaçları.....	56
3.1.2	Hoparlörler ile direkt sesi iletme.....	59
3.1.3	Elektro-akustik sistemlerin çeşitleri.....	60
3.1.3.1	Merkezi sistem.....	60
3.1.3.2	Yayıcı sistem.....	60
3.1.3.3	Merkezi ve yayıcı sistemin birleşimi.....	62
3.1.4	Hacimde hoparlörlerin yerleşim biçimleri.....	64
3.1.4.1	Sanal nokta kaynaklar.....	64

3.1.4.2 Yönelimli derin bas hoparlör sıraları .....	64
3.1.4.3 Çizgisel sıralı hoparlörler .....	65
3.1.5 Elektro-akustik sistemlerin performans testi .....	66
3.2 Sistem Tasarım Prensipleri .....	66
3.2.1 Salon boyutları ve formu .....	67
3.2.2 Sahne ve çevresi .....	67
3.2.3 Yüzey malzemeleri .....	68
3.2.4 Çok amaçlı salonlar .....	68
<b>4. SALONUN TASARLANMASI VE SİMÜLASYON KABULLERİ .....</b>	<b>71</b>
4.1 Hacim Tasarımı ve Ön Kabulleri .....	71
4.1.1 Salon 1 .....	73
4.1.2 Salon 2 .....	75
4.1.3 Salon 3 .....	77
4.2 Malzeme Kabulleri .....	79
4.2.1 Zemin .....	83
4.2.2 Arka duvar .....	84
4.2.3 Parter duvarı .....	85
4.2.4 Tavan .....	86
4.2.5 Bölücü perde .....	87
4.2.6 Sahne kabuğu .....	88
4.3 Akustik Simülasyon Yönteminin Açıklanması .....	89
4.4 Ses Kaynağı ve Alıcıların Konumlandırılması .....	91
4.4.1 Salon 2 için orkestral kaynak oluşturulması .....	95
4.4.2 Salon 3 için elektro-akustik kaynak oluşturulması .....	96
4.5 Parametreler ile İlgili Kabuller .....	98
4.5.1 Çınlama süresinin planlanması .....	98
4.5.2 Parametreler .....	100
4.6 Salonların Değerlendirme ve Karşılaştırma Yöntemlerinin Açıklanması .....	101
<b>5. SİMÜLASYON SONUÇLARININ İRDELENMESİ .....</b>	<b>103</b>
5.1 Salonun Spor Salonu İşlevinde Akustik Analizi – Salon 1 .....	103
5.1.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT) .....	103
5.1.2 Sesin iletimi ve eko kontrolü .....	109
5.2 Salonun Klasik (Senfonik) Müzik Konser Salonu İşlevinde Akustik Analizi – Salon 2 .....	112
5.2.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT) .....	113
5.2.2 Netlik ( $C_{80}$ ) .....	119
5.2.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ ) .....	123
5.2.4 Merkez süre ( $T_s$ ) .....	126
5.2.5 Bas oranı (BR) .....	128
5.2.6 Ses şiddeti (G) .....	130
5.2.7 Sesin iletimi ve eko kontrolü .....	133
5.3 Salonun Güçlendirilmiş Müzik Konser Salonu İşlevinde Akustik Analizi – Salon 3 .....	136
5.3.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT) .....	136
5.3.2 Netlik ( $C_{80}$ ) .....	142
5.3.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ ) .....	147
5.3.4 Merkez süre ( $T_s$ ) .....	150
5.3.5 Bas oranı (BR) .....	152
5.3.6 Ses şiddeti (G) .....	154
5.3.7 Konuşmada netlik ( $C_{50}$ ) .....	155

5.3.8 Konuşma iletim indeksi (STI).....	158
5.3.9 Sesin iletimi ve eko kontrolü.....	160
5.4 Salon 2 Üzerinde Orkestral Kaynak Etkisinin Akustik Analizi .....	164
5.4.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT) .....	164
5.4.2 Netlik ( $C_{80}$ ).....	168
5.4.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ ).....	169
5.4.4 Merkez süre ( $T_s$ ).....	170
5.4.5 Bas oranı (BR).....	172
5.4.6 Ses şiddeti (SPL) .....	173
5.4.7 Eko kontrolü.....	173
5.5 Salon 3 Üzerinde Elektro-akustik Kaynak Etkisinin Akustik Analizi .....	175
5.5.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT) .....	175
5.5.2 Netlik ( $C_{80}$ ).....	179
5.5.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ ).....	180
5.5.4 Merkez süre ( $T_s$ ).....	183
5.5.5 Bas oranı (BR).....	184
5.5.6 Ses şiddeti (SPL) .....	186
5.5.7 Konuşmada netlik ( $C_{50}$ ).....	187
5.5.8 Konuşma iletim indeksi (STI).....	189
5.5.9 Eko kontrolü.....	190
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>193</b>
6.1 Üç Ayrı Tasarım Varyasyonunun Karşılaştırma Analizleri .....	195
6.1.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT) .....	195
6.1.2 Netlik ( $C_{80}$ ).....	197
6.1.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ ).....	200
6.1.4 Merkez süre ( $T_s$ ).....	202
6.2 Üç Ayrı Tasarım Varyasyonunun Değerlendirilmesi.....	204
6.2.1 Salon 1.....	204
6.2.2 Salon 2.....	204
6.2.3 Salon 3.....	205
6.3 Genel Değerlendirmeler .....	206
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>209</b>

## KISALTMALAR

<b>T, RT</b>	: Çınlama Süresi (60 dB)
<b>T<sub>30</sub></b>	: Çınlama Süresi (30 dB)
<b>EDT, T<sub>10</sub></b>	: Erken Düşme Süresi (10 dB)
<b>G</b>	: Ses Şiddeti
<b>SPL</b>	: Ses Basınç Düzeyi
<b>BR</b>	: Bas Oranı (RT)
<b>ITDG</b>	: İlk Ulaşım Gecikmesi
<b>T<sub>s</sub></b>	: Merkez Süre
<b>LF<sub>80</sub></b>	: Erken Yanal Enerji Oranı
<b>L<sub>j</sub></b>	: Geç Yanal Enerji Oranı
<b>IACC</b>	: Kulaklar Arası Çapraz Korelasyon Katsayısı
<b>D<sub>50</sub></b>	: Ayırt Edilebilirlik
<b>C<sub>80</sub></b>	: Müzik İçin Netlik
<b>C<sub>50</sub></b>	: Konuşma İçin Netlik
<b>C<sub>7</sub></b>	: Direktlik
<b>STI</b>	: Konuşma İletim İndeksi
<b>AI</b>	: Telaffuz İndeksi
<b>RASTI</b>	: Hızlı Konuşma İletim İndeksi
<b>SDI</b>	: Ses Yayılım İndeksi
<b>BQI</b>	: Çift Kulakla Kalite İndeksi
<b>LEV</b>	: Dinleyicinin Kuşatılması
<b>C</b>	: Eğrilik
<b>ST<sub>ERKEN</sub></b>	: Erken Destek
<b>ST<sub>GEÇ</sub></b>	: Geç Destek
<b>NC</b>	: Arka Plan Gürültüsü
<b>HVAC</b>	: Isıtma, Havalandırma, İklimendirme Sistemleri





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : STI ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişki [4].	23
<b>Çizelge 2.2</b> : Telaffuz indeksi hesaplanırken kullanılan ağırlık faktörleri [17].	25
<b>Çizelge 2.3</b> : AI ve konuşma anlaşılabilirliği arasındaki ilişki [17].	26
<b>Çizelge 4.1</b> : Faklı işlevlerde salonlar için sağlanması gereken hacim/kişi oranları [4].	72
<b>Çizelge 4.2</b> : Güçlendirilmiş müzik için tasarlanmış 20 salon içindeki en iyi 10 salonun hacim/kişi oranları [20].	72
<b>Çizelge 4.3</b> : Hafif döşeli koltuk ve seyircilerin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.11057).	79
<b>Çizelge 4.4</b> : Pürüzsüz brüt betonun frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.101).	80
<b>Çizelge 4.5</b> : Ahşap yüzer döşemenin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.3001).	80
<b>Çizelge 4.6</b> : Cam bloğun frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.10000).	80
<b>Çizelge 4.7</b> : Metal konstrüksiyonlu alçı duvarın frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.4044).	80
<b>Çizelge 4.8</b> : Kontrplak panelin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.3063).	81
<b>Çizelge 4.9</b> : Çerçeve üzerine sabitlenmiş 13 mm alçı levhanın frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.4042).	81
<b>Çizelge 4.10</b> : Ağır velür perdenin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.8010).	81
<b>Çizelge 4.11</b> : AqTubes, şişen membran tüplerin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.6200).	81
<b>Çizelge 4.12</b> : 16 mm ahşap panelin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.3064).	82
<b>Çizelge 4.13</b> : Çerçeve üzerine sabitlenmiş 13 mm alçı levhanın frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.4042).	82
<b>Çizelge 4.14</b> : 50 mm kalınlığında mineral yününün frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.12006).	82
<b>Çizelge 4.15</b> : Barrisol mikroperfore panelin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.14100).	83
<b>Çizelge 4.16</b> : Salonda oluşturulan farklı enstrümantal kaynaklar için referans alınan ses gücü düzeyleri [23].	96
<b>Çizelge 4.17</b> : Faklı işlevlerde salonlar için dolu halde iken sağlanması gereken (500-1000 Hz) çınlama süreleri [25].	98
<b>Çizelge 4.18</b> : Klasik müzik için belirlenen çınlama süresi katsayıları [26].	99
<b>Çizelge 4.19</b> : Güçlendirilmiş müzik için belirlenen çınlama eğrisi katsayıları.	100
<b>Çizelge 4.20</b> : Spor Salonu Parametreleri (Salon 1).	100
<b>Çizelge 4.21</b> : Klasik Müzik Parametreleri (Salon 2).	100
<b>Çizelge 4.22</b> : Güçlendirilmiş Müzik Parametreleri (Salon 3).	101



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Yankılanma oluşumu ve çözümü (sağda) [4].....	6
Şekil 2.2 : Tekrarlayan yankı oluşumu ve çözümü (sağda) [4].....	7
Şekil 2.3 : Odaklanma oluşumu ve çözümü (sağda) [4].....	7
Şekil 2.4 : Sesin taşınması kusuru ve çözümü (sağda) [4].....	8
Şekil 2.5 : Aşırı ses gücü kusuru ve çözümü (sağda) [4].....	8
Şekil 2.6 : Rezonans sorununun ses basınç düzeyi grafiği üzerinde görünümü [4]. ...	9
Şekil 2.7 : Hacimde rezonans oluşumu (üstte) ve çözüm yöntemi (altta) [4].....	9
Şekil 2.8 : Büyük çok amaçlı salonlarda balkon altlarında görülen ses gölgeleri (B)Arka sıranın proskenyon açıklığına olan görüş açısı; (D)Arka sıranın proskenyon açıklığına olan görüş açısı [5].....	10
Şekil 2.9 : Çınlama süresi ölçümünün şematik gösterimi (solda); çınlama süresi T ve erken düşüş süresi EDT ölçümünün realistik gösterimi (sağda) [7]. ....	12
Şekil 2.10 : Salon boşken, sahne önünden 3 m geride yerleştirilmiş yönsüz (nondirectional) bir ses kaynağından (PWL:100 dB) farklı uzaklıklardaki ses seviyesi. Baltimore, Meyerhoff Senfoni Salonu [6].....	14
Şekil 2.11 : Direkt ses, erken yansımalar ve sonraki yansımaların görünümü [7]. ...	17
Şekil 2.12 : Texas Dell Hall’da dinleyiciye ulaşan $C_{80}$ netlik yansımaları [5].....	19
Şekil 2.13 : Hacimde yükseklik / genişlik oranı etkisi [4].....	21
Şekil 2.14 : Alıcı noktasındaki zaman endeksli sinyallerin şematik diyagramı [11].	26
Şekil 2.15 : NC eğrileri [4]. ....	27
Şekil 2.16 : Yüzeylerdeki yansıma ve saçılım etkileri [4].....	29
Şekil 2.17 : Büyük bir çok amaçlı salonda balkon yüzeylerinin yardımı ile orta aks üzerinde yanal yansımaların ve kucaklama etkisinin artırılması [5].....	32
Şekil 2.18 : New York, Alice Tully Hall’daki yüksek frekans konik saçıcılar, (A)değişken koni yüksekliği ve taban ölçüsü; (B)koniler arasındaki sabit aralık; (C)plan kesiti; (D)enine kesiti [5]. ....	34
Şekil 2.19 : Örnek bir alıcı yansıma diyagramının görünümü.....	38
Şekil 2.20 : Tarihsel süreç boyunca salonların mimari tasarımlarında görülen değişimler ve nesnel parametrelere etkileri [4]. ....	40
Şekil 2.21 : Performans türüne bağlı olarak seyircilerin organik yerleşimi [16].....	42
Şekil 2.22 : Konser salonlarında görülen 4 ana plan şeması (a)fan; (b)arena; (c)at nalı; (d)dikdörtgen [16]. ....	42
Şekil 2.23 : Salonların boyuna kesitleri (a)kötü; (b)iyi [11].....	43
Şekil 2.24 : İç bükey tavanların yarıçapının belirlenmesi (x:odak noktası) [18].....	44
Şekil 2.25 : Balkon uygulamalarından kesitler (a)kötü; (b)iyi [11].....	44
Şekil 2.26 : Salon eğiminin tasarımı [11]. ....	45
Şekil 2.27 : Dairesel plan tipinin akustik iyileştirilmesi (a)kötü; (b)iyi [11].....	46
Şekil 2.28 : Fan plan tipinin akustik iyileştirilmesi (a)kötü; (b)iyi [11].....	46

<b>Şekil 2.29</b> : Globe-News Center'in orkestra kabuğu (A)raylara asılı ahşap kabuk; (B)depolama alanındaki kabuk; (C)havalandırma ve ışıklandırmaya izin veren açıklıklar; (D)tekli lift [5].	47
<b>Şekil 2.30</b> : Sahnede kullanılan farklı orkestra liftleri (solda)tekli; (ortada)ikili; (sağda)üçlü [5].	48
<b>Şekil 2.31</b> : Schuster PAC'de üçlü lift üzerindeki sahne kesiti (F)Tavana asılı sahne-önü yansıtıcıları [5].	49
<b>Şekil 2.32</b> : Yansıtıcı eleman boyutlandırılması (a)boyu; (b)derinliği [11].	50
<b>Şekil 2.33</b> : Karesel çökeltiye (quadratic residue) dayanan difüzör uygulaması (a)yüzeyin kesiti; (b)gelen sesin dalgaboyu, saçının tasarlandığı frekans aralığının üst sınırının yarısı olduğunda meydana gelen yansıma yönelimi [11].	51
<b>Şekil 2.34</b> : Yutuculuk mekanizmaları ve temel karakteristikleri [2].	51
<b>Şekil 2.35</b> : Gözenekli (A), panel (B) ve kompozit yutucular (C) [19].	52
<b>Şekil 2.36</b> : Akustik yutucu malzemeler ve frekans bantlarındaki performansları [19].	52
<b>Şekil 3.1</b> : Bir salonda 15 farklı rock ve pop müzik konserleri esnasında oluşan eşdeğer gürültü düzeyleri ( $L_{eq}$ ) ortalaması [20].	55
<b>Şekil 3.2</b> : Rock ve pop müzikte kullanılan farklı kaynakların temel frekans aralığı [20].	56
<b>Şekil 3.3</b> : Rock ve pop müzikte kullanılan, monitör hoparlörlerin yer aldığı, örnek bir elektro-akustik sistem şeması [20].	57
<b>Şekil 3.4</b> : Gecikmeli hoparlör sisteminin tasarım prensibi [4].	58
<b>Şekil 3.5</b> : Üç tip hoparlör yerleşiminin ses yayılım biçimleri [11].	60
<b>Şekil 3.6</b> : Gecikmeli hoparlörlerin farklı hacim formlarında konumlandırılması (M)mikrofon; (A)amplifikatör; (H, H')hoparlörler [21].	61
<b>Şekil 3.7</b> : Ses kaynağının konumunu kontrol etmede kullanılan, gecikmeli yaygın hoparlör yerleşimi prensibi [11].	62
<b>Şekil 3.8</b> : Çok amaçlı bir salonda sahne çevresinde hoparlör yerleşimi örneği [11].	62
<b>Şekil 3.9</b> : Farklı hoparlör tipi örnekleri [11].	63
<b>Şekil 3.10</b> : Solda dikey konumlandırılmış kalp biçimli derin bas hoparlör (subwoofer) yerleşimi, sağda ise yatay konumlandırılmış sıralı yerleşim gösterilmektedir [20].	65
<b>Şekil 3.11</b> : Çizgisel sıralı hoparlör yerleşiminin plandaki ses gücü yayılımı [20].	65
<b>Şekil 3.12</b> : Çizgisel sıralı hoparlör yerleşiminin kesitteki ses gücü yayılımı [20].	66
<b>Şekil 4.1</b> : Rock müzik için en iyi ve en kötü olarak değerlendirilerek gruplandırılmış 10'ar salonun çınlama sürelerinin ortalaması [20].	72
<b>Şekil 4.2</b> : Salon 1 planı.	74
<b>Şekil 4.3</b> : Salon 1 A-A kesiti.	74
<b>Şekil 4.4</b> : Salon 1 B-B kesiti.	74
<b>Şekil 4.5</b> : Salon 1 C-C kesiti.	75
<b>Şekil 4.6</b> : Salon 2 planı.	76
<b>Şekil 4.7</b> : Salon 2 A-A kesiti.	76
<b>Şekil 4.8</b> : Salon 2 B-B kesiti.	76
<b>Şekil 4.9</b> : Salon 2 C-C kesiti.	77
<b>Şekil 4.10</b> : Salon 3 planı.	78
<b>Şekil 4.11</b> : Salon 3 A-A kesiti.	78
<b>Şekil 4.12</b> : Salon 3 B-B kesiti.	78
<b>Şekil 4.13</b> : Salon 3 C-C kesiti.	79

<b>Şekil 4.14</b> : Çok amaçlı salon, spor salonu döşeme sistemi [5].	83
<b>Şekil 4.15</b> : Membran tüplerin açık ve kapalı durumlarındaki yutuculuk katsayısı, $\alpha$ ortalamaları (gri)açık; (siyah)kapalı [22].	84
<b>Şekil 4.16</b> : Salon arka duvar kesiti (A)AqTubes şişen membran tüpler; (B)ray strüktürü (C)arka duvardaki panel-cep sistemi (D)ahşap saçıcı akustik paneller.	85
<b>Şekil 4.17</b> : Parter duvarı detayı (solda)kesit; (sağda)görünüş.	85
<b>Şekil 4.18</b> : Kayar panelli tavan sistemi.	86
<b>Şekil 4.19</b> : Tavan panellerinin ızgara düzeni (A tipi paneller)beyaz; (B tipi paneller)koyu gri; (C tipi paneller)açık gri.	87
<b>Şekil 4.20</b> : Bölücü perde sistemi bileşenleri (A)çelik kasa; (B)motor; (C)kablo makarası; (D)çift katmanlı velür kumaş; (E)çelik kablo [5].	88
<b>Şekil 4.21</b> : Örnek bir kabuk kulesinin izometrik görünüşü [5].	88
<b>Şekil 4.22</b> : Hesaplama kullanılan parametre ayarları.	89
<b>Şekil 4.23</b> : Hesaplama kullanılan ortam koşulları.	90
<b>Şekil 4.24</b> : Salon 1 için belirlenen kaynak ve alıcı konumları.	92
<b>Şekil 4.25</b> : Salon 2 için belirlenen kaynak ve alıcı konumları.	93
<b>Şekil 4.26</b> : Salon 3 için belirlenen kaynak ve alıcı konumları.	94
<b>Şekil 4.27</b> : Çok amaçlı bir salon için orkestra yükseltme sistemi örneği [5].	95
<b>Şekil 4.28</b> : Salon 2 için tasarlanan sahne yerleşim düzeni.	95
<b>Şekil 4.29</b> : Salon 3 için tasarlanan elektro-akustik kaynak düzeni ve hoparlörlere verilen gecikme süreleri.	97
<b>Şekil 4.30</b> : Elektro-akustik kaynakların model üzerindeki görünümü.	97
<b>Şekil 4.31</b> : Rock ve pop müzik sergilenen salonlar için önerilen çınlama süresi [20].	98
<b>Şekil 4.32</b> : Salonların hacmi ve işlevine göre sahip olması gereken çınlama süreleri [19, 20].	99
<b>Şekil 5.1</b> : Salon 1 genelinde hesaplanan çınlama sürelerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.	104
<b>Şekil 5.2</b> : Salon 1'de alıcı noktalarda ölçülen $T_{30}$ değerlerinin salonun yalın hali ile karşılaştırılması (1000 Hz).	105
<b>Şekil 5.3</b> : Salon 1'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_{30}$ değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).	106
<b>Şekil 5.4</b> : Salon 1'de alıcı noktalarında ölçülen EDT ve $T_{30}$ değerleri (1000 Hz).	107
<b>Şekil 5.5</b> : Salon 1 için 28 ve 33 numaralı alıcıların konumları.	107
<b>Şekil 5.6</b> : Salon 1'de 28 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).	108
<b>Şekil 5.7</b> : Salon 1'de 28 numaralı alıcının enerji diyagramı.	108
<b>Şekil 5.8</b> : Salon 1'de 33 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).	109
<b>Şekil 5.9</b> : Salon 1'de 33 numaralı alıcının enerji diyagramı.	109
<b>Şekil 5.10</b> : Salon 1'de 50. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.	110
<b>Şekil 5.11</b> : Salon 1'de 80. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.	110
<b>Şekil 5.12</b> : Salon 1'de 135. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.	110
<b>Şekil 5.13</b> : Salon 1'de alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).	111
<b>Şekil 5.14</b> : Salon 1 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri (1000 Hz).	111
<b>Şekil 5.15</b> : Salon 1'de 37 numaralı alıcıda ölçülen Echo(Dietsch) eğrisi.	112
<b>Şekil 5.16</b> : Salon 2 genelinde hesaplanan çınlama sürelerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.	113

<b>Şekil 5.17</b> : Salon 2'de alıcı noktalarda ölçülen $T_{30}$ değerlerinin salonun yalın hali ile karşılaştırılması (1000 Hz). .....	113
<b>Şekil 5.18</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_{30}$ değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). .....	114
<b>Şekil 5.19</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). .....	115
<b>Şekil 5.20</b> : Salon 2'de alıcı noktalarında ölçülen EDT ve $T_{30}$ değerleri (1000 Hz). .....	116
<b>Şekil 5.21</b> : Salon 2 için 27 ve 36 numaralı alıcıların konumları. ....	116
<b>Şekil 5.22</b> : Salon 2'de 36 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz). ....	117
<b>Şekil 5.23</b> : Salon 2'de 36 numaralı alıcının enerji diyagramı. ....	117
<b>Şekil 5.24</b> : Salon 2'de 27 numaralı alıcıya ulaşan direkt ses (106 ms). ....	118
<b>Şekil 5.25</b> : Salon 2'de 27 numaralı alıcının enerji diyagramı. ....	118
<b>Şekil 5.26</b> : Salon 2'de 27 numaralı alıcının enerji düşüş eğrisi. ....	119
<b>Şekil 5.27</b> : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama $C_{80}$ değerleri ve maksimum, minimum sınır değerleri ile karşılaştırması. ....	120
<b>Şekil 5.28</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen $C_{80}$ değerleri (1000 Hz). ....	120
<b>Şekil 5.29</b> : Salon 2 için 13,19,27 ve 32 numaralı alıcının konumu. ....	121
<b>Şekil 5.30</b> : Salon 2'de 32 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz). ....	121
<b>Şekil 5.31</b> : Salon 2'de 32 numaralı alıcının enerji diyagramı. ....	122
<b>Şekil 5.32</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $C_{80}$ değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	122
<b>Şekil 5.33</b> : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama $LF_{80}$ değerleri ve maksimum, minimum sınır değerler ile karşılaştırması. ....	124
<b>Şekil 5.34</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen $LF_{80}$ değerleri (1000 Hz). ....	124
<b>Şekil 5.35</b> : 41 numaralı alıcının aldığı yansıma yönleri. ....	125
<b>Şekil 5.36</b> : 29 numaralı alıcının aldığı yansıma yönleri. ....	125
<b>Şekil 5.37</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $LF_{80}$ değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	126
<b>Şekil 5.38</b> : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama $T_s$ değerleri ve maksimum, minimum sınır değerler ile karşılaştırması. ....	127
<b>Şekil 5.39</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen $T_s$ değerleri (1000 Hz). ....	127
<b>Şekil 5.40</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_s$ değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	128
<b>Şekil 5.41</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri. ....	129
<b>Şekil 5.42</b> : Salon 2 için 30 numaralı alıcıda ölçülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri. ....	129
<b>Şekil 5.43</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması. ....	130
<b>Şekil 5.44</b> : Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum ve ortalama G değerleri. ....	131
<b>Şekil 5.45</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçülen G değerleri (1000 Hz). ....	131
<b>Şekil 5.46</b> : Salon 2 için 35, 36 ve 37 numaralı alıcıların konumları. ....	132
<b>Şekil 5.47</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen G değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	132
<b>Şekil 5.48</b> : Salon 2'de 50. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi. ....	133
<b>Şekil 5.49</b> : Salon 2'de 80. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi. ....	133
<b>Şekil 5.50</b> : Salon 2'de 135. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi. ....	133

<b>Şekil 5.51</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	134
<b>Şekil 5.52</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri (1000 Hz).....	134
<b>Şekil 5.53</b> : Salon 2'de 32 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi (1000 Hz).....	135
<b>Şekil 5.54</b> : Salon 2'de 32 numaralı alıcının enerji diyagramı.....	135
<b>Şekil 5.55</b> : Salon 3 genelinde hesaplanan çınlama sürelerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.....	136
<b>Şekil 5.56</b> : Salon 3'te alıcı noktalarda ölçülen $T_{30}$ değerlerinin salonun yalın hali ile karşılaştırılması (1000 Hz).....	137
<b>Şekil 5.57</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_{30}$ değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	138
<b>Şekil 5.58</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	138
<b>Şekil 5.59</b> : Salon 3'te alıcı noktalarında ölçülen EDT ve $T_{30}$ değerleri (1000 Hz).....	139
<b>Şekil 5.60</b> : Salon 3 için 29 ve 45 numaralı alıcıların konumları.....	139
<b>Şekil 5.61</b> : Salon 3'te 29 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).....	140
<b>Şekil 5.62</b> : Salon 3'te 29 numaralı alıcının enerji diyagramı.....	140
<b>Şekil 5.63</b> : Salon 3'te 29 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi.....	141
<b>Şekil 5.64</b> : Salon 3'te 45 numaralı alıcıya ulaşan direkt ses.....	141
<b>Şekil 5.65</b> : Salon 3'te 45 numaralı alıcının enerji diyagramı.....	142
<b>Şekil 5.66</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $C_{80}$ değerlerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.....	143
<b>Şekil 5.67</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen $C_{80}$ değerleri (1000 Hz).....	143
<b>Şekil 5.68</b> : Salon 3 için 32, 40 ve 45 numaralı alıcıların konumları.....	144
<b>Şekil 5.69</b> : Salon 3'te 32 numaralı alıcının düşüş eğrisi.....	144
<b>Şekil 5.70</b> : Salon 3'te 32 numaralı alıcının enerji diyagramı.....	145
<b>Şekil 5.71</b> : Salon 3'te 40 numaralı alıcının düşüş eğrisi.....	145
<b>Şekil 5.72</b> : Salon 3'te 40 numaralı alıcının enerji diyagramı.....	146
<b>Şekil 5.73</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $C_{80}$ değerlerinin salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	146
<b>Şekil 5.74</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $LF_{80}$ değerlerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.....	147
<b>Şekil 5.75</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen $LF_{80}$ değerleri (1000 Hz)....	148
<b>Şekil 5.76</b> : Salon 3 için 3 ve 45 numaralı alıcıların konumları.....	148
<b>Şekil 5.77</b> : Salon 3 için 45 numaralı alıcıya ulaşan enerji yoğunluğu.....	149
<b>Şekil 5.78</b> : Salon 3 için 3 numaralı alıcıya ulaşan enerji yoğunluğu.....	149
<b>Şekil 5.79</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $LF_{80}$ değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	150
<b>Şekil 5.80</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $T_s$ değerleri ve kriter değerler ile karşılaştırılması.....	151
<b>Şekil 5.81</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen $T_s$ değerleri (1000 Hz).....	151
<b>Şekil 5.82</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_s$ değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	152
<b>Şekil 5.83</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri.....	153
<b>Şekil 5.84</b> : Salon 3 için 20 numaralı alıcıda ölçülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri.....	153
<b>Şekil 5.85</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması.....	154

<b>Şekil 5.86</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama G değerleri ve kriter değerler ile karşılaştırılması. ....	155
<b>Şekil 5.87</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçülen G değerleri (1000 Hz). ....	155
<b>Şekil 5.88</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $C_{50}$ değerlerinin minimum kriter değer ile karşılaştırılması. ....	156
<b>Şekil 5.89</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen $C_{50}$ değerleri (1000 Hz). ....	157
<b>Şekil 5.90</b> : Salon 3 için 21 ve 36-45 numaralı alıcıların konumları. ....	157
<b>Şekil 5.91</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $C_{50}$ değerlerinin salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	158
<b>Şekil 5.92</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen STI değerleri. ....	159
<b>Şekil 5.93</b> : Salon 3 için 5, 32, 35 ve 45 numaralı alıcıların konumları. ....	159
<b>Şekil 5.94</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen STI değerlerinin salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması. ....	160
<b>Şekil 5.95</b> : Salon 3'te 50. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi. ....	160
<b>Şekil 5.96</b> : Salon 3'te 80. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi. ....	161
<b>Şekil 5.97</b> : Salon 3'te 135. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi. ....	161
<b>Şekil 5.98</b> : Salon 3'te 180. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi. ....	161
<b>Şekil 5.99</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	162
<b>Şekil 5.100</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri (1000 Hz). ....	162
<b>Şekil 5.101</b> : Salon 3'te 40 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi. ....	163
<b>Şekil 5.102</b> : Salon 3 (Y.H.)'de 19 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi. ....	163
<b>Şekil 5.103</b> : Salon 2 genelinde orkestral kaynak ile ölçülen çınlama sürelerinin karşılaştırılması. ....	164
<b>Şekil 5.104</b> : Salon 2'de alıcı noktalarda ölçülen $T_{30}$ değerlerinin orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırılması (1000 Hz). ....	165
<b>Şekil 5.105</b> : Salon 2'de 10, 14 ve 22 numaralı alıcıların konumları. ....	165
<b>Şekil 5.106</b> : Salon 2'de 14 numaralı alıcının enerji diyagramı (Orkestra). ....	166
<b>Şekil 5.107</b> : Salon 2'de 14 numaralı alıcının enerji diyagramı. ....	166
<b>Şekil 5.108</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_{30}$ değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	167
<b>Şekil 5.109</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	167
<b>Şekil 5.110</b> : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama $C_{80}$ değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırılması. ....	168
<b>Şekil 5.111</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $C_{80}$ değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	169
<b>Şekil 5.112</b> : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama $LF_{80}$ değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırılması. ....	169
<b>Şekil 5.113</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $LF_{80}$ değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	170
<b>Şekil 5.114</b> : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama $T_s$ değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırılması. ....	171
<b>Şekil 5.115</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_s$ değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	171
<b>Şekil 5.116</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri ve orkestral kaynak ile karşılaştırılması. ....	172



<b>Şekil 5.117</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması. ....	172
<b>Şekil 5.118</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen SPL değerlerinin grid analiz üzerinden görünümü (1000 Hz). ....	173
<b>Şekil 5.119</b> : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, orkestral kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	174
<b>Şekil 5.120</b> : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırılması (1000 Hz). ....	174
<b>Şekil 5.121</b> : Salon 3 genelinde elektro-akustik kaynak ile ölçülen çınlama sürelerinin karşılaştırılması. ....	176
<b>Şekil 5.122</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_{30}$ değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	176
<b>Şekil 5.123</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	177
<b>Şekil 5.124</b> : Salon 3'te alıcı noktalarında, elektro-akustik kaynak ile ölçülen EDT ve $T_{30}$ değerleri (1000 Hz). ....	177
<b>Şekil 5.125</b> : Salon 3 için 12 ve 45 numaralı alıcıların konumları. ....	178
<b>Şekil 5.126</b> : 45 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi. ....	178
<b>Şekil 5.127</b> : 12 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi. ....	179
<b>Şekil 5.128</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $C_{80}$ değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması. ....	179
<b>Şekil 5.129</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $C_{80}$ değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	180
<b>Şekil 5.130</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $LF_{80}$ değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması. ....	181
<b>Şekil 5.131</b> : Salon 3'te alıcılar bazında ölçümlenen $LF_{80}$ değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması (1000 Hz). ....	181
<b>Şekil 5.132</b> : Salon 3 için 5, 32 ve 45 numaralı alıcıların konumları. ....	182
<b>Şekil 5.133</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $LF_{80}$ değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	182
<b>Şekil 5.134</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $T_s$ değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması. ....	183
<b>Şekil 5.135</b> : Salon 3'te alıcılar bazında ölçümlenen $T_s$ değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması (1000 Hz). ....	184
<b>Şekil 5.136</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $T_s$ değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz). ....	184
<b>Şekil 5.137</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırılması. ....	185
<b>Şekil 5.138</b> : Salon 3 için 45 numaralı alıcı bazında ölçümlenen çınlama sürelerinin ( $T_{30}$ ) karşılaştırılması. ....	185
<b>Şekil 5.139</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması. ....	186
<b>Şekil 5.140</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen SPL değerlerinin grid analiz üzerinden görünümü (1000 Hz). ....	187
<b>Şekil 5.141</b> : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama $C_{50}$ değerlerinin elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırılması. ....	188

<b>Şekil 5.142</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen $C_{50}$ değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	188
<b>Şekil 5.143</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen STI değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması.....	189
<b>Şekil 5.144</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen STI değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması. ....	190
<b>Şekil 5.145</b> : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).....	190
<b>Şekil 5.146</b> : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırılması (1000 Hz). ....	191
<b>Şekil 5.147</b> : Salon 3 için 24 numaralı alıcının konumu.....	191
<b>Şekil 5.148</b> : 24 numaralı alıcının çok yönlü tekil kaynak ile ölçülen Echo(Dietsch) grafiği. ....	192
<b>Şekil 5.149</b> : 24 numaralı alıcının çok sayıda elektro-akustik kaynak ile ölçülen Echo(Dietsch) grafiği. ....	192
<b>Şekil 6.1</b> : Salonlarda akustik düzenleme sonrasında görülen ses basınç düzeyi (SPL) yayılımları. ....	194
<b>Şekil 6.2</b> : $A_{maks}$ ve $A_{min}$ alıcı noktalarının Salon 1, Salon 2'deki (solda) ve Salon 3'teki konumları (sağda).....	194
<b>Şekil 6.3</b> : Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri. ....	195
<b>Şekil 6.4</b> : Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri.....	196
<b>Şekil 6.5</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{maks}$ alıcısında ölçülen EDT ve $T_{30}$ değerleri. ...	196
<b>Şekil 6.6</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{min}$ alıcısında ölçülen EDT ve $T_{30}$ değerleri.....	197
<b>Şekil 6.7</b> : Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen netlik ( $C_{80}$ ) değerleri. ....	198
<b>Şekil 6.8</b> : Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen netlik ( $C_{80}$ ) değerleri. ....	198
<b>Şekil 6.9</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{maks}$ alıcısında ölçülen $C_{80}$ ve $T_{30}$ değerleri. ....	199
<b>Şekil 6.10</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{min}$ alıcısında ölçülen $C_{80}$ ve $T_{30}$ değerleri. ....	199
<b>Şekil 6.11</b> : Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen yanal yansıma oranı ( $LF_{80}$ ) değerleri. ....	200
<b>Şekil 6.12</b> : Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen yanal yansıma oranı ( $LF_{80}$ ) değerleri. ....	201
<b>Şekil 6.13</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{maks}$ alıcısında ölçülen $LF_{80}$ ve $C_{80}$ değerleri... 201	
<b>Şekil 6.14</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{min}$ alıcısında ölçülen $LF_{80}$ ve $C_{80}$ değerleri. ... 201	
<b>Şekil 6.15</b> : Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen merkez süre ( $T_s$ ) değerleri. ....	202
<b>Şekil 6.16</b> : Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen merkez süre ( $T_s$ ) değerleri. ....	203
<b>Şekil 6.17</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{maks}$ alıcısında ölçülen $T_s$ ve $T_{30}$ değerleri. ....	203
<b>Şekil 6.18</b> : Salon 2 ve Salon 3'te $A_{min}$ alıcısında ölçülen $T_s$ ve $T_{30}$ değerleri.....	204

# SPOR SALONLARININ ÇOK AMAÇLI KULLANIMINDA AKUSTİK PERFORMANSIN MALZEME VE TASARIM DEĞİŞKENLERİ ARACILIĞIYLA İNCELENMESİ

## ÖZET

Günümüzde giderek artan şehir nüfusları ve kısıtlı arsa arzı sebebi ile kültürel etkinliklerin yapılabileceği çok amaçlı mekanların önemi ve kullanımı giderek artmaktadır. Şehir merkezlerinde yer alan mevcut spor salonları, bu konuya çözüm olarak sunulan en genel geçer uygulamadır. Büyük hacimleri ve sahip oldukları yüksek seyirci kapasitesi ile birlikte şehir içinde her daim canlı ve yaşayan bir mekan olarak kullanılmalrı, akla yatkın bir çözüm önerisi olarak gözükmektedir. Ancak farklı müzik türlerindeki konserlerin özel bir akustik tasarım yapılmadan gerçekleştirildiği spor salonlarında, hacimdeki akustik kalite algısı düşmekte ve dinleyici memnuniyeti azalmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, hedeflenen akustik kalite algısını ve dinleyici memnuniyetini sağlayabilmek amacı ile spor salonlarında iki farklı müzik türü için değişkenliği sağlayabilecek tasarım ve malzeme önerileri geliştirilmiştir. Geliştirilen önerilerin performansları, salonların yalın hallerine göre sağlanan değişim üzerinden değerlendirilmiştir.

Bu amaçlar doğrultusunda hazırlanan tez çalışması kapsamında altı ana bölüm yer almaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde, konser etkinliklerinin toplumsal hayat içindeki yerinden bahsedilmiş ve seyircilere hem görsel hem de akustik olarak doğru biçimde aktarılmasının önemi anlatılmıştır. Çok amaçlı salonlara duyulan ihtiyaçtan bahsedilerek, spor salonların bu amaçla kullanılması durumunda karşılaşılan sorunlar belirtilmiştir. Ayrıca, tez çalışması kapsamında izlenen süreç ve yöntemler detaylıca açıklanmıştır.

İkinci bölümde, hacim akustiği gereklilikleri ve bunların konser salonu tasarımlarına olan etkileri incelenmiştir. Tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken temel tasarım parametreleri ve kaçınılması gereken akustik kusurlar belirtilmiştir. Akustik kusurların görüldüğü durumlar ve önerilen çözümler, örnekler üzerinden görselleştirilerek anlatılmıştır. Salonların değerlendirilmesinde kullanılan nesnel ve öznel parametreler açıklanmış, nesnel parametrelerin hesap yöntemleri, öznel parametrelerin ise ilintili olduğu nesnel parametreler belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, rock ve pop gibi güçlendirilmiş müzik türlerinin karakteristiği anlatılmıştır. Spor salonlarının ve güçlendirilmiş müzik türlerinin ayrılmaz bir parçası olan elektro-akustik sistemlerin özellikleri ve çalışma prensipleri belirtilmiş, dikkat edilmesi gereken temel tasarım prensipleri derlenmiştir.

Dördüncü bölümde, tez kapsamında yapılan çalışma için tasarlanan salonun fiziki özellikleri belirtilmiş, inceleme yapılacak durumlar tanımlanmış ve değerlendirme

yöntemleri belirlenmiştir. Spor salonu literatürden incelenen örnekler doğrultusunda geliştirilerek, klasik müzik ve güçlendirilmiş müzik için iki ayrı tasarım varyasyonu oluşturulmuştur. Üç ayrı modelde kullanılan malzemeler ve değişken sistemlerin içerdiği teknik detaylar açıklanmıştır. Hacim akustiği simülasyon programında hacim ayarları, ses kaynağı ve alıcı noktaları için yapılan kabuller belirtilmiştir. Değerlendirmelerde referans olarak alınan parametre değerleri belirtilerek karşılaştırma yöntemleri açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, üç ayrı işlev için oluşturulan modellerin karşılaştırmaları, akustik düzenleme yapılmamış yalın hallerini temsil eden modeller ile akustik simülasyon programında yapılan hesaplamalar kullanılarak yapılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan değerler grafik, şekil ve çizelgeler ile görselleştirilmiştir. Seçilen hacim akustiği parametreleri üzerinden yapılan değerlendirmeler üç ayrı salon modeli için de tekrarlanmış, ek olarak gerçek durumdaki orkestral ve elektro-akustik kaynak etkileri de karşılaştırmalara dahil edilmiştir.

Altıncı bölümde, yapılan tüm değerlendirmeler derlenerek incelenen üç durum arasında sağlanabilen değişkenlik oranı, aynı alıcı noktalarında elde edilen parametre değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Değişken akustik uygulamalarının ve mimari tasarım etkenlerinin, akustik konfor şartlarına ve akustik kusurlara olan etkisine değinilmiştir. Arena plan tipinin doğasından gelen yanal yansıma yetersizliğinden, hacmin büyüklüğünden gelen yansımaların ortalama gidim mesafelerinin uzunluğundan bahsedilmiştir. Sonuç değerlendirmeleri yapılarak çalışmada elde edilen edimler ve çalışmanın uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

# **EXAMINATION OF ACOUSTIC PERFORMANCE VIA MATERIAL AND DESIGN VARIABLES IN MULTIUSE SPORT HALLS**

## **SUMMARY**

Nowadays, the importance and need of multiuse spaces where cultural activities can held in are gradually increasing due to increasing city population and limited land supply. Existing sports halls that are located in the city centers are the most common dwellings offered as a solution to this issue. Their use as a commonly used and living space in the city seems to be plausible solution due to their large volume and high audience capacity. However, the concerts which are held in sports halls without a special acoustic design, cause decrease in listeners' satisfaction and the perception of acoustic quality generally.

The most basic characteristics of sports halls that may cause acoustic problems are having a large volume and a small seating area as against it. For this reason, long reverberation times (T) seems to be typical. Good design of electro-acoustic systems and sound absorbing materials, which are applied to ceiling/walls are significant solutions to set reverberation times below the limit values.

Within this study, design and material proposals are made for the sufficient listeners' satisfaction and the perception of acoustic quality in both symphonic (classical) and amplified (rock/pop) music concerts which are held in sports halls. Developed proposals are compared with its' primitive versions that do not contain special acoustic applications.

For these purposes, thesis consists of six main sections.

In the first chapter, the impact of concert events in communal living and the importance of transferring them perfectly both visually and acoustically to the audience are explained. Ever increasing need of multiuse performance venues and the problems encountered in the use of sport halls for this purpose are discussed. In addition, process steps and the methods followed within this study are explained in detail.

In the second chapter, room acoustics requirements and their impacts on concert hall designs are examined. Factors, which affect room acoustics, are summarized in four titles:

- Situations that may cause acoustic defects and proposed solutions for these situations are explained with illustrations.
- Objective and subjective acoustic parameters, which are needed to be used for the evaluation of room acoustic quality, are explained in detail. For instance, equations for the objective parameters and correlations between the subjective parameters and the objective parameters are given.
- Basic design parameters to take into consideration and probable acoustic defects related with them to be avoided are indicated.

In the third chapter, characteristics of the amplified music like rock and pop are mentioned. An electro-acoustic system's, which is an integral part of amplified music genres and all sports halls' design features, operation and design principles are investigated. Especially, design parameters (critical distance and time delay) which were used within this study are explained in detail.

In the fourth chapter, the physical properties of the hall designed for this study are explained and cases to be examined are defined. The sports hall design was developed in accordance with the examples examined from the literature and two different design variations of it were created additionally: One of them is for classical (symphonic) music and the other one is for amplified (rock/pop) music. The materials used in three different models and the technical details of variable acoustic solutions are explained. Additionally, calculation parameters, source-receiver properties and job lists defined at Odeon Room acoustics software are indicated. Objective acoustic parameters, which were used for the evaluation and comparison within this study, are listed and presented clearly.

In the fifth chapter, comparisons of models, which were created for three separate functions, are made with primitive forms (indicated with Y.H.) of themselves:

- S1, essential form of the sports hall that was acoustically designed for the basketball matches.
- S2, second form of the sports hall that was acoustically designed for the classical (symphonic) music concerts are held in the hall.
- S3, third form of the sports hall that was acoustically designed for the amplified (rock/pop) music concerts are held in the hall.

Primitive forms of themselves were created via using generic materials instead of specially designed variable acoustic solutions: Ceiling was chosen as steel trapeze, rear wall and parter walls were chosen as concrete. Comparisons between the primitive ones and the acoustically designed ones are illustrated with graphics and diagrams.

At the same time, the impact of orchestral and electro-acoustic source, which would be used in the actual conditions of use, are examined within this chapter. It is determined that using orchestral source instead of omnispaker source was increased the uniformity of objective acoustic parameters' distribution. Reflections, which were showed an increase by the use of different instruments could be interpreted positively. Additionally, it is determined that using electro-acoustic source instead of omnispaker source was increased the reverberation times due to delayed speakers. This situation could be interpreted negatively for speech intelligibility.

In the sixth section, provided variability between three halls are examined and evaluated within the same receiver locations. Selected receiver locations are defined as  $A_{max}$  and  $A_{min}$ .  $A_{max}$  is one of the receivers that maximum sound pressure level (SPL) difference is observed between three halls. While,  $A_{min}$  is one of the receivers that minimum sound pressure level (SPL) difference is observed between three halls. Summative assessments are made by comparisons of three halls.

Designed halls for the study are all arena planned as a natural result of using sports hall. While the designs were developing, the ratios were taken from the literature. According to the values obtained for all design variations, it is obvious that arena plan type with extensive dimensions has adverse effects on the acoustic point of view.

Firstly, the extensive form of a sports hall intensifies the late sound energy ratio in the rear part of the hall and it causes adverse acoustical conditions. Additively, excessive lengths of mean free paths are observed because of the large volume. Arena plan type's basic design characteristics, which include the lack of lateral and rear walls cause insufficient lateral reflections, especially in the middle part of the hall.

As a result of the evaluations made for the three design variations, it is understood that the comparisons made by taking the general average of the hall were insufficient to represent the amount of change. For this reason, grid and receiver comparisons should be looked at for analysis that is more detailed.

As a result of the arrangements and variable acoustic applications, it is seemed that the sports halls can be used in concerts as a multiuse space. Due to the provided variability in absorption, the desired acoustic conditions were achieved in case of the hall is used with both passive acoustics (classical music) and active acoustics (sports and amplified music). It is observed that the sound field was made more homogeneous. Therefore, the objective parameters are distributed in a narrower range throughout the hall for all design variations.

Consequently, design proposals developed within this study to obtain acoustical comfort conditions for all listeners can be presented as a solution for these events, which are held in many sports halls without a special acoustic design. With the electronic control systems, it is evaluated that sound technicians can make their usage easily. Besides, the cost of an investment can be compensated in a short time with the events to be held in.





## 1. GİRİŞ

Modern insan için kültürel etkinlikler çağımızda artık bir ihtiyaç haline gelmekte, gelişen bu ihtiyaçlar da toplumsal refahın iyi yönetilmesi ile birlikte konser, tiyatro, opera, dans vb. performansların sergilenebileceği alanlara dönüşmektedir.

Seyirci ile var olan bu performans sanatları yalnızca görsel değil, aynı zamanda işitsel olarak da izleyici/dinleyici ile doğru teması kurabilmelidir. Hem görsel hem de işitsel olarak seyircisine işleyebilen performanslar kalıcı ve gerçek anlamda başarılı sayılabilir. Bu nedenle de bu tür performans salonlarında temel tasarım aşamasından itibaren hacim akustiği gereksinimleri ön plana çıkmaktadır.

Hedeflenen akustik konfor şartlarına erişebilmek, daha temel tasarım aşamasında iken konunun uzmanlarından alınacak desteğe ve gerekli önemin verilmesine bağlıdır. Akustik tasarımı başarılı olarak yapılan bir salonda, nesnel ve öznel değerlendirme parametrelerinin optimum aralıkta olması beklenir. Ancak akustik tasarımcının işe geç müdahil olması ve mevcut mekanların performans salonuna dönüştürülmesi gibi durumlarda, değerlendirme parametrelerinin optimum aralığın dışına çıktığı görülmektedir.

Konserler de bu performans sanatları içinde oldukça önemli bir yere sahip olup, altında yer alan çok sayıdaki farklı müzik türü ile dinleyicisiyle buluşmaktadır. Dolayısıyla oluşan bu yoğun konser salonu ihtiyacına cevap verebilecek mekan gereksinimleri, spor salonları gibi çok sayıda seyirci kapasitesi barındıran hacimlere yönlendirilmektedir. Günümüzde şehir merkezlerinde alan yaratma zorluğu ve ticari kaygılarla çok amaçlı olarak tasarlanmaya başlanan spor salonlarında; fiziksel ortamdaki değişkenliği sağlayan zemin kaplamaları ve toplanabilir tribün uygulamaları sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak salonun akustik tasarım yaklaşımında özellikle elektro-akustik sistemlere ağırlık verilerek, pasif akustiğin önemi göz ardı edilmektedir.

## 1.1 Konu Alanının Tanıtılması

Günümüzde fiziksel yetersizlikler ve ticari kaygılarla, birçok spor salonunda bir gün basketbol maçı yapılırken diğer bir gün ise rock veya klasik müzik konseri yapılmaktadır. Spor salonlarının akustik açıdan sorunlar çıkaran en temel karakteristik özellikleri; büyük bir hacme ve ona kıyasla küçük bir oturma düzenine sahip olmalarıdır. Bu nedenle de uzun çınlama süreleri (T) görülmektedir. Ses sisteminin iyi tasarlanmış olması ve tavanda/duvarlarda yutucu malzemeler kullanılması, istenilen çınlama süresi değerlerine ulaşılabilmesi için önem taşımaktadır [1].

Ancak, kapasitesi genellikle 4000 kişi dolayında olan bu tip orta boyutlu spor salonlarında, yatırım maliyetlerini düşürme amacı ile değişken akustik malzemeler kullanılmamakta ve sergilenen müzik türüne göre bir akustik düzenleme yapılmadan, salonun yalın hali ile konserler düzenlenmektedir [2].

Akustik gereksinimleri literatürde sadece arka plan gürültü düzeyi (NC) ve çınlama süresi (T) ile sınırlı olan spor salonları çok amaçlı olarak kullanıldığında, farklı parametreler de devreye girmektedir. Özellikle mekanik havalandırma sistemlerinin (HVAC) seçiminde arka plan gürültü düzeyi sınırı olarak spor salonları için belirtilen NC-40 yerine, çok amaçlı salonlar için belirtilen NC-25'in kullanılması gerekmektedir [3]. Diğer nesnel ve öznel parametreler de sergilenen müzik türüne göre belirlenerek tasarımlar geliştirilmelidir.

Birbirlerinden oldukça farklı akustik gereksinimlere sahip güçlendirilmiş (rock/pop) ve senfonik müzik türlerinin aynı mekanda sergilenebilmesi, değişken akustik malzemelerin etkin bir biçimde kullanılmasına bağlıdır. Temel olarak elektro-akustik sistemlerin kullanıldığı güçlendirilmiş müzik türlerinde yutucu; sadece pasif akustiğin kullanıldığı senfonik müzik türlerinde ise yansıtıcı/saçıcı ortam şartları gerekmektedir. Hacmin yutuculuk ve saçıcılık karakteristiğinde değişken yüzey malzemeleri ile sağlanabilen değişimler, çok amaçlı kullanım imkanlarını da akustik açıdan geliştirmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, spor salonlarında uygulanabilecek değişken akustik imkanları ile hem senfonik hem de güçlendirilmiş müzik için istenen hacim akustiği şartlarının ne oranda sağlanabileceği incelenmiştir. Literatürden referans alınarak tasarlanan bir spor salonu üzerinde iki farklı müzik türü için oluşturulan tasarım

varyasyonlarında, istenen akustik kaliteye ulaşılabilmesi için tasarım ve malzeme önerileri geliştirilmiştir. Böylelikle, sıklıkla kullanılan plan tipi ve fonksiyonlar üzerinden yürütülen bu çalışma, değişken akustik ile spor salonlarının çok amaçlı kullanımını üzerine bir örnek oluşturacak niteliktedir.

## 1.2 Çalışma Yöntemi

Çalışmada öncelikli olarak yaklaşık 34000 m<sup>3</sup> hacme sahip, 3468 kişi kapasiteli bir spor salonu tasarlanmıştır. Plan tipinin belirlenmesinde literatürdeki spor salonu tasarımlarından yararlanılmış ve bununla paralel olarak bazı salon kabullerinde (boyutlar, hacim, kişi) bulunulmuştur. Ardından, klasik müzik ve güçlendirilmiş müzik konserleri için ayrı ayrı tasarım varyasyonları geliştirilmiştir. Salonun fiziksel özelliklerinin kontrollü olarak değiştirilmesi ile oluşturulan varyasyonlarda noktasal kaynak kullanılarak, hacim akustiği parametreleri üzerinden salonların “yalın hali” ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Salonun özel bir akustik düzenleme yapılmamış yalın halleri, spor salonlarında sıklıkla görülen yüzey malzemelerinden yola çıkılarak oluşturulmuştur.

Salonlarda sırasıyla aşağıdaki tasarım süreçleri izlenmiştir:

- Salonun ideal hacim/kişi oranına göre boyutlarının ve kapasitesinin ayarlanması,
- Müzik türüne göre sahne yerleşimi ve hacim kullanımlarının belirlenmesi,
- Ses ışın analizleri ile uygun tavan reflektörünün tasarlanması,
- Salonun çınlama eğrisini istenilen aralığa getirme amacı ile malzeme seçimlerinin yapılması.

Salonlar, Odeon hacim akustiği simülasyon programında hesaplanmak üzere üç boyutlu olarak modellenmiştir. Programa aktarılan salon modelleri üzerinde deneme yanılma yöntemi izlenerek tasarımlarda ve malzeme seçimlerinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Tasarımlar netleştirildikten sonra, modellerin Odeon hacim akustiği simülasyon programında hesaplamaları gerçekleştirilerek, grid ve noktasal analiz sonuçları derlenmiştir. Bütün salonlarda noktasal çok yönlü bir kaynak sahne üzerine, alıcılar ise seyirci bölümüne yerleştirilmiştir. Genel olarak yapılan karşılaştırmalarda noktasal kaynak kullanılsa da salonun tepkisini irdelemek amacı ile; klasik müzik

için sahnede orkestral kaynak oluşturularak, güçlendirilmiş müzik için de elektro-akustik kaynak oluşturularak, noktasal kaynak etkisi ile karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmalarda kriter olarak  $T_{30}$ , EDT,  $C_{80}$ ,  $LF_{80}$ ,  $T_s$ , BR, G,  $C_{50}$  ve STI nesnel parametreleri kullanılmıştır. Alıcı noktalarda elde edilen sonuçların sayısal olarak değerlendirilmesinin yanı sıra, yüzeylerden elde edilen grid analizler de görsel olarak değerlendirilmiştir. Özel durumların gözlemlendiği alıcı noktaları, yansıma diyagramları ve Echo(Dietsch) grafikleri ile detaylı olarak incelenmiştir.



## 2. AKUSTİK KUSURLAR VE HACİM AKUSTİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Herhangi bir hacim içindeki ses algısını bozan en önemli etkenlerden biri akustik kusurlardır. Tasarım aşamasında belirlenen yüzey formları ve mekandaki konumlanışları gibi dikkat edilmeyen bazı detaylar sonucunda kaynak-alıcı arasındaki sesin iletim yolu bozulabilmekte, bunlar da dinleyicide oluşan akustik kalite algısını kötü yönde etkilemektedir. Akustik kusur olarak tanımlanan bu tür durumlardan, erken tasarım safhasında kaçınılarak tasarımlar geliştirilmelidir.

Salonlarda hacim akustiği koşullarını sağlayan ortam şartları, dinleyiciler ve performans sanatçıları tarafından değerlendirilirken nesnel ve öznel parametreler kullanılmaktadır. Nesnel ve öznel parametre değerleri ise salonun işlevi ve kaynak-alıcı ilişkilerine göre değişkenlik göstermektedir. Sadece müzik işlevi için kullanılan salonlarda bile farklı müzik türleri sergilendiğinde, o müzik türünün akustik gereksinimlerine göre değerlendirme parametreleri de değişmektedir. Örneğin; güçlendirilmiş (rock/pop) müzik türlerinin sergilendiği mekanlar kısa çınlama süreleri üzerine tasarlanırken, klasik müziğin sergilendiği mekanlar daha uzun çınlama süreleri elde etme amacı ile tasarlanmaktadır. Bu durumun temel sebebi de müziğin iletilmesinde kullanılan kaynak tipinin değişkenlik göstermesidir. Güçlendirilmiş müzikte ses hoparlörler ile dinleyicilere ulaştırılırken, klasik müzikte akustik enstrümanlar kullanılmaktadır.

Kaynak-alıcı ilişkisini etkileyen diğer bir etken ise fiziksel ortam şartlarıdır. Ana plan tipi, bölgesel formlar, sahne tasarımı ve malzeme seçimleri gibi mimari tasarım parametreleri ile şekillenen fiziksel ortam şartları, kaynaktan çıkan sesin alıcıda nasıl algılandığını belirleyen faktörlerdir. Müzik algısı, kaynaktan çıkan direkt ses alıcıya ulaştıktan sonra ortamdaki gelen yansımalarla şekillenmektedir.

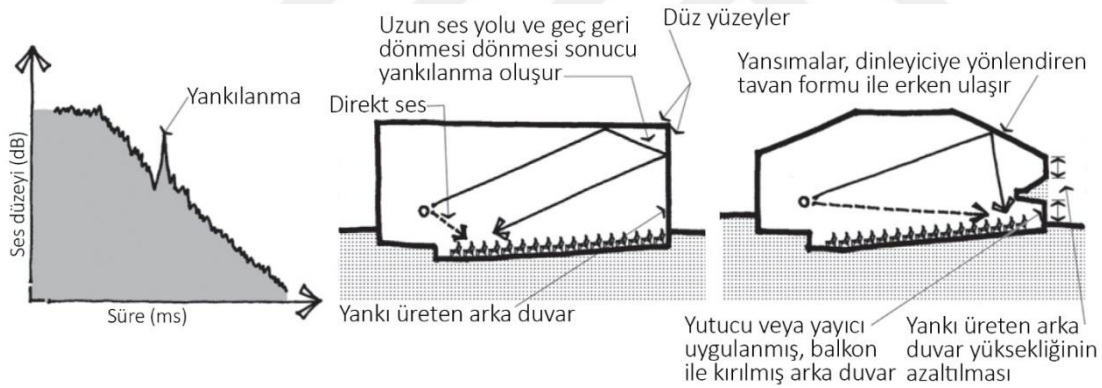
Bu bölümde salon tasarımlarını etkileyen faktörler olarak; akustik kusurlar, nesnel ve öznel hacim akustiği parametreleri ve mimari tasarım parametreleri ele alınmıştır.

## 2.1 Akustik Kusurlar

Dinlemeye yönelik tasarlanan tüm hacimlerde; duyulabilir eko, tekrarlayan yankı, odaklanma, sesin taşınması, aşırı ses gücü, rezonans ve gölgelenme gibi akustik kusurlar gözlenmemelidir. Bu akustik kusurlar sıklıkla kaynak-alıcı arasındaki iletim yolunda meydana gelir ve yüzeylerin doğru şekillendirilmesi veya yutuculuk eklenmesi gibi yöntemlerle kolaylıkla çözülebilmektedir [4].

### 2.1.1 Yankılanma (echo)

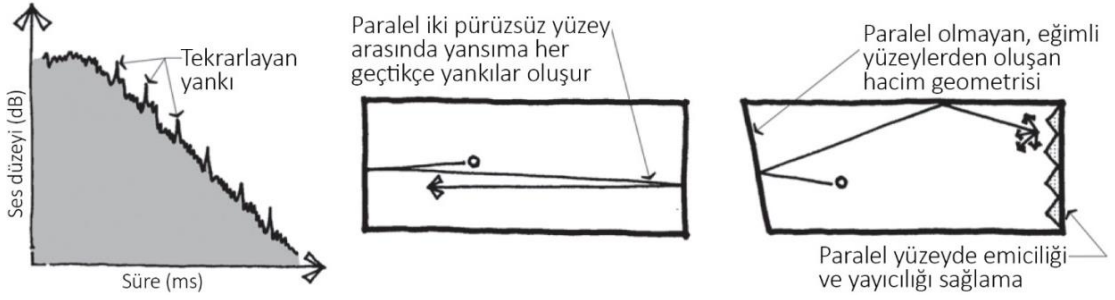
Direkt ses duyulduktan sonra yansıması ikinci kez duyulabilir halde olduğunda yankılanma, eko kusuru meydana gelir. Yankılanmanın çınlamadan farkı yansıyan sesin kulağa ulaşma süresinin çok uzun olmasıdır. Yankılanma meydana geldiğinde konuşmalar üst üste binerek anlaşılmanmaya başlar ve müzikte ritimlerin takibi zorlaşır. Genellikle 50 ms'den daha geç gelen yansımalar yankılanma olarak algılanır. Şekil 2.1'de, eko kusuruna sebep olan temel tasarım sorunu ve önerilen çözüm yöntemi gösterilmektedir [4].



Şekil 2.1 : Yankılanma oluşumu ve çözümü (sağda) [4].

### 2.1.2 Tekrarlayan yankı (flutter echo)

Birbirine paralel olan iki duvar veya tavan ile zemin sert ve yansıtıcı bir malzemeden yapılmış olduğunda meydana gelir. Bu durumda, el çırpması gibi ani ve tekil bir ses üretildiğinde meydana gelen yankılanma sürekli bir şekilde tekrar eder. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi bir duvarın paralelliği bozularak, bir duvara yutucular uygulanarak veya saçıcı hale getirilerek bu sorun önlenir [4].

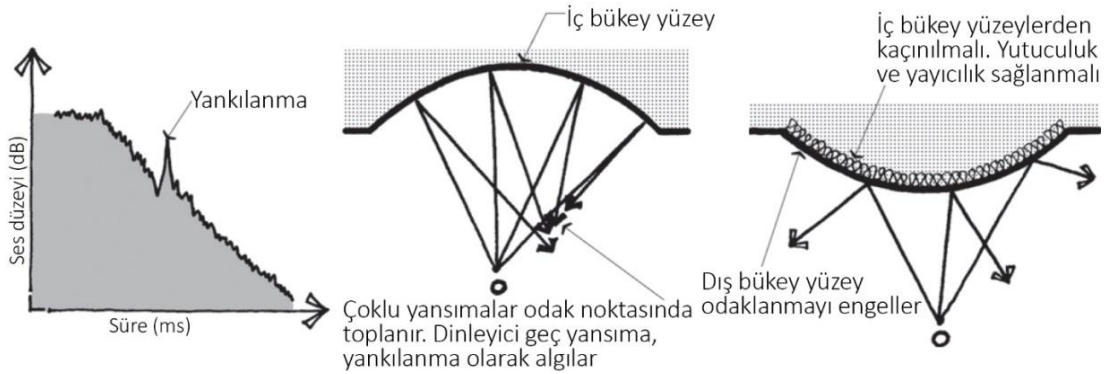


Şekil 2.2 : Tekrarlayan yankı oluşumu ve çözümü (sağda) [4].

### 2.1.3 Ses odaklanması (sound focusing)

Işıқта olduğu gibi ses de dalgaboyuna göre büyük, iç bükey bir yüzeyden yansıdığı anda yansımalar merkez bir noktada toplanmaya başlar. Buna ses odaklanması denilmektedir. Hacimde sesin yayılması düzensiz hale geldiğinde kimi noktalarda ses güçlü ve duyulurken, kimi noktalarda ise ölü nokta denilen sesin güçsüz ve duyulamaz olduğu bölgeler oluşur.

Bu durum ses alanının hacim içerisinde düzgün yayılmadığını gösterdikten sonra, dağınık alan (diffuse field) varsayımına dayanan çınlama süresi formülleri ve ses alanı hesapları geçersiz kalmıştır. Şekil 2.3'te gösterildiği üzere, iyi bir hacim akustiği için bu tip tekil olayların iyi analiz edilmesi ve buna göre ses yutucu uygulamalarının yapılması gerekmektedir [4].

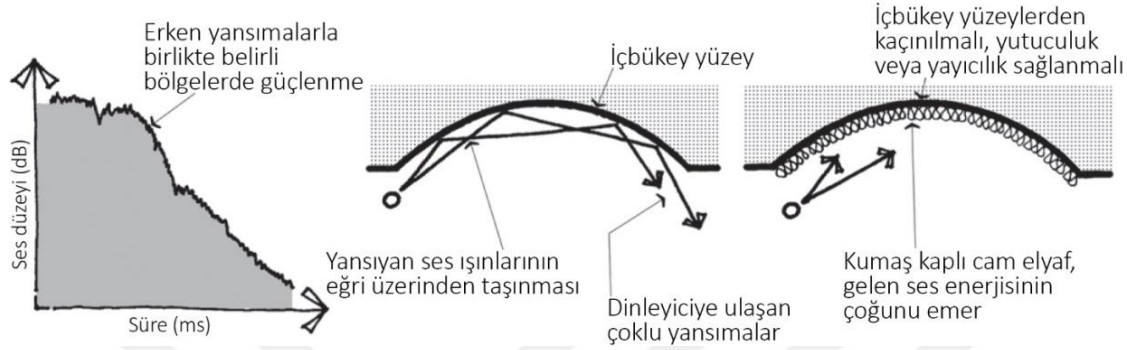


Şekil 2.3 : Odaklanma oluşumu ve çözümü (sağda) [4].

### 2.1.4 Sesin taşınması (acoustical creep)

Sesin taşınması, eski kubbeli yapılarda sık görülen fısıldayan galerileri (whispering gallery) meydana getirir. Sabit bir duvar geniş açılı, iç bükey yüzeye sahip olduğunda, ses yüzeyde dolaşarak artan bir etkide çok sayıda yansıma yapar (özellikle yüksek frekanslarda). Bu yansımalarla da ses dalgası taşınarak çok uzak noktalara dek ulaşabilir.

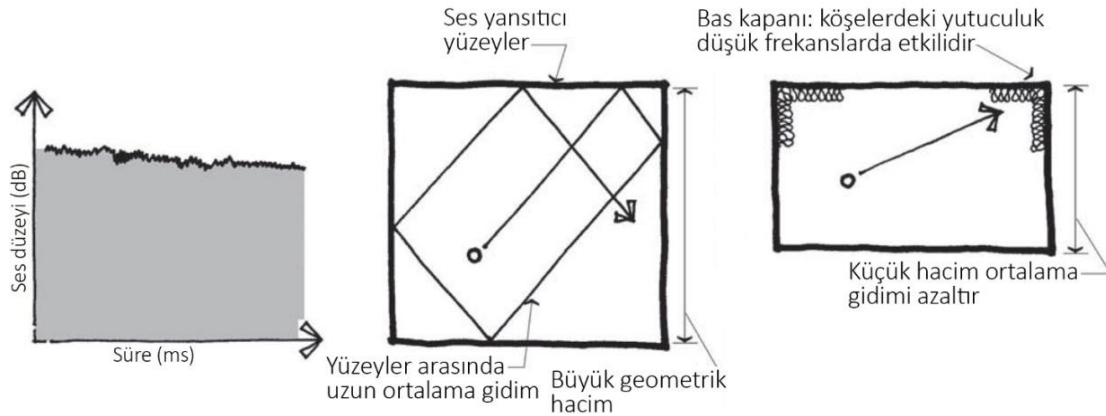
Sonuç olarak böyle bir durum meydana geldiğinde, yüzeye yönelmiş yakındaki bir fısıltı 60 metre uzaklıktan dahi duyulur hale gelebilmektedir. Londra'daki St. Paul Katedrali'nin ana kubbesinin altı da bu özelliği ile ünlüdür. Şekil 2.4'te bu kusurun dürtü yanıtı (impulse response) üzerindeki etkisi, oluşum sebebi ve çözüm yöntemi gösterilmektedir [4].



Şekil 2.4 : Sesin taşınması kusuru ve çözümü (sağda) [4].

### 2.1.5 Aşırı ses gücü (excessive loudness)

Yansıtıcı yüzey oranının fazla olduğu büyük hacimlerde görülen bir kusurdur. Yansıyan ses dalgaları enerjisini kaybetmeden, uzun ortalama gidim mesafeleri katettiği için dinleyiciler aşırı ses gücü olarak bu durumu algılamaktadır. Özellikle yutumu zor olan düşük frekanslı seslere odaklanılır ve hacimdeki yutuculuk buna göre tasarlanırsa aşırı ses gücü kusuru önlenir. Şekil 2.5'te oluşum sebepleri ve önerilen çözüm yöntemleri örnek görseller üzerinden gösterilmektedir.



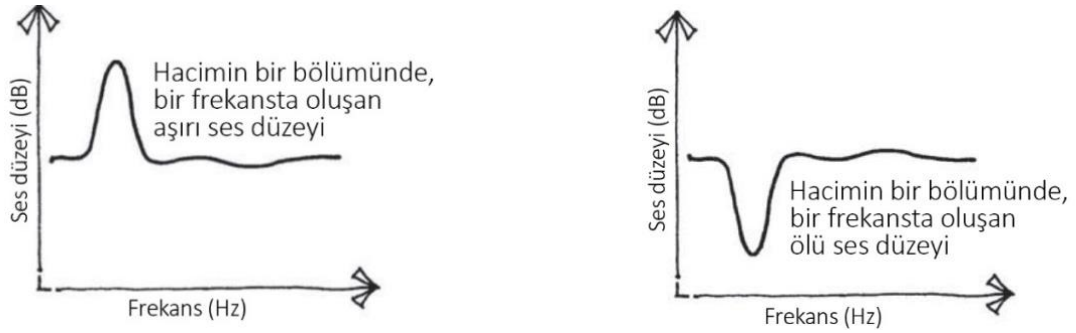
Şekil 2.5 : Aşırı ses gücü kusuru ve çözümü (sağda) [4].

### 2.1.6 Rezonans (resonance)

Rezonans; hacim içerisinde bölgesel olarak bazı noktalarda ve dar bir frekans bandında gözlenen, aşırı yüksek ses basınç düzeyi veya aşırı düşük ses basınç düzeyi olarak ortaya çıkmaktadır, Şekil 2.6. Özellikle kenar uzunlukları düşük frekanslı

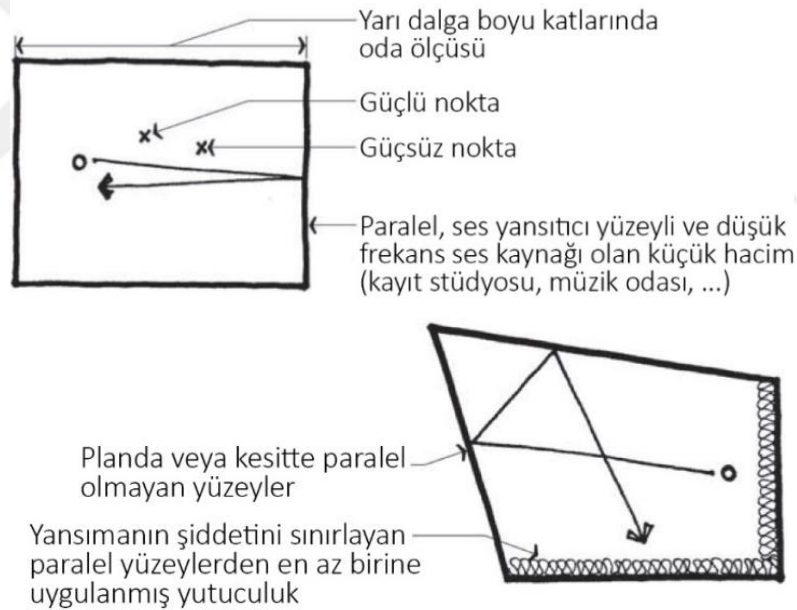


seslerin dalgaboyundan daha küçük olan küçük hacimlerde sıklıkla ortaya çıkabilen ve tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken önemli bir akustik kusurdur.



**Şekil 2.6 :** Rezonans sorununun ses basınç düzeyi grafiği üzerinde görünümü [4].

Yüzeyler arasındaki paralellik bozularak ( $5^\circ$  ye kadar) veya paralel yüzeylerden en az biri yutucu olarak tasarlanarak rezonans sorunu kolaylıkla önlenebilir, Şekil 2.7. Genellikle düşük frekans bantlarında ortaya çıktığından, kullanılan yutucu malzeme özellikle düşük frekanslarda son derece yüksek bir yutuculuğa sahip olmalıdır [4].

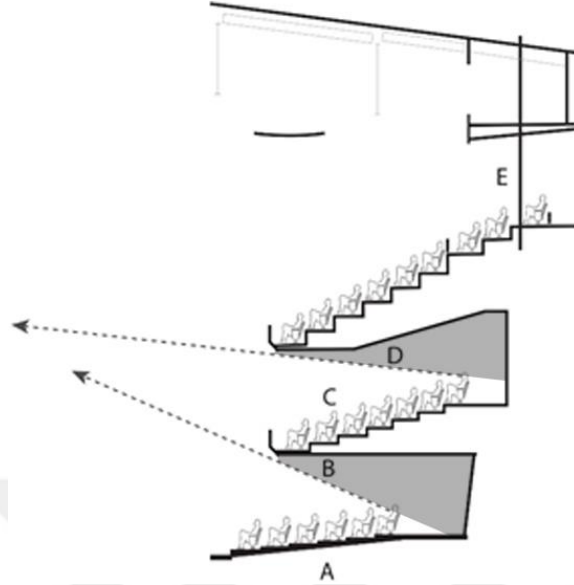


**Şekil 2.7 :** Hacimde rezonans oluşumu (üstte) ve çözüm yöntemi (altta) [4].

### 2.1.7 Ses gölgeleri (sound shadows)

Plan düzleminde kolon, taşıyıcı duvar gibi kütlelerin arkalarında veya kesit düzleminde balkon, loca gibi kütlelerin altında görülen, direkt yansımaların ulaşamadığı bölgelerde oluşan bir kusurdur. Özellikle balkonlar tasarlanırken derinliklerinin yüksekliklerinin iki katını geçmemesine dikkat edilmelidir. En arka sırada yer alan izleyicilerin bile proskenyon açıklığını (proscenium arch) görmesi amaçlanarak tasarım yapıldığında, balkon altlarında ses gölgelerinin oluşumu

önlenebilmektedir. Şekil 2.8’de ses gölgelerine göre balkon derinliklerinin belirlenmesi örnek görsel üzerinden gösterilmektedir.



**Şekil 2.8 :** Büyük çok amaçlı salonlarda balkon altlarında görülen ses gölgeleri (B)Arka sıranın proskenyon açıklığına olan görüş açısı; (D)Arka sıranın proskenyon açıklığına olan görüş açısı [5].

## 2.2 Nesnel Parametreler

Nesnel parametreler; salon geometrisi, hacmi, yutuculuğu ve alıcı noktaların konumları gibi fiziksel şartlardan direkt olarak etkilenen, hesaplanabilir ve karşılaştırılabilir değerleri ifade etmektedir. Nesnel parametreler aynı zamanda dinleyiciler üzerinde yarattığı etkilerle birlikte veya ayrı olarak, bir veya birden fazla öznel parametrenin tanımlanmasında da kullanılabilir. Nesnel parametreler aynı zamanda dinleyiciler üzerinde yarattığı etkilerle birlikte veya ayrı olarak, bir veya birden fazla öznel parametrenin tanımlanmasında da kullanılabilir.

### 2.2.1 Çınlama (reverberation, T)

Çınlama kısaca, bir enstrüman ses üretmeyi durduktan sonra salonda sesinin duyulmaya devam etmesi durumu olarak tanımlanmaktadır. Yalnızca kapalı hacimlerde; duvarlar, tavan, zemin ve dinleyici alanı gibi yansıma olabilecek ortamlarda gözlenen bir durumdur. Bu nedenle, açık havada ses dalgalarının yansıyabileceği yüzeyler olmadığından çınlama yoktur [6].

Çınlama süresi, çok amaçlı bir salonun tasarımında en önemli bileşendir. Çınlama süresi eğer doğru ayarlanmazsa salon akustik açıdan standartların altında kalacaktır. Gereğinden yüksek olursa müzikte notalar birbirine girmeye başlar, konuşmada

anlaşılabilirlik kaybolur. İstenilenden düşük olduğunda ise müzikte dolgunluk kaybolur ve mekan akustik açıdan ölü hacim (dead room) niteliği gösterir [7].

İlk olarak Wallace Clement Sabine'in, Harvard Üniversitesi kampüsünde 1895 yılında açılan Fogg müzesinin amfisinde yaptığı çalışmalar, çeşitli ölçümler ve uygulamalar sonucunda ortaya konulmuş bir kavramdır. Salonun mevcut halinde 5 saniye olan çınlama süresi, yapılan uygulamalarla 1 saniyeye kadar düşürülmüştür. Sabine, çınlama süresini hesaplamak için kaynak durduktan sonra ses basınç düzeyinin 60 dB düşmesini beklemiş ve bu esnada geçen süreyi hesaplamıştır. Bu nedenle RT yerine  $T_{60}$  veya  $RT_{60}$  ifadeleri de kullanılmaktadır.

Sabine çalışmalarının sonucunda hacmin büyüklüğü, yüzey özellikleri ve çınlama süresi arasındaki bağıntıyı matematiksel bir formülasyon ile açıklamıştır.

$$RT_{\text{çınlama süresi}} = \frac{0,161 \cdot V_{\text{hacim}}}{(S_1 \cdot \alpha_1) + (S_2 \cdot \alpha_2) + \dots} \quad (2.1)$$

$S_1$  = Duvar yüzey alanı

$S_2$  = Tavan yüzey alanı

$\alpha_1$  = Duvarın yutuculuk katsayısı

$\alpha_2$  = Tavanın yutuculuk katsayısı

Sabine'in çınlama formülünün çok yutucu olan ölü hacimlerde ve ekstrem formlara sahip hacimler gibi farklı koşullar altında her zaman tam olarak doğru sonucu vermediği anlaşılmış, zaman içinde hesaplama için farklı formülasyonlar geliştirilmiştir. Örneğin; yutuculuğun hacim genelinde 0,3'ün altında olduğu durumlarda Eyring formülü daha doğru sonuçlar vermektedir.

$$\alpha_{Eyr} = \frac{0,163 \cdot V_{\text{hacim}}}{S_{\text{ges}}[-\ln(1 - \alpha)]} \quad (2.2)$$

$S_{\text{ges}}$  = Toplam yüzey alanı

$\alpha$  = Ortalama yutuculuk katsayısı

Yutuculuğun hacimde çok farklı oranlarda yayıldığı durumlarda ise Cremer-Müller veya Kraak'ın geliştirdiği diğer çınlama süresi formülleri de kullanılabilir [7].

### 2.2.1.1 $T_{60}$

Akustikçiler tarafından genellikle orta boyutlu dikdörtgen hacimlerde kullanılan saniye cinsinden ölçümdür. Temel olarak çınlama süresi teriminin direkt karşılığı konumundadır. Kaynak durduktan sonra ses seviyesinin 60 dB düşmesi için geçen süreyi ifade etmektedir. Hiç bir mekanda ses alanı tekdüze olarak yayılmadığı için ISO 3382'ye göre farklı noktalardan ölçüm yapılarak ortalaması alınır [7].

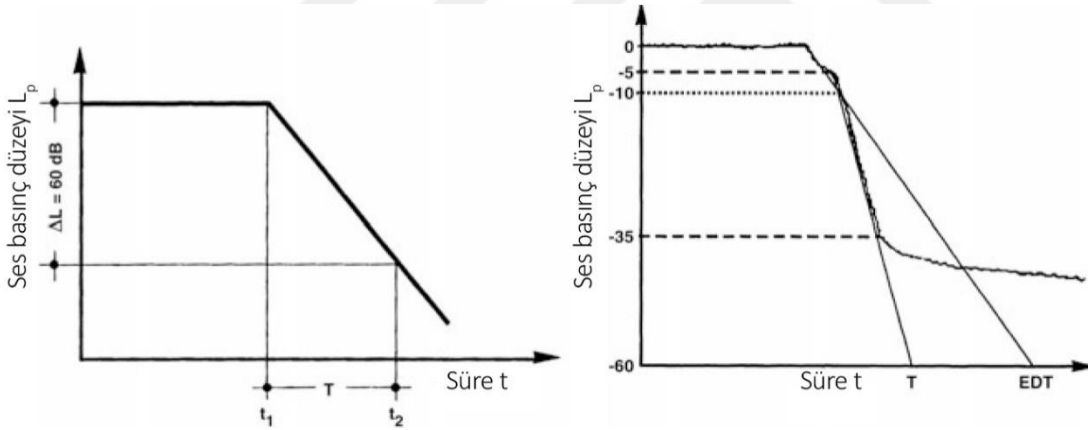
Küçük bir ofiste çınlama süresi 0,25 saniye olabilir. Bu, ses kesildikten sonra ses basınç düzeyinin 60 dB düşmesinin saniyenin dörtte biri kadar sürdüğü anlamına gelmektedir. Örnek olarak; sınıflarda 0,50 saniye, tiyatrolarda 1 saniye, konser salonlarında 2 saniye ve katedrallerde ise 10 saniye gibi çınlama süreleri ile karşılaşılmaktadır [4].

### 2.2.1.2 T<sub>30</sub>, RT

60 dB'lik dinamik aralık gerçekte çok nadir olarak etkindir. Hakim gürültü düzeyi üzerinden kullanıcılara daha etkili sonuçlar vermek için T<sub>30</sub> kullanılır. Bu nedenle günümüzde akustik simülasyon programları da T<sub>30</sub> parametresini kullanmaktadır. Şekil 2.9'daki grafiklerin sağ tarafında belirtildiği gibi, başlangıç düzeyinden sonra ani olarak gerçekleşen -5 ile -35 dB arasındaki düşüş, T<sub>30</sub> ölçüsü olarak kullanılır. 2 ile çarpılarak çınlama süresi olarak kullanılmaktadır [7].

$$T_{30} = 2 \times t_{30} \quad (2.3)$$

t<sub>30</sub>: Kaynaktan çıkan ses düzeyinin 30 dB düşmesi için gereken süre.



**Şekil 2.9 :** Çınlama süresi ölçümünün şematik gösterimi (solda); çınlama süresi T ve erken düşüş süresi EDT ölçümünün gerçekçi gösterimi (sağda) [7].

### 2.2.1.3 T<sub>20</sub>, T<sub>15</sub> ve T<sub>10</sub> (EDT)

T<sub>10</sub> veya EDT (Early Decay Time) ise T<sub>30</sub> ve T<sub>60</sub> değerleri arasında, büyük veya ağır yapılandırılmış ve çift hacimli (sahne kulesi, orkestra piti gibi) mekanlarda farklı değerlerin görülebildiği durumlarda kullanılır. T<sub>20</sub>, T<sub>15</sub> veya T<sub>10</sub> (aynı zamanda EDT) çınlama süreleri, erken yansımaları geç olanlarla karşılaştırmak için ilk 20,15 veya 10 dB'lik düşüşleri kullanılırlar. Böylelikle erken çınlama karakteristiğinin daha detaylı incelenmesi sağlanmaktadır [7].

Çınlama süresi cinsinden ifade edilebilmesi için düşüş miktarının 60 dB'ye olan oranı ile çarpılmaktadır.

$$EDT = 6 \times t_{10} \quad (2.4)$$

$t_{10}$ : Kaynaktan çıkan ses düzeyinin 10 dB düşmesi için gereken süre.

$$T_{15} = 4 \times t_{15} \quad (2.5)$$

$t_{15}$ : Kaynaktan çıkan ses düzeyinin 15 dB düşmesi için gereken süre.

$$T_{20} = 4 \times t_{20} \quad (2.6)$$

$t_{20}$ : Kaynaktan çıkan ses düzeyinin 20 dB düşmesi için gereken süre.

### 2.2.2 Ses şiddeti (loudness, G)

Hacim akustiğinde ortamda algılanan ses şiddetinin etkisi çok önemli bir parametredir. Temel olarak, ulaşan ses enerjisinin gücü veya dinleyiciye olan etkisi ve yoğunluğu olarak tanımlanabilir [5].

Bunun ölçüsü; hacimde sürekli ve ayarlanmış bir ses kaynağının oluşturduğu ses düzeyinin, aynı kaynağın tam yankısız (anekoik) ortamda 10 metre mesafede ölçülen ses düzeyinden farkı olarak tanımlanmaktadır. Bu objektif ölçüye ses şiddeti (G) denilmektedir ve aynı zamanda dürtü yanıtının (impulse response) toplam enerjisinin, ses kaynağından 10 metre uzaklıktaki direkt ses enerjisine oranından da hesaplanabilmektedir [8].

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{t_{dir}} p_{10m}^2(t) dt} \quad (2.7)$$

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

Konser salonlarında ses şiddetinin önemi büyüktür. Bunu sağlayan da salonun dinamik tepkisidir (dynamic response). Bu sayede pianissimo (kısıp sesli) kısımlarda sessizliği destekleyici, fortissimo (yüksek sesli) kısımlarda ise güçlü sesi destekleyici ortam şartları oluşturulur [6].

Teori, çınlama süresi arttığında ses şiddetinin de artması ve yansılardan daha fazla enerji açığa çıkması prensibine dayanmaktadır. Ancak çok yüksek hacimli ve koltuklu salonlarda daha düşük G değerleri görülmektedir. Beranek (1996), "Concert Halls and Opera Houses: How They Sound" adlı çalışmasında pek çok konser

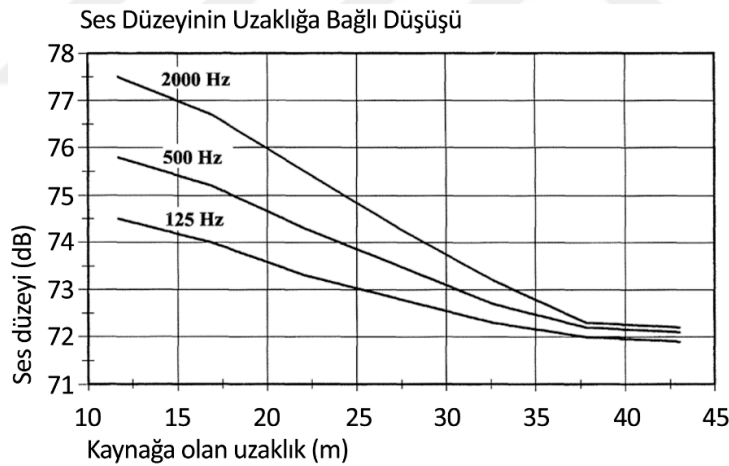
salonunun G değerinin 2 ila 5 arasında olduğunu belirtmiştir. G değeri 5'i aşan salonlarda aşırı baskın, 2'den az salonlarda ise zayıf ses niteliği görülmektedir [5].

### G için tasarım kriterleri

Salonun dört temel mimari özelliği ses gücünü doğrudan etkilemektedir:

- Dinleyicinin sahneye olan uzaklığı arttıka ses şiddeti azalır.
- Tercihen yanal yönlerden gelen, erken ses enerjisini yansıtan yüzeyler ses şiddetini artırır.
- Akustik alan, ST (dinleyici ve orkestra alanı) ve hacim arttıka ses şiddeti azalır.
- Halılar, perdeler ve ağır döşeli koltuklar gibi sesi yutan malzemeler ses şiddetini azaltır.

Direkt ses sahne önünden arkaya doğru yol aldıka şiddeti de düşmektedir. Yüksek frekanslı sesler havanın yutuculuğunun etkisi ile dinleyiciye ulaşana kadar daha fazla azalım gösterirken, düşük frekanslı sesler aradaki mesafeye rağmen az bir azalım ile dinleyicilere ulaşmaktadır, şekil 2.10.



**şekil 2.10 :** Salon boşken, sahne önünden 3 m geride yerleştirilmiş yönsüz (nondirectional) bir ses kaynağından (PWL:100 dB) farklı uzaklıklardaki ses seviyesi. Baltimore, Meyerhoff Senfoni Salonu [6].

İstenilen yanal yansımalar sağlanarak (direkt sestten sonra ilk 80 milisaniye içinde gelen) ses şiddetindeki bu düşüş azaltılabilmektedir. Özellikle Boston Symphony Hall gibi dar ve dikdörtgen biçimli (shoebox) salonlarda bu durum kendiliğinden oluşmaktadır. Ancak diğer durumlarda, tavana asılmış veya yan duvarlara yerleştirilmiş özel paneller ile dinleyicilere erken ses enerjisi ulaştırılarak ses şiddeti desteklenebilir [6].

2400 kişi üzeri kapasiteye sahip çok amaçlı salonlarda, güçlendirilmemiş sese ve enstrümanlara göre hacim büyük geldiğinden G değeri düşük olur. Geniş, fan tipi veya arena tip salonlarda yeterli G'yi sağlamak için kapasite 2000'i geçmemelidir. 500 kişilikten küçük çok amaçlı salonlarda, küçük hacim ve zayıf sahne tasarımı nedeni ile aşırı G değeri ile karşılaşılabilir, bu da şiddetli seslerde parlamaya neden olur [5].

Sahnenin arka yüzeyleri bir megafon şeklinde açılı tasarlandığında, ses şiddeti değerleri yüksek olur. Fakat enstrümanlar arasındaki denge bu durumda olumsuz etkilenir. Bu da hacimdeki genel akustik kaliteyi düşürür. G değerinden feragat etmek dengeyi sağlama açısından yararlı olabilir, unutulmamalıdır ki konser salonlarındaki en iyi koltuklardan bazıları G değerinin daha düşük olduğu balkondakilerdir [5].

### 2.2.3 Bas oranı (bass ratio, BR)

Bas oranı (BR), düşük frekanslardaki (125-250 Hz) çınlama süresinin, orta frekansların (500-1000 Hz) çınlama süresine oranıdır.

$$BR = \frac{T_{125} + T_{250}}{T_{500} + T_{1000}} \quad (2.8)$$

İyi olarak kabul edilen senfoni salonlarında bas oranı 1.1 ila 1.4 arasındadır [9]. Ölçülen ses şiddeti (G) üzerinden hesaplanan bir versiyonu daha mevcuttur. Burada salon boş iken 125 ve 250 Hz frekans bantlarında ölçülen G değerleri toplanıp, 500 ve 1000 Hz frekans bantlarında ölçülen G değerlerinden çıkarılır [6].

$$BR_G = G_{125} + G_{250} - G_{500} - G_{1000} \quad (2.9)$$

Ses basınç düzeyi (SPL) üzerinden hesaplanan bir diğer versiyonunda ise 125 ve 250 Hz oktav bantlarında ölçülen ses basınç düzeyleri toplanıp, 1000 ve 2000 Hz oktav bantlarında ölçülen ses basınç düzeylerinden çıkarılır, ardından ikiye bölünerek sonuç bulunur.

$$BR_{SPL} = \left( \frac{SPL_{125} + SPL_{250} - SPL_{1000} - SPL_{2000}}{2} \right) \quad (2.10)$$

BR değeri iyi olan salonlarda kontrbas, çello ve perküsyon gibi bas sesli enstrümanlar kulağa daha zengin gelir. Güçlendirilmiş müzikte ise yüksek BR değerine sahip salonlar düşük frekanslı seslerde patlamaya neden olabilmektedir. Özellikle bu durum dikkate alınarak hacmin çınlama süresi planlanmalıdır [5].

### **BR için tasarım kriterleri**

Salonları iyi bir BR değeri ile tasarlamak için duvarların büyük yüzeyleri; katı, masif ve genellikle tuğla, beton gibi malzemelerden imal edilmelidir. Tavanlar çok katmanlı alçı levha veya kalın sıvalı yüzeylerden imal edilmeli, düşük frekanslı sesleri yutan geniş yüzey alanlı ince ahşap veya metal paneller kullanılmamalıdır.

Genellikle değişken akustik sistemleri güçlendirilmiş müzikte BR değerini düşürmede etkin değildir. Kullanılan malzemelerin yutuculuk değerleri özellikle 125 ve 250 Hz aralığında düşük olmalıdır [5].

BR oranı sisteminde yüksek değerler alt frekanslarda yüksek çınlama süresini ifade ederken, düşük değerler kısa çınlama süresini ifade etmektedir. Ancak Beranek'in 2004 yılında yaptığı bir çalışma sonucunda BR'nin diğer değerlendirme parametreleri ile yüksek oranda bir uyumunun olmadığı görülmüştür [6, 7].

### **2.2.4 Netlik (clarity, C)**

Netlik; müzikte her bir noktayı ve küçük detayı dinleyicinin fark edebilmesi ( $C_{80}$ ), konuşmada ise heceleri tek tek seçebilmesi olarak tanımlanabilir ( $C_{50}$ ). Netlik algısını ilk 50-80 milisaniyede dinleyiciye ulaşan erken yansımalar meydana getirmektedir, Şekil 2.11.

Netlik parametresi, direkt sestem ilk  $x$  milisaniye içinde ulaşan ses ile daha sonra ulaşan sesin logaritmik oranı yardımı ile hesaplanır.

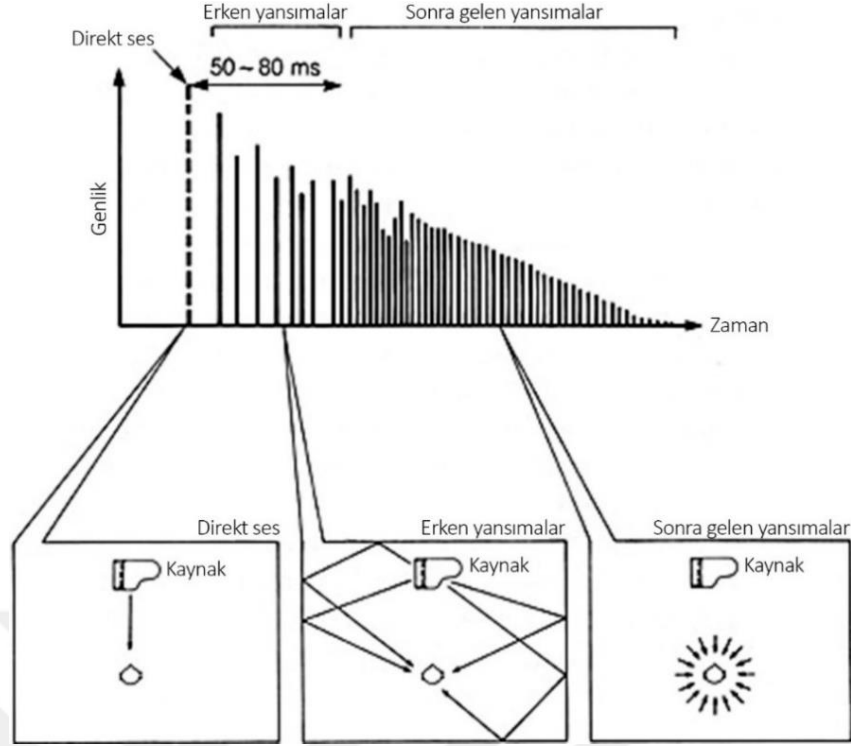
$$C_x = 10 \log \left( \frac{E_x}{E_\infty - E_x} \right) \quad (2.11)$$

$E_x$ , direkt sestem  $x$  ms sonra oluşan toplam enerjiyi ifade eden dürtü yanıtının (impulse response) karesidir [9].

$$E_x = \int_0^{x \text{ ms}} p^2(t) dt \quad (2.12)$$

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





Şekil 2.11 : Direkt ses, erken yansımalar ve sonraki yansımaların görünümü [7].

#### 2.2.4.1 $C_7$

Sesin direktliğini göstermek için kullanılan bir parametredir. Direkt ses düzeyi (direct sound level) olarak da adlandırılmaktadır. Direkt sestten ilk 7 milisaniye içinde ulaşan ses ile daha sonra ulaşan sesin logaritmik oranı yardımı ile  $C_7$  değerine ulaşılır.

$$C_7 = 10 \log \left( \frac{\int_0^{0.007} p^2(t) dt}{\int_{0.007}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (2.13)$$

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

Direkt ses ölçüsü  $C_7$ , dinleyici ve ses kaynağı arasındaki mesafe ile orantılı olmalı ve -10 ila -15 dB aralığının altına düşmemelidir [9].

#### 2.2.4.2 $C_{50}$

Konuşma için kullanılan netlik parametresidir. Direkt sestten ilk 50 milisaniye içinde ulaşan ses ile daha sonra ulaşan sesin logaritmik oranı yardımı ile  $C_{50}$  değerine ulaşılmaktadır.

$$C_{50} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (2.14)$$

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

Veya kısaca;

$$C_{50} = \text{Erken enerji}_{0-50} - \text{Geç enerji}_{50-3000}$$

olarak da ifade edilebilir.  $C_{50}$ , ayırt edilebilirlik ( $D_{50}$ , definition) parametresi ile doğrudan ilişkili olduğu için birbirlerine dönüştürülebilmektedir [10].

$$C_{50} = 10 \log \left( \frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right) \quad (2.15)$$

$C_{50}$  parametresi için hacim akustiğinde genel olarak kural kabul edilebilecek değer aralıkları yoktur. Konuşma anlaşılabilirliği (speech intelligibility) ve  $C_{50}$  arasındaki doğrusal ilişki doğrultusunda, hecelerin anlaşılabilirliğinin %80'in altına inmemesi için  $C_{50}$ 'nin de en az -2 dB veya daha büyük olması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır [9].

#### 2.2.4.3 $C_{80}$

Müzikte kullanılan netlik parametresidir. Direkt sestem ilk 80 milisaniye içinde ulaşan ses ile daha sonra ulaşan sesin logaritmik oranı yardımı ile netliği tanımlayan  $C_{80}$  değerine ulaşılmaktadır [6].

$$C_{80} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (2.16)$$

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

Veya kısaca,

$$C_{80} = \text{Erken enerji}_{0-80} - \text{Geç enerji}_{80-3000}$$

olarak da ifade edilebilir.  $C_{80}$  bağımsız bir değişken değildir. Çınlama süresi, salonun doluluğu ve boşluğu gibi etkenler ile doğrudan ilişkilidir. Temel olarak -3 dB veya daha yüksek olması kabul edilebilir bir değerdir [9]. Genellikle çok amaçlı salonlar dolu iken, 0 ila -2 dB arasında bir  $C_{80}$  değeri hedeflenmektedir.

Dinleyicinin konumuna göre de  $C_{80}$  değerleri değişkenlik göstermektedir. Sahneye yakın bölgelerde daha yüksek  $C_{80}$  değerleri görülürken, balkonlarda doğal olarak daha düşük değerler görülmektedir. Negatif değerler, çınlayan seslerin oluşturduğu enerjinin ilk enerjiye göre daha yüksek olduğunu anlamına gelmektedir.

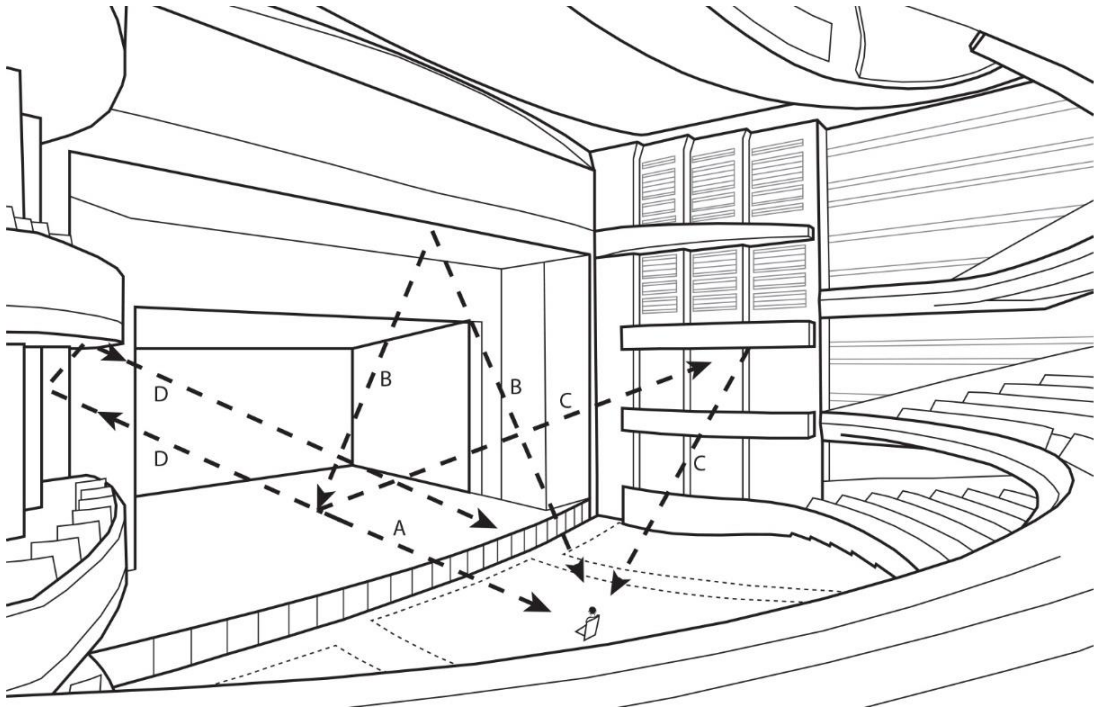
Bir hacim istenen netliğe sahip olduğunda; büyük bir orkestra içindeki her bir enstrüman algılanabilir hale gelir ve konuşmalar anlaşılabilir olur [5].

### C<sub>80</sub> için tasarım kriterleri

Netlik için gerçekleşen erken yansımaların saçıcı yüzeylerden değil, yansıtıcı yüzeylerden gelmesi gerekmektedir. Yüzeyle hafif bir eğim verilebilir, ancak boğumlu ve yayıcı olmayan yüzeyler netliği artırır.

Netlik yansımalarının etkin olması için tüm frekans bantlarında yüksek düzeyde olması gerekli değildir. Yalnızca orta ve yüksek frekans aralıklarındaki yansımalar netlik etkisini yaratmak için yeterlidir. 200 Hz'in altındaki, düşük frekanstaki yansımalar netliği çok az etkiler. Bu durum da; cam, kontrplak, reçine ve kompozit gibi ince malzemelerden yapılmış hafif malzemelerin kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Hafif, ince malzemelerin kullanımı da çok amaçlı salonların tasarımında bütçede büyük tasarruf imkanı sağlamaktadır [5].

Yanal yansımalar aynı zamanda ferahlık hissini, kaynak genliğini artırır ve öznel parametrelerden kuşatılma (envelopment) etkisini artırır, Şekil 2.12. Yansımalar dinleyicinin arkasından geldiğinde netliğe etkisi olmaz, ancak kuşatılma hissiyatına faydası olur. Buna çevresel ses efekti denilmektedir [5].



Şekil 2.12 : Texas Dell Hall'da dinleyiciye ulaşan C<sub>80</sub> netlik yansımaları [5].

Yukarıda yer alan Şekil 2.12'deki görselde Texas Dell Hall'daki  $C_{80}$  netlik yansımalarının örnek bir alıcıya ulaşım doğrultuları:

- (A)Sahneden dinleyiciye ulaşan direkt ses,
- (B)Tavandan 15-20 ms içinde gelen erken yansımalar,
- (C)Direkt sestten 40-80 ms sonra ulaşan, netliği arttıran yanal yansımalar,
- (D)Erken yansımaları dinleyiciye ulaştıran taban yansımaları,

olarak ifade edilmektedir [5].

### 2.2.5 Yanal enerji oranı (lateral energy fraction, $LF_{80}$ )

Yanal enerji oranı  $LF_{80}$ ; 8 biçimindeki çift yönlü (bi-directional) mikrofonla ölçülen enejinin, yönsüz (omnidirectional) mikrofonla ölçülen enerjiye oranıdır. Çift yönlü mikrofonla yapılan ölçümde, direkt ses etkisini elimine etmek amacıyla ilk 5-80 milisaniye aralığındaki enerji hesaba katılır [6].

$$LF_{80} = \frac{\int_{0.005}^{0.08} p_8^2(t) dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt} \quad (2.17)$$

$p_8(t)$ : Çift yönlü (bi-directional) mikrofonla ölçülen anlık ses basınç düzeyi.

$p(t)$ : Yönsüz (omnidirectional) mikrofonla ölçülen anlık ses basınç düzeyi.

$LFC_{80}$  parametresinde ise yanal enerji olarak; 8 biçimindeki çift yönlü (bi-directional) mikrofonla ölçülen ses basınç düzeyinin, yönsüz (omnidirectional) mikrofonla ölçülen ses basınç düzeyi ile çarpımı kullanılır [9].

$$LFC_{80} = \frac{\int_{0.005}^{0.08} [p(t) \cdot p_8(t)] dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt} \quad (2.18)$$

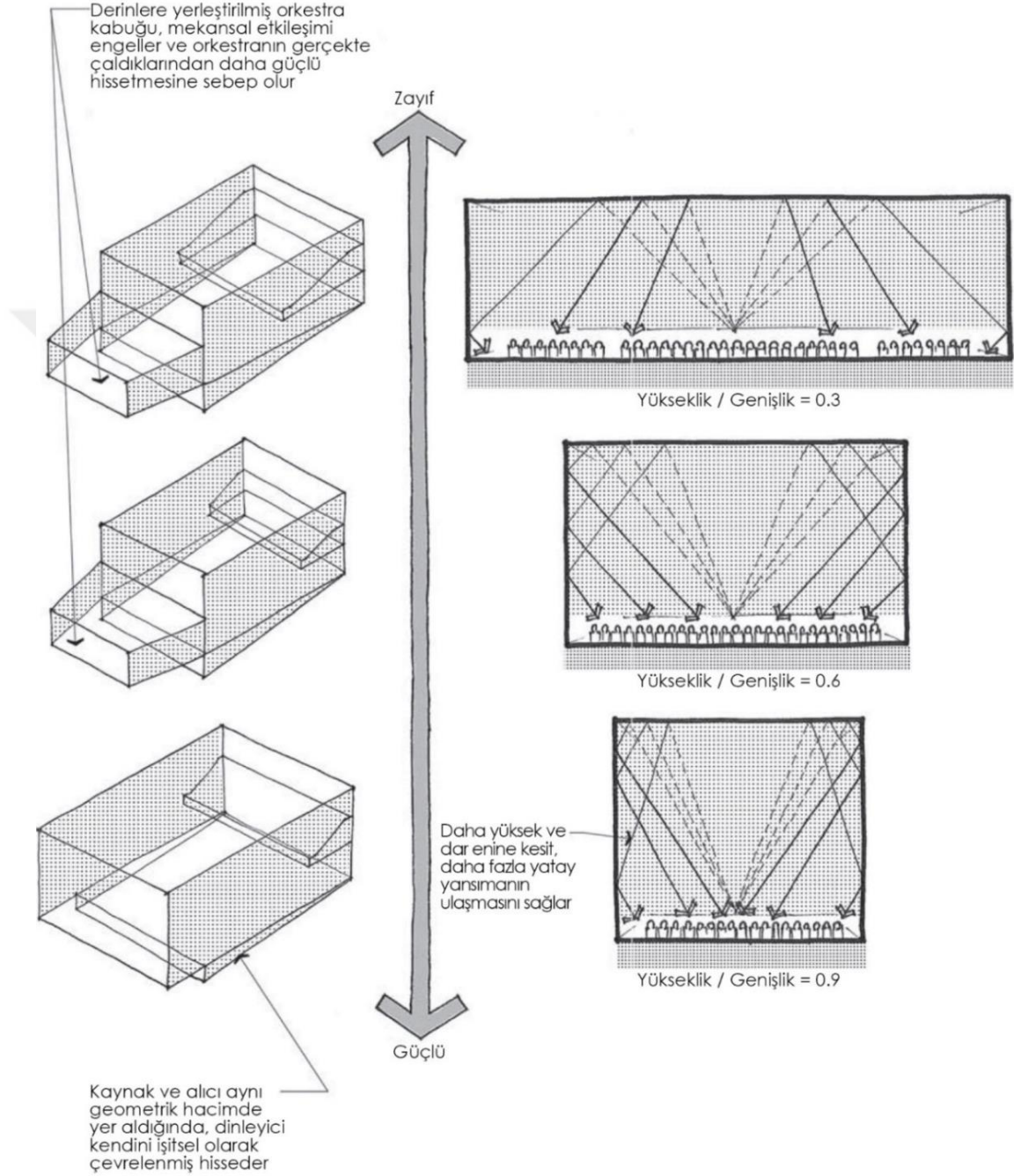
$p_8(t)$ : Çift yönlü (bi-directional) mikrofonla ölçülen anlık ses basınç düzeyi.

$p(t)$ : Yönsüz (omnidirectional) mikrofonla ölçülen anlık ses basınç düzeyi.

### **$LF_{80}$ için tasarım kriterleri**

Dünyada en iyi olarak kabul gören konser salonlarında ses yansımaları daha fazla gelerek müzikle çevrelenmişlik hissini arttırmaktadır. Bu nedenle, mekandaki yanal yansımalar mümkün olduğu kadar arttırılmaya çalışılmaktadır (Genel kanının aksine daha fazla ses gücü, yalnızca 1500 Hz'e kadar mekansal etkileşimi arttırarak daha fazla keyif alınmasını sağlar). Yanal yansımalar en etkili olarak dar, dikdörtgen salonlarda (shoebox) meydana gelmektedir. Salondaki yükseklik/genişlik oranı

arttıkça yanal yansımalar da güçlenmektedir. Şekil 2.13'te yanal yansıma oranının yükseklik/genişlik oranı ile ilişkisi örnekler üzerinden gösterilmektedir. Eni 25 metre dolayında olan ve yan duvarları paralel olmayan salonlarda yanal enerji maksimize edilebilmektedir [4].



**Şekil 2.13 :** Hacimde yükseklik / genişlik oranı etkisi [4].

Yan balkonlu salonlarda yanal sesler desteklenir. Balkonun alt yüzeyinden yansıyan ses dalgaları, tekrar salona dönerek yanal etkiyi artırır. Ancak derin arka balkonlar,

altlarında ses gölgeleri yaratarak altındaki alana ulaşması gereken yansımaları engeller [4].

### 2.2.6 Geç yanıl enerji oranı (late lateral energy fraction, $L_j$ )

Geç yanıl enerji oranı  $L_j$ , geç gelen yanıl yansımaların düzeyini belirtir.  $LG_{80}$  olarak da ifade edilmektedir. 8 biçimindeki çift yönlü (bi-directional) mikrofonla ölçülen enerjinin, yönsüz (omnidirectional) mikrofonla ölçülen enerjiye oranıdır. 8 biçimli mikrofonla yapılan ölçümde, erken yansımaların etkisini elimine etmek amacıyla 80 milisaniyeden sonraki enerji hesaba katılmaktadır. Ölçüm sadece kalibre edilmiş yönsüz (omnidirectional) ses kaynağı ile yapılabilir [10].

$$L_j = 10 \log \left( \frac{\int_{0.08}^{\infty} p_8^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right) dB \quad (2.19)$$

$p_8(t)$ : Çift yönlü (bi-directional) mikrofonla ölçülen anlık ses basınç düzeyi.

$p(t)$ : Serbest alanda, yönsüz (omnidirectional) mikrofonla, kaynaktan 10 m uzaklıkta ölçülen anlık ses basınç düzeyi.

Genişbant ölçümü ifade eden  $L_{j,avg}$ , 125-1000 Hz oktav bantları arasındaki frekans bantlarının logaritmik ortalamasından oluşmaktadır [10].

$$L_{j,avg} = 10 \log \left( \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 10^{L_{ji}/10} \right) dB \quad (2.20)$$

### 2.2.7 Ayırt edilebilirlik (definition, $D_{50}$ )

Ayırt edilebilirlik parametresi  $D_{50}$ , konuşmada anlaşılabilirliği ölçümlemede kullanılmaktadır. Direkt sestem sonra ilk 50 milisaniye içinde ulaşan ses enerjisi ile toplam ulaşan ses enerjisinin oranı yardımı ile  $D_{50}$  değerine ulaşılır. Diğer bir ifade ile erken enerjinin (50 ms) toplam enerjiye oranıdır [6].

$$D_{50} = \left( \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (2.21)$$

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

Ayırt edilebilirlik ( $D_{50}$ ) arttıkça konuşmanın anlaşılabilirliği de aynı oranda artar. Kaynağa olan uzaklık ve çınlama süresi ile de ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Parametrenin değerlendirme aralığı 0 ila 1 arasındır, ancak aynı zamanda

yüzde cinsinden ifade edilir. Genel olarak ayırt edilebilirliğin %50'den (>0,5) daha iyi olması önerilmektedir. Konuşma anlaşılabilirliğinin önemli olduğu salonlarda 0,3-0,7 arası optimum değer aralığı olarak alınmaktadır [10].

### 2.2.8 Merkez süre (center time, $T_s$ )

Merkez süre ( $T_s$ ) parametresi, dürtü yanıtının karesinin ağırlık merkezi olarak tanımlanır. Erken ve geç sesler arasındaki ağırlık merkezini göstererek, hangisinin daha baskın olduğunu anlamaya yarayan bir parametredir.  $D_{50}$ ,  $C_{80}$  ve EDT parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Merkez süre ( $T_s$ ) parametresi düştükçe erken ses enerjisi artar, buna bağlı olarak da netlik ve anlaşılabilirlik artar. Merkez süre ( $T_s$ ) parametresi arttıkça ise geç ses enerjisi artar, buna bağlı olarak da çınlama artar [10].

$$T_s = 1000 \cdot \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.22)$$

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

Kürer'e göre; dinleyicilerin kaynağa yeterince uzak olduğu sabit bir ses alanında öngörülen merkez süre ( $T_{s,E}$ ), çınlama süresi yardımı ile hesaplanabilmektedir [9].

$$T_{s,E} = \frac{RT}{13,8} \quad (2.23)$$

RT: Çınlama süresi (milisaniye).

### 2.2.9 Konuşma iletim indeksi (speech transmission index, STI)

STI (Konuşma iletim indeksi) parametresi, konuşmada anlaşılabilirlik niteliğinin derecelendirilmesinde kullanılır. STI parametresi için elde edilen değerler 0-1 arasındadır ve değerler 1'e yaklaştıkça konuşma anlaşılabilirliği artmakta, 0'a yaklaştıkça anlaşılabilirlik azalım göstermektedir, Çizelge 2.1 [11].

**Çizelge 2.1** : STI ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişki [11].

STI	Konuşma Anlaşılabilirliği
0.00 - 0.30	Kötü
0.30 - 0.45	Zayıf
0.45 - 0.60	Vasat
0.60 - 0.75	İyi
0.75 - 1.00	Mükemmel

Kaynaktan çıkan ses düzeyi, yansımaların yönü ve şiddeti, çınlama süresi, sesin maskelenmesi, arka plan gürültü düzeyi ve eko kusuru STI parametresini etkilemektedir [11].

STI ölçüm metodu için IEC 60268-16 standardı kullanılmaktadır. Houtgast ve Steeneken'in (1973) geliştirdiği modülasyon transfer fonksiyonu (MTF) yardımı ile STI değerleri elde edilmektedir. MTF'nin temelinde konuşmanın içerdiği ayarlanmış (modüle edilmiş) gürültü bantları bulunmaktadır. Konuşma sırasında ses telleri titreyerek bir gürültü bandı oluşturur ve insan ağız yapısı bunu modüle ederek kelimeleri oluşturan çeşitli frekanslara dönüştürür. MTF sistemi de bu şekilde oluşan gürültü bantlarını modüle etmektedir [12].

Sıklıkla hoparlör sistemlerinin veya ses güçlendirme sistemlerinin de değerlendirilmesinde STI kullanılmaktadır. Akustik koşulların zor olduğu kiliselerde ve spor salonlarında iyi bir konuşma anlaşılabilirliği için, STI değerleri Çizelge 2.1'de görüldüğü gibi mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Buna rağmen, "canlı" hacimlerde 0.60'ların üzerine çıkmak, ses güçlendirme sistemleri ile bile oldukça zordur [11].

Ölçüm işlemlerini daha basit hale getirmek için hızlı ses iletim indeksi (RASTI) de STI yerine kullanılmaktadır. STI'dan farklı olarak sadece 500 Hz-2000 Hz frekans bandı aralığında hesaplanmaktadır. Ancak STI ile aynı değer aralıklarında değerlendirilerek kullanılmaktadır.

Konuşma iletim indeksini daha detaylı inceleyebilmek için erkek sesini baz alan  $STI_{male}$  ve kadın sesini baz alan  $STI_{female}$  varyasyonları da türetilmiştir. Bu şekilde farklı frekanslarda etkin olan kadın ve erkek sesleri daha iyi değerlendirilebilmektedir. Örneğin; 125 Hz frekans bandı  $STI_{female}$  parametresinde hesaba katılmaz.

### **2.2.10 Telaffuz indeksi (articulation index, AI)**

Telaffuz indeksi (AI), konuşma düzeyi ile gürültü düzeyi arasındaki farkın bir fonksiyonudur ve konuşmada anlaşılabilirliği tanımlamada kullanılan bir diğer parametredir. Gürültü düzeyinin kullanılmasının sebebi; konuşmayı maskeleyerek anlaşılabilirliği düşürmesidir. Konuşma düzeyi ve gürültü düzeyi arasındaki farka sinyal gürültü oranı (S/N oranı) denilmektedir. Hem konuşma düzeyi hem de gürültü düzeyi desibel ile tanımlandığından, S/N oranı da desibel ile ifade edilir. Her frekans



bandındaki S/N oranı kendi ağırlık faktörü ile çarpıldığında ve hepsi toplandığında, telaffuz indeksi (AI) değeri elde edilmektedir.

$$AI = \text{Toplam}(S/N \text{ oranı} \times \text{Ağırlık faktörü}) \quad (2.24)$$

Herhangi bir oktav bandında S/N oranı 30 dB'den fazla olduğunda, değer 30 dB olarak alınır. Çünkü S/N oranında görülen 30 dB'in üstündeki artışlar, konuşma anlaşılabilirliğine katkı yapmazlar. Ayrıca S/N oranı negatif olduğunda yani sinyal düzeyi gürültü düzeyinin altında kaldığında, S/N oranı 0 olarak alınır. Çünkü AI düzeyi sıfırın altında olamaz, 0 ile 1 arasında çıkan bir değerdir [13].

Normal bir insanın konuşmasının frekans aralığı 50 Hz'den 10 kHz'e kadardır. 200 Hz'in altındaki ve 6 kHz'in üzerindeki seslerin ise konuşma anlaşılabilirliğine bir etkisi yoktur. Telaffuz indeksi belirlenirken 250 Hz ile 4000 Hz arasındaki beş oktav bandı kullanılmaktadır [13].

Telaffuz indeksini etkileyen diğer bir faktör ise duyma işlevindeki göreceli olarak değişen hassasiyettir. İnsan kulağı tüm frekanslara karşı aynı hassasiyette değildir. Dolayısı ile farklı oktav bantlarındaki telaffuz indeksi düzeyleri de eşit değildir. Çizelge 2.2'de 250 Hz ile 4000 Hz oktav bantları arasındaki telaffuz indeksini etkileyen ağırlık faktörleri gösterilmektedir. 2000 Hz oktav bandında ağırlık faktörü maksimumdur, bu da insan kulak hassasiyetinin bu noktada en yüksek verimliliğe ulaştığını göstermektedir [13].

**Çizelge 2.2 :** Telaffuz indeksi hesaplanırken kullanılan ağırlık faktörleri [13].

Frekans (Hz)	Ağırlık Faktörü
250	0,0024
500	0,0048
1000	0,0074
2000	0,0109
4000	0,0078

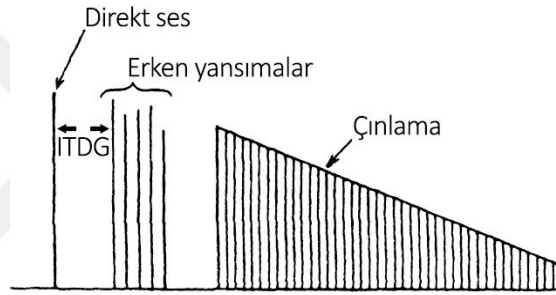
AI da STI gibi 0-1 aralığında değerlendirilir. Değerler 1'e yaklaştıkça anlaşılabilirlik artarken, 0'a yaklaştıkça anlaşılabilirlik azalır. İyi bir anlaşılabilirlik için AI'nin en az 0,5 olması tercih edilir. Ancak hacim çok sayıda farklı konuşmacı ve farklı dinleyici tarafından kullanılacak ise AI'nin minimum 0,7 olması amaçlanmalıdır. Çizelge 2.3'te AI'nin değerlendirme aralıkları gösterilmektedir.

**Çizelge 2.3 :** AI ve konuşma anlaşılabilirliği arasındaki ilişki [13].

AI	Konuşma Anlaşılabilirliği
$> 0,7$	Çok iyi
$0,5 - 0,7$	İyi
$0,3 - 0,5$	Vasat
$< 0,3$	Kötü

### 2.2.11 İlk ulaşım gecikmesi (initial time delay gap, ITDG)

İlk ulaşım gecikmesi (ITDG), dinleyiciye ulaşan direkt sestten sonra ilk yansımanın gelmesi için gereken süredir. Şekil 2.14’te dinleyiciye ulaşan ilk yansıma ile direkt ses arasındaki ulaşım süresi farkının, dürtü yanıtı (impulse response) üzerinden ölçümü şematik olarak gösterilmektedir. Salonda tek bir değer olarak belirtilen ITDG’nin ölçülmesinde referans olarak belirlenen dinleyici konumu, ana katın merkez aksında yer almaktadır.



**Şekil 2.14 :** Alıcı noktasındaki zaman endeksli sinyallerin şematik diyagramı [11].

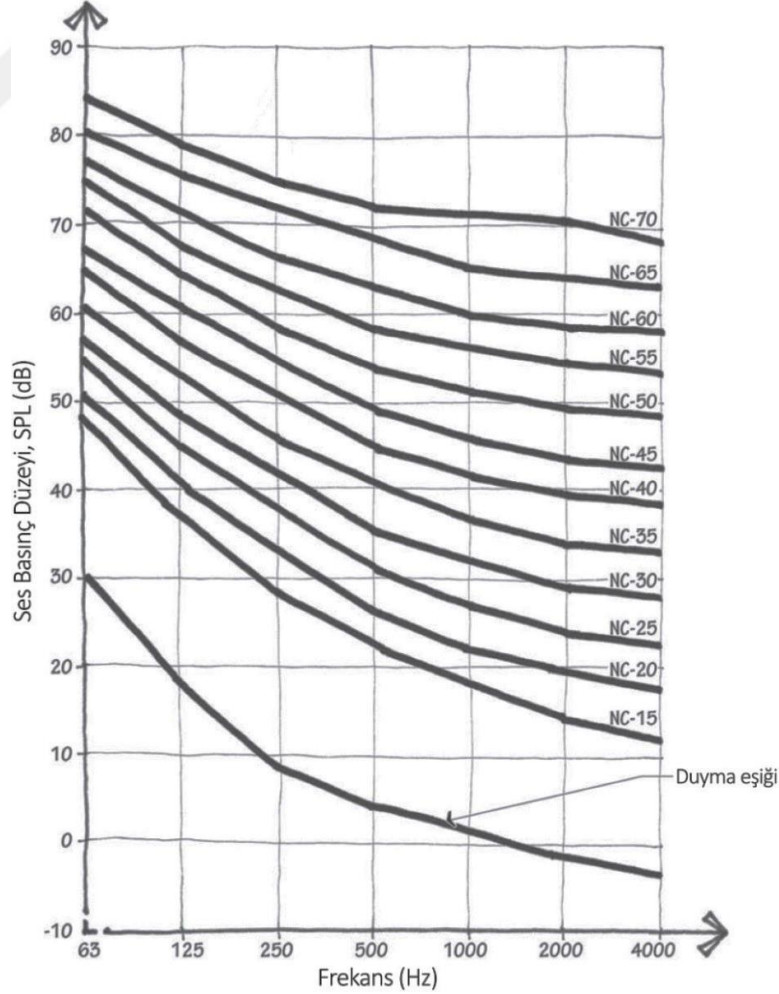
ITDG, öznel parametrelerden samimiyeti ters orantı ile direkt olarak etkileyen nesnel bir parametredir. Yapılan anket çalışmaları ve akustik ölçümler göstermiştir ki, en beğenilen salonların ITDG değeri 25 milisaniye ve altıdır. ITDG değeri; “orta” olarak değerlendirilen salonlarda 35 ms’yi aşmakta ve “kötü” olarak değerlendirilen salonlarda ise 60 ms’yi aşmaktadır [6].

Fan biçiminde ve dar olarak planlanan salonlar ITDG’yi düşük, samimiyeti ise yüksek tutmak için ideal bir tasarımıdır. Ancak yüksek tavanlar, ilk yansımaların genellikle yan duvarlardan ve balkon duvarlarından gelmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle de salonların orta akslarındaki sıralarda 35 ms’yi aşan yüksek ITDG değerleri ile karşılaşılabilir. Yan duvarlara yerleştirilebilecek yansıtıcı ve saçıcı paneller, bu durumun önlenmesinde etkili bir çözüm yöntemi olarak görülmektedir.

### 2.2.12 Arka plan gürültüsü (noise criteria, NC)

Hacmin kullanım amacına bağlı olarak, dışarıdan gelen gürültüler (trafik, endüstri, inşaat gibi) yalnızca akustik ölçümler yapılırken sorun oluşturmaz. Binada tesisattan gelen gürültü (özellikle havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinden), müziğin netliğini ve konuşmanın anlaşılabilirliğini de etkileyebilir. Bu da hacim akustiğini iyileştirmek için performans esnasında iklimlendirme sisteminin kapatılması gibi sorunlar çıkarabilmektedir [7].

Bu sorunların tasarım aşamasında önlenmesi ve mekanda çevresel gürültünün değerlendirilmesi amacı ile NC eğrileri kullanılmaktadır. NC eğrilerini oluşturan değerler, algılanan ses şiddetine göre (Fletcher-Munson Eğrileri) belirlenmiş, 63-8000 Hz aralığında, 1/3 oktav bantlarındaki ses basınç düzeyi değerlerinden oluşmaktadır. Eğriler, insan kulağının duyum hassasiyetine bağlı olarak düşük frekanslarda daha yüksek değerlere sahip iken yüksek frekanslarda daha düşük değerlere sahiptir, Şekil 2.15.



Şekil 2.15 : NC eğrileri [4].

Hacimde arka plan gürültüsünün değerlendirilmesinde kullanılan NC parametresi, genellikle mekanik havalandırma sistemlerinin (HVAC) akustik performans sınıflandırmasında kullanılmaktadır. Lobiler ve koridorlar gibi gürültü kontrolünün çok kritik olmadığı alanlarda NC-40 kabul edilebilir bir kriter iken otellerde NC-30, tiyatro salonlarında ise NC-20 kabul edilebilir bir kriter olarak değerlendirilmektedir. Çok amaçlı salonlarda ise genel olarak NC-25 değeri kabul görmektedir [6].

### **2.2.13 Ses yayılım indeksi (sound diffusion index, SDI)**

Ses alanının hacim içerisinde homojen yayılımını ifade eden bir nesnel parametredir. Öznel parametrelerden yayılım (diffusion) ile direkt olarak ilişkilidir. Salonda çınlayan sesler, dinleyicilere her yönden (yandan, üstten ve önden) dağılmış olarak gelir ise istenmeyen “akustik parıltı” etkisi önlenmiş olur. Özellikle 18. ve 19. yüzyıllarda inşa edilmiş önemli konser salonlarında görülen süslemeler, nişler, heykeller ve eğrisel yüzeyler; salonda farklı yönlerden gelen yansımaları arttırarak SDI’yi ve dolayısı ile yayılımı da (diffusion) iyileştirmektedir [6].

Haan ve Fricke (1993) tarafından, yüzey düzensizliğini bir akustik kalite sınıflandırması haline getirmek amacı ile ses yayılım indeksi (SDI) parametresi geliştirilmiştir. Temel olarak yüzeylerdeki saçıcılığın görsel bir sınıflandırmasına dayanmaktadır:

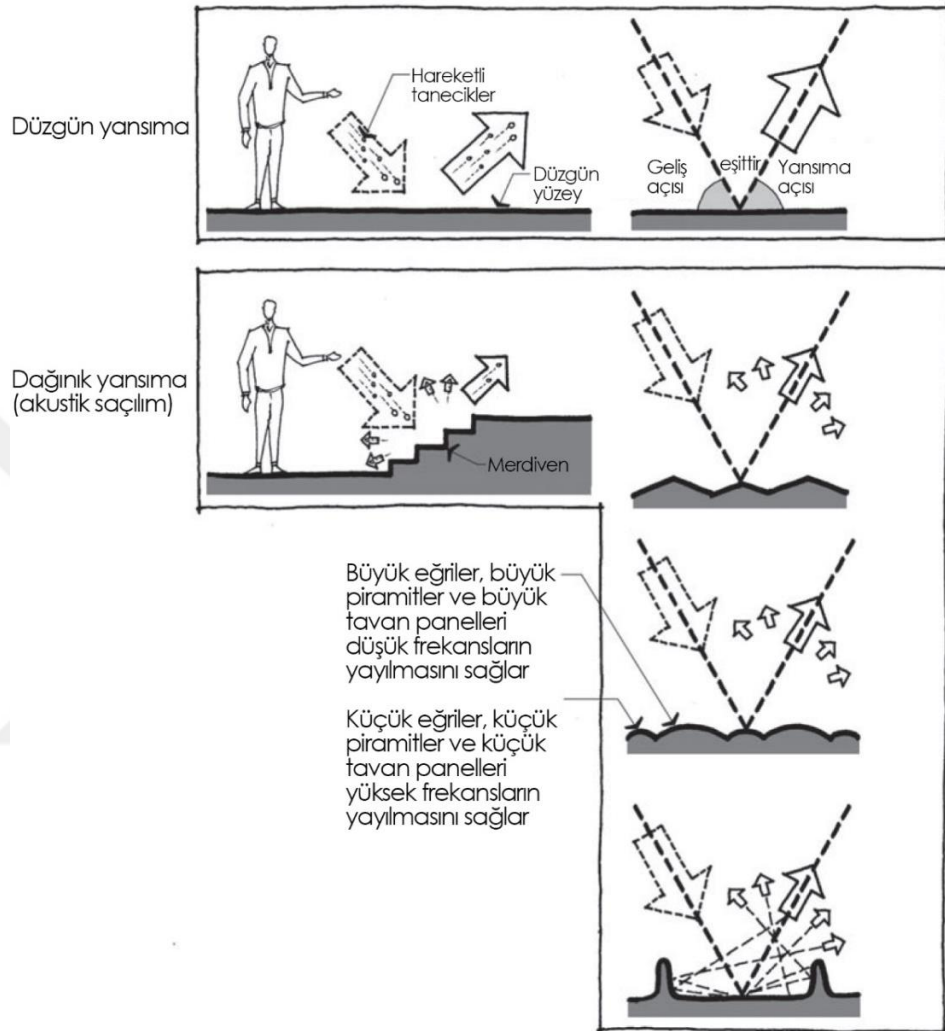
- Yüksek yayılıma sahip yüzeyler “1”,
- Orta düzeyde yayılıma sahip yüzeyler “0,5”,
- Düşük düzeyde yayılıma sahip yüzeyler “0”,

olarak değerlendirilir ve yüzey alanlarına göre ağırlandırılarak salonun genel bir ortalaması çıkarılır. Çıkan SDI değeri 1’e yaklaştıkça yayılım iyileşir, 0’a yaklaştıkça ise yayılım kötüleşir. Örneğin; Beranek tarafından yapılan bir çalışma için 31 salonun SDI değerlerinin karşılaştırılmasında, Viyana’daki Musikvereinsaal için ortalama SDI değeri 0,96 olarak bulunmuştur [6].

### **SDI için tasarım kriterleri**

Ses dalgaları da bir yüzeye çarptığında, ışığın aynada yaptığı gibi düzgün bir açı ile yansır. Ancak bu esnada enerjisinin bir kısmını kaybeder. Derin şekillendirilmiş bir yüzeyden uzun dalgaboylu yani düşük frekanslı sesler yayılırken, daha yüzeysel ince dokulu bir yüzeyden kısa dalgaboylu yani yüksek frekanslı sesler yayılır.

Bir ses dalgasının yansıtılabilmesi için çarptığı yüzeyin kalınlığının, sesin dalga boyu uzunluğunun yaklaşık dörtte biri kadar olması gereklidir. Bölüm 2.4.5.1’de bu durumdan daha detaylı olarak bahsedilmektedir. Yüzeylerde meydana gelen yansıma ve saçılım olaylarının oluşum biçimleri Şekil 2.16’da gösterilmektedir [4].



**Şekil 2.16 :** Yüzeylerdeki yansıma ve saçılım etkileri [4].

Yüzeyde meydana gelen düzgün yansımalar bazı durumlarda yankılanma ile sonuçlanacak şekilde sorunlar çıkarabilir. Örneğin birbirine paralel iki yansıtıcı yüzey kolayca tekrarlayan yankı (flutter echo) üretebilirken, içbükey yüzeyler de güçlü yankı üretebilirler. Bu tip oluşumları engellemek de düzgün yansımalarla değil yayıcı, saçıcı yansımalarla sağlanabilir [4].

#### 2.2.14 Çift kulakla kalite indeksi (binaural quality index, BQI)

Çift kulakla kalite indeksi (BQI), direkt sesin ulaşmasından sonraki ilk 80 milisaniye içinde gelen seslerin, iki kulak arasında yarattığı müzikal farklılıkları belirlemede

kullanılan bir parametredir. İlk olarak 1968’de Keet tarafından ortaya konulan parametre, akustik kaliteyi belirlemede kullanılan en önemli göstergelerden biri haline gelmiştir.

BQI, kulaklar arası çapraz korelasyon katsayısı ( $IACC_{E3}$ ) ile hesaplanmaktadır.

$$BQI = [1 - IACC_{E3}] \quad (2.25)$$

$IACC_{E3}$ , direkt ses dinleyiciye ulaştıktan sonraki 80 milisaniyelik zaman periyodu içinde iki kulağa gelen ses dalgaları arasındaki ilişkiyi gösterir. 500, 1000 ve 2000 Hz frekans bantlarındaki değerlerin ortalaması kullanılır.

Karşıdan gelen direkt sesler ve yansımalar iki kulağa da aynı sürede ulaştığı için BQI parametresine katkı sağlamaz. Ancak yanal yansımalar vasıtası ile kulaklar arası sinyal farklılıkları sağlanabilir.

#### **2.2.15 Sesin yayılımı (Diffusivity(ss))**

Toplam enerji ile ses şiddetinin karşılaştırmasından oluşan yayılım (Diffusivity(ss)) parametresi Thiele’nin yaptığı çalışmalarla ortaya konulmuştur. Parametre kapsamında sesin yayılımı yüzdesel olarak ifade edilmektedir [14].

Akustik simülasyon programlarında durağan haldeki (steady state) ses yayılımı ele alınmıştır.

$$D_{ss} = 10 \log E(t) - 10 \log \sqrt{I_{8x}^2 + I_{8y}^2 + I_{8z}^2} \text{ dB} \quad (2.26)$$

#### **2.2.16 Eko parametresi (Echo(Dietsch))**

Hacimde yankılanma, eko kusurunun tespitinde eko parametresi kullanılmaktadır. Dinleyiciye güçlü olarak ulaşan geç yansımalar yankılanma kusurunun temel sebebidir. Dietsch ve Kraak’ın çalışmaları ile ortaya konulan eko parametresinde müzik için 1,5; konuşma için ise 0,9 değerlerinin üstü hacimde duyulabilir düzeyde yankılanma kusurunun olduğunu göstermektedir [14].

#### **2.2.17 Eğrilik (curvature, C)**

Eğrilik (Curvature, C) parametresi,  $T_{20}$  ve  $T_{30}$  çınlama eğrilerinin kalitesi ve düzgünlüğünü göstermektedir.  $T_{20}$  ve  $T_{30}$  parametreleri için çınlama eğrisi grafiğinin azalma eğilimini belirtir. Bu parametre için %5’in altındaki değerlerde çınlama

eğrisinin düzgün bir azalım gösterdiği, %10'nun üzerindeki değerlerde ise çınlama eğrisinin düzgün azalmadığı ISO 3382-2 standardında belirtilmiştir [15].

$$C = 100 \cdot \left( \frac{T_{30}}{T_{20}} - 1 \right) \quad (2.27)$$

$T_{20}$ : Kaynaktan çıkan sesin ilk 20 dB'lik düşüşü sırasında geçen süre.

$T_{30}$ : Kaynaktan çıkan sesin ilk 30 dB'lik düşüşü sırasında geçen süre.

$XI(T_{20})$  ve  $XI(T_{30})$  parametreleri de benzer şekilde çınlama eğrisinin düzgünlüğünü tanımlamaktadır ve C yerine kullanılabilir. Ancak bu parametrelerde % 5'in üzerindeki değerler çınlama eğrisinin düzgün azalmadığını göstermektedir.

## 2.2.18 Erken destek (early support, $ST_{Erken}$ ) ve geç destek (late support, $ST_{Geç}$ )

### 2.2.18.1 Erken destek, $ST_{Erken}$

Müzisyenlerin birbirlerini iyi bir biçimde duymaları ve bu sayede bir bütün halinde eserleri icra edebilmelerini ifade eden parametredir. Öznel olarak bütünlük (ease of ensemble) parametresi ile ilişkilidir. 20-100 ms arasında gelen enerjinin, ilk 10 ms'deki direkt ses ve erken yansımaların oluşturduğu enerjiye oranı ile hesaplanmaktadır.

$$ST_{Erken} = 10 \log \left( \frac{\int_{0,02}^{0,10} p^2(t) dt}{\int_0^{0,01} p^2(t) dt} \right) \quad (2.28)$$

### 2.2.18.2 Geç destek, $ST_{Geç}$

Sahne yüzeylerinden alınan yansımaların oranını ifade eden bir parametredir. Öznel olarak destek (support) parametresi ile ilişkilidir. 100-1000 ms arasında gelen geç enerjinin, ilk 10 ms'deki direkt ses ve erken yansımaların oluşturduğu enerjiye oranı ile hesaplanmaktadır.

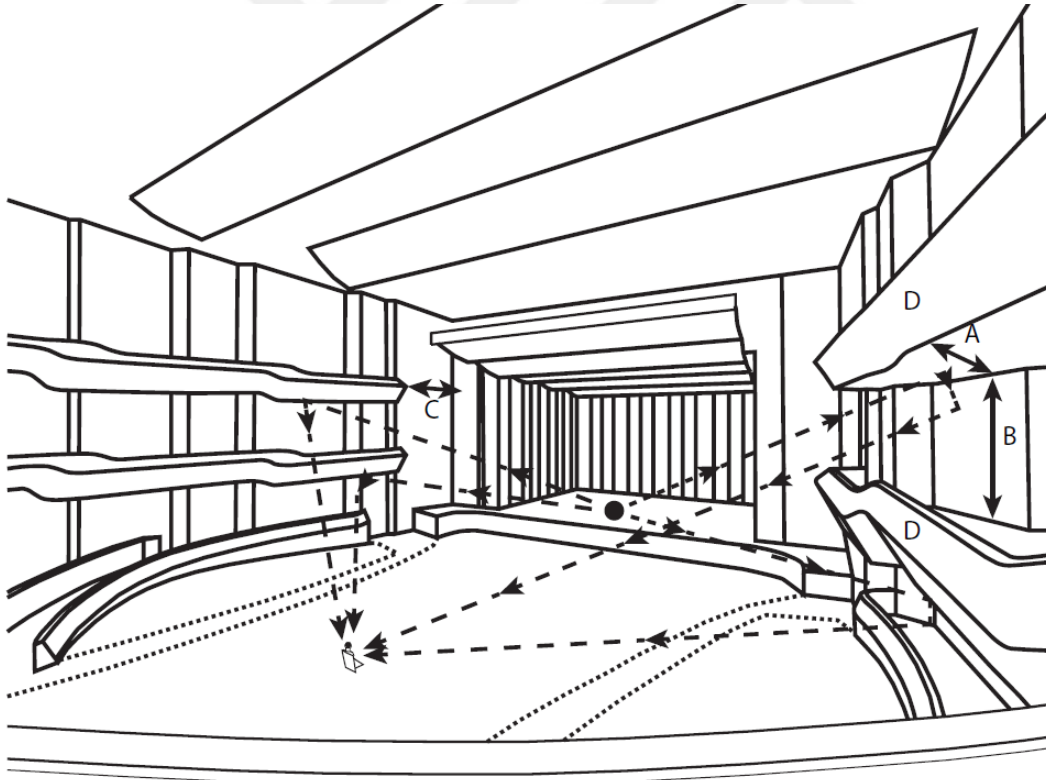
$$ST_{Geç} = 10 \log \left( \frac{\int_{0,10}^{1,00} p^2(t) dt}{\int_0^{0,01} p^2(t) dt} \right) \quad (2.29)$$

## 2.3 Özel Parametreler

### 2.3.1 Kucaklama (spaciousness)

Kucaklama etkisi, müzikal hissi genişletir ve sesin derinliğini artırır. Kucaklama niteliğine sahip olmayan sesler, sahnede tek bir noktadan geliyormuş gibi hissedilir ve kulakta dolgun bir biçimde çınlamaz. Üç boyutlu bir ses hissi istenmesine rağmen tek veya iki boyutlu bir his oluşturur. Kucaklama, netlik yansımaları ile direkt olarak ilişkilidir fakat esas olarak yan duvarlardan gelen yanal yansımalara bağlıdır. Yan balkonlar ve localar gibi duvarlarla 90° açı yapan diğer yüzeyler yanal yansımaları arttırmaya yardımcıdır. Ölçümünde ve sayısal olarak değerlendirilmesinde çift kulakla kalite indeksi, BQI kullanılır [5].

Şekil 2.17’de, orta aks üzerinde yer alan dinleyiciler için balkon yüzeyleri kullanılarak yanal yansımaların artırılması ve böylelikle kucaklama etkisinin de artırılması üzerine bir salon örneği gösterilmektedir [5].



Şekil 2.17 : Büyük bir çok amaçlı salonda balkon yüzeylerinin yardımı ile orta aks üzerinde yanal yansımaların ve kucaklama etkisinin artırılması [5].



### 2.3.2 Kuşatılma (envelopment)

Dinleyicinin kuşatılması yada çevrelenmesi, dinleyiciyi ses ile sarmalanmış ve müzikal performansın içinde hissettiren etkidir. Özellikle konser salonlarının akustiğinde çok önemli bir kriterdir.

LEV parametresi olarak da ifade edilir ve literatürde geç kulaklar arası çapraz korelasyon katsayısı ( $IACC_{L3}$ ) ile ölçülmesi önerilmektedir.  $IACC_{L3}$ , direkt ses dinleyiciye ulaştıktan sonraki 80 milisaniyelik zaman periyodu içinde iki kulağa gelen ses dalgaları ile 1 saniyelik zaman periyodu arasındaki ilişkiyi gösterir. 500, 1000 ve 2000 Hz frekans oktav bantlarının ortalaması alınarak kullanılır.

Salonların büyük hacimlerinde kuşatılma etkisini sağlamak oldukça zordur. Oturma düzeninin üzerindeki tavan arası çınlayan hacim olarak kullanılabilir. Çevrelenme için; ses dinleyicinin etrafında dolaşmalı, geç yansımalar birçok farklı yönden gelmeli ve yeterli ortalama serbest yol bulunmalıdır. Ek olarak çınlama süresi de 1,7 saniyenin üzerinde olmalıdır.

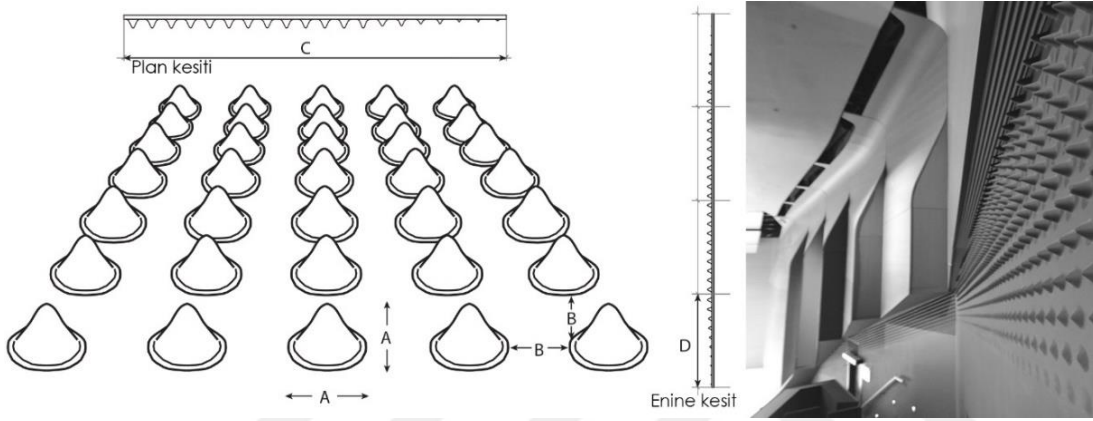
Yapılan araştırmalara göre dinleyicilerin sağ ve sol kulaklarına gelen seslerde zaman farkı olması ve seslerin farklı yönlerden gelmesi çevrelenme etkisini arttırmaktadır. Bu, salondaki saçıcı yüzeyler aracılığı ile sesi direkt sestten sonraki 80 ms'den itibaren yöneltme ve harmanlama işlevleri ile sağlanır. Bu etki doğal olarak salonun tam merkezine oturduğunda da gerçekleşmektedir [5].

### 2.3.3 Yayılım (diffusion)

Ses alanının hacim içerisinde homojen yayılımını ifade eden bir öznel parametredir. Temel olarak saçıcı yüzeyler yaratılması ve buna bağlı olarak salon genelinde iyi bir yayılım sağlanması prensibine dayanmaktadır. Özellikle eski dönemlerde (18. ve 19. yy.) inşa edilen salonlarda kabartmalı, oymalı yüzeyler kullanılarak ve duvarlara heykeller yerleştirilerek sağlanan bir etkidir. Günümüz mimari anlayışı ile daha pürüzsüz yüzeylerden oluşan salonlarda daha düşük saçıcılık ile birlikte yayılım da azalım göstermektedir. Bu sorunu aşmak amacı ile bölgesel olarak difüzör uygulamaları yapılmaktadır. Ancak çok fazla girinti çıkıntılı yüzey kullanımı yutuculuğu da arttıracığından bu yüzeylerin aşırı düzeyde kullanılmamasına ve dağılımının salon genelinde eşit bir biçimde olmasına özen gösterilmelidir.

İyi yayılıma sahip salonlarda akustik parlama (acoustic glare) ve sertlik (harshness) sorunları görülmez. Salondaki toplam emilimi ölçmek ve ayırt etmek için nesnel, doğrudan bir yöntem yoktur. Kulaklar arası çapraz korelasyon (IACC) ve çınlama süresinin salonun farklı noktalarında karşılaştırılması yöntemleri, ses enerjisinin yayılımını belirlemede kullanılabilir [5].

Şekil 2.18’de Alice Tully Hall’daki yüksek frekanslar için tasarlanan konik difüzör (diffuser) uygulaması görülmektedir. Saçıcı yüzeyler 4.8 m genişliğinde, 3.6 m yüksekliğinde olmak üzere sahne üstüne ve yan duvarlara uygulanmıştır [5].



**Şekil 2.18 :** New York, Alice Tully Hall’daki yüksek frekans konik saçıcılar, (A)değişken koni yüksekliği ve taban ölçüsü; (B)koniler arasındaki sabit aralık; (C)plan kesiti; (D)enine kesiti [5].

### 2.3.4 Samimiyet (intimacy)

Büyük hacimler genellikle daha gür, küçük hacimler ise daha kısık sesler üretir. Doğal olarak bu durum, hacim/yüzey oranının yarattığı farklı çınlama sürelerinden kaynaklanmaktadır. Yapılan anket çalışmaları sonucunda, kulağa erken ulaşan seslerin akustik samimiyeti arttırdığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle tasarımcılar ilk yansımaların dinleyiciye ulaşımını hızlandırarak, büyük hacimleri daha küçük ve samimi bir ortama çevirebilmektedir [4].

Samimiyet, ilk ulaşım gecikmesi (ITDG) ile ölçülmektedir. ITDG, direkt sesin dinleyiciye ulaşım süresi ile ilk yansıyan sesin ulaşım süresi arasındaki farkı belirten bir nesnel parametredir. Daha kısa ITDG süreleri daha samimi salonlar anlamına gelmektedir. Daha kısa ITDG sürelerine ulaşabilmek için salonlarda tavan yansıtıcılarının mümkün olduğu kadar alçağa konumlandırılmış olması gerekmektedir. Büyük konser salonlarında ITDG süreleri 20 milisaniye ile 60

milisaniye arasında değişmektedir. Küçük, oda müziği salonlarında ise 8 milisaniye ile 27 milisaniye arasında değişmektedir.

Bir salon içerisindeki samimiyet, hacmin formu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Ön sıralarda, arka sıralarda ve balkonlarda farklı süreler oluşacağından, samimiyet hissi salonda bulunan noktaya göre de değişmektedir [4].

### **2.3.5 Sıcaklık (warmth)**

Güçlendirilmemiş müzik dinleyicileri güçlü düşük frekansları severler. Bu durum nitelik olarak olarak akustik sıcaklık olarak tanımlanmaktadır.

Düşük frekanslar uzun dalga boyuna sahip olduğundan küçük yüzeylerden yansıma yapmazlar, bu nedenle büyük yüzeyler kullanmak akustik sıcaklığın temel gereksinimlerin biridir. Sahne zemini özellikle düşük frekanslı seslerde çello, kontrbas gibi zemin ile temas eden enstrümanlarda ses yayan bir panel gibi davranır. Bu durumun ölçülmesi zordur fakat kesinlikle hacimdeki akustik sıcaklığı arttırmaktadır [4].

Günümüzde konser salonlarında oluşan ses yutuculuk değeri dikkate alınmakta ve ona göre tasarım yapılmaktadır. Koltuk arası yutum etkisinin, 100-300 Hz bandında sesi 10 dB hatta 20 dB'ye kadar zayıflattığı görülebilmektedir. Bu etkiyi azaltmak için; koltukların sırtlık yüksekliğinin, ilgili sesin dalga boyunun dörtte birini geçmemesi gerekmektedir. Koltuk arası yutum etkisinin özellikle az eğimli salonlarda (<15°), alıcının kaynağa göre uzakta olduğu durumlarda ve yüksek tavanlı salonlarda arttığı görülmüştür. Aynı zamanda, salonun dolu veya boş olmasının da bu durumu çok etkilemediği görülmüştür.

Sıcaklık parametresi bas oranı (BR) yardımı ile ölçülür. Düşük frekanslı ses gücünün orta frekanslı seslere göre daha fazla olduğu salonlar daha yüksek bas indeksine sahiptir ve dolayısıyla öznel olarak daha “sıcak” olarak tanımlanmaktadır [4].

### **2.3.6 Parlaklık (brilliance)**

Ahenkli, net ve temiz olarak kulakta çınlayan ses “parlak” olarak tanımlanmaktadır. Belirgin yüksek frekansların yavaş düşüşü (yüksek çınlama süresi) ile parlak ses niteliği oluşur. Yüksek frekanslı seslerin salon içerisinde hava ile de yutumu sağlandığından, ek olarak yüksek oranda yutuculuğa sahip perde ve halı gibi malzemelerin kullanımı sesin parlaklık niteliğini azaltır. Elektronik güçlendirme

sistemleri uygun olmayan biçimde fazla kullanıldığında ise tam tersi etki yaparak parlaklığın aşırıya kaçmasına sebep olmaktadır [6].

### **2.3.7 Denge (balance)**

Orkestranın kendi içindeki bölümleri arasındaki ve orkestra ile vokal yada enstrümental solistler arasındaki dengeyi ifade etmek amacı ile kullanılmaktadır. Salon içinde iyi bir denge sağlayabilmek için gerekli unsurların bazıları akustik, bazıları ise müzikaldir. Orkestra ve vokaller arasındaki denge temel olarak sahne tasarımı ile sağlanmaktadır. Özellikle sahne kabuğunun yüzeylerine uygulanan düzensiz, farklı yüzeyler ile istenilen denge sağlanabilmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki, dengeyi sağlamanın müzikal tarafı büyük oranda şeflerin orkestra kontrolü ve müzisyenlerin sahne içindeki konumları ile ilgilidir [6].

### **2.3.8 Harman (blend)**

Orkestradaki farklı enstrümanlar tarafından üretilen seslerin karışarak dinleyicide ahenkli bir ses etkisi oluşturmasını ifade etmektedir. Harman, kısmen orkestranın yerleşimi ile ilgilidir; ne çok geniş, ne de çok derin bir oturma düzenine sahip olmalıdır. Harman oranı, büyük oranda sahne-önü ve sahne-içi yansıtıcılarının tasarımlarına bağlı olarak değişmektedir [6].

### **2.3.9 Birlik (ensemble)**

Birlik, sahnedeki ses alanının homojen olarak dağılık olması ve buna bağlı olarak müzisyenlerin birbirlerini iyi duyarak tam bir uyum içerisinde eş zamanlı hareket etmelerini ifade eder. Sahne içindeki yansıtıcı paneller ve sahne kabuğunun tasarımı, sahnenin en uç konumlarında yer alan müzisyenlerin bile birbirlerini iyi duymasını sağlayacak nitelikte olmalıdır. Özellikle geniş bir orkestra piti veya sahneye sahip salonlarda birliğin zayıf olduğu görülebilmektedir [6].

### **2.3.10 Sesin homojenliği (uniformity of sound)**

Birçok salonda sesin zayıf veya güçlü (ölü veya canlı) olduğu farklı noktalar bulunmaktadır. Özellikle büyük salonlarda yetersiz yansıma alan, ön-orta bölge ve balkon altlarında zayıf noktalar görülmektedir. Bu durumda tekdüze, ortalama bir ses kalitesi elde edilemez ve salon için genel bir akustik kaliteden bahsedilemez. Bu

nedenle homojen bir dağılımın sağlanması için iyi bir yayılımın da sağlanması gereklidir [6].

### **2.3.11 Akustik parıltı (acoustical glare)**

Salonda tavana asılı panel yüzeyleri ve yanduvlar düz, pürüzsüz ve erken yansımaları yönlendirecek şekilde yerleştirildiğinde, bu yüzeylerden yansarak gelen sesler sert veya kötü olarak tanımlanabilecek bir ses kalitesi ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, optik açıdan parıltı analojisi yapılarak akustik parıltı olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyle verilebilecek eğrilik veya yüzeyde düzensizlikler ile akustik parıltıdan kaçınılabilmektedir.

18. ve 19. yüzyıllarda inşa edilen salonlarda görülen oymalı ve heykelli duvarlar, saçıcılığı artırarak parıltıyı önlemiştir [6].

### **2.3.12 Ses tınısı ve rengi (timbre and tone color)**

Sesin tınısı bir müzisyenin sesini diğerlerinden veya bir insanın sesini diğerinden ayırmaya yarayan bir niteliktir. Sesin rengi ise düşük, orta ve yüksek frekanslar arasındaki ve orkestranın bölümleri arasındaki dengeyi ifade eden bir niteliktir.

Müziğin üretildiği ortamın akustik özellikleri ses rengini belirlemektedir. Salonun tiz sesleri güçlendirmesi veya yutması sonucunda, kırılmalı veya boğukluk oluşarak müzikal kalite zarar görebilir. Sahne kabuğu ve tavan, sesi salonun bazı bölümlerine iletip bazılarında iletmiyorsa ses rengi bölgesel olarak değişiklik gösterecektir [6].

### **2.3.13 Dinamik aralık (dynamic range)**

Dinamik aralık, salonda duyulması istenen sesin dışındaki arka plan gürültülerinin oluşturduğu sesleri tanımlamaktadır. Bu aralık; salonda dinleyicilerin oluşturduğu en düşük arka plan gürültü düzeyinden, performans sırasında HVAC sisteminin ürettiği en yüksek düzeye kadar bir bantta yer almaktadır. Dinamik aralığın geniş olmasını önlemek için trafik ve havayolu gibi harici gürültü kaynaklarından mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır [6].

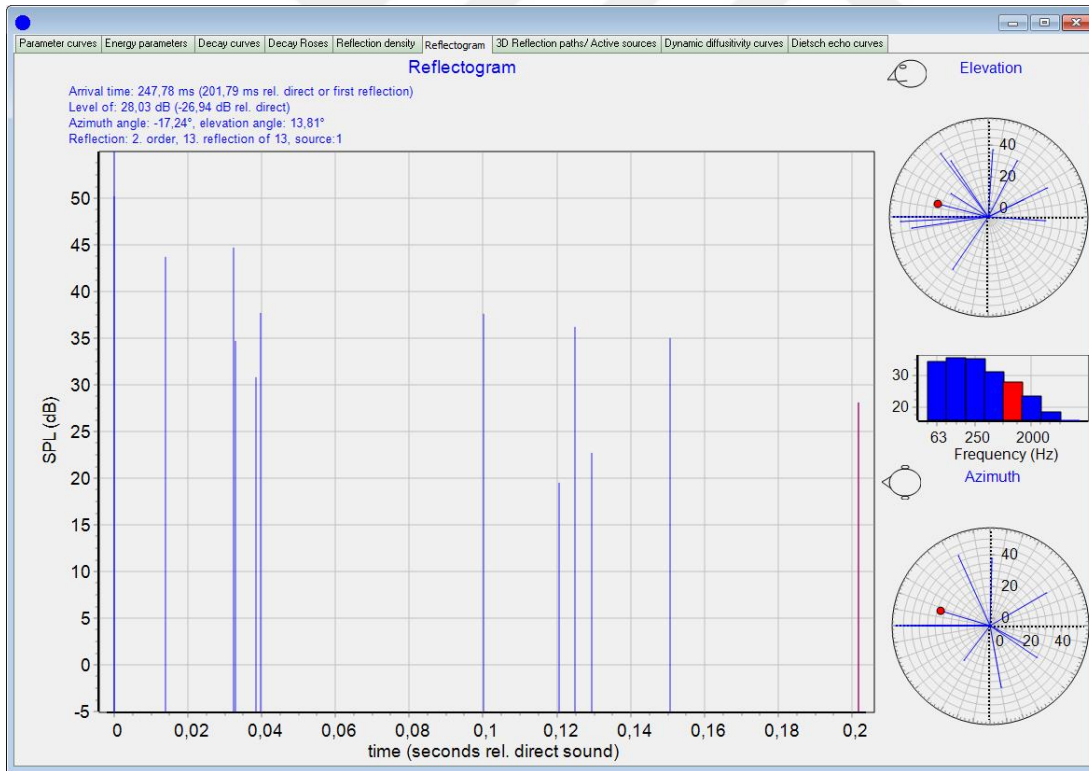
### **2.3.14 Doku (texture)**

Doku, kulağa ulaşan erken yansımaların sekanslarının oluşturduğu örüntülere bağlı olarak dinleyicide ortaya çıkan öznel etkidir. Doku açısından kusursuz olarak tanımlanabilecek bir salonda erken yansımalar direkt sestten hemen sonra gelir ve

yansımalar düzenli bir sekansta gelmeye devam eder. Ancak, ilk yansıma ile takip eden yansımalar arasında az miktarda gecikme olması genellikle görülen bir durumdur ve tolere edilebilir. Yüksek kalitede bir doku için dinleyicilerin çok sayıda erken yansıma alması ve bunların düzenli bir biçimde dinleyiciye ulaşması gerekmektedir [6].

Doku ölçümü ve belirlenmesi zor olan bir öznel parametredir. Genel olarak ITDG ile ilişkilendirilir ve büyük salonlarda 40 milisaniyenin altında olması istenir. Ancak, nesnel parametreler ideal aralıkta olduğunda bile öznel değerlendirmeler sonucunda dokuda sorunlar olduğu tespit edilebilir.

Dokunun belirlenmesinde en doğru yöntem dinleyicilerdeki yansıma diyagramlarının (reflectogram) alıcı bazında tek tek incelenmesidir. Bu diyagramlarda yansımaların geliş örüntüleri incelenebilmekte, sorunlu yansımaların meydana geldiği zaman aralıkları belirlenebilmektedir. Şekil 2.19'da, Odeon hacim akustiği simülasyon programından elde edilmiş örnek bir alıcı yansıma diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.19 : Örnek bir alıcı yansıma diyagramının görünümü.

### 2.3.15 Tepki hızı (immediacy of response)

Müziyenlerin bakış açısına göre; bir notaya bastıklarında salon derhal ona bir tepki verebilmelidir. Bu durum tepki hızı olarak tanımlanmakta ve salon yüzeylerinden

gelen ilk yansımaların müzisyene ulaşma çabukluğunu ifade etmektedir. Eğer notaya basıldıktan çok sonra yansıma gelir ise müzisyende bu durum yankılanma (echo) olarak algılanacaktır.

Diğer taraftan, yansımalar sadece sahne içi yüzeylerden gelir ise müzisyenler salonun akustiğini algılayamayıp sesi sadece kendi çaldıkları biçimde duyarlar. Bu sebeple salondan da yansıma alan, harmanlanmış bir sesin ulaştığı sahnenin tasarlanması gerekmektedir [6].

#### **2.4 Mimari Tasarım Parametreleri**

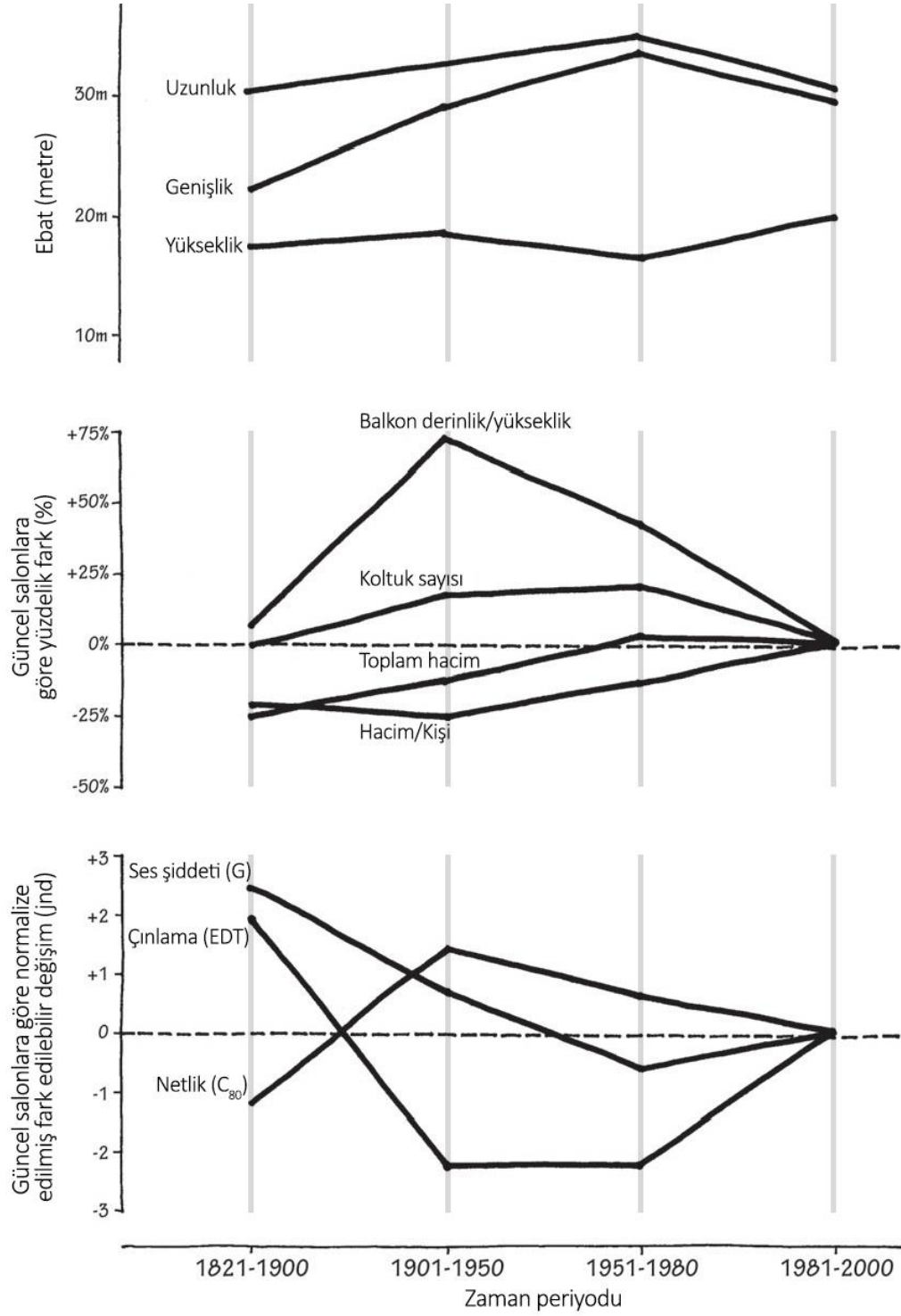
Hacim akustiğinde planlanan amaca göre optimum akustik kaliteye ulaşılabile bile nihai hedefe ulaşmak, dinleyicilerin öznel kriterlerine bağlı olduğu için her zaman zor olmaktadır. Ancak temel olarak sağlanması gereken hacim akustiği gereklilikleri:

- İstenmeyen gürültülerin engellenmesi,
- Konuşmanın anlaşılabilirliği,
- Müzik sesinin keyif verici ve sıcak gelmesi,
- Tüm hacim içinde sesin homojen bir şekilde yayılması,
- Yankı (echo) ve tekrarlayan yankı (flutter) gibi kusurların engellenmesi,

olarak sıralanabilir. Tüm bu koşullar sağlandığında tasarım hacim akustiği konusunda başarılı sayılabilir. Burada en önemli nokta ise akustik ve görsel uygulamaların estetik olarak tatmin edici şekilde bir arada bulunmasıdır [11].

Salon tasarımlarında hacim akustiği gerekliliklerini sağlayabilmek amacı ile tarihsel süreç boyunca; temel plan tipi, bölgesel formlar, sahne ve kullanılan malzemeler gibi unsurlarda yeni öneriler ve tasarımlar geliştirilmiştir. Bunlara bağlı olarak da salonlardaki nesnel parametreler, öznel parametrelerle birlikte değişim göstermiştir.

Şekil 2.20'deki grafiklerde 1800'lerin başından itibaren günümüze kadar salon boyutlarında yaşanan değişimler ve bunların bazı temel nesnel parametreler üzerindeki etkileri gösterilmektedir.



**Şekil 2.20 :** Tarihsel süreç boyunca salonların mimari tasarımlarında görülen değişimler ve nesnel parametrelere etkileri [4].

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde:

- 20. yüzyıl başlarında artan salon hacimleri ve balkon boyutları ile birlikte ses şiddeti ve çınlama sürelerinin azaldığı,
- Düşen çınlama süresi ile birlikte netliğin de arttığı,



- 21. yüzyıla doğru gelindiğinde salon boyutlarının da tekrar küçülmeye başladığı,
- Küçülen boyutlarla birlikte ses şiddeti ve çınlama süresi değerlerinin tekrardan artışa geçtiği; netliğin ise düşüşe geçtiği,

sonuçlarına varılabilmektedir. Akustiğin değerlendirilmesinde meydana gelen değişimlerle birlikte, salon tasarımlarının da tarihsel süreç boyunca değişim gösterdiği çıkarımı yapılabilir.

#### **2.4.1 Salon formu**

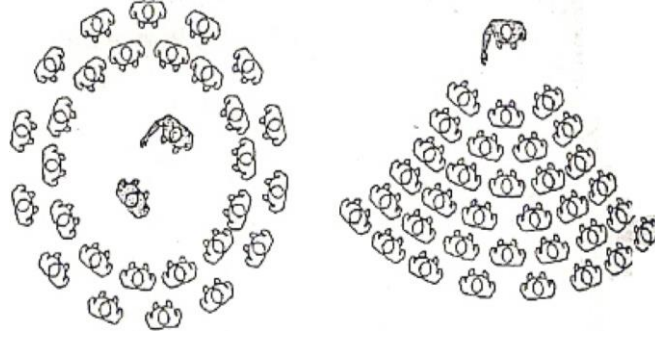
İyi bir hacim akustiğine sahip olması istenen yapılarda, erken tasarım evresinde salon formu belirlenirken etkili olan temel prensipler aşağıda sıralanmaktadır:

- Dikdörtgen hacimlerde ölçüsel oranlar  
Küçük dikdörtgen bir hacimde, doğal frekanslar bozulmamalı ve düzgün biçimde ortama yayılmalıdır. Bunun için yüzyıllardır altın oran veya yaklaşık olarak 2:3:5 oranı kullanılmaktadır.
- Çevre duvarların şekli ve sesin yansımaları  
Ses dalga boyundan daha fazla uzunluğa sahip bir yüzeye çarptığında yansır. İç bükey yüzeyler dalgaları tek bir noktaya toplarken dış bükey yüzeyler ses dalgalarını yayar. Bu nedenle iç bükey yüzeyler hacim akustiğinde potansiyel bir risk kaynağıdır.
- Yankılanma (echo) ve tekrarlayan yankının (flutter echo) önlenmesi  
İki paralel düzlem arasında meydana gelen çok sayıda yansıma tekrarlayan yankılara sebep olabilir. Seste duyulabilir bir titreşim meydana gelmemesi için 1000 ve 2000 Hz frekans bantlarındaki saçıcılık büyük önem arz etmektedir [11].

#### **2.4.2 Plan tipi**

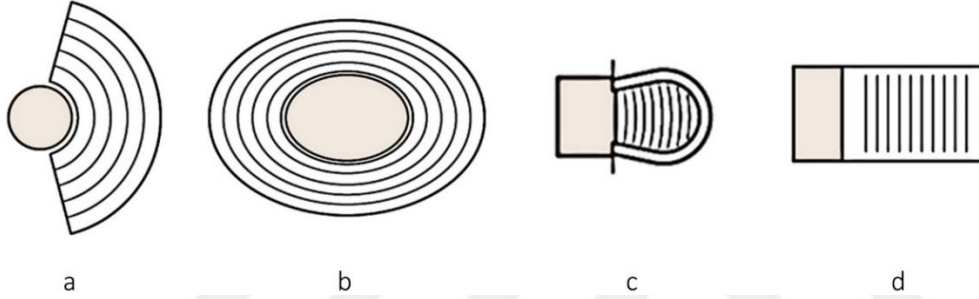
Şekil 2.21’de görüldüğü gibi, izleyicilerin bir etkinlik etrafındaki organik dizilim biçimleri performansın türüne bağlı olarak iki farklı şekilde olmaktadır.

1. Görsel ve işitsel olarak bir odak noktası etrafında gelişen dans, dövüş sanatları, aksiyon ve diyalog tiyatrosu etkinlikleri.
2. Sınırlı görsel ve işitsel yönlülük ile monolog bir sahne tipinde gelişen etkinlikler [16].



**Şekil 2.21** : Performans türüne bağlı olarak seyircilerin organik yerleşimi [16].

Şekil 2.22’de görüldüğü üzere tarihsel süreç boyunca geliştirilen konser salonlarında, monolog sahne tipi özelliği gösteren fan, arena, at nalı ve dikdörtgen (shoebox) tipli olmak üzere 4 ana plan şeması kullanılmıştır.



**Şekil 2.22** : Konser salonlarında görülen 4 ana plan şeması (a)fan; (b)arena; (c)at nalı; (d)dikdörtgen [16].

Odak noktası sahne olan arena tipi plan şeması, spor salonlarının da merkezde yer alan saha ve onu çevreleyen tribün yapısı nedeni ile doğal formunu tanımlamaktadır.

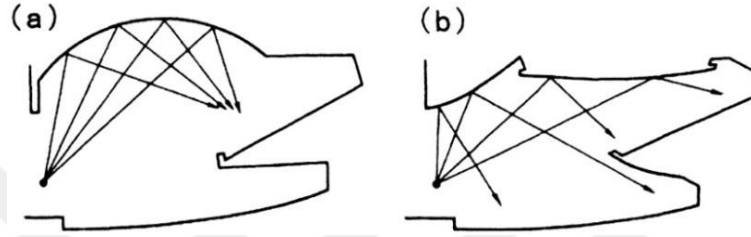
Arena plan tipinin genel olarak görülen dezavantajları:

- Merkezde bulunan sahnedeki yönlülük (directivity) özelliği: Özellikle bakır üflemler ve yaylı grubunda yön özelliği daha etkindir. Sahne arkasında kalan kısımlar yönelimden daha çok olumsuz etkilenirler [17].
- Yansımaların yetersiz kalması: Ahşap üflemler ve perküsyon, timpani gibi enstrümanların çok fazla yansıtıcı yüzeye gereksinimleri yoktur. Dolayısıyla sahnenin orta kısımlarında konumlanırlar. Ancak, diğer enstrüman tiplerinin tavan reflektörü gibi bir yansıtıcıya daha çok ihtiyaçları vardır. Seyirci alanları da farklı kottaki teraslara bölünerek ve parter duvarları kullanılarak yararlı yanal yansımalar sağlanabilir [17].

## 2.4.3 Bölgesel formların seçimi

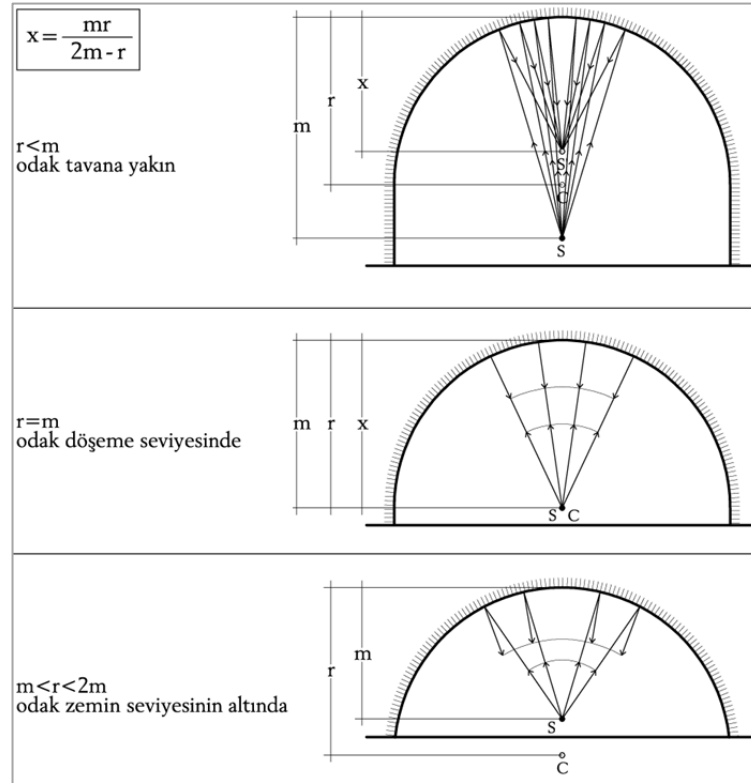
### 2.4.3.1 Tavan

Özellikle arka bölümdeki dinleyiciler için tavadan alınan yansımalar önemli rol oynamaktadır. İçbükey, kubbe formundaki tavanlarda sesin yayılımı istenen düzeyde olmamaktadır. Farklı açılarda yerleştirilmiş dışbükey yüzeylerden oluşan bir tavan tasarımı, ses enerjisini salon genelinde homojen bir biçimde yayabilmek için kullanılan en temel uygulamalardandır, Şekil 2.23.

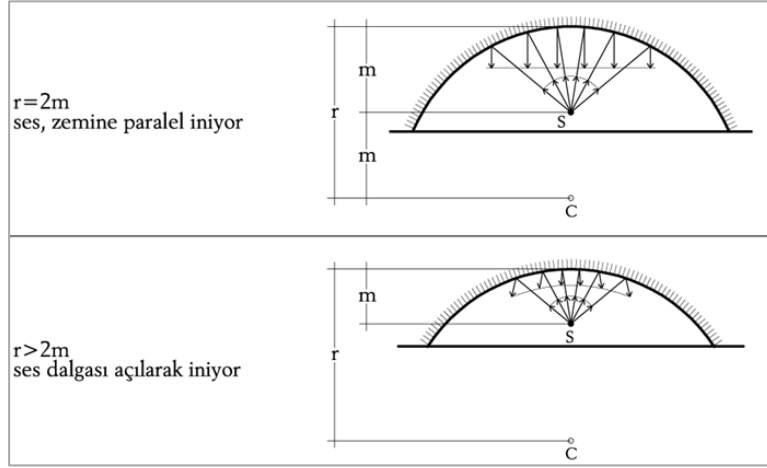


Şekil 2.23 : Salonların boyuna kesitleri (a)kötü; (b)iyi [11].

Yine de içbükey formlu bir tavanda ısrar ediliyorsa, odaklanma kusurunun (sound focusing) oluşmaması ve sesin hacim içinde homojen bir biçimde yayılabilmesi için tavan eğiminin yarıçapı salonun yüksekliğinin en az iki katı olmalıdır ( $r \geq 2m$ ). Şekil 2.24'te kubbe yarıçapı ve odak noktası arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 2.24 : İç bükey tavanların yarıçapının belirlenmesi (x:odak noktası) [18].

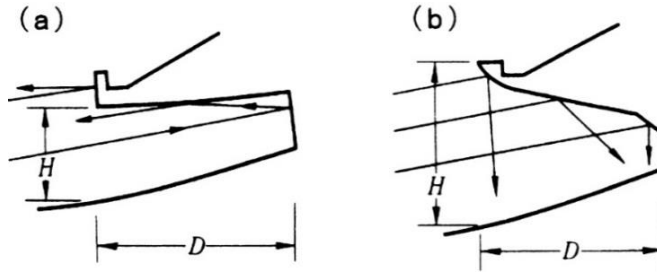


**Şekil 2.25 (devam) :** İç bükey tavanların yarıçapının belirlenmesi (x: odak noktası) [18].

Kubbeli yapılarda tavan eğiminin yarıçapı ( $r$ ), salonun yüksekliğine ( $m$ ) eşit veya yakın olduğunda, odak noktası dinleyici konumuna yakında oluşmakta ve bu da ses odaklanması kusurunun meydana gelmesine sebep olmaktadır. Odak noktası, zemin kotunun altında veya dinleyicilerden yukarıda konumlandırıldığında ses odaklanması kusuru önlenmiş olur.

#### 2.4.3.2 Balkon

Seyirci kapasitesini arttırmak için kullanılan balkonlar hacimde çınlama süresinin azalmasına ve yansıyan seslerin zayıflamasına sebep olmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için derinliğinin mümkün olduğunca az tutulması ve balkon derinliğinin ( $D$ ), balkon boğaz yüksekliğinin ( $H$ ) iki katını geçmemesi gerekmektedir. Şekil 2.25'te iyi ve kötü balkon tasarımı örnekleri gösterilmektedir. Balkon altındaki oturma düzeni tasarlanırken her koltuktan tavanın büyük bir kısmının görülebilmesi amaçlanmalıdır [11].



**Şekil 2.26 :** Balkon uygulamalarından kesitler (a)kötü; (b)iyi [11].

### 2.4.3.3 Zemin

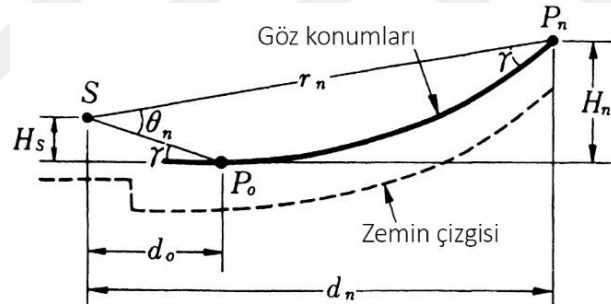
İyi görüş alanı, iyi dinleme koşullarını da beraberinde getirir. Bu nedenle özellikle büyük salonların zeminini, yeterli görüş alanını sağlamak için eğimli tasarlanmaktadır. Ancak koltuklu oturma düzeni, ses dalgalarının emilimine neden olmakta ve 100-200 Hz aralığındaki düşük frekanslı ses dalgaları koltuk aralarındaki boşluklarda rezonansa yol açabilmektedir. Bunları önlemek için zemin eğiminin doğru belirlenmesi büyük önem taşımaktadır, Şekil 2.26. Zeminin eğimini belirlemede ideal görüş açısını yakalamak, dinleyicinin direk sese ulaşması anlamına da gelmektedir. Genellikle zemin eğiminin en az 12-15° dolaylarında olması tercih edilmektedir. Zemin eğimi  $\gamma$  olarak belirlenen bir salonda, dinleyici yükseklikleri aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır [11].

$$H_n = \gamma \left[ d_n \cdot \ln \frac{d_n}{d_0} - (d_n - d_0) \right] \quad (2.30)$$

$H_n$ : Son alıcı noktanın ilk alıcıya göre yüksekliği.

$d_n$ : Son alıcı noktanın kaynağa olan uzaklığı.

$d_0$ : İlk alıcının kaynağa olan uzaklığı.

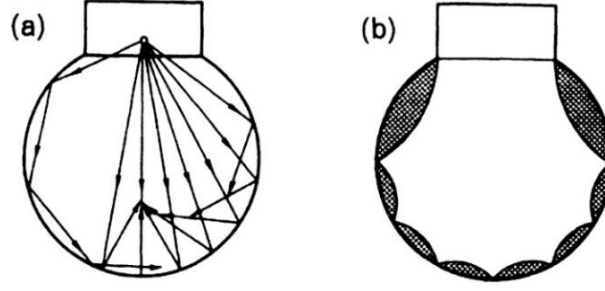


Şekil 2.27 : Salon eğiminin tasarımı [11].

### 2.4.3.4 Arka ve yan duvarlar

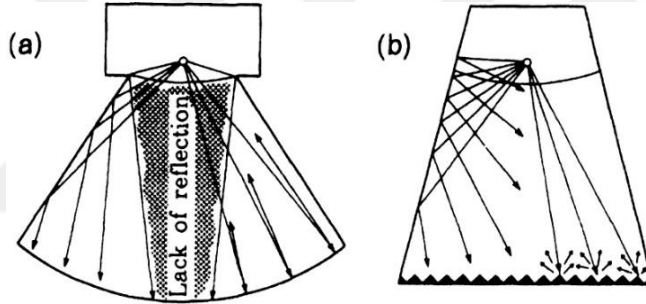
Tavan tasarımında olduğu gibi plan düzleminde de sesin yansıdığı ilk yüzeyin ses kaynağına yakınlığı büyük önem taşımaktadır. Duvar yüzeylerinde de içbükey yüzeylerden mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır.

Şekil 2.27'de eliptik ve dairesel planlarda görülen problemler için önerilebilecek dışbükey elemanların kullanımı gösterilmektedir [11].



**Şekil 2.28** : Dairesel plan tipinin akustik iyileştirilmesi (a)kötü; (b)iyi [11].

Geniş açılı fan tipi planlar, mimarlar tarafından genellikle tercih edilmektedir. Ancak yanal yansımalar yetersiz kalabilmekte ve arka duvardan eko kusuruna yol açabilecek uzun yansımalar gelebilmektedir. Bu durumda salonun yan duvarlarının daha dar bir açı ile yapılandırılması ve arka duvara gerekli yutuculuk, saçıcılık içeren yüzey malzemelerinin uygulanması ile sorun çözülebilmektedir, Şekil 2.28. Genel olarak düzensiz ve asimetrik plan tasarımı kolay değildir, ancak akustik kalite ve ses yayılımı açısından istenen bir durumdur.



**Şekil 2.29** : Fan plan tipinin akustik iyileştirilmesi (a)kötü; (b)iyi [11].

#### 2.4.4 Sahne tasarımı

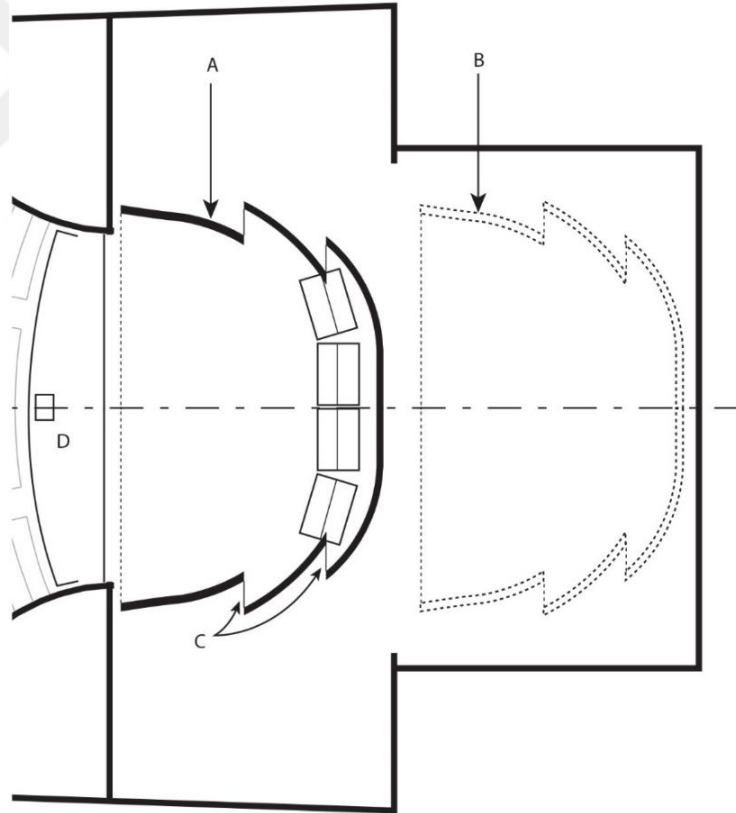
Sahne enerji ve titreşimlerin dinleyiciye ulaştırıldığı, ses performansının kalbidir. Çok amaçlı salonların sahnesi de sesin mekana yayıldığı yer olduğundan akustik açıdan kritik bir alandır.

Başarılı bir sahne tasarımı yapmak düşünüldüğünden daha karmaşıktır. İyi bir sahnenin meydana gelmesini sağlayan bir çok farklı faktör vardır. Ses enerjisinin sahne hacmi ve salon hacmi arasında serbestçe dolaşması gereklidir. Bazı durumlarda sahnedeki ses sahne tavanının üzerinde, çınlayan yan hacmin duvarlarında gezinebilir ve sonra boşuklardan salon içine girerek çınlamayı arttırabilir. Böylelikle, hem müzisyenler hem de dinleyiciler için gerekli düşük frekans tepkileri (bass response) sağlanabilir [5].

#### 2.4.4.1 Orkestra kabuğu

Orkestra kabuğu veya konser örtüsü kullanımı homojen, harmanlanmış sese ek olarak ses netliği ve şeffaflığı (transparency) sağlar. Müziğin bütünselliği içinde; keman üzerindeki yay darbesi, klarnetteki üfleme şiddeti ve perküsyonistin üçgen zili net olarak duyulmak istenir. Kabuk tasarımı yapılırken, dinleyicinin zengin ve harmanlanmış sesi dinlerken, aynı zamanda tek tek enstrüman detaylarını da duyabilmesi amaçlanır, Şekil 2.29 [5].

Sahnedeki ses çok net olup müzisyenler birbirlerini açıkça duyabildiğinde, dinleyiciler de bu durumdan olumlu etkilenir. Orkestra şefleri ise kendi kontrollerinde olan bir orkestra kabuğu istemektedirler. Bir enstrümanın tekil olarak öne çıkması gereken yerlerde ağırlığın ona verilebilmesi, daha harmanlanmış bir ses istendiğinde ise homojen bir dengenin ayarlanması, orkestra şeflerinin istediği kontrol edilebilir bir sahne tasarımının özelliğidir.



**Şekil 2.30 :** Globe-News Center'in orkestra kabuğu (A)raylara asılı ahşap kabuk; (B)depolama alanındaki kabuk; (C)havalandırma ve ışıklandırmaya izin veren açıklıklar; (D)tekli lift [5].

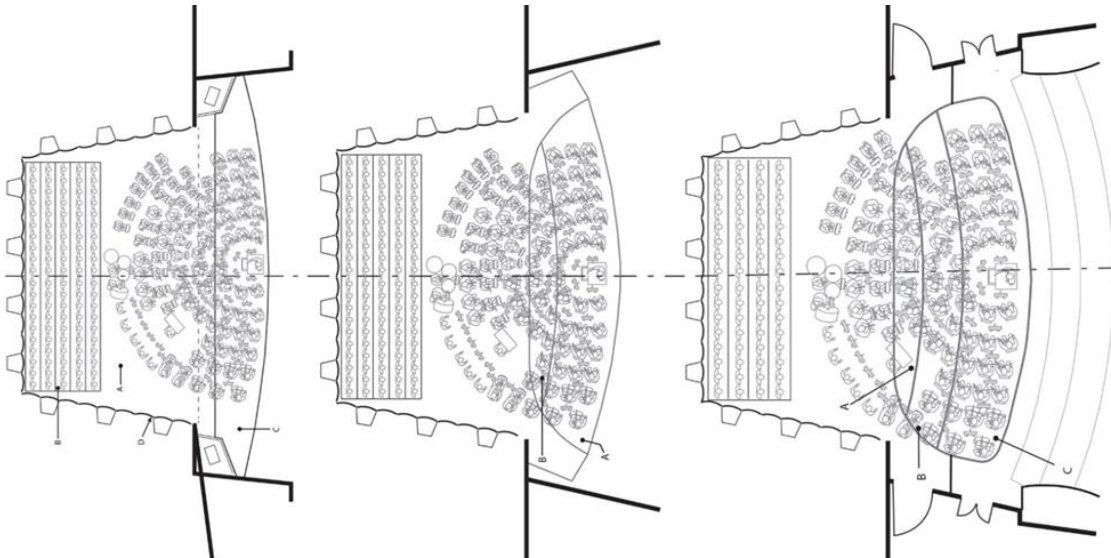
İnsanlar aynı zamanda görsel olarak etkilendikleri için tuhaf görünümlü kabuk ve salonlar, aynı akustik ortam şartlarında bile dinleyicilerin deneyimini olumsuz

etkileyebilir. Bu nedenle akustik uygulamaların hepsinde olduğu gibi sahne kabuğu tasarımlarında da psikoakustik etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Gerçekte hacim akustiği bu durumdan etkilenmese bile sesin dinleyiciler tarafından akustik algılanması değişir [5].

Şekil 2.29’da gösterildiği üzere, raylara asılı, hareket ettirilebilir kabuk tasarımları ile çok amaçlı salonlarda istenen değişkenlik sağlanabilmektedir. Kabuk üzerinde bırakılan açıklıklar sayesinde ses enerjisinin hacim içinde rahatça dolaşması sağlanmaktadır.

#### 2.4.4.2 Orkestra liftleri

İdeal tasarıma sahip çok amaçlı salonlarda, orkestradaki müzisyenler bir sahne-önü kemeri (proscenium arch) ile salondan ayrılmamalı, dinleyiciler ile aynı hacmi paylaşmalıdır. Bunu sağlamak amacı ile genellikle müzisyenler sahne önüne kadar getirilerek asansörlü orkestra bölümü yukarı kaldırılmaktadır. Ancak akustik açıdan mükemmel olmasına rağmen bu yöntem; görüş hattı problemleri, sahne-önü tavanında karmaşıklık, tavadaki ışıklandırma düzenine müdahale gibi sorunlar da doğurmaktadır. Orkestra liftlerinin kullanımı ile bir çok örnekte de haklılığı kanıtlandığı üzere, bu ekstra çaba ve maliyete değecek, hem sanatçılar hem de dinleyiciler için çok iyi sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.30’da da farklı boyutlardaki orkestra liftleri gösterilmektedir [5].



Şekil 2.31 : Sahnede kullanılan farklı orkestra liftleri (solda)tekli; (ortada)ikili; (sağda)üçlü [5].

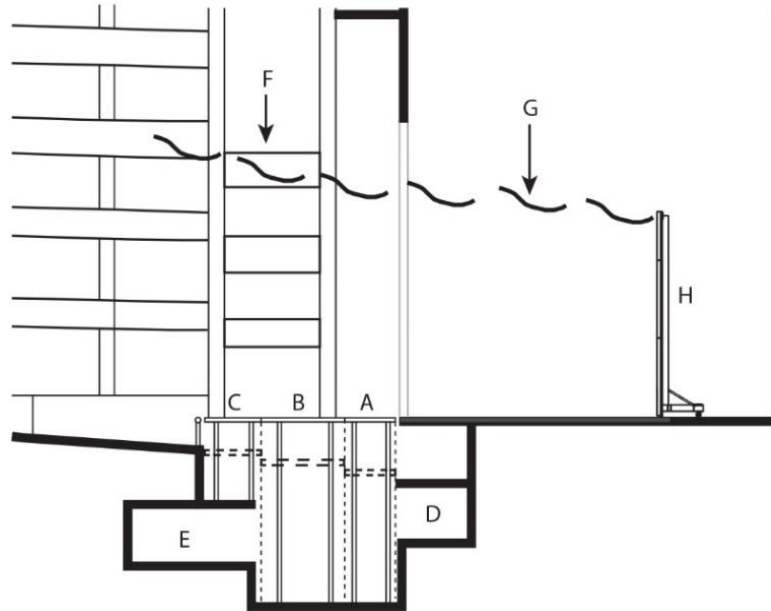


### 2.4.4.3 Sahne-önü (forestage) yansıtıcıları

Büyük, hareket edebilen sahne-önü tavan yansıtıcısı bu tip tasarımların (lift üzerinde çalma) başarısında hayati rol oynamaktadır ve en karmaşık bileşendir. Sahnede duymayı, harmanlamayı ve yöneltmeyi sağlamak adına sahne zeminin 10-12 metre üzerine yerleştirilmelidir. Aynı zamanda gerektiğinde toplanabilme özelliğine de sahip olarak, kedyolu ışıklandırmaları ve diğer ekipmanları kullanılabilir hale getirebilmelidir [5].

Klasik bir kabuk tavanından farklı olarak, sahne-önü yansıtıcılarında akustik açıdan aralıklı yerleşim, Şekil 2.31’de de gösterildiği üzere tercih edilmektedir. İdeal olarak yansıtıcı yüzeyinin %25-30’unun açık olarak bırakılması gerekmektedir. Müzisyenlerin üzerinde sesin bu boşluklarda dolaşmasına izin verilerek katı bir kabuğa göre sesin daha fazla güçlendirilmesi sağlanır [5].

Bölüm 2.4.5.1’de belirtildiği üzere sahne-önü yansıtıcılarının boyutlandırılması da yansıtılması istenen sesin dalgaboyu gözetilerek yapılmaktadır. Genel olarak elemanların her yönde 1,85 metreden küçük olmaması istenmektedir. Bu da yansıtılabilecek seslerdeki en düşük frekansın yaklaşık 200 Hz olarak alındığını göstermektedir ( $\lambda = 1,7 m$ ).



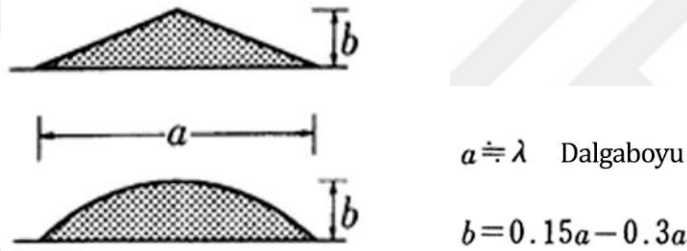
Şekil 2.32 : Schuster PAC’de üçlü lift üzerindeki sahne kesiti (F)Tavana asılı sahne-önü yansıtıcıları [5].

## 2.4.5 Malzemeler

### 2.4.5.1 Ses yansıtıcı paneller

Çok amaçlı salonlarda hareketli, yansıtıcı duvar ve tavan panelleri genellikle sahne çevresinde kullanılarak bir orkestra kabuğu etkisi yaratılmaya çalışılmaktadır. Sahne arkasında yutulacak sesler müzisyenlere ve dinleyicilere yönlendirilerek, müzisyenlerde daha iyi bir birlik, dinleyicilerde ise daha iyi akustik koşullar sağlanabilir [10].

Yansıtıcı paneller mümkün olduğunca ağır olmalıdır. Kontrplak levhaların arasına lamine edilerek kullanılan kauçuk bariyerler ile düşük bir ağırlıkla iyi bir yansıma karakteristiği sağlanabilir. Panel yüzeyi düz veya dışbükey olarak, yansıtılması istenen sesin dalgaboyu gözetilerek tasarlanmalıdır, Şekil 2.32.



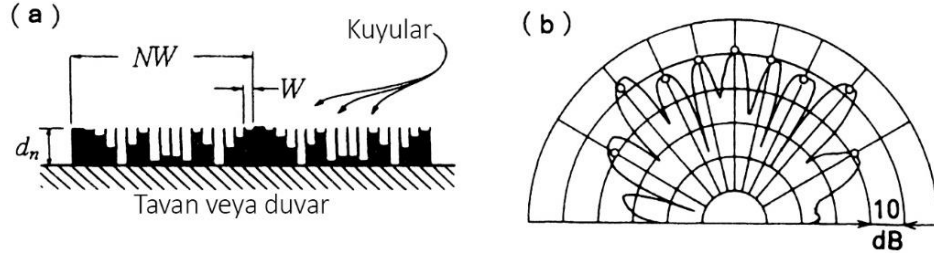
Şekil 2.33 : Yansıtıcı eleman boyutlandırılması (a)boyu; (b)derinliği [11].

Yansıtıcı panelin derinliği, yansıtılması istenen sesin dalgaboyunun %15'i ile %30'u arasında olmalıdır. Panelin eni ve boyu ise, yansıtılması istenen sesin dalgaboyunun uzunluğu kadar olmalıdır. Örneğin; 100 Hz'lik bir ses için tasarlanan panelin eni-boyu en az 3,4 metre; derinliği ise en az 50 santimetre olmalıdır [11].

### 2.4.5.2 Saçıcı yüzey veya birimler

Bir odada sesin yayılımını arttırmak için tavan veya duvarlara girintili çıkıntılı bir form verilebilir. Ya da silindirik, küresel ve piramidal formlar bir arada kullanılabilir. Geniş bir frekans aralığındaki dalgaların yayılabilmesi için, yüzeyde farklı biçim ve boyutların bir arada kullanılması önerilmektedir.

Schroeder'in sayı teorisine dayanan özel saçıcı uygulaması duvar ve tavanlara uygulandığında, ses dalgalarının düzgün yayılım gösterdiği anlaşılmıştır. Şekil 2.33'te karesel çökeltilerden (quadratic residue) oluşan bu difüzörlerin saçıcılık karakteristiği gösterilmektedir.



$D_n$ : Panel derinliği  $NW$ : Panel genişliği  $W$ : Birim genişliği.

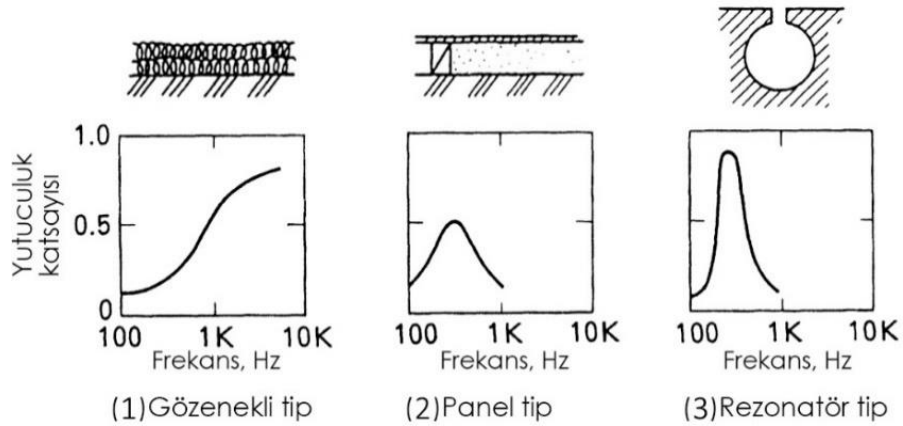
**Şekil 2.34** : Karesel çökeltiye (quadratic residue) dayanan difüzör uygulaması (a)yüzeyin kesiti; (b)gelen sesin dalgaboyu, saçının tasarlandığı frekans aralığının üst sınırının yarısı olduğunda meydana gelen yansıma yönelimi [11].

### 2.4.5.3 Yutucu yüzey veya birimler

Akustik yutucu malzemeler yutum prensiplerine göre; gözenekli (porous), panel ve rezonatör yutucular olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Bunların temel özellikleri:

1. Gözenekli yutucular geniş bir frekans aralığında çalışırlar, özellikle yüksek frekans bantlarında etkindirler.
2. Panel yutucular daha dar bir frekans aralığında çalışırlar fakat düşük frekans bantlarında daha etkindirler.
3. Rezonatör yutucular tek bir frekans bandı için tasarlanırlar ve sadece o frekans bandında yüksek etkinliğe sahiptirler [19].

Şekil 2.34'te bu üç farklı yutucu türünün temel yutum karakteristiği gösterilmektedir. Aynı zamanda, bir panel arkasında gözenekli yutucular kullanılarak oluşturulan kompozit yutucular da panel yutucuların yüksek frekanslardaki etkinliğini artırma amacı ile kullanılmaktadır.



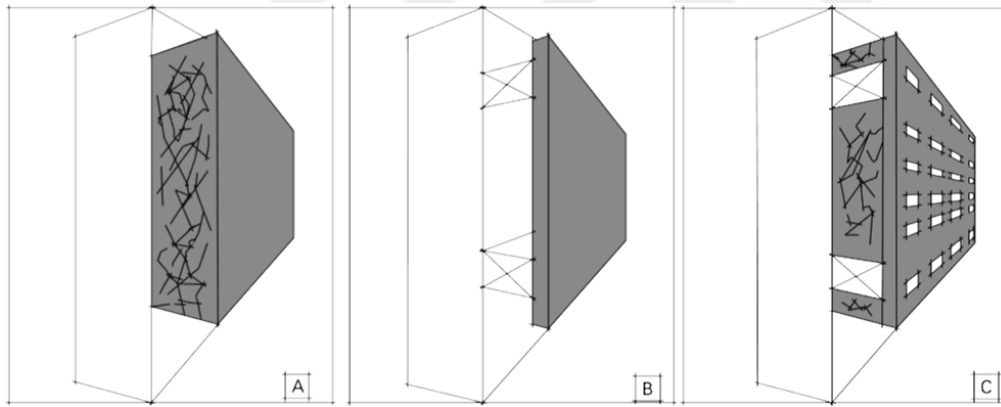
**Şekil 2.35** : Yutuculuk mekanizmaları ve temel karakteristikleri [2].

## 1. Gözenekli yutucular

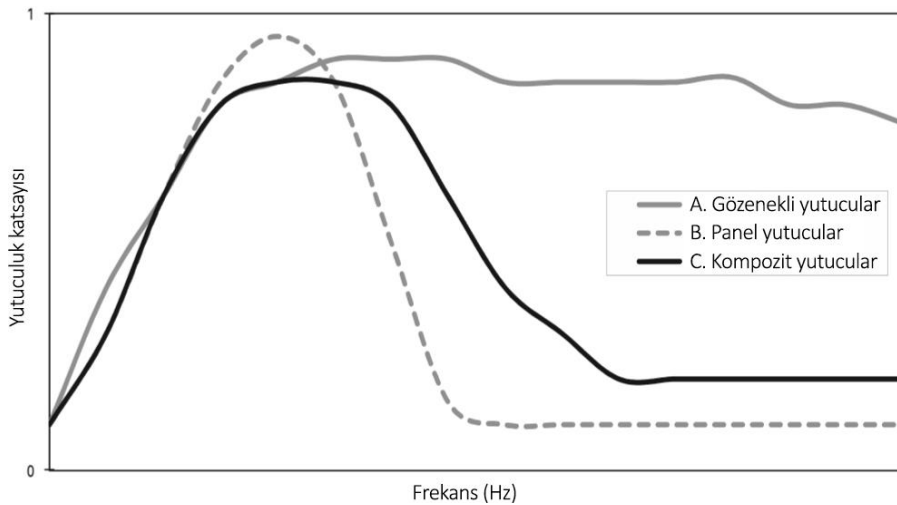
Ses dalgaları kılcal veya kesintisiz hava boşlukları içeren (cam yünü, taş yünü, boşluklu köpük gibi) gözenekli bir malzemeye çarptığında, bir kısmı boşluklardan yayılarak sürtünme nedeni ile enerji kaybeder, bir kısmı da malzemenin küçük liflerinin titreşimi ile gözeneklerden geçerken enerji kaybeder. Bu yutuculuk, yüksek frekanslarda fazla iken düşük frekanslarda daha azdır [2].

## 2. Panel yutucular

Geçirimsiz malzemeler (kontrplak levha, boyanmış kanvas gibi), ses ile uyarılmış titreşimlere sebep olurlar. Malzemeye ulaşan enerjinin bir kısmı, titreşimin oluşturduğu iç kayba bağlı olarak harcanmış olur. Ses yutum karakteristiği düşük frekans aralığında zirveye ulaşırken, arka boşluğa gözenekli bir yutucu eklenerek kullanılan kompozit yutucularda ulaşılan zirve noktası çok yüksek olmamaktadır, Şekil 2.35. Gözenekli, panel ve iki sistem de bir arada kullanılarak oluşturulan kompozit yutucuların ses yutum karakteristiği Şekil 2.36'da karşılaştırılmaktadır [2].



Şekil 2.36 : Gözenekli (A), panel (B) ve kompozit yutucular (C) [19].



Şekil 2.37 : Akustik yutucu malzemeler ve frekans bantlarındaki performansları [19].

### 3. Rezonatör yutucular

Ses rezonatöre çarptığında boşluğun açıklığına bağlı olarak, titreşen frekans aralığında büyük güçlendirilmiş hava titreşimlerini harekete geçirir ve ses enerjisini akışkan kaybına bağlı olarak yayar. Bu durum, boş bir şişeye üflenerek çıkarılabilen tek tonlu ses üretimi ile ters prensiplerde çalışmaktadır. Ancak emilim, çınlayan frekanslarda çok yüksek olabilir, Şekil 2.34. [2].



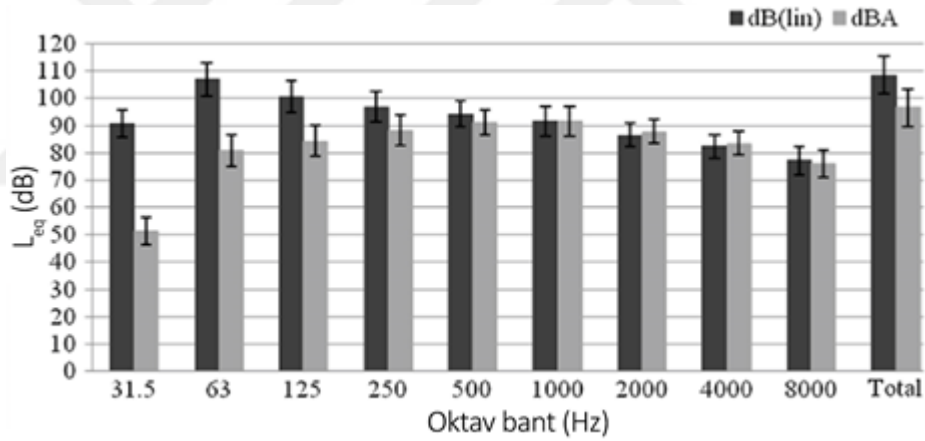


### 3. GÜÇLENDİRİLMİŞ MÜZİK KARAKTERİSTİĞİ

Rock ve pop müziği diğerlerinden ayıran en temel özelliklerinden biri ses kaynaklarının hoparlörler ile güçlendirilmiş (amplified) olmasıdır. Bunun nedenleri;

- Özellikle küçük salonlarda farklı enstrümanlar arasındaki akustik dengenin sağlanamaması,
- Büyük salonlarda yeterli ses gücü yayılımının sağlanamaması,

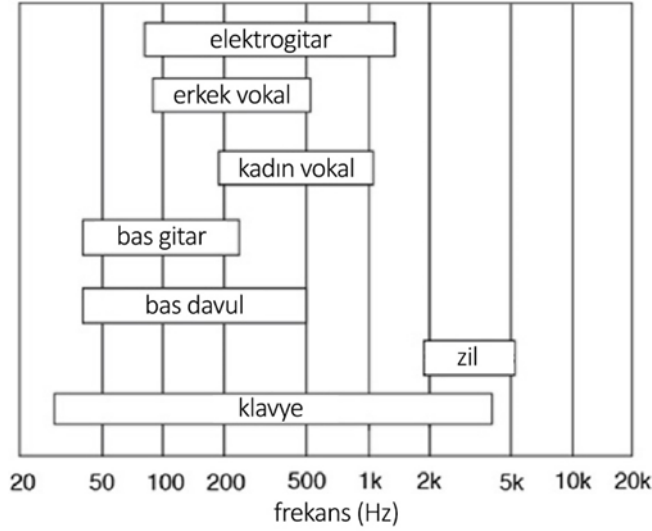
olarak açıklanabilir. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere bir konser salonunda rock ve pop müzik konserleri esnasında erişilen ortalama eşdeğer gürültü düzeyi, güçlendirme sistemleri sebebi ile genişbantta 100 dBA’ya kadar ulaşmaktadır [20].



**Şekil 3.1 :** Bir salonda 15 farklı rock ve pop müzik konserleri esnasında oluşan eşdeğer gürültü düzeyleri ( $L_{eq}$ ) ortalaması [20].

Rock ve pop gibi popüler müzik türlerinde farklı frekans aralıklarında etkin bir çok ses kaynağı vardır ve bu nedenle güçlendirme sistemi olmadan bunlar arasında bir denge sağlamak oldukça zordur. Şekil 3.2’de de rock ve pop müzik konserlerinde genellikle sahnede yer alan ses kaynaklarının etkin olduğu frekans aralıkları gösterilmektedir [20].

Şekil 3.2’deki grafiğe bakıldığında, güçlendirilmiş müzik türlerinde kullanılan ses kaynaklarının etkin oldukları frekans aralıklarının birbirinden bağımsız olduğu, aralarındaki dengenin de yalnızca elektro-akustik sistemler ile sağlanabileceği anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.2 :** Rock ve pop müzikte kullanılan farklı kaynakların temel frekans aralığı [20].

### 3.1 Elektro-akustik Sistemler

Günümüzde gelinen noktada, sahnede elektro-akustik sistemler kullanmayan neredeyse hiç bir yapı tipi kalmamıştır. Aynı zamanda açık havada da anons servisleri için elektro-akustik sistemler önemli bir rol oynamaktadır. Mimar ve çevresel tasarımcıların da bu sistemler hakkında temel bilgilere sahip olarak, ses mühendisleri ile birlikte çalışmalarını gerekmektedir [11].

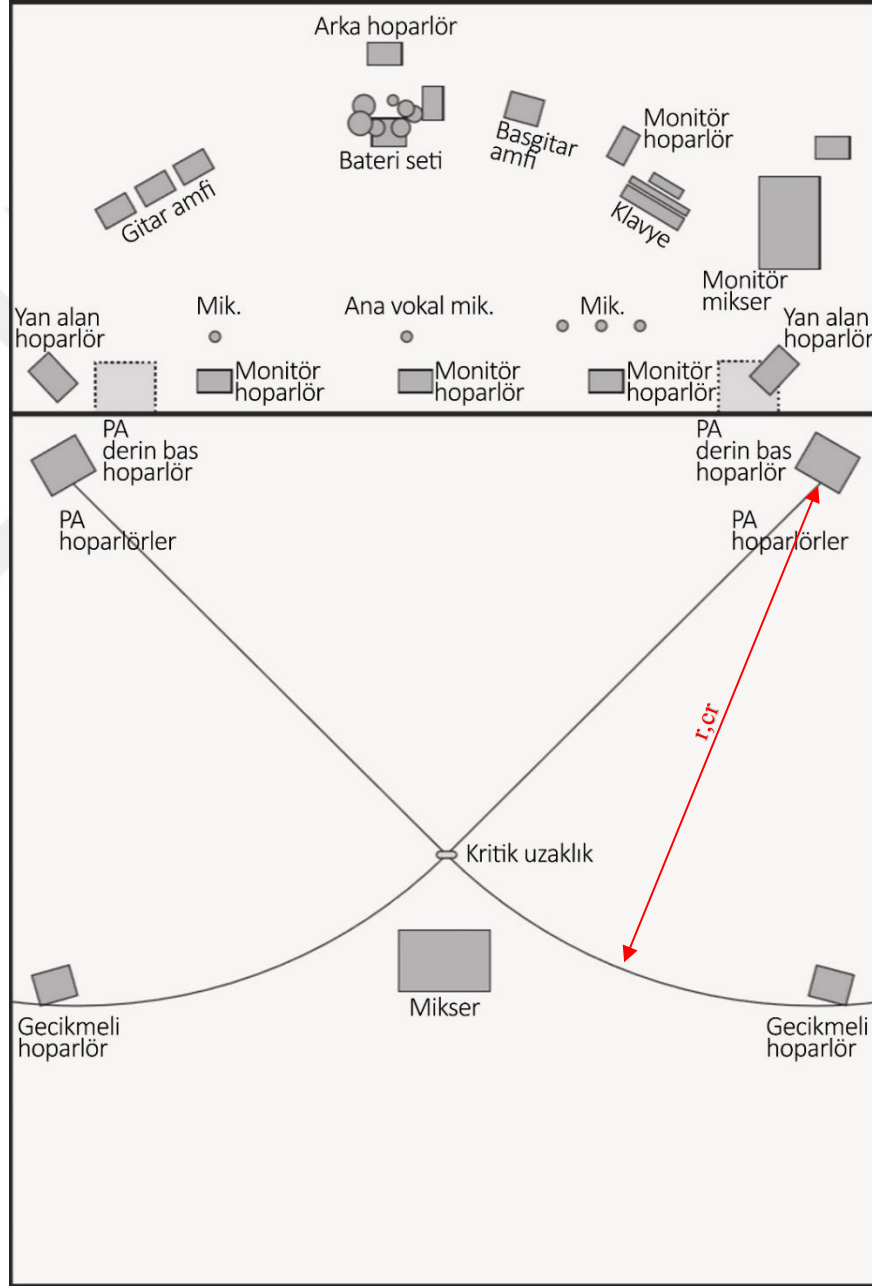
#### 3.1.1 Elektro-akustik sistemlerin işlevleri ve amaçları

Elektro-akustik sistemler genellikle aynı akustik ortam içine yerleştirilmiş mikrofon, amplifikatör ve hoparlörden oluşmaktadır. Mikrofon konuşma veya müzik sinyallerini alır ve güçlendirilmiş sesi hoparlörler yayar. Bu sistem orjinal sesin ses basınç düzeyinin yeterli olmadığı veya S/N oranının düşük olduğu durumlarda, ses gücünü artırarak daha net telaffuz ve yüksek anlaşılabilirliğin oluşmasını sağlamaktadır [11].

Ses teknisyenlerinin hoparlör düzenini (PA system), tüm detayların dinleyiciler tarafından rahatlıkla duyulabileceği biçimde ayarlamaları büyük önem taşımaktadır. Hoparlörlerin dinleyicilere doğru yöneltmesi, yansıtıcı duvar, tavan yüzeylerine yöneltmemesi ve daha düşük çınlama sürelerinin sağlanması, sistemin daha kusursuz çalışması için önemli kriterlerdir.

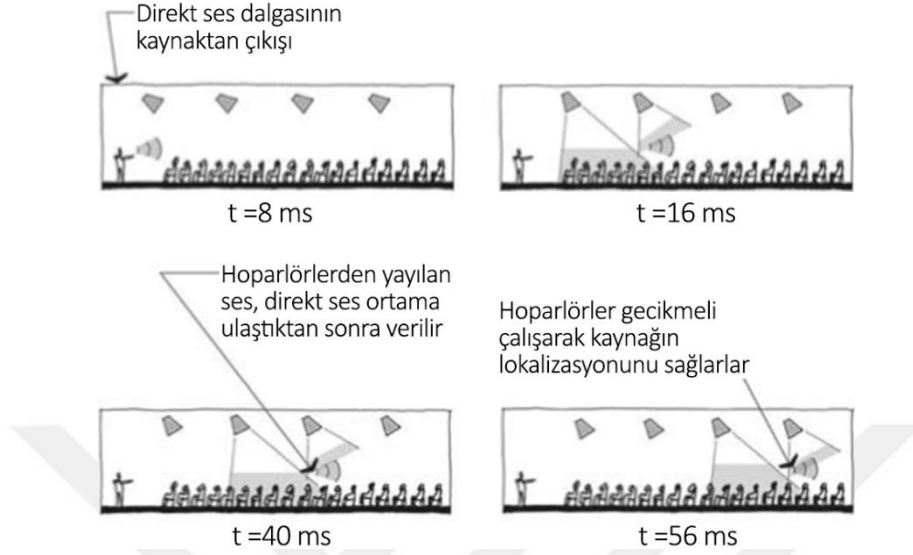


Dinleyicilerin dışında müzisyenler de sahnede kendilerini ve diğer müzisyenleri iyi duyabilmek için güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu amaçla eskiden sahnedeki sesi arttırmak için kurulan monitör hoparlörlerinin yerini, özellikle son yıllarda kulakiçi monitör sistemleri almıştır, Şekil 3.3. Bu sayede müzisyenler sahnede rahatlıkla hareket edebilirken sesin yönünden de etkilenmemektedir. Kulakiçi monitör sisteminin bir diğer avantajı da açıkta bulunan mikrofonlardan sesin geri gelmemesidir [20].



Şekil 3.3 : Rock ve pop müzikte kullanılan, monitör hoparlörlerin yer aldığı, örnek bir elektro-akustik sistem şeması [20].

Büyük hacimlerde hoparlör sistemi kurulurken, tüm hacimde yeterli ses basınç düzeyi yayılımını sağlayabilmek için kaynağa uzak noktalarda gecikmeli hoparlörler kullanılmaktadır, Şekil 3.4.



Şekil 3.4 : Gecikmeli hoparlör sisteminin tasarım prensibi [4].

Bu gecikmeli hoparlörler, kritik uzaklık ( $r, cr$ ) mesafeleri gözetilerek yerleştirilmelidir. Ses kaynağından belirli bir uzaklıktaki direkt ses düzeyinin, yaygın (diffuse) ses düzeyi ile eşit olduğu nokta kritik uzaklık (critical distance) olarak adlandırılmaktadır. Aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir.

$$r, cr = \sqrt{\frac{Q \cdot V}{100 \cdot \pi \cdot T \cdot (1 - \alpha')}} \quad (3.1)$$

Eşitlikteki  $Q$  hoparlörün ilgili frekans bandındaki yönelimi (directivity),  $V$  salonun hacmi,  $T$  çınlama süresi ve  $\alpha'$  ise ortalama yutuculuk katsayısıdır. Buradan;  $Q$ ,  $V$  ve  $\alpha'$  arttıkça,  $T$  ise azaldıkça daha geniş bir kapsama alanındaki dinleyici kitlesine net, anlaşılabilir ses ulaştırıldığı sonucuna varılmaktadır. Tasarlanan salondaki kritik mesafe hesaplanırken Salon 3 varyasyonundaki 1000 Hz değerleri kullanılmıştır:

$$r, cr = \sqrt{\frac{2 \cdot 21000}{100 \cdot \pi \cdot 1,25 \cdot (1 - 0,39)}} = 13,2 \text{ m}$$

$Q$  (directivity) parametresi hoparlörler iki yönden sınırlı olduğu için 2,  $V$  21000 m<sup>3</sup>,  $T$  1,25 saniye ve  $\alpha'$  ise 0,39 olarak alınmıştır.

Ses sistemi genellikle bazı frekansları diğerlerinden daha fazla güçlendirmektedir. Ayrıca salon da tüm frekans bantlarında düz bir çınlama eğrisi gösteremediğinde aynı etkiyi yaratmaktadır. Sistemin (hoparlör ve hacim) eşit olmayan bu tepkisi nedeni ile IIR ve FIR gibi filtrelemeler kullanılarak düzeyler eşitlenmeye çalışılır [20].

Bu dengeleme girişimlerinin gerçek hacim akustiği üzerinde bir etkisi olmadığı unutulmamalıdır. Hacim akustiğini oluşturan nitelikler yüzey geometrisi ve malzeme özellikleridir, elektronik olarak değiştirilemez. Bu nedenle salon daha tasarım aşamasında uygun hacim akustiği niteliklerine göre biçimlendirilmelidir.

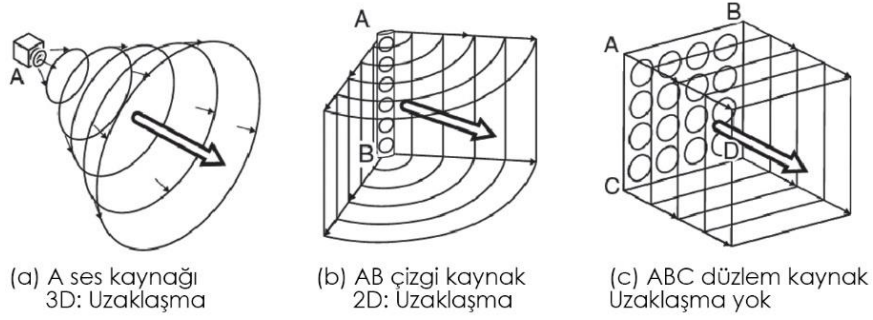
### **3.1.2 Hoparlörler ile direkt sesi iletme**

Ses sisteminin temel amacı tüm dinleyiciler için yeterli güçte ve netlikte sesi sağlamaktır. Toplam ses; hoparlörlerden gelen direkt ses ve bu direkt sesin hacimdeki yansımalarından oluşur. Direkt ses ile yansıyan sesler arasındaki düzey dengesi, dinleyici tarafından algılanan ses kalitesini belirler. Bu denge dört temel etkene dayalıdır:

- Hoparlörlerden gelen direkt sesin yönelimi,
- Hoparlörden gelen direkt ses ve çevre yüzeylerden yansımaların oluşturduğu karışım (interference),
- Dinleyicilerin ses yutucu niteliği,
- Salonun hacim akustiği niteliği.

Neredeyse her durumda bir hoparlörden daha fazlası kullanıldığı için hoparlörler arasındaki karışım (interference), dinleyici alanındaki bazı bölgelerin düşük düzeyde direkt ses almasına sebep olmaktadır. Bu kör noktaların konumları frekansa göre değişebilmektedir. Ancak 500-4000 Hz aralığında oluşabilecek yetersiz direkt ses düzeyi, dinleyici tarafından algılanan anlaşılabilirliği yüksek oranda etkilemektedir.

Elektro-akustik sistemlerde direkt ses iletilirken tek bir hoparlör kullanıldığında noktasal kaynak gibi çalışmaktadır. Hoparlörler bir hizada sıralandığında çizgi kaynak gibi; hoparlörler geniş bir yüzey alanında yerleştirildiğinde ise düzlem kaynak gibi çalışmaktadır, Şekil 3.5. Bu yerleşim sistemleri tasarlanırken, kaynakların yönelimleri ve kaynağın uzaklığına bağlı azaltım da hesaplamalarda değerlendirilmelidir [11].



**Şekil 3.5 :** Üç tip hoparlör yerleşiminin ses yayılım biçimleri [11].

### 3.1.3 Elektro-akustik sistemlerin çeşitleri

#### 3.1.3.1 Merkezi sistem

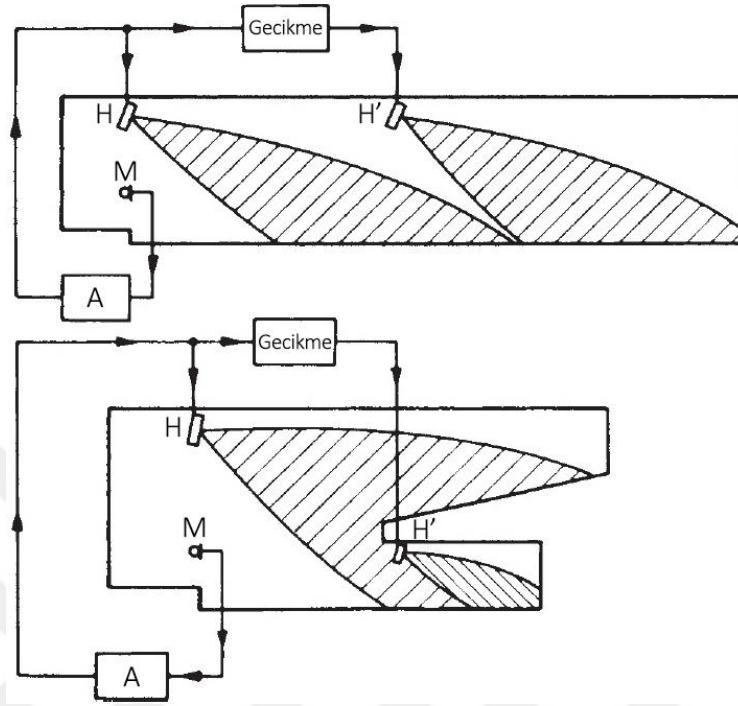
Bir veya iki hoparlör kullanılarak, uygun yönelim ile direkt ses kaynağına mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilerek oluşturulmaktadır. Bu düzenleme genellikle oditoryumlarda, amfi dersliklerde ve spor salonlarında uygun ölçekte kullanılmaktadır. Sistemin avantajları:

- Dinleyiciler tarafından kolaylıkla algılanabilecek şekilde iyi bir kaynak lokalizasyonu sağlamaktadır.
- Yönelimlerin kontrol edilmesi ile yankılanmanın önlenmesi kolaydır. Böylelikle tavanlarda, duvarlarda ve dinleyiciler üzerinde aşırı düzeyde direkt sesin oluşması engellenebilmektedir. Aynı zamanda arka duvar üzerinde yutucu ve yayıcı uygulamalarla da kontrol edilebilmektedir.
- Güçlendirilmiş direkt ses ile konuşma anlaşılabilirliği artırılabilir. Hoparlör yerleşiminde uygun yönelim sağlandığında, yapay olarak çınlama süresi düşürülerek bu işlem yapılabilir.
- Mikrofon ve hoparlör konumlarının doğru seçimi ve yönelimlerine bağlı olarak, uğultunun (howling) daha fazla veya az oluşma ihtimalinin üstesinden gelinebilmektedir [11].

#### 3.1.3.2 Yayıcı sistem

Büyük hacimlerde, gecikmeli hoparlörler kullanılarak oluşturulmaktadır, Şekil 3.6. Birbirlerinden belirli bir mesafede yerleştirilmiş iki hoparlör aynı sinyal ile beslendiğinde, iki hoparlöre eşit mesafede bulunan bir dinleyici kendini ikisinin arasında hisseder. Fakat mesafeler farklı olduğunda veya çok sayıda hoparlör

bulduğunda, ilk dalga yüzü yasası (the law of the first wavefront) sebebi ile ses görüntüsü en yakın hoparlöre doğru olur. Diğer hoparlörler dinleyiciler tarafından sessiz gibi algılanmaya başlanır.

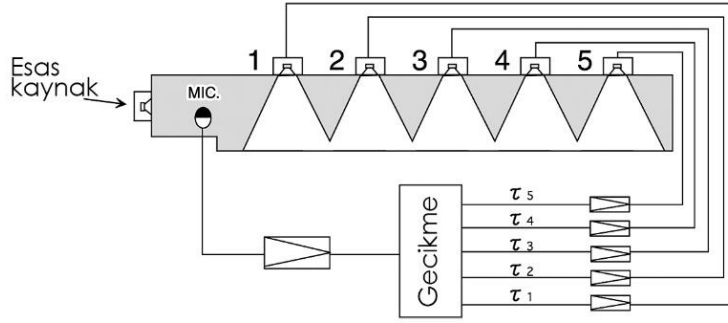


**Şekil 3.6 :** Gecikmeli hoparlörlerin farklı hacim formlarında konumlandırılması (M)mikrofon; (A)amplifikatör; (H, H')hoparlörler [21].

Sesin farklı hoparlörlerden dinleyiciye ulaşım zamanında 20 ms'den daha fazla fark olduğunda, fazların karışması sebebi ile renklenme (colouration) oluşmaktadır. 30-50 ms'den fazla olduğunda ise algılanabilir düzeyde yankılanma meydana gelmektedir [11].

Aynı sinyal dağınık durumdaki bir çok hoparlörü beslediğinde, durağan halde ses basıncı yayılımı tekdüze olur. Ancak sinyal müzik veya konuşma gibi anlamlı bir ses ise, ulaşan seslerdeki farklı zaman gecikmeleri birbirleri ile karışarak sesin netliğini azaltır. Bazı durumlarda dinleyiciler konuşmadaki hiç bir kelimeyi anlamayabilir. Yayıcı hoparlör sistemi için uygulanması gereken temel tasarım parametreleri:

1. Yönüne bağlı olarak her hoparlörün servis alanı sınırlandırılmalı ve ses seviyesi yakındaki alanı rahatsız etmeyecek şekilde kontrol edilmeli. Netlik bu sayede artacaktır.
2. Her hoparlöre giden sinyale zaman gecikmesi verilmeli, elektronik geciktirici kullanılmalı, Şekil 3.7. Böylelikle her bir dinleyicinin en yakın hoparlörden gelen sesi, direkt sestten bir kaç milisaniye sonra alması sağlanmalı.

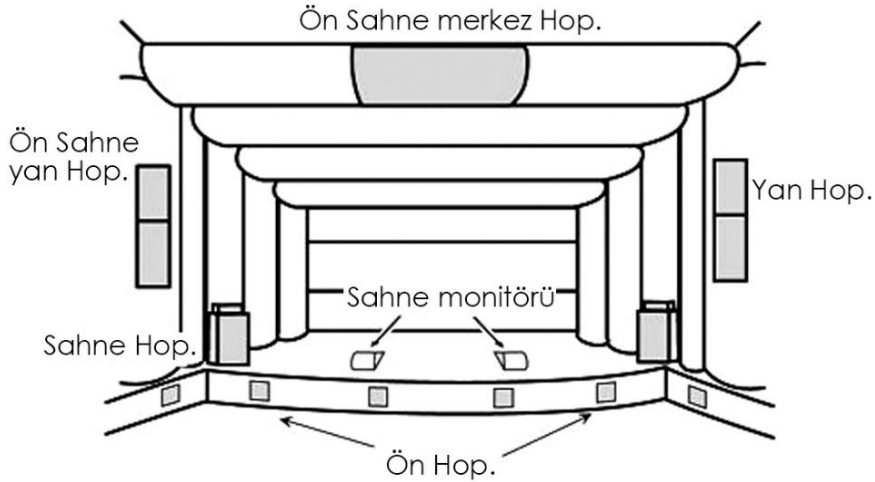


**Şekil 3.7 :** Ses kaynağının konumunu kontrol etmede kullanılan, gecikmeli yaygın hoparlör yerleşimi prensibi [11].

Doğru tasarlanmış bir yayıcı sistem, ses görüntüsünü orjinal ses yönünde ilk dalga yüzü yasına (the law of the first wavefront) bağlı olarak konumlandırmayı sağlar. Dinleyicilere yüksek kalitede yön algısı verir [11].

### 3.1.3.3 Merkezi ve yayıcı sistemin birleşimi

Hoparlör yerleşiminin tasarımı, hacmin boyutları ve biçimi ile olduğu gibi kullanım amacı ile de doğrudan ilintilidir. Uygulamalarda genellikle temel olarak merkezi sistemin kullanıldığı, sesin zayıf olduğu noktalarda ise yayılmış hoparlörlerin kullanıldığı karma sistemler kullanılmaktadır. Bu durumda da yayıcı sistemde oluşabilecek kusurların kontrolünün yapılması gerekmektedir [11]. Şekil 3.8’de, merkezi ve yayıcı sistemin birlikte kullanıldığı bir çok amaçlı salonun sahne çevresindeki hoparlör yerleşimi gösterilmektedir.



**Şekil 3.8 :** Çok amaçlı bir salonda sahne çevresinde hoparlör yerleşimi örneği [11].

Şekil 3.8’de gösterildiği üzere, ana hoparlör sahnenin orta aksı üzerinde konumlanan merkez hoparlördür (centre speaker). Sahnedeki orjinal sesleri güçlendirerek, tüm dinleyicilerin yararlanmasını sağlamak amacı ile yerleştirilmektedir.

Hoparlör sistemleri genellikle onlarca kilo ağırlığında olurlar ve büyük kabinler içine yerleştirilirler. Tavandan, ön sahneden asıldığı zaman ise hoparlörün çevresinden kopuk olarak yerleştirilmesi ve titreşim sönümleyici malzemelerle desteklenmesi gerekmektedir.

Hoparlörler oditoryum içinde görünür biçimde konumlandırılarak, ses kalitesinin düşmemesi sağlanmalıdır. Estetik gereksinimlerin ön plana çıktığı durumlarda, duvarlara ve tavana gömülü olarak yerleştirilmelidir. Ön yüzü ise mümkün olduğu kadar açık olmalı, ses geçirgen kumaş kullanılmalı ve perfore levha veya sık ızgaralar kullanılarak önü kapanmamalıdır. Ayrıca bakım kolaylığı için hoparlörlerin zemine indirilebilir şekilde tasarlanması veya kedi yolu ile ulaşılabilir şekilde olması gerekmektedir [11].

Ön sahne yan hoparlörü de, tavan hoparlörü ile benzer özelliktedir. Günümüzdeki trendlere bağlı olarak, düşük ve yüksek frekans aralık birimleri daha küçük kutularla ayarlanmaktadır. Şekli itibari ile kümeli ve sıralı olarak uygulanmaya elverişli, sahnede asılmış ve istiflenmiş olarak konumlandırılmaya uygun bir yapıya sahiptir, Şekil 3.9.



**Şekil 3.9 :** Farklı hoparlör tipi örnekleri [11].

Salondaki kör noktalara ek hoparlör yerleşimleri yapılarak akustik gölgelerin oluşması engellenebilmektedir. Ön koltuklar için sahne önünde ön hoparlörler (front speaker), sahnede yer alan performans sanatçıları için ise sahne monitörü (stage monitor) olarak adlandırılan hoparlör tipleri kullanılmaktadır [11].

### **3.1.4 Hacimde hoparlörlerin yerleşim biçimleri**

#### **3.1.4.1 Sanal nokta kaynaklar**

Orta-yüksek frekanslarda istenen yönelimi ve ses gücünü sağlayabilmek için hoparlör grubu (clusters) olarak adlandırılan, birbirine yakın konumlandırılmış bir kaç hoparlör birlikte kullanılır. Aynı zamanda daha düşük frekanslarda da yönelimi sağlama amacı ile kullanılmaktadır. Bu uygulamanın amacı; hoparlörlerin birlikte tek bir sanal noktasal kaynak olarak çalışmasını sağlamaktır. Grubun içindeki hoparlör adedi değiştirilerek salondaki direkt sesin kapsama alanı kolaylıkla ayarlanabilmektedir.

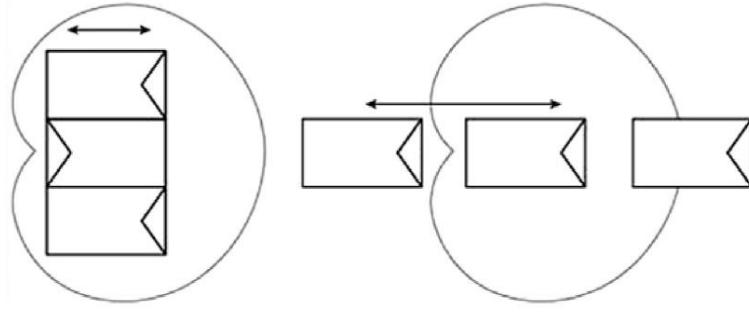
Bu sayede mekanda sanal bir noktasal kaynaktan yayılan eş fazlı, ahenkli (coherent) bir ses yaratılır. Hoparlörler arasındaki fiziksel ayırım ve ses hızı nedeni ile tüm frekanslarda aynı ahengi yakalamak, özellikle yüksek frekanslar için zor olmaktadır [20].

#### **3.1.4.2 Yönelimli derin bas hoparlör sıraları**

Düşük frekanslarda yönelimi sağlamak için çakışma (interference) prensibi kullanılabilir. Kalp biçiminde derin bas hoparlör dizilim (cardioid subs) yöntemi ile yönsüz hoparlörler birarada kullanılarak yönelim sağlanabilmektedir [20].

Şekil 3.10'da üç derin bas hoparlörün (subwoofer) bir arada veya yatayda aralıklı olarak kullanılarak yönelimi sağlamanın iki yolu gösterilmektedir. Soldaki yöntemde (cardioid subs) ortadaki hoparlör ters kutupla bağlanarak arka yönde maksimum iptal etkisi sağlanır. Sağdaki sıralı yerleşim yönteminde (end fire configuration) ise tüm hoparlörler dinleyiciye kayda değer bir gecikme ile yönlendirilerek yönelim sağlanır. Ancak sıralı yöntemde kalp diziliminde olduğu kadar arka yönde iptal etkisi sağlanamamaktadır. Arka tarafta bazı düşük frekansların yayılımı olmaktadır, fakat ön yöndeki verimliliği daha fazladır [20].

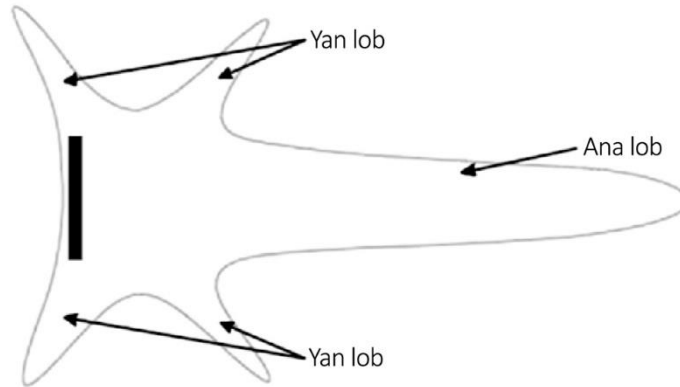




**Şekil 3.10 :** Solda dikey konumlandırılmış kalp biçimli derin bas hoparlör (subwoofer) yerleşimi, sağda ise yatay konumlandırılmış sıralı yerleşim gösterilmektedir [20].

### 3.1.4.3 Çizgisel sıralı hoparlörler

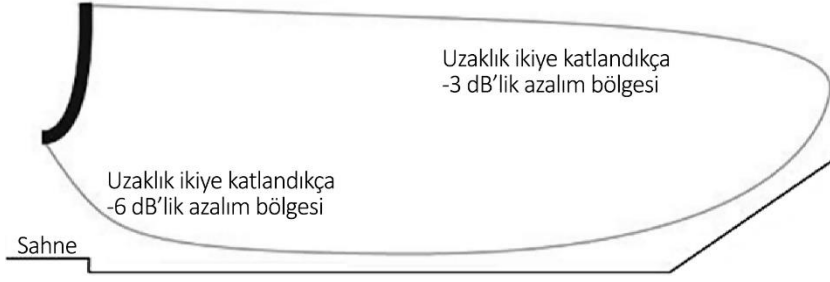
Çizgisel sıralı (line array) sistemler, noktasal kaynaklara göre daha geniş bir kaynak-alıcı alanını kapsarlar, Şekil 3.11. Belirli frekanlardaki yönelim etkisi sıranın düşey yöndeki uzunluğu ile ilintilidir. Daha uzun sıralar, daha genişbantta ve düşük frekansta yönelim kontrolünün yapılabilmesini sağlar. Çizgisel sıralı yerleşimden etkin sonucu alabilmek için hoparlörler arasındaki mesafe en az  $\lambda/2$  kadar olmalıdır. Çizgisel sıralı hoparlörler yüksek frekanslarda gerçek bir çizgisel kaynak gibi davranırken, orta ve düşük frekanslarda çoğaltılmış noktasal kaynak gibi davranırlar [20].



**Şekil 3.11 :** Çizgisel sıralı hoparlör yerleşiminin plandaki ses gücü yayılımı [20].

Özellikle çok büyük salonlarda ve açık mekanlarda dinleyiciler için geniş bir kapsama alanı yarattıklarından, çizgisel sıralı sistemler tercih sebebi olmaktadır. Bu kapsama alanını; çizgisel kaynaklardan her iki katı uzaklıktaki mesafelerde (2,4,8... m), ses basınç düzeyinin 3 dB düşmesi prensibi oluşturur. Ancak sıranın aşağıya doğru bükülmesi ile sanal nokta kaynak olarak çalışması sağlanır ve bu şekilde her iki katı uzaklıktaki mesafelerde, ses basınç düzeyinin 6 dB düşmesi

sağlanmaktadır, Şekil 3.12. Böylelikle sahneye yakın konumlardaki direkt ses seviyesinin aşırı düzeyde olması engellenebilmektedir [20].



Şekil 3.12 : Çizgisel sıralı hoparlör yerleşiminin kesitteki ses gücü yayılımı [20].

### 3.1.5 Elektro-akustik sistemlerin performans testi

İyi tasarlanmış bir elektro-akustik sistem; konuşmada yüksek anlaşılabilirlik, müzikte yüksek ve zengin kalite, uğultusuz (howling) kolay idare gibi gereksinimleri karşılamalıdır. Kısa müzik ve konuşma örnekleri içeren bir işitme testinden sonra, bir kaç fiziksel ölçüm ile sistemin performansı ölçülmelidir:

- Maksimum ses basınç düzeyi,
- İletim frekans karakteristiği,
- Durağan halde ses basıncı yayılımı,
- Güçlendirme için güvenli yükseltim (amplifying) kazancı,
- Güç kaynağı gibi destek sistemlerinden kaynaklı gürültü düzeyi,

ölçümleri yapılarak sistemin istenilen gereksinimleri sağlayıp sağlayamadığı ortaya konulmalıdır [11].

### 3.2 Sistem Tasarım Prensipleri

Tavana yerleştirilecek hoparlör kümelerinin doğru tasarlanması ve yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, genellikle ses sistemi tasarımını bu işte uzmanlaşmış ses mühendisleri yapmaktadır. Salonlarda en sık görülen sorunlardan biri gereksiz ölçüde fazla hoparlör yerleştirilmesidir. Bu durumda istenmeyen geç yansımalar meydana gelmektedir. Büyük salonlarda ve dış mekanlarda çizgisel sıralı (line array) hoparlör düzeni kullanımı en uygun çözüm yöntemi olarak kullanılmaktadır [20].

### 3.2.1 Salon boyutları ve formu

Ayakta dinleyici düzeni oluşturulduğunda, metrekareye 3 kişiye kadar yoğunluk arttırılabilmektedir.

Alçak tavan kullanıldığında, çınlama süresi de düşmekte ve bu nedenle kullanılması gereken yutucu miktarı da azalmaktadır. Zemin alanı büyük oranda dinleyiciler tarafından kaplandığından, salonun çınlama süresini belirleyen temel faktör tavan yüksekliği olmaktadır.

Alçak tavanlı salonlarda hoparlör sistemi öndeki dinleyiciler için çok güçlü, arkadakiler için ise zayıf kalmaktadır. Bu nedenle daha fazla gecikmeli (time delay) hoparlör kullanılması gerekmektedir. Bu tip salonlarda hoparlör sistemi mikrofonlara daha yakın olduğundan, akustik geri bildirim de bu durumdan daha kolay etkilenmektedir [20].

Sesin yakındaki ve uzaktaki dinleyiciler arasındaki farkının çok olmaması için hoparlörlerin zeminden olabildiğince yukarıya yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hoparlörler alçak konumlandırıldığında, yakındaki dinleyicilerin aşırı ses gücü düzeylerine maruz kalması kaçınılmazdır.

Salon çevresi; sahne önü merkez kabul edildilen bir dairenin kapsama alanında kaldığında, uygun hoparlör-dinleyici mesafesi de sağlanmış olur. Salonun simetrik olması, hoparlörlerin kapsama alanının doğru hesaplanmasında kolaylık sağlamaktadır [20].

### 3.2.2 Sahne ve çevresi

Subwoofer hoparlörleri genel bir uygulama olarak sahne önünün altına yerleştirilmektedir. Bu nedenle sahne platformu zeminden yeterince yükseğe konumlandırılmalıdır. Düşük frekanslar kabinden neredeyse yönsüz olarak yayılırlar, sonucunda sahne de yoğun olarak bas sesler ve yapısal titreşimlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle sorun oluşmaması için:

- Kalp biçimli dizilim yapılmıyorsa derin bas hoparlörler ile arkasındaki boş hacim arasında güçlü bir ses bariyeri uygulanmalıdır. Örneğin; yüksek kütleyle sahip 15-20 cm'lik beton iyi bir yalıtım sağlayacaktır.

- Sahne zemini ağır ve katı olmalıdır. Betonarme döşeme üzeri ahşap kaplama yapılabilir. Ya da çok katmanlı alçı levhalar ve kontrplaklar kullanılarak ağır bir sahne oluşturulabilir.
- Sahne altındaki boş hacimler mineral yünü gibi yutucu bir malzeme ile doldurulmalıdır.

Sahnedeki akustik, salonun tümü ile benzer nitelikte olmalıdır. Sahnenin yan duvarları düz olmamalı ancak, dinleyiciye doğru 4-5 derecelik bir açıdan daha fazlası da verilmemelidir. Sahnedeki tüm enstrümanların ses enerjisinin düzgün dağılması istendiğinden, sahnenin duvarları saçıcı nitelikte olmalıdır [20].

### **3.2.3 Yüzey malzemeleri**

Rock ve pop müzik için bir mekan tasarlanırken temel odak noktası, baskın olan düşük frekanslı ses enerjisinin soğurulmasıdır. Bu nedenle tasarım aşamasında tüm yüzeyler, düşük frekans yutuculukları düşünülerek planlanmalıdır. Orta-yüksek frekanslardaki çınlama süresi, düşük frekanslardakine kıyasla çok fazla düşük kalmamalıdır. Özellikle 125 Hz oktav bandında, yutuculuğu yüksek olan mineral yünlü, ahşap lifli (woodwool) ve benzeri malzemelerin kullanımı önem arz etmektedir. Bu da duvar, tavan gibi katı ve yansıtıcı yüzeyin önünde kalın bir gözenekli yutucu kullanılması anlamına gelmektedir. Perfore alçı ve ahşap paneller, yüksek frekanslı enerjiyi korudukları için sıklıkla kullanılmaktadır [20].

En iyi ve üniform sesin görüldüğü salonların yayılımı (diffusivity) da iyidir. Bu da salonun tüm yüzeylerinde yutuculuğun eşit dağılması gerekliliğini doğurmaktadır. Küçük mekanlar haricindeki salonlarda gerçekleştirilen konserlerde temel ses kaynağı hoparlör sistemidir. Bu nedenle, gereğinden fazla sayıda hoparlör kullanılmaması ve dinleyiciye doğru uygun biçimde yönlendirilmesi gibi kriterler hayati önem arz etmektedir [20].

### **3.2.4 Çok amaçlı salonlar**

5000 m<sup>3</sup>'lük bir salon için ideal çınlama süresi (125-2000 Hz) rock müzik için 1.0, oda müziği için 1.4 ve senfonik müzik için ise 1.8 saniye olarak belirtilmektedir [20].

Klasik müzikte; düşük frekanslarda orta frekanslara göre yüksek çınlama süresi, bas sesleri güçlendirme amacı ile daha kabul edilebilirdir. Ancak bu durum, güçlendirmiş müziğin akustik gereksinimleri için tehlike oluşturmaktadır. Bu nedenle çok amaçlı

bir salonda frekanstan bağımsız olarak tek bir çınlama süresi ve dolayısıyla düz bir çınlama eğrisi hedeflenmelidir. Çınlama süresini aktif olarak ayarlayabilmek için üç yöntem vardır:

- Fiziksel değişken akustik,
- Elektronik değişken akustik,
- Hacim değişimi.

Hacim değişimi çok maliyetli bir çözüm olduğu için genellikle kullanılmamaktadır. Elektro-akustik sistemlerin kullanılmasından ise klasik müzik icra eden müzisyenler genellikle hoşnut olmamaktadır. Bu nedenle en çok tercih edilen yöntem; fiziksel değişken akustik elemanları kullanmaktır. Fiziksel değişken akustiğin dezavantajı ise genel olarak güçlendirilmiş müzik için çok da hayati olmayan 300 Hz'in üzerinde etkin çınlama süresi değişimleri sağlamasıdır. Ancak şişen membran tüpler gibi düşük frekanslı yutuculuk için tasarlanmış özel malzemeler kullanılarak bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir [20].

Çalışma kapsamında tasarlanan salon varyasyonlarında da hacim değişimi ve fiziksel değişken akustik sistemleri kullanılarak, pasif çözümler ile en iyi hacim akustiği kriterleri sağlanmaya çalışılmıştır.



#### **4. SALONUN TASARLANMASI VE SİMÜLASYON KABULLERİ**

Tez çalışması kapsamında bir spor salonunun, klasik müzik ve güçlendirilmiş müzik konserlerinde çok amaçlı olarak kullanımı için tasarlanan varyasyonlarında, yüzey malzemelerinde ve hacimde sağlanan değişkenlerin hacim akustiği üzerindeki etkinliği simülasyon analizleri aracılığı ile irdelenmiştir. Çalışmada çizim, üç boyutlu modelleme ve simülasyon için bilgisayar programları kullanılarak gerçeğe en yakın sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

Plan tipinin belirlenmesinde literatürdeki spor salonu tasarımlarından yararlanılmış ve bununla paralel olarak salon kabullerinde (boyutlar, hacim, kişi) bulunulmuştur. Tasarlanan plan ve kesitler üzerinden oluşturulan üç boyutlu model, ideal ortam ve analiz şartları sağlanarak akustik simülasyon programına aktarılmıştır. Simülasyon üzerinde kaynak ve alıcı noktaları belirlendikten sonra seçilen nesnel parametreler üzerinden analizler yapılarak düzenlemeler yapılmadan önceki hali ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ek olarak kaynak etkisinin analizini yapabilmek amacı ile aynı salonlarda oluşturulan orkestral ve elektro-akustik kaynaklı modeller de çok yönlü kaynaklı modeller ile karşılaştırılmıştır.

##### **4.1 Hacim Tasarımı ve Ön Kabulleri**

Spor salonlarının akustik performansının değerlendirilmesi amacı ile tasarlanan salon, temel olarak şehir merkezlerinde yer alan, çok amaçlı olarak kullanılan salonlar referans alınarak yaklaşık 3500 kişi kapasiteli olacak biçimde ve köşeleri kırık bir dikdörtgen formunda tasarlanmıştır.

Salonun geometrik özellikleri ve kapasitesi belirlenirken salonun kullanılacağı işlevlerde gerekli hacim/kişi oranları, literatürde belirtilen değerlerden referans alınarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1’de tasarım varyasyonları için hedef değer olarak belirlenen kişi başına düşen hacim miktarları gösterilmektedir.

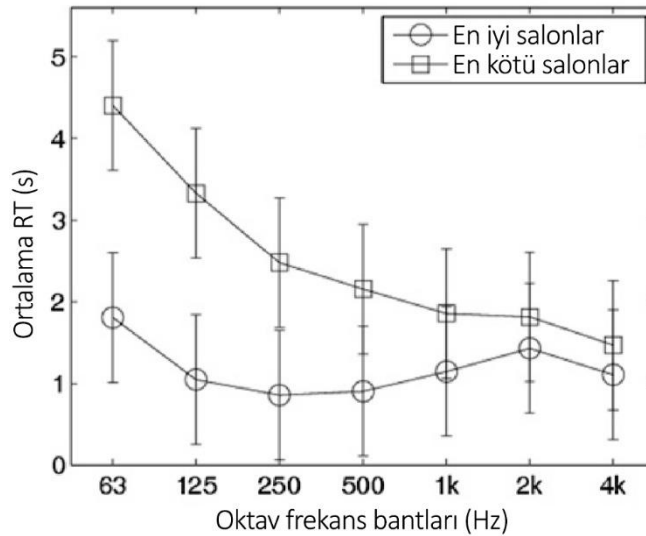
**Çizelge 4.1 :** Faklı işlevlerde salonlar için sağlanması gereken hacim/kişi oranları [11].

Salon Türü	Hacim/Kişi (m <sup>3</sup> )
Senfonik konser salonu	8 – 10 m <sup>3</sup>
Opera, Çok amaçlı salon	6 – 8 m <sup>3</sup>
Tiyatro, Sinema, Güçlendirilmiş Müzik	4 – 6 m <sup>3</sup>

Çizelge 4.2’de ise rock ve pop müzik için tasarlanmış konser salonları üzerine Adelman-Larsen tarafından yapılan bir çalışmada değerlendirilen, 20 salondan iyi olarak kabul edilen ilk 10’unun hacim/kişi oranları gösterilmektedir. Hacimleri spor salonu hacmine göre oldukça küçük olan salonların en büyüklerinde kişi başına düşen hacmin 5 m<sup>3</sup> dolaylarında olduğu görülmektedir. İyi ve kötü olarak gruplandırılan bu salonların çınlama sürelerinde görülen farklılıklar Şekil 4.1’de gösterilmektedir [20].

**Çizelge 4.2 :** Güçlendirilmiş müzik için tasarlanmış 20 salon içindeki en iyi 10 salonun hacim/kişi oranları [20].

Salon	Hacim (m <sup>3</sup> )	Kişi	Hacim/Kişi (m <sup>3</sup> )
1. Store Vega	5800	1430	4,1
2. Train	3300	900	3,7
3. Lille Vega	785	500	1,6
4. Stars	1440	400	3,6
5. Godset	2150	700	3,1
6. Voxhall	1600	500	3,2
7. Amager Bio	4500	1000	4,5
8. Paletten	1420	375	3,8
9. Loppen	890	350	2,5
10. Tobakken	6500	1200	5,4



**Şekil 4.1 :** Rock müzik için en iyi ve en kötü olarak değerlendirilerek gruplandırılmış 10’ar salonun çınlama sürelerinin ortalaması [20].



Tasarlanan salonda kiři bařına dūřmesi gereken hacim; gūçlendirilmiř mūzik için 5 m<sup>3</sup>, senfonik mūzik için ise 9 m<sup>3</sup> deęerleri referans alınarak tasarım geliřtirilmiř, salonda farklı fonksiyonlar için hacim ve kapasite bazında deęiřkenlik saęlanmıřtır.

Yapılan alıřmalar sonucunda oluřturulan tasarım varyasyonlarında kiři bařına dūřen hacim; gūçlendirilmiř mūzik için 5,4 m<sup>3</sup> (Salon 3), senfonik mūzik için ise 8,8 m<sup>3</sup> (Salon 2) olarak gerçekleřmiřtir.

Salonun temel fonksiyonu olan basketbol mūsabakalarının haricinde klasik (senfonik) mūzik ve gūçlendirilmiř (rock/pop) mūzik konserlerinde, hem fonksiyonların gerektirdięi tasarım özelliklerine hem de istenilen hacim/kiři oranına sahip olması için geliřtirilen 3 farklı tasarım varyasyonunun zellikleri Bölüm 4.1.1, Bölüm 4.1.2 ve Bölüm 4.1.3'te sıralanmaktadır.

#### **4.1.1 Salon 1**

Salonun spor salonu olarak basketbol mūsabakalarına ev sahiplięi yaptıęı plan dūzenidir. Teleskopik tribūnler (retractable seats), betonarme tribūnlerin önündeki parter duvarlarının altında toplanarak saha zemini geniřletilebilmekte ve böylelikle hentbol mūsabakaları için de kullanılabilir. Salon 1'in teknik özellikleri ařaęıda belirtilmektedir. Salon 1 planı Őekil 4.2'de; kesitleri ise Őekil 4.3, Őekil 4.4 ve Őekil 4.5'te gösterilmektedir.

Kullanım amacı: Basketbol mūsabakaları

Kişi sayısı: 3468 (2836+632)

Hacim: 34000 m<sup>3</sup>

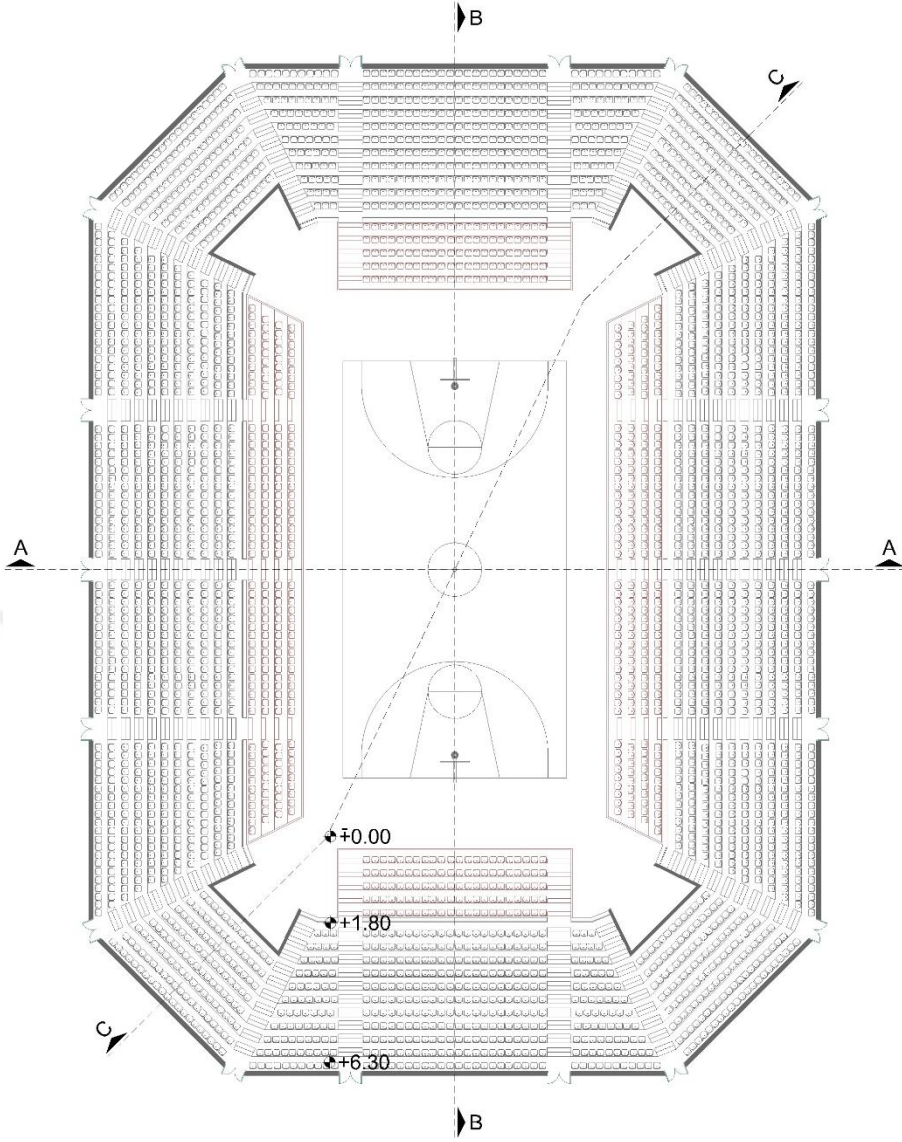
Hacim/Kişi: 9,8 m<sup>3</sup>

Toplam uzunluk: 67,3 m

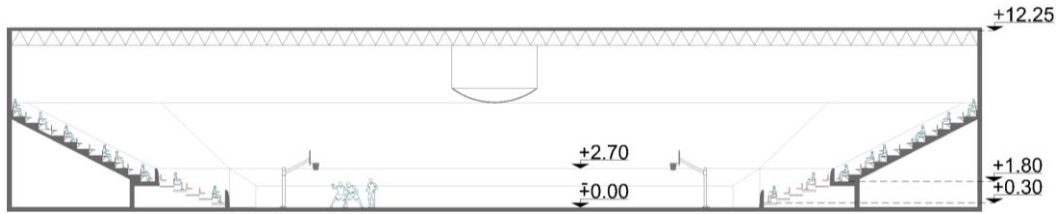
Toplam en: 48,5 m

Toplam alan: 3065 m<sup>2</sup>

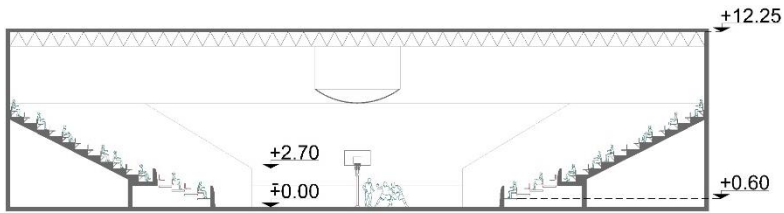
Toplam yūzey alanı: 8413 m<sup>2</sup>



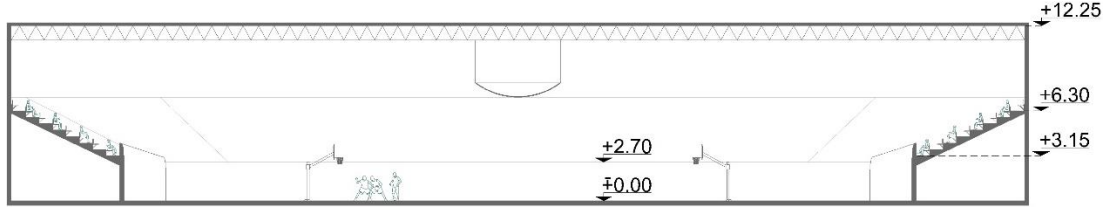
Şekil 4.2 : Salon 1 planı.



Şekil 4.3 : Salon 1 A-A kesiti.



Şekil 4.4 : Salon 1 B-B kesiti.



Şekil 4.5 : Salon 1 C-C kesiti.

#### 4.1.2 Salon 2

Salonun klasik müzik konserlerine ev sahipliği yaptığı arena tipi plan düzenidir. Saha içi portatif koltuk düzeni ile hem istenilen hacim/kişi oranı sağlanmış hem de çınlama süresi istenilen aralıkta tutulmuştur. Teleskopik tribünlerin önünde bulunan, dışbükey şekillendirilmiş saçıcı özellikteki parter duvarı ile salonun orta bölgesindeki yanal yansımaların güçlendirilmesi planlanmıştır. Salon 2'nin teknik özellikleri aşağıda belirtilmektedir. Salon 2 planı Şekil 4.6'da; kesitleri ise Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmektedir.

Kullanım amacı: Klasik müzik konserleri

Kişi sayısı: 3836 (2836+1000)

Hacim: 34000 m<sup>3</sup>

Hacim/Kişi: 8,8 m<sup>3</sup>

Toplam uzunluk: 67,3 m

Toplam en: 48,5 m

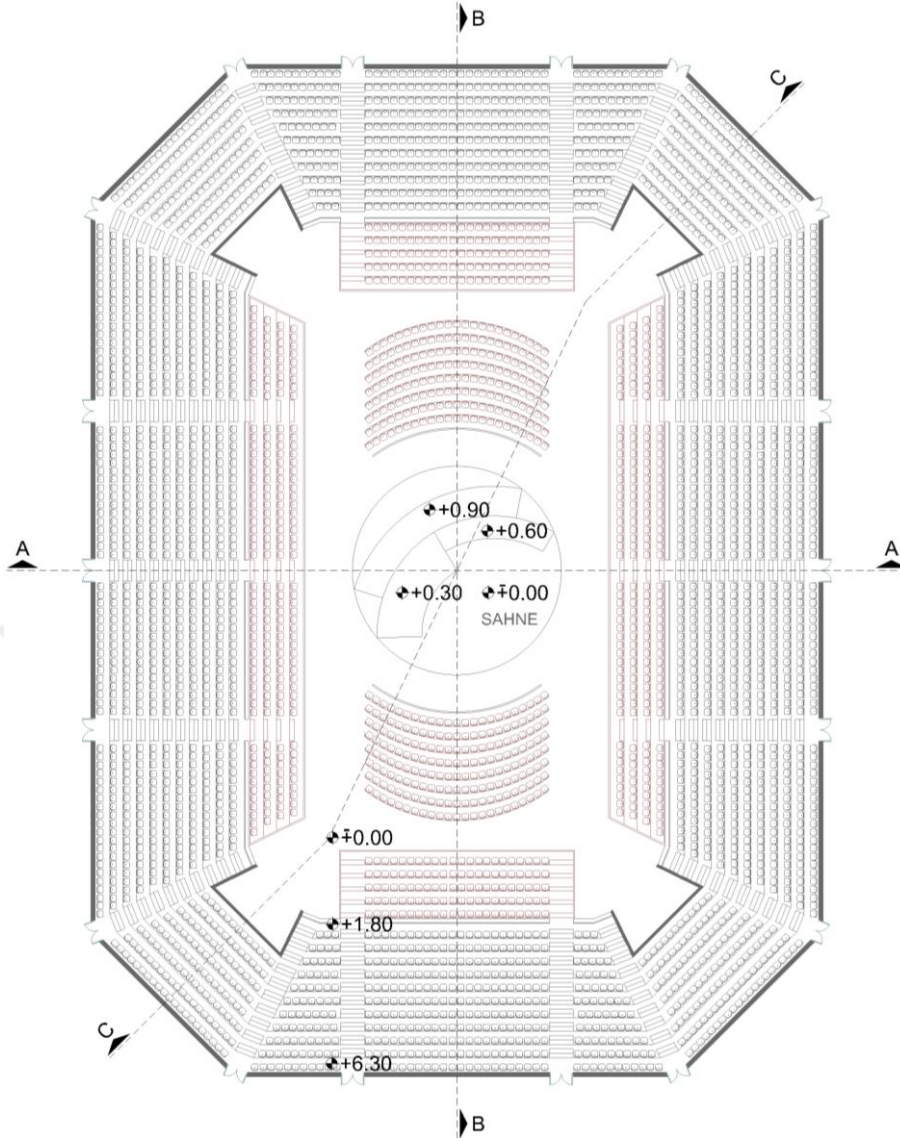
Sahne kenarına maksimum uzaklık: 29 m

Toplam alan: 3065 m<sup>2</sup>

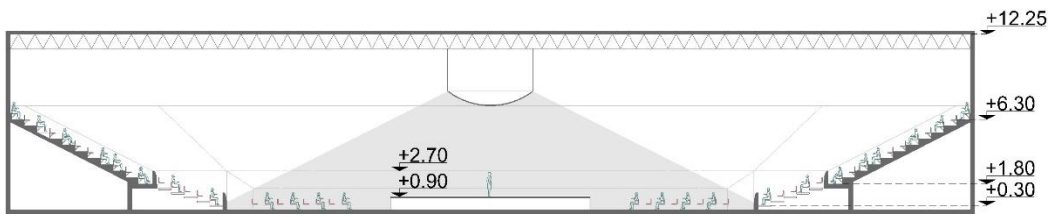
Sahne alanı: 154 m<sup>2</sup>

Sahne çapı: 14 m

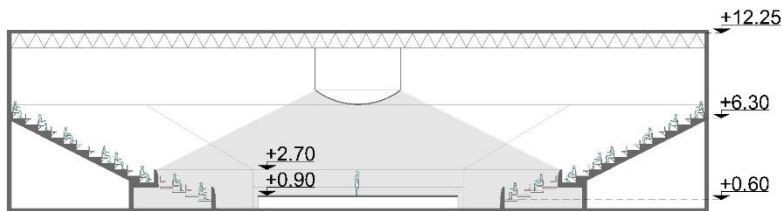
Toplam yüzey alanı: 8736 m<sup>2</sup>



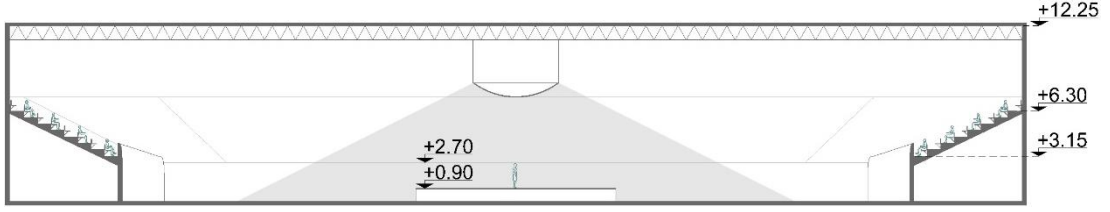
Şekil 4.6 : Salon 2 planı.



Şekil 4.7 : Salon 2 A-A kesiti.



Şekil 4.8 : Salon 2 B-B kesiti.



**Şekil 4.9 : Salon 2 C-C kesiti.**

### 4.1.3 Salon 3

Salonun güçlendirilmiş müzik konserlerine ev sahipliği yaptığı fan tipi plan düzenidir. Saha zemininin kısa kenarında kurulan sahne, tavandan inen bir perde ile salonun geri kalanından ayrılmaktadır. Tüm teleskopik tribünler parter duvarlarının altında toplanarak saha zemini ayakta seyirci alanı olarak kullanılmaktadır. Bu sayede artan seyirci kapasitesi ve küçülen hacim ile birlikte istenilen hacim/kişi oranı da sağlanmaktadır. Salon 3'ün teknik özellikleri aşağıda belirtilmektedir. Salon 3 planı Şekil 4.10'da; kesitleri ise Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmektedir.

Kişi sayısı: 3694 (1694+2200)

Hacim: 21000 m<sup>3</sup>

Hacim/Kişi: 5,4 m<sup>3</sup>

Toplam uzunluk: 56,80 m

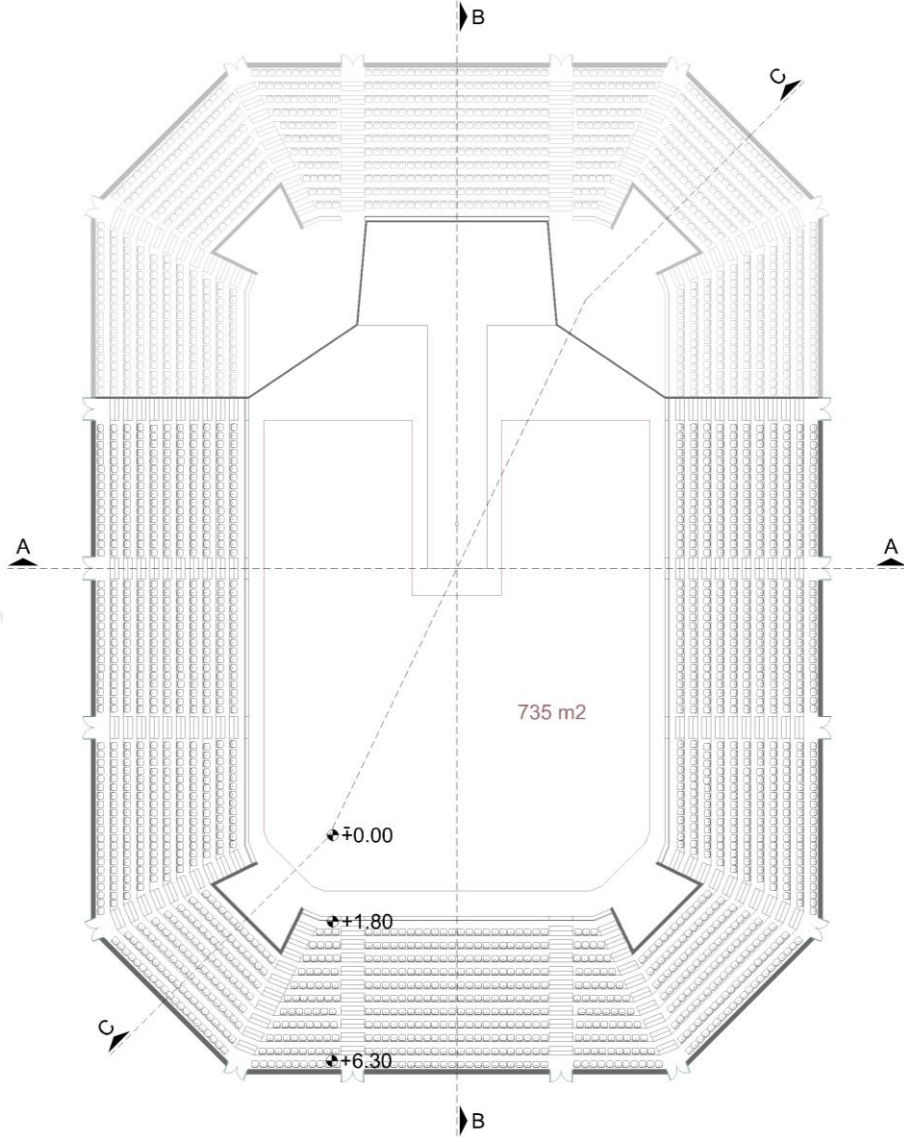
Toplam en: 48,5 m

Sahne kenarına maksimum uzaklık: 36,1 m

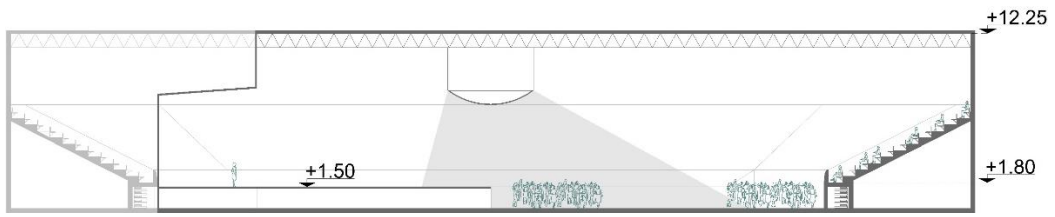
Toplam alan: 2330 m<sup>2</sup>

Sahne alanı: 153 m<sup>2</sup>

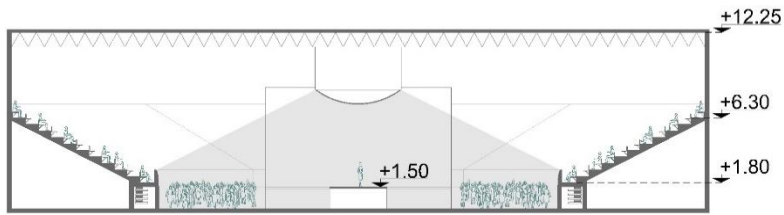
Toplam yüzey alanı: 7013 m<sup>2</sup>



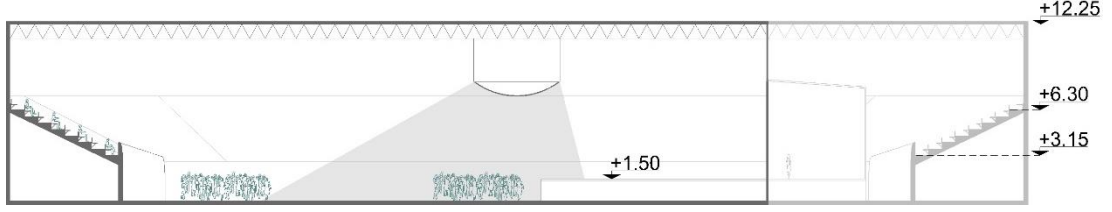
Şekil 4.10 : Salon 3 planı.



Şekil 4.11 : Salon 3 A-A kesiti.



Şekil 4.12 : Salon 3 B-B kesiti.



**Şekil 4.13 : Salon 3 C-C kesiti.**

#### 4.2 Malzeme Kabulleri

Salonun geometrik özellikleri ve hacmi belirlendikten sonra çınlama süresinin ayarlanmasında malzeme seçimleri belirleyici rol oynamaktadır. Tasarlanan spor salonunda sergilenen performans türlerine göre optimum çınlama süresi aralıklarını sağlamak üzerine malzeme seçimleri yapılmıştır. Akustik simülasyon programında yapılan deneme ölçümleri ile malzeme kararları şekillenmiş ve değişken yüzey malzemelerinin kullanım biçimleri planlanmıştır. Değişken yüzey malzemelerinin kullanımı ile:

- Güçlendirilmiş müzik için (Salon 3) gereken daha yüksek yutuculuk için salonun çınlayıcı niteliği değiştirilmiştir,
- Klasik müzik için (Salon 2) çınlama süresi grafiğinde düşük frekansların daha güçlü olduğu bir eğimin oluşması sağlanmış,
- Spor salonu kullanımında (Salon 1) çınlama süresinin yönetmelikte belirtilen değer altına inmesi sağlanmıştır.

Salonda kullanılan yüzey malzemelerinin Odeon'da tanımlanmış yutuculuk değerleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Seyirci alanı: Spor salonu kullanımına uygun olarak, tribünlerde hafif döşeli koltuk kullanılmıştır. Malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.3 : Hafif döşeli koltuk ve seyircilerin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.11057).**

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,35000	0,35000	0,45000	0,57000	0,61000	0,59000	0,55000	0,55000	0,60000

- Tribün zemini: Tribünler ve aralarındaki basamaklar bir bütün olarak brüt betondan oluşmaktadır. Pürüzsüz olarak imal edildiğinden yüzey bitiş kaplaması

uygulanmamıştır. Frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.4 :** Pürüzsüz brüt betonun frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.101).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,01000	0,01000	0,01000	0,02000	0,02000	0,02000	0,05000	0,05000	0,05000

- Salon ve sahne zemini: Ahşap yüzer döşeme kullanılarak spor salonu için gerekli esneklik ve aynı zamanda titreşim yalıtımı sağlanmıştır. Malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmektedir. Kullanılan sistem detayı Bölüm 4.2.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.5 :** Ahşap yüzer döşemenin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.3001).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,10000	0,10000	0,07000	0,05000	0,06000	0,06000	0,06000	0,06000	0,05000

- Ekran: Salonda hem maçlar hem de konserler için kullanılması planlanmış, 6x6x4 m boyutlarında bir ekran bloğu tam merkeze yerleştirilmiştir. Cam olarak belirlenmiş yüzey malzemesinin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

**Çizelge 4.6 :** Cam bloğun frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.10000).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,02000	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000	0,05000

- Parter duvarı: Tribünlerin ön yüzündeki saçıcı duvar elemanlarıdır. Metal konstrüksiyon üzeri 2 kat 13 mm kalınlığında alçı levha ve arkasında yer alan 50 mm kalınlığındaki mineral yününden oluşmaktadır. Kullanılan malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.7'de gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.3'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.7 :** Metal konstrüksiyonlu alçı duvarın frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.4044).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,15000	0,15000	0,10000	0,06000	0,04000	0,04000	0,05000	0,05000	0,05(L)

- Sahne kabuğu: Hareketli kabuk kuleleri ile oluşturulan sahne kabuğu, çok katmanlı kontrplak panellerden imal edilmiştir. Yüzey malzemesinin frekanslara



göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.8’de gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.6’da gösterilmektedir.

**Çizelge 4.8 :** Kontrplak panelin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.3063).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,42000	0,42000	0,21000	0,10000	0,08000	0,06000	0,06000	0,06000	0,10(L)

- Reflektör: Sahne üzerine, ekran bloğunun altına dışbükey bir tavan reflektörü yerleştirilerek erken yansımaların arttırılması amaçlanmıştır. Metal konstrüksiyon üzerinde 13 mm alçı levhadan imal edilmiş reflektörün içi boş bırakılmıştır. Malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.9’da gösterilmektedir.

**Çizelge 4.9 :** Çerçeve üzerine sabitlenmiş 13 mm alçı levhanın frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.4042).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,08000	0,08000	0,11000	0,05000	0,03000	0,02000	0,03000	0,03000	0,05(L)

- Bölücü perde: Salon 3 plan düzeni için sahne kenarlarından, salonun geri kalanını ayırmak amacı ile kullanılmaktadır. Elektrik motoru ile kontrol edilen, çift katmanlı ağır velür perdeden oluşmaktadır. Frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.10’da gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.5’te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.10 :** Ağır velür perdenin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.8010).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,14000	0,14000	0,35000	0,55000	0,72000	0,70000	0,65000	0,65000	0,60000

- Arka duvar (açık): Güçlendirilmiş müzik için kullanılan Salon 3 üzerinde istenen düşük frekans yutuculuğunu sağlamak amacı ile geliştirilen durumu tanımlamaktadır. Kayar panellerin açıldığı durumda arka duvarda yer alan 700 mm çapında şişen membran tüpler ön plana çıkmaktadır. Kullanılan malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.11’de gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.11 :** AqTubes, şişen membran tüplerin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.6200).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,30000	0,50000	0,50000	0,50000	0,30000	0,20000	0,10000	0,10000	0,25(LM)

- Arka duvar (kapalı): Klasik müzik için kullanılan Salon 2 üzerinde istenen uzun çınlama süresini sağlamak amacı ile geliştirilen durumu tanımlamaktadır. Kayar panellerin kapalı olduğu durumda arka duvar, 16 mm kalınlığında saçıcı ahşap panellerden oluşmaktadır. Malzemenin saçıcılık katsayısı 0,8 olarak belirlenmiştir. Frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.12’de gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.2’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.12 :** 16 mm ahşap panelin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.3064).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,18000	0,18000	0,12000	0,10000	0,09000	0,08000	0,07000	0,07000	0,10000

- Tavan (A paneli): Kayar tavan panelleri ve sabit olan tavan yüzeyinin büyük bir bölümü, metal konstrüksiyon üzerine sabitlenmiş 13 mm kalınlığında alçı levhalardan oluşmaktadır. Malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.13’te gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.4’te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.13 :** Çerçeve üzerine sabitlenmiş 13 mm alçı levhanın frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.4042).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,08000	0,08000	0,11000	0,05000	0,03000	0,02000	0,03000	0,03000	0,05(L)

- Tavan (B paneli): 3 farklı panelden oluşan ayarlanabilir tavan sisteminde, panellerin açık olduğu durumda tavan yüzey 50 mm mineral yününden (70 kg/m<sup>3</sup>) oluşmaktadır. Malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.14’te gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.4’te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.14 :** 50 mm kalınlığında mineral yününün frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.12006).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0,70000	0,70000	0,45000	0,65000	0,60000	0,75000	0,65000	0,65000	0,65000

- Tavan (C paneli): Klasik müzik performanslarında salonun istenilen çınlama eğrisine sahip olması için sabit olan tavan yüzeylerinin bir kısmı mikroperfore panelden oluşmaktadır. Panelin arkasında 120 mm boşluk ve boşlukta 40 mm mineral yünü bulunmaktadır. Malzemenin frekanslara göre yutuculuk değerleri Çizelge 4.15’te gösterilmektedir. Sistem detayı Bölüm 4.2.4’te gösterilmektedir.

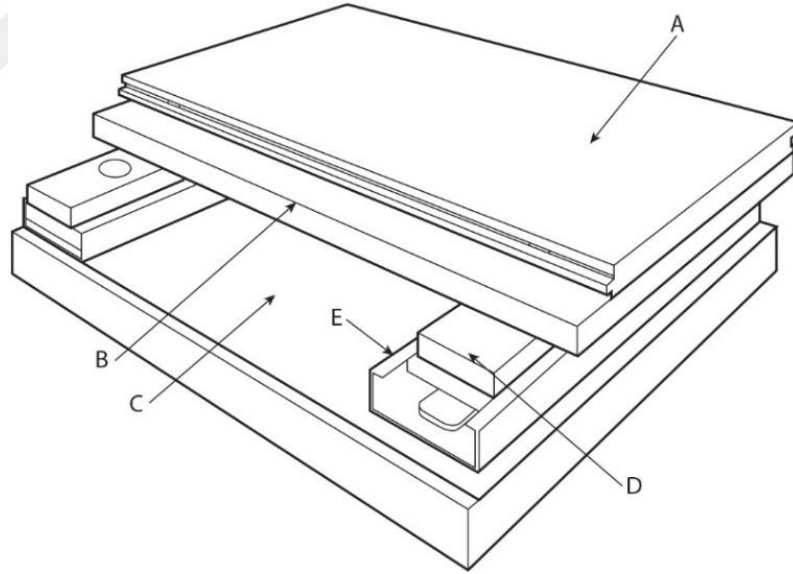
**Çizelge 4.15 :** Barrisol mikroperfore panelin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri (Mat.14100).

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$\alpha(w)$
0.15000	0.20000	0.57000	0.99000	0.82000	0.76000	0.70000	0.65000	0.80000

#### 4.2.1 Zemin

Salonda kullanılan tipik bir çok amaçlı spor salonu zemini yapısı; sert ahşap kaplama ile tekerlekli ağır sahne kabuklarına dayanıklılık, dansçılara esneklik ve enstrümanlar için rezonans sağlar. Hasarlandığında sert zemin levhaları değiştirilebilir. Şekil 4.14’te gösterilen salon döşemesinin katmanları:

- (A) Sert ahşap parke,
- (B) Taşıyıcılık için kördöşeme kaplaması,
- (C) Üzeri nem bariyeri ile kaplı beton strüktür,
- (D,E) Aşırı baskıyı engelleyen, ray içinde lastik titreşim izolatörleri içeren prefabrike çelik çerçeve sistemi, olarak sıralanmaktadır.



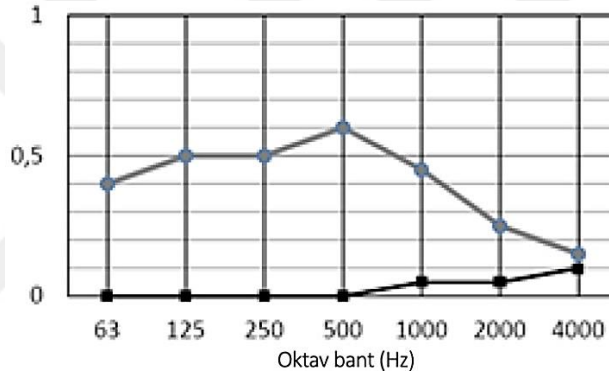
**Şekil 4.14 :** Çok amaçlı salon, spor salonu döşeme sistemi [5].

Çok amaçlı salonların zemininde dayanıklılık sorunları sebebi ile çam gibi yumuşak ağaçlar kullanılmamaktadır. Akçaağaç, meşe ve dişbudak ağaçlarının cilalı veya yarı-cilalı olarak parke şeklinde döşenmesi önerilmektedir. Kontrplak kördöşeme ahşap traversler (0.6 x 3.4 m gibi) üzerine yapılmalı, merkezde dayanıklılığı arttırmak için 30 cm daha sıklaştırılmalıdır. Perküsyon ve baslardan gelen düşük frekanslı enerjiyi

mekana verebilmek için sahne döşemesi, zeminin altındaki strüktüre rijit olarak bağlanmalıdır [5].

#### 4.2.2 Arka duvar

Güçlendirilmiş müzikte tüm frekans bantlarında düşük bir çınlama süresi gerekli iken; klasik müzikte sıcaklığı (warmth) sağlamak için düşük frekanslarda daha yüksek çınlama süresi değerleri gereklidir. Bu değişken yutuculuk ihtiyacı üzerine geliştirilmiş şişen membran yutucu teknolojisi (AqTubes), düşük ve orta frekanslardaki yüksek yutuculuk değerleri ile salondaki çınlama süresinin tüm frekans bantlarında eşdeğer düzeylere gelmesine önemli katkı sağlamaktadır. Ürünün açık ve kapalı durumlarındaki ses yutuculuk katsayıları Şekil 4.15'te gösterilmektedir [22].

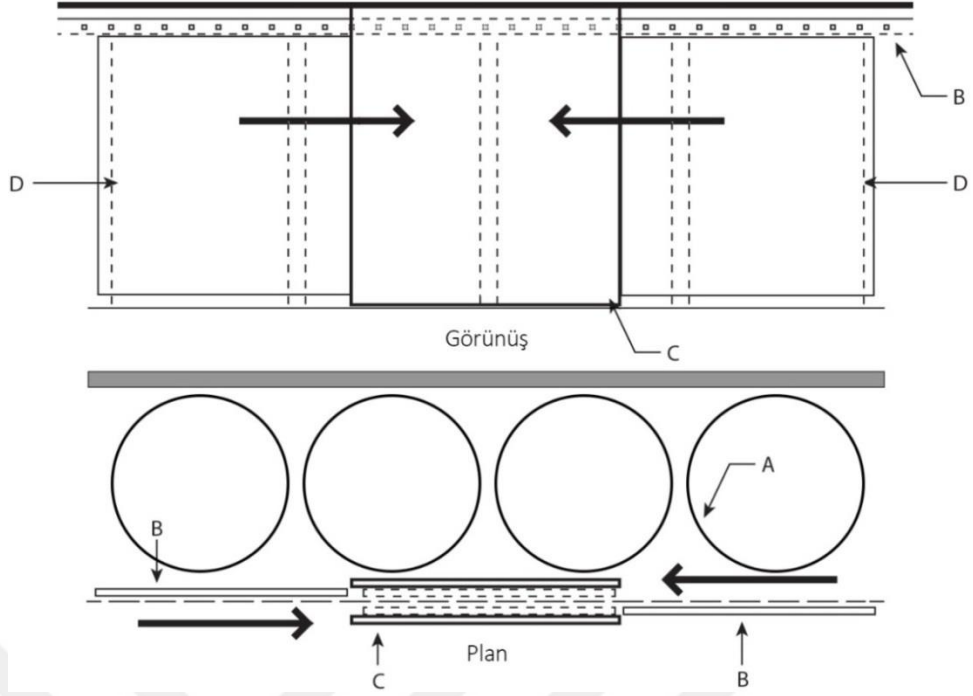


**Şekil 4.15 :** Membran tüplerin açık ve kapalı durumlarındaki yutuculuk katsayısı,  $\alpha$  ortalamaları (gri)açık; (siyah)kapalı [22].

Şişen membran yutucunun ölçüleri, şekli, metrekareye düşen ağırlığı, membranın sönümleme özelliği ve iç basınç miktarı gibi birçok parametre ile yutuculuk karakteristiği belirlenebilmektedir [22].

Şişen membran yutucular, arka duvarlarda kayar ahşap panellerin arkasında kullanılarak hacimde değişken yutuculuk karakteristiğinin oluşturulmasını sağlamaktadır.

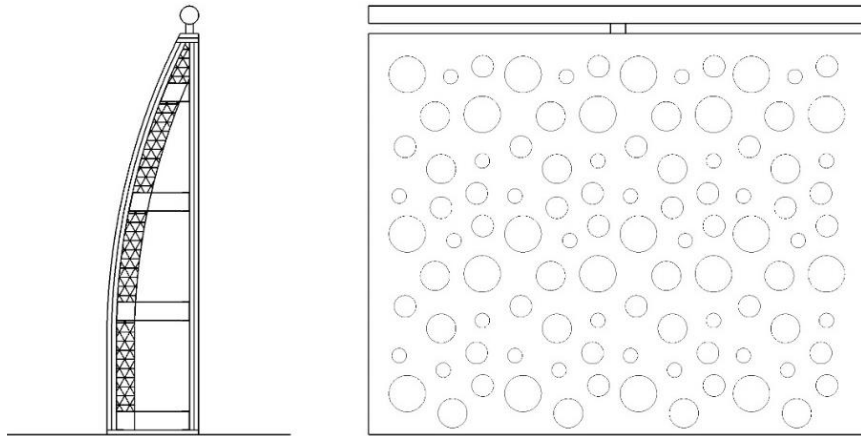
Salonda klasik müzik performansı olduğunda ahşap paneller çekilerek yansıtıcı-saçıcı özellikleri kullanılmakta, güçlendirilmiş müzikte ise paneller kayarak orta bölümde toplanmakta ve tüplerin yutuculuk karakteristiği kullanılmaktadır. Sistemin çalışma prensibini açıklayan detay çizimleri Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



**Şekil 4.16 :** Salon arka duvar kesiti, (A)AqTubes şişen membran tüpler; (B)ray strüktürü; (C)arka duvardaki panel-cep sistemi; (D)ahşap saçıcı akustik paneller.

#### 4.2.3 Parter duvarı

Faydalı yanal yansımalar sağlayabilmek için en kısa olanı 1,2 m yüksekliğinde ve dışbükey şekillendirilmiş iki kat 13 mm'lik alçı levhadan oluşmaktadır. İç yüzünde ise 50 mm kalınlığında mineral yünü bulunmaktadır. Saçıcılık katsayısı 0,6 olarak belirlenen malzemenin yüzeyinde dairesel girintilerle oluşturulmuş bir örüntü bulunmaktadır.



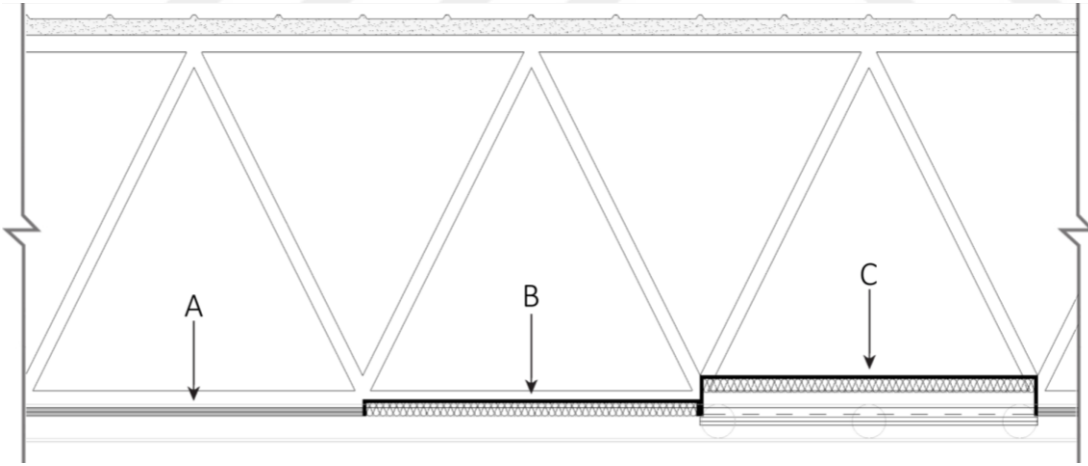
**Şekil 4.17 :** Parter duvarı detayı (solda)kesit; (sağda)görünüş.

#### 4.2.4 Tavan

Salonun çatı strüktürü uzay kafes sistemden oluşmaktadır. Üzerinde ise metal trapez çatı panelleri yer almaktadır. Trapez panellerin düşük frekanslardaki yutuculuk özelliği ve farklı işlevler için sağlanması gereken değişken yutuculuk sebebi ile tavan farklı panellerden oluşan bir sistem biçiminde tasarlanmıştır. Sistemde 3 farklı panel tipi kullanılmıştır. Şekil 4.18’de bu üç farklı panel kesit üzerinden gösterilmektedir.

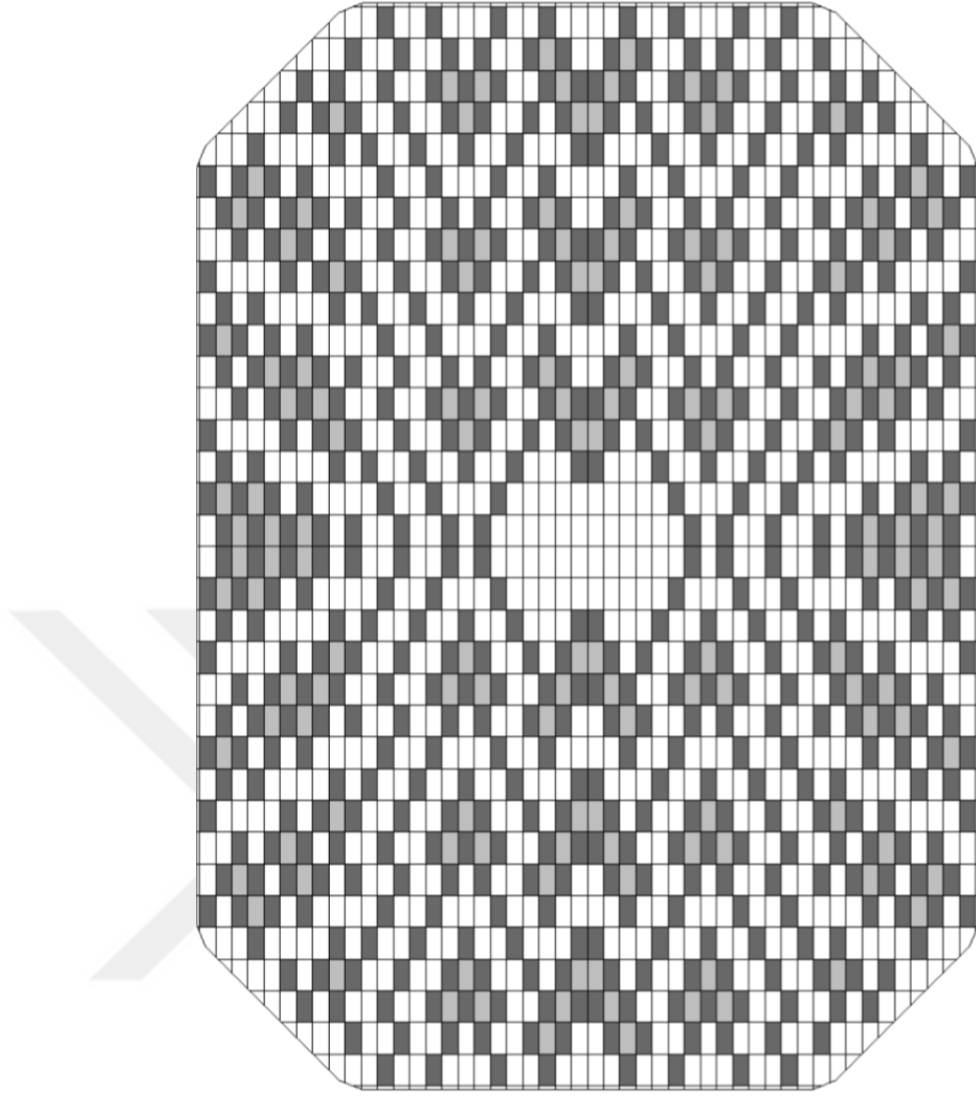
- Sabit, yansıtıcı alçı paneller (A, beyaz)
- Hareketli, yansıtıcı alçı paneller ile üzeri kapatılmış mineral yünü yutucu paneller (B, koyu gri)
- Arkasında mineral yünü yutucuları bulunan, sabit, mikroperfore paneller (C, açık gri)

Güçlendirilmiş müzik performansları için gereken değişken yutuculuğu sağlayabilmek için panellerin 552 adedi kayar sistemli tasarlanmıştır. Elektronik olarak kontrol edilen, 1x2 metre olarak tasarlanmış raylar üzerindeki paneller yana kaydırıldığında altındaki taşıyıcı yutucu katman ortaya çıkmakta ve salonun çınlama karakteristiği büyük oranda değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.18 : Kayar panelli tavan sistemi.

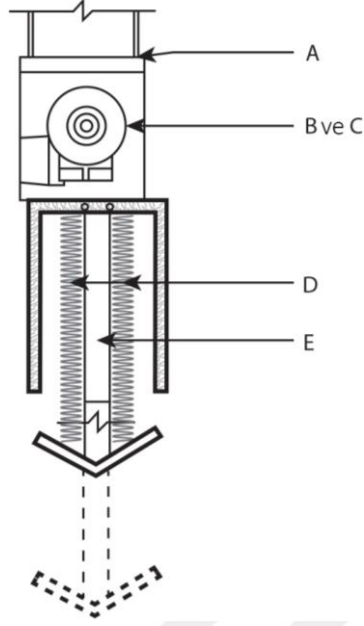
Şekil 4.19’da üç farklı panel sisteminin plan düzlemindeki yerleşim düzeni gösterilmektedir.



**Şekil 4.19** : Tavan panellerinin ızgara düzeni (A tipi paneller)beyaz; (B tipi paneller)koyu gri; (C tipi paneller)açık gri.

#### **4.2.5 Bölücü perde**

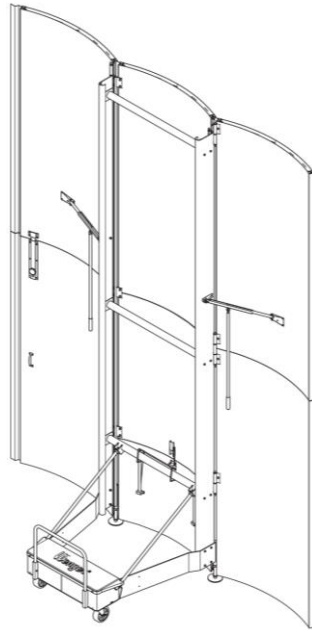
Güçlendirilmiş müzik performanslarında salonun kısa kenarına sahne yerleştirildiğinde, yanlarından bölücü perdeler ile kapatılarak salonun geri kalanından ayrılması planlanmıştır. Motorlu perde sistemi üzerindeki perde, çift katmanlı ağır velür kumaştan seçilerek salondaki enerjinin mümkün olduğu kadar arka bölüme geçmesine engel olunması amaçlanmıştır. Şekil 4.20’de salonda kullanılan bölücü perde sisteminin detayı gösterilmektedir.



**Şekil 4.20 :** Bölücü perde sistemi bileşenleri, (A)çelik kasa; (B)motor; (C)kablo makarası; (D)çift katmanlı velür kumaş; (E)çelik kablo [5].

#### 4.2.6 Sahne kabuğu

Spor salonunun çok amaçlı yapısına uygun olarak güçlendirilmiş müzik performansları için gerekli olan sahne kabuğu, hareketli ve depolanabilir özellikte seçilmiştir. Salon 3 varyasyonunda sahne, salonun kısa kenarında kurulmakta ve bir podyum ile ayakta dinleyici alanının ortalarına kadar uzanmaktadır. Sahne kabuğunu meydana getiren duvarlar çok katmanlı kontrplak panellerden oluşmaktadır. Salon 3'te de kullanılan kabuk kulelerinin bir örneği Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.21:** Örnek bir kabuk kulesinin izometrik görünüşü [5].



Kabuk kulesinde merkezi denge ağırlıklı ayak, katlanan iki kanadı desteklemektedir. Sahne içinde düzgün ses yayılımını sağlamak ve giriş kapıları, depolama alanlarını oluşturan yuvalar için alan oluşturma amacı ile dış-bükey yüzeyler kullanılmaktadır [5].

### 4.3 Akustik Simülasyon Yönteminin Açıklanması

Çalışma kapsamında Rhinoceros programında hazırlanan üç boyutlu modeller Odeon 14 hacim akustiği simülasyon programına aktarılmıştır. Hesaplama aşamasına geçmeden önce modellerin kontrolü “3D Geometry Debugger” sekmesi üzerinden yapılarak yüzeylerin çakışmadığı ve modelin kusursuz bir kapalı hacim oluşturarak ışınların dışarı kaçmasına izin vermediği tespit edilmiştir. Modellerin kontrolü yapıldıktan sonra Odeon programının kullandığı hesaplama parametreleri Şekil 4.22’de görüldüğü üzere belirlenmiştir.

The screenshot shows the 'Room setup' dialog box in Odeon. The 'Calculation parameters' tab is active, and the 'Air conditions/STI parameters/model check' sub-tab is selected. The dialog is divided into several sections:

- Let ODEON suggest calculation setup for point responses:** Three buttons are visible: 'Survey', 'Engineering', and 'Precision'.
- General settings:**
  - Impulse Response Length:** 3000 ms
  - Number of late rays (Recom. 2144):** 2144
- Specialist settings:**
  - Impulse response details:**
    - Max. reflection order: 10000
    - Impulse response resolution: 3,0 ms
    - Min. distance to walls: 0,1 m
  - Early reflections:**
    - Transition Order: 2
    - Manual number of early rays: 4288
    - Number of early scatter rays (per image source): 100
- Select calculation methods:**
  - Angular absorption: Soft materials only
  - Screen diffraction:
  - Surface scattering:  None (s=0)  Actual  Full scatter (S=1)
  - Oblique Lambert:
  - Reflection based scatter: Enabled
  - Key diffraction frequency: 707 Hz
  - Interior margin: 0,10 m
  - Reflection scattering coefficients > 0,50 handled as uniform scatter (below as Lambert scatter)

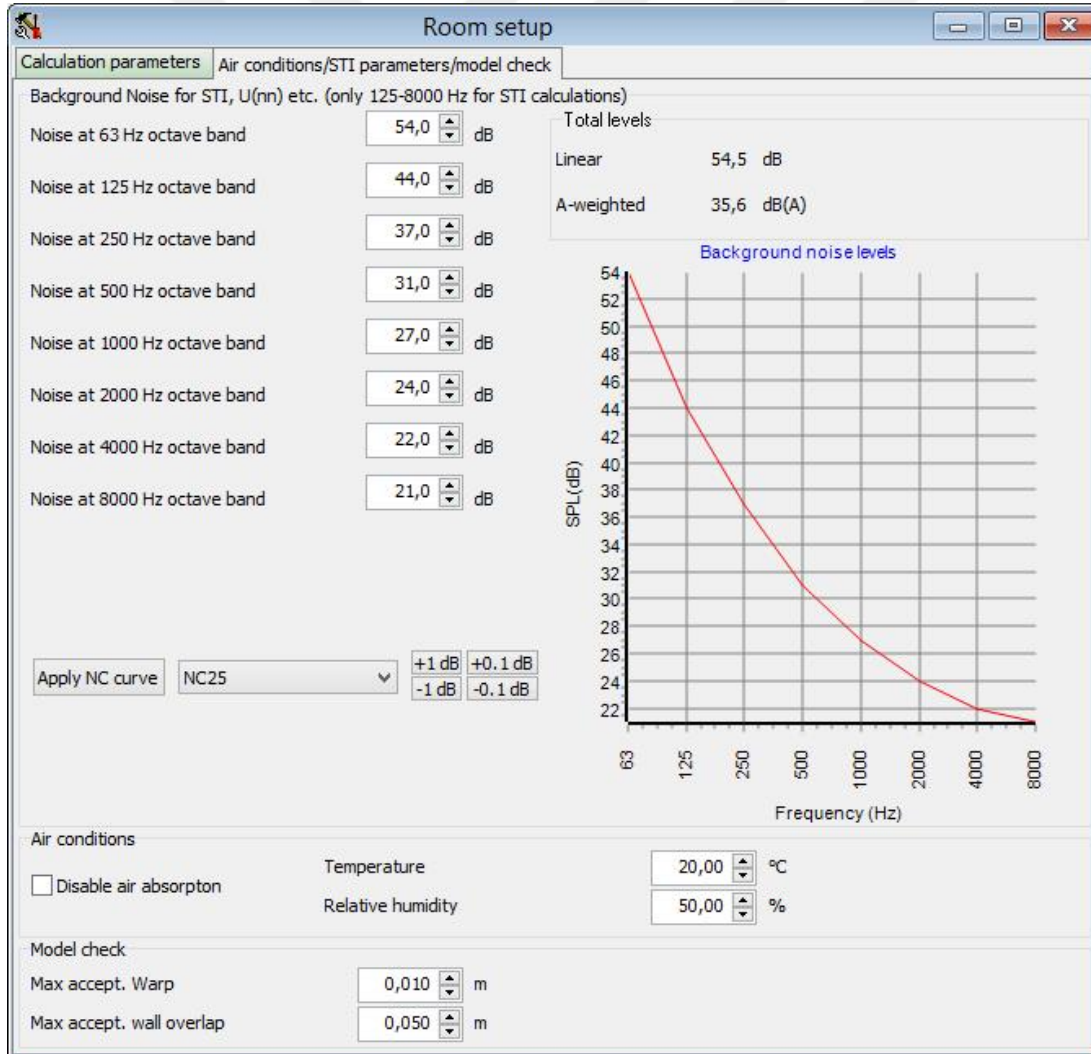
Şekil 4.22 : Hesaplama kullanılan parametre ayarları.

Hesaplama parametreleri temel olarak;

- Dürtü yanıtlarının kayıt süresi (impulse response length),
- Geç ışın sayısı (number of late rays),
- Bir ışının maksimum yansıma sayısı (maximum reflection order),
- Dürtü yanıtlarının kayıt aralığı (impulse response resolution),
- Sanal kaynakların yansıma derecesi (transition order),

olarak özetlenebilir. Ayrıca hesaplamayı etkileyen dış faktörler de Şekil 4.23'te görüldüğü üzere belirlenmiştir. Bunlar;

- Arka plan gürültü düzeyi,
- Ortam sıcaklığı ve nemdir.



Şekil 4.23 : Hesaplama ortam koşulları.

Odeon üzerinde hesaplama yapılan modeller için; “engineering” düzeyinde hesaplama hassasiyeti kullanılmıştır. Dürtü yanıtlarının kayıt süresi 3000 ms, bir ışının maksimum yansıma sayısı 10000, geç ışın sayısı her salon için programın önerdiği değer, sanal kaynakların yansıma derecesi 2 olarak belirlenmiştir, Şekil 4.22.

Hesaplamaları etkilen ortam koşullarında ise arka plan gürültü seviyesi NC-25, sıcaklık 20°, nem oranı % 50 olarak belirlenmiştir, Şekil 4.23.

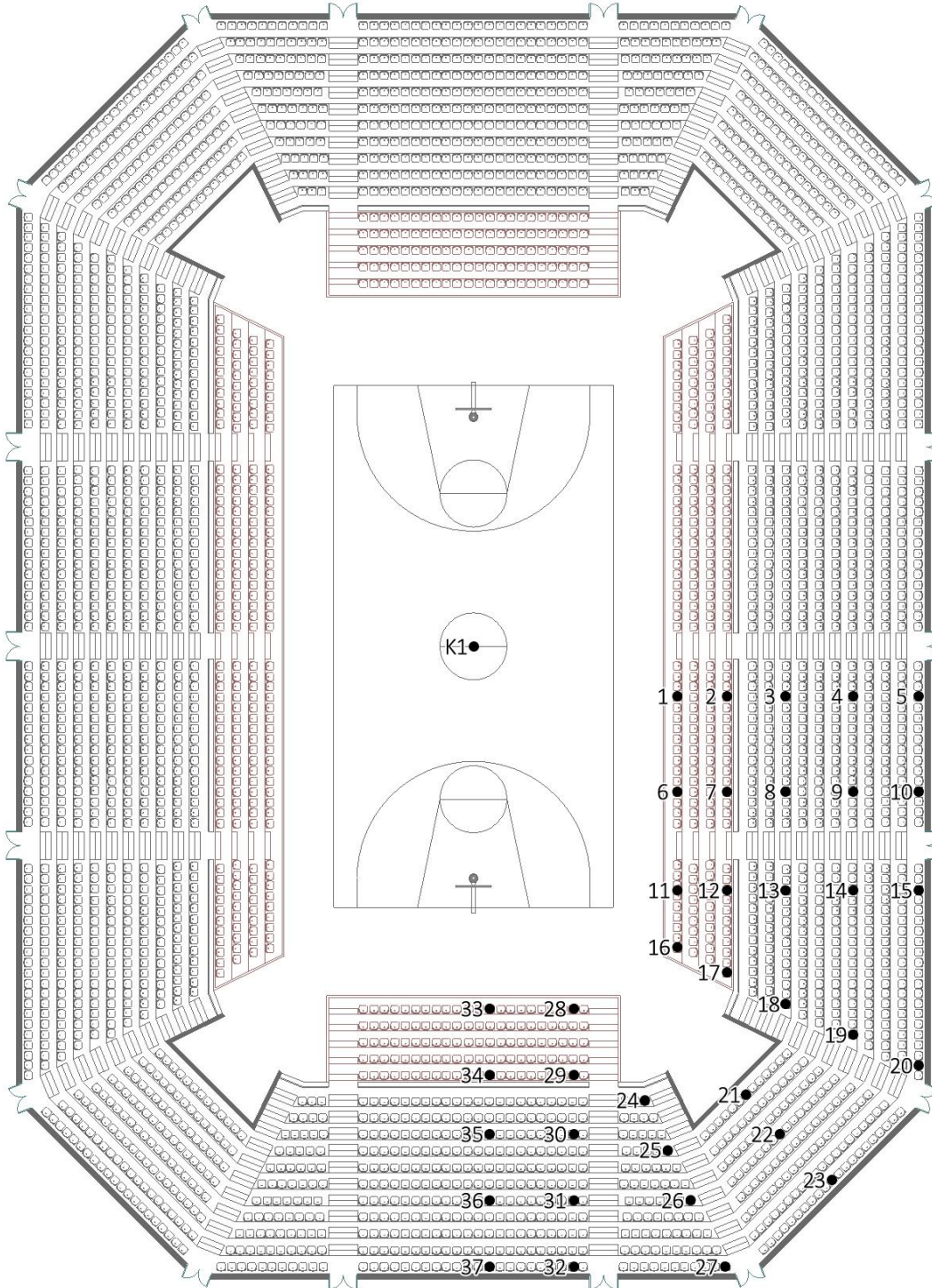
#### **4.4 Ses Kaynağı ve Alıcıların Konumlandırılması**

Salonlarda iki ses kaynağı ve plan tipine göre yerleştirilmiş 30’dan fazla alıcı noktasında ölçümler yapılmıştır. Kaynakların ikisi de sahnenin merkezine ve ön çizgisinden 150 cm geriye, sahne veya salon zemininden ise 150 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Kaynaklar; her frekans spektrumunda eşit ses düzeyi sağlayan, biri 90 dB diğeri ise 31 dB ses gücüne sahip, çok yönlü hoparlör (omnidirectional speaker) olarak seçilmiştir. 31 dB’lik ses gücüne sahip kaynak, G parametresinin ölçümü için kullanılmıştır.

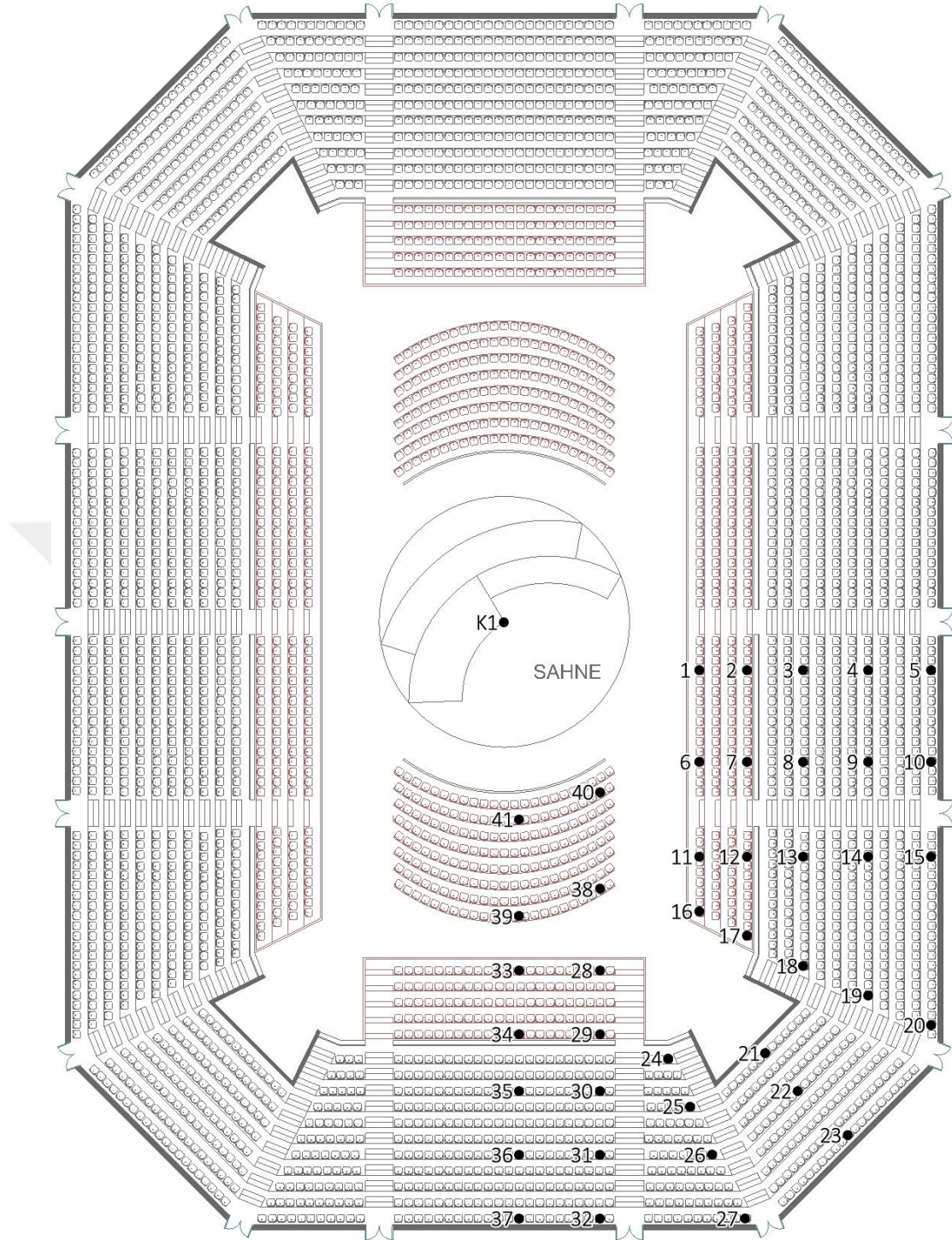
ISO 3382-1 standardında belirtildiği üzere salonun tamamına eşit bir biçimde dağıtılması gereken alıcı noktaları, salonun simetri eksenini gözetilerek Salon 1 ve 2’de çeyrek dilime, Salon 3’te ise yarısına yaygın olarak yerleştirilmiştir.

Alıcı noktaları dinleyici kulak yüksekliğini temsilen, standartta belirtildiği gibi zeminden 120 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Ayrıca, Salon 3’te yer alan ayakta dinleyici alanı için zeminden 160 cm yükseklikteki alıcılar da saha içine yerleştirilmiştir. Salonlar için belirlenen kaynak ve alıcı konumları Salon 1 için Şekil 4.24, Salon 2 için Şekil 4.25 ve Salon 3 için ise Şekil 4.26’da gösterilmektedir.

Salon 1 tasarım varyasyonundaki alıcı noktaları oluşturulurken, salonun genelini temsil etmesi amacı ile belirlenen çeyrek dilimlik alana mümkün olduğu kadar homojen yayılımları sağlanmaya çalışılmıştır.

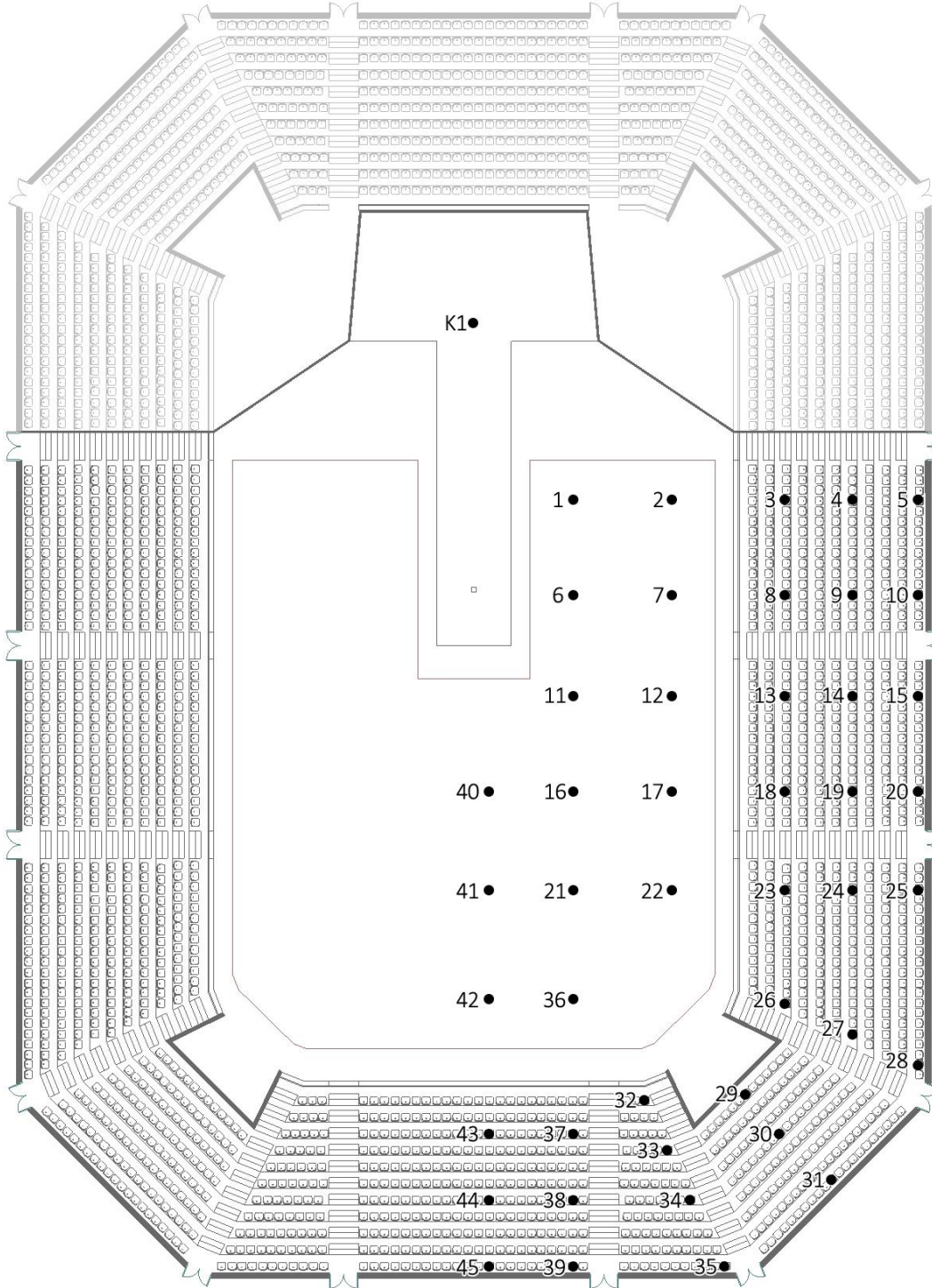


Şekil 4.24 : Salon 1 için belirlenen kaynak ve alıcı konumları.



Şekil 4.25 : Salon 2 için belirlenen kaynak ve alıcı konumları.

Salon 2 tasarım varyasyonunda Salon 1'deki alıcılar sabit tutularak, saha içine eklenen toplanabilir oturma alanında ek alıcı noktaları oluşturulmuştur. Salon 3'te ise kaldırılan toplanabilir tribünler ve saha içi alanında ayakta dinleyicileri temsilen daha yüksek konumlandırılmış ek alıcılar oluşturulmuştur.



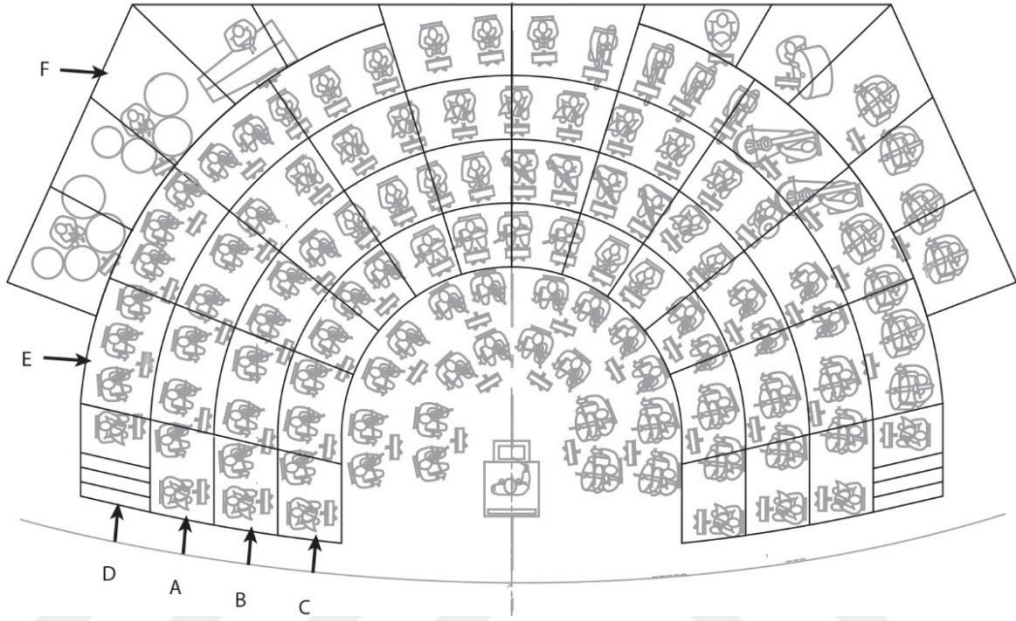
**Şekil 4.26 :** Salon 3 için belirlenen kaynak ve alıcı konumları.

Kaynak ve alıcı noktalar belirlendikten sonra programın hesaplamaları yapmak üzere kullandığı iş listeleri belirlenmiştir. Kaynak 1 (90 dB) ile salon genelinde yapılacak grid ve çok noktalı analizler için Job 1 tanımlanmış, G parametresi ölçümü için Kaynak 2 (31 dB) ile salon genelinde yapılacak grid ve çok noktalı analizler için ise Job 2 tanımlanmıştır. Bunlara ek olarak alıcıların her birinde tekil olarak ölçümler

yapılarak noktasal değerlendirme aşamasında kullanılacak enerji diyagramları, ışın analizleri gibi veriler de elde edilmesi amacı ile iş listesi genişletilmiştir.

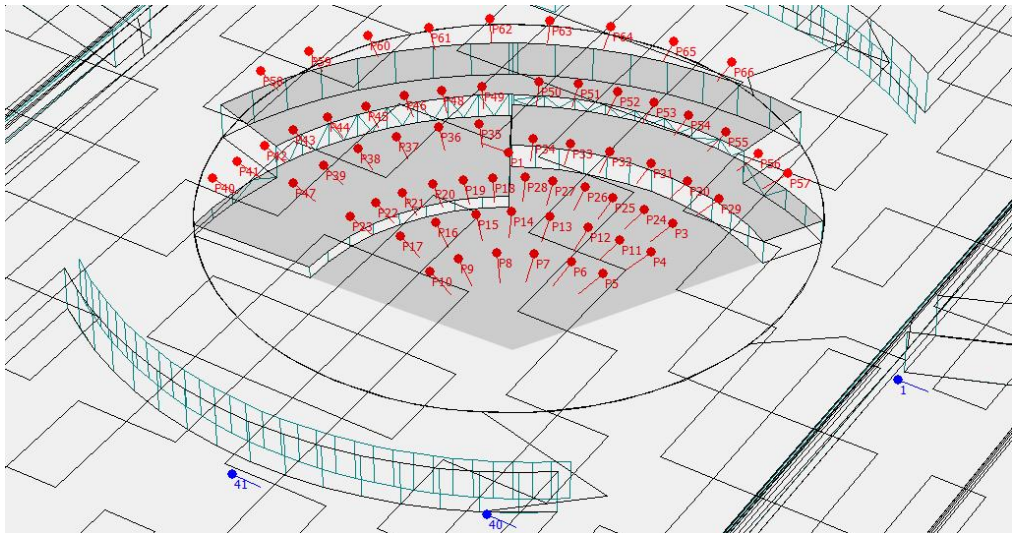
#### 4.4.1 Salon 2 için orkestral kaynak oluşturulması

Salon 2 için oluşturulan orkestral kaynağın tasarımında literatürden alınan platformlu sahne örnekleri referans alınmıştır, Şekil 4.27.



Şekil 4.27 : Çok amaçlı bir salon için orkestra yükseltme sistemi örneği [5].

Salonda işitsel olduğu kadar görsel ilişkiyi de kuvvetlendirme amacı ile sahne 0.00, +0.30, +0.60 ve +0.90 olmak üzere dört farklı kottan oluşacak biçimde tasarlanmıştır, Şekil 4.28. Odeon üzerinde noktasal kaynak olarak atanan enstrümanların ses gücü düzeyleri ise Çizelge 4.16'da belirtilmektedir.



Şekil 4.28 : Salon 2 için tasarlanan sahne yerleşim düzeni.

Şekil 4.28’de gösterilen sahne düzeninde yer alan enstrüman konumları ve bulunduğu platformların kotları:

- P3-P17: Keman (+0.00 m)
- P18-P23: Çello (+0.00 m)
- P24-P34: Viyola (+0.00 m)
- P35-P39: Flüt (+0.30 m)
- P40-P44: Obua (+0.30 m)
- P45-P49: Trompet (+0.30 m)
- P50-P53: Klarnet (+0.60 m)
- P54-P57: Fagot (+0.60 m)
- P58-P62: Trombon (+0.90 m)
- P63-P66: Korno (+0.90 m)

**Çizelge 4.16** : Salonda oluşturulan farklı enstrümantal kaynaklar için referans alınan ses gücü düzeyleri [23].

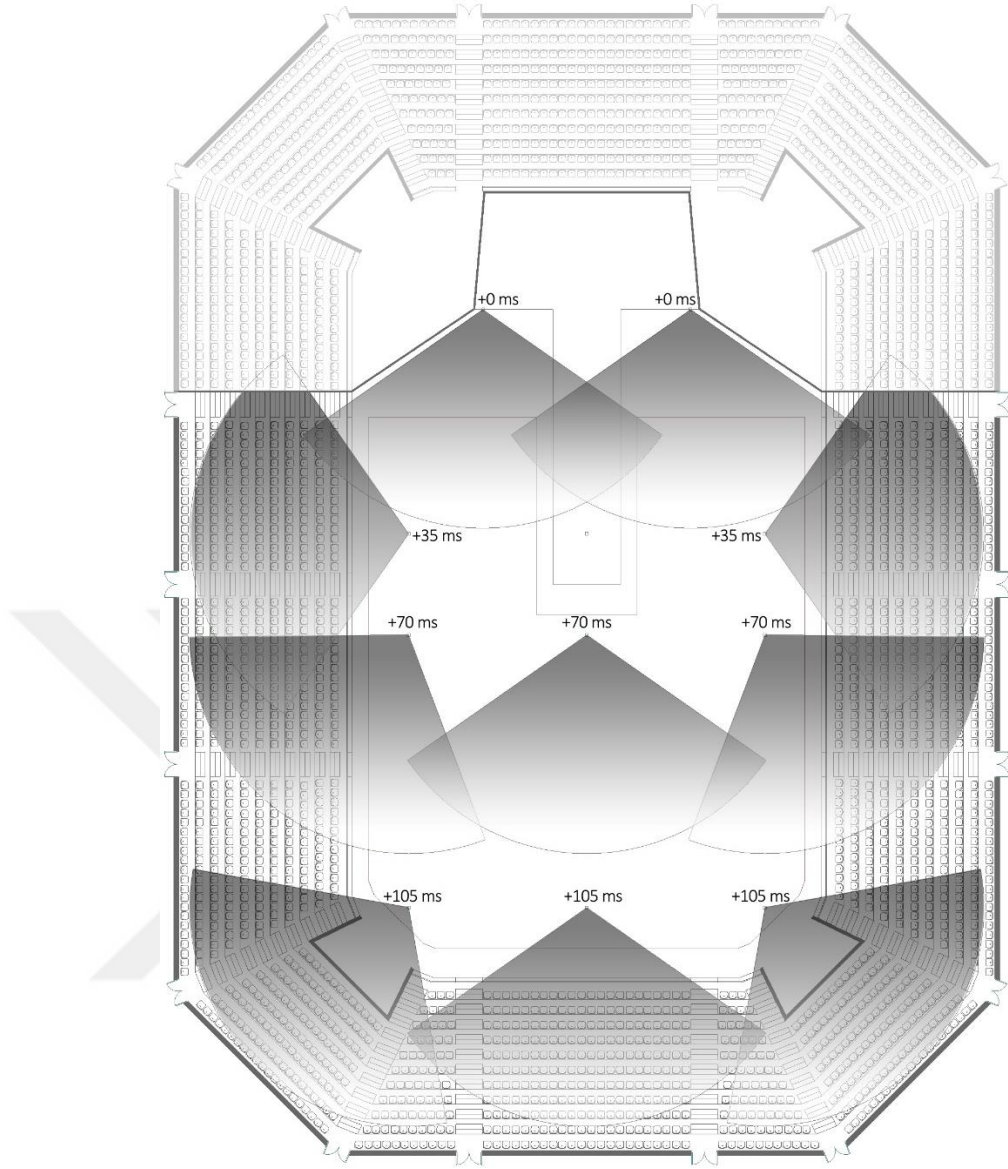
Enstrüman	dB		Enstrüman	dB
Keman	85		Trompet	88
Viyola	85		Klarnet	68
Çello	80		Fagot	90
Flüt	92		Trombon	90
Obua	74		Korno	92

#### 4.4.2 Salon 3 için elektro-akustik kaynak oluşturulması

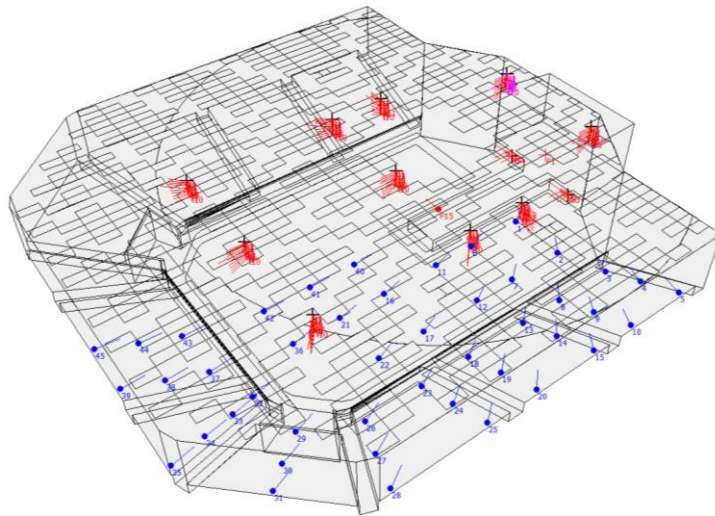
Salon 3 üzerinde oluşturulan elektro-akustik sistem tasarlanırken Bölüm 3.1.1’de gösterildiği gibi, kritik mesafe değeri 13,2 metre olarak hesaplanmıştır. Çizgisel sıralı hoparlör düzenleri de bu mesafe gözetilerek salona yayılmış ve aralarındaki uzaklığa bağlı olarak dinleyicilerde doğru kaynak yönelimini sağlayabilmek için 35 milisaniyelik gecikmelerle yerleştirilmiştir. Çizgisel sıralı hoparlörlerin plan düzlemindeki yerleşimi Şekil 4.29’da gösterilmektedir.

Tavana yerleştirilen çizgisel sıralı kaynaklara ek olarak, sahne altında kalp biçimli dizilimde yerleştirilen derin bas hoparlörler (subwoofer) de kullanılmıştır. Kaynaklara eşit olarak 90 dB’lik ses gücü verilmiştir, Şekil 4.30.





Şekil 4.29 : Salon 3 için tasarlanan elektro-akustik kaynak düzeni ve hoparlörlere verilen gecikme süreleri.



Şekil 4.30 : Elektro-akustik kaynakların model üzerindeki görünümü.

## 4.5 Parametreler ile İlgili Kabuller

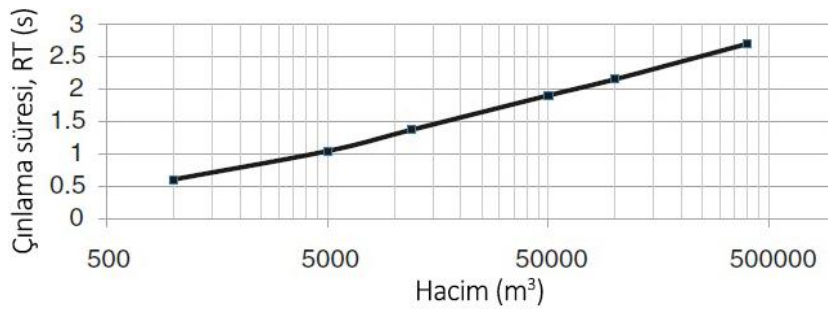
### 4.5.1 Çınlama süresinin planlanması

Salonun hacmi ve farklı işlemlere ev sahipliği yapması sebebi ile tasarım aşamasında öncelikle bu işlemlerin gerektirdiği çınlama süreleri literatürden referans alınan değerlerle belirlenmiştir, Çizelge 4.17, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32.

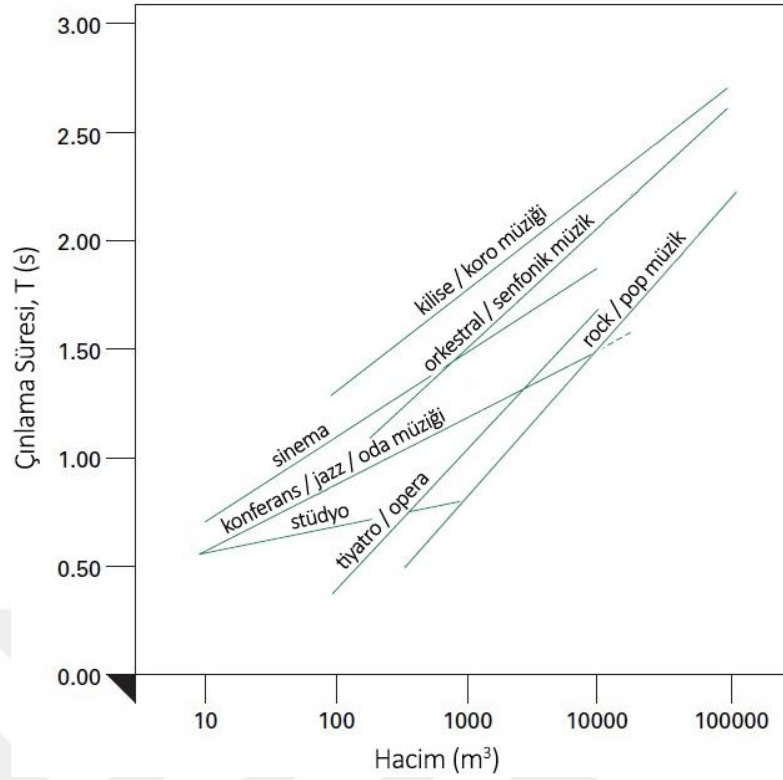
Salonun spor salonu olarak kullanımı için çınlama süresinin belirlenmesinde ise Binaların Gürültüye Karşı Korunması ve Ses Yalıtımı Hakkında Yönetmeliği'nde "Eğlence/spor tesisleri" sınıfı altındaki spor salonlarının çınlama süresinin belirlenmesi akustik uzmanlara bırakılmıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında, eğitim tesislerinin spor salonları için yönetmelikte belirtilen 1,8 saniyelik sınır değeri referans alınmıştır. Verilen sınır değer 250, 500, 1000 ve 2000 Hz frekans bantlarında ölçülen değerlerin aritmetik ortalamasıdır [24].

**Çizelge 4.17 :** Farklı işlemlerde salonlar için dolu halde iken sağlanması gereken (500-1000 Hz) çınlama süreleri [25].

Salon Türü	Optimum Çınlama Süresi (s)
Sinema	0,4 – 1,0
Rock Konseri	0,8 – 1,1
Ders	0,8 – 1,2
Tiyatro	1,0 – 1,2
Opera	1,3 – 1,7
Senfoni Konseri	1,5 – 2,2
Koro Konseri	1,7 – 2,5
Kilise Müziği	2,0 – 3,0



**Şekil 4.31 :** Rock ve pop müzik sergilenen salonlar için önerilen çınlama süresi [20].



**Şekil 4.32:** Salonların hacmi ve işlevine göre sahip olması gereken çınlama süreleri [19, 20].

Çınlama süresi değerlendirmelerini 1/1 oktav bantlarında yapabilmek amacı ile kaynaklardan referans alınan 500-1000 Hz çınlama süreleri Çizelge 4.18’de gösterilen, klasik müzik için belirlenmiş katsayılarla çarpılarak çınlama süresinin frekans spektrumlarındaki dağılımı belirlenmiştir.

**Çizelge 4.18 :** Klasik müzik için belirlenen çınlama süresi katsayıları [26].

Frekans (Hz)	Oran
63	1,93
125	1,46
250	1,13
500	1
1000	1,05
2000	1,05
4000	1,05

Ancak bu katsayılar güçlendirilmemiş, akustik müzik türleri için oluşturulduğundan, güçlendirilmiş müzik sergilenen durumda (Salon 3) geçerliliğini yitirmektedir. Güçlendirilmiş müziklerde çınlama süresi grafiğinin tüm frekanslarda mümkün olduğunda düz bir şekilde yayılım göstermesi istenmektedir. Bu nedenle Salon 3 tasarım varyasyonu için kriterleri belirlemede kullanılan katsayılar çınlama eğimi düşük bir oranda korunarak, Çizelge 4.19’daki gibi belirlenmiştir.

**Çizelge 4.19 :** Güçlendirilmiş müzik için belirlenen çınlama eğrisi katsayıları.

Frekans (Hz)	Oran
125	1,2
250	1,1
500	1
1000	1,05
2000	1,05
4000	1,05

#### 4.5.2 Parametreler

Spor salonlarında dinleme işlevi ön planda olmadığından sadece çınlama süresi ve çevresel gürültü kriterleri (NC) ile ilgili değer aralıkları literatürde bazı kaynaklarda yer almaktadır. Çeşitli kaynaklardan alınan değerler ve bunların harmanlanması ile oluşturulmuş referans değer aralığı Çizelge 4.20’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.20 :** Spor Salonu Parametreleri (Salon 1).

	[1] TEMPLETON	[30] SPORT ENGLAND	[24] YÖNETMELİK	REFERANS DEĞERLER
RT (T <sub>30</sub> )	1,8 - 3,0	< 2,0	< 1,8	1,6 – 2,0

Klasik (senfonik) müziğin müziğin sergilendiği, Salon 2 olarak adlandırılmış tasarım varyasyonu için literatürden alınan nesnel parametre değerleri ve bunların harmanlanması ile oluşturulmuş referans değer aralıkları Çizelge 4.21’de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.21 :** Klasik Müzik Parametreleri (Salon 2).

	[10] ISO3382	[9] EASERA	[26] BARRON	[27] GADE	[5] HOLDEN	[28] ODEON	REFERANS DEĞERLER
RT (T <sub>30</sub> )		1,8 – 2,2	1,8 – 2,2		> 1,7	1,7 – 2,3	1,8 – 2,2
EDT	1 – 3		1,8 – 2,2	2,2			1,8 – 2,2
T <sub>s</sub>	60 – 260	70 – 150	90 – 160				80 – 180
D <sub>50</sub>	0,3 – 0,7	> 0,5					0,5 – 0,7
C <sub>7</sub>		> (-15)					> (-15)
C <sub>50</sub>		> (-2)					> (-2)
C <sub>80</sub>	(-5) – 5	> (-3)	(-2) – 2	(-1) – 3	(-2) – 0	(-1) – 3	(-3) – 3
LF <sub>80</sub>	0,05 – 0,35	0,05 – 0,35	0,1 – 0,35	0,25 – 0,35		> 0,25	0,05 – 0,35
G	(-2) – 10		> 0	3	2 – 5	> 3	2 – 5
BR		1 – 1,3			1,1 – 1,4		1,1 – 1,4

Rock ve pop (güçlendirilmiş) müziğin sergilendiği, Salon 3 olarak adlandırılmış tasarım varyasyonu için literatürden alınan nesnel parametre değerleri ve bunların harmanlanması ile oluşturulmuş referans değer aralıkları Çizelge 4.22’de gösterilmektedir. Güçlendirilmiş müzik için özel olarak belirlenemeyen parametrelerin değerlendirilmesi de klasik müzik parametreleri üzerinden yapılmıştır.

**Çizelge 4.22 : Güçlendirilmiş Müzik Parametreleri (Salon 3).**

	[29]	[22] ADELMAN	REFERANS DEĞERLER
RT (T <sub>30</sub> )	1,2	1,2	1,1 – 1,3
EDT		0,7	0,6 – 0,8
D <sub>50</sub>		0,7	0,6 – 0,8
C <sub>80</sub>		(-1) – 2	(-1) – 3
BR		1,1	1 – 1,2

#### 4.6 Salonların Değerlendirme ve Karşılaştırma Yöntemlerinin Açıklanması

Çalışma kapsamında tasarlanan salonun işlevlerine göre oluşturulan varyasyonları, hem literatürden referans alınan değerler ile hem de herhangi bir akustik uygulama yapılmamış yalın halleri ile kendi içlerinde karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Üç varyasyonun da yalın hallerinde asıl tasarımlara göre:

- Arka duvarda kayar ahşap panel sistemi yerine brüt beton kullanılması,
- Tavanda kayar alçı panel sistemi yerine trapez sac kullanılması,
- Parter duvarlarında kullanılan saçıcı alçı levhalar yerine brüt beton kullanılması,
- Tavan reflektörünün kaldırılması,

değişiklikleri planlanarak uygulanmıştır. Bu değişkenlerin akustik kalite üzerindeki etkileri Odeon programında yapılan analizler ile değerlendirilmiştir. Analizler; dinleyici alanına yerleştirilmiş grid düzlemleri, alıcı noktalardaki nesnel parametreler, kritik noktaların yansıma diyagramları ve ışın analizleri aracılığı ile yapılmıştır.



## 5. SİMÜLASYON SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Oluşturulan 3 farklı tasarım varyasyonunun akustik açıdan değerlendirmeleri temel olarak iki farklı karşılaştırma yöntemi kullanılarak yapılmıştır:

- Yalın halleri ile akustik düzenleme yapılmış halleri karşılaştırılarak sağlanabilen değişim ve gelişim miktarı değerlendirilmiş,
- Gerçek kullanım şartlarında ses kaynağı olan orkestra ve elektro-akustik sistemin modellendiği halleri ile ölçüm standardına uygun olarak çok yönlü kaynağın modellendiği halleri karşılaştırılarak ortaya çıkan değişim miktarı değerlendirilmiştir.

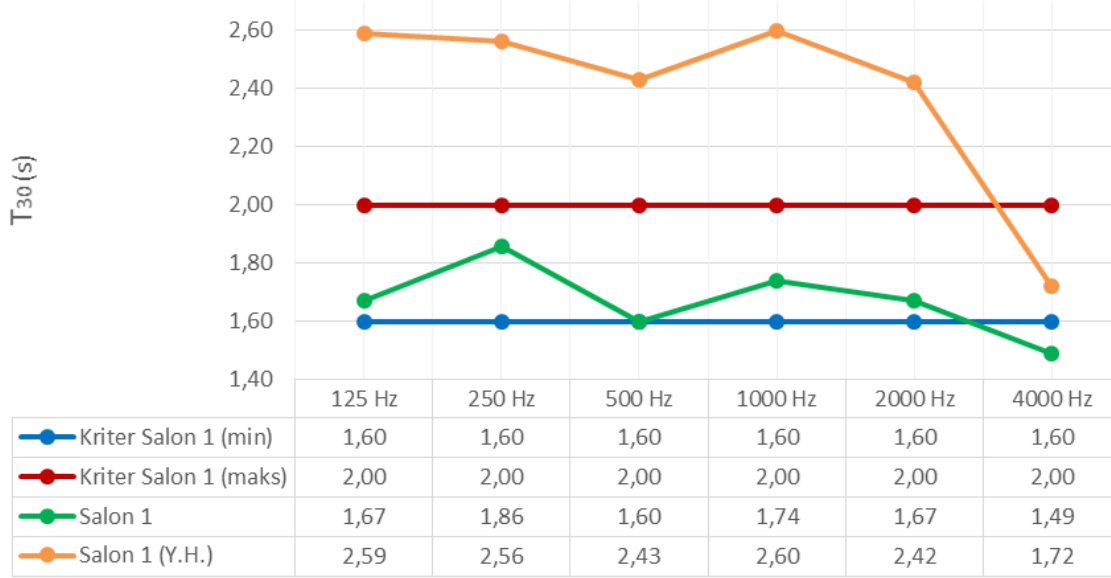
### 5.1 Salonun Spor Salonu İşlevinde Akustik Analizi – Salon 1

Spor salonu işlevi için oluşturulan Salon 1 modeli, literatürden referans olarak alınan nesnel parametre değerleri ve akustik düzenlemeler yapılmadan önceki durumu olan salonun “yalın hali” ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Spor salonlarının akustik değerlendirilmesinde kriter olarak yalnızca çınlama süresinin kullanılması sebebi ile salonda değerlendirilen parametreler  $T_{30}$  ve EDT ile sınırlandırılmıştır. Bunlara ek olarak, hacim içinde ses yayılımının incelenmesi ve eko kusurunun kontrolü yapılmıştır.

#### 5.1.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT)

Binaların Gürültüye Karşı Korunması ve Ses Yalıtımı Hakkında Yönetmeliği’nde, spor salonları için 1,8 saniye olarak belirtilen çınlama süresi sınırı, 250-2000 arasındaki 1/1 oktav bantlarındaki çınlama sürelerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Spor salonunun değerlendirilmesinde ise referans aralık olarak tüm frekans bantlarında eşit olarak 1,6-2,0 saniye aralığı belirlenmiştir. Aynı zamanda değerlendirmeler yapılırken bu dört oktav bandın ortalaması için belirtilen 1,8 saniyelik sınır değeri de gözetilmiştir.

Bölüm 4.5.1’de anlatılardan yola çıkılarak, değerlendirmede referans olarak alınan çınlama süresi aralığı ve simülasyon üzerinde ölçülen değerlerin bu aralığa uyumu Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



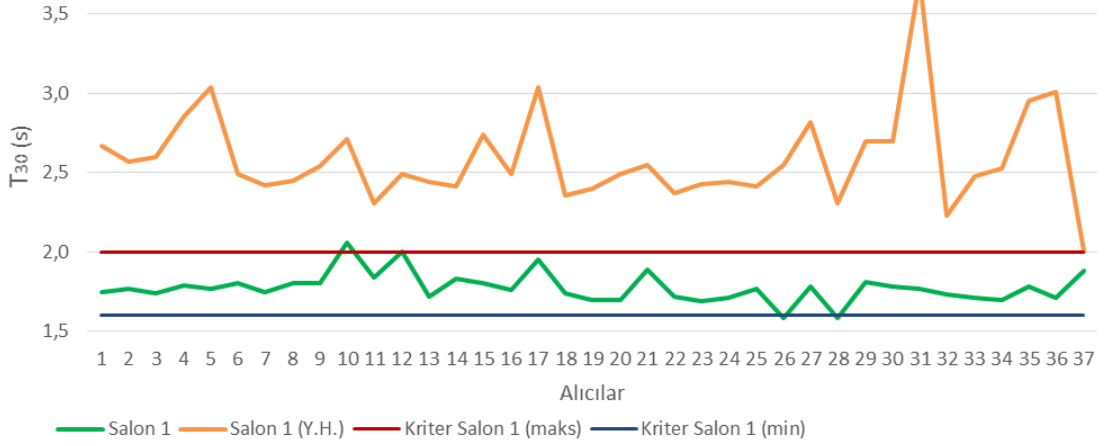
**Şekil 5.1 :** Salon 1 genelinde hesaplanan çınlama sürelerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.

Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) spektrum grafiği incelendiğinde salonun 4000 Hz haricindeki tüm frekans bantlarında istenen aralığın içinde olduğu, yalnızca 4000 Hz frekans bandında referans aralığın altında kaldığı görülmektedir. Ancak spor salonlarının akustik konforunun değerlendirilmesinde temel olarak üst sınır değerleri etkili olduğundan, referans aralığın altında kalınmasının negatif bir etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir. Ayrıca bu yüksek frekans bandının özellikleri incelendiğinde, havanın yutuculuğunun da önemli bir etkiye sahip olduğu ve bu nedenle çınlama süresindeki düşüşün olağan bir durum olduğu anlaşılmaktadır.

Çınlama süresinin, 250-2000 Hz arasındaki 4 oktav bandı için ortalamasına bakıldığında ise 1,72 saniye ile yönetmelikte eğitim tesislerinin spor salonları için belirtilen 1,80 saniyelik sınır değerinin de altında kaldığı görülmektedir.

Salonun, herhangi bir düzenleme yapılmadan önceki haline göre çınlama süresinde sağlanan değişimin belirlenmesi amaçlı yapılan alıcı bazındaki karşılaştırma Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



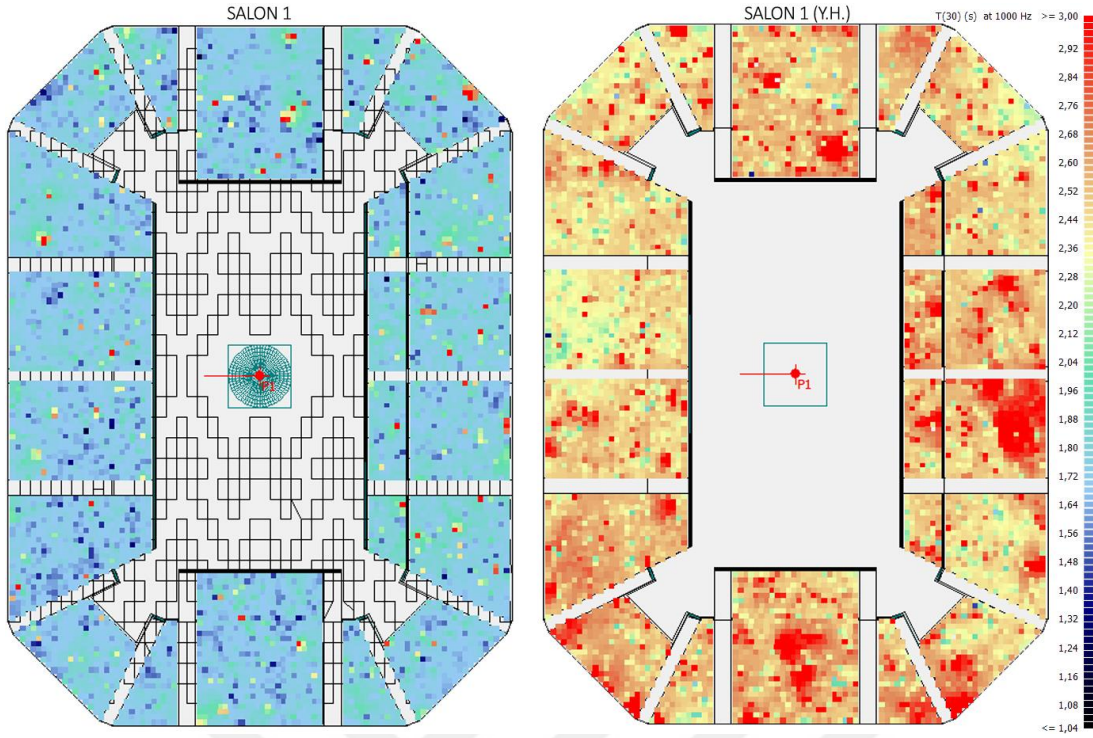


**Şekil 5.2 :** Salon 1'de alıcı noktalarda ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin salonun yalın hali ile karşılaştırılması (1000 Hz).

Şekil 5.2'deki grafik incelendiğinde alıcı noktaların tamamında çınlama süresinin salonun yalın haline göre azalım gösterdiği anlaşılmaktadır. Sağlanan bu azaltım sayesinde çınlama süresinin maksimum olarak belirlenen sınır değerinin altına inmesi sağlanmıştır.

Çınlama süresinin üst sınırın altına çekilmesinde, tavanda ve arka duvarda uygulanan değişken akustik sistemleri ile sağlanan yutuculuk etkili olmuştur. Aynı zamanda alıcı noktalar arasında ölçülen maksimum ve minimum değerler arasındaki farkın azalmasına bağlı olarak çınlama süresinin hacimde daha tekdüze bir biçimde yayıldığı sonucuna varılabilir. Bu aynı zamanda ses enerjisinin hacimde dağılımının daha homojen olduğu anlamına gelmektedir.

Salon genelinde çınlama süresinin yayılımı, Odeon'da grid analiz yardımı ile incelendiğinde de yapılan akustik düzenlemelerin çınlama süresine etkisi daha net olarak görülmektedir, Şekil 5.3. Salonun yalın hali ile kıyaslama yapıldığında, hacim genelinde çınlama süresinin azalım gösterdiği görülmektedir. Ayrıca salonun yalın halinde görülen bölgesel farklılıklarla da, yapılan düzenlemeler sayesinde çınlama süresinin hacim içinde daha homojen bir biçimde yayılmasının sağlandığı görülmektedir. Malzeme seçimlerine bakıldığında, özellikle arka duvarda kullanılan yüksek yutuculuğa sahip şişen membran tüplerin ve tavanda kullanılan mineral yünü panellerin, çınlama süresinin düşürülmesine önemli katkı sağladığı anlaşılmaktadır.



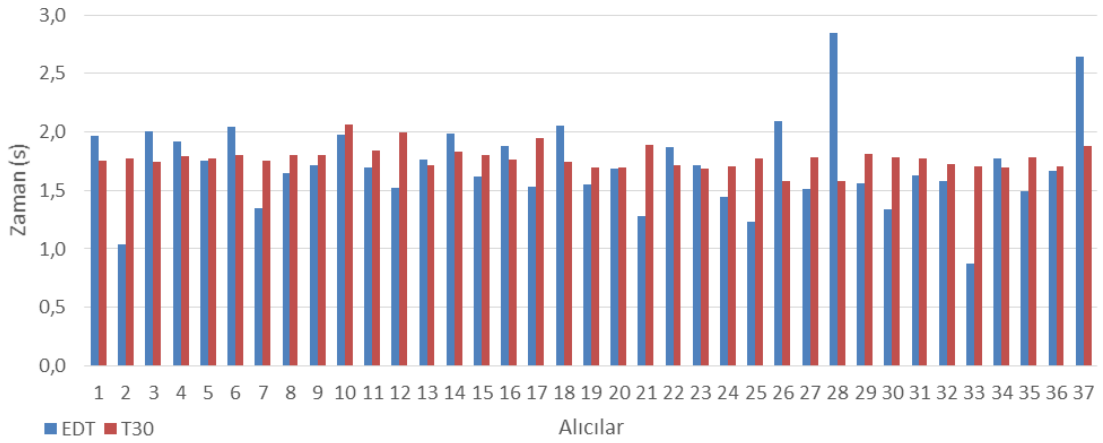
**Şekil 5.3 :** Salon 1'de alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

EDT'nin  $T_{30}$  ile olan ilişkisine bakıldığında, salondaki bir çok alıcı noktada çınlama süresi ile uyumlu olarak dağılım gösterdiği, ancak büyük bir bölümünde özellikle klasik müzik için istenilen, “çınlama süresine eşit veya %10 daha fazla” olarak tanımlanmış aralığı sağlayamadığı görülmektedir, Şekil 5.4. Bazı alıcı noktalarındaki yüksek orandaki sapmalar:

- 28 ve 37 numaralı alıcılarda yüksek EDT değerleri,
- 33 ve 2 numaralı alıcılarda ise düşük EDT değerleri, olarak görülmektedir.

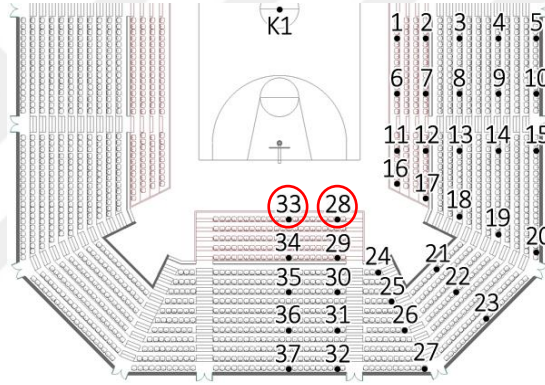
EDT'nin  $T_{30}$ 'a göre baskın olduğu alıcı noktalarında geç yansımaların zayıf kaldığı,  $T_{30}$ 'un EDT'den yüksek çıktığı alıcı noktalarında ise erken yansımaların yeteri kadar alınmadığı çıkarımı yapılabilir. Ancak Salon 1, temel olarak spor salonu kullanımı için tasarlandığından, EDT parametresinde ortaya çıkan bu farklılıkların salonun akustik değerlendirilmesinde kritik bir öneme sahip olmadığı çıkarımı yapılabilir.

Buna rağmen erken ve geç ses enerjileri arasındaki dengenin analiz edilebilmesi için, sapmaların görüldüğü noktalarda yansıma, enerji değerlendirmeleri yapılarak sebep-sonuç ilişkileri irdelenmiştir.



**Şekil 5.4 :** Salon 1'de alıcı noktalarında ölçülen EDT ve T<sub>30</sub> değerleri (1000 Hz).

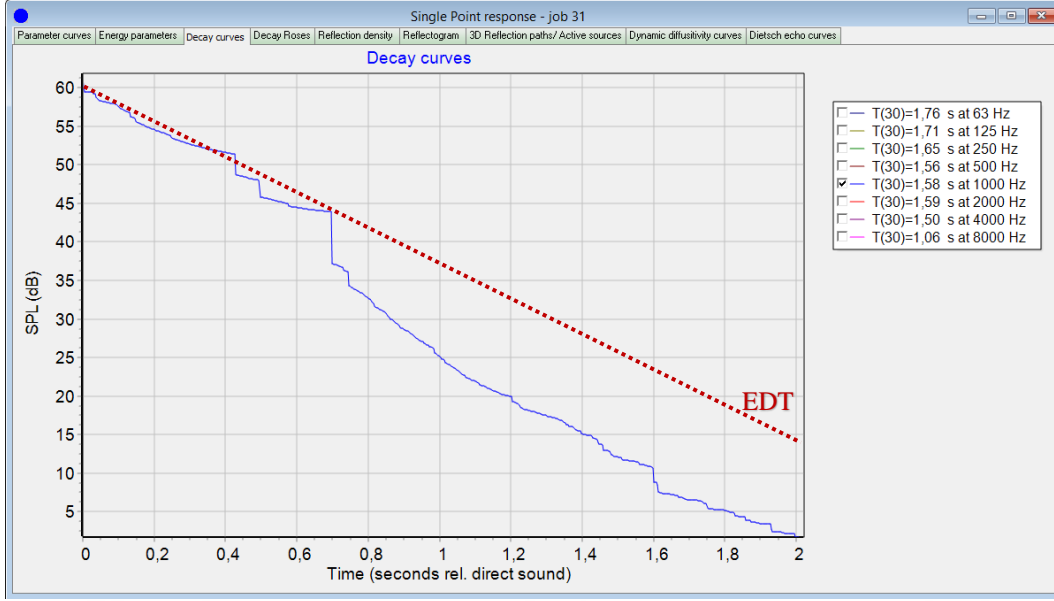
EDT'nin T<sub>30</sub>'a göre en yüksek olduğu 28 numaralı alıcı ve T<sub>30</sub>'un EDT'ye göre en yüksek olduğu 33 numaralı alıcı tekil olarak incelenmiştir, Şekil 5.5.



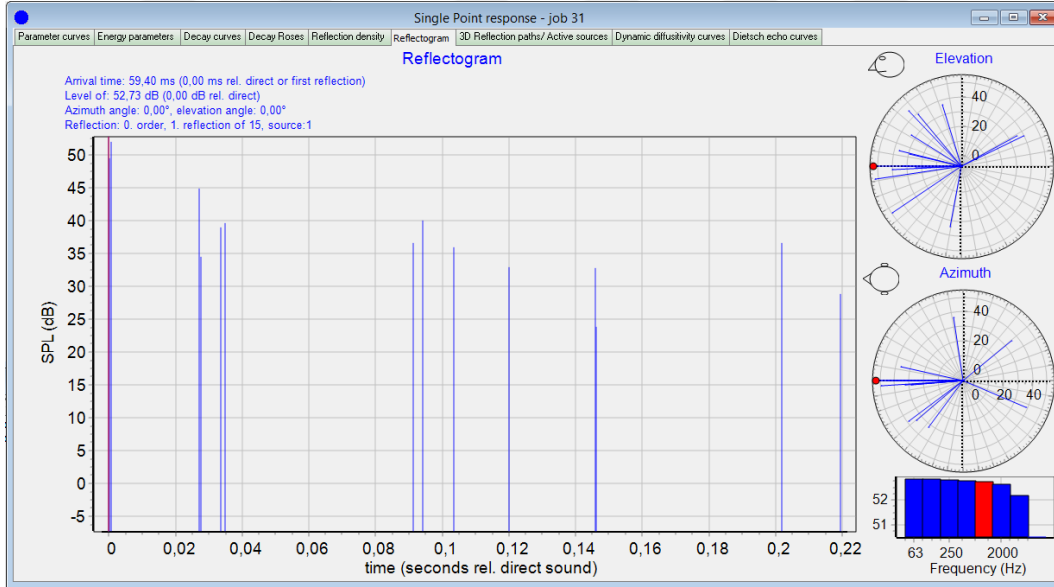
**Şekil 5.5 :** Salon 1 için 28 ve 33 numaralı alıcıların konumları.

EDT'si 2,85 saniye ile en yüksek olan 28 numaralı alıcının enerji düşüş eğrisi incelendiğinde, düşüş eğrisinin düzgün azalım göstermeyerek ses basınç düzeyinde ani bir düşüşle ilerlediği görülmektedir, Şekil 5.6. İlk 10 dB'lik düşüş yoğun gelen erken yansımalarla ilgili olarak uzun sürmekte, buna bağlı olarak da alıcıda ölçülen EDT değeri yüksek çıkmaktadır.

Erken yansımaların, sayısı ona kıyasla az olan geç yansımalarla göre baskın kalması sebebi ile EDT değeri bu noktası için yüksek çıkmaktadır. Şekil 5.7'de 28 numaralı alıcıya ulaşan yansıma diyagramı gösterilmektedir.

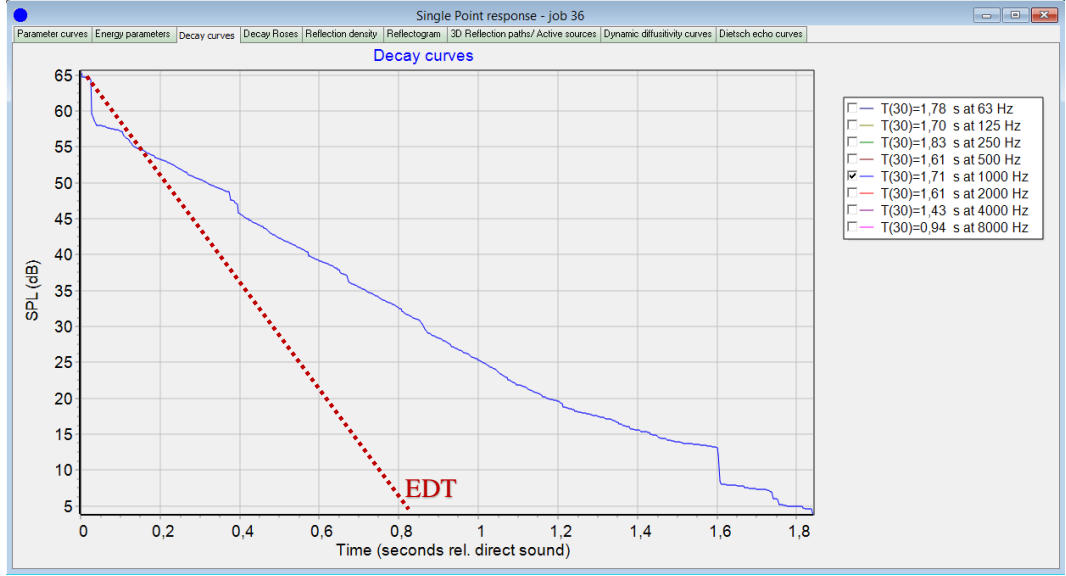


Şekil 5.6 : Salon 1'de 28 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).

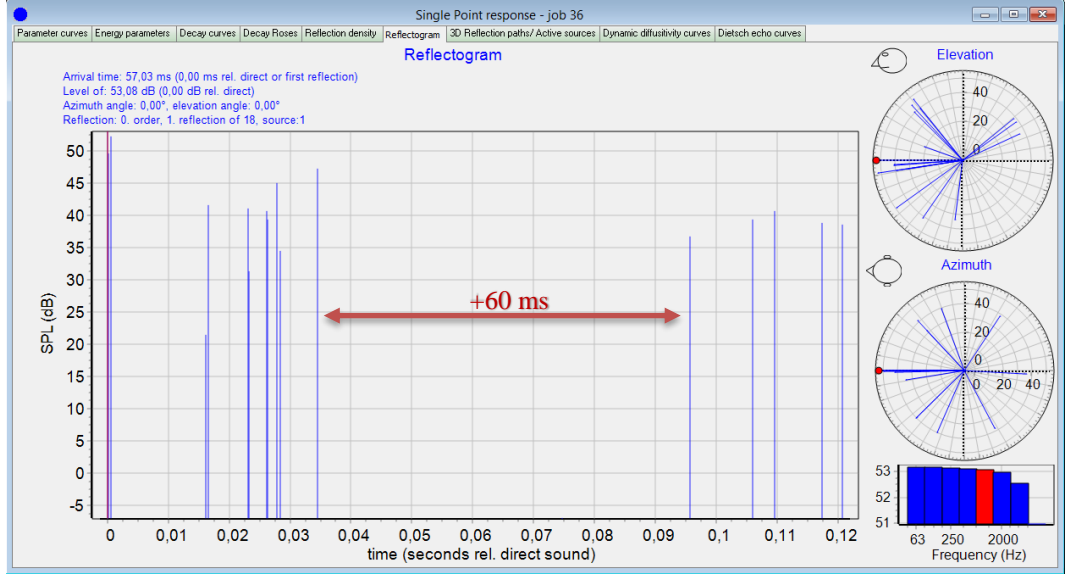


Şekil 5.7 : Salon 1'de 28 numaralı alıcının enerji diyagramı.

EDT'si 0,87 saniye ile en düşük olan 33 numaralı alıcının enerji düşüş eğrisi incelendiğinde, düşüş eğrisinin düzgün azalım göstermeyerek ses basınç düzeyinde ilk olarak ani bir düşüşle ilerlediği görülmektedir, Şekil 5.8. Ses basınç düzeyinin ilk 10 dB'lik düşüşü, ulaşılan yüksek ses basınç düzeyi (65 dB) ve bu düzeyi sürdürmek için yetersiz kalan erken yansımalarla ilgili olarak çok kısa sürmüş; buna bağlı olarak da alıcıda ölçülen EDT değeri düşük çıkmıştır. Alıcı noktanın yeterli oranda erken yansıma alamaması sebebi ile EDT değerinin istenilen değerlerden düşük çıktığı sonucuna varılabilir, Şekil 5.9.



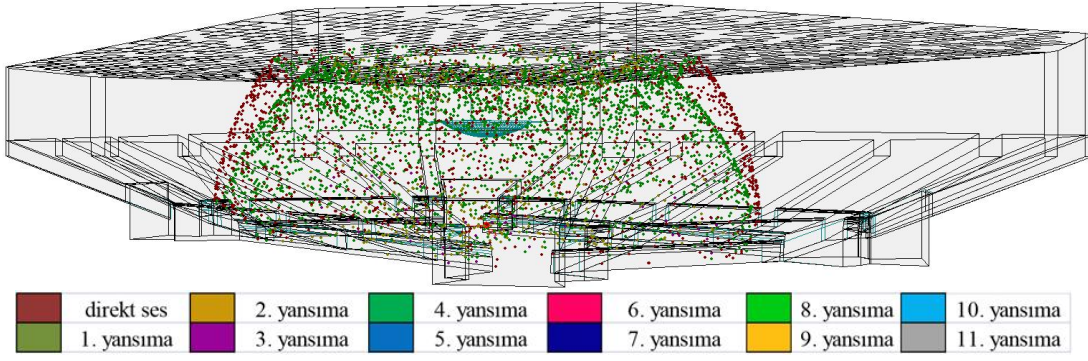
Şekil 5.8 : Salon 1'de 33 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).



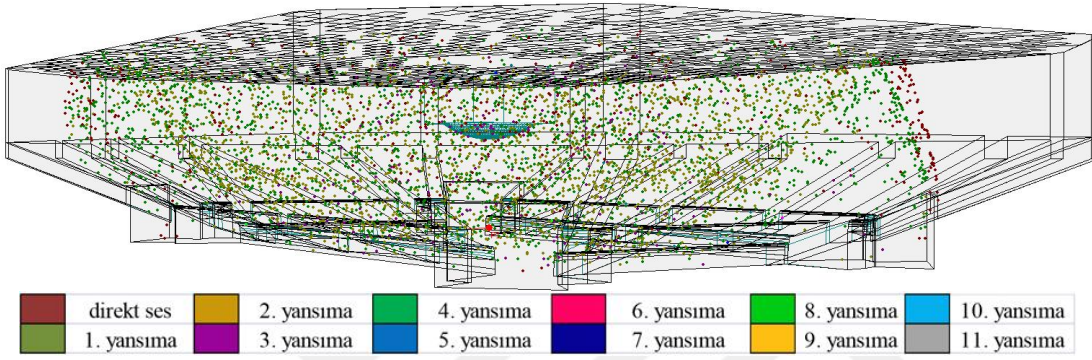
Şekil 5.9 : Salon 1'de 33 numaralı alıcının enerji diyagramı.

### 5.1.2 Sesin iletimi ve eko kontrolü

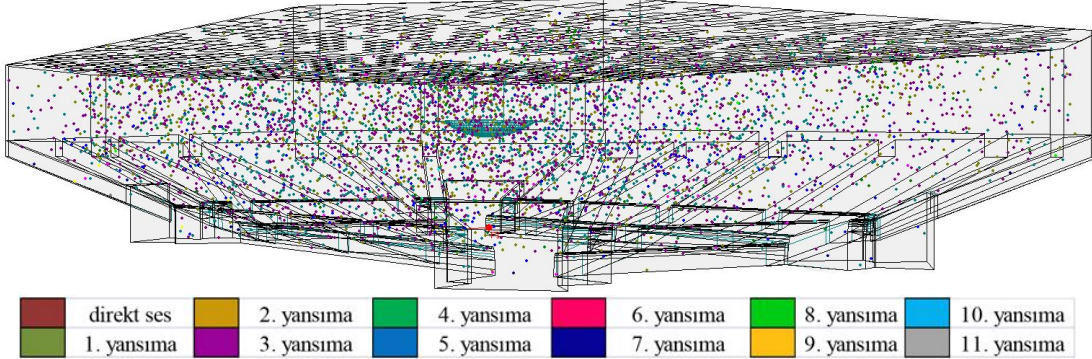
Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de sırasıyla 50., 80. ve 135. milisaniyelerde alınan, sesin küresel yayılımının modellendiği noktasal dağılım grafikleri incelendiğinde sesin hacim içinde homojen bir biçimde yayıldığı, ancak merkeze olan uzaklığı 25 metreyi geçen tribün alanlarına sesin ilk 80 milisaniyeden sonra ulaştığı görülmektedir.



**Şekil 5.10** : Salon 1'de 50. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.



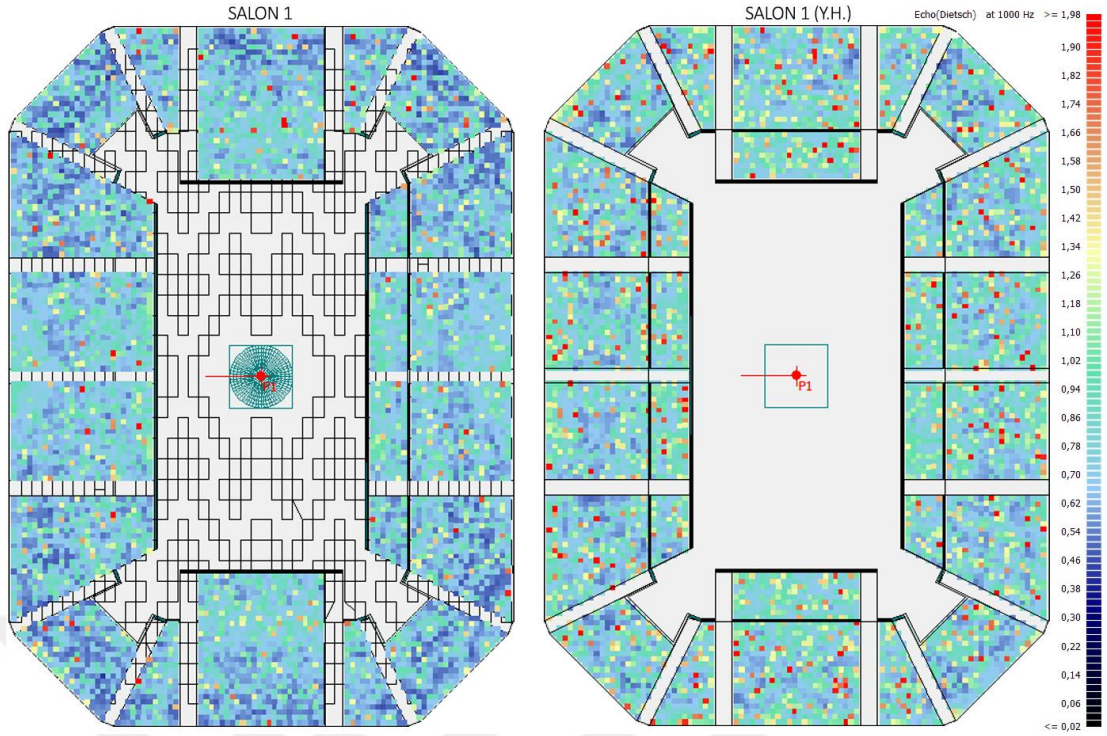
**Şekil 5.11** : Salon 1'de 80. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.



**Şekil 5.12** : Salon 1'de 135. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.

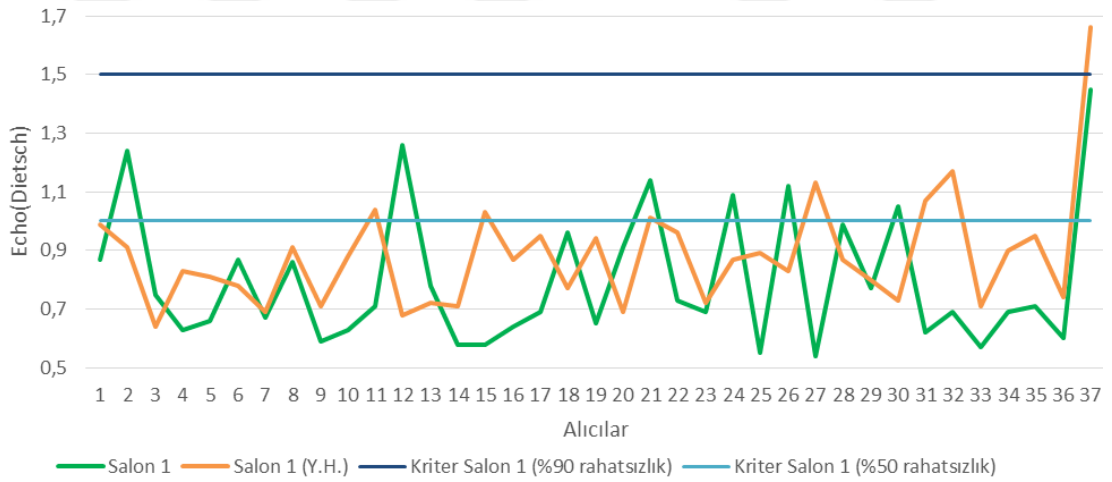
Salonun 67 metreyi aşan uzunluğu sebebi ile arka bölümlere sesin geç ulaşmasının doğal olarak yorumlanabileceği bu durumda, geç yansımaların eko kusuru oluşturma ihtimaline karşı Echo(Dietsch) parametresinin grid analizi yapılmıştır, Şekil 5.13.

Salonun yalın haline göre Echo(Dietsch) parametresinde genel ortalama olarak bir miktar azaltım sağlandığı ve eko kusurunun algılanabilir olarak değerlendirilebileceği (sarı-kırmızı) bölgelerin yoğunluğunun azaltıldığı grid analizden anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.13 :** Salon 1'de alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

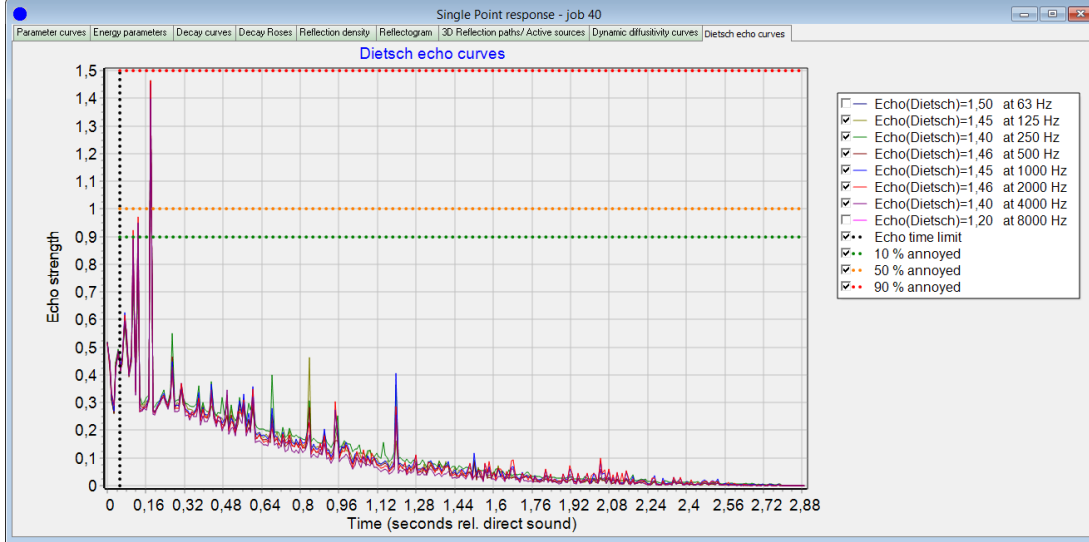
Salonda alıcı bazında ölçülen Echo(Dietsch) değerleri sınır değerler ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir, Şekil 5.14.



**Şekil 5.14 :** Salon 1 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri (1000 Hz).

Şekil 5.14'te Echo(Dietsch) değerlerinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans sınır değeri ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Alıcı noktalarında 1000 Hz frekans bandı için minimum 0,54, maksimum 1,45 olarak ölçülen Echo(Dietsch) parametresi; müzik için belirlenmiş ve dinleyicilerin %90'ında rahatsızlık düzeyi olarak belirtilen 1,5'lik sınır değerinin altında kalmaktadır.

1,45 ile en yüksek Echo(Dietsch) parametresinin ölçüldüğü 37 numaralı alıcının eko eğrisi Şekil 5.15'te gösterilmektedir. Direkt sesin alıcıya ulaşmasından 160 ms geçtikten sonra duyulabilir eko kusurunun olduğu görülmektedir. En arka sırada konumlanan alıcıda, uzak yan duvarlardan gelen yansımalar nedeni ile bu durumun olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.15 :** Salon 1’de 37 numaralı alıcıda ölçülen Echo(Dietsch) eğrisi.

Ancak %50’lik bir rahatsızlık düzeyini ifade eden 1,0 değeri ise bazı alıcı noktalarda aşılmaktadır. Yapılan akustik düzenlemelerde, tavanın büyük bir bölümünün yalın halinde kullanılan metal trapez panele göre daha yansıtıcı olan alçı paneller ile kaplanmasının, bazı alıcı noktalarda ölçülen Echo(Dietsch) parametresinde artışa sebep olduğu çıkarımı yapılabilmektedir.

Şekil 5.13’te görüldüğü üzere; yapılan akustik düzenlemelerle hacim genelinde Echo(Dietsch) parametresinde düşüş sağlandığı, sorunlu olarak değerlendirilebilecek (sarı-kırmızı) bölgelerin büyük oranda giderildiği görülmektedir.

## 5.2 Salonun Klasik (Senfonik) Müzik Konser Salonu İşlevinde Akustik Analizi – Salon 2

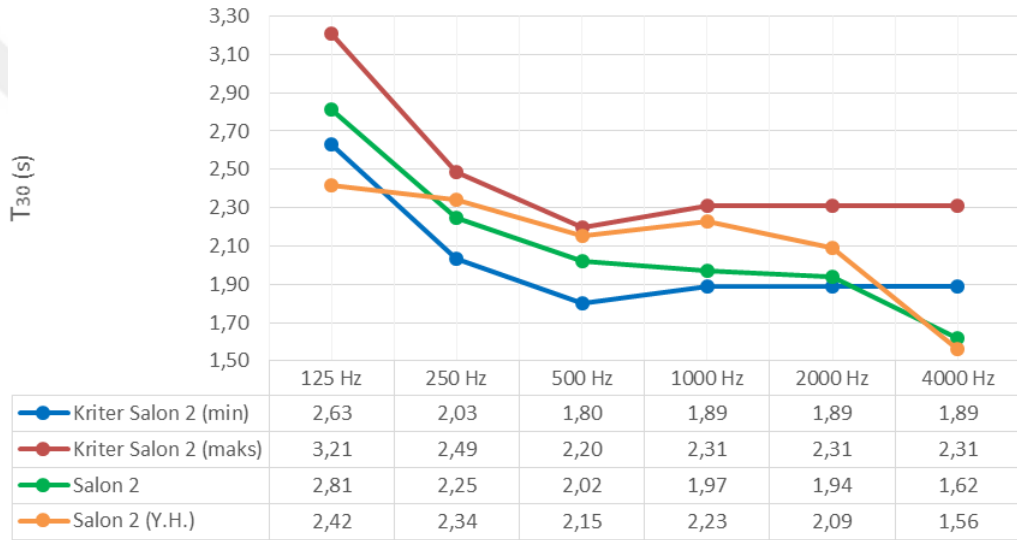
Klasik müzik konserleri için oluşturulan Salon 2, literatürden referans olarak alınan nesnel parametre değerleri ve akustik düzenlemeler yapılmadan önceki durumu olan salonun “yalın hali” ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Salonun klasik müzik konserleri için tasarlanan varyasyonunun akustik değerlendirilmesinde kriter olarak  $T_{30}$  ve EDT,  $C_{80}$ ,  $LF_{80}$ ,  $T_s$ , BR ve G parametreleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, hacim içinde ses yayılımının incelenmesi ve eko kusurunun kontrolü yapılmıştır.



### 5.2.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT)

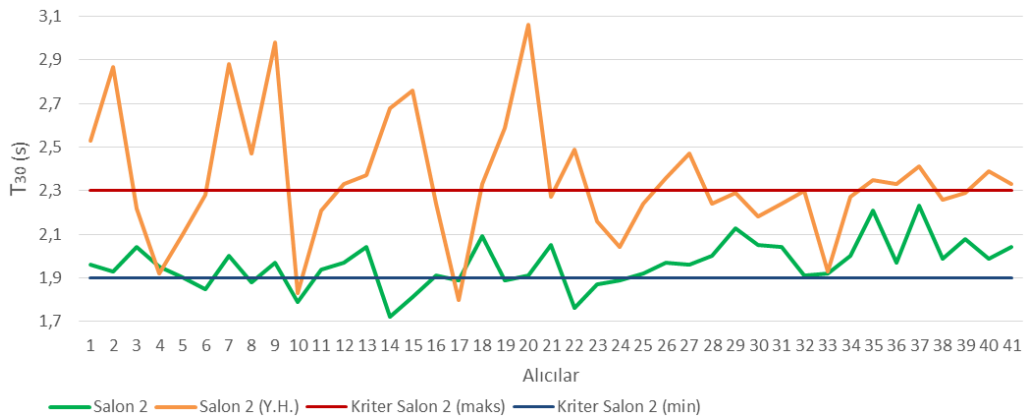
Bölüm 4.5.1’de anlatılardan yola çıkılarak, değerlendirmede referans olarak alınan çınlama süresi aralığı ve simülasyon üzerinde ölçülen değerlerin bu aralığa uyumu Şekil 5.16’da gösterilmektedir.

Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) spektrum grafiği incelendiğinde salonun 4000 Hz haricindeki tüm frekans bantlarında istenen aralığın içinde olduğu, yalnızca 4000 Hz frekans bandında referans aralığın altında kaldığı görülmektedir. Bu yüksek frekans bandının özellikleri incelendiğinde, havanın yutuculuğunun da önemli bir etkiye sahip olduğu ve bu nedenle de çınlama süresindeki düşüşün olağan bir durum olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.16 : Salon 2 genelinde hesaplanan çınlama sürelerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.

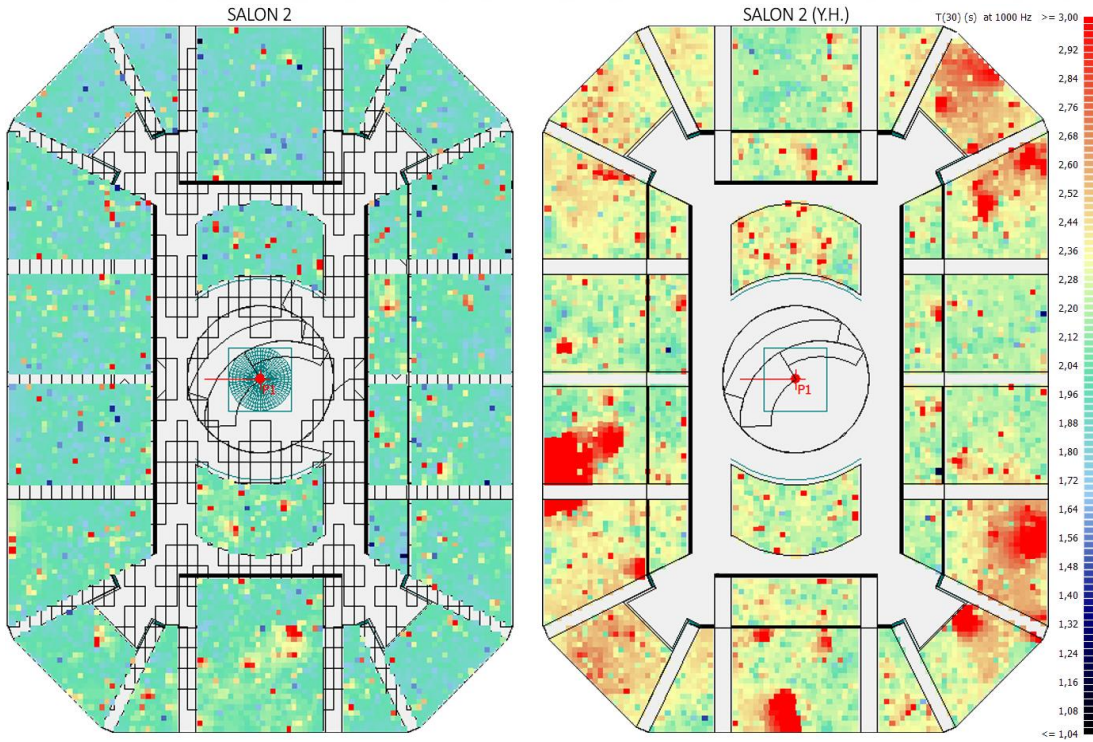
Çınlama süresinde sağlanan değişimin belirlemesi amaçlı yapılan alıcı bazındaki karşılaştırma Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



Şekil 5.17 : Salon 2’de alıcı noktalarda ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin salonun yalın hali ile karşılaştırılması (1000 Hz).

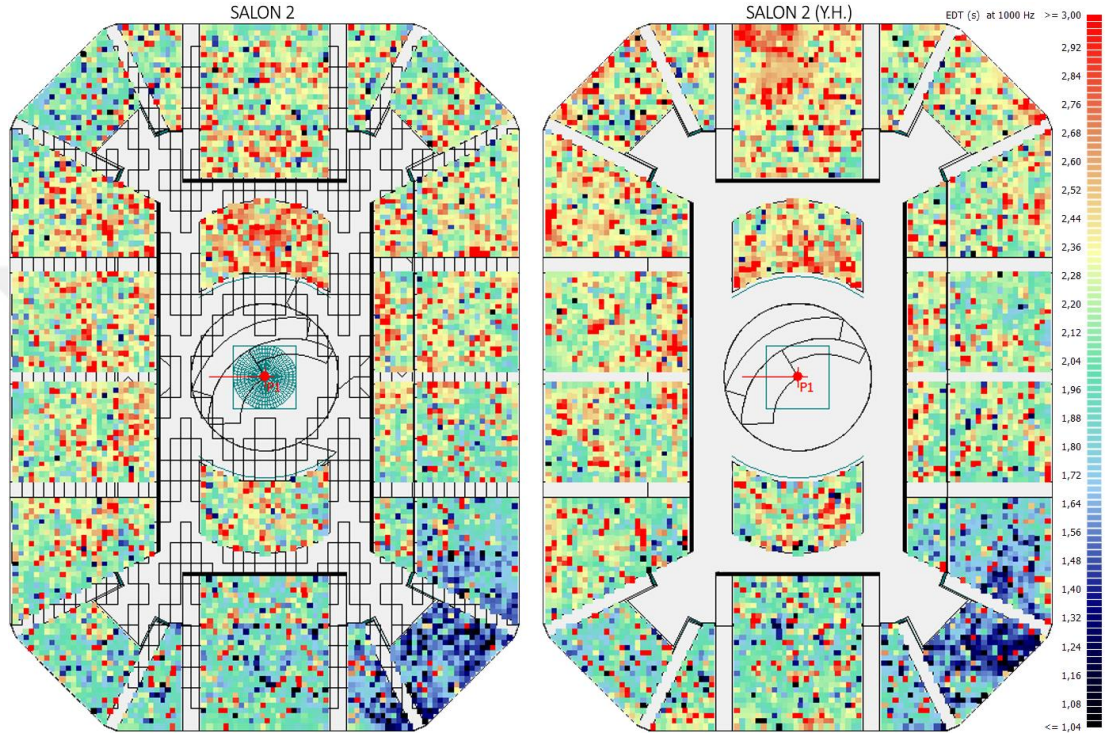
Şekil 5.17'deki grafik incelendiğinde alıcı noktaların büyük çoğunluğunda çınlama süresinin salonun yalın haline göre azalım gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak daha da önemlisi, alıcılarda ölçülen maksimum ve minimum değerler arasındaki 1 saniyeyi aşan farkların 0,4 saniye dolaylarına düşürülerek çınlama süresinin hacim içinde daha eşit bir biçimde yayılmasının sağlandığı görülmektedir. Bu aynı zamanda ses alanının hacimde dağılımının daha homojen ve yaygın (diffuse) olduğu anlamına gelmektedir.

Salon genelinde çınlama süresinin yayılımı, Odeon'da grid analiz yardımı ile incelendiğinde de yapılan akustik düzenlemelerin homojen yayılıma etkisi daha net olarak görülmektedir, Şekil 5.18. Kıyaslama yapıldığında; salonun akustik düzenleme yapılmamış yalın halinde daha büyük alansal farklılıkların görüldüğü, bunların çınlama süresinin yüksek olduğu kırmızı bölgeler olarak grid üzerinde belirdiği görülmektedir. Salon tasarımında özellikle arka duvarda bulunan, yüksek saçıcılığa sahip ahşap panellerin kullanımının çınlama süresinin hacim içinde düzgün dağılımına önemli katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Salonda genel olarak arttırılan saçıcılık ile bölgesel farklılıkların ve sorunlu olarak değerlendirilebilecek (kırmızı) bölgelerin azaldığı sonucuna varılabilmektedir.



**Şekil 5.18 :** Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen T<sub>30</sub> değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

EDT'nin hacim içinde  $T_{30}$  kadar homojen bir yayılım göstermediği, noktasal farklılıkların daha fazla olduğu Şekil 5.19'da görülmektedir. Salonun büyük hacmi nedeni ile  $T_{30}$ 'da sağlanan homojen dağılımın, ilk 10 dB'lik düşüşü ifade eden EDT parametresinde sağlanamadığı görülmektedir. Aynı zamanda sahne platformundan alınan erken yansımalar sebebi ile, salonun sağ alt köşesinde mavi ile gösterilen düşük EDT'li bir bölgenin ortaya çıktığı sonucuna varılabilmektedir.

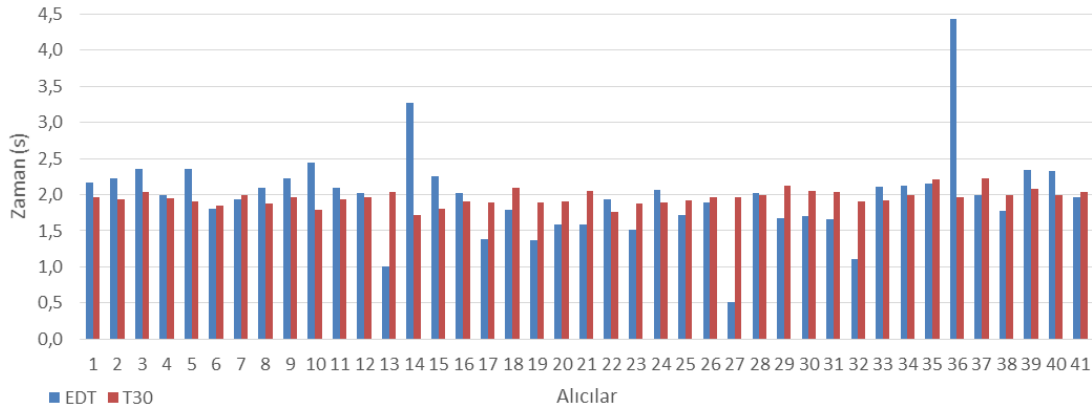


**Şekil 5.19** : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

EDT'nin  $T_{30}$  ile olan ilişkisine bakıldığında, salondaki bir çok alıcı noktada literatürden referans alınan aralığa uygun olarak dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır, Şekil 5.20. Ancak klasik müzik için tercih sebebi olan “ $T_{30}$ 'a eşit veya %10 daha büyük” kriteri, alıcıların büyük bir bölümünde görülmemektedir. Bazı alıcı noktalardaki yüksek orandaki sapmalar:

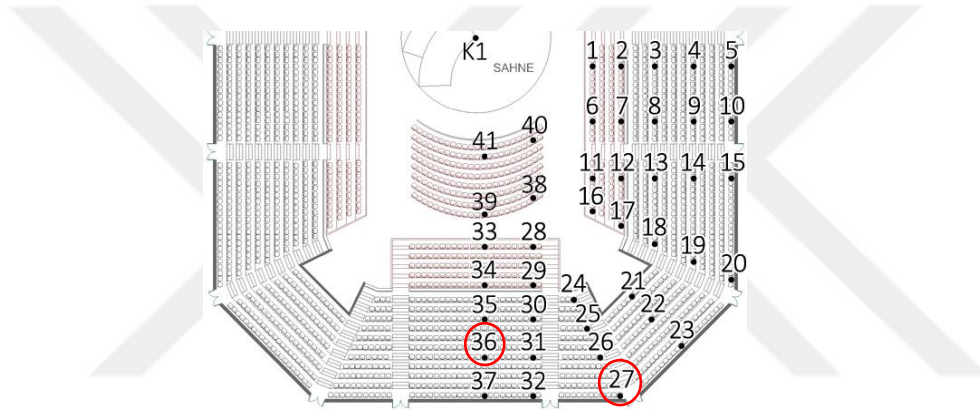
- 14 ve 36 numaralı alıcılarda yüksek EDT değerleri,
- 13, 27 ve 32 numaralı alıcılarda ise düşük EDT değerleri olarak görülmektedir.

EDT'nin  $T_{30}$ 'a göre baskın olduğu alıcı noktalarında geç yansımaların zayıf kaldığı,  $T_{30}$ 'un EDT'den yüksek çıktığı alıcı noktalarında ise erken yansımaların yeteri kadar alınmadığı çıkarımı yapılabilir.



**Şekil 5.20 :** Salon 2'de alıcı noktalarında ölçülen EDT ve T<sub>30</sub> değerleri (1000 Hz).

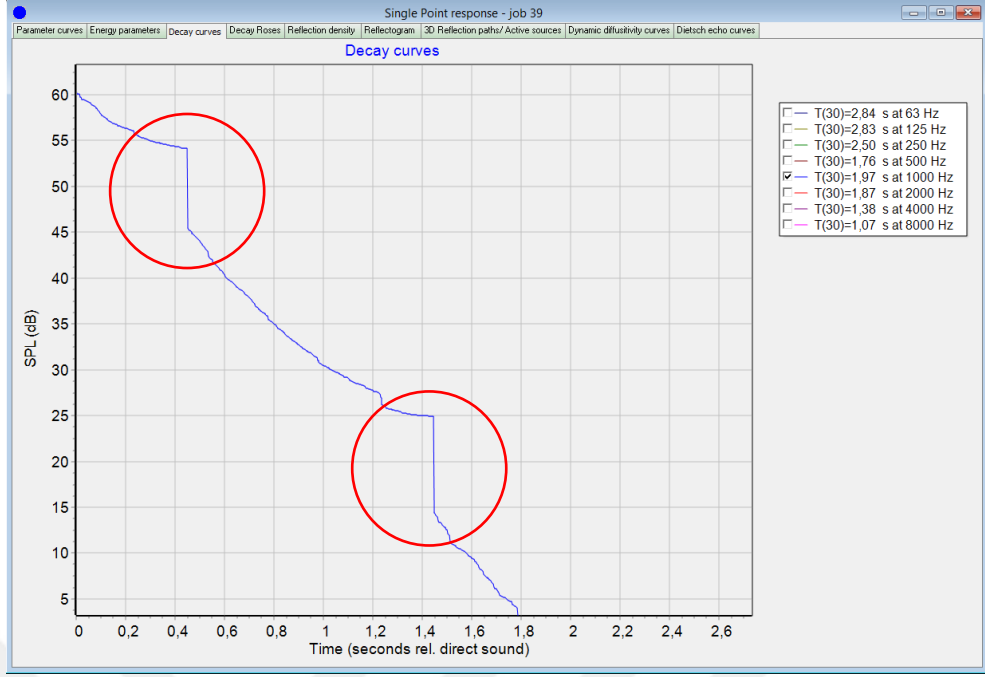
EDT'nin en yüksek olduğu 36 numaralı alıcı ve en düşük olduğu 27 numaralı alıcı tekil olarak incelenerek değerlendirilmiştir, Şekil 5.21.



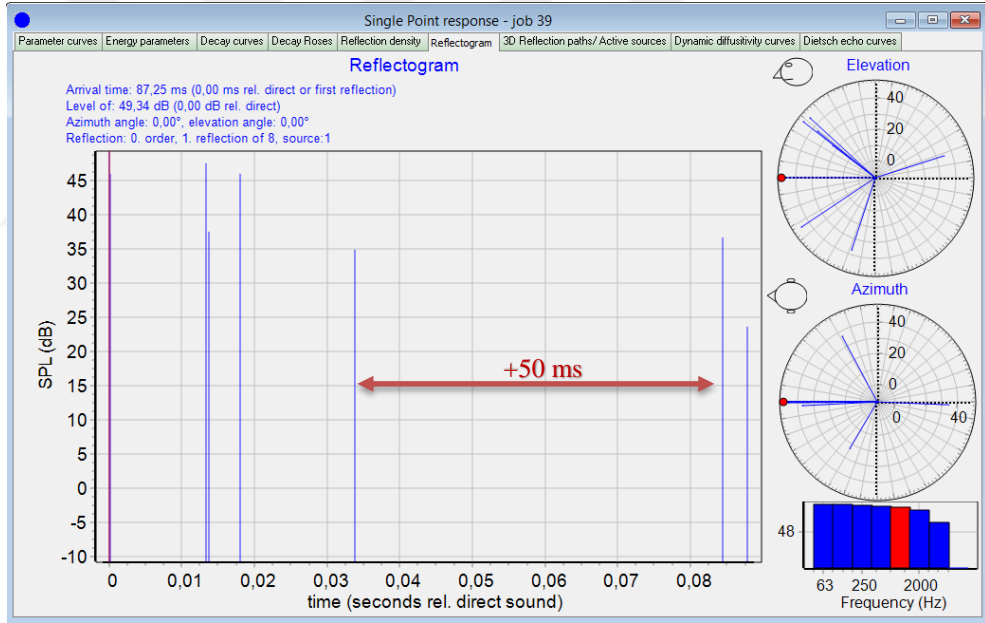
**Şekil 5.21 :** Salon 2 için 27 ve 36 numaralı alıcıların konumları.

36 numaralı alıcının enerji düşüş eğrisi incelendiğinde, düzgün bir azalım göstermeyerek ses basınç düzeyinde ani düşüşler meydana geldiği görülmektedir, Şekil 5.22. Direkt sesin alıcıya ulaşmasından sonraki ilk 30 ms'deki erken yansımaların, sayısı görece az olan geç yansımalara kıyasla baskın kalması sebebi ile EDT değeri yüksek çıkmaktadır.

36 numaralı alıcının Echo(Dietsch) parametresine bakıldığında da 1,52 ile 1,50'lik (%90 rahatsızlık) sınır değerini aştığı görülmektedir. Bu da alıcı noktada duyulabilir düzeyde bir eko kusuru olduğu anlamına gelmektedir. Alıcı noktasına gelen erken ve geç yansımalar arasında 50 milisaniyeyi aşan bir boşluk bulunmasının da bu duruma sebep olduğu çıkarımı yapılabilir, Şekil 5.23.



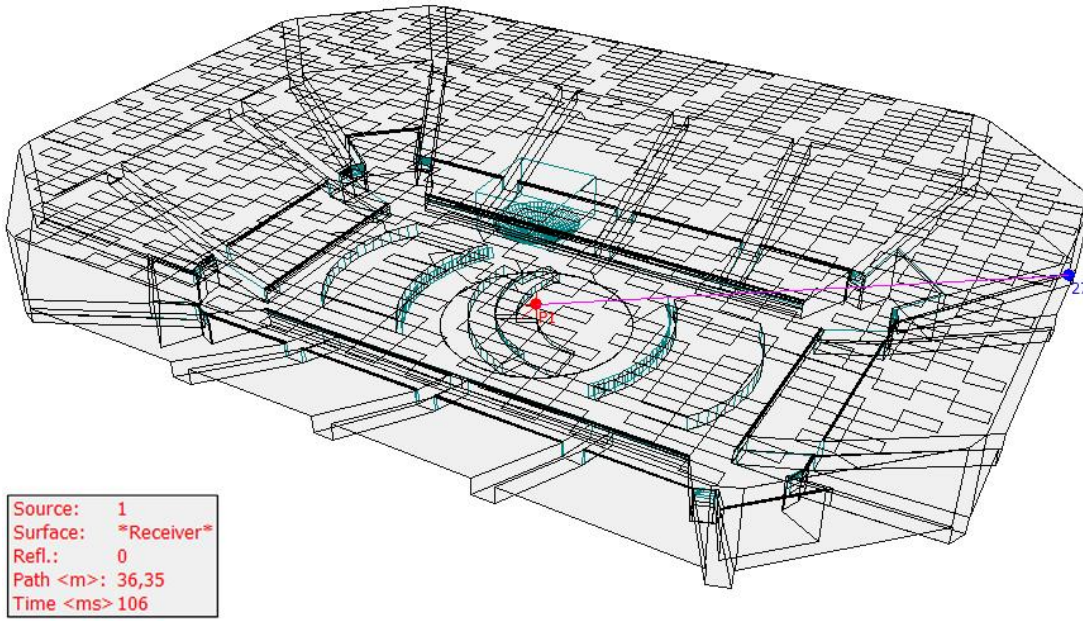
Şekil 5.22 : Salon 2'de 36 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).



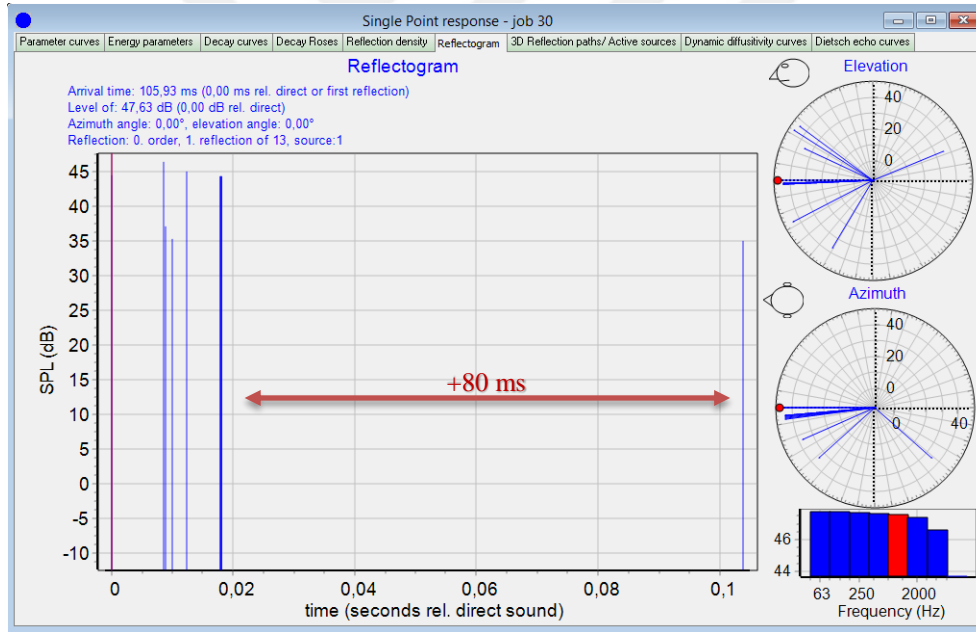
Şekil 5.23 : Salon 2'de 36 numaralı alıcının enerji diyagramı.

EDT parametresi en düşük olan 27 numaralı alıcının yansıma doğrultuları incelendiğinde kaynağa en uzak noktalardan biri olması sebebi ile direk sesin en geç ulaştığı noktalardan biri olduğu görülmektedir, Şekil 5.24. İlk enerjiyi oluşturan direkt ses 106 milisaniye sonra alıcıya ulaşmaktadır.

Alıcının enerji diyagramına bakıldığında ise direkt sestten sonraki erken yansımaların ilk 18 ms ile çok erken gelmesi ve sonra da yeterli yansıma almaması sebebi ile EDT'nin düşük çıktığı sonucuna varılabilir, Şekil 5.25.

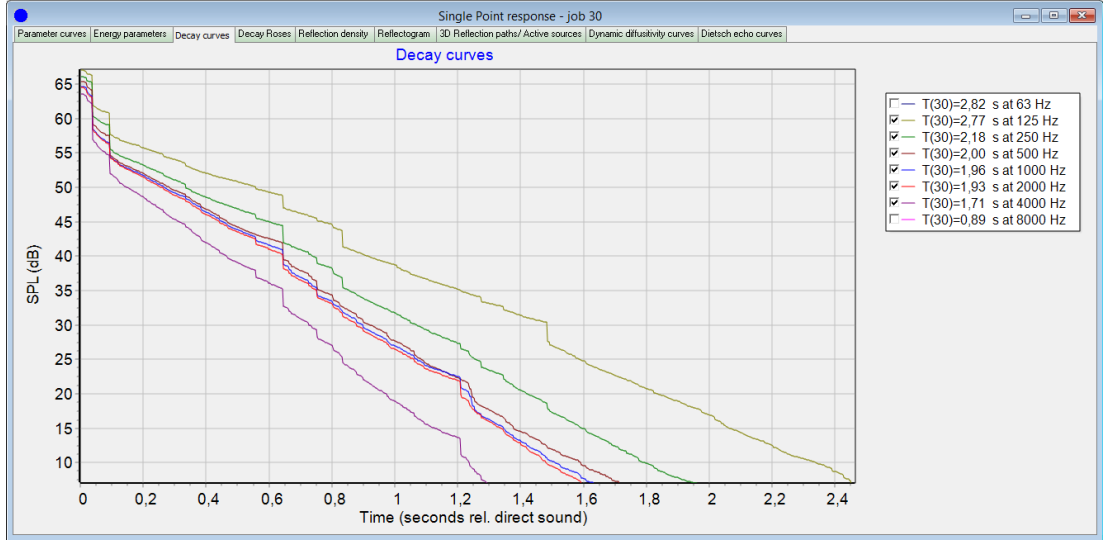


Şekil 5.24 : Salon 2'de 27 numaralı alıcıya ulaşan direkt ses (106 ms).



Şekil 5.25 : Salon 2'de 27 numaralı alıcının enerji diyagramı.

Şekil 5.26'da 27 numaralı alıcının enerji düşüş eğrisi gösterilmektedir. Ses basınç düzeyinin azalımı incelendiğinde; güçlü erken yansımaların etkisi ile başlangıçta yüksek değerlerin elde edildiği, daha sonra ise 80 milisaniye boyunca yansıma alınmaması nedeni ile ani düşüşler görüldüğü anlaşılmaktadır.



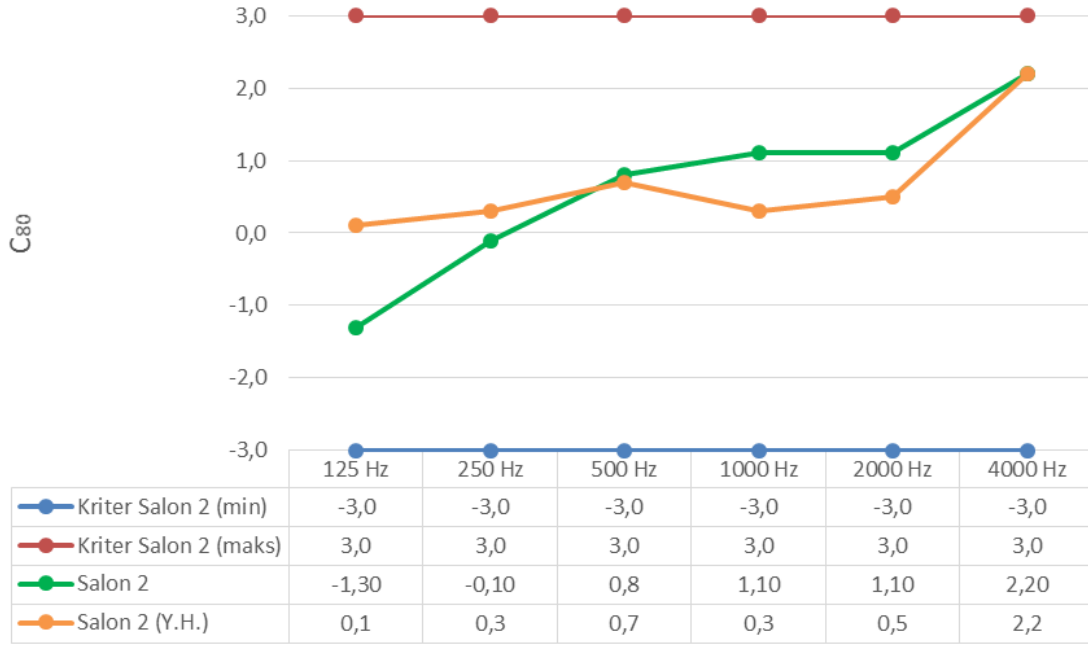
Şekil 5.26 : Salon 2'de 27 numaralı alıcının enerji düşüş eğrisi.

### 5.2.2 Netlik ( $C_{80}$ )

$C_{80}$  parametresi Bölüm 2.3.4'te belirtildiği üzere, erken ulaşan sesin (ilk 80 milisaniye) geç ulaşan sese oranıdır. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı -3 ila +3 arası olarak belirlenmiştir. Çınlama süresi yükseldikçe negatif değerler almaya başlar, çınlama süresi azaldıkça ise pozitif değerlere doğru yol alır. Bu durumla birlikte, çınlama eğrisi klasik müzik için doğru biçimde ayarlanmış bir salonda düşük frekanslarda daha düşük değerlerden başlayarak frekans arttıkça giderek artan bir eğilim göstermesi beklenir.

Şekil 5.27'de  $C_{80}$  parametresinin Salon 2 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama değerleri ve referans olarak alınan maksimum, minimum kriter değerleri ile karşılaştırması yer almaktadır. Salon genelinde ölçümlenen ortalama  $C_{80}$  değerlerinin referans aralığının içinde kaldığı görülmektedir. 1/1 oktav bandı frekanslarında oluşturulan  $C_{80}$  eğrisinin de beklenildiği gibi çınlama eğrisine göre ters bir eğim göstererek, yüksek frekanslara doğru arttığı görülmektedir.

Salonun yalın haline bakıldığında ise elde edilen değerlerin bu durum için de referans aralığının içinde olduğu, ancak 1/1 oktav bandı grafiğinin frekanslar arasında istenilen eğim ile artış göstermediği anlaşılmaktadır. Bu da temel olarak, yüksek frekanslarda düşük frekanslara göre daha çok netlik isteğinin tam olarak karşılanamadığı anlamına gelmektedir.

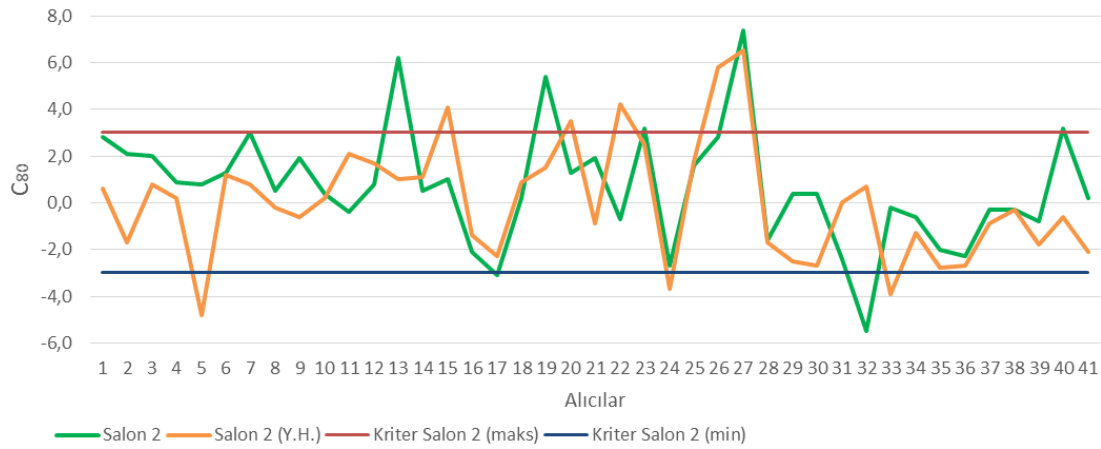


**Şekil 5.27 :** Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama  $C_{80}$  değerleri ve maksimum, minimum sınır değerleri ile karşılaştırması.

Şekil 5.28’de  $C_{80}$  değerlerinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans değerler ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salonun genelinin belirlenen kriter aralık ile uyumlu olarak değer aldığı görülmektedir. Ancak bazı alıcı noktalarındaki sapmalar:

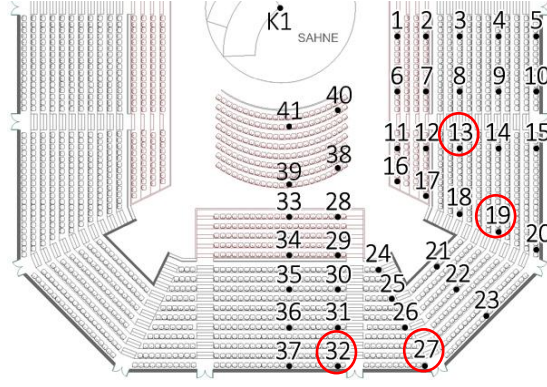
- 13, 19 ve 27 numaralı alıcılarda yüksek  $C_{80}$  değerleri,
- 32 numaralı alıcıda ise düşük  $C_{80}$  değerleri,

olarak görülmektedir. Referans aralığın dışında olan bu noktaların konumları Şekil 5.29’daki plan şeması üzerinde gösterilmektedir.



**Şekil 5.28 :** Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen  $C_{80}$  değerleri (1000 Hz).

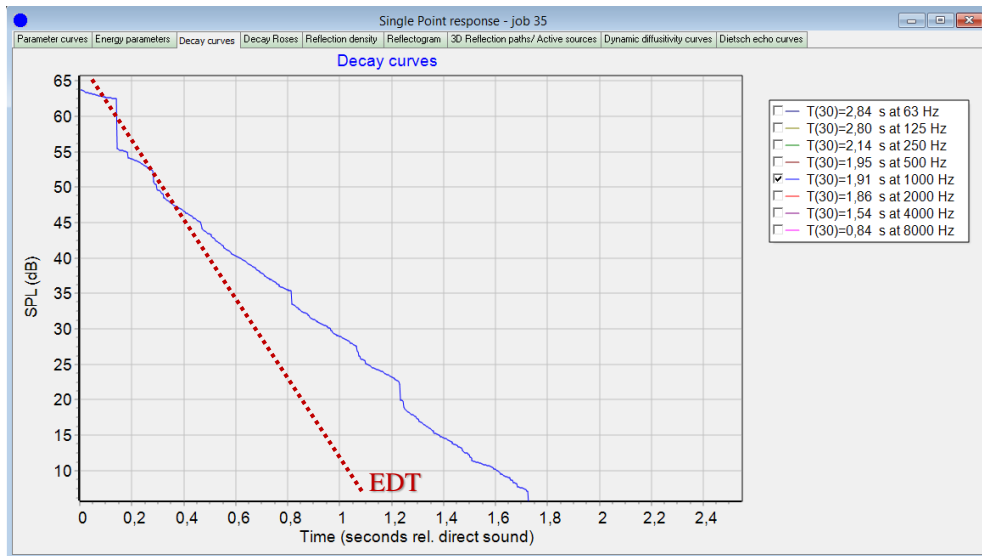




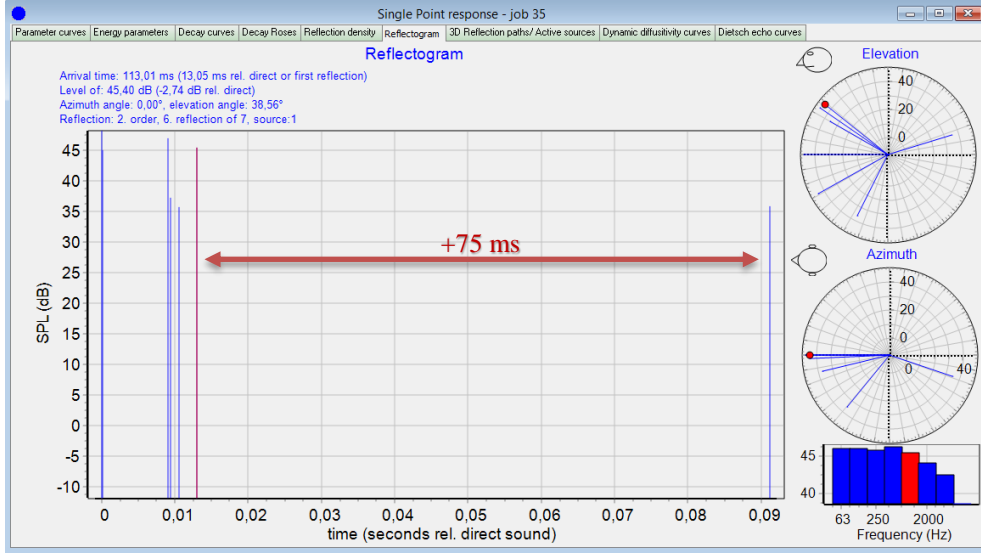
Şekil 5.29 : Salon 2 için 13,19,27 ve 32 numaralı alıcının konumu.

$C_{80}$  değerleri yüksek çıkan 13, 19 ve 27 numaralı alıcılarda, sahnenin köşeye doğru yönlendirilmiş olan konumu etkili olmaktadır. Sahne platformunun yükselen yapısı sebebi ile yönlendirildiği köşede sahne zemininden gelen erken yansımalar etkili olmakta, bu nedenle de bu alanda daha yüksek  $C_{80}$  değerleri elde edilmektedir, Şekil 5.32. Sahne yöneliminin enine veya boyuna yerine çapraz köşeye doğru doğrultulmasının önemli sebeplerinden biri de bu etkiyi mümkün olduğu azaltmaktır.

-5,5 ile 1000 Hz frekans bandında en düşük  $C_{80}$  değerlerinin ölçüldüğü 32 numaralı alıcının düşüş eğrisi incelendiğinde, ilk yansımalarından sonra ses basınç düzeyinin ani bir düşüşle azalım gösterdiği, bu nedenle de EDT'nin  $T_{30}$ 'a göre düşük çıktığı anlaşılmaktadır, Şekil 5.30. Alıcıya ulaşan yansımalar enerji diyagramı ile incelendiğinde de direkt sestten hemen sonra ilk 13 ms içinde gelen erken yansımaların etkili olduğu, ancak devamında 75 ms'den uzun bir süre boyunca yansıma alınamadığı görülmektedir, Şekil 5.31.

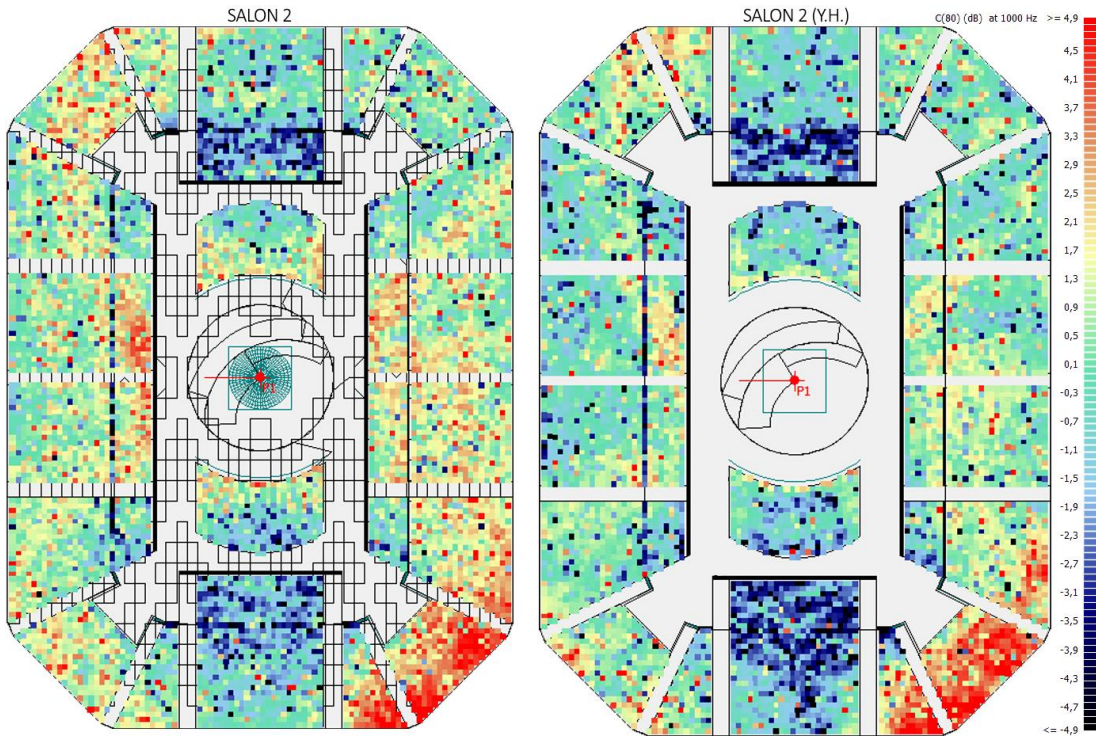


Şekil 5.30 : Salon 2'de 32 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).



Şekil 5.31 : Salon 2'de 32 numaralı alıcının enerji diyagramı.

Salon 2'de yapılan akustik düzenlemelerin  $C_{80}$  parametresi üzerindeki etkisi salonun yalın hali ile karşılaştırıldığında, geç ses enerjisinin etkili olduğu -3 ve altındaki değerleri ifade eden koyu mavi bölgelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir, Şekil 5.32. Buna rağmen salonun uzun aksı üzerindeki tribünlerin ön bölümlerinde, tavadan ve arka duvardan gelen geç yansımaların etkisi sebebi ile düşük  $C_{80}$  değerleri, salonun yalın haline göre kısıtlı alanlarda da olsa görülmektedir.



Şekil 5.32 : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen  $C_{80}$  değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

Netliğin düşük olduğu (koyu mavi) bölgelerin tamamen ortadan kaldırılması için tavanın uzun aksı üzerinde yerleştirilebilecek ek reflektörler bir çözüm önerisi olarak sunulabilir. Böylelikle salonun kısa kenarındaki orta bölümlerde de erken yansımaların yoğunluğu artırılarak  $C_{80}$  parametresinde iyileştirmeler sağlanabilir.

Ancak bu durumda elektro-akustik sistemlerin devreye girdiği spor salonu ve güçlendirilmiş müzik işlevlerinde (Salon 1 ve Salon 3), artan çınlama süresi nedeni ile reflektörlerin kaldırılma ihtiyacı ortaya çıkabilecektir.

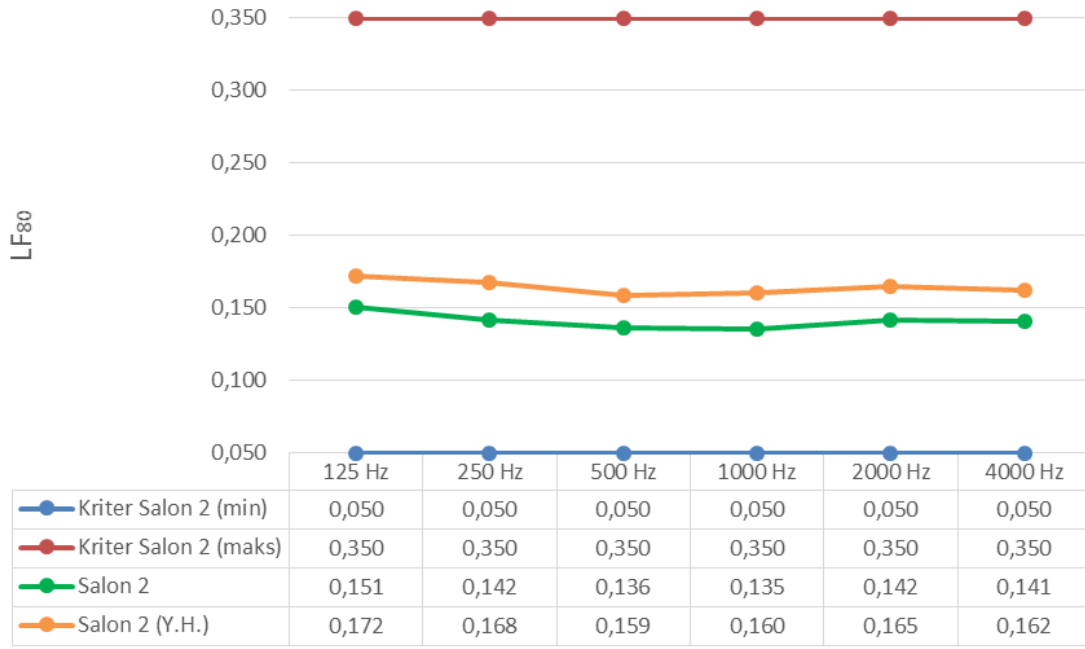
### **5.2.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ )**

$LF_{80}$  parametresi Bölüm 2.3.5'te belirtildiği üzere, erken ulaşan yanal enerjinin (ilk 80 milisaniye) tüm erken ulaşan enerjiye oranıdır. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı 0,05 ila 0,35 arası olarak belirlenmiştir. Arena tip salonların yan duvarsız olan tipolojik özelliklerinden dolayı yanal yansımalar zayıf kalabilmektedir. Özellikle saha içindeki yanal yansımaları arttırmak amacı ile tasarlanan parter duvarlarında ve arka duvardaki ahşap panellerde yansıtıcı malzemeler kullanılarak, muhtemel olarak görülen yetersiz yanal yansıma sorunu önlenmeye çalışılmıştır. Erken yanal yansımaların artırılması ile EDT değerlerinin daha düşük olduğu durumlarda da  $LF_{80}$  parametresinde istenilen artış sağlanabilmektedir.

Şekil 5.33'te Salon 2 için 1/1 oktav bantı frekanslarında ölçülen ortalama  $LF_{80}$  değerleri ve referans olarak belirlenen maksimum, minimum kriter değerleri ile karşılaştırması gösterilmektedir. Ölçülen ortalama  $LF_{80}$  değerleri referans değerleri ile karşılaştırıldığında, alıcı noktalarının optimum aralıkta olduğu görülmektedir.

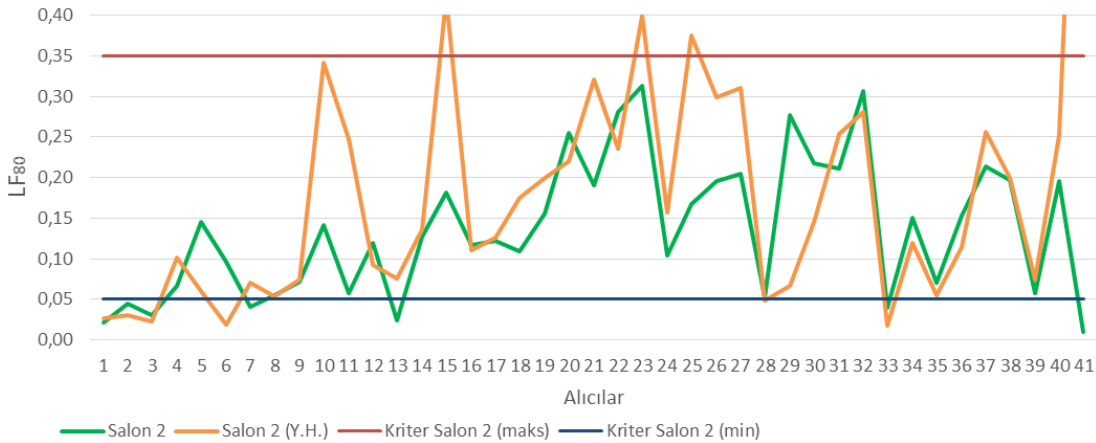
Salon 2, yalın hali ile karşılaştırıldığında ise tüm frekans bantlarında az da olsa bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu duruma sebep olabilecek temel neden olarak, arka duvarda kullanılan ahşap panellerin ve parter duvarlarında kullanılan alçı levhaların, yalın halinde kullanılan brüt betona göre daha yutucu özellikte olması gösterilebilir.

Salonun arena plan tipi yerleşim düzeni ve büyük boyutları sebebi ile yanal yansımaların istenilen düzeyde güçlü olmadığı sonucuna varılabilmektedir. Bu durum da öznel parametrelerden olan çevreneme hissiyatının konser salonlarına göre daha düşük olmasını beraberinde getirmektedir.



**Şekil 5.33 :** Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama  $LF_{80}$  değerleri ve maksimum, minimum sınır değerler ile karşılaştırması.

Şekil 5.34'te ise  $LF_{80}$  değerlerinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans değerler ile karşılaştırmalı olarak yer almaktadır. Bu değerler incelendiğinde salondaki alıcı noktaların genelini optimum aralık içinde olduğu görülmektedir.

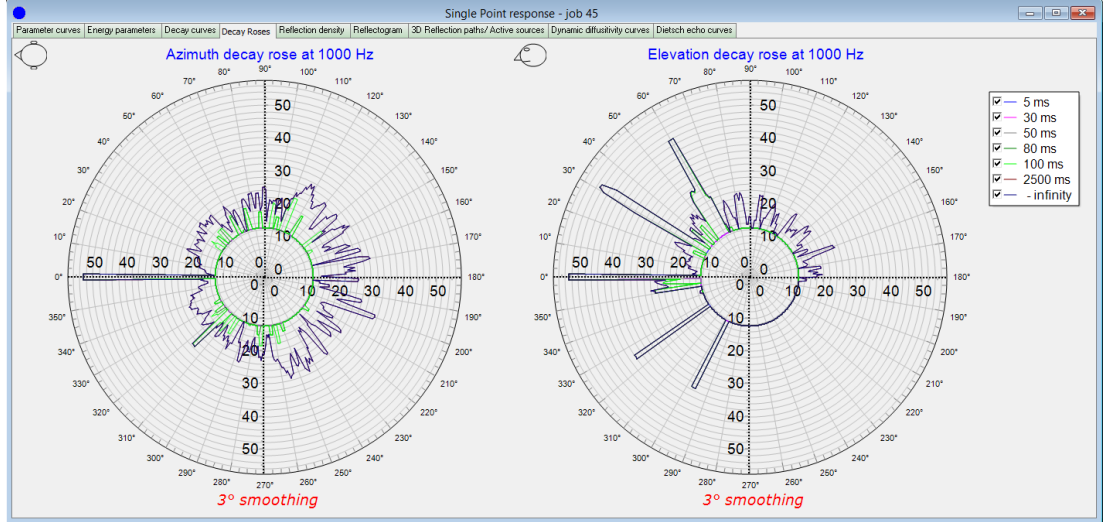


**Şekil 5.34 :** Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen  $LF_{80}$  değerleri (1000 Hz).

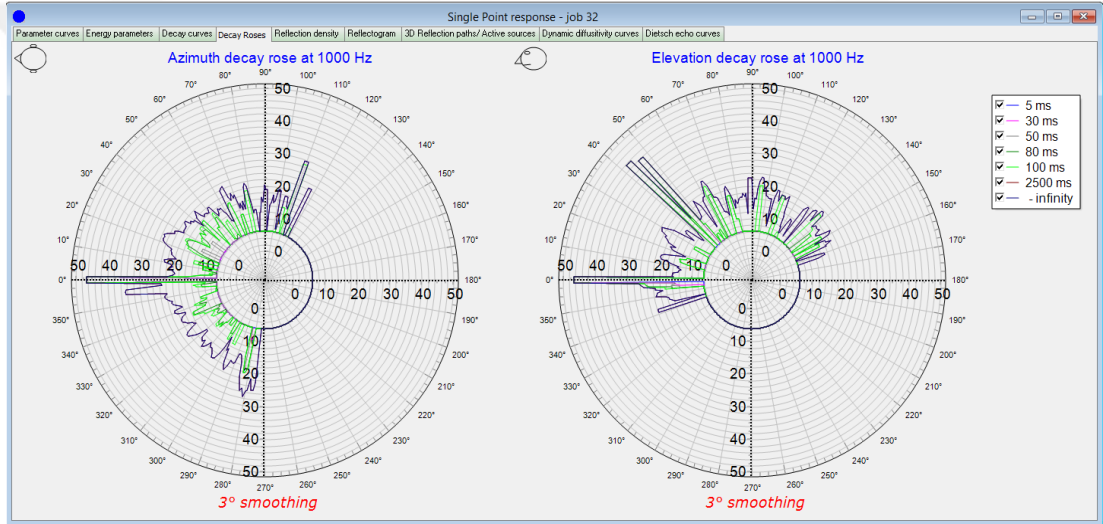
Bazı alıcı noktalarda akustik düzenleme sonrası dikkat çeken  $LF_{80}$  değişimleri:

- 41 numaralı alıcıda yüksek oranda azalış,
- 29 numaralı alıcıda ise yüksek oranda artış,

olarak ön plana çıkmaktadır. 41 numaralı alıcının aldığı yansıma yönleri Şekil 5.35'te, 29 numaralı alıcının ise Şekil 5.36'da gösterilmektedir.



Şekil 5.35 : 41 numaralı alıcının aldığı yansıma yönleri.

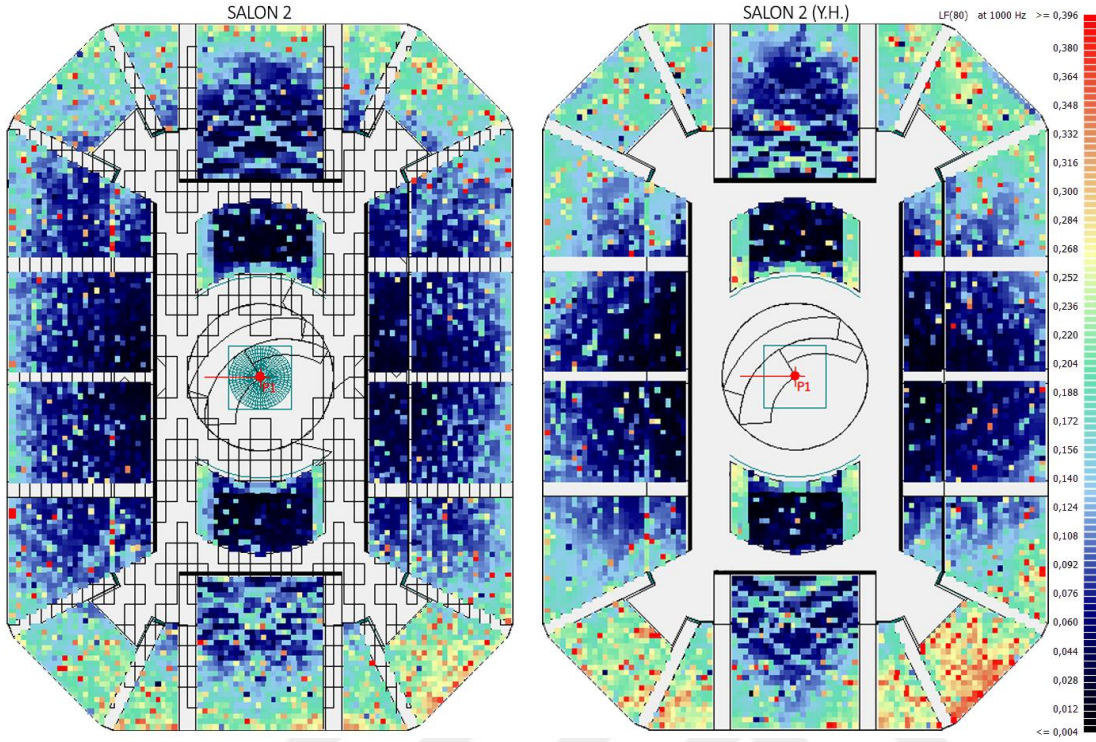


Şekil 5.36 : 29 numaralı alıcının aldığı yansıma yönleri.

41 numaralı alıcının saha içindeki oturma düzeninde yer alan konumu sebebi ile arka yönden de güçlü yansımalar alması sağlanmış, bu nedenle de yanal yansımaların oranı düşmüş ve  $LF_{80}$  parametresi azalım göstermiştir. Tribün bölümünde yer alan 29 numaralı alıcı ise arka yönlere güçlü yansımalar alamadığı için  $LF_{80}$  parametresi artış göstermiştir.

Salon 2’de yapılan akustik düzenlemelerin  $LF_{80}$  parametresi üzerindeki etkisi salonun yalın hali ile grid analizi üzerinden karşılaştırıldığında, salonun köşelere yakın bölgelerinde düşüşler olduğu görülmektedir, Şekil 5.37. Yapılan akustik düzenleme ile artan tavan yansımalarının, yanal enerjinin tüm enerjiye göre oranının da düşmesine sebep olduğu ve dolayısı ile  $LF_{80}$  parametresinde azalmalar meydana

geldiği çıkarımı yapılabilir. Buna rağmen sahneye yakın olan salonun orta bölümleri dışındaki alıcı noktaları, minimum sınır değerinin üstünde yer almaktadır.



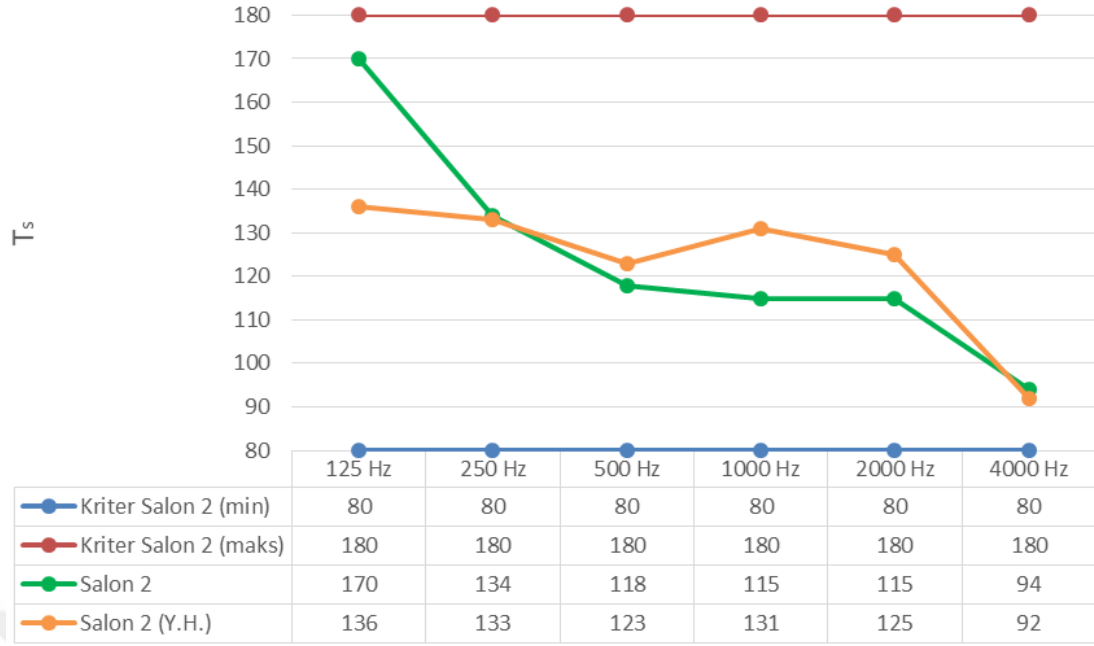
**Şekil 5.37 :** Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen LF<sub>80</sub> değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

#### 5.2.4 Merkez süre (T<sub>s</sub>)

Merkez süre (T<sub>s</sub>) parametresi Bölüm 2.3.8'de belirtildiği üzere erken ve geç ulaşan yansımaların arasındaki ağırlık merkezini belirtmektedir. Değerlendirmelerde literatürden referans alınan optimum değer aralığı 80 ila 180 milisaniye arası olarak belirlenmiştir. Optimum aralığın altına inildikçe erken yansımaların güçlendiği, üstüne çıkıldıkça ise geç yansımaların güçlendiği sonucuna varılabilmektedir.

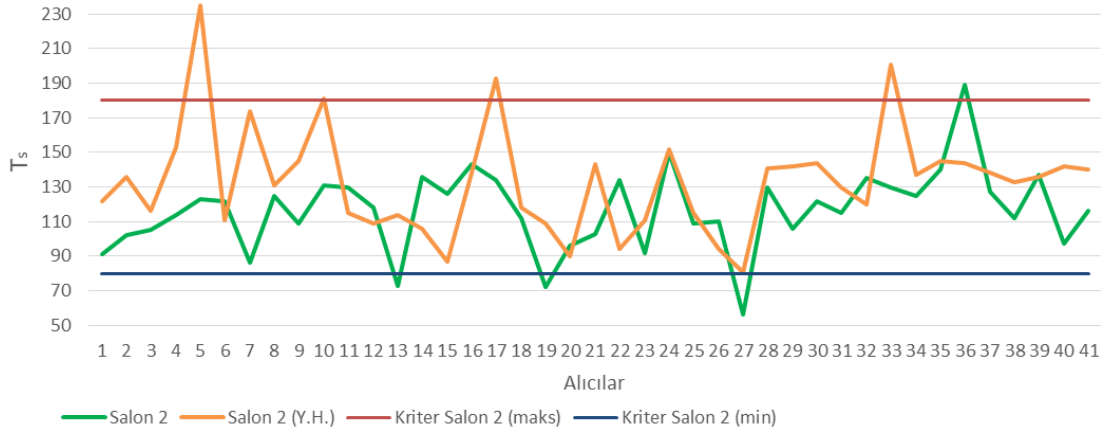
Şekil 5.38'de Salon 2 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama T<sub>s</sub> değerleri ve referans olarak belirlenen maksimum, minimum kriter değerleri bir arada gösterilmektedir. Salon genelinde ölçülen ortalama T<sub>s</sub> değerlerinin referans aralığın içinde yer aldığı görülmektedir. 1/1 oktav bantlarında ölçülen merkez süre (T<sub>s</sub>) değerleri de çınlama süresi eğrisi ile paralel olarak frekans arttıkça azalım göstermektedir.

Salonun yalın haline bakıldığında ise çınlama süresi ile paralel olarak düşük frekanslarda istenen düzeyde yüksek merkez süre (T<sub>s</sub>) değerlerine sahip olmadığı anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.38 :** Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama  $T_s$  değerleri ve maksimum, minimum sınır değerler ile karşılaştırması.

Alıcı noktalarda ölçülen değerler optimum aralık ile karşılaştırıldığında da salonun büyük çoğunluğunun istenen aralığın içinde değerler aldığı görülmektedir, Şekil 5.39.



**Şekil 5.39 :** Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen  $T_s$  değerleri (1000 Hz).

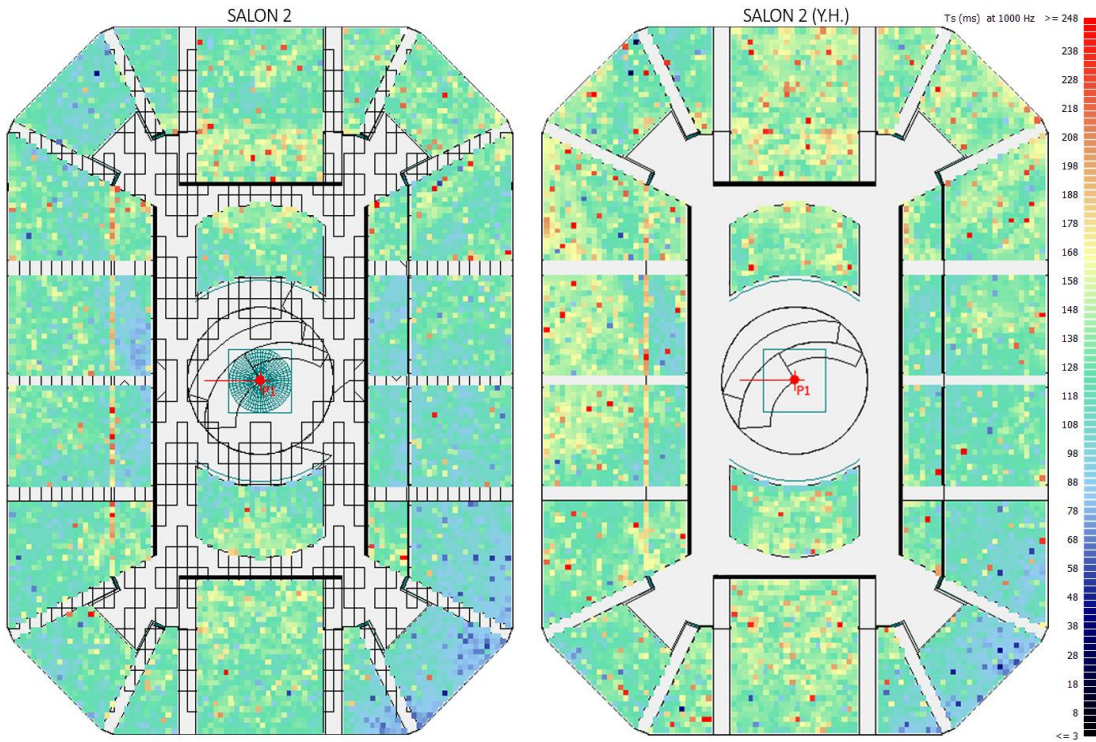
Bazı alıcı noktalarda görülen düşük orandaki sapmalar:

- 13, 19 ve 27 numaralı alıcılarda düşük  $T_s$  değerleri,
- 36 numaralı alıcıda ise yüksek  $T_s$  değerleri,

olarak görülmektedir. Ölçülen  $T_s$  değerleri değerlendirildiğinde; en yüksek  $C_{80}$  değerlerinin görüldüğü 13, 19 ve 27 numaralı alıcılarda erken enerjinin yoğunluğu sebebi ile  $T_s$  değerlerinin de düşük çıktığı çıkarımı yapılabilir.

Bölüm 5.2.1’de noktasal olarak incelenen 36 numaralı alıcının ise EDT’nin en yüksek olduğu nokta olduğu, aynı zamanda eko kusurunun oluşmasına sebep olan geç yansımaların etkisi ile  $T_s$  değerlerinin de sınırın üstünde kaldığı sonucuna varılabilir.

Salon genelinde  $T_s$  değerlerinin dağılımını grid analiz yardımı ile salonun yalın hali ile karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, yapılan akustik düzenlemelerle  $T_s$  değerlerinde düşük bir oranda azalım sağlansa da yüksek değerlerin ölçüldüğü turuncu-kırmızı noktaların büyük oranda giderildiği görülmektedir, Şekil 5.40.

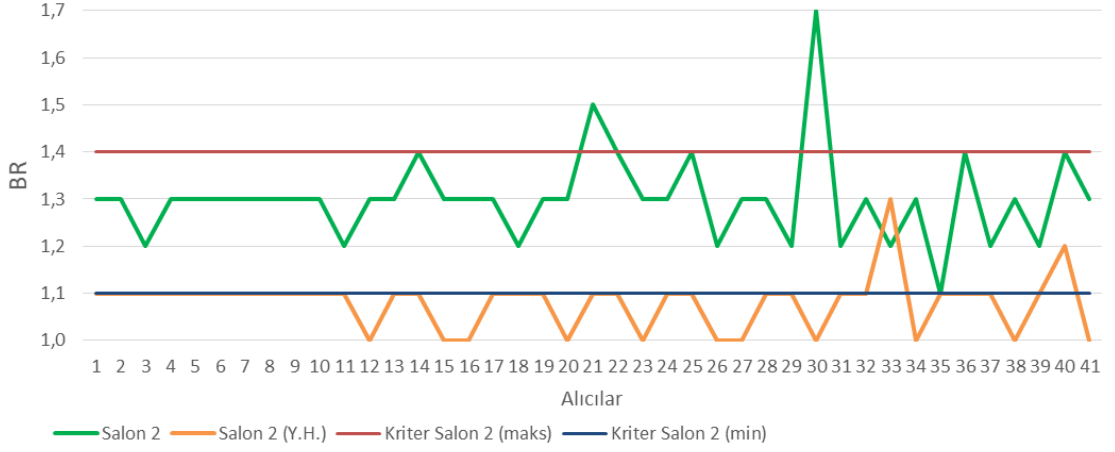


**Şekil 5.40** : Salon 2’de alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_s$  değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

### 5.2.5 Bas oranı (BR)

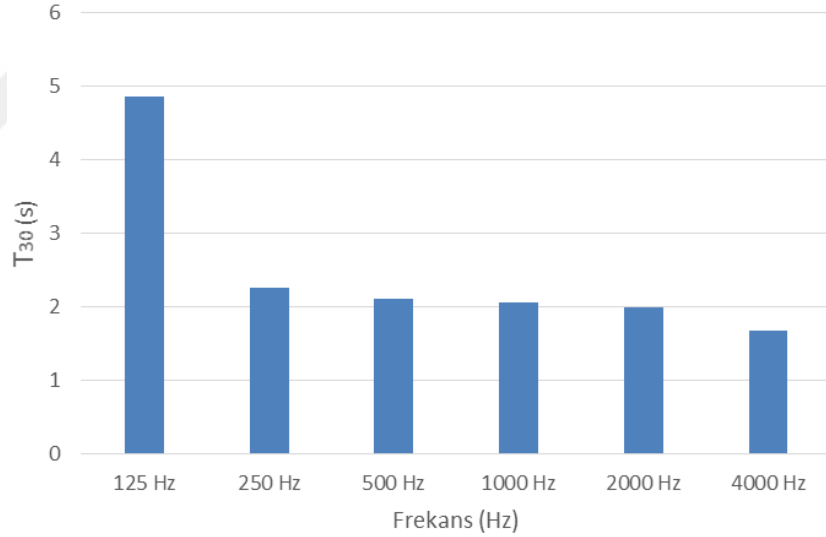
BR parametresi Bölüm 2.3.3’te belirtildiği üzere düşük frekanslardaki (125, 250 Hz) çınlama süresinin orta frekanslardaki (500, 1000 Hz) çınlama süresine oranıdır. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı 1,1 ila 1,4 arası olarak belirlenmiştir. Şekil 5.41’de BR değerlerinin alıcı bazındaki değerleri, referans değerler ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde salonun genelinin istenen aralık içinde olduğu görülmektedir.





**Şekil 5.41 :** Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri.

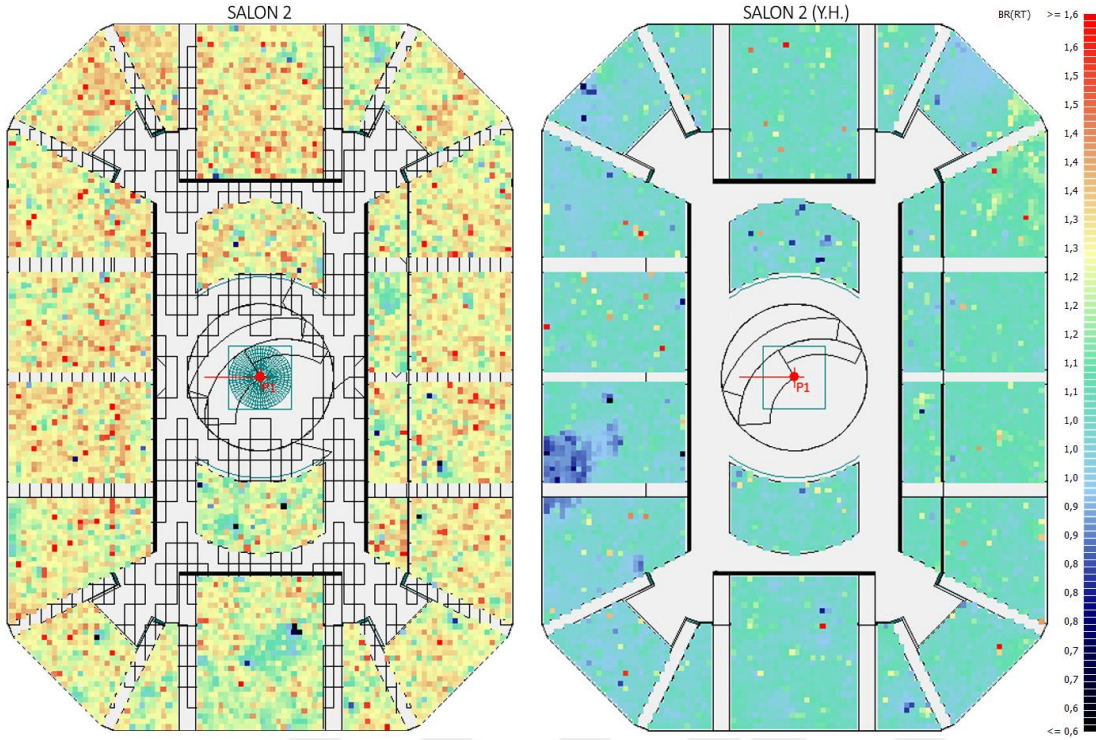
Şekil 5.41'deki grafik değerlendirildiğinde sadece 21 ve 30 numaralı alıcıda sınır değerlerin aşıldığı görülmektedir. Bu duruma güçlü düşük frekansların sebep olduğunu çıkarımı yapılabilir. Bas oranının 1,7'ye ulaştığı 30 numaralı alıcı tekil olarak incelendiğinde, bu duruma 125 Hz frekans bandında ölçülen 4,86 saniyelik çınlama süresinin sebep olduğu anlaşılabilir, Şekil 5.42.



**Şekil 5.42 :** Salon 2 için 30 numaralı alıcıda ölçülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri.

Salon genelinde BR değerlerinin dağılımı Odeon'da grid analiz yardımı ile yalın hali ile karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, yapılan akustik düzenlemelerin etkisi net olarak görülmektedir, Şekil 5.43. Bas oranı için 1,1 olan salon genelindeki ortalama yapılan düzenlemeler ile 1,3'e yükseltilmiştir. Bas oranının artması, öznel parametrelerden olan sıcaklığın da artmasına sebep olmuştur. Senfonik müzik gibi güçlendirilmemiş müzik türlerinde güçlü düşük frekanslar ve yüksek sıcaklık tercih

sebebidir. Dolayısı ile salon genelinde sağlanan BR artışının etkisi olumlu olarak yorumlanabilir.

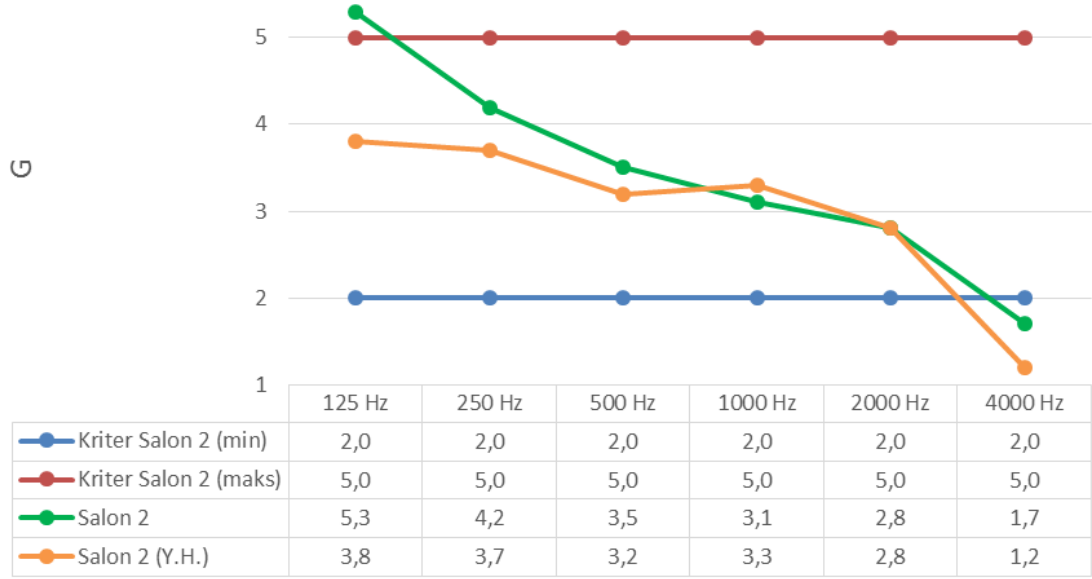


**Şekil 5.43 :** Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması.

### 5.2.6 Ses şiddeti (G)

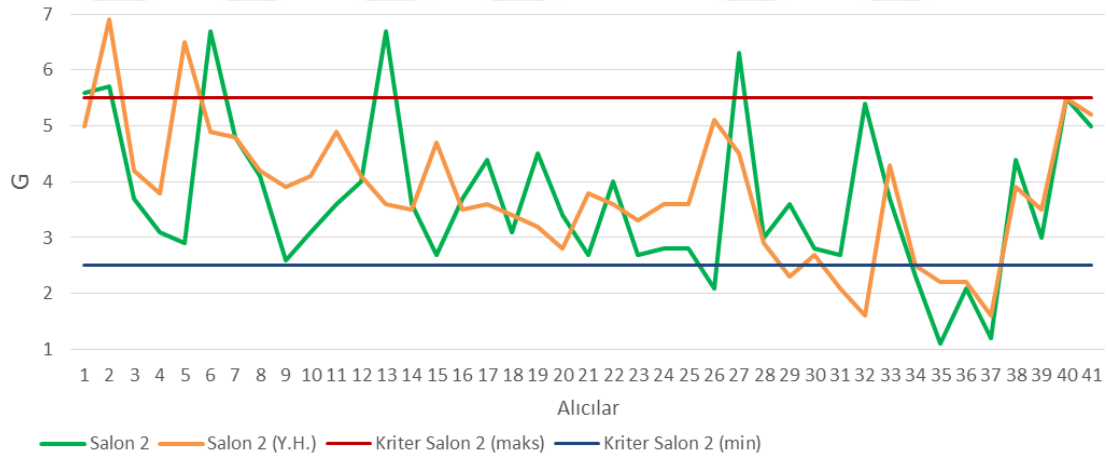
G parametresi Bölüm 2.3.2'de de belirtildiği üzere ses şiddetinin dinleyiciler üzerindeki etkisini belirtmektedir ve 31 dB'lik çok yönlü ses kaynağı ile ölçülebilmektedir. Değerlendirmelerde konser salonları için referans olarak olarak alınan optimum değer aralığı 2 ila 5 arası olarak belirlenmiştir. Kaynaktan uzaklaştıkça, yutuculuk arttırıldıkça ve hacim büyüdükçe düşüş göstermesi olağandır.

Şekil 5.44'te G parametresinin Salon 2 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama değerleri ve maksimum, minimum kriter değerleri yer almaktadır. 125 ve 4000 Hz frekans bandı haricinde, salon genelinde ölçülen ortalama G değerlerinin referans aralığın içinde kaldığı görülmektedir. 125 Hz frekans bandındaki aşım o banttaki yüksek çınlama süresine, 4000 Hz bandındaki düşüş ise o frekans bandında havanın yutum etkisinin daha fazla olmasına ve dolayısı ile ses basınç düzeyinin de daha düşük olmasına bağlanabilir. Buna rağmen görülen sapmaların, kabul edilebilir düzeyde olduğu yorumu yapılabilir.



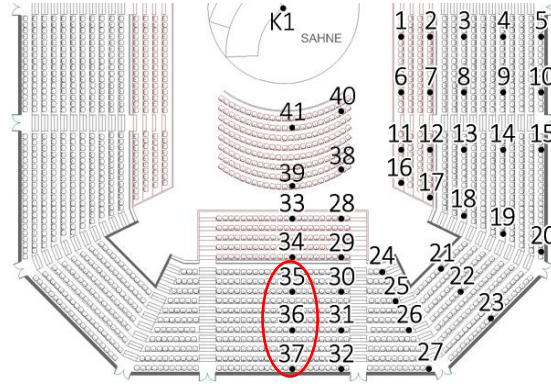
**Şekil 5.44 :** Salon 2 için frekanslara bağlı maksimum, minimum ve ortalama G değerleri.

Şekil 5.45'te G değerlerinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans değerler ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde, salonun büyük çoğunluğu istenen aralık içinde olsa da bazı noktalarda sapmalar olduğu görülmektedir.



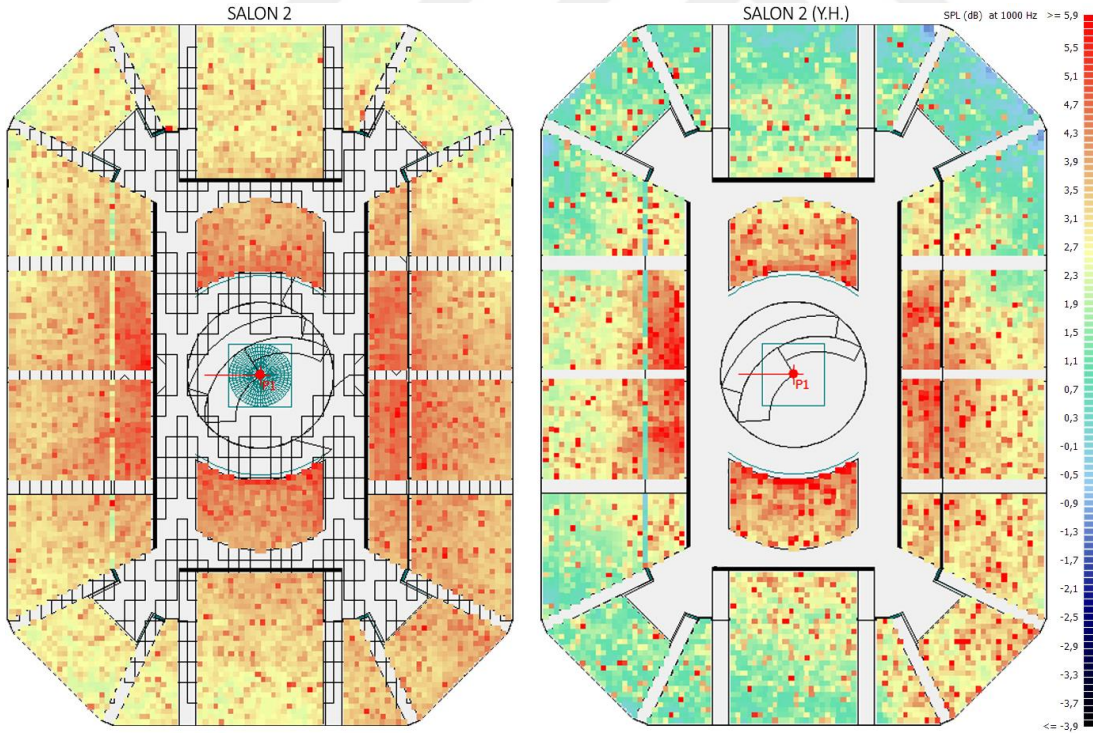
**Şekil 5.45 :** Salon 2 için alıcılar bazında ölçülen G değerleri (1000 Hz).

Salon genelinde G parametresinin en düşük olarak ölçüldüğü 35, 36 ve 37 numaralı alıcı noktalarının plan şemasındaki konumları Şekil 5.46'da gösterilmektedir. Bu noktaların salonun orta aksına en yakın konumda bulunması sebebi ile yanal yansımaların en zayıf olduğu noktalar olması, ayrıca kaynağa olan uzaklıklarının da G değerlerinin düşük olmasını beraberinde getirdiği çıkarımı yapılabilir. Salon genelinde G parametresinin yüksek olarak ölçüldüğü alıcıların ise sahnenin yönlendirildiği köşede bulunmalarının etkisinde kaldığı sonucuna ulaşılabilir.



**Şekil 5.46 :** Salon 2 için 35, 36 ve 37 numaralı alıcıların konumları.

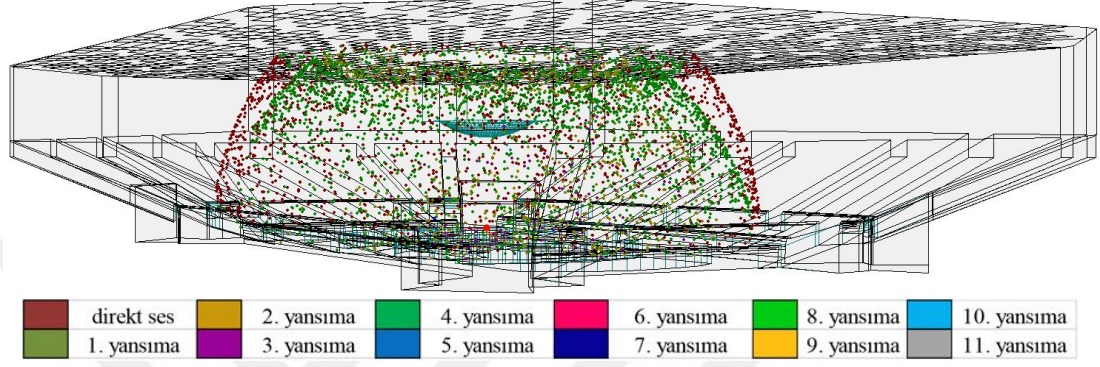
Salon genelinde ses şiddeti (G) değerlerinin dağılımı Odeon'da grid analiz yardımı ile yalın hali ile karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, yapılan akustik düzenlemelerin G değerlerinin artışına etkisi net olarak görülmektedir, Şekil 5.47. Salonun yalın halinde arka duvara yakın bölümlerde ölçülen 0,5 dB dolaylarındaki G değerleri (yeşil bölge), yapılan akustik düzenlemelerle minimum sınır olarak kabul edilen 2 dB dolaylarına çıkarılmıştır (sarı bölge). Bu değişimin sağlanmasında, arka duvarda kullanılan kayar ahşap panellerin saçıcılığının etkili olduğu sonucuna varılabilir.



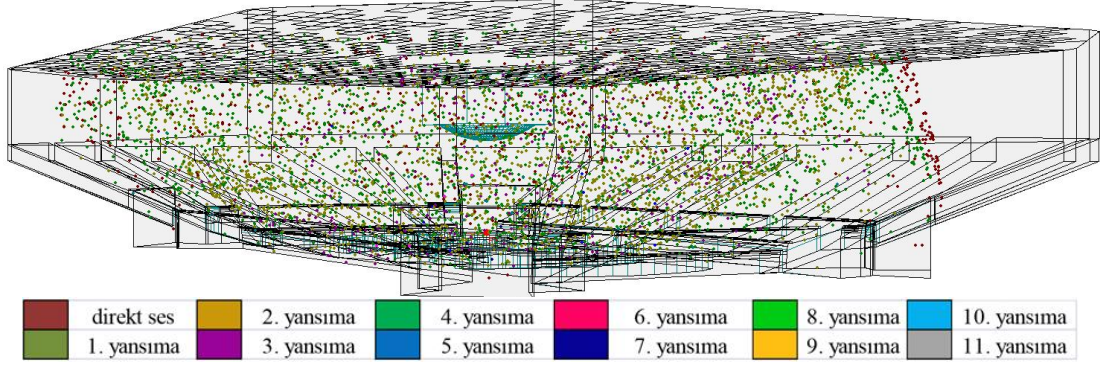
**Şekil 5.47 :** Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen G değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

### 5.2.7 Sesin iletimi ve eko kontrolü

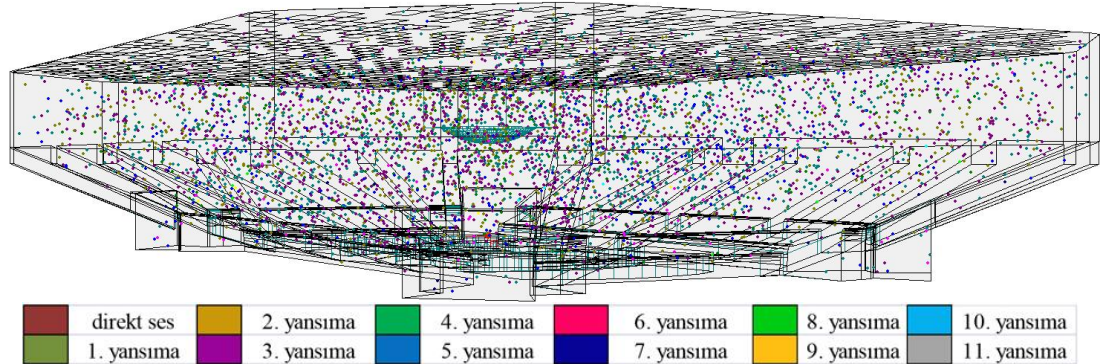
Şekil 5.48, Şekil 5.49 ve Şekil 5.50'de sırasıyla 50., 80. ve 135. milisaniyelerde alınan sesin küresel yayılımının modellendiği noktasal dağılım grafikleri incelendiğinde sesin hacim içinde homojen bir biçimde yayıldığı, ancak merkeze olan uzaklığı 25 metreyi geçen tribün alanlarına sesin ilk 80 milisaniyeden sonra ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.48 : Salon 2'de 50. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.

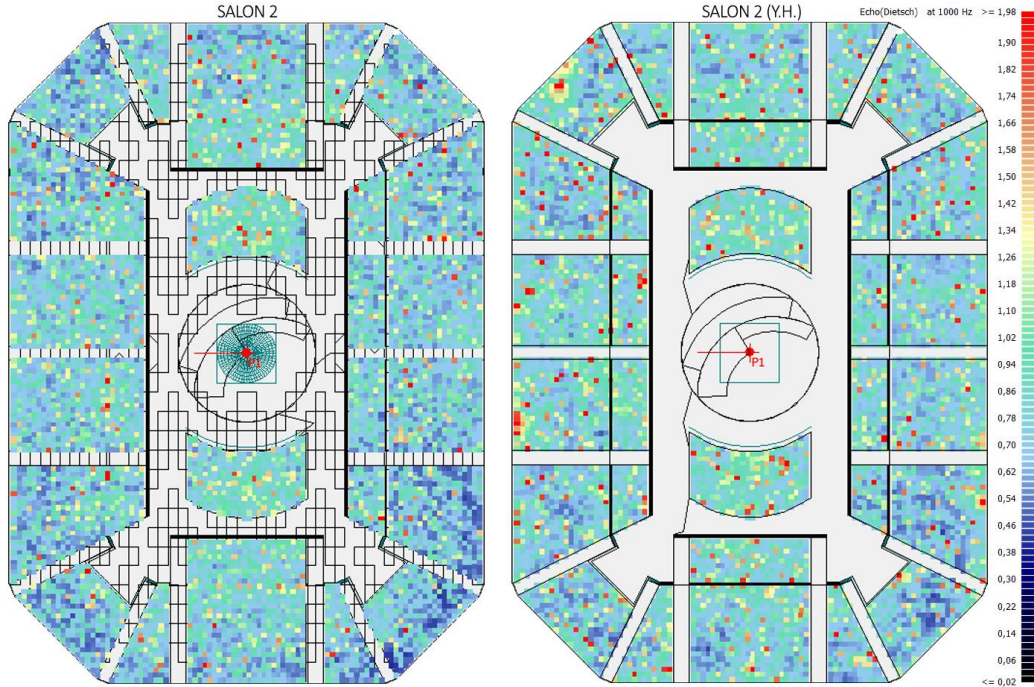


Şekil 5.49 : Salon 2'de 80. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.



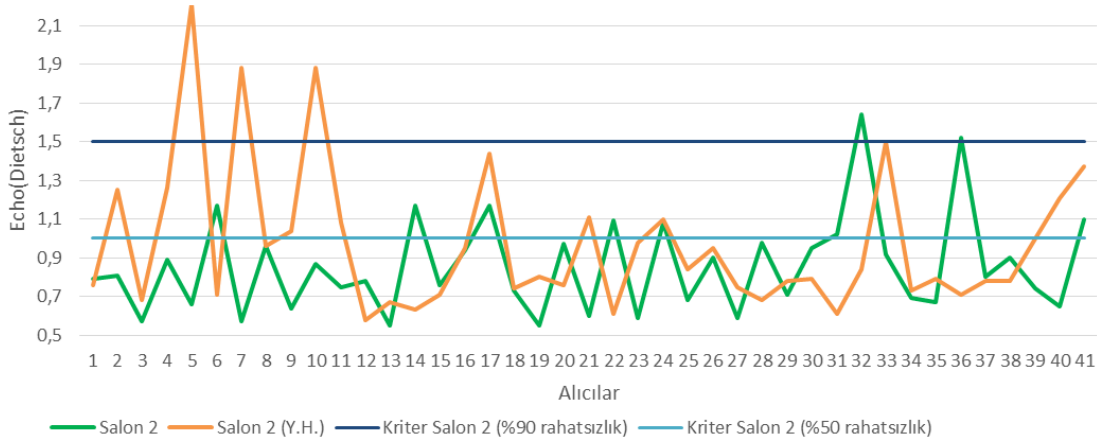
Şekil 5.50 : Salon 2'de 135. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.

Salonun 67 metreyi aşan uzunluğu ve en arka sırada kaynağa 37 metre uzaklıkta konumlandırılmış alıcıları sebebi ile arka bölümlere sesin geç ulaşmasının doğal olarak yorumlanabileceği bu durumda, geç yansımaların eko kusuru oluşturma ihtimaline karşı Echo(Dietsch) parametresinin grid analizi yapılmıştır, Şekil 5.51.



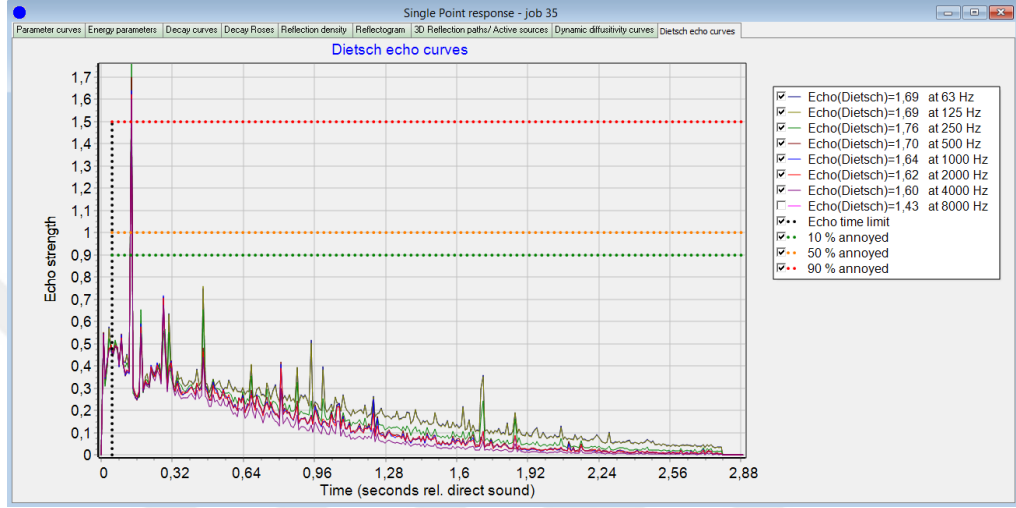
**Şekil 5.51** : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

Şekil 5.51'deki grid analize bakıldığında, yapılan akustik düzenlemelerle hacim genelinde Echo(Dietsch) parametresi için sorunlu olarak kabul edilebilecek 1,5'in üzerindeki (kırmızı) bölgelerin büyük oranda giderildiği görülmektedir. Aynı zamanda salonda alıcı bazında ölçülen Echo(Dietsch) değerleri, üst sınır değeri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir, Şekil 5.52.



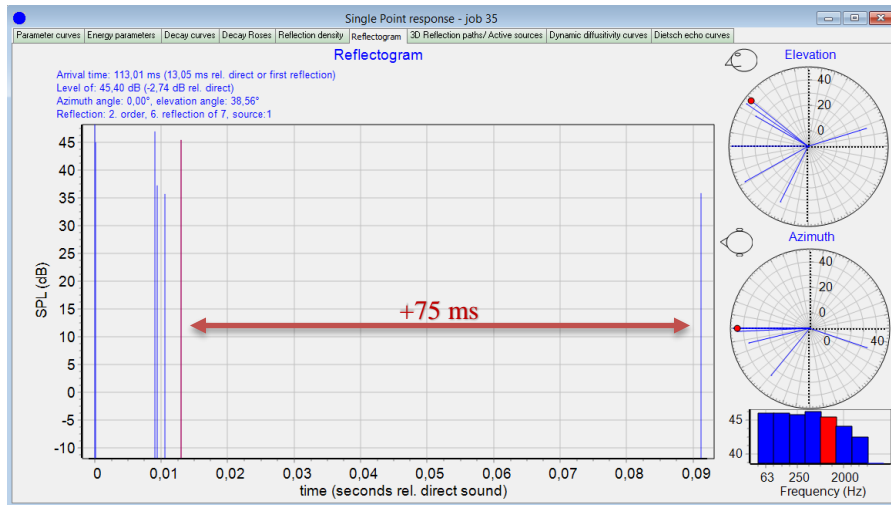
**Şekil 5.52** : Salon 2 için alıcılar bazında ölçülen Echo(Dietsch) değerleri (1000 Hz).

Şekil 5.52’de, alıcı noktalarında 1000 Hz frekans bandında minimum 0,55, maksimum 1,64 olarak ölçülen Echo(Dietsch) parametresi alıcı noktaların çoğunda müzik için belirlenmiş 1,50’lik sınır değerinin altında dağılım göstermektedir. Salonda 1,64 ile en yüksek değer görüldüğü nokta olan 32 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi incelendiğinde kusurun direkt sestem 120 ms sonra oluştuğu görülmektedir, Şekil 5.53.



Şekil 5.53 : Salon 2'de 32 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi (1000 Hz).

Erken yansımaların baskın olduğu bu noktada direkt sestem sonraki 13 milisaniye içinde gelen yansımalar sonrasında ilk yansıma 91. milisaniyede alıcıya ulaşmaktadır, Şekil 5.54. Yansımalar arasındaki bu gecikme farkı nedeni ile alıcıda eko kusurunun duyulabilir hale geldiği sonucuna varılabilir. Bu nedenle 32 numaralı alıcı Bölüm 5.2.2’de de belirtildiği üzere,  $C_{80}$  parametresinin de en düşük çıktığı konum olmaktadır.



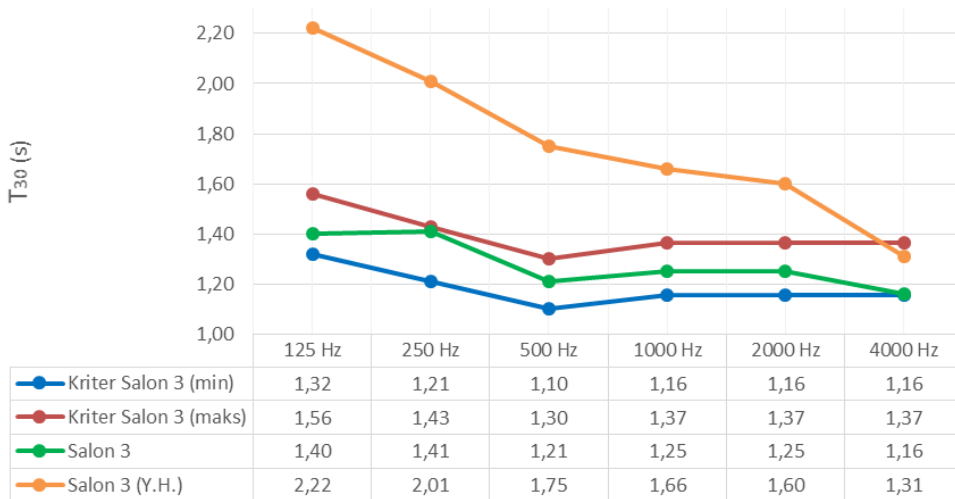
Şekil 5.54 : Salon 2'de 32 numaralı alıcının enerji diyagramı.

### 5.3 Salonun Güçlendirilmiş Müzik Konser Salonu İşlevinde Akustik Analizi – Salon 3

Rock ve pop gibi türleri kapsayan güçlendirilmiş müzik konserleri için oluşturulan Salon 3, literatürden referans olarak alınan nesnel parametre değerleri ve akustik düzenlemeler yapılmadan önceki durumu olan salonun “yalın hali” ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Salonun güçlendirilmiş müzik konserleri için tasarlanan varyasyonunun akustik değerlendirilmesinde kriter olarak  $T_{30}$  ve EDT,  $C_{80}$ ,  $LF_{80}$ ,  $T_s$ , BR ve G parametreleri kullanılmıştır. Salon 3 plan tipi ve özellikleri sebebi ile konferans salonu olarak kullanıma da uygun olduğundan, literatürden referans olarak alınan konuşma için belirlenmiş  $C_{50}$  ve STI nesnel parametreleri üzerinden de değerlendirilmiştir. Bunlara ek olarak, hacim içinde ses yayılımı incelenmiş ve eko kusurunun kontrolü yapılmıştır.

#### 5.3.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT)

Bölüm 4.5.1’de anlatılardan yola çıkılarak, değerlendirmede referans olarak alınan çınlama süresi aralığı ve simülasyon üzerinde ölçülen değerlerin bu aralığa uyumu Şekil 5.55’te gösterilmektedir. Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) spektrum grafiği incelendiğinde salonun genel ortalamasının tüm frekans bantlarında istenen aralığın içinde olduğu görülmektedir.

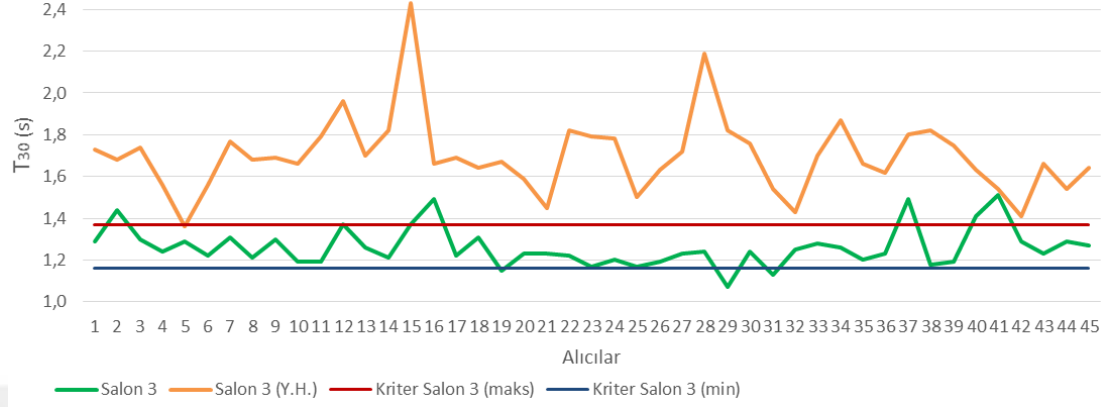


Şekil 5.55 : Salon 3 genelinde hesaplanan çınlama sürelerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.

Salon yalın hali ile karşılaştırıldığında, tavana ve arka duvara uygulanan yutuculuk ve hacimde sağlanan azaltım ile birlikte çınlama süresinde de istenilen düzeyde bir düşüş sağlandığı sonucuna varılabilir.



Güçlendirilmiş müzik konserleri için akustik düzenlemeleri yapılan salon tasarımının, herhangi bir düzenleme yapılmadan önceki haline göre çınlama süresinde sağlanan değişimin belirlenmesi amaçlı yapılan alıcı bazındaki karşılaştırma Şekil 5.56'da gösterilmektedir.

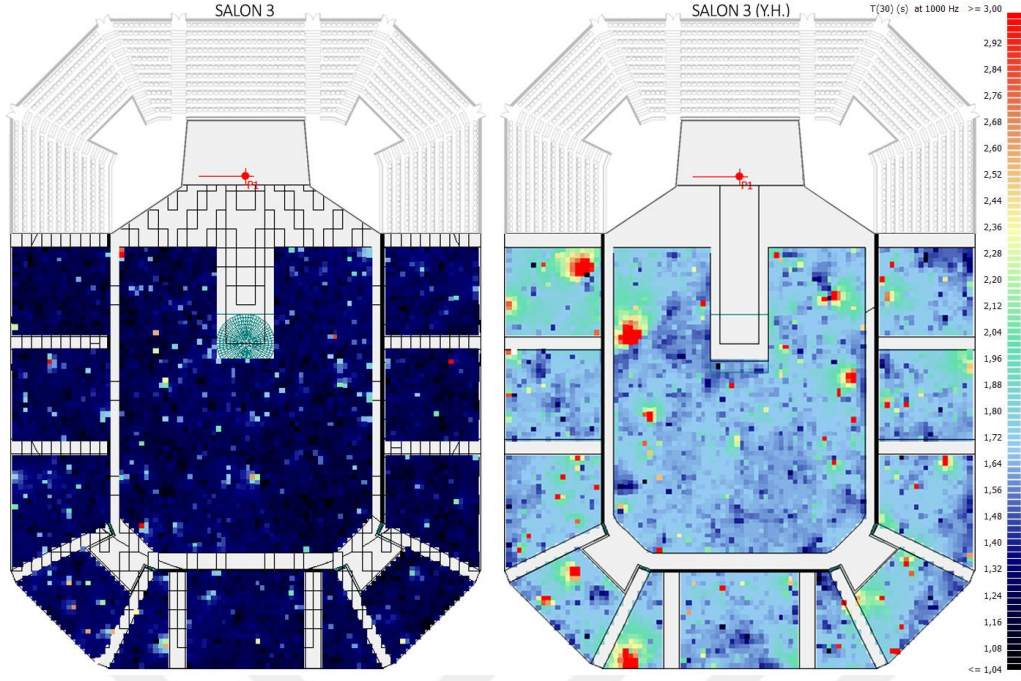


**Şekil 5.56 :** Salon 3'te alıcı noktalarda ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin salonun yalın hali ile karşılaştırılması (1000 Hz).

Şekil 5.56'daki grafik incelendiğinde alıcı noktaların büyük çoğunluğunda çınlama süresinin salonun yalın haline göre azalım gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak daha önemlisi; alıcılar arasında ölçülen maksimum ve minimum değerler arasındaki 1 saniyeyi aşan farkların 0,4 saniye dolaylarına düşürülerek çınlama süresinin hacim içinde daha eşit bir biçimde yayılmasının sağlandığı görülmektedir. Bu aynı zamanda ses alanının hacimde dağılımının daha homojen ve yaygın (diffuse) hale getirildiği anlamına gelmektedir.

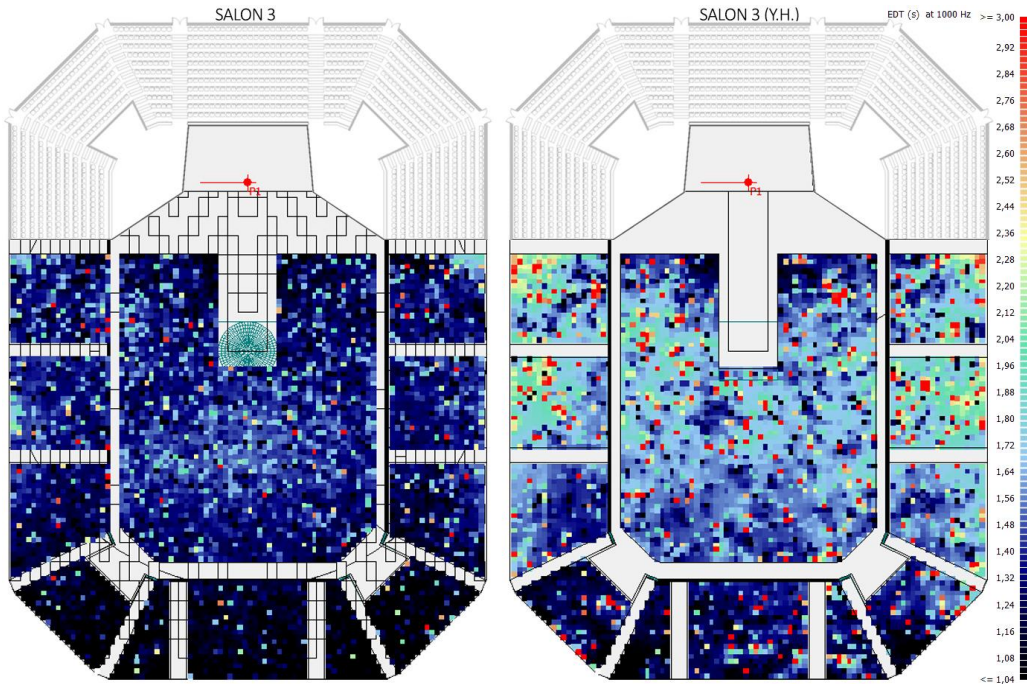
Salon genelinde çınlama süresinin yayılımı, alıcı yüzeyler üzerinde grid analiz yardımı ile incelendiğinde de yapılan akustik düzenlemelerin homojen yayılıma etkisi daha net olarak görülmektedir, Şekil 5.57.

Kıyaslama yapıldığında salonun akustik düzenleme yapılmamış yalın halinde çınlama süresinin hacim genelinde daha yüksek olduğu ve daha büyük alansal farklılıkların görüldüğü, bunların çınlama süresinin yüksek olduğu kırmızı bölgeler olarak grid üzerinde belirdiği görülmektedir. Salon tasarımında özellikle tavandaki yutucu panellerin ve arka duvarda bulunan, yüksek düşük frekans yutuculuğuna sahip şişen membran tüplerin kullanımının çınlama süresinin düşürülmesine önemli katkı sağladığı anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.57 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

Salon genelinde erken düşme süresinin (EDT) yayılımı Odeon'da grid analiz yardımı ile incelendiğinde de yapılan akustik düzenlemelerin yutuculuğun artırılmasına ve homojen yayılıma etkisi görülmektedir, Şekil 5.58. Özellikle sahneye yakın bölgelerde görülen yüksek EDT değerlerinin, yapılan akustik düzenlemelerle düşürülerek salon ortalaması olan 1,25 saniye dolaylarına çekildiği görülmektedir.

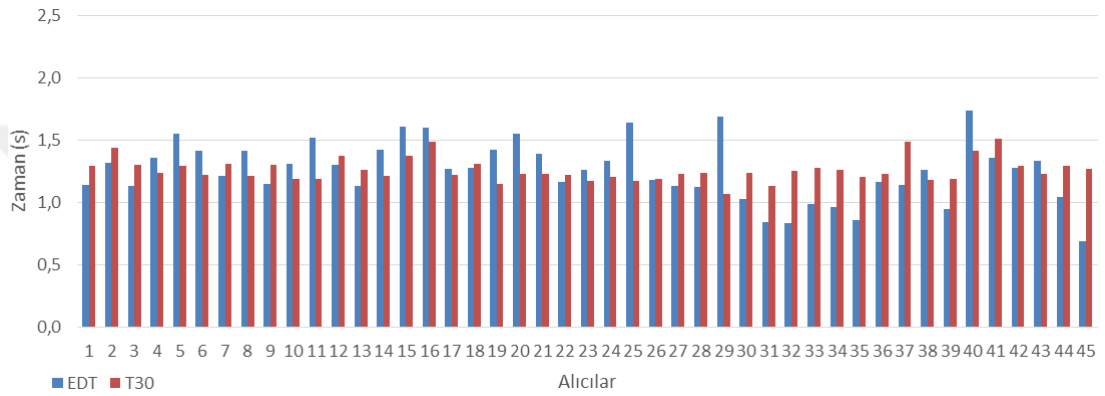


**Şekil 5.58 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

EDT'nin  $T_{30}$  ile olan ilişkisine bakıldığında, salondaki bir çok alıcı noktada literatürde belirtilen aralığa uygun olarak dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır, Şekil 5.59. Ancak bazı alıcı noktalardaki yüksek orandaki sapmalar:

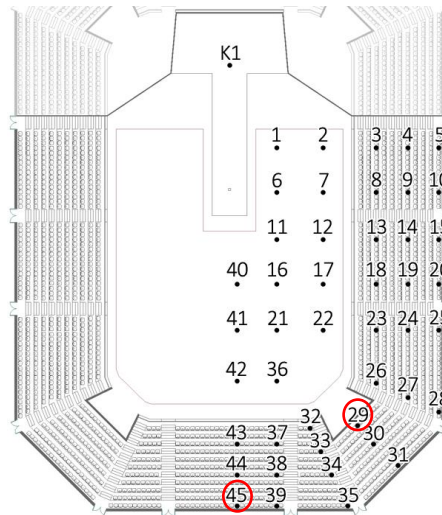
- 25, 29 ve 40 numaralı alıcılarda yüksek EDT değerleri,
- 31, 32, 35 ve 45 numaralı alıcılarda ise düşük EDT değerleri,

olarak görülmektedir. EDT'nin  $T_{30}$ 'a göre baskın olduğu alıcı noktalarında geç yansımaların zayıf kaldığı,  $T_{30}$ 'un EDT'den yüksek çıktığı alıcı noktalarında ise erken yansımaların yeteri kadar alınmadığı çıkarımı yapılabilir.



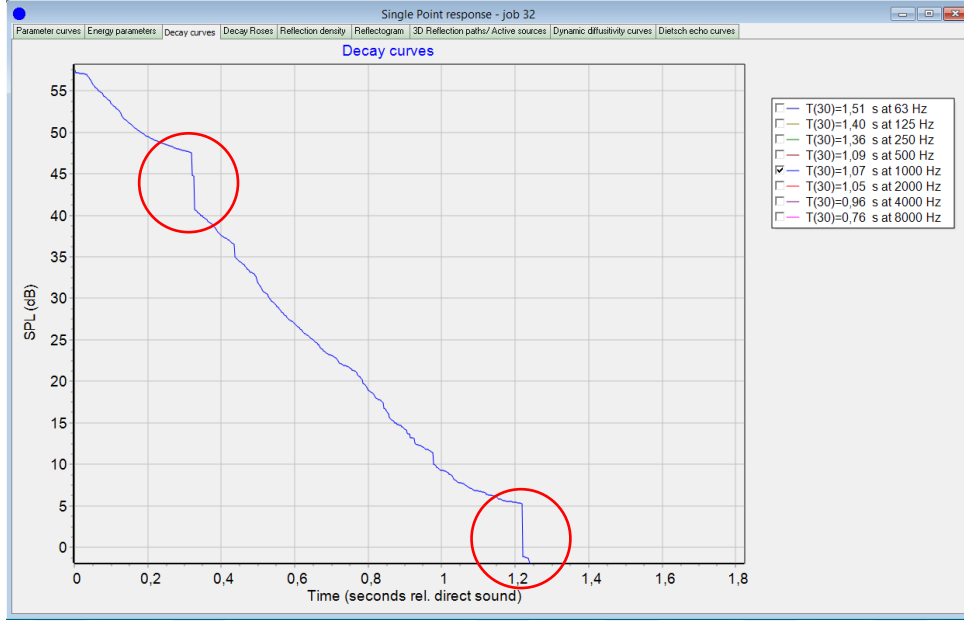
Şekil 5.59 : Salon 3'te alıcı noktalarında ölçülen EDT ve  $T_{30}$  değerleri (1000 Hz).

EDT'nin  $T_{30}$ 'a göre en yüksek olduğu 29 numaralı alıcı ve  $T_{30}$ 'un EDT'ye göre en yüksek olduğu 45 numaralı alıcı tekil olarak incelenmiştir, Şekil 5.60.



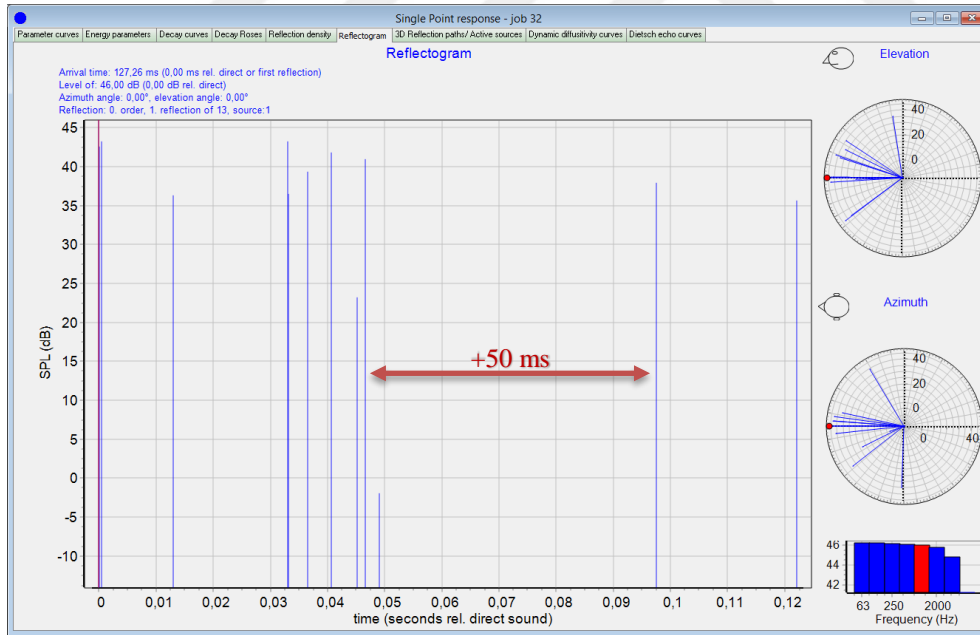
Şekil 5.60 : Salon 3 için 29 ve 45 numaralı alıcıların konumları.

EDT'si 1,69 s olan 29 numaralı alıcının enerji düşüş eğrisi incelendiğinde, düzgün azalım göstermeyerek ses basınç düzeyinde ani azalmalar meydana geldiği görülmektedir, Şekil 5.61.



Şekil 5.61 : Salon 3'te 29 numaralı alıcı için enerji düşüş eğrisi (1000 Hz).

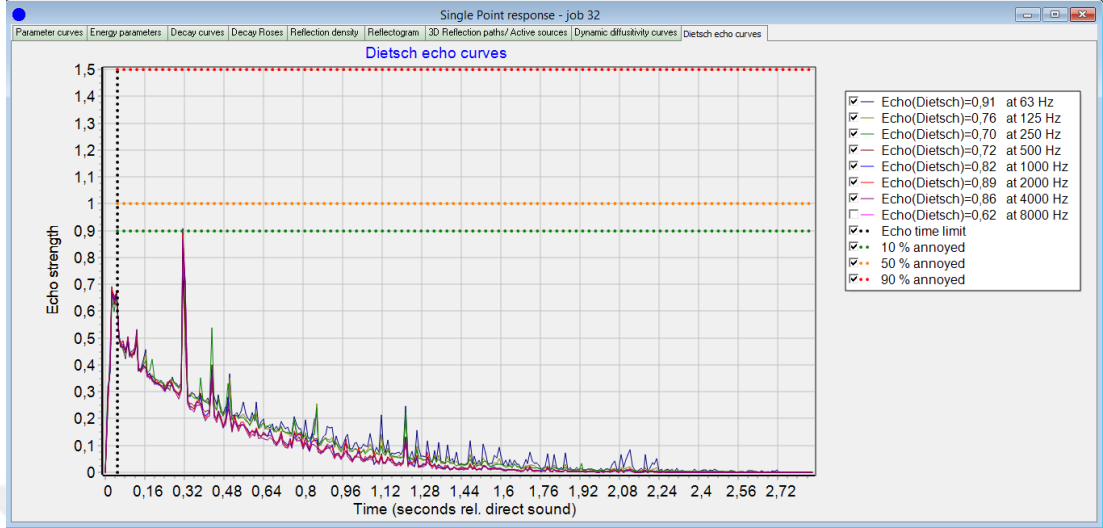
Direkt sesin alıcıya ulaşmasından sonraki ilk 50 ms'de çok sayıda gelen erken yansımaların, sayısı az olan geç yansımalara kıyasla baskın kalması sebebi ile EDT değeri yüksek çıkmaktadır, Şekil 5.62.



Şekil 5.62 : Salon 3'te 29 numaralı alıcının enerji diyagramı.

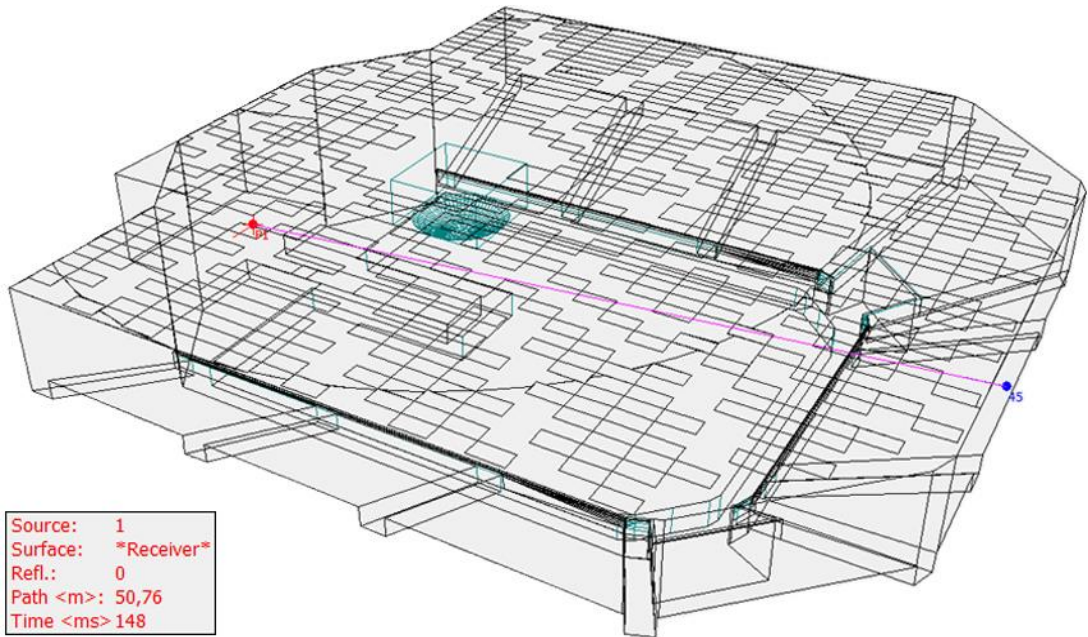
Alıcı noktasına gelen erken ve geç yansımalar arasında 50 milisaniyeyi aşan süreler bulunması sebebi ile eko kusurunun kontrolünün yapılması gerekli görülmüştür, Şekil 5.63. Ancak, 29 numaralı alıcının Echo(Dietsch) parametresine bakıldığında

tüm oktav bantlarında 1,5'lik sınır değerin altında kaldığı ve bu açıdan bir sorun olmadığı görülmektedir.



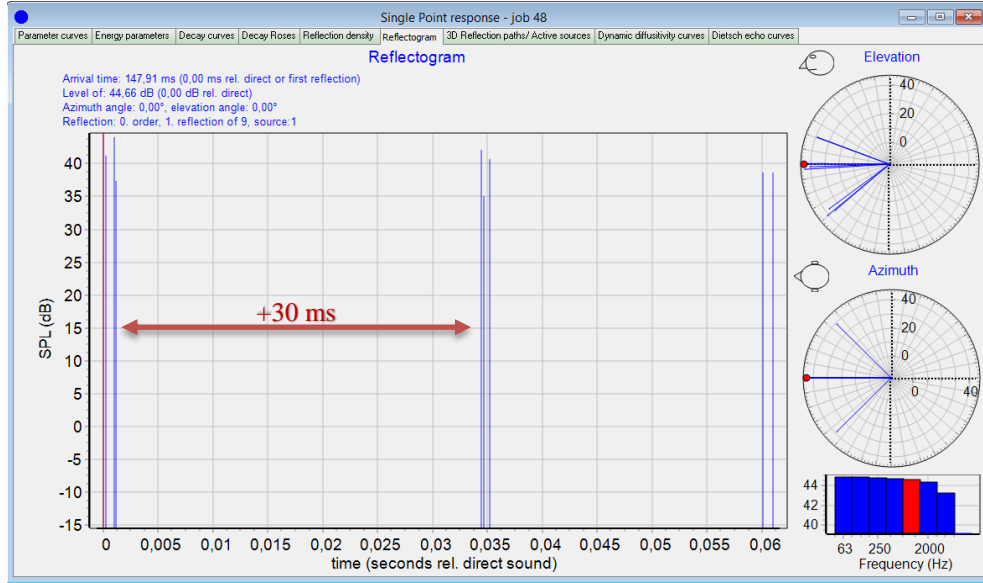
Şekil 5.63 : Salon 3'te 29 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi.

EDT parametresi en düşük olan 45 numaralı alıcının yansıma doğrultuları incelendiğinde kaynağa en uzak noktalardan biri olması sebebi ile direk sesin en geç ulaştığı noktalardan biri olduğu görülmektedir, Şekil 5.64. İlk enerjiyi oluşturan direkt ses 148 ms'de alıcıya ulaşmaktadır. Bu uzun ulaşma süresi nedeni ile erken yansımalar da direkt ses ile arasında çok az bir gecikme farkı yaşayarak alıcıya ulaşmaktadır.



Şekil 5.64 : Salon 3'te 45 numaralı alıcıya ulaşan direkt ses.

Enerji diyagramına bakıldığında da direkt sesle beraber ilk 2 ms içinde ulaşan erken yansımaların çok erken gelmesi ve sonra da yeterli yansıma almaması sebebi ile de EDT'nin düşük çıktığı sonucuna varılabilir, Şekil 5.65.



Şekil 5.65 : Salon 3'te 45 numaralı alıcının enerji diyagramı.

### 5.3.2 Netlik ( $C_{80}$ )

$C_{80}$  parametresi Bölüm 2.3.4'te belirtildiği üzere erken ulaşan sesin (ilk 80 milisaniye), geç ulaşan sese oranıdır. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı -1 ila +3 arası olarak belirlenmiştir. Çınlama süresi yükseldikçe negatif değerler almaya başlar, çınlama süresi azaldıkça ise pozitif değerlere doğru yol alır. Bu durumla birlikte, çınlama eğrisi güçlendirilmiş müzik için doğru biçimde ayarlanmış bir salonda  $C_{80}$  parametresinin frekans bantları arasında düz bir eğim göstermesi beklenir.

Şekil 5.66'da  $C_{80}$  parametresinin Salon 3 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama değerleri ve maksimum, minimum kriter değerleri yer almaktadır. Salon genelinde ölçümlenen ortalama  $C_{80}$  değerlerinin referans aralığın içinde kaldığı görülmektedir.

Salonun güçlendirilmiş müzik için düşürülen çınlama süresi,  $C_{80}$  değerlerinin de özellikle düşük frekanslarda artmasına sebep olmaktadır. Salon 2'de negatif değerlerde bulunan 125 ve 250 Hz  $C_{80}$  değerleri, Salon 3'te sırası ile 2,2 ve 1,3 olarak ölçülmektedir.

Salonun yalın haline bakıldığında tüm frekans bantlarında  $C_{80}$  parametresinin daha düşük kaldığı, bunun da daha yüksek olan çınlama süresinin sonucunda gerçekleştiği çıkarımı yapılabilir.

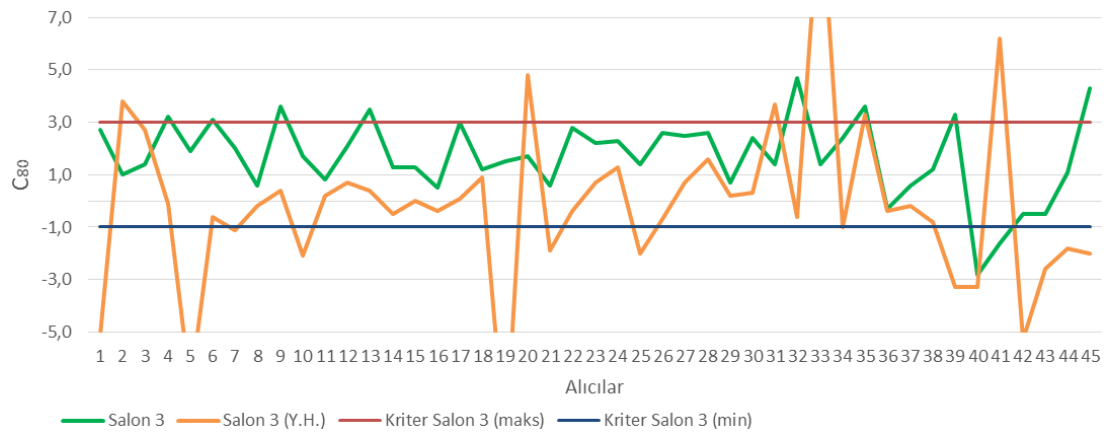


**Şekil 5.66 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama  $C_{80}$  değerlerinin kriter değerler ile karşılaştırılması.

Şekil 5.67'de  $C_{80}$  parametresinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans değerler ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salonun genelinin belirlenen kriter aralık ile uyumlu olarak değerler aldığı görülmektedir. Çınlama süresinin düşük tutulması sayesinde  $C_{80}$  değerlerinin bir alıcı dışında sınır değerinin altına düşmediği görülmektedir. Bazı alıcı noktalarda görülen sapmalar:

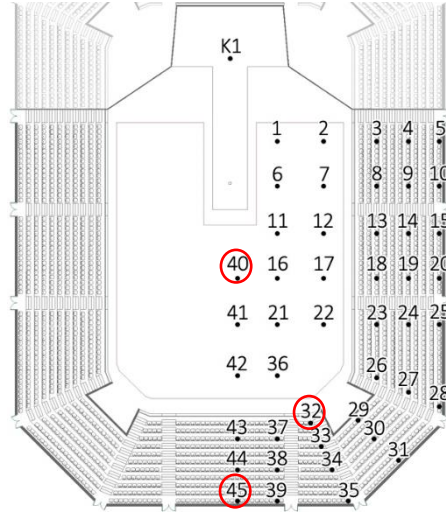
- 32 ve 45 numaralı alıcılarda yüksek  $C_{80}$  değerleri,
- 40 numaralı alıcıda ise düşük  $C_{80}$  değeri,

olarak görülmektedir.



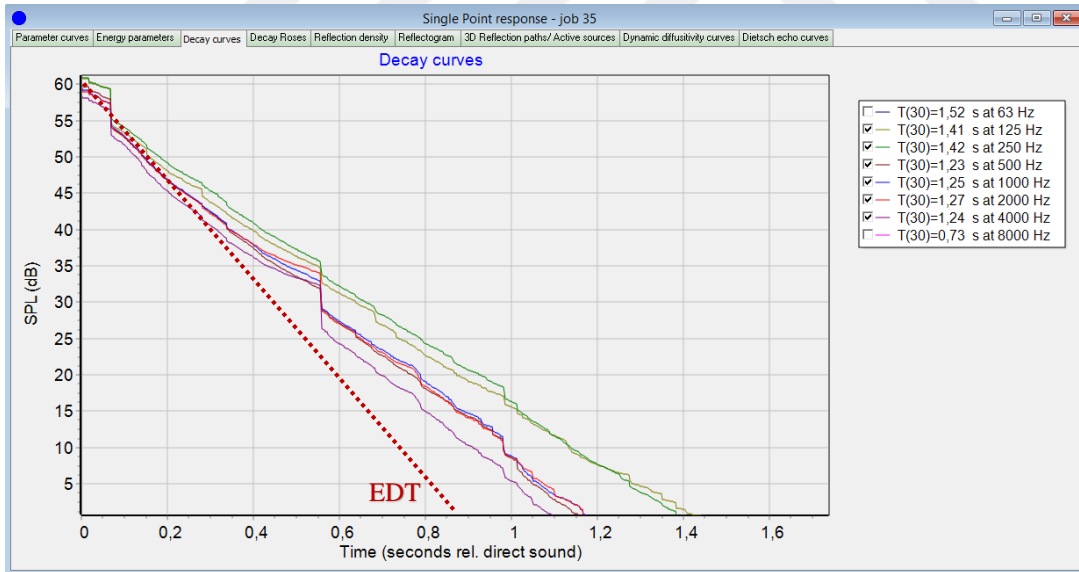
**Şekil 5.67 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen  $C_{80}$  değerleri (1000 Hz).

32, 40 ve 45 numaralı alıcıların salondaki konumları Şekil 5.68'deki plan şemasında gösterilmektedir.



Şekil 5.68 : Salon 3 için 32, 40 ve 45 numaralı alıcıların konumları.

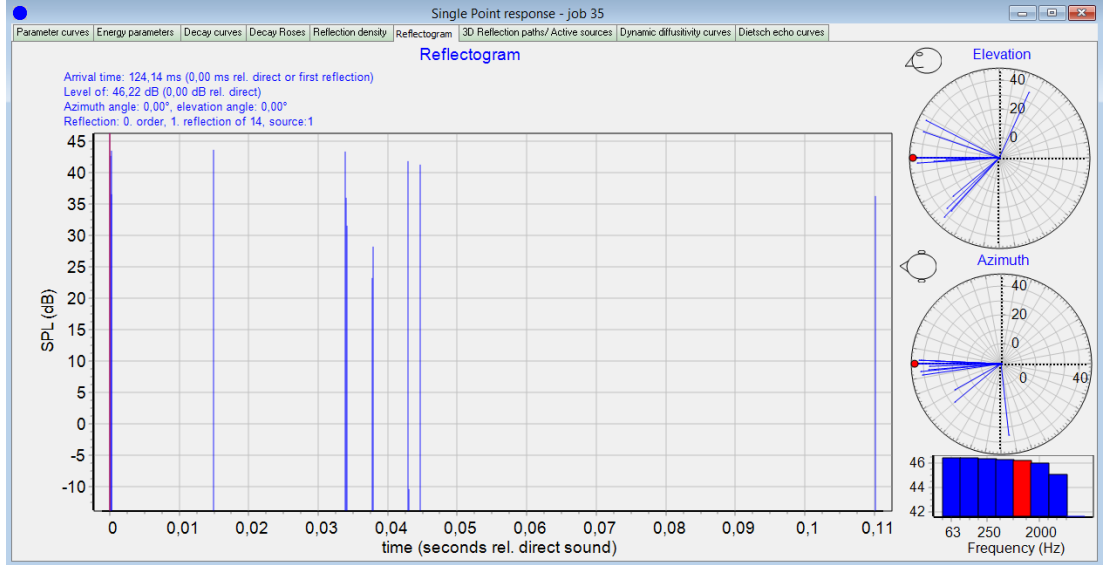
32 numaralı alıcıda ölçülen 4,7'lik en yüksek  $C_{80}$  değerinin sebebi incelendiğinde, bu noktada 0,83 s (1000 Hz) olarak ölçülen düşük EDT değerinin bu duruma neden olduğu sonucuna varılabilir, Şekil 5.69.



Şekil 5.69 : Salon 3'te 32 numaralı alıcının düşüş eğrisi.

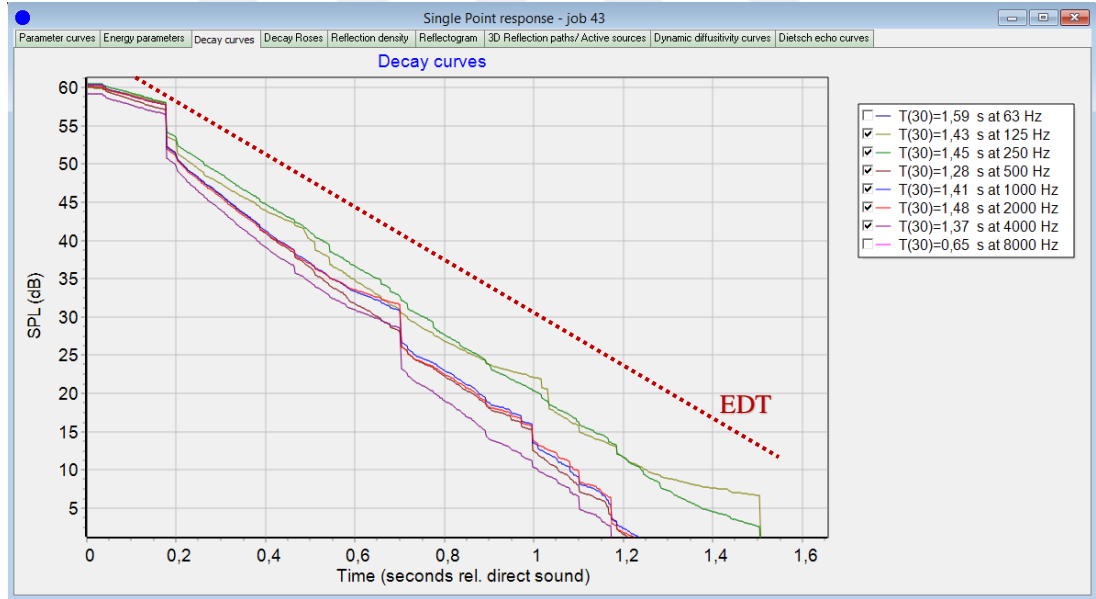
Alıcı nokta sahneye olan uzaklığı sebebi ile direkt sesi geç almakta, bu nedenle alıcıya gelen erken yansımaların yoğunluğu daha fazla olmaktadır, Şekil 5.70. Çınlayan enerjinin düşük olduğu noktada,  $C_{80}$  parametresinin de bu sebeple optimum aralığın üzerinde yer aldığı sonucuna varılabilmektedir.





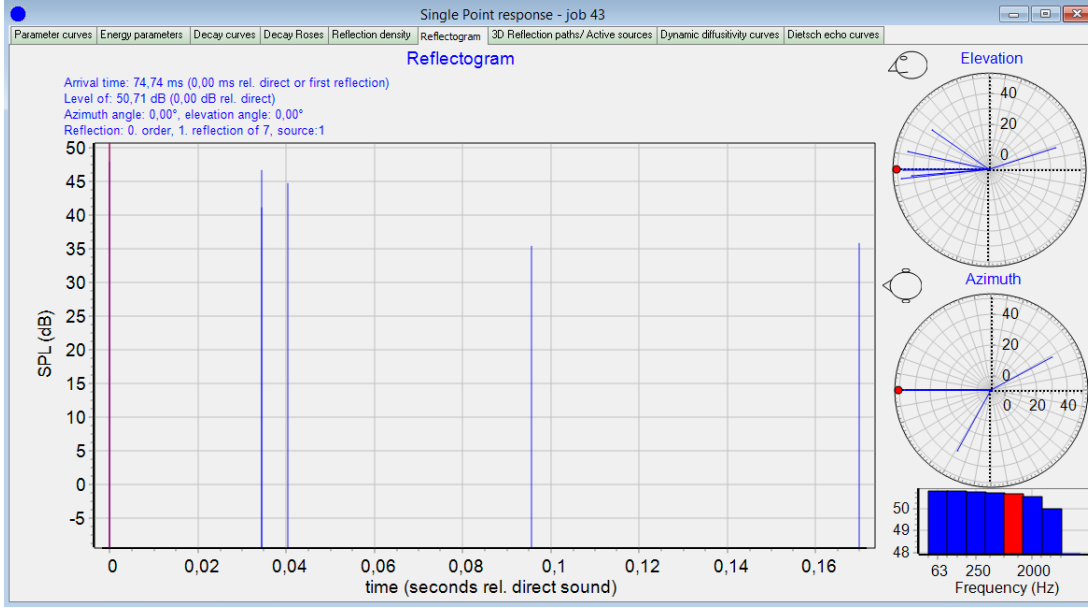
Şekil 5.70 : Salon 3'te 32 numaralı alıcının enerji diyagramı.

-2,8 ile en düşük  $C_{80}$  değerinin ölçüldüğü 40 numaralı alıcının düşüş eğrisine bakıldığında 1,74 s (1000 Hz) olarak ölçülen yüksek EDT değerinin bu duruma neden olduğu sonucuna varılabilir, Şekil 5.71.



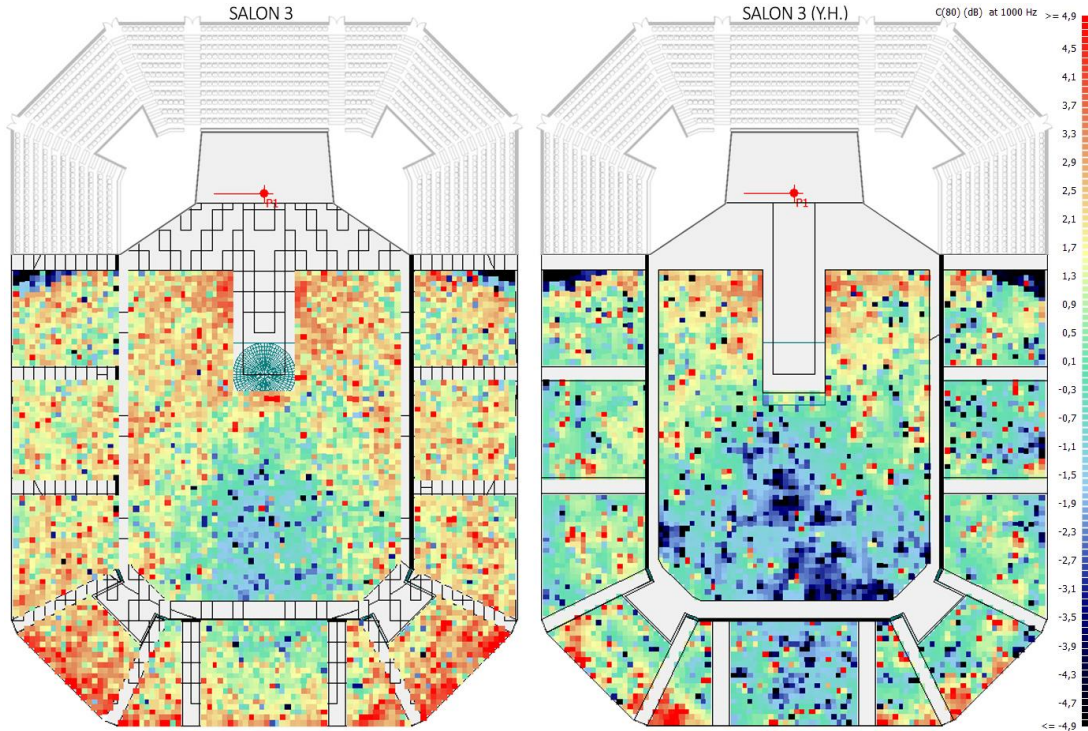
Şekil 5.71 : Salon 3'te 40 numaralı alıcının düşüş eğrisi.

Şekil 5.72'deki yansıma diyagramına bakıldığında, alıcının sahneye yakın konumlanışının direkt sesi erken almasını sağlayıp, geç enerjinin oranının artmasına sebep olduğu çıkarımı yapılabilir. Çınlama ile ters orantılı değişen  $C_{80}$  parametresinin de bu nedenle optimum aralığın altına düştüğü sonucuna varılabilir.



Şekil 5.72 : Salon 3'te 40 numaralı alıcının enerji diyagramı.

Salon 3'te yapılan akustik düzenlemelerin  $C_{80}$  parametresi üzerindeki etkisi salonun yalın hali ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında, geç ses enerjisinin etkili olduğu koyu mavi bölgelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir, Şekil 5.73. Özellikle saha içi dinleyici alanının orta bölümlerinde görülen düşük  $C_{80}$  değerlerinin, tavanda yutucu panellerin ve reflektörün kullanımı sayesinde geç enerjinin yoğunluğunun azaltılması ile arttırıldığı görülmektedir.

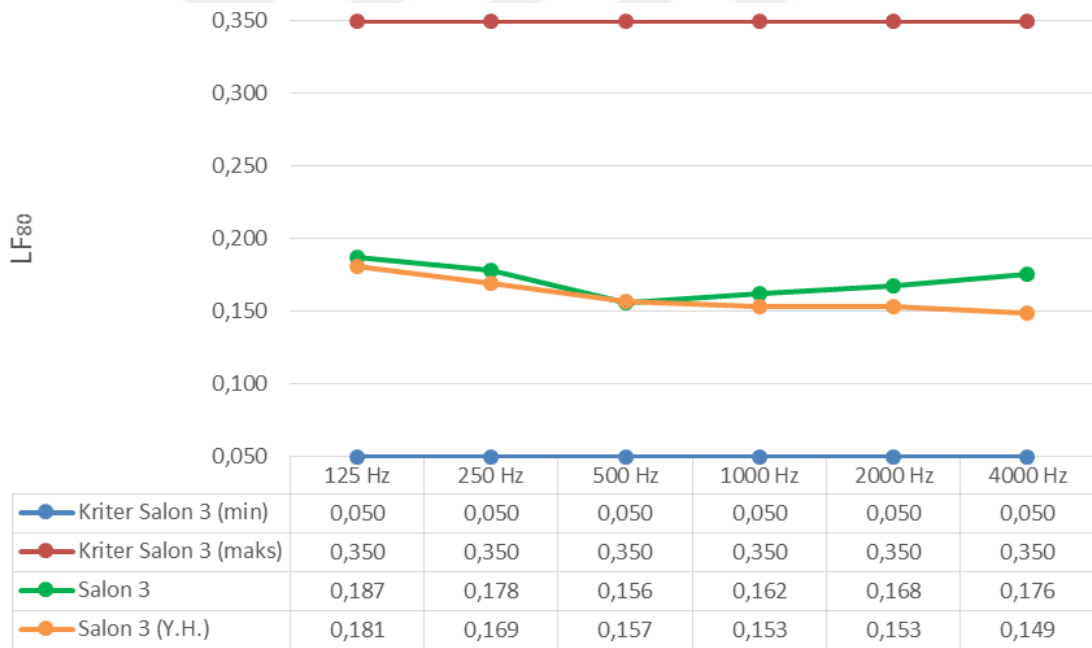


Şekil 5.73 : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $C_{80}$  değerlerinin salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

### 5.3.3 Yanal yansımalar (LF<sub>80</sub>)

LF<sub>80</sub> parametresi Bölüm 2.3.5'te belirtildiği üzere erken ulaşan yanal enerjinin (ilk 80 milisaniye), tüm erken ulaşan enerjiye oranıdır. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı, güçlendirilmiş müzik için özel olarak belirtilmediği için klasik müzik ile aynı olacak şekilde 0,05 ila 0,35 arası olarak belirlenmiştir. Arena tip salonların yan duvarsız olan tipolojik özelliklerinden dolayı yanal yansımalar zayıf kalabilmektedir. Özellikle saha içindeki yanal yansımaları arttırmak amacı ile tasarlanan parter duvarlarında yansıtıcılık ve saçıcılık sağlanarak, bu oluşması muhtemel olarak öngörülen sorun önlenmeye çalışılmıştır.

Şekil 5.74'te Salon 3 için 1/1 oktav bantı frekanslarında ölçülen ortalama LF<sub>80</sub> değerleri ve maksimum, minimum kriter değerleri yer almaktadır. Grafığe göre salonun genel ortalaması optimum aralıkta bulunmakta ve frekans bantlarında düz bir yayılım göstermektedir. Salonda yapılan düzenlemelerle, yalın haline göre farkedilir düzeyde bir artış sağlanamadığı anlaşılmaktadır.

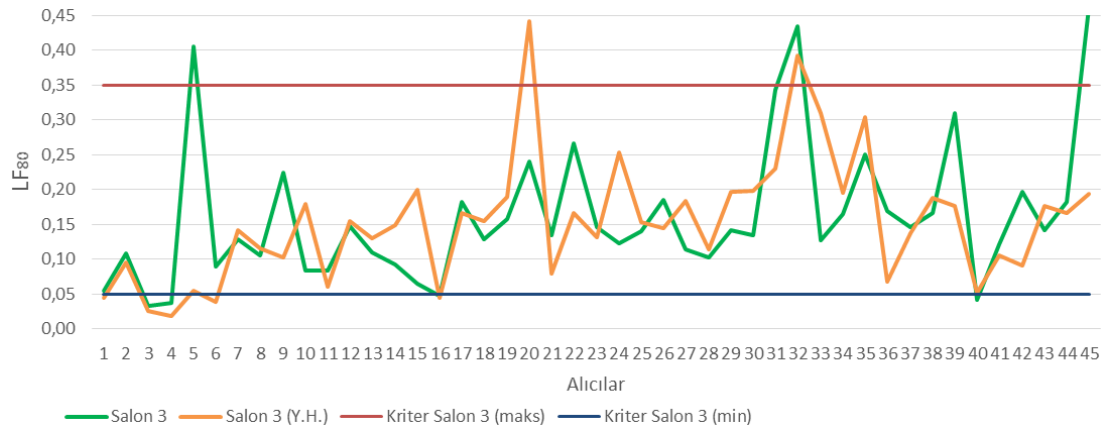


**Şekil 5.74 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama LF<sub>80</sub> değerlerinin kriter değerleri ile karşılaştırılması.

Şekil 5.75'te LF<sub>80</sub> değerlerinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans değerleri ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Bu değerler incelendiğinde salondaki alıcıların büyük çoğunluğunun istenen aralık içinde olduğu görülmektedir.

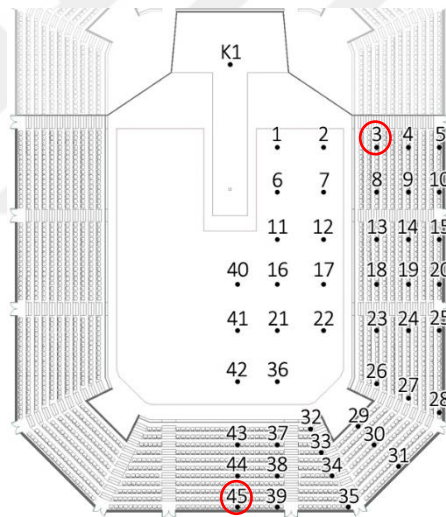
Bazı alıcı noktadaki sapmalar:

- 5, 32 ve 45 numaralı alıcılarda yüksek  $LF_{80}$  değerleri, olarak görülmektedir.



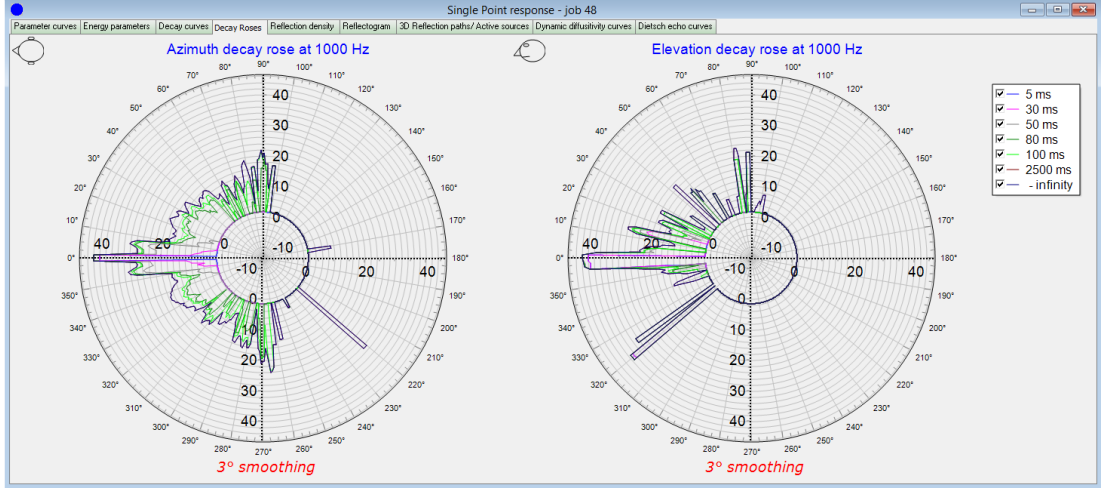
Şekil 5.75 : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen  $LF_{80}$  değerleri (1000 Hz).

En yüksek  $LF_{80}$ 'in ölçüldüğü 45 numaralı alıcı ve en düşük  $LF_{80}$ 'in ölçüldüğü 3 numaralı alıcıların konumları aşağıdaki plan şemasında gösterilmektedir, Şekil 5.76.



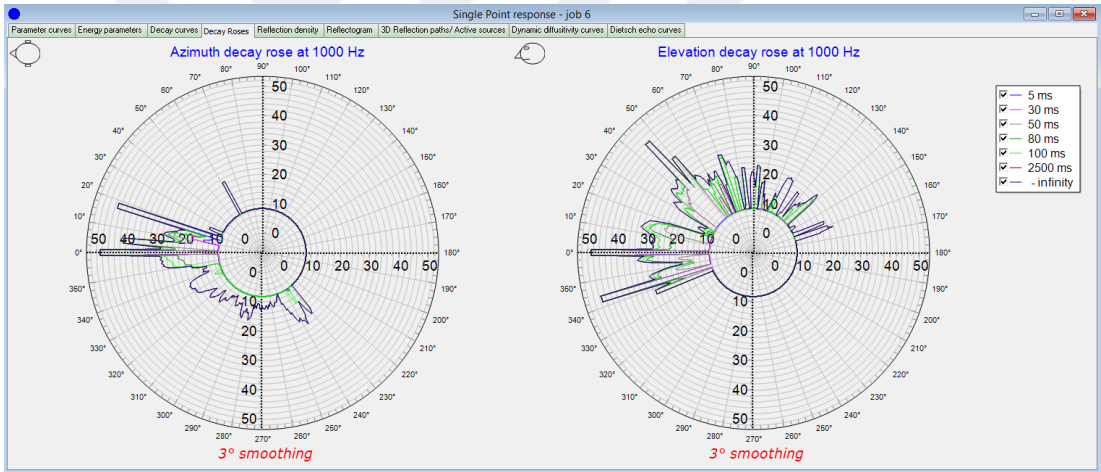
Şekil 5.76 : Salon 3 için 3 ve 45 numaralı alıcıların konumları.

En yüksek  $LF_{80}$  değeri ölçülen 45 numaralı alıcının yansıma yönleri incelendiğinde, salonun orta aksı üzerinde bulunması sebebi ile hem sağdan hem de soldan enerji aldığı görülmektedir, Şekil 5.77. 45 numaralı alıcının aynı zamanda en düşük EDT görülen nokta olması ve yüksek oranda erken yansıma alamaması nedeni ile de bu durumun oluştuğu sonucuna varılabilir.



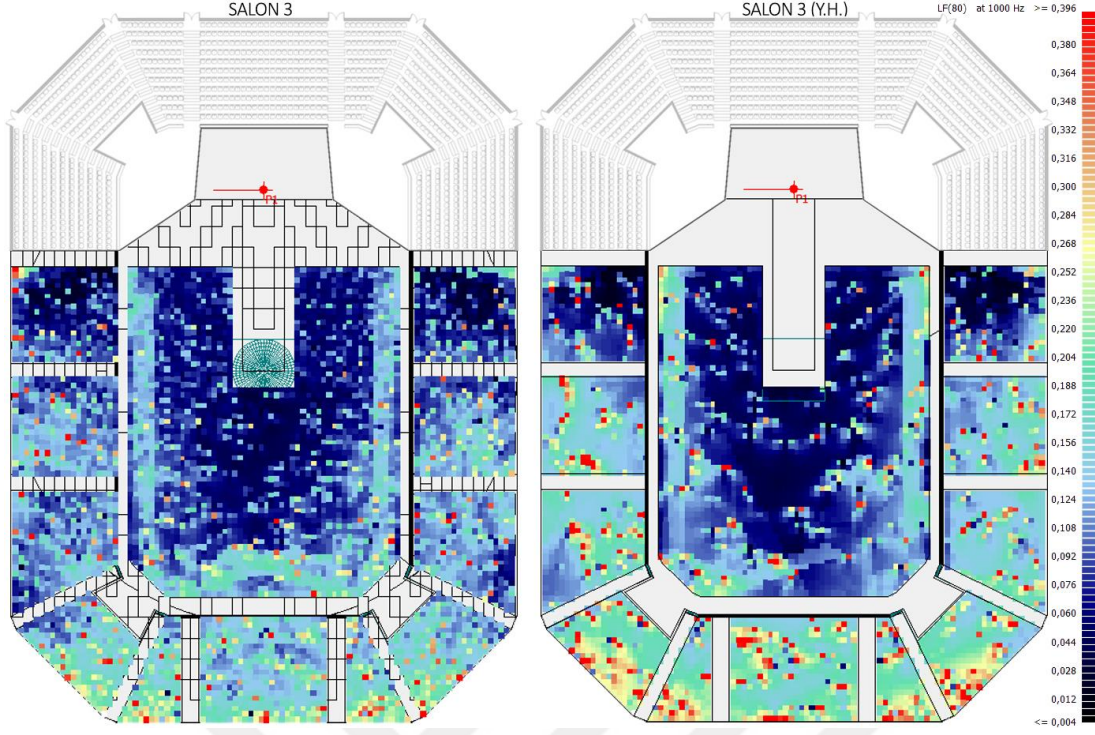
**Şekil 5.77** : Salon 3 için 45 numaralı alıcıya ulaşan enerji yoğunluğu.

En düşük  $LF_{80}$  değeri ölçülen 3 numaralı alıcının ise salonun bölündüğü perde kenarında kalması sebebi ile sağ tarafından yanal yansıma alamaması doğal bir durum olarak yorumlanabilir, Şekil 5.78.



**Şekil 5.78** : Salon 3 için 3 numaralı alıcıya ulaşan enerji yoğunluğu.

Salon 3'te yapılan akustik düzenlemelerin  $LF_{80}$  parametresi üzerindeki etkisi salonun yalın hali ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında, artan tavan yansımaları sebebi ile özellikle arka duvara yakın bölgelerde düşüş olduğu görülmektedir, Şekil 5.79. Parter duvarlarının yüksek ve dışbükey olması özelliklerinden dolayı ayakta dinleyici alanın çeperlerinde daha yüksek  $LF_{80}$  değerleri görülmektedir. Ancak ayakta dinleyici alanının orta bölümleri, salonun genişliğine ve dinleyicilerin yutum etkisine bağlı olarak her iki durumda da yanal yansımaların zayıf olduğu bir bölge olarak öne çıkmaktadır.

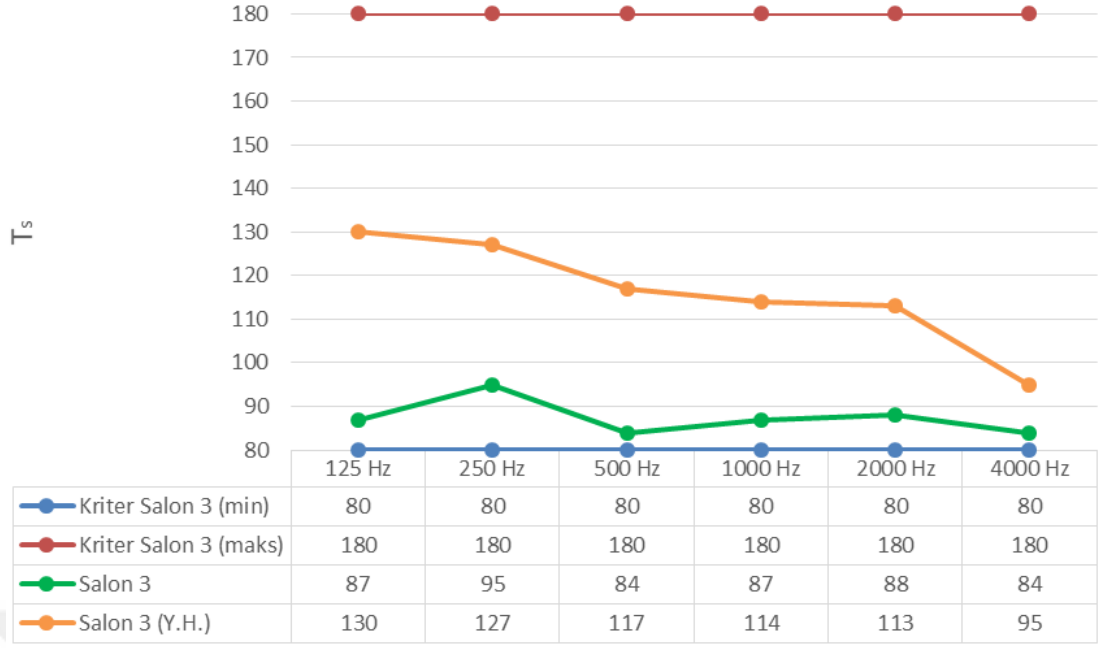


Şekil 5.79 : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen LF<sub>80</sub> değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

### 5.3.4 Merkez süre (T<sub>s</sub>)

T<sub>s</sub> parametresi Bölüm 2.3.8'de belirtildiği üzere erken ve geç ulaşan yansımaların arasındaki ağırlık merkezini belirtmektedir. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı güçlendirilmiş müzik için özel olarak belirtilmediği için klasik müzik ile aynı olacak şekilde 80-180 milisaniye arası olarak belirlenmiştir. Referans aralığın altına inildikçe erken yansımaların güçlendiği, üstüne çıkıldıkça ise geç yansımaların güçlendiği sonucuna varılabilmektedir. Şekil 5.80'de T<sub>s</sub> parametresinin salon genelinde ölçülen değerleri, yalın hali ile 1/1 oktav bant frakanslarında karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

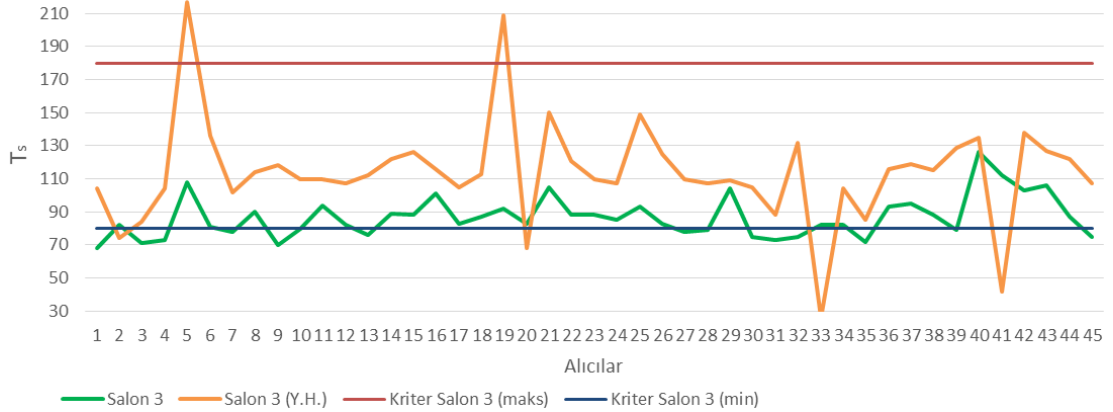
Salon genelinde ölçülen ortalama T<sub>s</sub> değerlerinin alt sınıra yakın olmakla birlikte, referans aralığın içinde yer aldığı görülmektedir. Salon genelinde arttırılan yutuculuk ile birlikte çinlama süresinin düştüğü, bunun sonucunda salonun merkez süresinin de yalın haline göre düştüğü sonucuna varılabilmektedir.



**Şekil 5.80 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama  $T_s$  değerleri ve kriter değerler ile karşılaştırılması.

Alıcı noktalar arasındaki karşılaştırmaya bakıldığında da bu uyum doğrulanmaktadır, Şekil 5.81. Bazı alıcı noktalarda gözükten sapmalar:

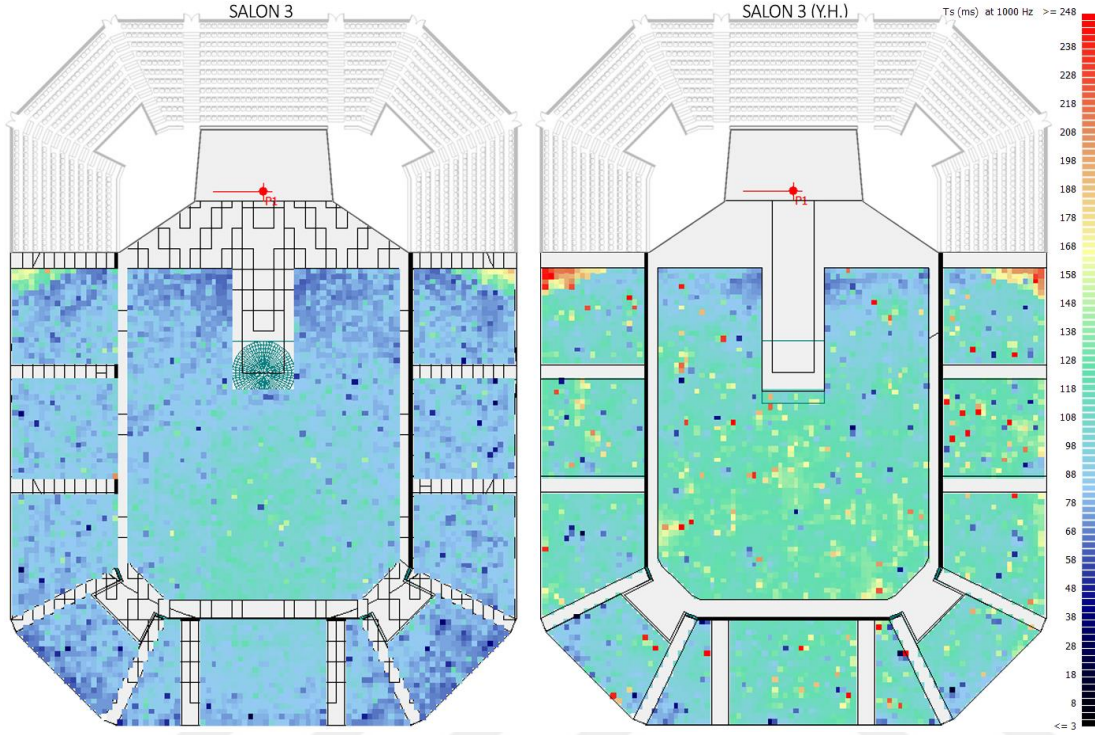
- 1, 9, 35 ve 45 numaralı alıcılarda düşük  $T_s$  değerleri olarak görülmektedir.



**Şekil 5.81 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen  $T_s$  değerleri (1000 Hz).

Salon 3 için ölçülen  $T_s$  değerleri, salonun yalın hali ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında; salonun genelinde  $T_s$  değerlerinde düşüş sağlandığı doğrulanmaktadır, Şekil 5.82. Değişken akustik uygulamaları aracılığı ile yutucu durumlarında kullanılan arka duvar ve tavan yüzeylerinin, merkez süre parametresinde azaltım sağlayarak bu duruma katkı sağladığı sonucuna varılabilmektedir.

Güçlendirilmiş müzikte kullanılan elektro-akustik sistem nedeni ile merkez sürenin mümkün olduğu kadar kısa olması tercih sebebi olmaktadır. Merkez sürenin çınlama ile paralel biçimde arttırılarak elektronik olarak ayarlanması mümkün iken azaltılması mümkün değildir.



**Şekil 5.82 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_s$  değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

### 5.3.5 Bas oranı (BR)

BR parametresi Bölüm 2.3.3'te belirtildiği üzere düşük frekanslardaki (125, 250 Hz) çınlama süresinin orta frekanslardaki (500, 1000 Hz) çınlama süresine oranıdır. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı 1,0 ila 1,2 arası olarak belirlenmiştir. Güçlendirilmiş müzikte düşük frekanslar için daha kısa çınlama süresi gerekliliği, bas oranının da daha düşük olması gereksinimini doğurmaktadır.

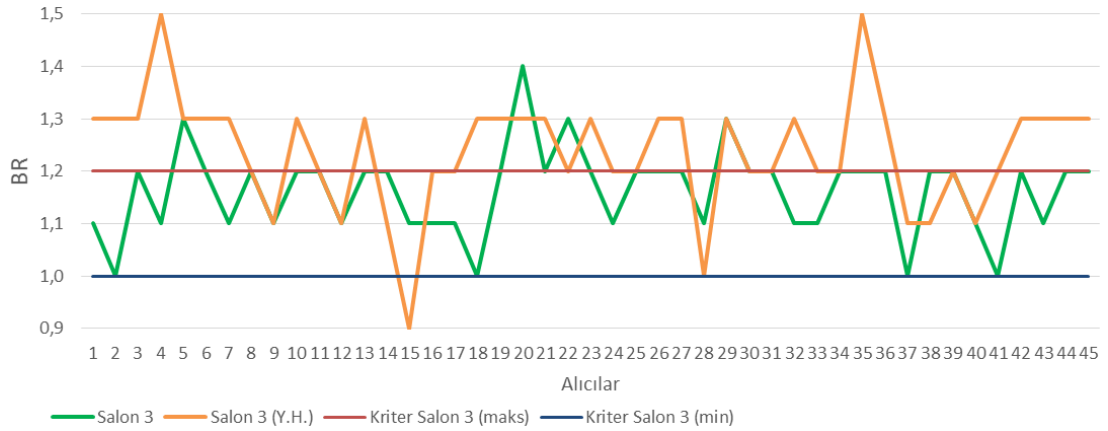
Şekil 5.83'te BR değerlerinin alıcı bazındaki değerleri, referans değerler ve yalın hali ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salonun arttırılan yutuculuğunun BR değerinin de azalmasına yol açtığı ve salon genelinde optimum aralığa daha uygun hale geldiği anlaşılmaktadır.

Alıcı bazında ölçülen değerler incelendiğinde salonun genelinde istenen aralık içinde olduğu görülmektedir.



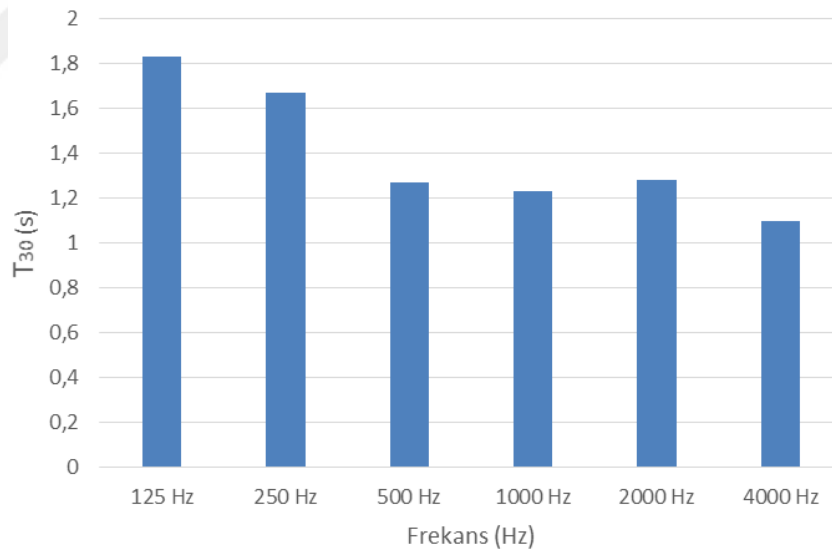
Buna rağmen bazı alıcı noktadaki sapmalar:

- 5, 20, 22 ve 29 numaralı alıcılarda yüksek BR değerleri olarak görülmektedir.



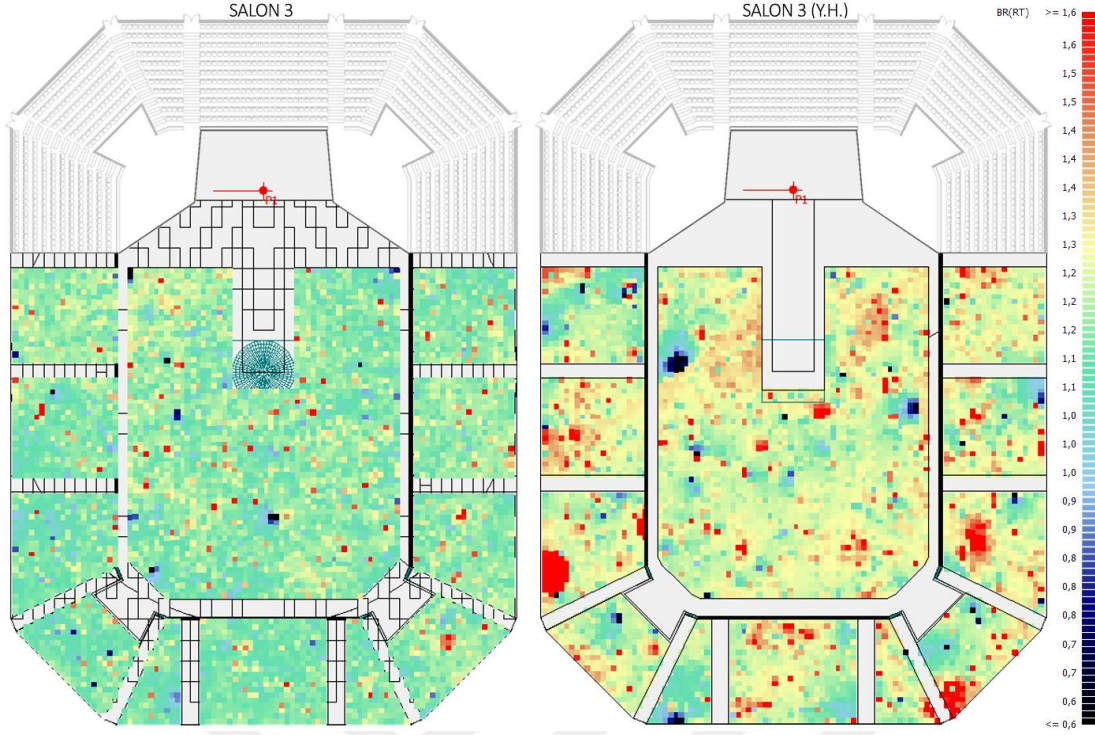
Şekil 5.83 : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri.

20 numaralı alıcıda ölçülen 1,4'lük BR değerinin sebebi incelendiğinde, alıcı noktada 125 Hz frekans bandında ölçülen 1,83 saniyelik yüksek çınlama süresinin bu duruma yol açtığı çıkarımı yapılabilir. Alıcının güçlendirilmiş müzik için istendiği gibi düz olmayan çınlama eğrisi sebebi ile BR parametresi de yüksek çıkmaktadır, Şekil 5.84.



Şekil 5.84 : Salon 3 için 20 numaralı alıcıda ölçülen çınlama süresi (T<sub>30</sub>) değerleri.

Salonun alıcı yüzeyleri yalın ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında, bas oranının hem istenilen aralığa getirildiği hem de hacimde daha homojen olarak dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır, Şekil 5.85. Bölgesel artış (kırmızı) ve düşüş (lacivert) olarak gözüken bölgeler, ses alanının ve dolayısı ile çınlama süresinin hacim içinde daha homojen yayılması ile giderilebilmektedir.



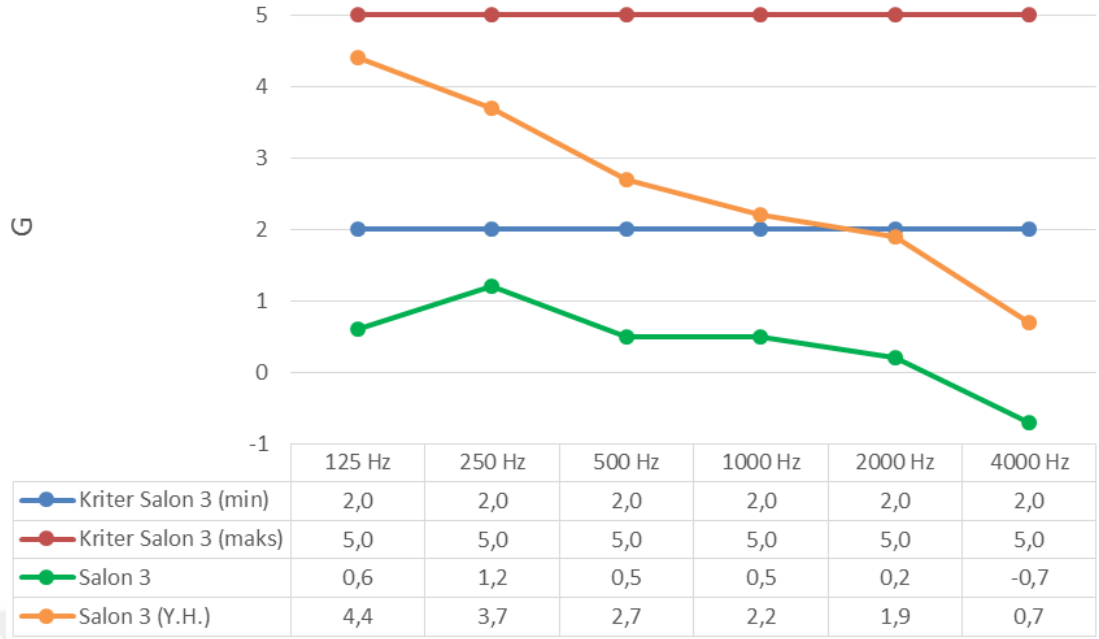
**Şekil 5.85 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması.

### 5.3.6 Ses şiddeti (G)

G parametresi Bölüm 2.3.2'de de belirtildiği üzere ses şiddetinin dinleyiciler üzerindeki etkisini belirtmektedir ve 31 dB'lik çok yönlü ses kaynağı ile ölçülebilmektedir. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı güçlendirilmiş müzik için özel olarak belirtilmediği için klasik müzik ile aynı olacak şekilde 2 ila 5 arası olarak belirlenmiştir.

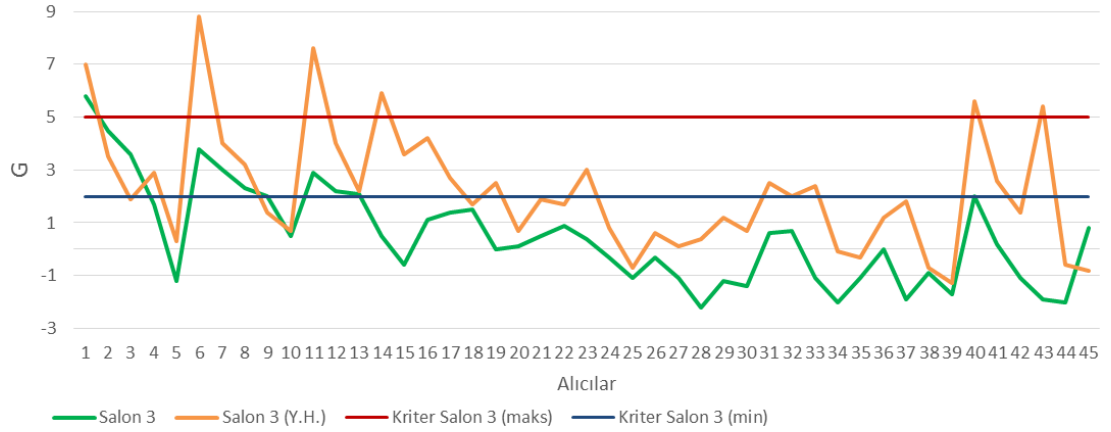
Kaynaktan uzaklaşıldıkça, yutuculuk arttırıldıkça ve hacim büyüdükçe düşüş göstermesi olağandır. Güçlendirilmiş müzikte gerekli ses şiddetinin hoparlörler ile sağlanması sebebiyle G parametresi için literatürde bir kriter bulunmamaktadır ve değerlendirmeler de bu durum gözetilerek yapılmıştır.

Şekil 5.86'da G parametresinin Salon 3 için 1/1 oktav bantı frekanslarında ölçülen ortalama değerleri ve klasik müzik için belirlenmiş maksimum, minimum kriter değerleri yer almaktadır. Tüm frekans bantlarında salon genelinde ölçülen ortalama G değerlerinin referans aralığının altında kaldığı görülmektedir. Salonun mümkün olduğunca arttırılmaya çalışılan yutucu karakteristiği nedeni ile bu durum olağan karşılanabilmektedir.



**Şekil 5.86 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama G değerleri ve kriter değerler ile karşılaştırılması.

Şekil 5.87’de G parametresinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans değerler ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salonun genelinin belirlenen kriter aralığının altında kaldığı, kaynaktan uzaklaştıkça ses şiddetinin de azaldığı görülmektedir.



**Şekil 5.87 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçülen G değerleri (1000 Hz).

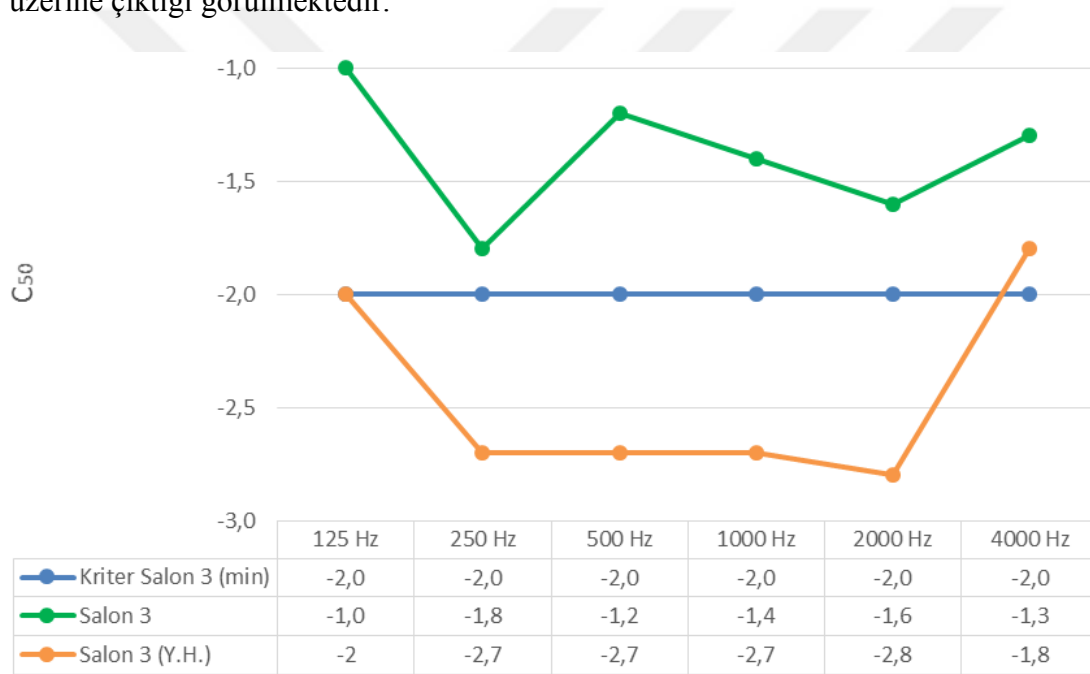
### 5.3.7 Konuşmada netlik ( $C_{50}$ )

$C_{50}$  parametresi Bölüm 2.3.4’te belirtildiği üzere erken ulaşan sesin (ilk 50 milisaniye), geç ulaşan sese oranıdır. Genel olarak konuşmada netliği değerlendirilmede kullanılsa da güçlendirilmiş müzikte de şarkı sözlerinin anlaşılabilirliğini değerlendirmede kullanılabilir. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı -2 ve üzeri olarak belirlenmiştir. Çınlama

süresi yükseldikçe azalır, çınlama süresi azaldıkça ise artar. Bu durumla birlikte, çınlama eğrisi güçlendirilmiş müzik için doğru biçimde ayarlanmış bir salonda  $C_{50}$  parametresinin frekans bantları arasında mümkün olduğunca düz bir eğim göstermesi beklenir.

Şekil 5.88’de  $C_{50}$  parametresinin Salon 3 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama değerleri ve minimum kriter değeri ile karşılaştırması yer almaktadır. Salon genelinde ölçümlenen ortalama  $C_{50}$  değerlerinin, yapılan akustik düzenlemelerle birlikte minimum referans değerinin üzerine çıkarıldığı görülmektedir.

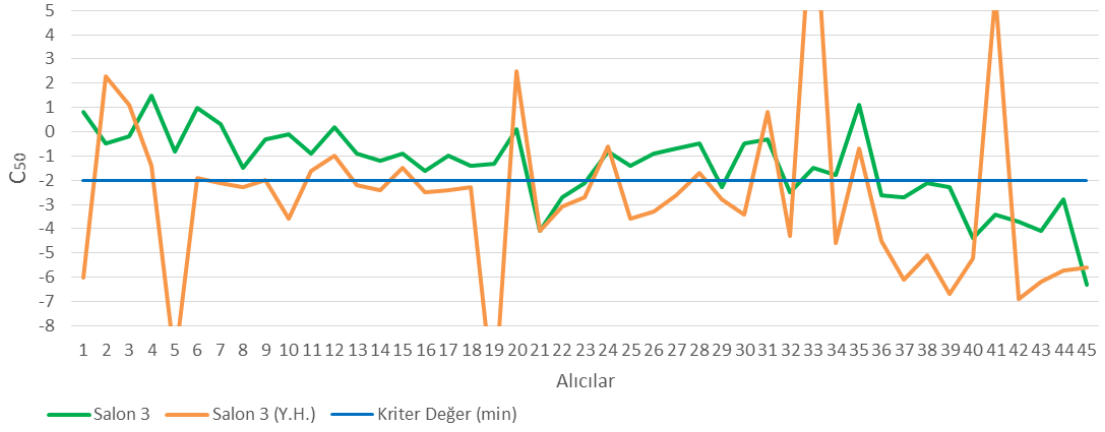
Salon yalın hali ile karşılaştırıldığında, sağlanan yutuculuk ve daha kısa çınlama süresi ile birlikte konuşmada netliğin de arttığı ve alt sınır olarak belirlenen  $-2,0$ ’nin üzerine çıktığı görülmektedir.



**Şekil 5.88 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama  $C_{50}$  değerlerinin minimum kriter değeri ile karşılaştırılması.

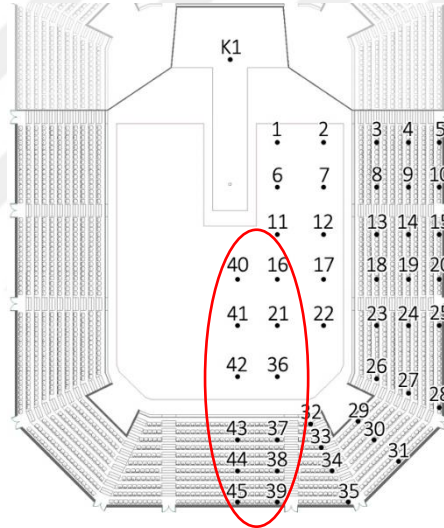
Şekil 5.89’da  $C_{50}$  parametresinin 1000 Hz frekans bandı için alıcı bazındaki değerleri, referans değeri ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salondaki alıcılardan çoğunun belirlenen kriter aralık ile uyumlu olarak değerler aldığı görülmektedir. Çınlama süresinin düşük tutulması sayesinde  $C_{50}$  değerlerinin kaynağa çok uzak olan alıcı noktaları dışında sınır değerinin altına düşmediği görülmektedir. Bazı alıcı noktalarda görülen sapmalar:

- 21 numaralı ve 36-45 arasındaki alıcılarda düşük  $C_{50}$  değerleri, olarak görülmektedir.



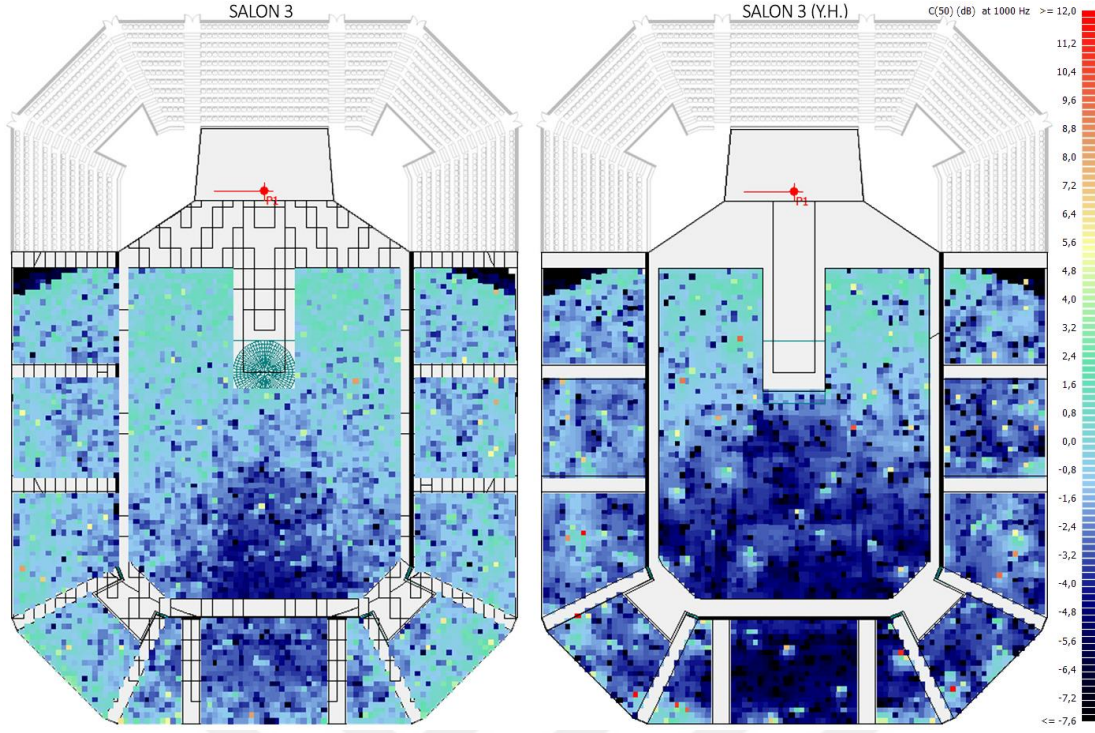
**Şekil 5.89** : Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen  $C_{50}$  değerleri (1000 Hz).

21 ve 36-45 numaralı alıcıların salondaki konumları Şekil 5.90'daki plan şemasında gösterilmektedir.  $C_{50}$  değerleri düşük olan alıcıların, salonun orta bölümünde yer alan ve yeterli yanal yansıma alamayan bir bölgede yer aldığı görülmektedir.



**Şekil 5.90** : Salon 3 için 21 ve 36-45 numaralı alıcıların konumları.

Salon 3'te yapılan akustik düzenlemelerin  $C_{50}$  parametresi üzerindeki etkisi salonun yalın hali ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında, geç ses enerjisinin etkili olduğu koyu mavi bölgelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir, Şekil 5.91. Özellikle saha içi dinleyici alanının orta bölümlerinde görülen düşük  $C_{50}$  değerlerinin, tavanda yutucu panellerin ve reflektörün kullanımı sayesinde geç enerjinin yoğunluğunun azaltılması ile artırıldığı görülmektedir.

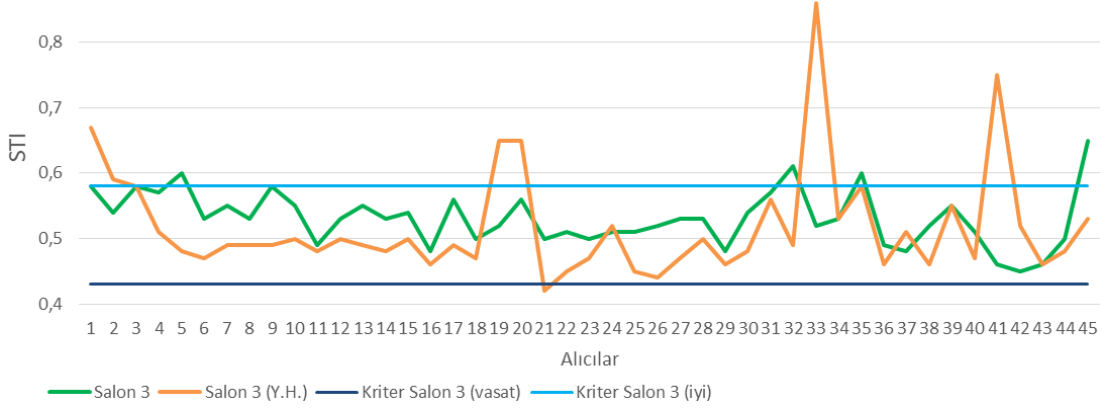


**Şekil 5.91 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen C<sub>50</sub> değerlerinin salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

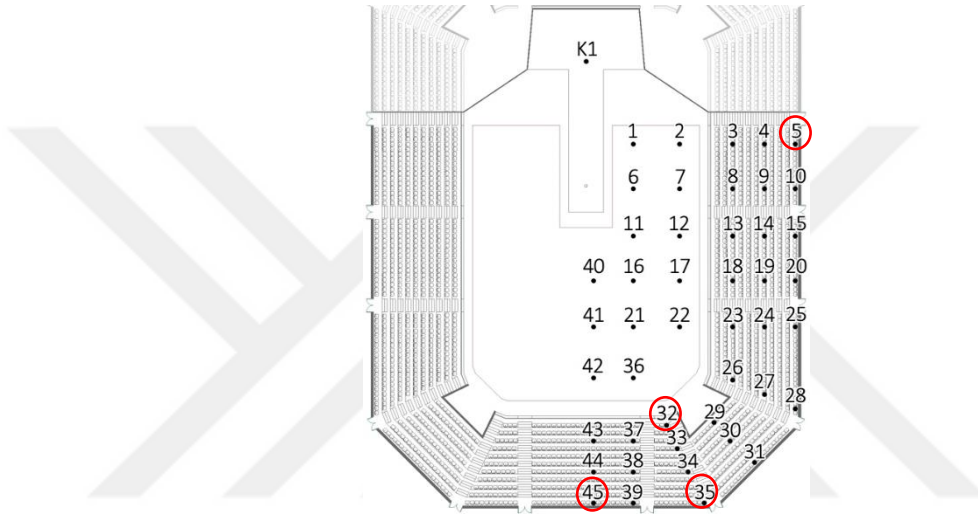
### 5.3.8 Konuşma iletim indeksi (STI)

STI parametresi Bölüm 2.3.9'da belirtildiği üzere konuşmada anlaşılabilirlik niteliğinin derecelendirilmesinde kullanılır ve 0-1 arasında değerler alır. Aynı zamanda güçlendirilmiş müzikte de şarkı sözlerinin anlaşılabilirliğini değerlendirmede kullanılabilir. Sonuç 1'e yaklaştıkça anlaşılabilirlik artmakta, 0'a yaklaştıkça ise azalım göstermektedir. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı 0,45 ve üzeri olarak belirlenmiştir. 0,45-0,60 arası vasat, 0,60-0,75 arası iyi ve 0,75-1,00 arası çok iyi olarak derecelendirilmektedir.

Şekil 5.92'de STI parametresinin alıcı bazındaki değerleri, referans değer ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salondaki alıcılardan çoğunun vasat olarak değerlendirilen 0,45-0,60 arasında değerler aldığı görülmektedir. 5, 32, 35 ve 45 numaralı alıcılar ise 0,60 değerini aştığı için iyi anlaşılabilirliğe sahip noktalar olarak değerlendirilebilmektedir. Alıcıların salondaki konumları Şekil 5.93'teki plan şemasında gösterilmektedir.



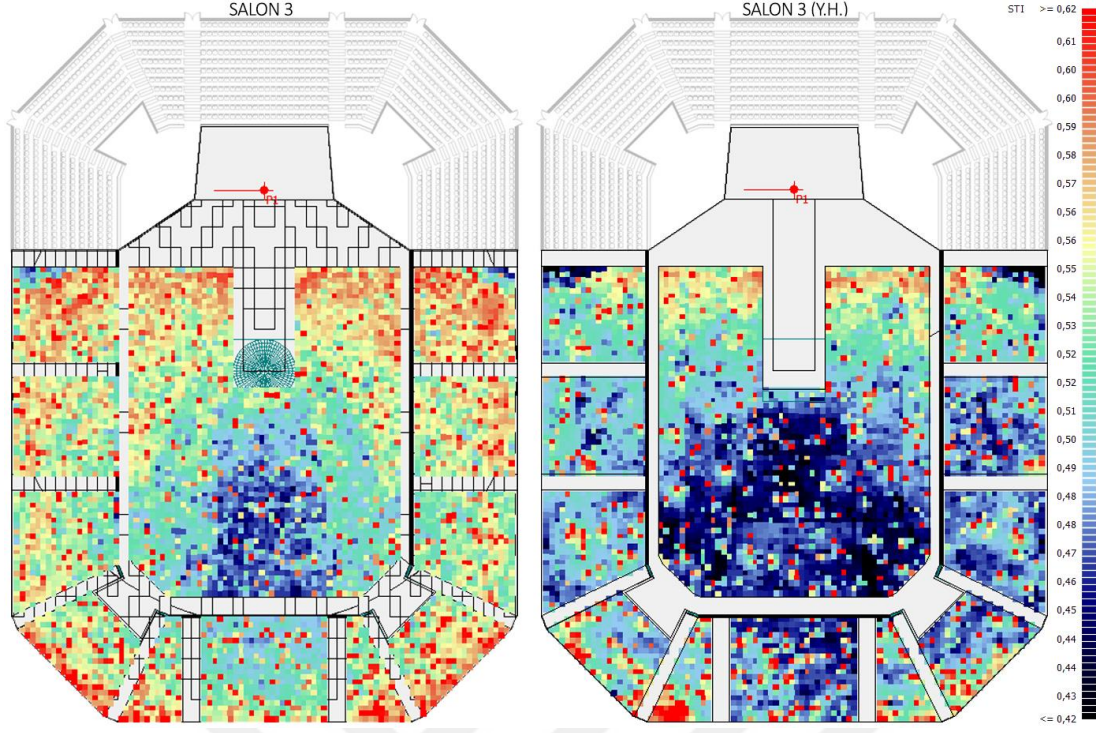
**Şekil 5.92 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen STI değerleri.



**Şekil 5.93 :** Salon 3 için 5, 32, 35 ve 45 numaralı alıcıların konumları.

Salon 3'te yapılan akustik düzenlemelerin STI parametresi üzerindeki etkisi salonun yalın hali ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında, düşük anlaşılabilirliğe sahip lacivert bölgelerin yoğunluğunun azaldığı görülmektedir, Şekil 5.94. Özellikle saha içi dinleyici alanının orta bölümlerinde görülen düşük STI değerlerinin, tavanda yutucu panellerin ve arka duvarda şişen membran yutucuların kullanımı sayesinde geç enerjinin yoğunluğunun azaltılması ile arttırıldığı anlaşılmaktadır.

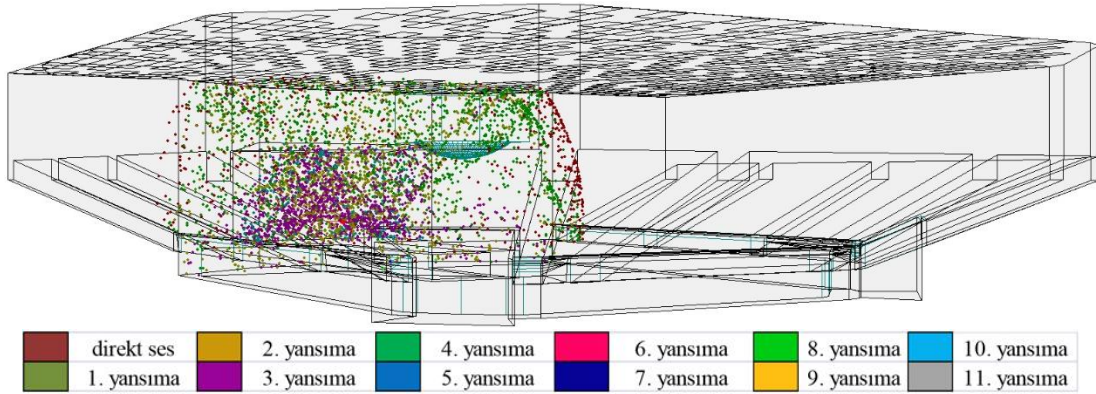
Salon genelinde elde edilen daha yüksek STI değerleri, elektro-akustik sistemin de daha etkin kullanılmasını sağlamakta ve yüksek ses gücü sağlama ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Böylelikle elektro-akustik sistemlerde aşırı ses gücü ile sağlama amacı ile ortaya çıkabilecek ses patlamaları ve uğultu (howling) sorunlarının da oluşma ihtimali azaltılmış olur.



**Şekil 5.94 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen STI değerlerinin salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması.

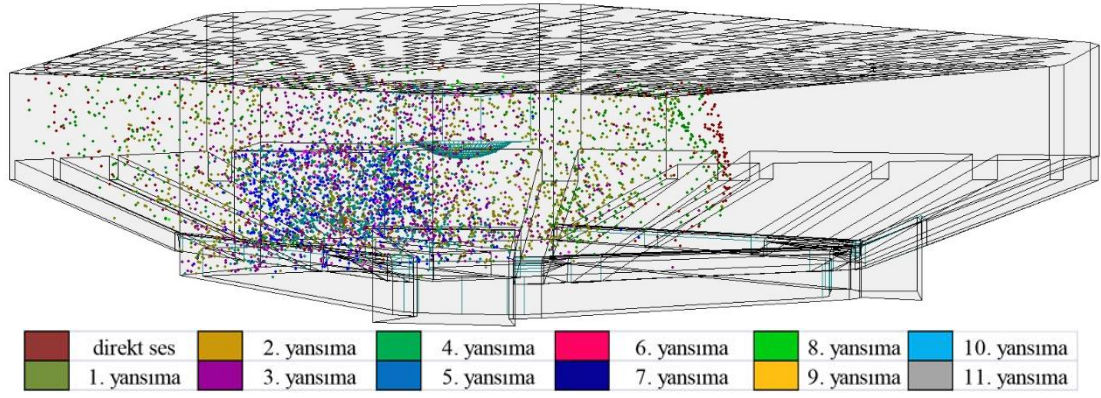
### 5.3.9 Sesin iletimi ve eko kontrolü

Şekil 5.95, Şekil 5.96, Şekil 5.97 ve Şekil 5.98'de sırasıyla 50., 80., 135. ve 180. milisaniyelerde alınan sesin küresel yayılımının modellendiği noktasal dağılım grafikleri incelendiğinde sesin hacim içinde homojen bir biçimde yayıldığı, ancak sahnedeki kaynağa olan uzaklığı 40 metreyi geçen tribün alanlarına sesin 135 milisaniyeden sonra ulaştığı görülmektedir. Hacimde kullanılan elektro-akustik sistemler ile bu sorun giderilebileceği ve erken ses enerjisinin salonun geneline yayılabileceği düşünülebilir.

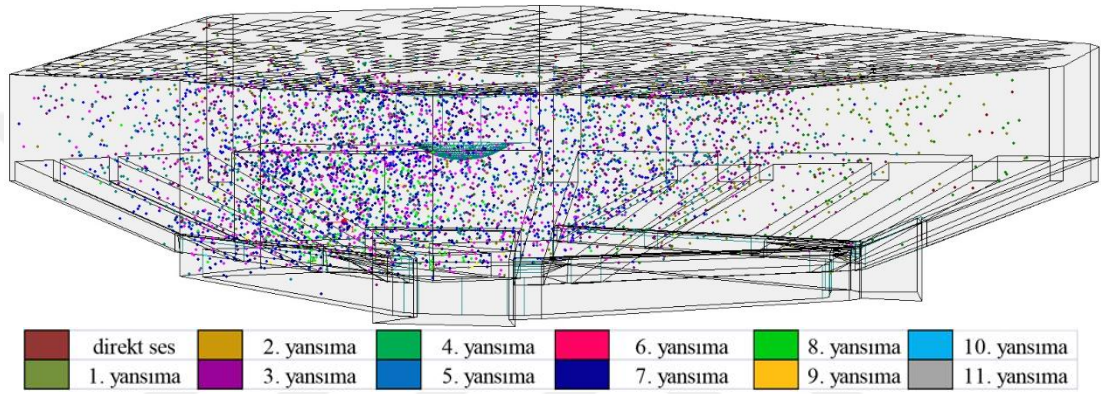


**Şekil 5.95 :** Salon 3'te 50. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.

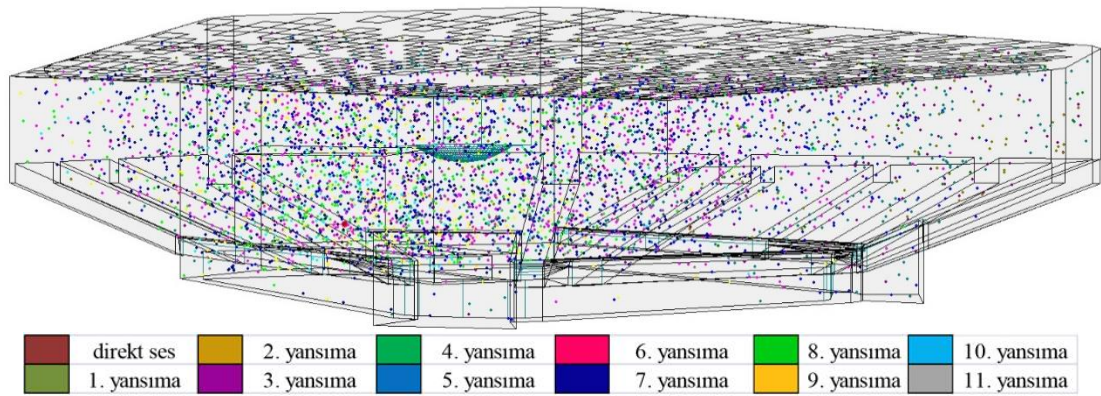




**Şekil 5.96 :** Salon 3'te 80. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.

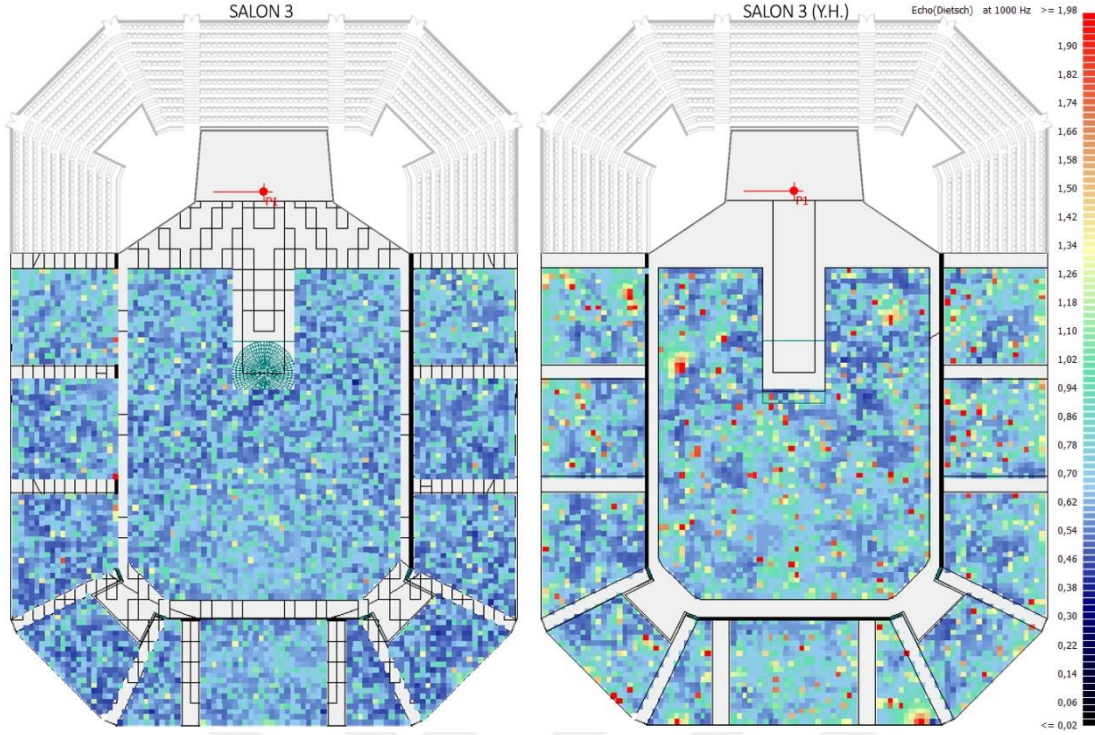


**Şekil 5.97 :** Salon 3'te 135. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.



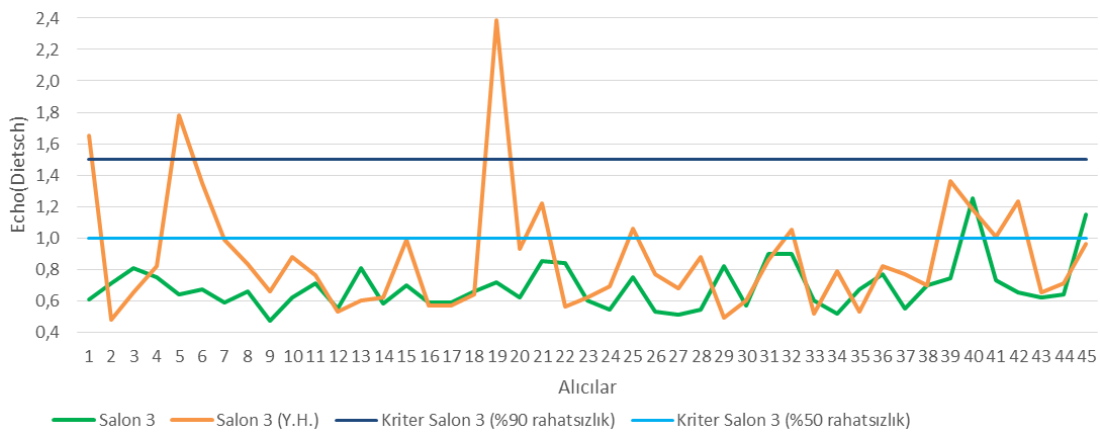
**Şekil 5.98 :** Salon 3'te 180. milisaniyedeki noktasal dağılım analizi.

Salonun 56 metreyi aşan uzunluğu ve kaynağa 50 metre uzaklıkta konumlandırılmış alıcıları sebebi ile arka bölümlere sesin geç ulaşmasının doğal olarak yorumlanabileceği bu durumda, geç yansımaların eko kusuru oluşturma ihtimaline karşı Echo(Dietsch) parametresinin de grid analizi yapılmıştır, Şekil 5.99.



**Şekil 5.99 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, salonun yalın hali (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

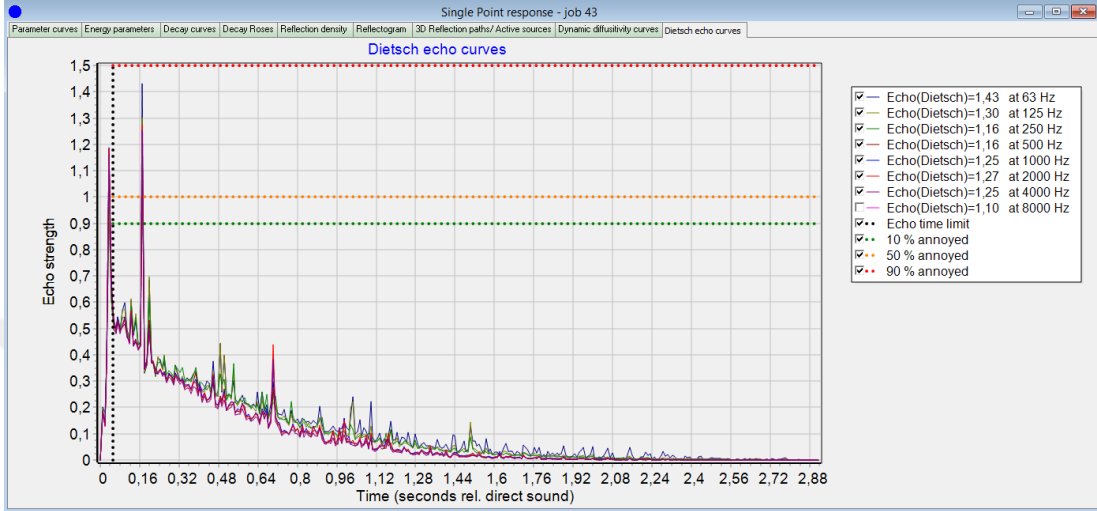
Şekil 5.99'daki grid analize bakıldığında yapılan akustik düzenlemelerle, hacim genelinde Echo(Dietsch) parametresi için sorunlu olarak kabul edilebilecek 1,50'nin üzerindeki (kırmızı) bölgelerin giderildiği ve hacmin genel ortalamasının da düşürüldüğü görülmektedir. Aynı zamanda salonda alıcı bazında ölçülen Echo(Dietsch) değerleri, üst sınır değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir, Şekil 5.100.



**Şekil 5.100 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri (1000 Hz).

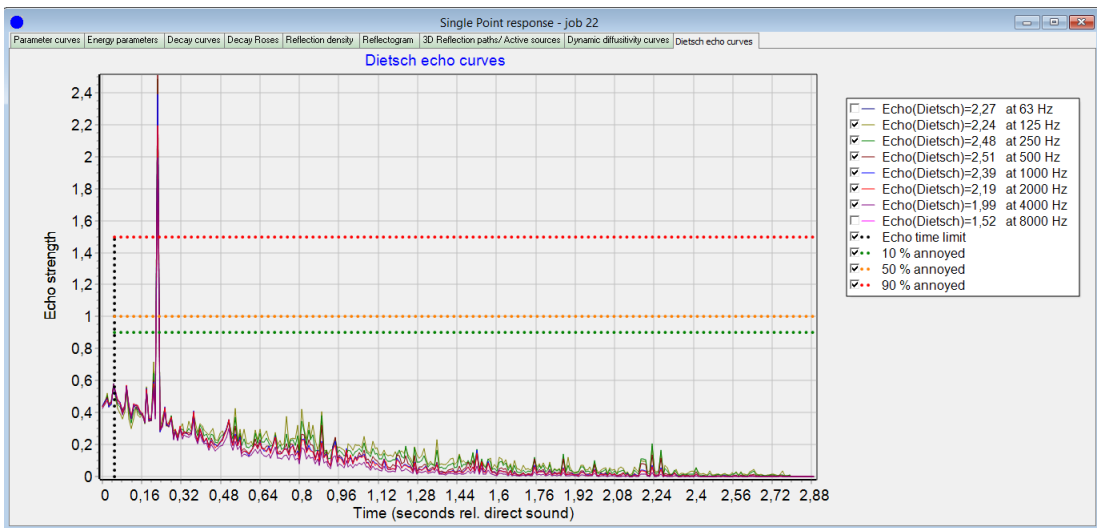
Alıcı noktalarında 1000 Hz frekans bandında minimum 0,47, maksimum 1,25 olarak ölçülen Echo(Dietsch) parametresi salon genelinde %90 rahatsızlık derecesi olarak

tanımlanan 1,50'lik sınır değerin altında dağılım göstermektedir. %50 rahatsızlık derecesi olarak belirlenmiş 1,00'lik kriter değer için değerlendirildiğinde ise sadece 40 ve 45 numaralı alıcıların sınırın üzerine çıktığı görülmektedir. 1,25 ile en yüksek değerin ölçüldüğü 40 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi Şekil 5.101'de gösterilmektedir.



Şekil 5.101 : Salon 3'te 40 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi.

Salon 3'ün yalnız halinde 2,39 ile en yüksek Echo(Dietsch) parametresinin ölçüldüğü 19 numaralı alıcının eko grafiği Şekil 5.102'de gösterilmektedir. Alıcının aldığı yansımalar incelendiğinde; yansıtıcı arka duvar ve tavandan yansıyarak gelen ses dalgasının direkt sestten 185 ms sonra alıcıya ulaşarak, rahatsız edici derecede eko kusurunun oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır.



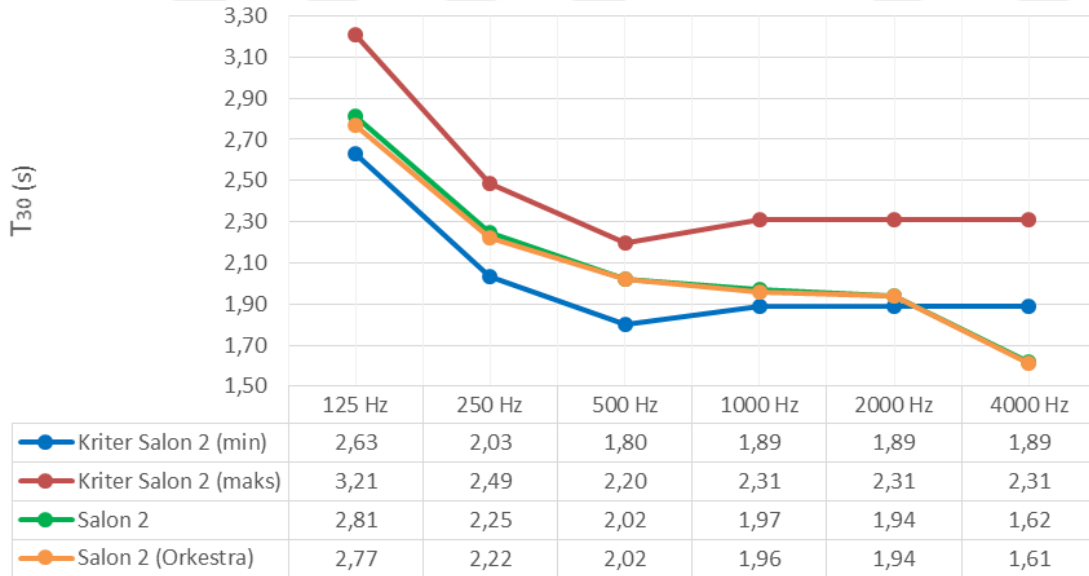
Şekil 5.102 : Salon 3 (Y.H.)'de 19 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi.

## 5.4 Salon 2 Üzerinde Orkestral Kaynak Etkisinin Akustik Analizi

Bölüm 5.1, Bölüm 5.2 ve Bölüm 5.3'teki bütün analizler her oktav bandında eşdeğer ses gücüne (31 ve 90 dB) sahip noktasal kaynak ile yapılmıştır. Ancak kaynağın salondaki akustik performansı ve akustik parametreleri doğrudan etkileyen bir faktör olduğu gözetilerek, orkestral kaynağın da salon üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Klasik müzik için tasarlanan Salon 2 tasarım varyasyonunda, Bölüm 4.4.1'de belirtildiği gibi enstrümanlar sahne üzerinde tek tek kaynak olarak belirlenerek simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Salonun orkestral kaynaklı varyasyonunun akustik değerlendirilmesinde kriter olarak  $T_{30}$  ve EDT,  $C_{80}$ ,  $LF_{80}$ ,  $T_s$ , BR ve SPL parametreleri kullanılmıştır. G parametresinin ölçümü için çok yönlü (omnidirectional) ve 31 dB ses gücüne sahip tekil bir kaynak gerektiğinden, ses şiddeti değerlendirmesi ses basınç düzeyi (SPL) üzerinden yapılmıştır.

### 5.4.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT)

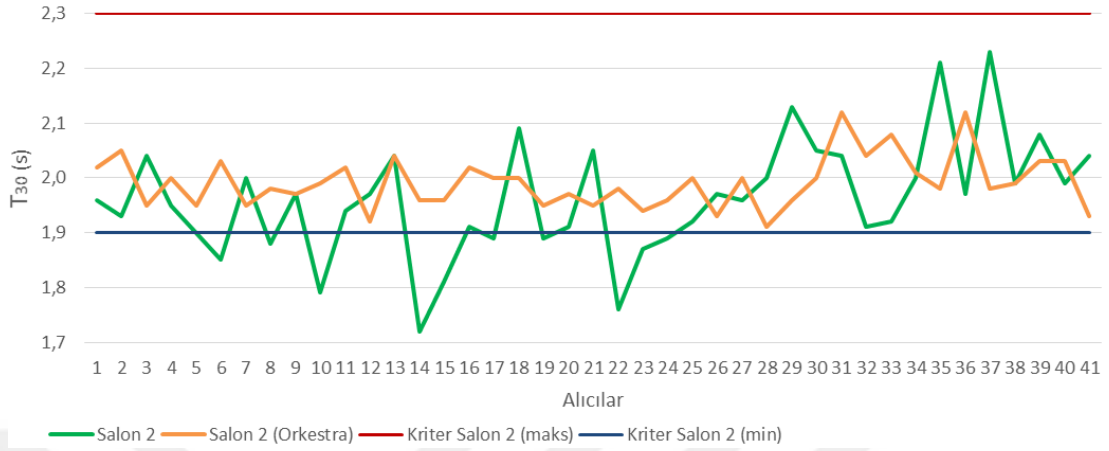
Bölüm 4.5.1'de anlatılardan yola çıkılarak, değerlendirmede referans olarak alınan çınlama süresi aralığı ve simülasyon üzerinde ölçülen değerlerin bu aralığa uyumu Şekil 5.103'te gösterilmektedir.



Şekil 5.103 : Salon 2 genelinde orkestral kaynak ile ölçülen çınlama sürelerinin karşılaştırılması.

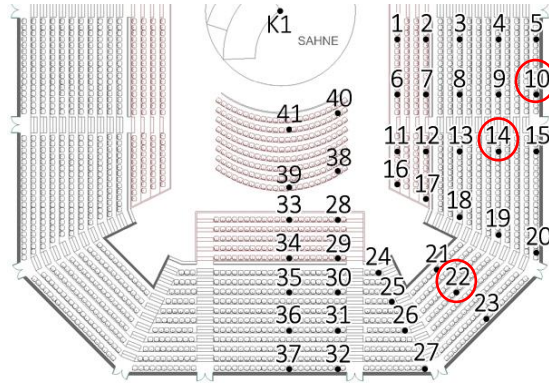
Orkestral kaynağın, çok yönlü kaynağa göre salonun genelinde ölçülen çınlama süresine önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 5.103'te bütün oktav bantlarda neredeyse aynı çınlama süreleri görülmektedir.

Klasik müzik konserleri için akustik düzenlemeleri yapılan salon tasarımında, orkestral kaynağın etkisinin belirlenmesi amaçlı yapılan alıcı bazındaki karşılaştırma Şekil 5.104'te yer almaktadır.



**Şekil 5.104 :** Salon 2'de alıcı noktalarda ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırılması (1000 Hz).

Kullanılan kaynağın çınlama süresi ölçümüne etkisi alıcı bazındaki karşılaştırma ile daha net görülmektedir. Çok yönlü kaynak ile 10,14 ve 22 numaralı alıcılar gibi optimum aralığın altında kalan noktaların kayda değer bir yükseliş yaşayarak, aralığın içinde yer aldığı görülmektedir, Şekil 5.104. Bu alıcı noktaların konumları Şekil 5.105'te gösterilmektedir.

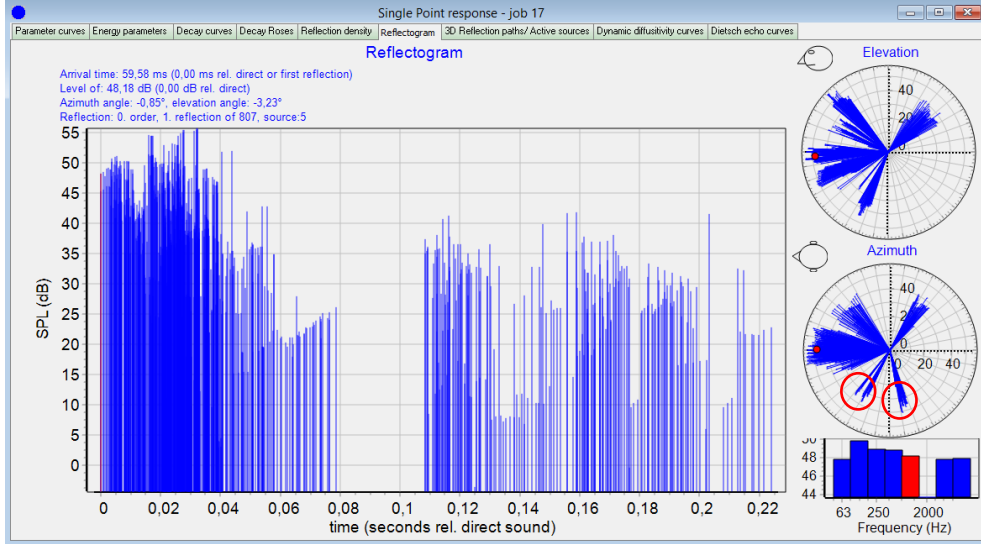


**Şekil 5.105 :** Salon 2'de 10, 14 ve 22 numaralı alıcıların konumları.

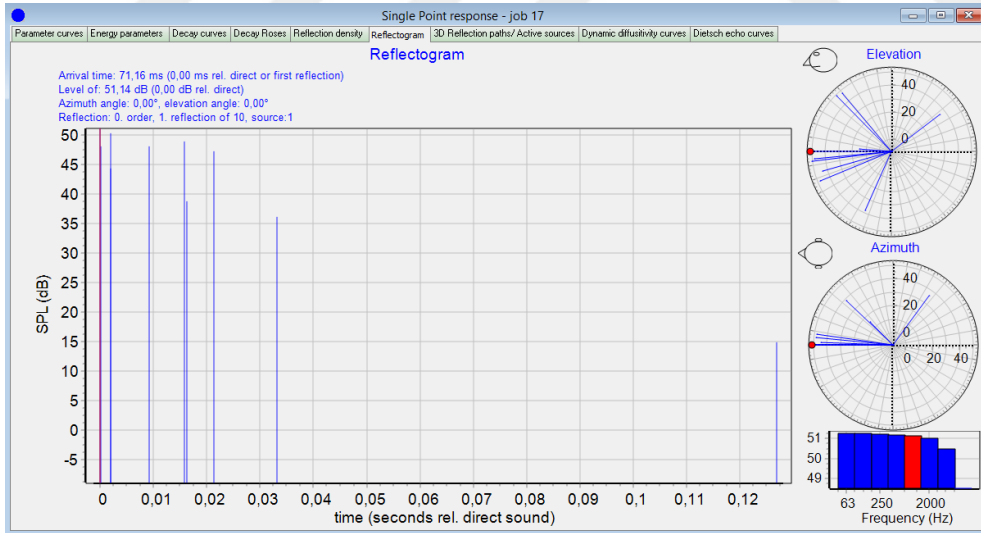
Çınlama süresinde (1,72 s-1,97 s) en fazla değişimin gözlemlendiği 14 numaralı alıcının enerji diyagramları her iki kaynağın da modellendiği simülasyonlar için karşılaştırılarak incelenmiştir, Şekil 5.106 ve Şekil 5.107.

Çok yönlü kaynağa direkt sestten sonra 130 ms boyunca yansıma alınırken, orkestral kaynağa farklı enstrümanlardan çok sayıda olmak üzere 220 ms boyunca yansımalar alınmaktadır. Bu sebeple alıcı noktasındaki çınlama süresinin de arttığı sonucuna

varılabilir. Orkestral kaynaktan alınan geç yansımalar yoğun olarak sahnenin arka bölümünden (+0,90 kotu) arka duvara yansiyarak alıcıya ulaşmaktadır. Çok kaynaklı yapı sayesinde tek kaynak ile yansıma gelmeyen farklı yönlerden de yansıma alındığı görülmektedir. Bu durum sonucunda, öznel parametrelerden kucaklama ve kuşatılma etkilerinin de arttığı sonucuna varılabilir.

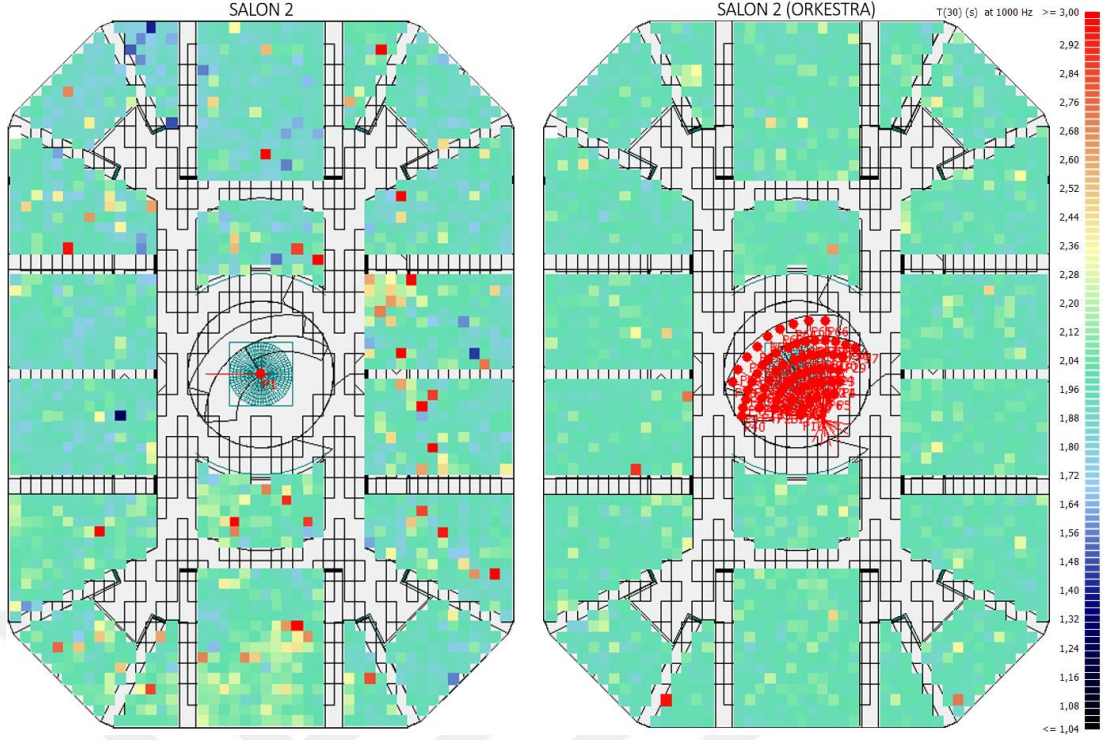


Şekil 5.106 : Salon 2'de 14 numaralı alıcının enerji diyagramı (Orkestra).

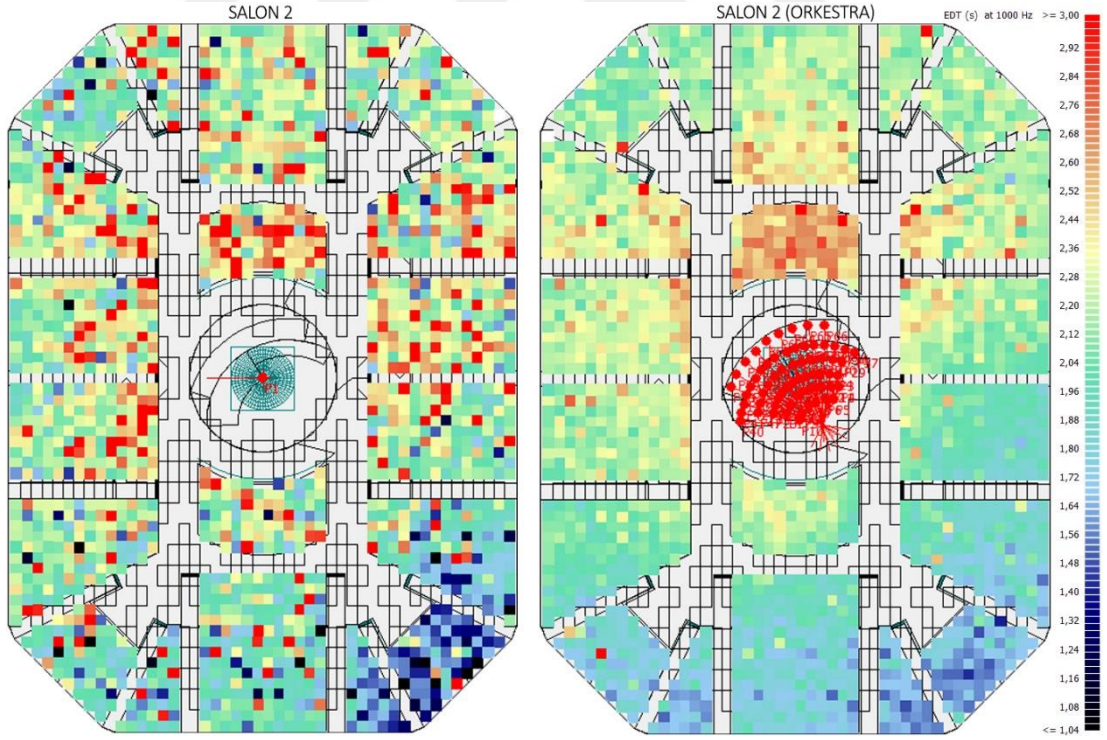


Şekil 5.107 : Salon 2'de 14 numaralı alıcının enerji diyagramı.

Salon genelinde çınlama süresinin yayılımı, Odeon'da grid analiz yardımı ile incelendiğinde de orkestral kaynağın homojen yayılıma etkisi net olarak görülmektedir, Şekil 5.108 ve Şekil 5.109.



**Şekil 5.108** : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).



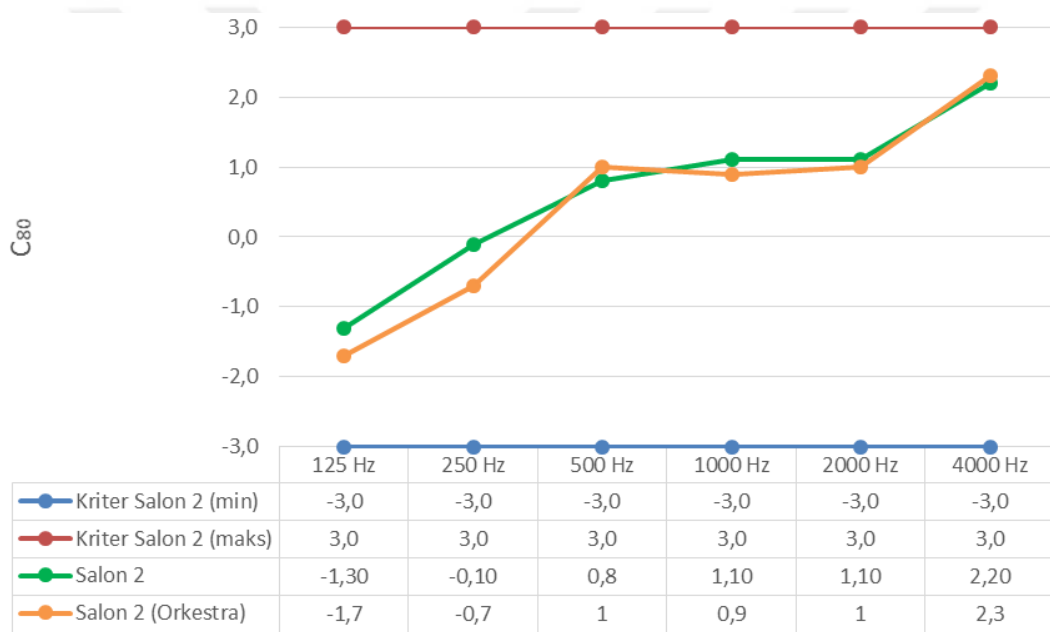
**Şekil 5.109** : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

Kıyaslama yapıldığında özellikle EDT parametresi için salonun çok yönlü kaynak kullanılan varsayılan modelinde daha büyük alansal farklılıkların görüldüğü, bu durumun orkestral kaynak kullanımı ile ortadan büyük oranda kalktığı

görülmektedir. Sahnede çok sayıda kaynağın yer aldığı salon modelinde, ses alanının daha yaygın (diffuse) dağılım göstermesinin sağlandığı sonucuna varılabilir.

#### 5.4.2 Netlik ( $C_{80}$ )

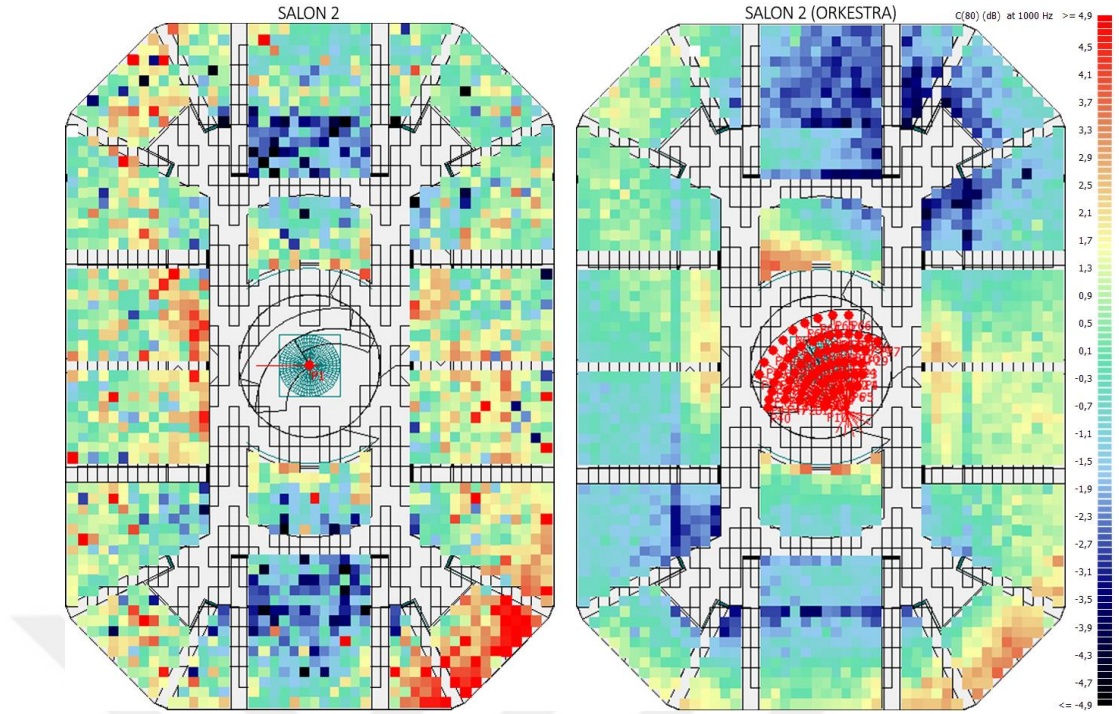
$C_{80}$  parametresi Bölüm 2.3.4'te belirtildiği üzere erken ulaşan sesin (ilk 80 milisaniye), geç ulaşan sese oranıdır. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı -3 ila +3 arası olarak belirlenmiştir. Şekil 5.110'da  $C_{80}$  parametresinin Salon 2 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ortalama değerleri ve orkestral kaynağın modellendiği salon için ortalama değerleri yer almaktadır. Salon genelinde ölçümlenen ortalama  $C_{80}$  değerlerinin kaynak etkisi ile çok fazla değişim göstermediği görülmektedir.



**Şekil 5.110 :** Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama  $C_{80}$  değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırması.

Salon 2'de modellenen orkestral kaynağın  $C_{80}$  parametresi üzerindeki etkisi, salonun varsayılan hali ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında sahne yönelimi etkisinin arttığı görülmektedir, Şekil 5.111. Sahnenin yöneldiği köşe ve ters yönünde oluşan yansıma yoğunluğu sebebi ile yüksek  $C_{80}$  değerleri, diğer iki köşede ise daha az oluşan yansımalar sebebi ile düşük  $C_{80}$  değerleri görülmektedir.

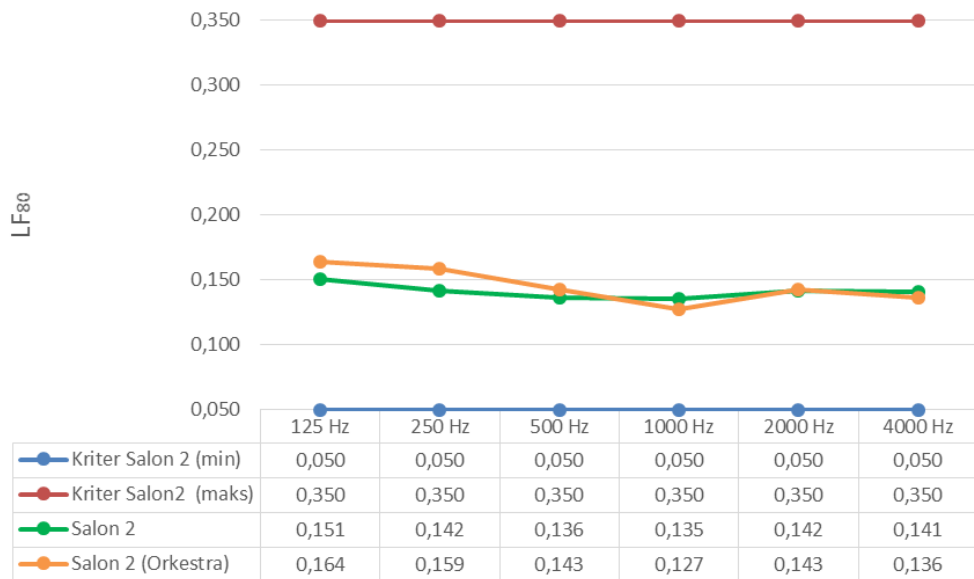




Şekil 5.111 : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen  $C_{80}$  değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

#### 5.4.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ )

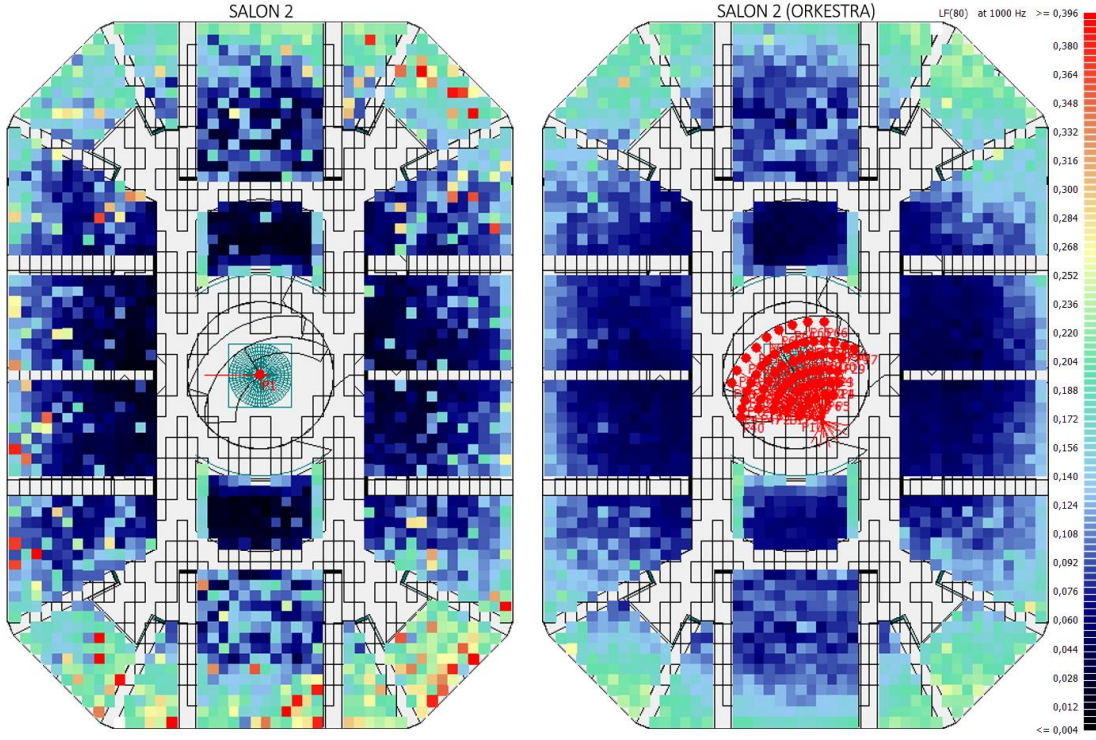
$LF_{80}$  parametresi Bölüm 2.3.5'te belirtildiği üzere erken ulaşan yanal enerjinin (ilk 80 milisaniye), tüm erken ulaşan enerjiye oranıdır. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı 0,05 ila 0,35 arası olarak belirlenmiştir. Şekil 5.112'de Salon 2 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama  $LF_{80}$  değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırması gösterilmektedir.



Şekil 5.112 : Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama  $LF_{80}$  değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırması.

Salonun orkestral kaynak kullanılan halinde de kaynağın değiştirilmesinin,  $LF_{80}$  değerleri üzerinde çok etkin bir değişim sağlamadığı anlaşılmaktadır. Salonda yanal yansımaları daha da arttırabilmek için mimari tasarım özelliklerinde değişiklik yapılarak ara parter duvarları oluşturulması gerekmektedir.

Salonun yetersiz yanal yansıma alan orta bölümleri varlığını sürdürürken, üst sınırı aşan (kırmızı) noktasal kusurların giderildiği görülmektedir, Şekil 5.113.

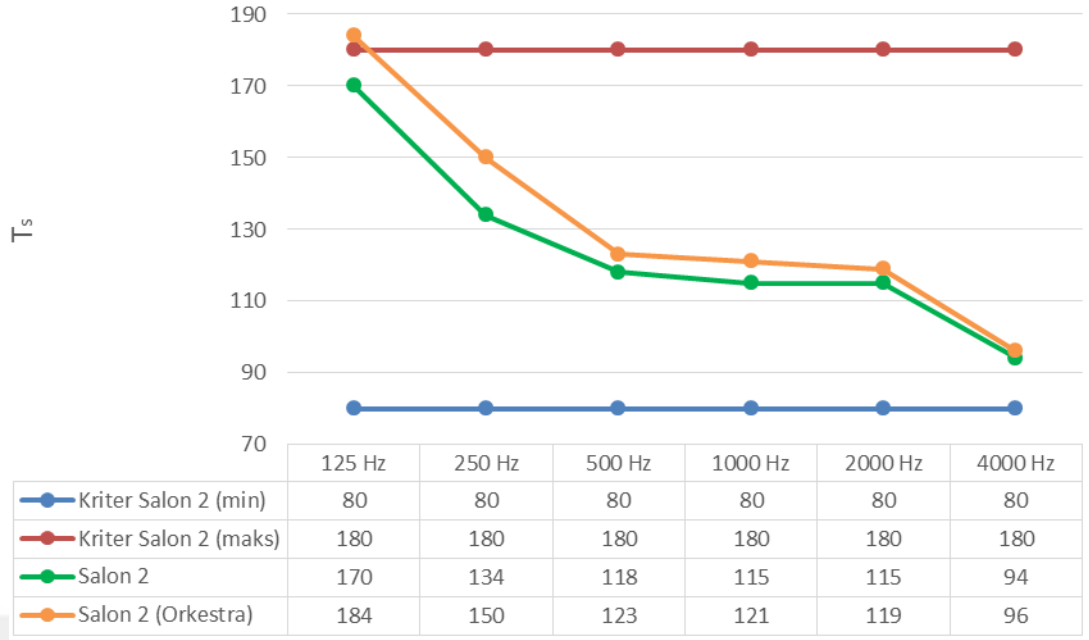


Şekil 5.113 : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen  $LF_{80}$  değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

#### 5.4.4 Merkez süre ( $T_s$ )

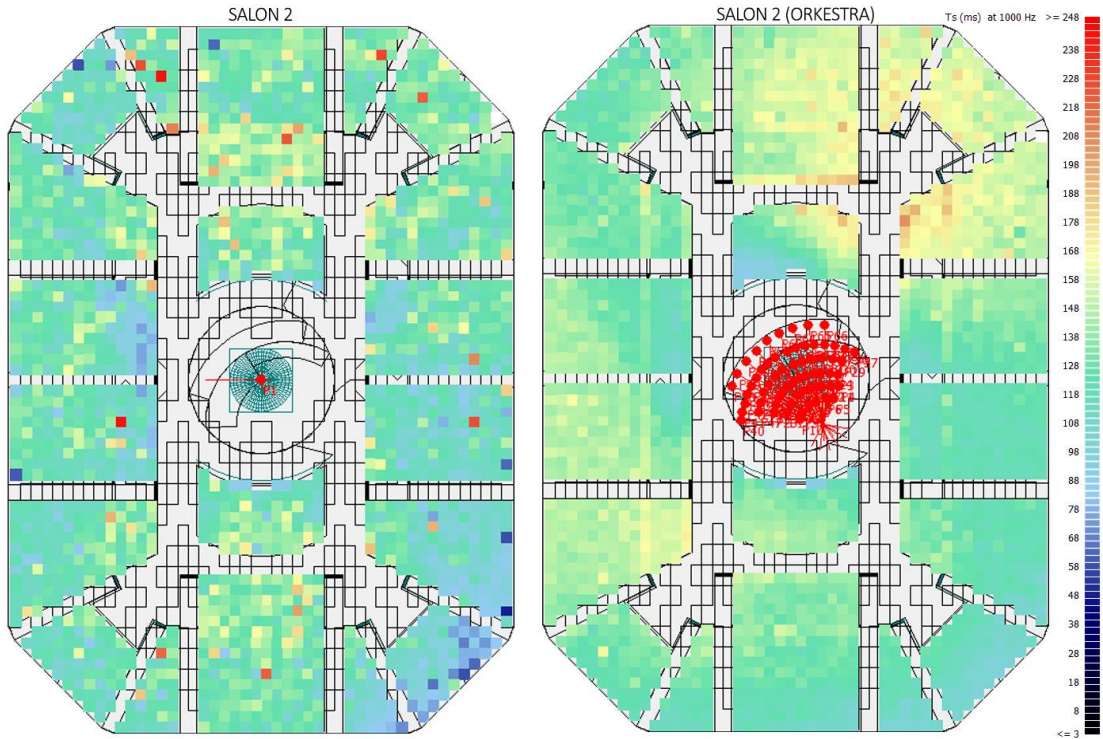
Merkez süre ( $T_s$ ) parametresi Bölüm 2.3.8'de belirtildiği üzere erken ve geç ulaşan yansımaların ağırlık merkezini belirtmektedir. Değerlendirmelerde literatürden referans alınan optimum değer aralığı 80 ila 180 milisaniye arası olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.114'te Salon 2 için çok yönlü kaynak ile 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama  $T_s$  değerleri ve Salon 2 (Orkestra) değerleri bir arada gösterilmektedir. Salon genelinde ölçülen ortalama  $T_s$  değerlerinin bir miktar artış gösterse de referans aralığının içinde kalmaya devam ettiği ve mevcut eğri ile paralel ilerlediği görülmektedir.



**Şekil 5.114 :** Salon 2 için frekanslara bağlı ortalama  $T_s$  değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırması.

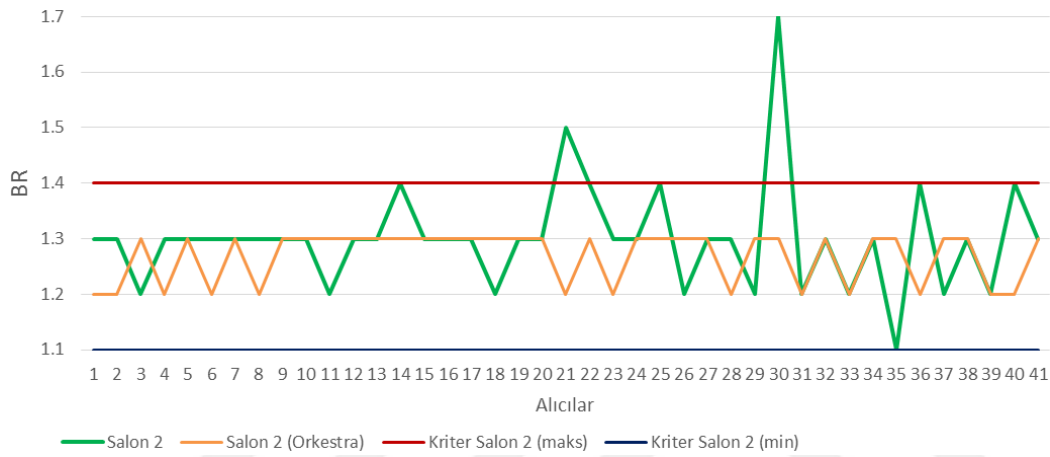
Salonun genelindeki  $T_s$  parametresi yayılımı grid analiz aracılığı ile Şekil 5.115'te gösterilmektedir. Orkestral kaynak ile hacim genelinde daha homojen bir yayılım elde edildiği, ancak sahne yöneliminin etkisinin sağ üst köşe ve sol alt köşede daha yüksek merkez süre değerleri olarak ortaya çıktığı görülmektedir.



**Şekil 5.115 :** Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_s$  değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

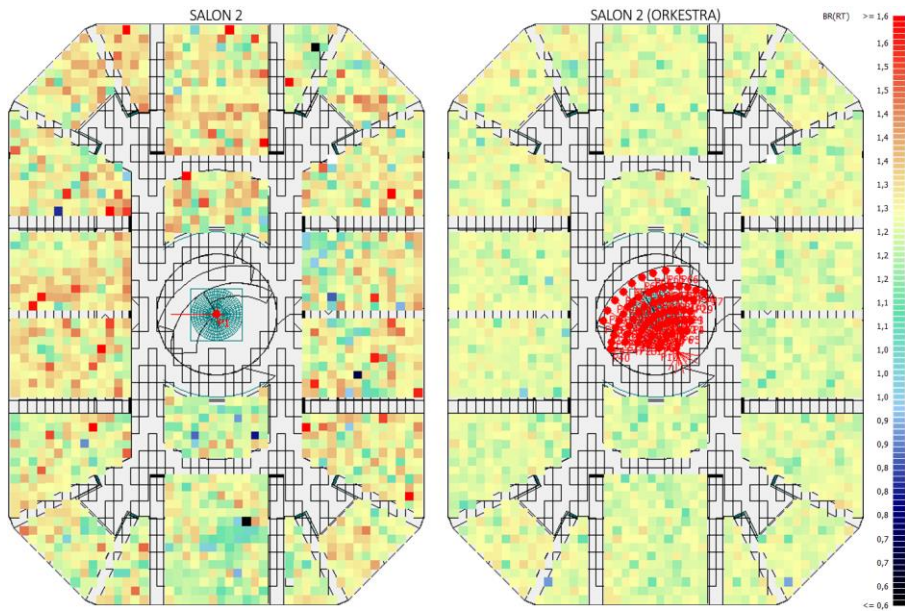
### 5.4.5 Bas oranı (BR)

BR parametresi Bölüm 2.3.3'te belirtildiği üzere düşük frekanslardaki (125, 250 Hz) çınlama süresinin orta frekanslardaki (500, 1000 Hz) çınlama süresine oranıdır. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı 1,1 ila 1,4 arası olarak belirlenmiştir. Şekil 5.116'da orkestral kaynak ile ölçülen alıcı bazındaki BR değerleri, çok yönlü kaynak ile ölçülen değerlerle karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde salondaki tüm alıcı noktaların orkestral kaynak kullanımı ile beraber kriter aralık içine çekildiği görülmektedir.



Şekil 5.116 : Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri ve orkestral kaynak ile karşılaştırılması.

Alıcı yüzeylerindeki değişim grid analiz üzerinden incelendiğinde de, kırmızı ile gösterilen yüksek bas oranına sahip bölgelerin giderildiği görülmektedir, Şekil 5.117.



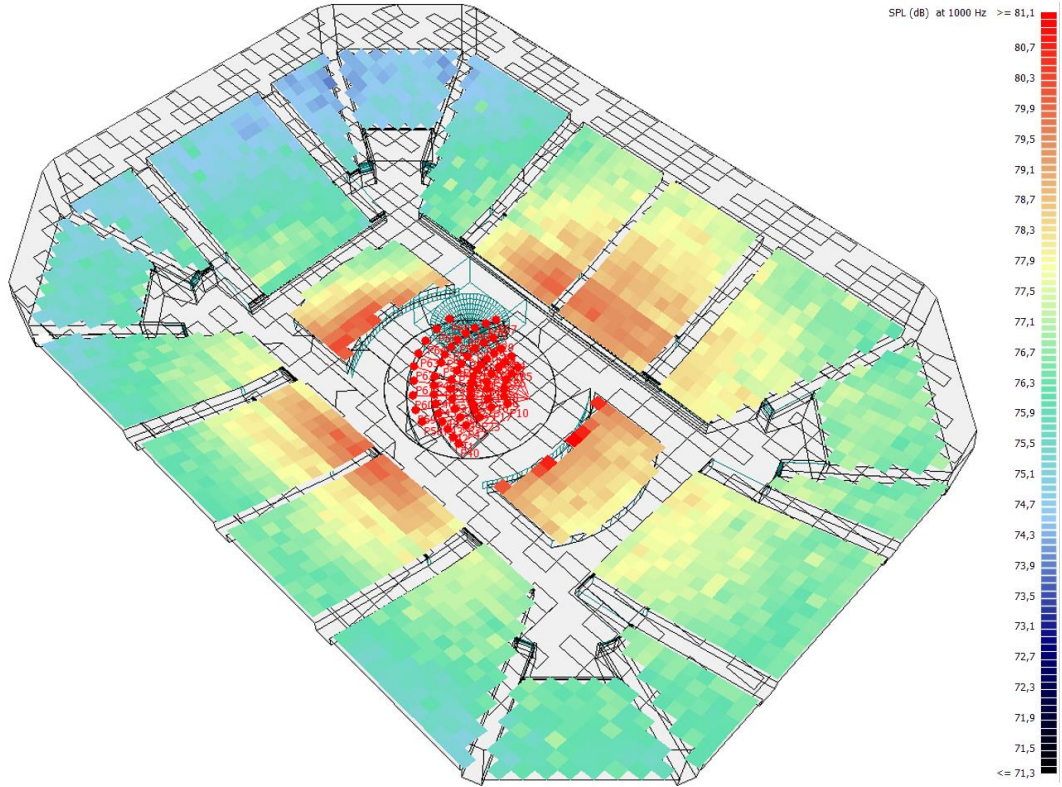
Şekil 5.117 : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin orkestral kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması.

Orkestral kaynak kullanımı ile salon genelindeki BR dağılımının daha homojen hale getirilerek, 1,2-1,3 aralığına indirildiği grid analizlerden anlaşılmaktadır.

#### 5.4.6 Ses şiddeti (SPL)

Salon 2'de modellenen orkestral kaynak içinde çok sayıda tekil kaynak bulunması sebebi ile kaynağa 31 dB'lik ses gücü düzeyi verilerek G parametresi hesaplanamamaktadır. Bu nedenle, enstrümanların literatürden referans alınan ses gücü düzeylerine göre belirlenen orkestral kaynak etkisi, SPL parametresi üzerinden değerlendirilmiştir. Şekil 5.118'de salonun 1000 Hz'de ses basınç düzeyi grid analizi bulunmaktadır.

Yönlülük özelliği fazla olmayan salonda, yalnızca sahne içerisinde bulunan perküsyon bölümünün sahne arkasındaki alıcılara etkisi daha fazladır.

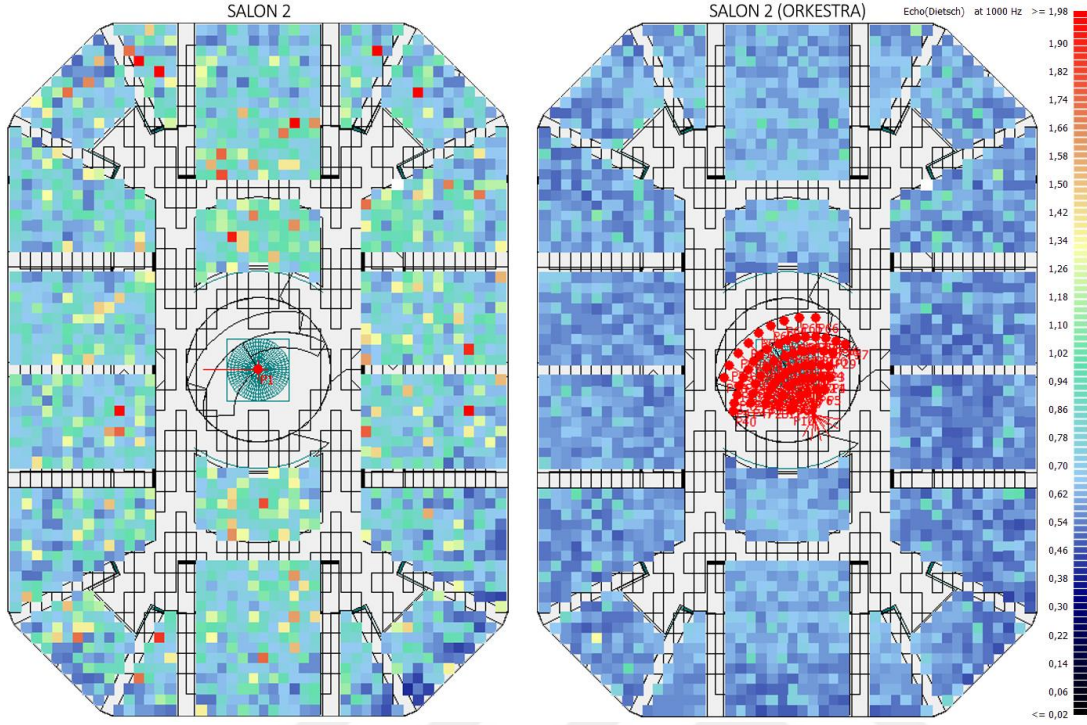


Şekil 5.118 : Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen SPL değerlerinin grid analiz üzerinden görünümü (1000 Hz).

#### 5.4.7 Eko kontrolü

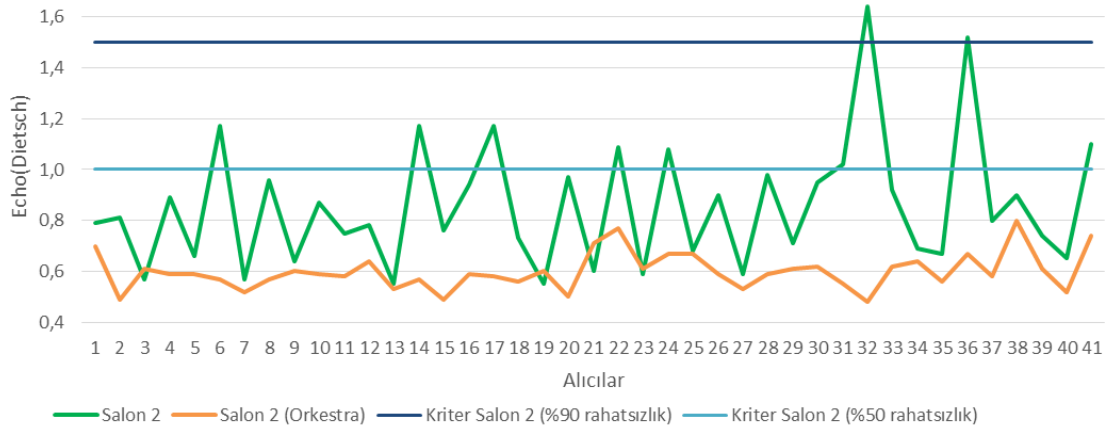
Şekil 5.119'daki grid analize bakıldığında, orkestral kaynak kullanımı ile hacim genelinde Echo(Dietsch) parametresi için sorunlu olarak kabul edilebilecek, %90'lık bir rahatsızlık oranını ifade eden 1,5'in üzerindeki (kırmızı) bölgelerin tamamen

ortadan kalktığı görülmektedir. Aynı zamanda salon genelinde daha homojen bir Echo(Dietsch) yayılımı sağlanarak 1'in altında değerler elde edildiği anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.119 :** Salon 2'de alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, orkestral kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

Salonda alıcı bazında ölçülen Echo(Dietsch) değerleri, sınır değerler ile karşılaştırılarak da değerlendirilmiştir, Şekil 5.120.



**Şekil 5.120 :** Salon 2 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri ve orkestral kaynak etkisi ile karşılaştırılması (1000 Hz).

Salon genelinde orkestral kaynak kullanımı ile azalan Echo(Dietsch) parametresinin, alıcı bazında yapılan ölçüm sonuçlarına da yansıdığı görülmektedir. Tekil kaynak yerine kullanılan orkestral kaynak düzeni ile alıcılara daha çok sayıda ve yönde

yansıma ulaşmasının, algılanabilir gecikmeleri ortadan kaldırdığı ve dolayısı ile eko parametresinde de düşüşe sebep olduğu sonucuna varılabilmektedir.

### **5.5 Salon 3 Üzerinde Elektro-akustik Kaynak Etkisinin Akustik Analizi**

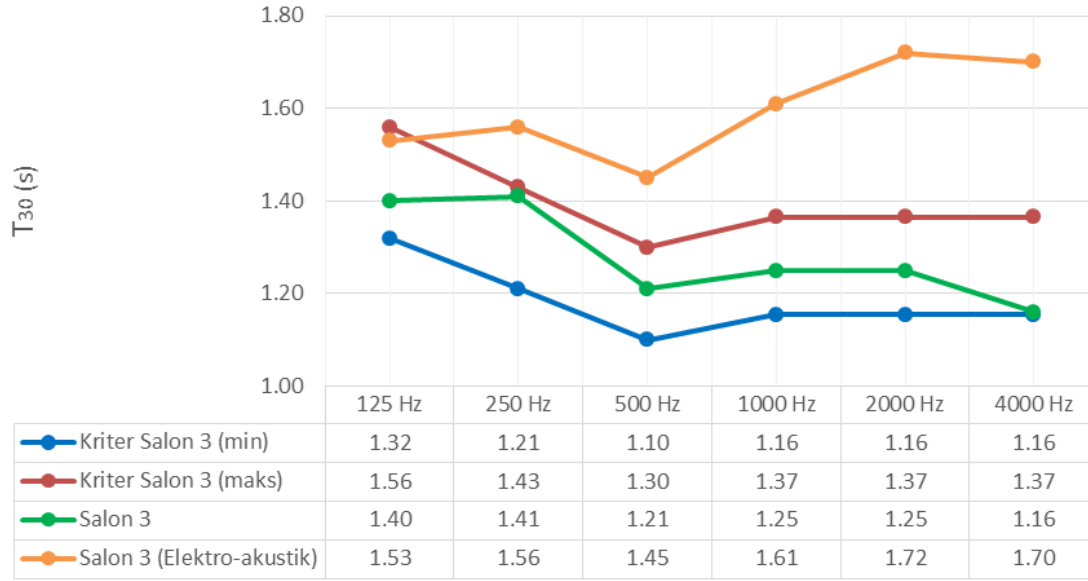
Bölüm 5.1, Bölüm 5.2 ve Bölüm 5.3'teki bütün analizler her oktav bandında eşdeğer ses gücüne (31 ve 90 dB) sahip çok yönlü kaynak ile yapılmıştır. Ancak kaynağın salondaki akustik performansı ve akustik parametreleri doğrudan etkileyen bir faktör olduğu gözlemlenerek, elektroakustik kaynağın da salon üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Güçlendirilmiş müzik için tasarlanan Salon 3 tasarım varyasyonunda, Bölüm 4.4.2'de belirtildiği üzere hoparlörler salon üzerinde tek tek çizgi sıralı (line array) kaynak olarak belirlenerek simülasyon çalışmaları yapılmıştır.

Salonun elektro-akustik kaynaklı varyasyonunun akustik değerlendirilmesinde kriter olarak  $T_{30}$  ve EDT,  $C_{80}$ ,  $LF_{80}$ ,  $T_s$ , BR ve SPL parametreleri kullanılmıştır. G parametresinin ölçümü için çok yönlü (omnidirectional) ve 31 dB ses gücüne sahip tekil bir kaynak gerektiğinden, ses şiddeti değerlendirmesi ses basınç düzeyi (SPL) üzerinden yapılmıştır. Salon 3 plan tipi ve özellikleri sebebi ile konferans salonu olarak kullanıma da uygun olduğundan, literatürden referans alınan değerler ile konuşma için belirlenmiş  $C_{50}$  ve STI nesnel parametreleri üzerinden de değerlendirilmiştir.

#### **5.5.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT)**

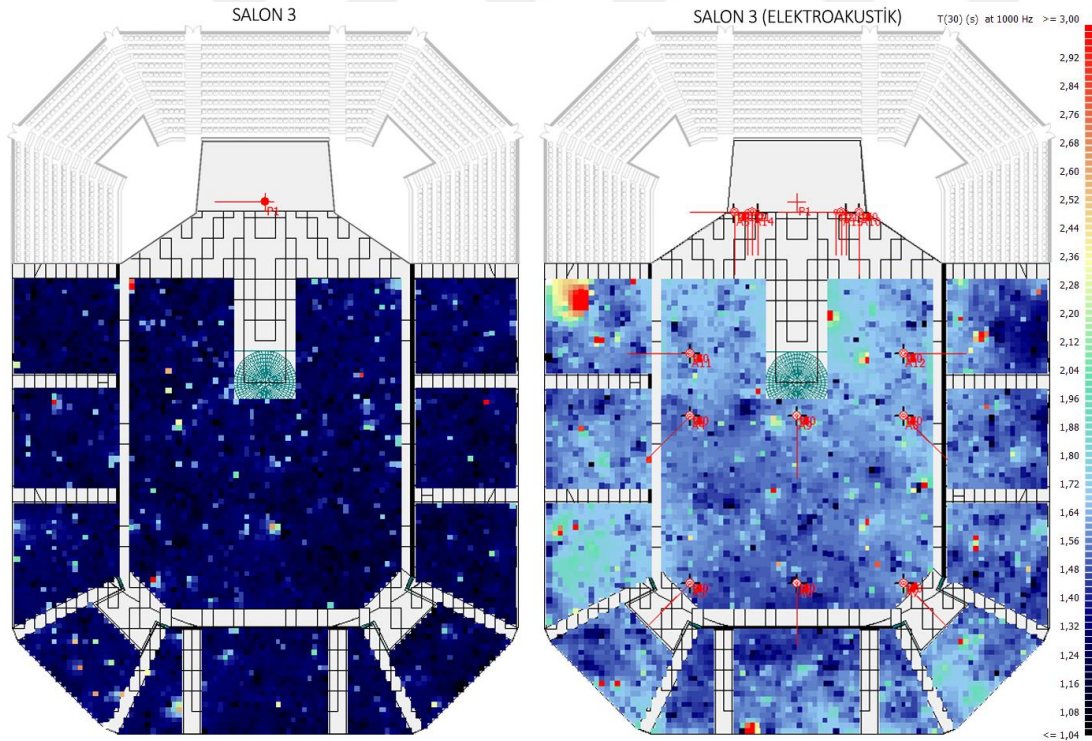
Bölüm 4.5.1'de anlatılardan yola çıkılarak, çok yönlü kaynak ile ölçümler için referans olarak alınan optimum çınlama süresi aralığı ve simülasyon üzerinde farklı kaynaklarla ölçülen değerlerin bu aralığa uyumu Şekil 5.121'de gösterilmektedir.

Salonda gecikmeli hoparlörlerin (delay speakers) kullanımı ile beklenildiği gibi çınlama süresi için tüm oktav bantlarında artışlar meydana geldiği anlaşılmaktadır. Özellikle havanın yutum etkisinin arttığı yüksek frekanslarda, çınlama süresinde daha yüksek oranda bir artış sağlandığı görülmektedir.



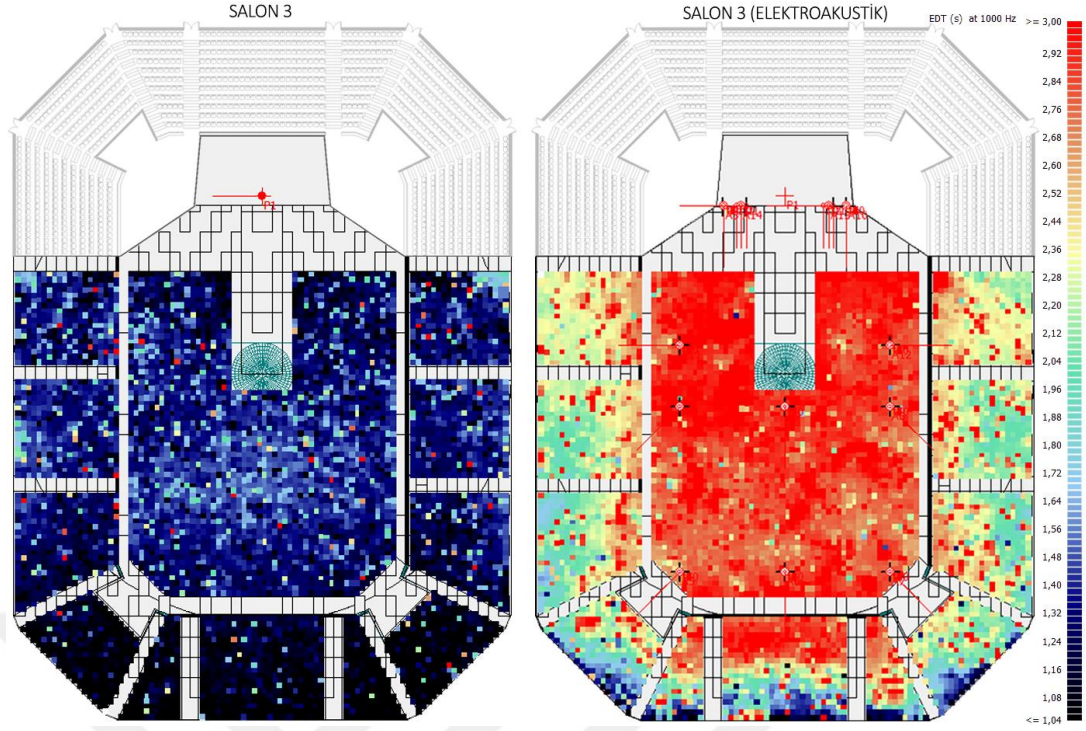
**Şekil 5.121** : Salon 3 genelinde elektro-akustik kaynak ile ölçülen çınlama sürelerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.122 ve Şekil 5.123'te salon genelinde çınlama süresinin dağılımını belirleme amacı ile yapılmış grid analizler gösterilmektedir. Gecikmeli hoparlörlerin çınlayan enerjiyi artırma etkisinin,  $T_{30}$ 'a göre özellikle EDT parametresi üzerinde daha net olarak ortaya çıktığı görülmektedir.



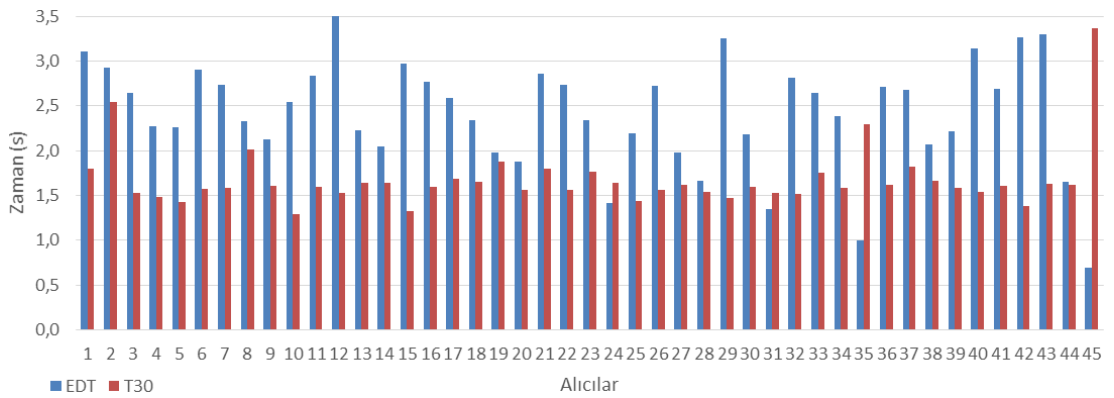
**Şekil 5.122** : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_{30}$  değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).





**Şekil 5.123 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen EDT değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

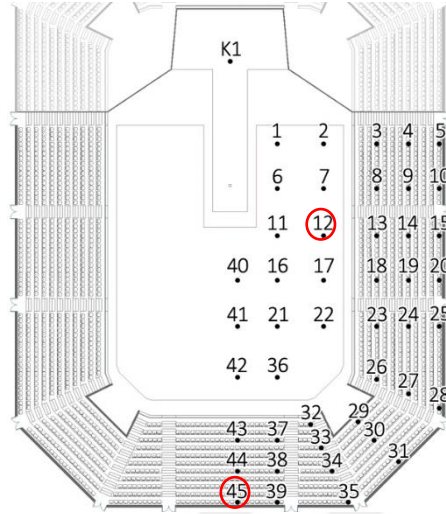
Ayakta dinleyici alanının bulunduğu saha içi bölümde, hoparlör kullanımı ile EDT değerlerinde yüksek oranda artışlar meydana geldiği anlaşılmaktadır, Şekil 5.123. EDT ile  $T_{30}$  arasında oluşan bu farkların, alıcı noktalar genelinde ölçülen değerler üzerinden gösterimi Şekil 5.124'te yer almaktadır.



**Şekil 5.124 :** Salon 3'te alıcı noktalarında, elektro-akustik kaynak ile ölçülen EDT ve  $T_{30}$  değerleri (1000 Hz).

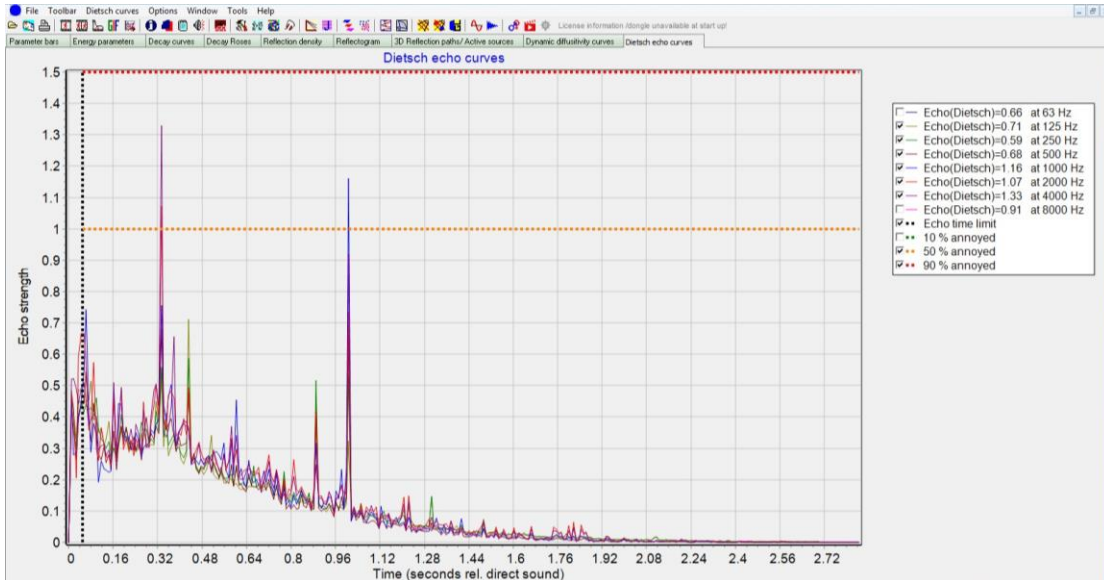
Erken ses enerjisini iletmede etkin olan elektro-akustik sistemlerin etkisinin  $T_{30}$  yerine özellikle EDT üzerinde daha baskın olması doğal bir sonuç olarak yorumlanabilir. Ancak EDT değerlerinin  $T_{30}$ 'a kıyasla daha düşük çıktığı noktalar; 24, 31, 35 ve 45 numaralı alıcılar olarak görülmektedir. EDT'nin  $T_{30}$ 'a göre en

yüksek olduğu 12 numaralı alıcı ve en düşük olduğu 45 numaralı alıcı tekil olarak incelenmiştir, Şekil 5.125.



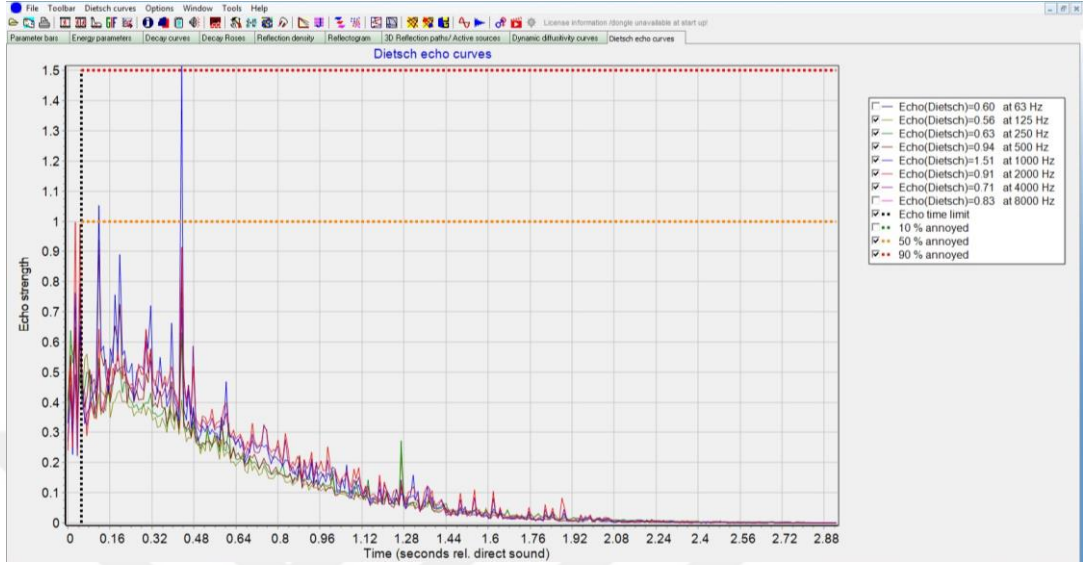
Şekil 5.125 : Salon 3 için 12 ve 45 numaralı alıcıların konumları.

45 numaralı alıcıya ilk enerji 144 ms sonra gelirken, 12 numaralı alıcıya 60 ms sonra ulaşmaktadır. Geç enerjinin erken enerjiye göre baskın olduğu 45 numaralı alıcıda çınlama süresi 3 saniyeyi geçerek aşırı yüksek olarak ölçülmüş, bununla beraber EDT de 1 saniyenin altına düşerek sınırın oldukça ölçülmüştür. Alıcı noktadaki Echo(Dietsch) eğrisine bakıldığında da güçlü yansımaların etkisi ile %50'lik rahatsızlık düzeyini belirten 1 sınırının iki kez geçildiği görülmektedir, Şekil 5.126.



Şekil 5.126 : 45 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi.

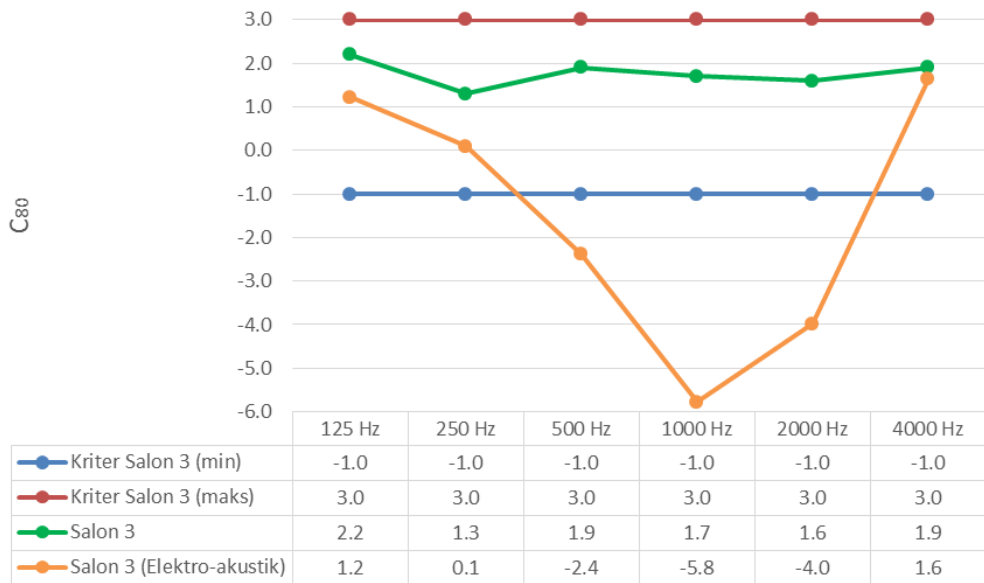
12 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisine bakıldığında ise direkt sestem 50 ms sonra gelen uzun yollu bir yansıma nedeni ile %90'lık rahatsızlık düzeyini belirten 1,5 sınırının geçildiği görülmektedir, Şekil 5.127.



Şekil 5.127 : 12 numaralı alıcının Echo(Dietsch) eğrisi.

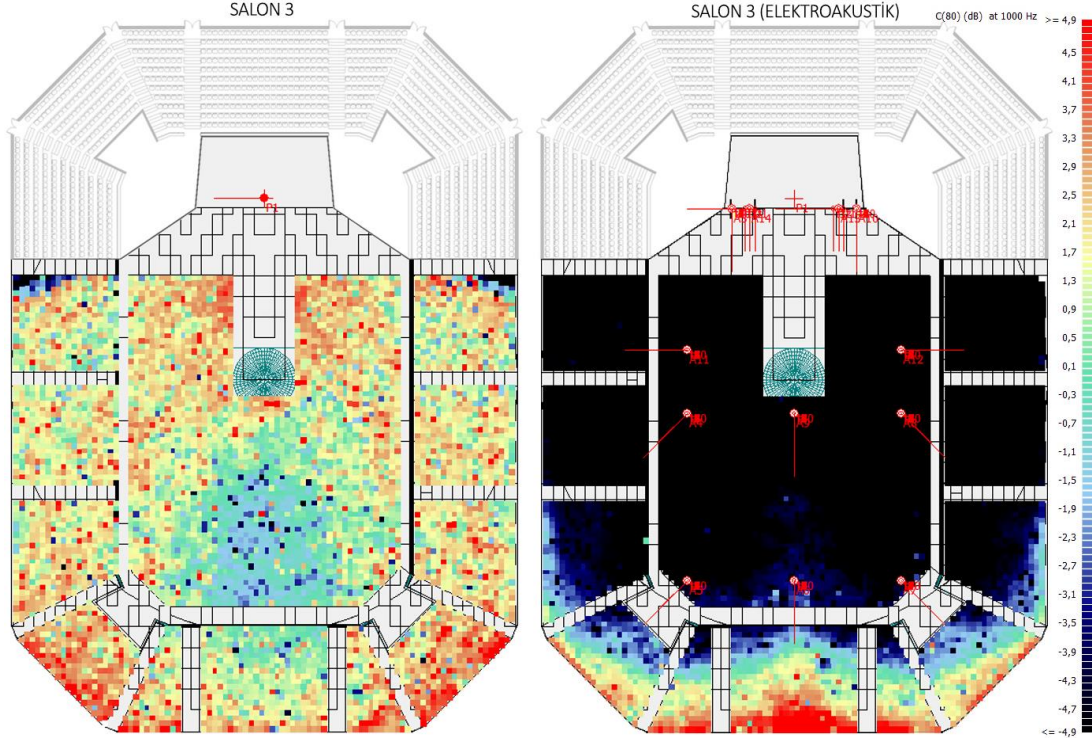
### 5.5.2 Netlik ( $C_{80}$ )

$C_{80}$  parametresi Bölüm 2.3.4'te belirtildiği üzere erken ulaşan sesin (ilk 80 milisaniye), geç ulaşan sese oranıdır. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı -1 ila +3 arası olarak belirlenmiştir. Şekil 5.128'de  $C_{80}$  parametresinin Salon 3 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ortalama değerleri ve elektro-akustik kaynağın modellendiği salon için ortalama değerleri yer almaktadır.



Şekil 5.128 : Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama  $C_{80}$  değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması.

Özellikle 1000 Hz oktav bandında elektro-akustik sistem ile sağlanan güçlü erken ses enerjisi ve buna bağlı olarak yüksek olan EDT parametresinin etkisi ile sahneye yakın bölümlerde  $C_{80}$  parametresinde yüksek oranda düşüşler görülmektedir, Şekil 5.129. Elektro-akustik sistemin kapsama alanının daha sınırlı olduğu ve tek bir hoparlör sırası ile beslenen, sahneye en uzak tribün bölümlerinde istenilen  $C_{80}$  değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Bu durumun oluşmasında yutucu membran tüplerin kullanıldığı arka duvarın da etkisinin olduğu çıkarımı yapılabilir.



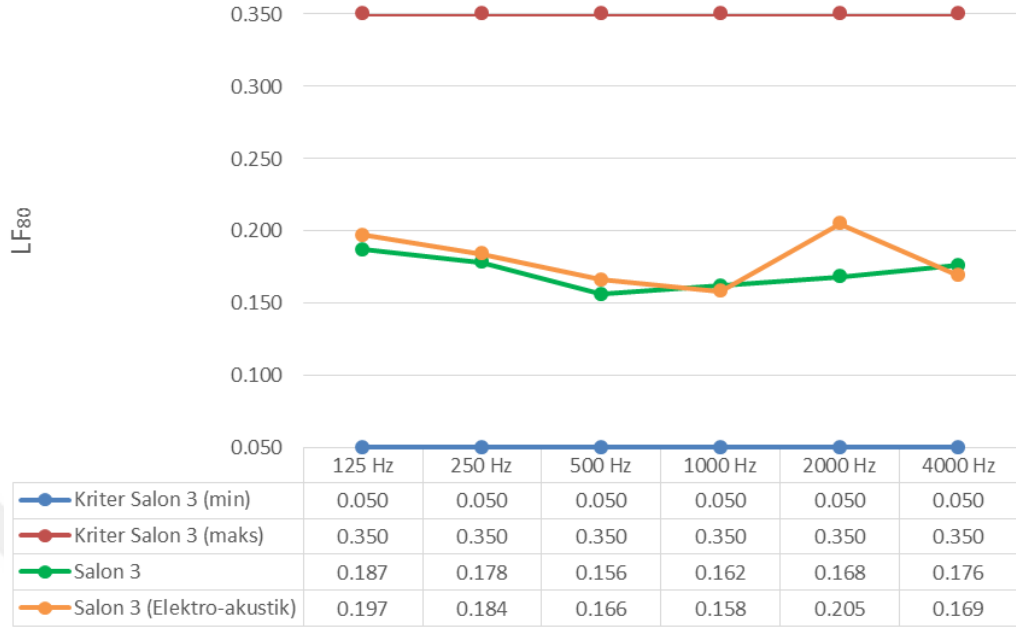
**Şekil 5.129 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $C_{80}$  değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

### 5.5.3 Yanal yansımalar ( $LF_{80}$ )

$LF_{80}$  parametresi Bölüm 2.3.5'te belirtildiği üzere erken ulaşan yanal enerjinin (ilk 80 milisaniye), tüm erken ulaşan enerjiye oranıdır. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı, güçlendirilmiş müzik için özel olarak belirtilmediği için klasik müzik ile aynı olacak şekilde 0,05 ila 0,35 arası olarak belirlenmiştir.

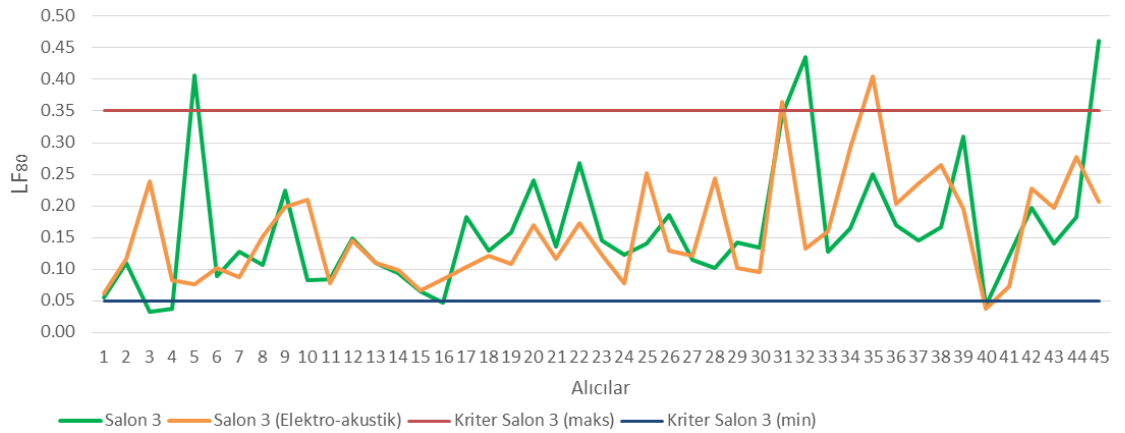
Şekil 5.130'da Salon 3 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama  $LF_{80}$  değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi altında ölçülen değerleri yer almaktadır. Grafiğe göre salonun genel ortalaması optimum aralıkta bulunmakta ve frekans bantlarında düz bir yayılım göstermektedir. Salonda elektro-akustik kaynak

kullanımının,  $LF_{80}$  parametresi üzerinde fark edilir düzeyde bir değişim sağlamadığı anlaşılmaktadır.

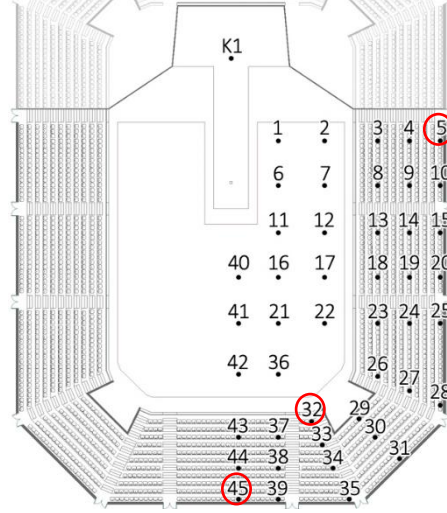


**Şekil 5.130 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama  $LF_{80}$  değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması.

Alıcılar noktalarda ölçülen değerler de kendi aralarında karşılaştırıldığında, büyük çoğunluğunda elektro-akustik kaynağın  $LF_{80}$  üzerinde önemli düzeyde bir etkisinin olmadığı çıkarımı yapılabilir, Şekil 5.131. Buna rağmen; 5, 32 ve 45 numaralı alıcılarda elektro-akustik kaynağın sebep olduğu azalmanın önemli düzeyde görülebilmektedir. Bu noktaların ortak özellikleri incelendiğinde, tekil kaynak ile yeterli erken enerji alamayan ve bu nedenle de  $LF_{80}$  değerlerinin çok daha yüksek çıktığı noktalar olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.132’de bu alıcı noktalarının salondaki konumları gösterilmektedir.

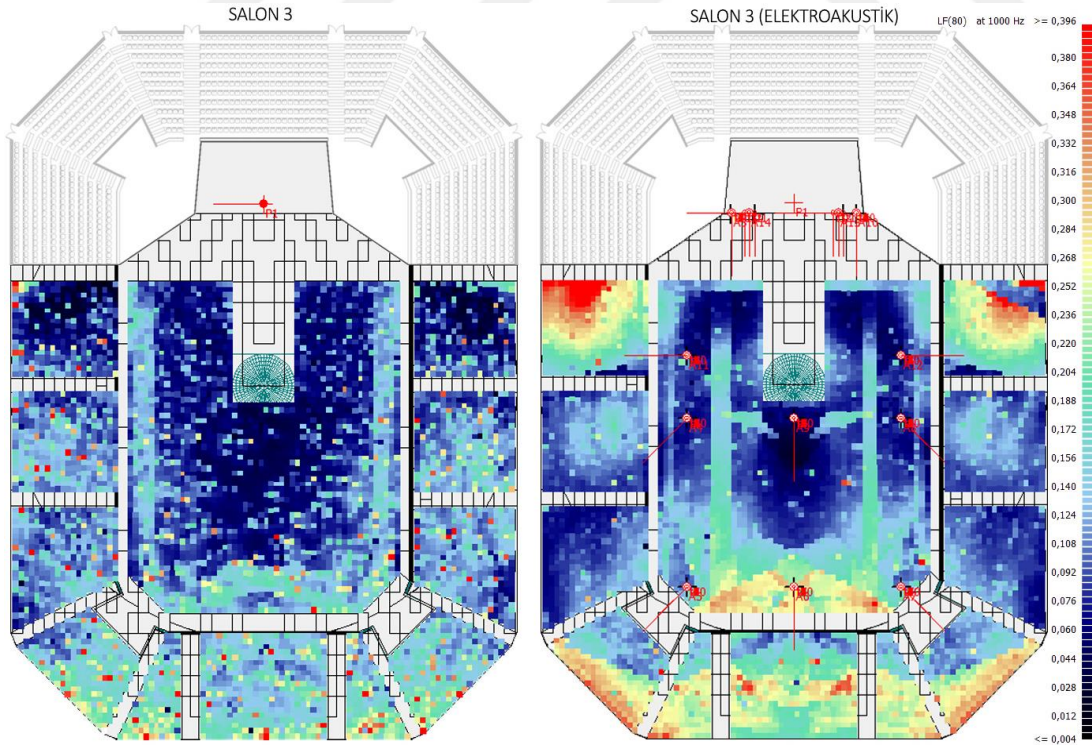


**Şekil 5.131 :** Salon 3’te alıcılar bazında ölçümlenen  $LF_{80}$  değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması (1000 Hz).



Şekil 5.132 : Salon 3 için 5, 32 ve 45 numaralı alıcıların konumları.

Salon 3'te elektro-akustik kaynak kullanımının  $LF_{80}$  parametresi üzerindeki etkisi, çok yönlü kaynak kullanımı ile grid analiz üzerinden karşılaştırıldığında; özellikle salonun köşe bölgelerinde artış sağlandığı anlaşılmaktadır, Şekil 5.133. Ek olarak, tavana asılı çizgisel sıralı hoparlörler ile parter duvarlarının sağladığı yanal yansımaların etkisinin, ayakta dinleyici alanının içlerine doğru ilerlediği görülmektedir.

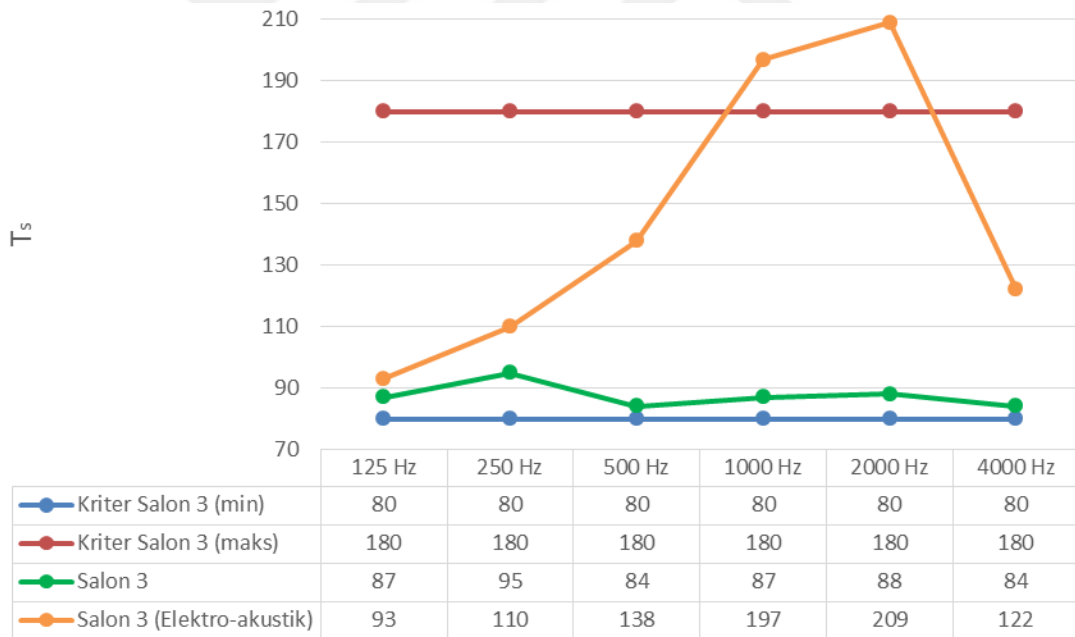


Şekil 5.133 : Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $LF_{80}$  değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

#### 5.5.4 Merkez süre ( $T_s$ )

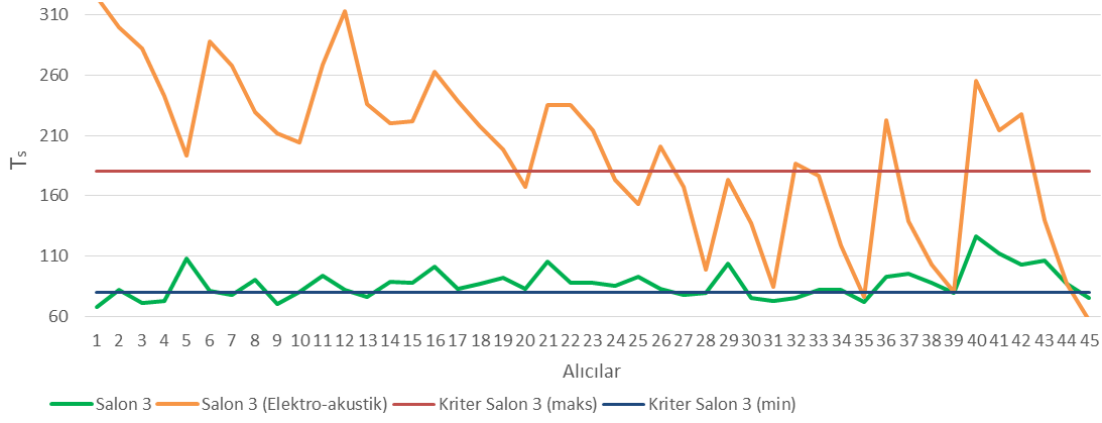
$T_s$  parametresi Bölüm 2.3.8’de belirtildiği üzere erken ve geç ulaşan yansımaların arasındaki ağırlık merkezini belirtmektedir. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı güçlendirilmiş müzik için özel olarak belirtilmediği için klasik müzik ile aynı olacak şekilde 80-180 milisaniye arası olarak belirlenmiştir. Referans aralığın altına inildikçe erken yansımaların güçlendiği, üstüne çıkıldıkça ise geç yansımaların güçlendiği sonucuna varılabilmektedir. Şekil 5.134’te  $T_s$  parametresinin salon genelinde ölçülen değerleri, elektro-akustik kaynak etkisi ile 1/1 oktav bant frekanslarında karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

Salon genelinde ölçülen ortalama  $T_s$  değerlerinin, 1000 ve 2000 Hz oktav bantlarında 180 ms olarak belirlenen üst sınırı aştığı görülmektedir. Salonda kullanılan gecikmeli hoparlör sisteminin bu frekans bantlarında daha etkin olduğu ve bu nedenle hacmin yutuculuğunun yetersiz kalarak geç ses enerjisinin etkisinin arttığı sonucuna varılabilmektedir.



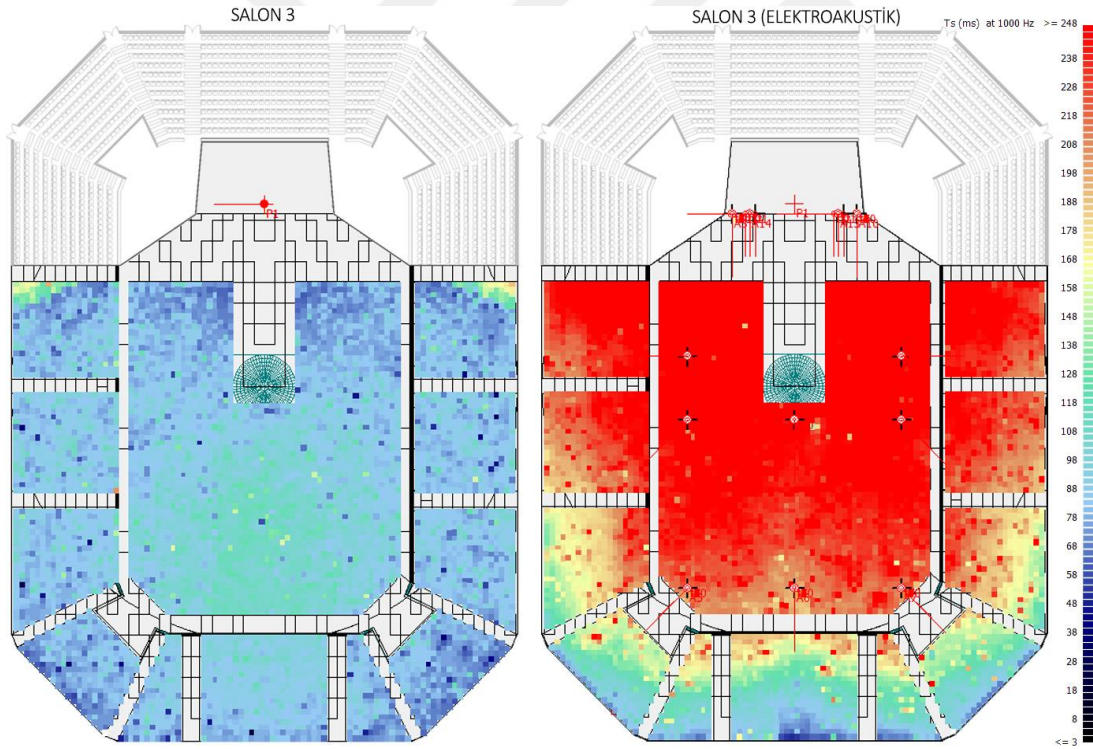
**Şekil 5.134 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama  $T_s$  değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması.

Alıcı noktalarda ölçülen değerler kendi aralarında karşılaştırıldığında, salonun orta aksına en yakın noktalarda daha yüksek oranda artışlar gözlenmektedir, Şekil 5.135. Salonun arka duvarına yakın alıcılarda yutucu membran tüplerin etkisi ile birlikte daha düşük merkez süre değerlerinin ölçüldüğü, ancak yine de elektro-akustik kaynağın etkisi ile sınır değerlerin aşıldığı görülmektedir.



**Şekil 5.135 :** Salon 3'te alıcılar bazında ölçümlenen  $T_s$  değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması (1000 Hz).

Salon genelindeki merkez süre yayılımı grid analiz yöntemi ile incelendiğinde de elektro-akustik kaynak kullanımı nedeniyle orta bölümdeki yüksek değerler ön plana çıkmaktadır, Şekil 5.136. Salonun sahneye en uzak ve arka duvara en yakın bölgelerinin istenilen kriter aralığın içinde kaldığı görülmektedir.



**Şekil 5.136 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $T_s$  değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

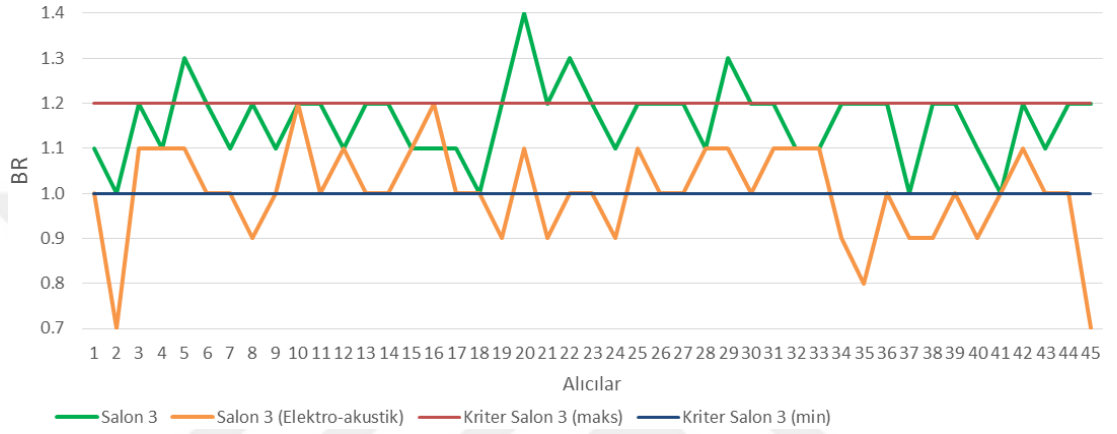
### 5.5.5 Bas oranı (BR)

BR parametresi Bölüm 2.3.3'te belirtildiği üzere düşük frekanslardaki (125, 250 Hz) çınlama süresinin orta frekanslardaki (500, 1000 Hz) çınlama süresine oranıdır. Değerlendirmelerde literatürden referans olarak alınan optimum değer aralığı



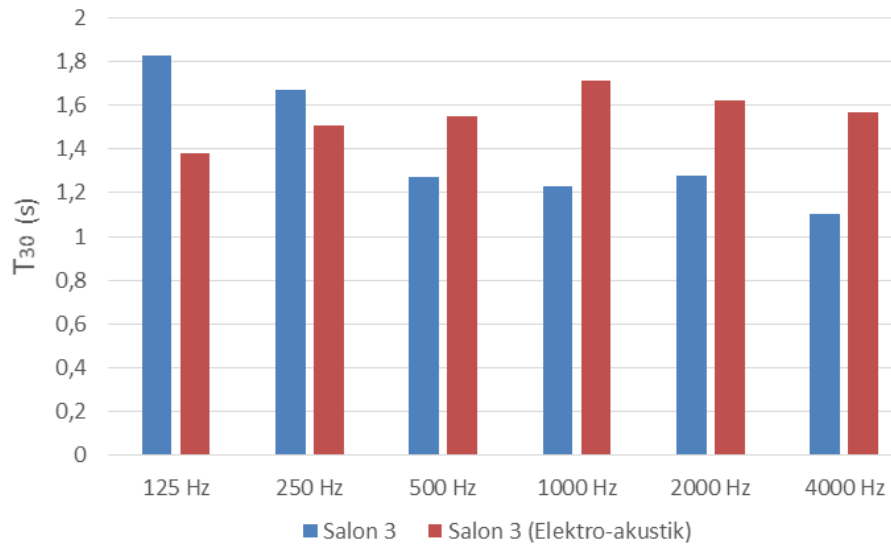
1,0 ila 1,2 arası olarak belirlenmiştir. Güçlendirilmiş müzikte düşük frekanslar için daha kısa çınlama süresi gerekliliği, bas oranının da daha düşük olması gereksinimini doğurmaktadır.

Şekil 5.137’de BR değerlerinin alıcı bazındaki değerleri, elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salonda elektro-akustik kaynak kullanımının BR değerinin de azalmasına yol açtığı ve bazı alıcı noktalarında 0,7 gibi düşük değerlere sebep olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.137 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen BR değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırılması.

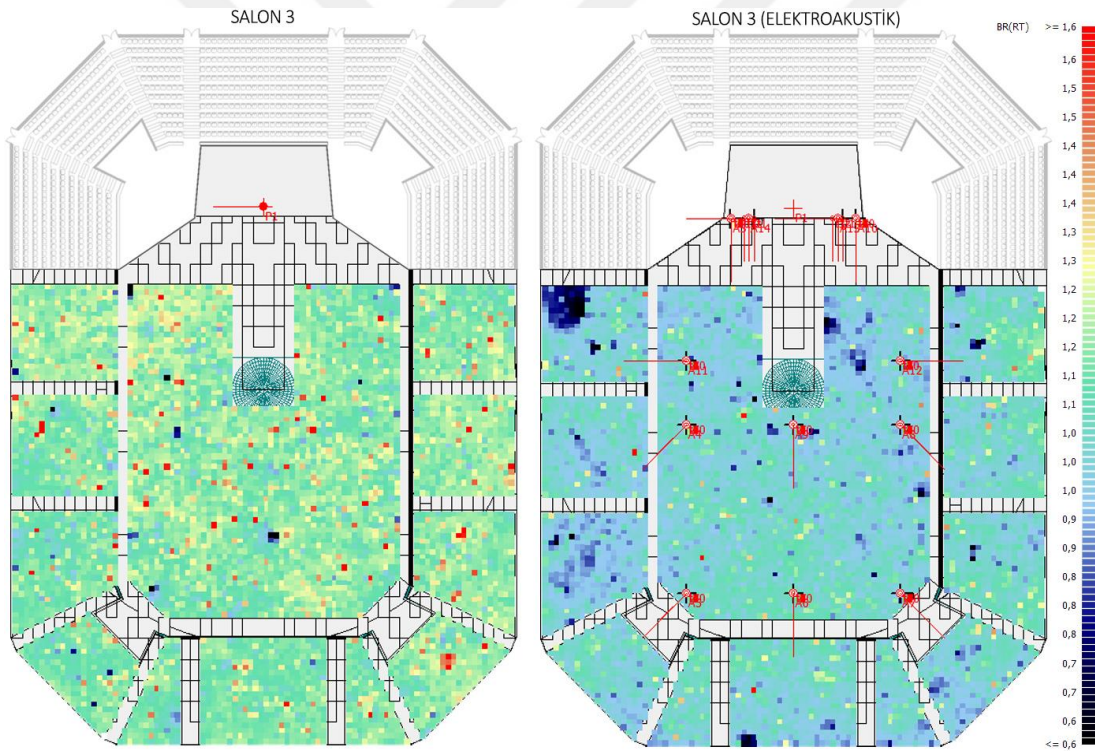
Kaynak etkisi ile 1,2’den 0,7’ye olmak üzere en fazla değişimin gözlemlendiği 45 numaralı alıcının çınlama süreleri tekil olarak incelenerek karşılaştırılmıştır, Şekil 5.138.



**Şekil 5.138 :** Salon 3 için 45 numaralı alıcı bazında ölçümlenen çınlama sürelerinin (T<sub>30</sub>) karşılaştırılması.

Elektro-akustik sistemin 45 numaralı alıcıda düşük frekanslardaki (125, 250 Hz) çınlama süresini azaltıcı, orta frekanslardaki (500, 1000 Hz) çınlama süresini ise arttıcı etki yaptığı Şekil 5.138'deki grafikten anlaşılmaktadır. Bu durumun sonucunda; alıcı noktadaki bas oranındaki azalış doğal olarak kabul edilebilmekle birlikte, istenen akustik kalite ve yeterli düzeyde bas sesler için 1,0 düzeyine yakın olması tercih edilmektedir.

Salonun genelinde gözlenen bas oranındaki düşüş grid analizler ile daha net ortaya konulabilmektedir, Şekil 5.139. Çok yönlü kaynak ile 1,2 olan salon ortalamasının, elektro-akustik kaynak ile 1,1 düzeyine düştüğü anlaşılmaktadır. Güçlendirilmiş müzik performanslarında mümkün olduğu kadar 1'e yakın değerler tercih sebebi olduğundan, elektro-akustik kaynak etkisinin BR'ye olumlu yansıdığı değerlendirilebilir.



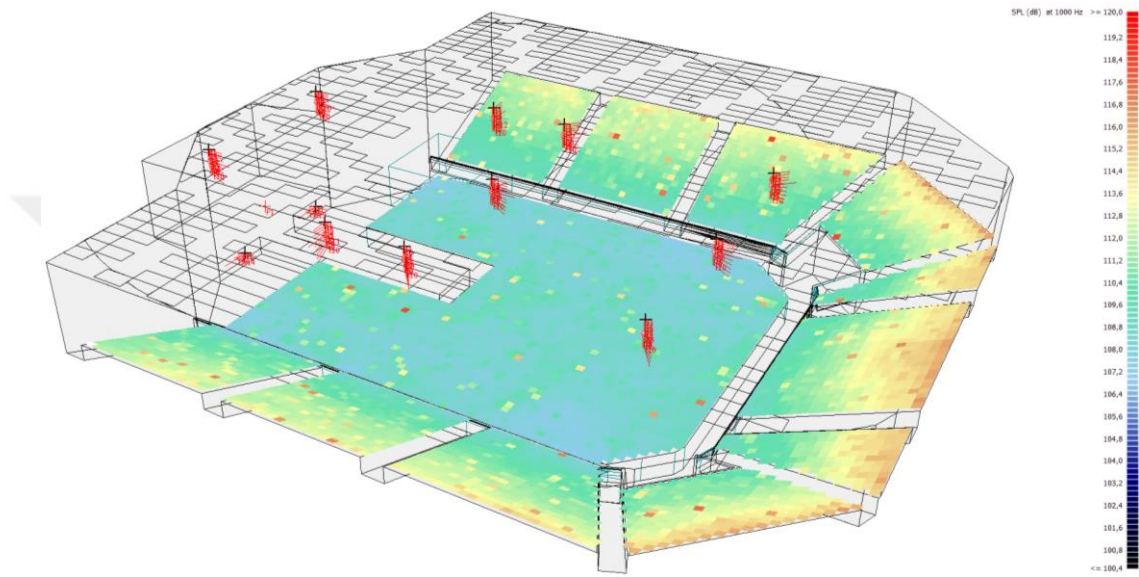
**Şekil 5.139 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen BR değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması.

### 5.5.6 Ses şiddeti (SPL)

Salon 3'te modellenen elektro-akustik kaynak içinde çok sayıda hoparlör kaynak bulunması sebebi ile kaynağa 31 dB'lik ses gücü düzeyi verilerek G parametresi hesaplanamamaktadır. Bu nedenle, hoparlörlerin tüm frekans bantlarında eşit ve hacim genelinde 110 dB ses basınç düzeyi oluşturabilecek biçimde 30 dB olarak

referans alınan ses gücü düzeylerine göre belirlenen elektro-akustik kaynak etkisi, ses basınç düzeyi (SPL) parametresi üzerinden değerlendirilmiştir.

Şekil 5.140'ta salonun 1000 Hz'de ses basınç düzeyi grid analizi bulunmaktadır. Elektro-akustik sistemin ses enerjisini salon geneline homojen bir biçimde dağıttığı çıkarımı, görülen maksimum ve minimum değerler arasındaki farkın az olması kaynaklı yapılabilir. Hoparlörlere en uzak fakat arka duvara en yakın bölümlerde, salonun geneline göre az miktarda bir yükseliş görülmektedir.

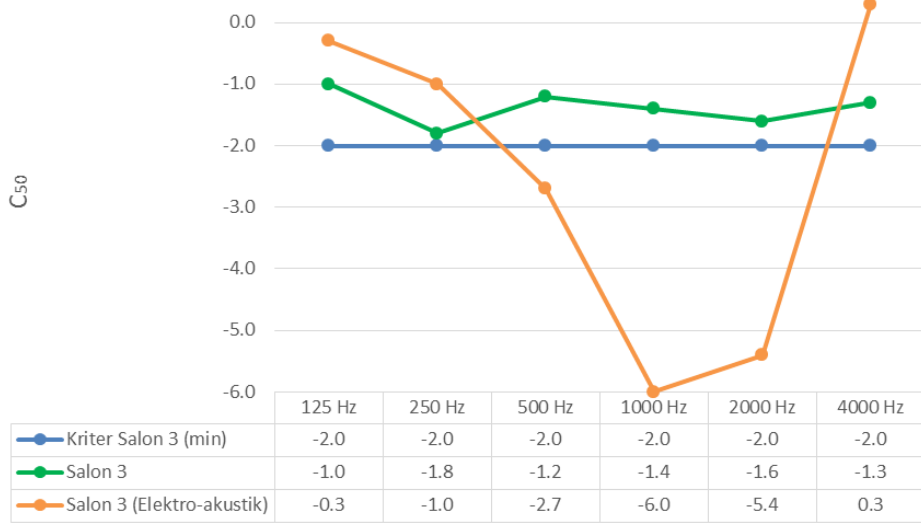


**Şekil 5.140 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen SPL değerlerinin grid analiz üzerinden görünümü (1000 Hz).

### 5.5.7 Konuşmada netlik ( $C_{50}$ )

$C_{50}$  parametresi Bölüm 2.3.4'te belirtildiği üzere erken ulaşan sesin (ilk 50 milisaniye), geç ulaşan sese oranıdır. Genel olarak konuşmada netliği değerlendirmede kullanılsa da güçlendirilmiş müzikte de şarkı sözlerinin anlaşılabilirliğini değerlendirmede kullanılabilir. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı -2 ve üzeri olarak belirlenmiştir. Çınlama süresi yükseldikçe azalır, çınlama süresi azaldıkça ise artar. Bu durumla birlikte, çınlama eğrisi güçlendirilmiş müzik için doğru biçimde ayarlanmış bir salonda  $C_{50}$  parametresinin frekans bantları arasında mümkün olduğunca düz bir eğim göstermesi beklenir.

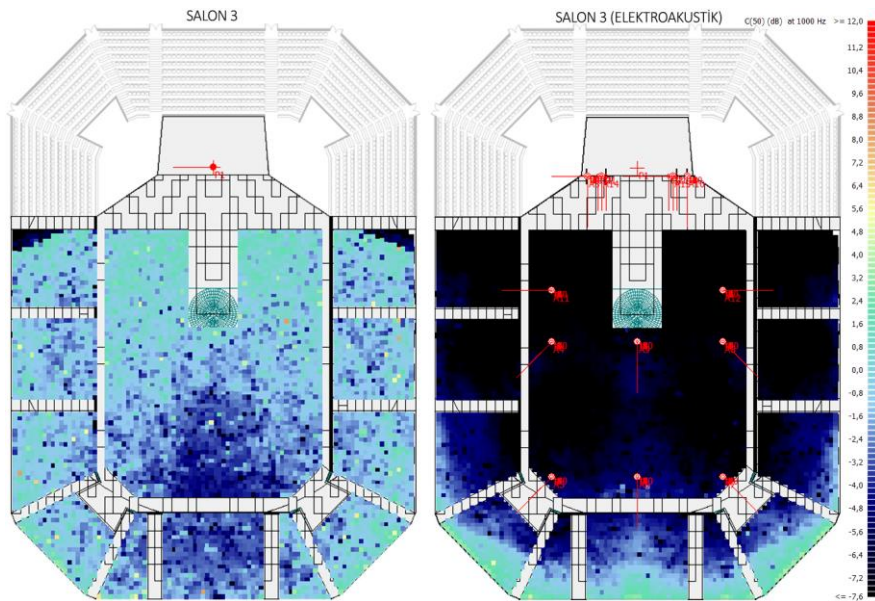
Şekil 5.141'de  $C_{50}$  parametresinin Salon 3 için 1/1 oktav bandı frekanslarında ölçülen ortalama değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması yer almaktadır.



**Şekil 5.141 :** Salon 3 için frekanslara bağlı ortalama  $C_{50}$  değerlerinin elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırılması.

$C_{50}$  parametresinin de  $C_{80}$  ile paralel olarak 1000 ve 2000 Hz frekans bantlarında yüksek düzeyde düşüş göstererek dağılım göstermesi doğal bir durum olarak yorumlanabilir. Elektro-akustik sistemin etkisinin daha yoğun gözlemlendiği bu frekans bantlarında, geç ses enerjisini daha fazla soğurma amacı ile dar bir frekans bandında çalışan “Helmholtz Rezonatörü” prensibinde tasarlanmış ek yutucu önlemleri bir çözüm önerisi olarak sunulabilir.

Salondaki genel  $C_{50}$  yayılımını grid analiz ile değerlendirildiğinde de sahneye en uzak olan güney tribünün arka duvara yakın bölümlerinde -2 alt sınırının üzerinde değerler elde edildiği görülmektedir, Şekil 5.142.

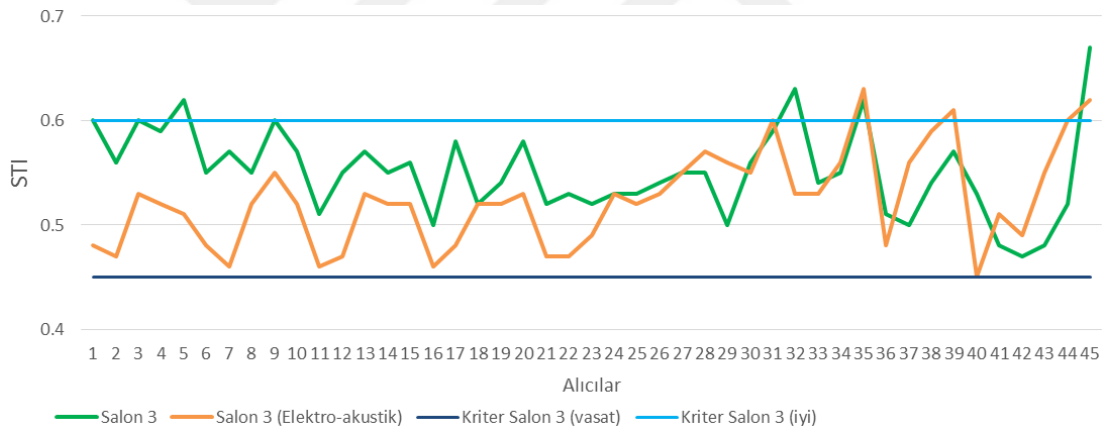


**Şekil 5.142 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen  $C_{50}$  değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

### 5.5.8 Konuşma iletim indeksi (STI)

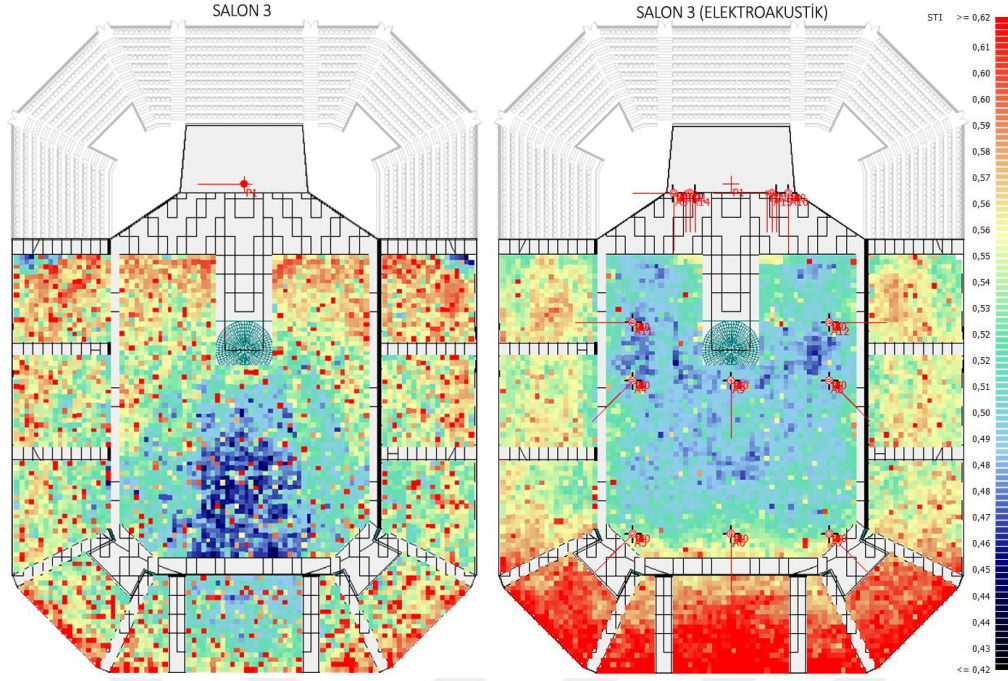
STI parametresi Bölüm 2.3.9'da belirtildiği üzere konuşmada anlaşılabilirlik niteliğinin derecelendirilmesinde kullanılır ve 0-1 arasında değerler alır. Aynı zamanda güçlendirilmiş müzikte de şarkı sözlerinin anlaşılabilirliğini değerlendirmede kullanılabilir. Sonuç 1'e yaklaştıkça anlaşılabilirlik artmakta, 0'a yaklaştıkça ise azalım göstermektedir. Değerlendirmelerde referans olarak alınan optimum değer aralığı 0,45 ve üzeri olarak belirlenmiştir. 0,45-0,60 arası vasat, 0,60-0,75 arası iyi ve 0,75-1,00 arası çok iyi olarak derecelendirilmektedir.

Şekil 5.143'te STI parametresinin alıcı bazındaki değerleri, elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Salondaki alıcılardan çoğunun vasat olarak değerlendirilen 0,45-0,60 arasında değerler aldığı görülmektedir. Elektro-akustik kaynağın çok yönlü kaynağa göre sahneye yakın alıcılarda konuşma anlaşılabilirliğini azaltıcı, uzak noktalarda ise artırıcı etki yaptığı görülmektedir.



**Şekil 5.143 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen STI değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırması.

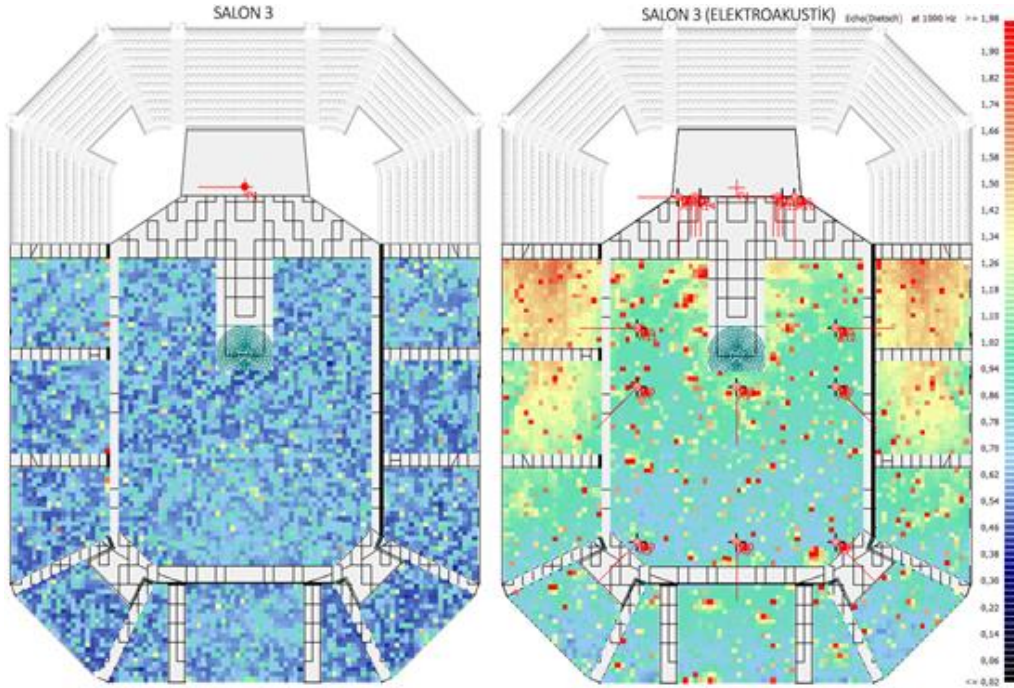
Salon genelindeki STI dağılımına grid analizler ile bakıldığında elektro-akustik sistemin etkileri daha net görülmektedir, Şekil 5.144. Konuşmada netliği ifade eden  $C_{50}$  parametresinin en yüksek olduğu güney tribün bölümlerinde 0,6'yı aşan iyi STI değerleri elde edilmiştir. Saha içi dinleyici alanının ortalarında görülen 0,4'ün altındaki (lacivert) bölümlerin ise etkisi kırılarak daha iyi STI değerlerine ulaşılması sağlanmıştır. Tavana asılı hoparlörler vasıtası ile bu bölümlere ses enerjisi daha iyi ulaştırılabilmektedir.



**Şekil 5.144 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen STI değerlerinin elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması.

### 5.5.9 Eko kontrolü

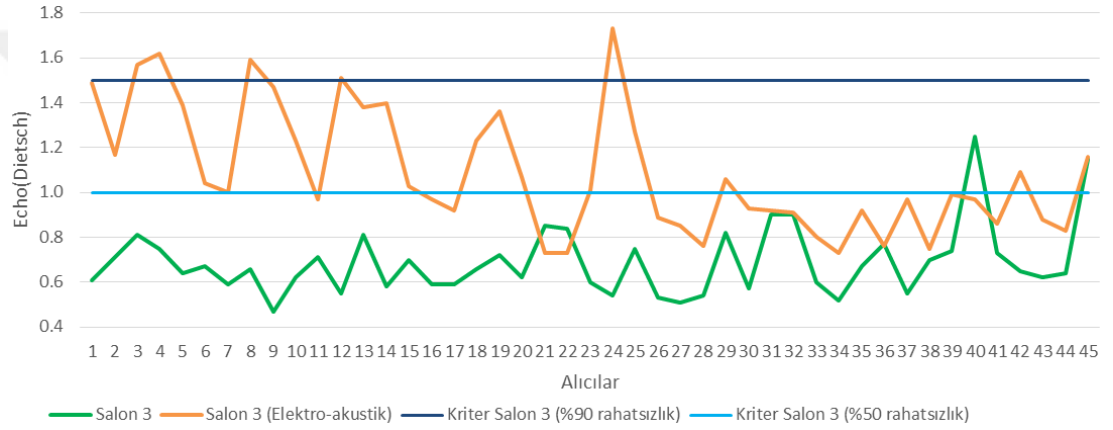
Salonun geniş hacmi ve çok sayıda gecikmeli hoparlör sırasının kullanıldığı bu durumda, geç yansımaların eko kusuru olarak algılanma ihtimaline karşı Echo(Dietsch) parametresinin de grid analizi yapılmıştır, Şekil 5.145.



**Şekil 5.145 :** Salon 3'te alıcı yüzeylerinde ölçülen Echo(Dietsch) değerlerinin, elektro-akustik kaynak (sağda) etkisi ile grid analiz üzerinden karşılaştırılması (1000 Hz).

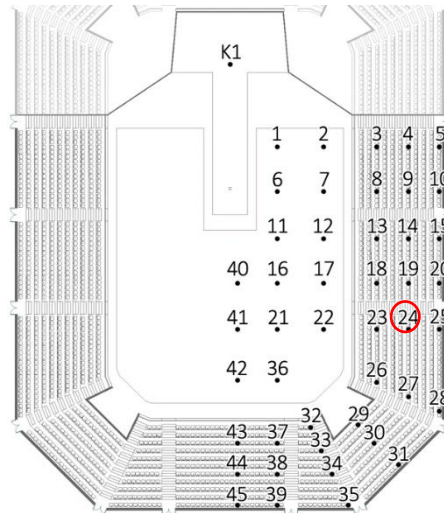
Şekil 5.145'teki grid analiz incelendiğinde, elektro-akustik kaynağın salon genelinde duyulabilir ekoyu arttırıcı bir etki yaptığı anlaşılmaktadır. Salonun genel Echo(Dietsch) ortalaması 0,7 düzeyinden 1'e yükselmiştir. Ayrıca, eko kusurunun %90 oranında rahatsızlık oluşturduğu kabul edilen 1,5 düzeyinin aşıldığı (kırmızı) noktaların oluştuğu görülmektedir.

Alıcı noktalarda ölçülen Echo(Dietsch) değerleri de Şekil 5.146'daki grafikte gösterilmektedir. Elektro-akustik sistemin ekoyu arttırıcı etkisi burada da net olarak görülmektedir. Sahneye yakın konumlandırılan (1-25) ilk alıcılarda ortalama artışın daha fazla olması, daha uzak konumlandırılan (26-45) sonraki alıcılarda ise artış ortalamasının daha düşük olması dikkat çekmektedir.



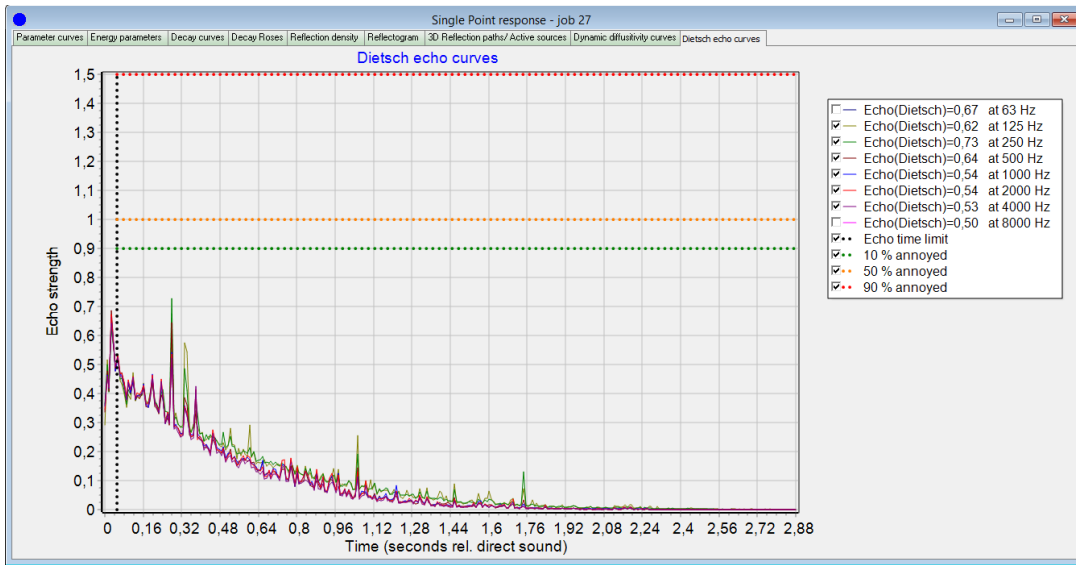
**Şekil 5.146 :** Salon 3 için alıcılar bazında ölçümlenen Echo(Dietsch) değerleri ve elektro-akustik kaynak etkisi ile karşılaştırılması (1000 Hz).

Elektro-akustik kaynak ile en fazla Echo(Dietsch) artışının görüldüğü 24 numaralı alıcı tekil olarak incelenmiştir, Şekil 5.147.

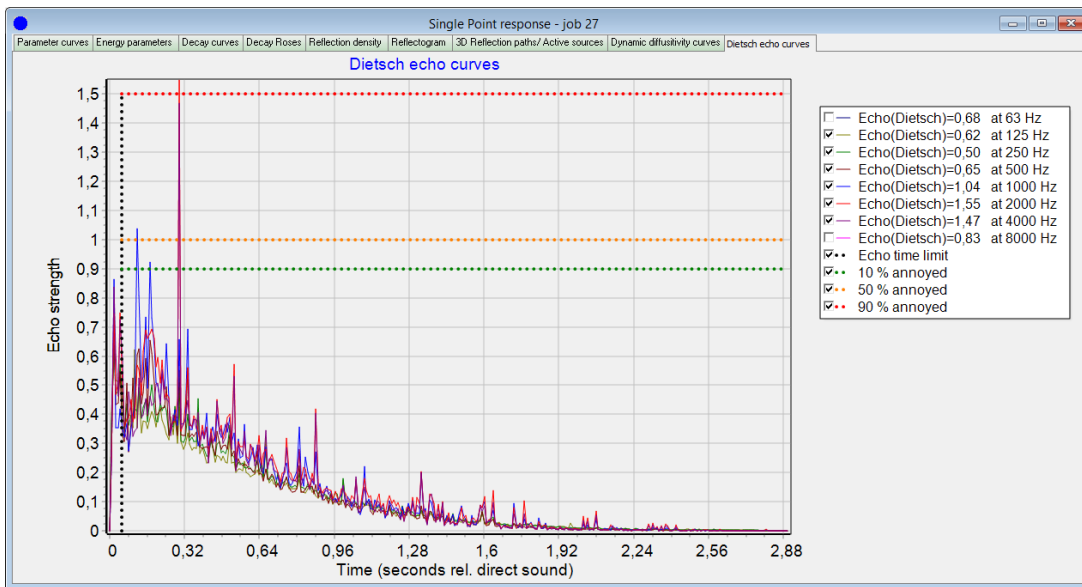


**Şekil 5.147 :** Salon 3 için 24 numaralı alıcının konumu.

Şekil 5.148’de 24 numaralı alıcının çok yönlü kaynakla ölçülen Echo(Dietsch) grafiği, Şekil 5.149’da ise aynı alıcının elektro-akustik kaynakla ölçülen Echo(Dietsch) grafiği gösterilmektedir. Çok yönlü kaynak ölçümünde sınır değerlerin altında kalan alıcı noktada, elektro-akustik kaynak devreye girdiğinde 1,50’lik sınır aşmaktadır. Direkt sesin ulaşmasından yaklaşık 300 ms sonra meydana gelen eko kusuruna, hoparlörden çıkan ses dalgasının yansiyarak alıcıya ulaşmasının sebep olduğu düşünülebilir. Elektro-akustik sistemin tasarımında alıcıların yansısız olarak, hoparlörler tarafından direkt beslenmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 5.148 : 24 numaralı alıcının çok yönlü tekil kaynak ile ölçülen Echo(Dietsch) grafiği.



Şekil 5.149 : 24 numaralı alıcının çok sayıda elektro-akustik kaynak ile ölçülen Echo(Dietsch) grafiği.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

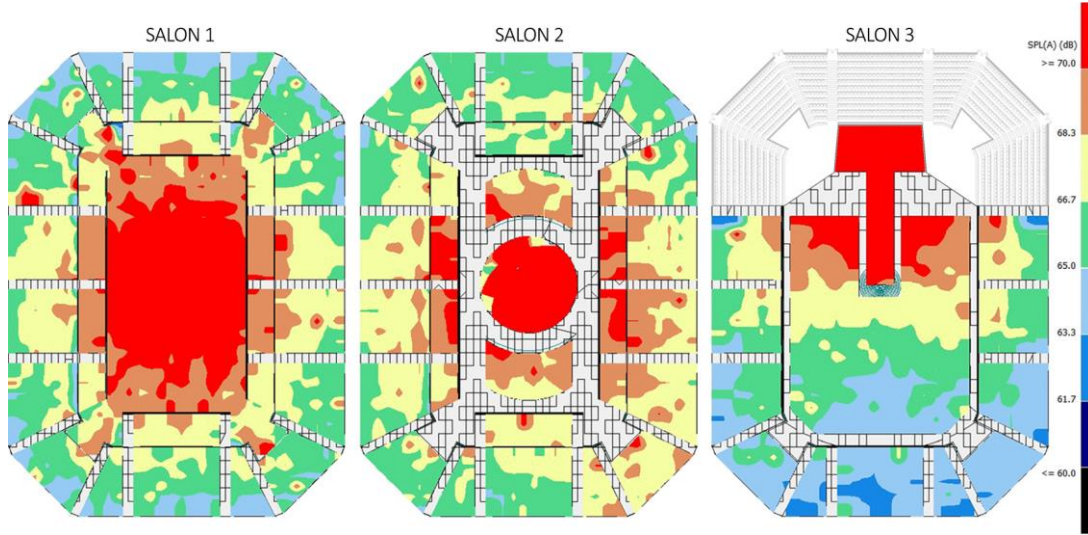
Tez çalışması kapsamında, literatürden referans alınan spor salonu örnekleri üzerinden tasarlanan ve farklı işlevler için oluşturulan 3 ayrı tasarım varyasyonunun, akustik düzenlemeler yapılmış halleri ile yalın halleri arasındaki farklar çalışma kapsamında incelenmiştir. Salonlarda sahne konumlanması, kişi başı  $m^2$ , salon hacmi ve zemin eğimi gibi fiziksel özellikler sabit tutulup; malzemeler, malzemelerin yutuculuk, saçıcılık, yansıtıcılık değerleri gibi akustik tasarım elemanlarının kontrollü değişimi ve uygulaması sağlanmış, elde edilen varyasyonlarda simülasyon programı aracılığıyla akustik hesaplamalar yapılmıştır. İncelemeler yapılırken, parametreler ve alıcılar bazında değerlendirme ve karşılaştırmalara gidilmiştir.

Aynı zamanda ölçüm standartlarında kullanılan çok yönlü (omnidirectional) kaynak ile gerçek ortam koşullarında kullanılan orkestral ve elektro-akustik kaynak arasında, nesnel değerlendirme parametrelerinde görülen değişimler ortaya konulmuştur. İncelemelerde ölçüm değerleri gruplandırılarak, oluşturulan grafik ve şekillerden yararlanılmıştır.

Parametrelerin değerlendirilmesinde literatürden elde edilen optimum değer aralıklarından faydalanılmıştır. Karşılaştırmalar ve değerlendirmeler sırasında parametrelerin orta frekans (1000 Hz) değerleri kullanılmıştır. Salonların değerlendirme ve karşılaştırmaları nesnel parametrelerden; çınlama süresi ( $T_{30}$ ), erken düşme süresi (EDT), netlik ( $C_{80}$ ), yanal yansıma oranı ( $LF_{80}$ ), merkez süre ( $T_s$ ), bas oranı (BR), ses şiddeti (G veya SPL), konuşmada netlik ( $C_{50}$ ), konuşma iletim indeksi (STI) parametreleri açısından yapılmıştır.

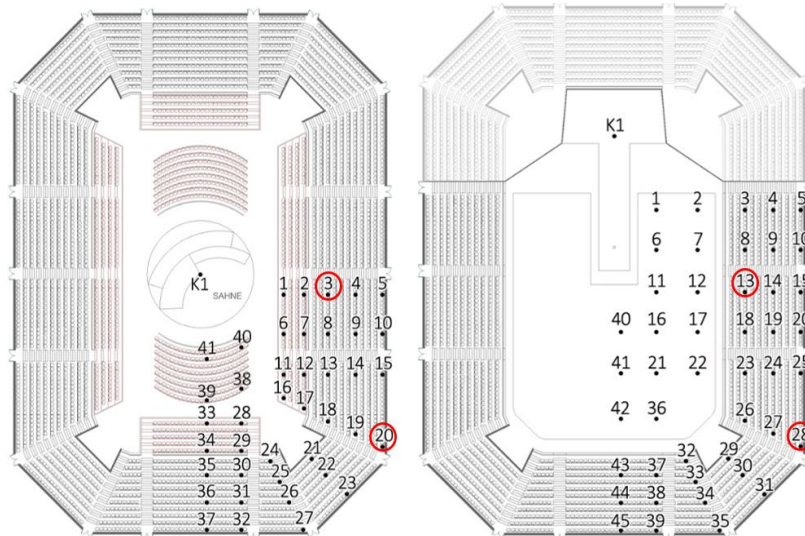
Salonların kendi içlerinde yapılan değerlendirmelerden sonra, genel olarak tasarım varyasyonları arasında sağlanabilen değişkenliği sorgulama amacı ile sonuç değerlendirmeleri yapılmıştır. İncelemelerde; 3 ayrı tasarım varyasyonunda da ortak olarak kullanılan ( $T_{30}$ ), erken düşme süresi (EDT), netlik ( $C_{80}$ ), yanal yansıma oranı ( $LF_{80}$ ), merkez süre ( $T_s$ ) parametreleri ve çok yönlü tekil kaynak ile yapılan ölçümler kullanılmıştır.

Sabit bir alıcı noktasındaki değişimleri değerlendirme amacı ile salondaki ses basınç düzeyi dağılımından en az ve en çok etkilenen bölgelerden birer alıcı seçilerek aralarındaki değişimler incelenmiştir. Tasarım varyasyonlarında, çok yönlü kaynak ile sağlanan ses basınç düzeyi yayılımları Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 6.1** : Salonlarda akustik düzenleme sonrasında görülen ses basınç düzeyi (SPL) yayılımları.

Ses basınç düzeyi yayılımı üzerinden kritik değerlendirme noktalarından biri olarak seçilen  $A_{min}$ , kaynağa en yakın alıcı noktalardan biri iken ses basınç düzeyleri arasında en az değişim gösteren alıcılardan biridir. Ses basınç düzeyi yayılımında en fazla değişimin gözleendiği alıcı noktalardan biri olarak değerlendirmelerde kullanılan  $A_{maks}$  ise kaynağa en uzak alıcı noktalardan biridir. Şekil 6.2’de bu alıcıların salon içindeki konumları gösterilmektedir.



**Şekil 6.2** :  $A_{maks}$  ve  $A_{min}$  alıcı noktalarının Salon 1, Salon 2’deki (solda) ve Salon 3’teki konumları (sağda).

$A_{maks}$ ; Salon 1 ve Salon 2’de 20, Salon 3’te ise 28 numaralı alıcıyı ifade etmektedir.

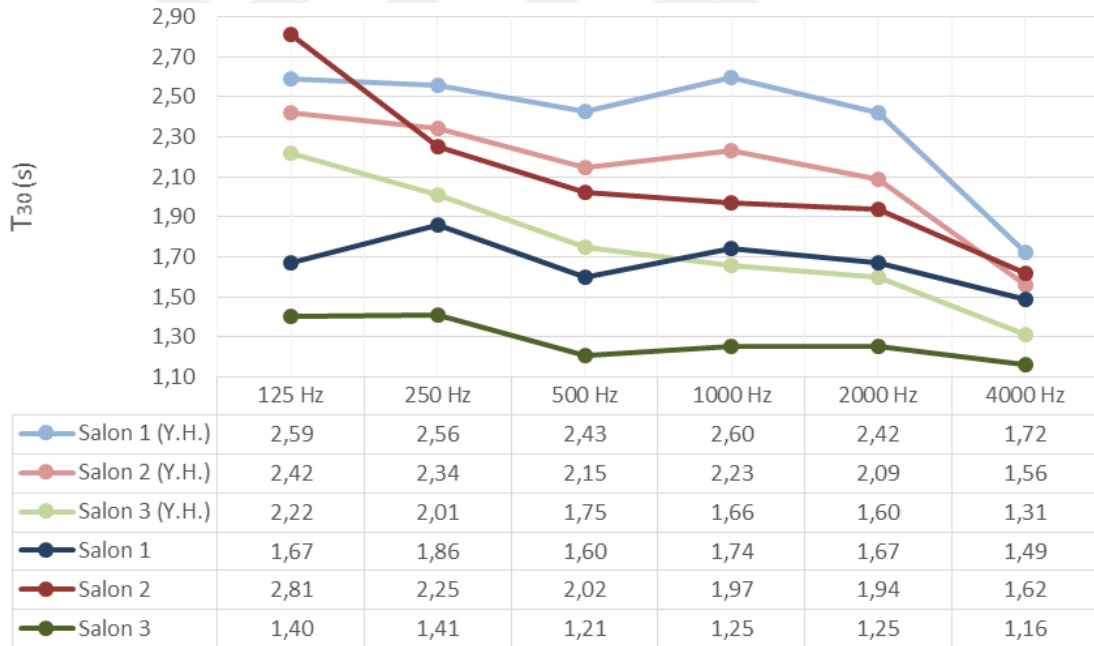
$A_{min}$ ; Salon 1 ve Salon 2’de 3; Salon 3’te ise 13 numaralı alıcıyı ifade etmektedir.

## 6.1 Üç Ayır Tasarım Varyasyonunun Karşılaştırma Analizleri

### 6.1.1 Çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT)

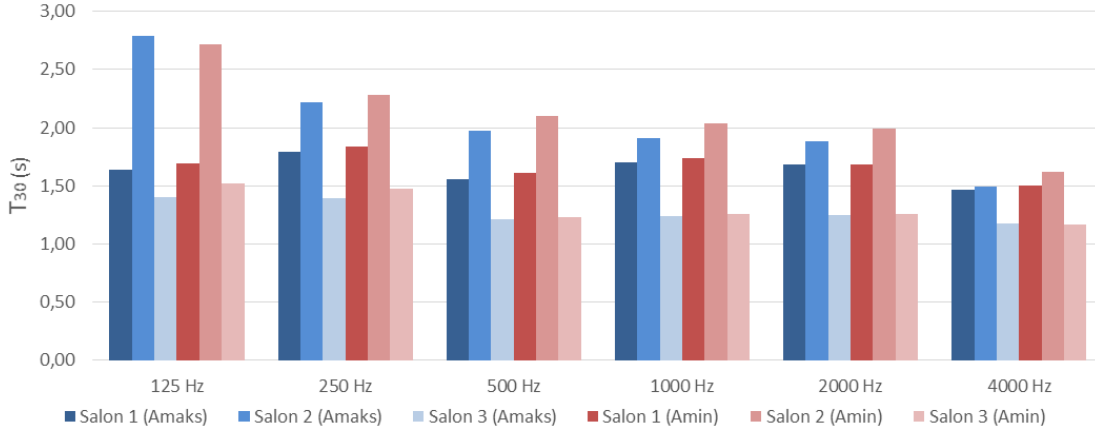
Bölüm 5.1.1, Bölüm 5.2.1 ve Bölüm 5.3.1’de tasarım varyasyonlarında ölçülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) ve erken düşme süresi (EDT) parametreleri, karşılaştırma grafikleri ve grid analizler ile kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Akustik düzenlemeleri yapılan bu varyasyonların aralarında sağlanan değişimler, yalın halleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.3’te görülmektedir.

Çınlama süresindeki en fazla azalış spor salonu olarak kullanılan Salon 1’de görülürken, tüm tasarım varyasyonlarında genel olarak azalış sağlandığı sonucuna varılabilmektedir.



**Şekil 6.3 :** Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri.

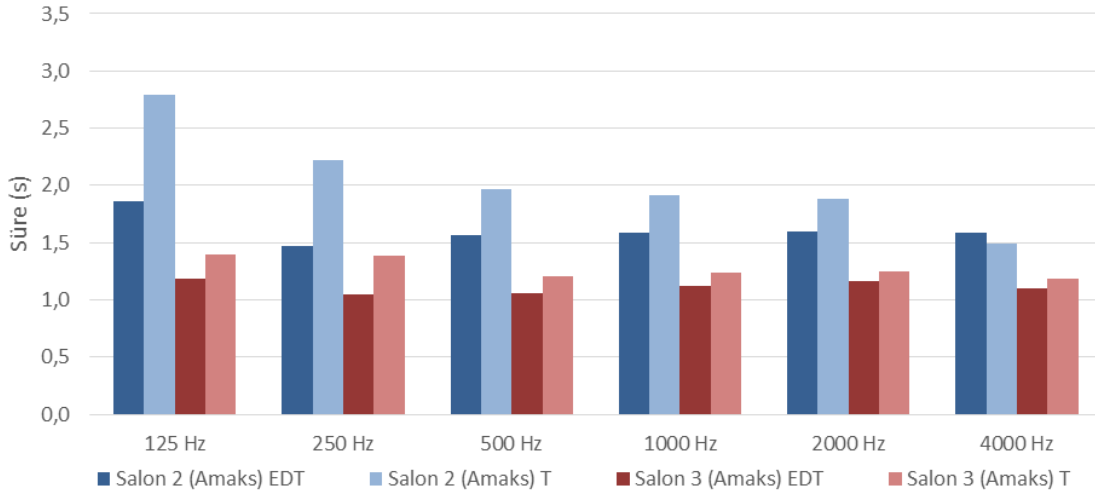
Kritik alıcılar olarak belirlenen  $A_{maks}$  ve  $A_{min}$  noktalarında, tüm tasarım varyasyonları için ölçülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri Şekil 6.4’te görülmektedir. Kaynağa yakın ve uzak olan iki alıcı noktada da birbirlerine yakın değerler elde edildiği, bu kazanımın salon genelinde sağlanan daha homojen ses alanı ile elde edildiği çıkarımı yapılabilir.



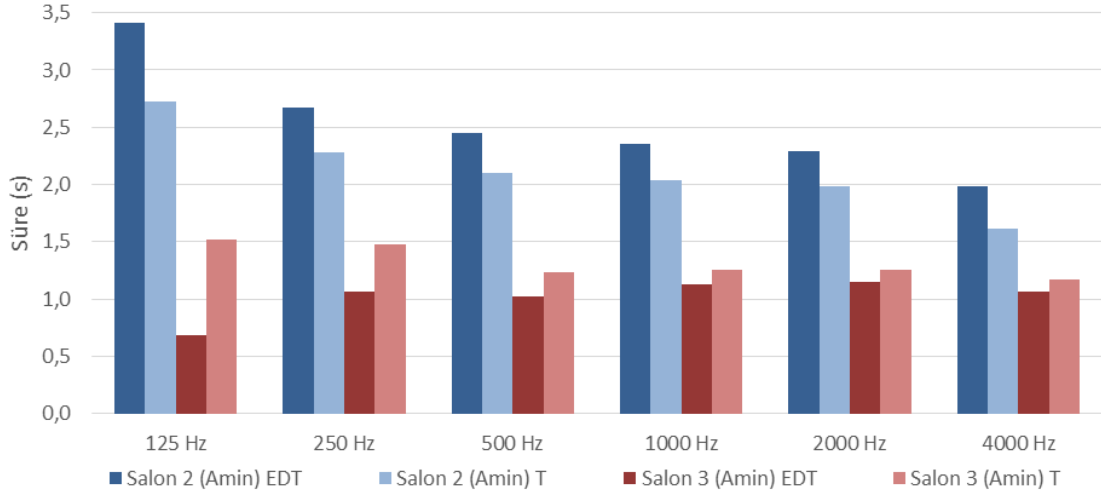
**Şekil 6.4 :** Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen çınlama süresi ( $T_{30}$ ) değerleri.

Salon 2’de düşük frekanslarda sağlanan yüksek çınlama süreleri ve bununla birlikte frekans bandı arttıkça kısalan çınlama süreleri, klasik müzik için temel akustik gereksinimlerden biri olarak görülmektedir. Salon 1 ve Salon 3’te ise tüm frekans bantlarında birbirlerine yakın çınlama süreleri elde edilmiştir.

Sahneye en uzak alıcılardan biri olan  $A_{maks}$  alıcısında ölçülen EDT- $T_{30}$  değerleri Şekil 6.5’te gösterilmektedir. Şekil 6.6’da ise sahneye en yakın alıcılardan  $A_{min}$  alıcısında ölçülen EDT- $T_{30}$  değerleri gösterilmektedir.



**Şekil 6.5 :** Salon 2 ve Salon 3’te  $A_{maks}$  alıcısında ölçülen EDT ve  $T_{30}$  değerleri.



**Şekil 6.6 :** Salon 2 ve Salon 3'te  $A_{min}$  alıcısında ölçülen EDT ve  $T_{30}$  değerleri.

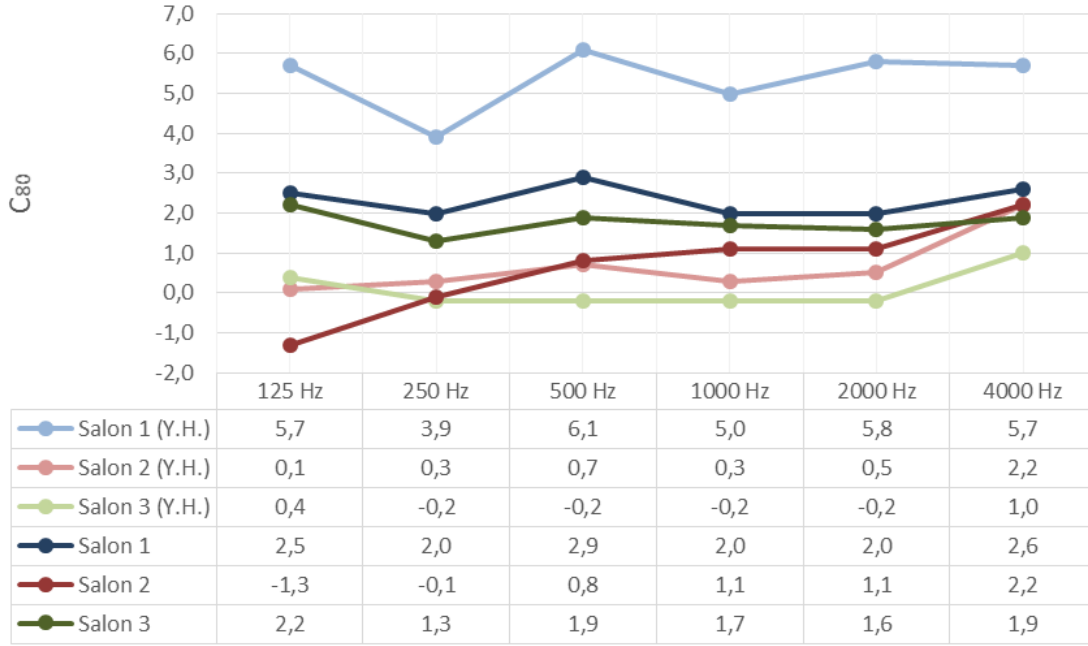
İki alıcının da grafikleri incelendiğinde:

- Salon 3'te genel olarak tavan reflektörünün etkisiz kalması ve yutucu yüzeylerin kullanılması ile birlikte EDT'nin  $T_{30}$ 'a göre düşük kaldığı,
- Salon 2'de sahneye yakın konumlanan  $A_{min}$  alıcısında EDT değerlerinin istenildiği gibi  $T_{30}$ 'a göre yüksek kaldığı; sahneye uzak konumlanan  $A_{maks}$  alıcısında ise EDT değerlerinin düşük kaldığı,
- Her iki  $A_{maks}$  ve  $A_{min}$  alıcısı için de çınlama sürelerinin eşdeğer aralıkta seyrettiği, erken düşme sürelerinde daha yüksek oranda farklılıklar görüldüğü anlaşılmaktadır.

### 6.1.2 Netlik ( $C_{80}$ )

Bölüm 5.1.2, Bölüm 5.2.2 ve Bölüm 5.3.2'de tasarım varyasyonlarında ölçülen müzikte netlik ( $C_{80}$ ) parametreleri, karşılaştırma grafikleri ve grid analizler ile kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Akustik düzenlemeleri yapılan bu varyasyonların aralarında sağlanan değişimler, yalın halleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.7'de görülmektedir.

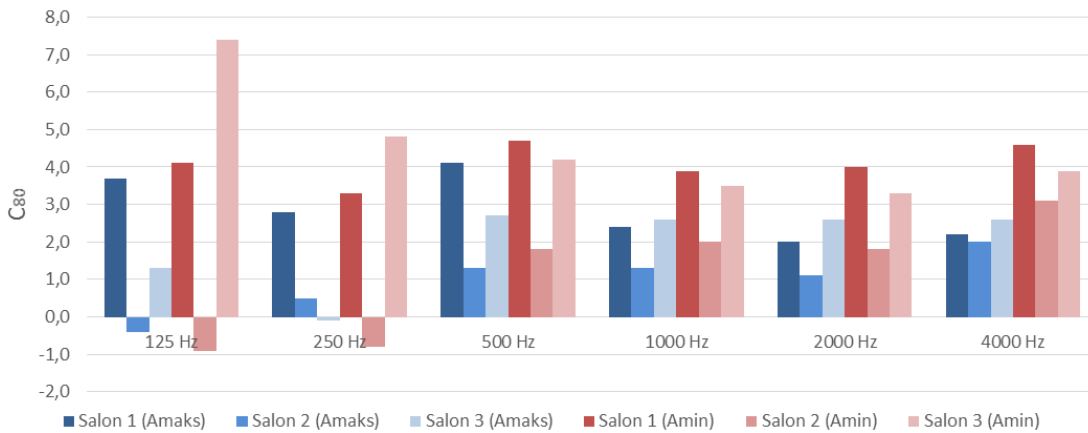
Şekil 6.7'deki grafik incelendiğinde, Salon 1'de azalan çınlama süresine rağmen netliğin de azaldığı görülmektedir. Bu duruma aşırı düzeyde artırılan yutuculuk ve bununla birlikte azalan ses basınç düzeylerinin sebep olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Sahne uzaklığı daha fazla olan Salon 3'te ise yutuculuğun artırılması ve geç yansımaların azaltılması ile birlikte netliğin arttığı görülmektedir.



**Şekil 6.7 :** Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen netlik ( $C_{80}$ ) değerleri.

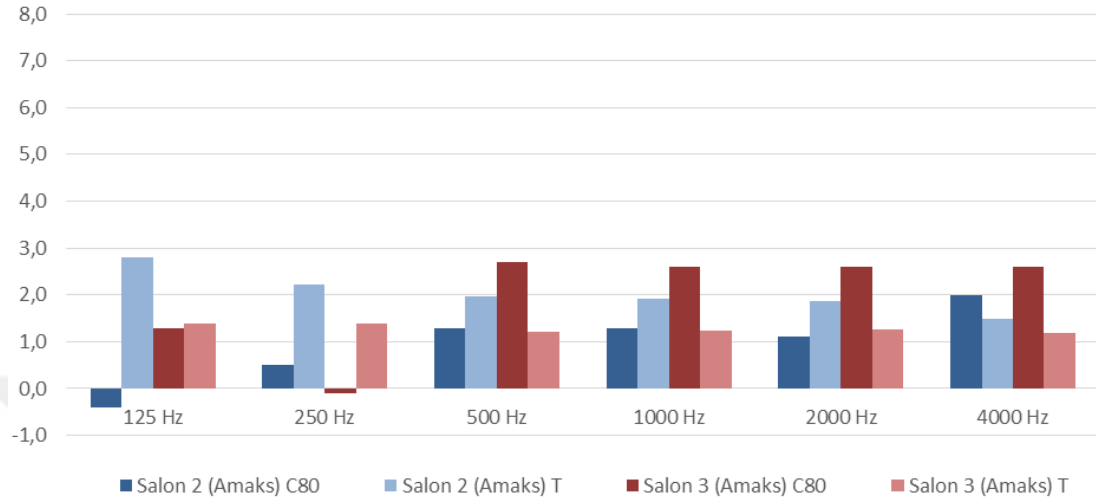
Kritik alıcılar olarak belirlenen  $A_{maks}$  ve  $A_{min}$  noktalarında, tüm tasarım varyasyonları için ölçülen netlik ( $C_{80}$ ) değerleri Şekil 6.8’de görülmektedir.

Klasik senfonik müzik gereksinimleri için çınlama süresi arttırılan Salon 2’de netliğin her iki alıcı için de azaldığı görülmektedir. Arttırılan çınlama süresi ile birlikte bu durumun doğal bir sonuç olduğu değerlendirilebilmektedir. Tüm salonlarda sahneye daha yakın olan  $A_{min}$  alıcı noktasında ise netliğin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu alıcı noktanın tavan reflektörünün kapsama alanı içinde olması ve erken yansımaları daha yoğun alınmasının bu duruma sebep olduğu çıkarımı yapılabilmektedir.

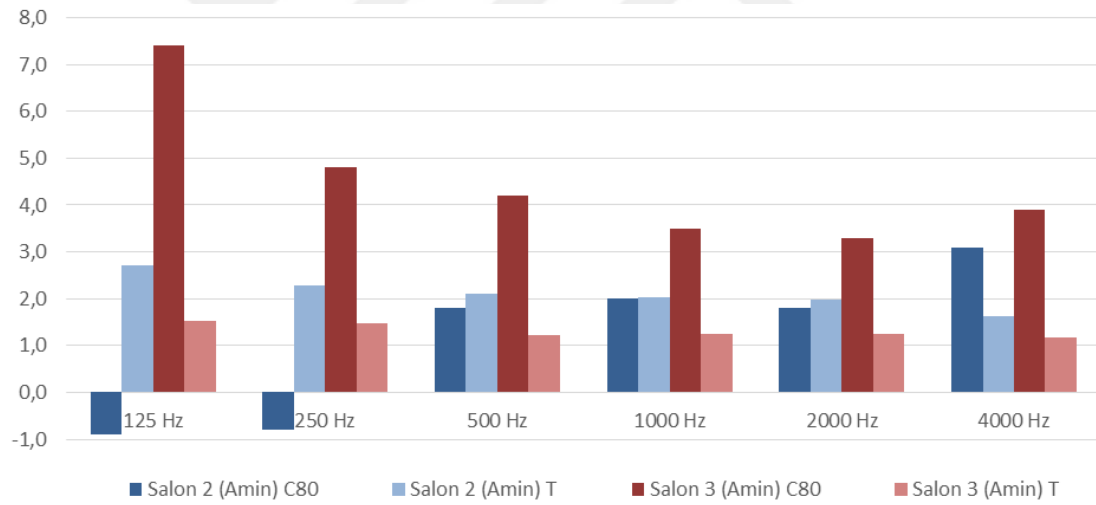


**Şekil 6.8 :** Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen netlik ( $C_{80}$ ) değerleri.

Sahneye en uzak alıcılardan biri olan  $A_{maks}$  alıcısında ölçülen  $C_{80}$ - $T_{30}$  değerleri Şekil 6.9'da gösterilmektedir. Şekil 6.10'da ise sahneye en yakın alıcılardan biri olan  $A_{min}$  alıcısında ölçülen  $C_{80}$ - $T_{30}$  değerleri gösterilmektedir.



Şekil 6.9 : Salon 2 ve Salon 3'te  $A_{maks}$  alıcısında ölçülen  $C_{80}$  ve  $T_{30}$  değerleri.



Şekil 6.10 : Salon 2 ve Salon 3'te  $A_{min}$  alıcısında ölçülen  $C_{80}$  ve  $T_{30}$  değerleri.

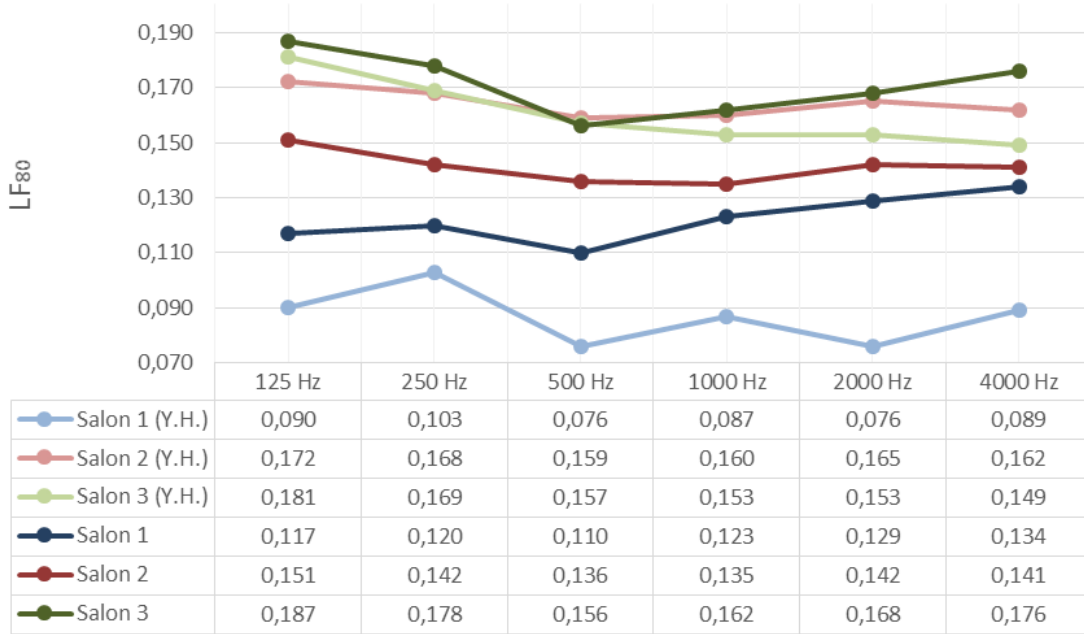
İki alıcının da grafikleri incelendiğinde:

- Sahneye yakın konumlandırılan  $A_{min}$  alıcısında erken ses enerjisinin daha yoğun alınmasına bağlı olarak, her iki salonda da  $A_{maks}$  alıcısına göre daha yüksek netlik elde edildiği,
- Salon 3'te  $A_{maks}$  ve  $A_{min}$  alıcıları için çınlama süresi eşdeğer aralıklarda seyrederken, sahneye yakın konumlandırılan  $A_{min}$  alıcısında yutucu yüzeylere bağlı olarak geç yansımaların azalması nedeni ile yüksek oranda  $C_{80}$  artışı meydana geldiği anlaşılmaktadır.

### 6.1.3 Yanal yansımalar (LF<sub>80</sub>)

Bölüm 5.1.3, Bölüm 5.2.3 ve Bölüm 5.3.3'te tasarım varyasyonlarında ölçülen yanal yansıma oranı (LF<sub>80</sub>) parametreleri, karşılaştırma grafikleri ve grid analizler ile kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Akustik düzenlemeleri yapılan bu varyasyonların aralarında sağlanan değişimler, yalın halleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.11'de görülmektedir.

Şekil 6.11'deki karşılaştırma grafiği incelendiğinde, akustik düzenlemeler sonrasındaki en yüksek yanal yansıma oranının Salon 3'te elde edildiği görülmektedir. Bu duruma, salonun bölünerek fan tipi biçiminde kullanılmasının neden olduğu çıkarımı yapılabilmektedir.

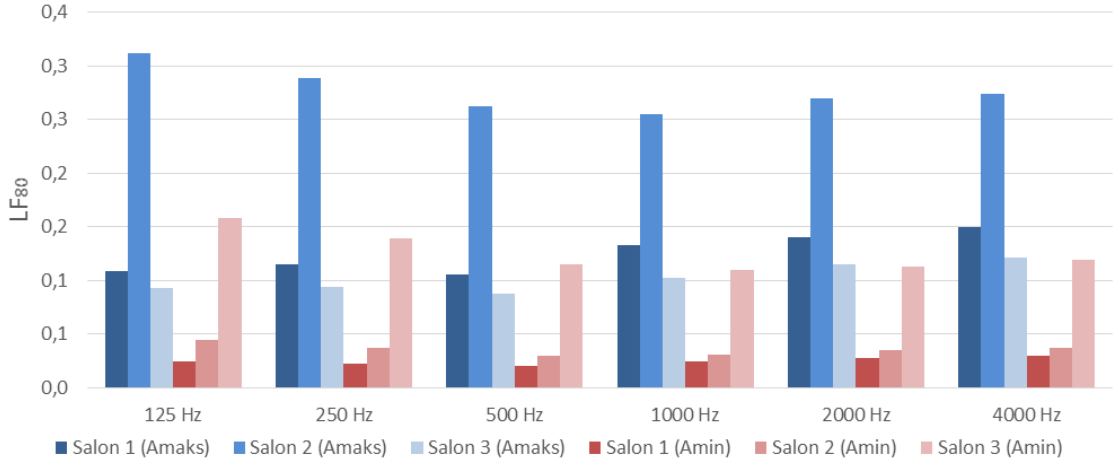


**Şekil 6.11** : Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen yanal yansıma oranı (LF<sub>80</sub>) değerleri.

Kritik alıcılar olarak belirlenen  $A_{maks}$  ve  $A_{min}$  noktalarında, tüm tasarım varyasyonları için ölçülen yanal yansıma oranı (LF<sub>80</sub>) değerleri Şekil 6.12'de görülmektedir.

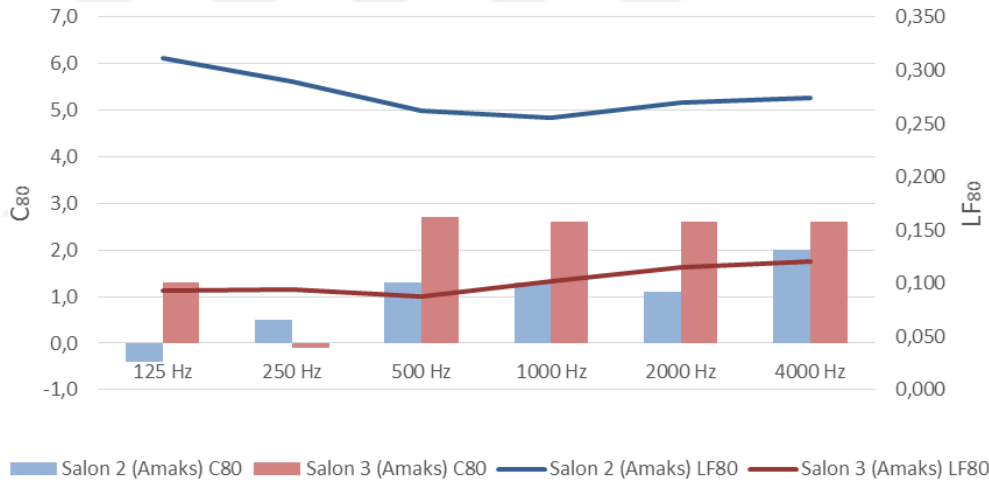
Klasik senfonik müzik gereksinimleri için çınlama süresi arttırılan Salon 2'de,  $A_{maks}$  alıcısına köşede bulunan konumu nedeni ile güçlü yanal yansımalar sağlandığı, buna bağlı olarak yüksek yanal yansıma oranının ölçüldüğü anlaşılmaktadır.  $A_{min}$  alıcısındaki değerler incelendiğinde, arttırılan yutuculuk ve buna bağlı olarak azalan geç yansımalar sebebi ile sadece Salon 3 varyasyonunda yanal yansıma oranında artış sağlandığı çıkarımı yapılabilmektedir.



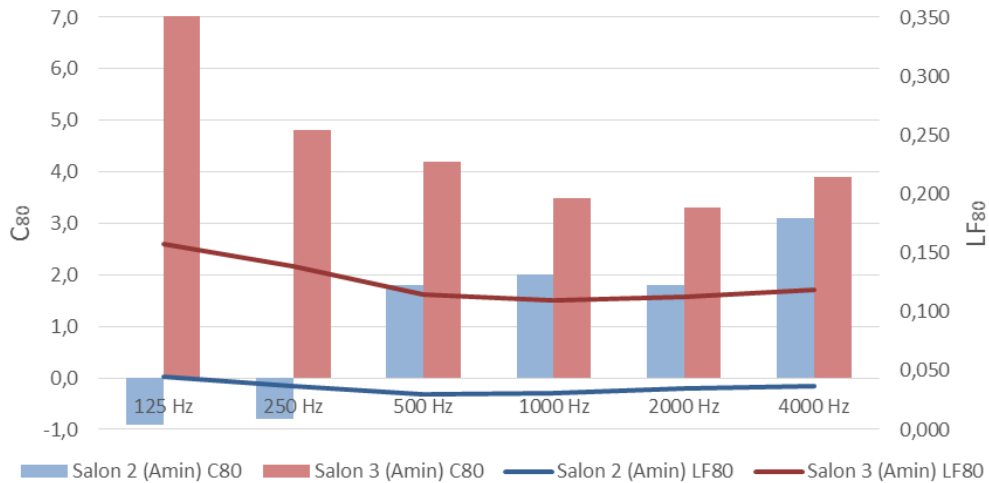


**Şekil 6.12 :** Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen yanal yansım oranı (LF<sub>80</sub>) değerleri.

Sahneye en uzak alıcılardan biri olan A<sub>maks</sub> alıcısında ölçülen LF<sub>80</sub>-C<sub>80</sub> değerleri Şekil 6.13’de gösterilmektedir. Şekil 6.14’te ise sahneye en yakın alıcılardan A<sub>min</sub> alıcısında ölçülen LF<sub>80</sub>-C<sub>80</sub> değerleri gösterilmektedir.



**Şekil 6.13 :** Salon 2 ve Salon 3’te A<sub>maks</sub> alıcısında ölçülen LF<sub>80</sub> ve C<sub>80</sub> değerleri.



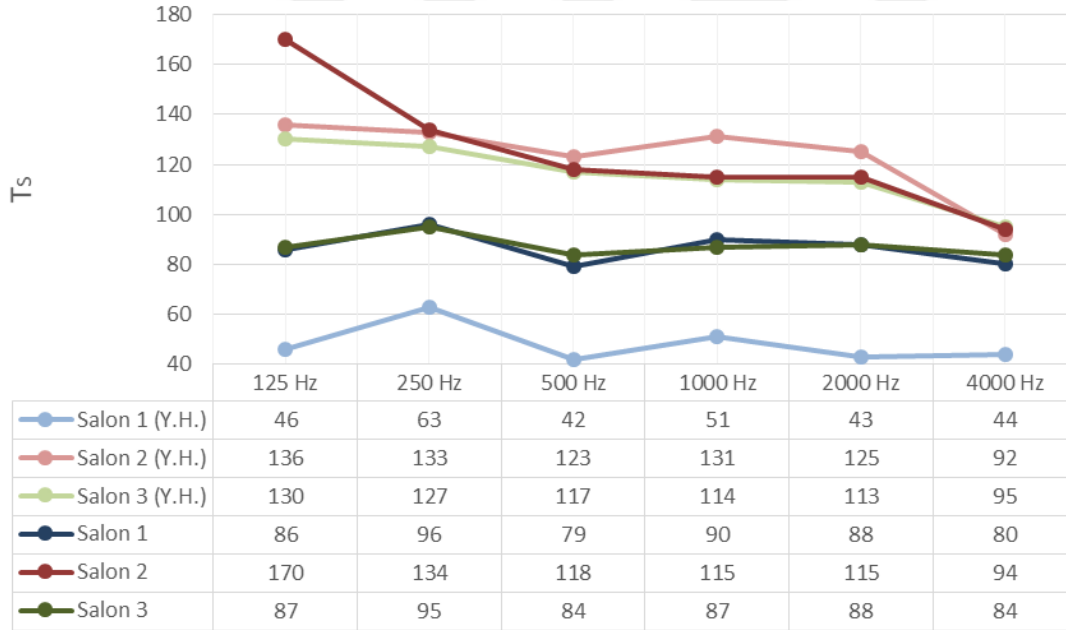
**Şekil 6.14 :** Salon 2 ve Salon 3’te A<sub>min</sub> alıcısında ölçülen LF<sub>80</sub> ve C<sub>80</sub> değerleri.

İki alıcının da grafikleri incelendiğinde:

- Salon 2’de sahneye yakın konumlandırılan  $A_{\min}$  alıcısında, arttırılan çınlama süresi ve geç ses enerjisinin daha yoğun alınmasına bağlı olarak  $A_{\max}$  alıcısına göre yanal yansıma oranının düştüğü,
- Salon 3’te  $A_{\min}$  ve  $A_{\max}$  alıcıları arasında alıcı noktanın sahneye yaklaşmasına bağlı olarak artan  $C_{80}$  değerleri görülmesine rağmen, yansımaların her yönden alınmasına bağlı olarak eşdeğer bir yanal yansıma oranının görüldüğü anlaşılmaktadır.

#### 6.1.4 Merkez süre ( $T_s$ )

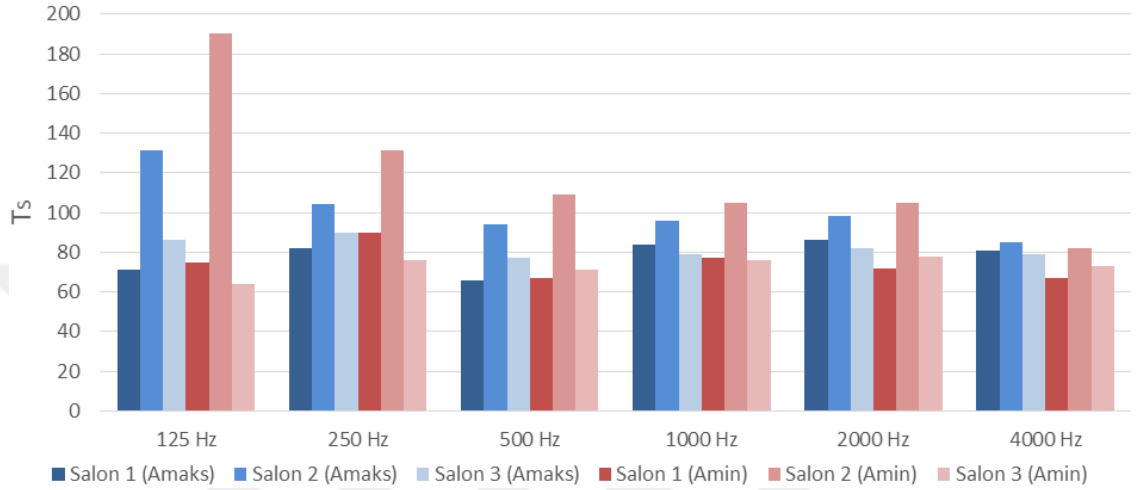
Bölüm 5.1.4, Bölüm 5.2.4 ve Bölüm 5.3.4’te tasarım varyasyonlarında ölçülen merkez süre ( $T_s$ ) parametreleri, karşılaştırma grafikleri ve grid analizler ile kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Akustik düzenlemeleri yapılan bu varyasyonların aralarında sağlanan değişimler, yalın halleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.15’te görülmektedir.



Şekil 6.15 : Salonların yalın hallerinde ve akustik düzenleme sonrasında görülen merkez süre ( $T_s$ ) değerleri.

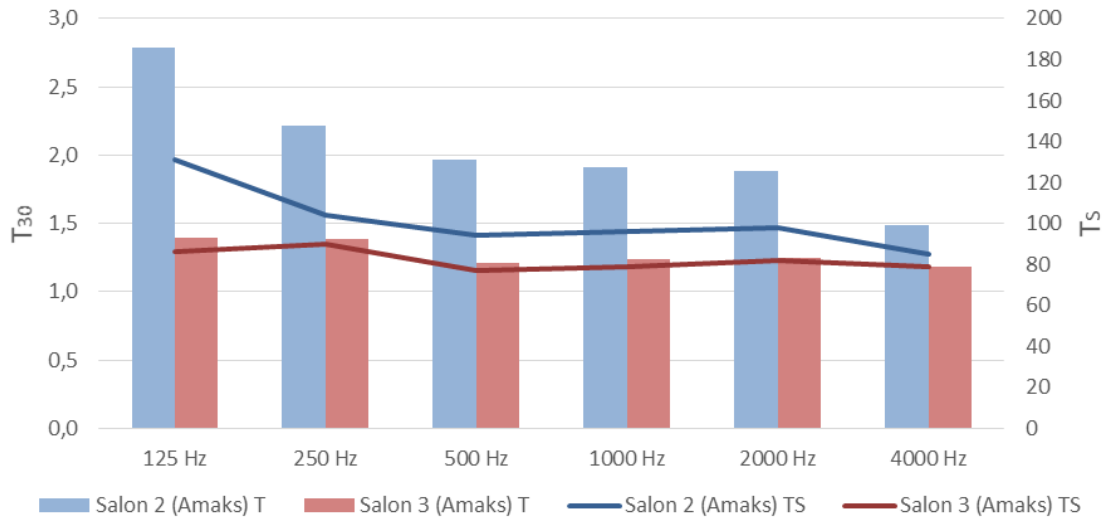
Şekil 6.15’teki karşılaştırma grafiği incelendiğinde, Salon 1’de merkez sürenin arttığı, Salon 3’te ise azaldığı görülmektedir. İki salon için de ortak özellik olarak düşürülen çınlama süreleri göz önünde bulundurulduğunda, Salon 1’de netliğin azalmasına da sebep olan azalan erken yansımaların bu duruma neden olduğu düşünülmektedir.

Kritik alıcılar olarak belirlenen  $A_{maks}$  ve  $A_{min}$  noktalarında, tüm tasarım varyasyonları için ölçülen merkez süre ( $T_s$ ) değerleri Şekil 6.16'da görülmektedir. Klasik senfonik müzik gereksinimleri için çınlama süresi arttırılan Salon 2'de her iki alıcı için de merkez süre süre parametresinin artış gösterdiği, artış oranının çınlama süresi grafiği ile paralel olarak düşük frekanslarda daha yüksek, yüksek frekanslarda daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

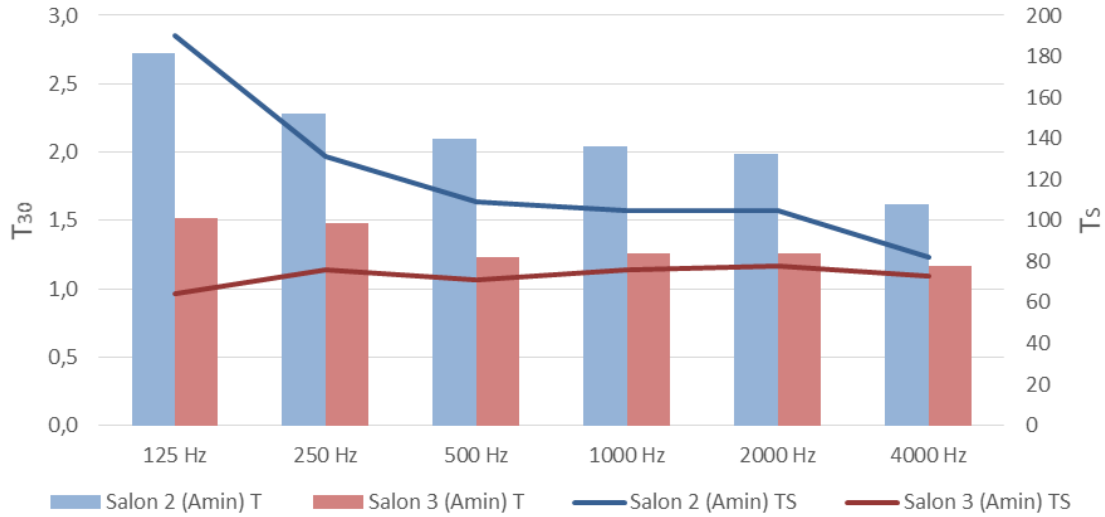


**Şekil 6.16 :** Tüm tasarım varyasyonları için akustik düzenleme sonrasında kritik alıcı noktalarında ölçülen merkez süre ( $T_s$ ) değerleri.

Sahneye en uzak alıcılardan biri olan  $A_{maks}$  alıcısında ölçülen  $T_s$ - $T_{30}$  değerleri Şekil 6.17'de gösterilmektedir. Şekil 6.18'de ise sahneye en yakın alıcılardan  $A_{min}$  alıcısında ölçülen  $T_s$ - $T_{30}$  değerleri gösterilmektedir.



**Şekil 6.17 :** Salon 2 ve Salon 3'te  $A_{maks}$  alıcısında ölçülen  $T_s$  ve  $T_{30}$  değerleri.



**Şekil 6.18** : Salon 2 ve Salon 3'te  $A_{min}$  alıcısında ölçülen  $T_s$  ve  $T_{30}$  değerleri.

İki alıcının da grafikleri incelendiğinde:

- Her iki salondaki  $A_{min}$  ve  $A_{maks}$  alıcıları için, çınlama sürelerinin ilerlemesine bağlı olarak merkez süre parametrelerinin de paralel bir doğrultuda ilerlediği,
- Salon 2'de, sahneye yakın konumlanan  $A_{min}$  alıcı noktasında düşük frekansların daha yüksek merkez süre değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

## 6.2 Üç Ayrı Tasarım Varyasyonunun Değerlendirilmesi

### 6.2.1 Salon 1

Yapılan akustik düzenlemeler ile yutuculuk artırılmış, çınlama süresi spor salonları için yönetmelikte belirtilen limit değerinin altına çekilerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumla birlikte spor salonunda anonslar için elektro-akustik sistemler kullanıldığında, uğultu veya şiddetli gürültü düzeyi olarak algılanabilecek olası sorunlar da önlenmiştir.

### 6.2.2 Salon 2

Arka duvar ve tavan yüzeylerinde bir bütün halinde tasarlanan değişken akustik sistemler ile düşük frekanslardaki yutuculuk azaltılarak, çınlama eğrisi klasik müzik için literatürde belirtildiği gibi düşük frekanslarda yüksek, yüksek frekanslarda düşük olmak üzere ayarlanmıştır. Diğer tasarım varyasyonlarında sağlanan düz çınlama eğrisine kıyasla kayda değer bir değişim sağlanmıştır.

Çınlama süresi dışındaki parametrelerde ise salon genelindeki ortalama iyileşme oranı sınırlı gözükmemektedir. Bu parametrelerde salonun genel ortalaması çok fazla

değişim göstermese bile, hacim genelindeki yayılım iyileştirilerek minimum ve maksimum değerler arasındaki farklar azaltılmıştır. Belirlenen sınır değerlerin dışında kalan, kusurlu olarak tanımlanabilecek bölgelerin oranının azaltıldığı grid analizlerden ortaya çıkmıştır. Ses alanının hacim içinde daha homojen yayılması sağlanarak ses şiddetinin de hacim genelinde mümkün olduğu kadar eşit biçimde yayılması sağlanmıştır.

Salonun mimari tasarım nitelikleri sebebi ile yanal yansılarda istenen artış sağlanamamıştır. Özellikle sahneye yakın olan orta bölümlerin arka-yan duvarlara uzak konumları nedeni ile düşük değerler ölçülmüştür. Bu sorunun önlenmesi için, spor salonunun tribün düzleminin parçalı hale getirilerek salon içinde ek duvarlar yaratılması üzerine yeni bir tasarım önerisi sunulabilir.

Yapılan akustik düzenlemenin yansıtıcı, saçıcı yüzey özellikleri ile birlikte ses basınç düzeyinin (SPL, G) hacim geneline daha iyi yayılması sağlanmış, böylelikle orkestranın en arka sıradan bile güçlü ve tüm detaylar algılanabilecek şekilde duyulur hale gelmesi sağlanmıştır.

### **6.2.3 Salon 3**

Değişken akustik sistemler “yutucu” durumlarında kullanılarak hacimdeki yutuculuk da genel olarak arttırılmıştır. Bu sayede salonun akustik açıdan “ölü hacim” niteliği göstermesini sağlayan, güçlendirilmiş müzik karakteristiğine uygun çınlama süreleri elde edilmiştir. Tüm frekans bantlarında düz bir çınlama eğrisi sağlanarak, elektro-akustik sistemler kullanıldığında düşük frekanslı seslerin sebep olabileceği ses patlamalarının ve uğultuların önüne geçilmiştir.

Salonun konferans, kongre gibi konuşma amaçlı da kullanılabilmesi düşünülerek performansı değerlendirilmiştir. Yapılan düzenlemeler ile konuşma netliğinin ve anlaşılabilirliğin arttırıldığı tespit edilmiştir. Yansımaların dinleyiciye ulaşması için gereken ortalama süre ve gidim mesafesi azaltılarak, ses enerjisi iletiminin uzun yansımalarla sağlanmasının önüne geçilmiştir. Bu sayede yankılanma (eko) kusurunun olduğu bölgeler de giderilmiştir.

Salonun mimari kısıtları nedeni ile yanal yansılarda istenilen artışın sağlanamaması, elektro-akustik sistemlerin kullanıldığı Salon 3 için de geçerlidir. Ancak salonun orta bölümlerinde yeterli alınmayan yanal yansımaların sebep olduğu düşük ses basınç düzeyleri, elektro-akustik sistemler ile telafi edilebilmektedir.

### 6.3 Genel Değerlendirmeler

Çalışma kapsamında, bir spor salonunun hem pasif akustik (klasik müzik) hem de aktif akustik (spor salonu ve güçlendirilmiş müzik) ile çok amaçlı kullanımı için tasarlanması durumunda, akustik değerlendirme kriterlerine ne kadar uygunluk sağlayabildiği sorgulanmıştır.

Salonun kapasitesi ve temel mimari tasarım parametreleri akustik kriterler gözetilerek belirlenmiş, daha yüksek seyirci kapasitesine sahip (+5000) büyük salonlarda istenilen hacim/kişi oranlarının sağlanamadığı görülmüştür. Temel olarak çınlama süresi eğrisine göre şekillenen malzeme seçimleri ve tasarlanan değişken akustik sistemleri ile istenilen hacim akustiği kriterlerinin sağlanabildiği görülmüştür.

Üç tasarım varyasyonu için yapılan değerlendirmelerde, salonun genel ortalaması alınarak yapılan karşılaştırmaların görülen değişim miktarını yansıtmada yetersiz olduğu, daha detaylı analizler için grid ve alıcı bazındaki karşılaştırmalara bakılması gerektiği anlaşılmıştır. Genel olarak tüm tasarım varyasyonlarında ses alanının daha homojen hale getirildiği, dolayısıyla da nesnel parametrelerin daha dar bir aralıkta salon geneline dağılımının sağlandığı tespit edilmiştir.

Yapılan düzenlemeler ve değişken akustik uygulamaları sonucunda, spor salonunun çok amaçlı olarak konserlerde de kullanılabileceği görülmüştür. Yutuculukta sağlanan değişkenlik sayesinde hacmin hem pasif akustik (klasik müzik) hem de aktif akustik (spor salonu ve güçlendirilmiş müzik) ile kullanımı durumunda istenen akustik şartlar sağlanabilmiştir.

Günümüzde bir çok spor salonunda özel bir akustik tasarım yapılmadan gerçekleştirilen bu tür etkinliklerde, tüm dinleyicilere yüksek akustik konfor şartlarının sağlanabilmesi için geliştirilen tasarım önerilerinin bir çözüm olarak sunulabileceği görülmüştür. Gelişen elektronik kontrol sistemleri ile birlikte de kullanımlarının teknisyenler tarafından kolaylıkla yapılabileceği, ilk yatırım maliyetlerinin düzenlenecek etkinliklerle kısa sürede çıkarılabileceği değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, şehirlerde giderek azalan arsa arzı ve mevcut spor salonlarının konser işlevlerinde kullanılma ihtiyacının artmasına paralel olarak çalışma kapsamında sunulan akustik düzenleme önerilerinin, mevcut salonlarda da bir revizyon önerisi olarak değerlendirilebileceği düşünülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] **Templeton, D.** (1993). *Acoustics in the Built Environment: Advice for the Design Team.*
- [2] **Asselineau, M.** (2015). *Building Acoustics.* CRC Press.
- [3] **Culley, P. ve Pascoe, J.** (2009). *Sports Facilities and Technologies.* Routledge.
- [4] **Ermann, M.** (2015). *Architectural Acoustics Illustrated.* WILEY.
- [5] **Holden, M.** (2016). *Acoustics of Multi-Use Performing Arts Centers.* CRC Press.
- [6] **Beranek, L.** (2004). *Concert Halls and Opera Houses : Music, Acoustics and Architecture, Second Edition.* Springer - Verlag New York INC, New York, USA.
- [7] **Fuchs, H.** (2013). *Applied Acoustics: Concepts, Absorbers, and Silencers for Acoustical Comfort and Noise Control.* Springer, USA.
- [8] **Rossing, T. D.** (2007). *Handbook of Acoustics.* Springer, USA.
- [9] **Ahnert, W. ve Schmidt, S.** (t.y.). *EASERA Manual Appendix. Electronic and Acoustic System Evaluation and Response Analysis.*
- [10] **ISO 3382-1** (2009) *Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters, Part 1 : Performance Spaces.*
- [11] **Maekawa, Z. Rindel, J. H. ve Lord, P.** (2011). *Environmental and Architectural Acoustics, Second Edition.* Spon Press.
- [12] **Gürkan, E.** (2013). *At Nalı Plan Tipi Salonların Konser ve Opera İşlevlerinde Akustik Tasarım Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- [13] **Mehta, M. ve Johnson J.** (1999). *Architectural Acoustics: Principles and Design.* CRC Press.
- [14] **Christensen, C. L. ve Rindel, J. H.** (2011). *Diffusion in Concert Halls Analysed as a Function of Time During The Decay Process, Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 33. Pt.2.*
- [15] **ISO 3382-2** (2009) *Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters, Part 2 : Reverberation Time in Ordinary Rooms.*
- [16] **Long, M.** (2006) *Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, USA.*
- [17] **Teke, D.** (2012). *Arena Tip Salonlarda Mimari Tasarım Öğelerinin Bilgisayar Simülasyon Çalışması ile Akustik Açıda İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- [18] **Demirkale, S.** (2007) *Çevre ve Yapı Akustiği – Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.*
- [19] **Jaramillo, A. M. ve Steel, C.** (2015). *Architectural Acoustics.* Routledge.

- [20] **Adelman-Larsen, N. W.** (2014). Rock and Pop Venues: Acoustic and Architectural Design. Springer.
- [21] **Kuttruff, H.** (2009). Room Acoustics. Spon Press, USA.
- [22] **Adelman-Larsen, N. W.** (2016). Acoustics for Amplified Music and A New, Variable Acoustics Technology. ICA 2016.
- [23] **Chasin, M.** (2009) Hearing Loss in Musicians: Prevention and Management, Plural Publishing Inc., San Diego, USA.
- [24] **Binaların Gürültüye Karşı Korunması ve Ses Yalıtımı Hakkında Yönetmelik** (2017).
- [25] **Jacobsen, F. Poulsen, T. Rindel, J. H. Gade A. C. ve Ohlrich H.** (2011). Fundamentals of Acoustics and Noise Control. Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark.
- [26] **Barron, M.** (2010). Auditorium Acoustics and Architectural Design, Second Edition, Spon Press, London and New York, USA.
- [27] **Gade, A. C.** (1989). Investigations of musicians' room-acoustic conditions in concert halls.
- [28] **Christensen, C. L.** (2011). ODEON Room Acoustics Software Version 11 Manual, Second Edition, Industrial, Auditorium and Combined Editions.
- [29] **Ellison, S. ve Schwenke, R.** (2010). The Case for Widely Variable Acoustics. ISRA 2010.
- [30] **Sport England.** (2012). Sports Halls Design & Layouts.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Onur TEKİN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 20.08.1993 / İstanbul  
**E-posta** : onurtekin@email.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Özyeğin Üniversitesi,  
Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2017-2018: 3H Prekast / Dizayn Ofis Mimarı, İstanbul Havalimanı ATC Kule
- 2018- : Pro-Plan Proje Mühendislik / Mimar