

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARENA TİP SALONLARDA MİMARİ TASARIM ÖĞELERİNİN
BİLGİSAYAR SİMÜLASYON ÇALIŞMASI İLE AKUSTİK AÇIDAN
İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilara TEKE

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ

EKİM 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARENA TİP SALONLARDA MİMARİ TASARIM ÖĞELERİNİN BİLGİSAYAR
SİMÜLASYON ÇALIŞMASI İLE AKUSTİK AÇIDAN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Dilara TEKE
502081522**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ

EKİM 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502081522 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Dilara TEKE**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ARENA TİP SALONLARDA MİMARİ TASARIM ÖĞELERİNİN BİLGİSAYAR SİMÜLASYON ÇALIŞMASI İLE AKUSTİK AÇIDAN İRDELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Leyla TANAÇAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zerhan Yüksel CAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Eylül 2012**
Savunma Tarihi : **11 Ekim 2012**

ÖNSÖZ

Öğrenim ve meslek hayatıma yaptığı katkılarıyla Prof. Dr. Sevtap Yılmaz'a, bana her konuda destek olan aileme, çok değerli arkadaşlarıma ve Ulaş'a teşekkür ederim

Kasım 2012

Dilara TEKE
İç Mimar

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu Alanının Tanıtılması.....	2
1.2 Çalışma Yöntemi Hakkında Bilgi	3
2. SALON AKUSTİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	5
2.1 Mimari Tasarım Elemanları	5
2.1.1 Salon Formu	6
2.1.2 Salon Hacmi	7
2.1.3 Yüzey Malzemeleri	8
2.1.4 Sahne Tasarımı	8
2.2 Nesnel ve Öznel Parametreler	17
2.2.1 Nesnel Akustik Parametreleri.....	21
2.2.2 Optimum Nesnel Akustik Parametreleri	42
2.2.3 Öznel Akustik Parametreleri	44
2.3 Müzik Eylemi	48
2.3.1 Müzik Enstrümanlarının Tınısı	48
2.3.2 Müzik Enstrümanlarının Temel ve Üst Ton Aralıkları	49
2.3.3 Müzik Enstrümanlarının Akustik Frekans Spektrumları.....	50
2.3.4 Enstrümanların Yükselme ve Alçalma Karakterleri	58
2.3.5 Kaynak Tipinin Akustik Konfora Etkisi.....	60
3. TASARLANAN SALONUN DEĞİŞEN MİMARİ TASARIM ELEMANLARININ AKUSTİK KOŞULLARA ETKİSİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE İRDELENMESİ	63
3.1 Simülasyon Yönteminin Açıklanması.....	63
3.2 Simülasyonda Kullanılan Salon Kabulleri	63
3.2.1 Geometrik Tasarım Kabulleri.....	64
3.2.2 Malzeme Kabulleri	67
3.2.3 Kaynak, Alıcı Özellikleri ve Konumları	74
4. ARENA TİPLİ SALONLARIN ODEON SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE ANALİZ ÇALIŞMASI.....	79
4.1 Tavan Yükseklik ve Form Tasarımının Akustik Analizi	80
4.1.1 Düz Tavanlı Salon Tasarımının Akustik Analizi (H: 15,5m)	81
4.1.2 Konveks Tavanlı Salon Tasarımının Akustik Analizi (H: 15,5m).....	95
4.1.3 Konveks Tavanlı Salon Tasarımının Akustik Analizi (H: 15,0m).....	106
4.1.4 Konkav Tavanlı Salon Tasarımının Akustik Analizi (H:19,85m)	115
4.1.5 Tavan Tasarımlarının Genel Akustik Etkilerinin Karşılaştırılması.....	126

4.2 Yansıtıcı Panel Tasarımlarının Akustik Analizi.....	130
4.2.1 Yansıtıcı Panel Büyüklüğünün Akustik Analizi.....	131
4.2.2 Yansıtıcı Panel Tasarımlarının Genel Akustik Etkilerinin Karşılaştırılması	138
4.3 Yan Duvar Tasarımlarının Akustik Analizi	151
4.3.1 Yan Duvarların ve Arka Duvarların Eğriselliğinin Akustik Analizi....	151
4.3.2 Yan Duvarların Ve Arka Duvarların Yüksekliğinin Akustik Anali.....	164
4.4 Kaynak Olarak Orkestra Etkisinin Akustik Analizi	174
5. SONUÇ.....	177
KAYNAKLAR.....	181

KISALTMALAR

AI	: Anlaşılabilirlik indeksi (Articulation Index)
ASW	: Algılanan kaynak genişliği (Apparent Sound Width)
SI	: Mekansal algılama (spatial impression)
C80	: Açıklık, netlik (Clarity)
D50	: Belirginlik (Deutlichkeit)
EDT	: Erken düşme süresi (Early Decay Time)
G	: Ses yüksekliği düzeyi (Sound Strength)
IACCE	: İlk yansımaların kulak arası karşılıklı ilişki katsayısı(Inter Aurial Cross Correlation)
ITDG	: İlk ulaşım zamanı (Initial Time Delay Gap)
LEV	: Dinleyicinin hacimce kuşatılmışlığı (Listener Envelopment)
LG80, GLL	: Gecikmiş yanal ses düzeyi (Late Lateral Sound Strength)
LF80	: Erken yanal enerji oranı (Lateral Fraction)
SI	: Konuşma anlaşılabilirliği (Speech Intelligibility)
STI	: Konuşmanın iletim indeksi (Speech Transmission Index)
STC	: Ses geçiş sınıfı (Sound Transmission Class)
T, RT, T30	: Çınlama süresi (Reverberation Time)
ST erken	: Erken destek (Support Early)
ST geç	: Geç destek (Support Late)
TR	: Yüksek frekans oranı (Treble ratio)
BR	: Alçak frekans oranı (Bass Ratio)
SR	: Mekansal tepki (Spatial Responsiveness)

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 : Enstrümanların sahne yerleşim alanları	9
Çizelge 2.2 : Enstrümanların yerleşmesi gereken basamak derinlik değerleri.....	9
Çizelge 2.3 : Akustik özelliklerin optimum değer çizelgesi.....	42
Çizelge 2.4 : Optimum nesnel akustik parametreleri.....	43
Çizelge 2.5 : Öznel değerlendirme çizelgesi	46
Çizelge 2.6 : Öznel ve nesnel parametrelerin ilişki çizelgesi	47
Çizelge 3.1 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	69
Çizelge 3.2 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	70
Çizelge 3.3 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	71
Çizelge 3.4 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	71
Çizelge 3.5 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	72
Çizelge 3.6 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	72
Çizelge 3.7 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	73
Çizelge 3.8 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri	73
Çizelge 3.9 : Analizi yapılan salonun platform çizelgesi	78
Çizelge 4.1 : Karşılaştırılan salonların genel olarak teknik özellik çizelgesi	81
Çizelge 4.2 : Karşılaştırma çizelgesi	95
Çizelge 4.3 : Karşılaştırılan salonların teknik verileri	106
Çizelge 4.4 : Karşılaştırma çizelgesi	115
Çizelge 4.5 : Karşılaştırılan salonların teknik değer çizelgesi.....	131
Çizelge 4.6 : Salon B, yansıtıcı panelsiz salon tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;.....	142
Çizelge 4.7 : Salon B1, 2,5m x 2,5m parçalı yansıtıcı panel tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;	143
Çizelge 4.8 : B1 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği	145
Çizelge 4.9 : Salon B3, 10m x1 0m lik yansıtıcı panel tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;.....	146
Çizelge 4.10 : Salon B4, yansıtıcı panel tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;	147
Çizelge 4.11 : Karşılaştırılan salonların teknik değerleri	151
Çizelge 4.12 : Alçak ve yüksek yan duvar tasarımlı salonların karşılaştırma çizelgesi	165
Çizelge 4.13 : Orkestranın olduğu salonun frekansa bağlı nesnel akustik parametreleri	175

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Temel salon şemaları [2]	7
Şekil 2.2 : Örnek bir caz orkestrasının enstrümanlarının ve mikrofonlarının sahne dizilimi [3].....	11
Şekil 2.3 : Senfoni orkestrasının enstrüman ve mikrofon dizilimi [3]	12
Şekil 2.4 : Küçük klasik müzik orkestrasının enstrüman ve mikrofon dizilimi [3]...	12
Şekil 2.5 : İlk panelin konumlanış şekli [6].....	14
Şekil 2.6 : İkinci panelin konumlanış şekli [6].....	14
Şekil 2.7 : Üçüncü panelin konumlanış şekli [6].....	15
Şekil 2.8 : Panellerin yansıttığı ses ışını alanları [6]	15
Şekil 2.9 : Yanal ve tavan yansıma örneği [24].....	16
Şekil 2.10 : Öznel hacim akustiğine genel bakış [1]	18
Şekil 2.11 : Akustik çevreyi oluşturan direkt ses ve yansıyan sesler [1].....	18
Şekil 2.12 : Sinyal tepkisi oluşumun ilustrasyon diyagramı [1].....	19
Şekil 2.13 : Yan duvardan gelen tek bir yansımanın çeşitli işitsel etkileri verilmiştir. Sinyal olarak müzik kullanılmıştır [1].	19
Şekil 2.14 : Dikey çizgilerle gösterilen direkt sese eklenen yeni yansımaların mekansal algılama eşikleridir. [4].....	20
Şekil 2.15 : Ses düşüş eğrisi ve çınlama süresi [7].....	22
Şekil 2.16 : Hacme bağlı konuşma ve müzik için önerilen çınlama süresi – RT değer grafiği [19].....	22
Şekil 2.17 : 125 Hz’de ses yüksekliğinin çınlama süresine bağlı artışı [22].....	23
Şekil 2.18 : Dikdörtgen plan şemasına ve dikdörtgen olmayan plan şemasında ses yüksekliği ile çınlama süresi bağlantısı verilmiştir[22].....	24
Şekil 2.19 : Mesafeye bağlı RT (çınlama süresi) ve EDT erken düşme süresi değişimi [17].....	24
Şekil 2.20 : Erken düşme süresinin sahneye yakın noktalarda zamana bağlı grafiği verilmiştir. [17].....	25
Şekil 2.21 : Sinyal tepkisinde erken yansımaların geç yansımalara oranı verilmiştir[4].	26
Şekil 2.22 : H (Hallabstand) parametresinin hacim algılama ile ilişkisi [16].....	27
Şekil 2.23 : Gelen yansımaların yöne bağlı SBTs değerleri ve psikolojik sarmalanma hissine etkisi verilmiştir [15].	28
Şekil 2.24 : Ses yüksekliği denklemi ile direkt sestten sonra gelen yansımaların grafiksel olarak gösterimi verilmiştir [1].....	29
Şekil 2.25 : ASW kaynağın genişliği ile ilgili bilgi verirken, LEV alıcının sarmalanması ile ilgili bilgi verir. [4]	32
Şekil 2.26 : LEF bağıntısının yansıma grafiği ile anlatımı[1]	33
Şekil 2.27 : Mekansal algılama, G ve LF ilişki grafiği [12]	35
Şekil 2.28 : Akustikçiler ve tercih ettikleri çınlama süresi oran eğrisi [21]	39
Şekil 2.29 : Erken ve geç yansıma enerjisinin, sahnede 1m alıcı kaynak mesafesinde kaydedilmiş direkt sese oranıdır.	40
Şekil 2.30 : Sahne yerleşiminde Amerikan düzeni [20]	41
Şekil 2.31 : STI ve RASTI ölçümünde teori ve prensip illüstrasyonu	42
Şekil 2.32 : Bir melodinin temel frekans yapısı [3].....	48

Şekil 2.33 : Enstrümanların genel frekans spektrumları verilmiştir. [3]	50
Şekil 2.34 : Keman ve temel frekans grafiği [3].....	51
Şekil 2.35 : Kontrbas ve temel frekans grafiği [3].....	51
Şekil 2.36 : Piyano ve temel frekans grafiği [3]	52
Şekil 2.37 : Gitar ve temel frekans grafiği [3]	52
Şekil 2.38 : Flüt ve temel frekans grafiği [3].....	53
Şekil 2.39 : Mızıkta ve temel frekans grafiği [3].....	53
Şekil 2.40 : Klarnet ve temel frekans grafiği verilmiştir[3].....	54
Şekil 2.41 : Saksafon ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3].....	54
Şekil 2.42 : Obua ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3]	55
Şekil 2.43 : Fagot ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3].....	55
Şekil 2.44 : Trompet ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3].....	56
Şekil 2.45 : Tuba ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3]	56
Şekil 2.46 : “Ah” sesinin akustik spektrumu verilmiştir [3].....	57
Şekil 2.47 : Zil enstrümanının temel frekans spektrumu [3]	57
Şekil 2.48 : Zil enstrümanının temel frekans spektrumu [3]	58
Şekil 2.49 : Enstrümanların yükselme – durgun hal – alçalma karakterleri verilmiştir. A: tezeneli (çekmeli) çalgılar, B: vurmali telli çalgılar, C: yaylı telli çalgılar, D: org, E: üflemeli çalgılar, F: perküsyon çalgıları, G: davul, H: insan sesi (sesli harf) [3]	58
Şekil 3.1 : Tasarlanan ana salonun 3D görsel çalışması	65
Şekil 3.2 : Arena tip salonun plan şeması	65
Şekil 3.3 : Salonun A - A kesit şeması	66
Şekil 3.4 : Salonun B - B kesit şeması.....	66
Şekil 3.5 : Salonun dolu iken frekansa bağlı T30 ve T20 grafikleri verilmiştir.	68
Şekil 3.6 : Salonun boş iken frekansa bağlı T30 ve T20 grafikleri verilmiştir.....	68
Şekil 3.7 : Akustikçilere göre çınlama sürelerinin frekansa bağlı süre tercihleri	68
Şekil 3.8 : Salonda kullanılan malzemelerin yüzey ayrımı	69
Şekil 3.9 : Yan duvarların malzeme uygulama detayı	70
Şekil 3.10 : Döşemede uygulanan malzeme detayı	70
Şekil 3.11 : Sahne zemini malzeme uygulama detayı	71
Şekil 3.12 : Arka duvar malzeme uygulama detayı	71
Şekil 3.13 : Sahne duvarı malzeme uygulama detayı	72
Şekil 3.14 : Tavan malzeme uygulama detayı	73
Şekil 3.15 : Kaynak ile ilgili ses gücü ve konum bilgileri.....	74
Şekil 3.16 : 250Hz’ deki ses basınç düzeyi dağılımı	75
Şekil 3.17 :	75
Şekil 3.18 : 8000 Hz’ deki ses basınç düzeyi dağılımı	75
Şekil 3.19 : Odeon programında kullanılan orkestra dizilimi ve enstrüman yönelimi	76
Şekil 3.20 : Orkestra ses basınç düzeyi dağılımı	76
Şekil 3.21 : Sahne platformu.....	77
Şekil 3.22 : Alıcı ve kaynak noktalarının yerleşim planı.....	77
Şekil 4.1 : Tavan formu karşılaştırılan salonların kesit şemaları.....	80
Şekil 4.2 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun AA kesit şeması	81
Şekil 4.3 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun BB kesit şeması.....	82
Şekil 4.4 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun frekansa bağlı çınlama süresi eğrileri	82
Şekil 4.5 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri	82
Şekil 4.6 : A salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT grafiği	83

Şekil 4.7 : A salonunda alıcılara bağlı LF80 yanal yansımalar oranı grafiği	85
Şekil 4.8 : Sahne arkası platformu	86
Şekil 4.9 : 24. Alıcı konumu	86
Şekil 4.10 : A salonunda erken yanal yansıma (LF80) dinleyici alanının grid analizi	86
Şekil 4.11 : A salonunda alıcılara bağlı netlik indeksi (C80) çizelgesi	88
Şekil 4.12 : 12 no lu alıcı	88
Şekil 4.13 : A salonunda alıcılara bağlı G ses yüksekliği grafiği	89
Şekil 4.14 : A salonunun alıcı noktalarının TS değerleri	90
Şekil 4.15 : 32. saniyedeki noktasal yansıma analizi	91
Şekil 4.16 : 51. saniyedeki noktasal yansıma analizi	92
Şekil 4.17 : 82. saniyedeki noktasal yansıma analizi	92
Şekil 4.18 : 135. saniyedeki noktasal yansıma analizi	92
Şekil 4.19 : A salonunun LG80 geç yanal yansımaların alıcıya bağlı değer grafiği	93
Şekil 4.20 : Alıcının salondaki yeri	93
Şekil 4.21 : Alıcının salondaki yeri	93
Şekil 4.22 : Alıcının salondaki yeri	94
Şekil 4.23 : A salonunun tavan yüzeyinin yansıma iletim şekli	94
Şekil 4.24 : A salonunda ses basınç düzeyi grid analizi	95
Şekil 4.25 : Eğrisel konveks tavanlı olarak tasarlanan salonun AA kesit şeması	96
Şekil 4.26 : Eğrisel konveks tavanlı olarak tasarlanan salonun BB kesit şeması	96
Şekil 4.27 : Eğrisel konveks tavan tasarımı kullanılan B salonunun frekansa bağlı ses azalım eğrileri	96
Şekil 4.28 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri	96
Şekil 4.29 : B salonu tavan yüzeyinin yansıma iletim şekli	97
Şekil 4.30 : Tavan formu nedeniyle yansıma alamayan alan	97
Şekil 4.31 : B salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT değerleri	98
Şekil 4.32 : Alıcının yeri	98
Şekil 4.33 : B salonunda alıcılara bağlı C80 grafiği	100
Şekil 4.34 : 12 numaralı alıcı	100
Şekil 4.35 : Alıcının yeri	101
Şekil 4.36 : B salonunda alıcılara bağlı LF80 grafiği	101
Şekil 4.37 : Alıcının yeri	102
Şekil 4.38 : B salonunda orta frekansta alıcılara bağlı TS değerleri	102
Şekil 4.39 : 30. saniyedeki noktasal yansıma analizi	103
Şekil 4.40 : 82. saniyedeki noktasal yansıma analizi	103
Şekil 4.41 : 148. saniyedeki noktasal yansıma analizi	104
Şekil 4.42 : Erken düşme süresinin (EDT, early decay time) dinleyici alanındaki grid analiz	104
Şekil 4.43 : B salonunun ses yüksekliği (G) grafiği	105
Şekil 4.44 : B salonunun geç yanal yansıma ses yüksekliği (LG 80) grafiği	106
Şekil 4.45 : Eğrisel konveks tavan tasarımlı salonun AA kesit şeması	106
Şekil 4.46 : Eğrisel konveks tavan tasarımlı salonun BB kesit şeması	107
Şekil 4.47 : Eğrisel konveks tavan tasarımlı salonun frekansa bağlı düşüş eğrisi	107
Şekil 4.48 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri	107
Şekil 4.49 : C salonunda tavan yüzeylerinin yansıma iletim şekli	108
Şekil 4.50 : C salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT grafiği	108
Şekil 4.51 : 34. saniyedeki noktasal yansıma analizi	110
Şekil 4.52 : 82. saniyedeki noktasal yansıma analizi	110
Şekil 4.53 : 122. saniyedeki noktasal yansıma analizi	111

Şekil 4.54 : C salonunun alıcılara bağlı LG 80 grafiği	111
Şekil 4.55 : Alıcıların konumu.....	111
Şekil 4.56 : C salonu için SPL grid analizi	112
Şekil 4.57 : C salonunda alıcılara bağlı C80 grafiği.....	113
Şekil 4.58 : C salonunun orta frekansta alıcılara bağlı TS değerleri	114
Şekil 4.59 : C salonunda alıcılara bağlı G grafiği.....	115
Şekil 4.60 : Eğrisel konkav tavanlı olarak tasarlanan salonun AA kesit şeması	116
Şekil 4.61 : Eğrisel konkav tavan tasarımı salonun frekansa bağlı çınlama süresi eğrileri.....	116
Şekil 4.62 : D salonunun frekansa bağlı çınlama süresi	116
Şekil 4.63 : 50 ms'deki ses yansıma grafiği verilmiştir.....	117
Şekil 4.64 : 82ms'deki ses yansıma grafiği verilmiştir.....	117
Şekil 4.65 : 139 ms'deki ses yansıma grafiği verilmiştir.....	118
Şekil 4.66 : Orta platform	118
Şekil 4.67 : Konkav tavanlı salon tasarımının ışın analizi.....	119
Şekil 4.68 : D salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT grafiği	119
Şekil 4.69 : D salonunda alıcılara bağlı C80 çizelgesi	121
Şekil 4.70 : D salonun alıcılara bağlı LF80 grafiği.....	122
Şekil 4.71 : D salonunda alıcılara bağlı LG 80 grafiği	123
Şekil 4.72 : Sahne arkası.....	123
Şekil 4.73 : LG 80 değerinin salon içerisinde grid analizi.....	124
Şekil 4.74 : C salonunda alıcılara bağlı G çizelgesi	125
Şekil 4.75 : Salonların nesnel parametrelere göre optimum değerlerle karşılaştırma grafiği.....	128
Şekil 4.76 : Salon tasarımlarının Destek (ST) parametrelerinin karşılaştırılması ...	129
Şekil 4.77 : 80. saniyedeki noktasal yansıma analizi.....	130
Şekil 4.78 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri	132
Şekil 4.79 : Salon A kesit şeması.....	132
Şekil 4.80 : Yansıtıcı panel plan şeması	133
Şekil 4.81 : Yansıtıcı panel kesit şeması.....	133
Şekil 4.82 : 2,5m x 2,5m tasarlanan yansıtıcı panellerin yansıyan ses taraması	134
Şekil 4.83 : Yansıtıcı panel yerleşimi plan şeması	134
Şekil 4.84 : Yansıtıcı panel yerleşimi kesit şeması.....	135
Şekil 4.85 : 5m x 5m tasarlanan yansıtıcı panelin yansıyan ses taraması.....	135
Şekil 4.86 : Yansıtıcı panel tasarımının plan şeması	136
Şekil 4.87 : Yansıtıcı panel yerleşiminin kesit şeması.....	136
Şekil 4.88 : 10m x10m tasarlanan yansıtıcı panelin yansıyan ses taraması.....	136
Şekil 4.89 : Yansıtıcı panel tasarımının AA görünüş şeması	137
Şekil 4.90 : Yansıtıcı panel tasarımının BB görünüş şeması.....	137
Şekil 4.91 : B4 salonunda yansıtıcı panelin ilk yansımaları ilettiği alanlar.....	138
Şekil 4.92 : Yansıtıcı panelsiz tasarımda ses ışınlarının yansıma analizi	139
Şekil 4.93 : 2,5m x 2,5m parçalı yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansıma analizi.....	139
Şekil 4.94 : 5mx5m yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansıma analizi.....	140
Şekil 4.95 : 10m x 10m yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansıma analizi.....	140
Şekil 4.96 : 10m den büyük parçalı yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansıma analiz	141
Şekil 4.97 : B salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi	142
Şekil 4.98 : B salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği	143
Şekil 4.99 : B1 salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi	144

Şekil 4.100 : B1 salonu yansıyan ışınların zamana bağlı ses düzeyi grafiği	144
Şekil 4.101 : B2 salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi.....	145
Şekil 4.102 : B2 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği	145
Şekil 4.103 : B3 salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi.....	146
Şekil 4.104 : B3 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği	146
Şekil 4.105 : B4 salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi.....	147
Şekil 4.106 : B4 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği	148
Şekil 4.107 : Karşılaştırılan salonlarda alıcıların sağ ve sol kulaktaki ses basıncı..	149
Şekil 4.108 : Nesnel parametrelerin optimum değerlerle karşılaştırma grafiği.....	149
Şekil 4.109 : ST ort, ST erken ve ST geç parametrelerinin optimum değerlerle karşılaştırma grafiği.....	150
Şekil 4.110 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun frekansa bağlı ses azalım eğrileri	152
Şekil 4.111 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri	152
Şekil 4.112 : Düz duvarlı salon tasarımı plan şeması.....	153
Şekil 4.113 : 3D salon görünüşü.....	153
Şekil 4.114 : Frekansa bağlı salonun çınlama süresi	154
Şekil 4.115 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri	154
Şekil 4.116 : Eğrisel duvarlı salon tasarımının plan şeması	154
Şekil 4.117 : Eğrisel duvarlı salon tasarımının izometrik perspektifi	155
Şekil 4.118 : BX salonu ve B salonu EDT ve T30 karşılaştırma grafiği.....	156
Şekil 4.119 : Sahne arkası alıcıları konumu	158
Şekil 4.120 : Salon arkası alıcıları	158
Şekil 4.121 : Salon arkası alıcıları	159
Şekil 4.122 : Düz duvarlı salon tasarımında 28 numaralı alıcı için frekansa bağlı LF80 değeri.....	159
Şekil 4.123 : Eğrisel duvarlı salon tasarımında 28 numaralı alıcı için frekansa bağlı LF80 değeri.....	159
Şekil 4.124 : Alıcı platformları.....	160
Şekil 4.125 : B ve BX salonlarının karşılaştırmalı C80 değerleri	160
Şekil 4.126 : B ve BX salonlarının alıcılara bağlı LG80 değerlerinin karşılaştırılması	161
Şekil 4.127 : Eğrisel duvarlı salonun ses basınç düzey (SPL) grid grafiği verilmiştir.	161
Şekil 4.128 : B ve BX salonlarının yanal yansıma oranlarının karşılaştırılması.....	163
Şekil 4.129 : Salonların nesnel parametrelere göre optimum değerlerle karşılaştırma grafiği.....	163
Şekil 4.130 : Alçak duvarlı B salon tasarımının kesit şeması	165
Şekil 4.131 : Alçak yan duvar tasarımlı B salonunun T30 – EDT grafiği.....	166
Şekil 4.132 : By salonunun frekansa bağlı çınlama süresi eğrileri.....	166
Şekil 4.133 : Frekansa bağlı çınlama süresi	166
Şekil 4.134 : Yüksek duvarlı By salon tasarımının kesit şeması.....	167
Şekil 4.135 : Yüksek yan duvar tasarımlı BY salonunun T30 – EDT grafiği.....	167
Şekil 4.136 : B ve BY salonlarının EDT – T30 değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması.....	168
Şekil 4.137 : B ve BY salonunun geç yanal yansıma karşılaştırmaları	169
Şekil 4.138 : B ve By salonlarının yanal yansıma oranlarının (LF 80) karşılaştırılması.....	169
Şekil 4.139 : Salonların C80 değerlerinin karşılaştırılması.....	171
Şekil 4.140 : Salonların TS değerlerinin karşılaştırılması.....	172

Şekil 4.141 : Salonların ses yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması	172
Şekil 4.142 : Salonların nesnel parametrelere göre optimum değerlerle karşılaştırma grafiği.....	173
Şekil 4.143 : Frekansa bağlı çınlama süresi.....	174
Şekil 4.144 : Orkestranın direkt ses grafiği	174
Şekil 4.145 : Salonun optimum değerlerle karşılaştırılması	175
Şekil 4.146 : LG80 grid analizi.....	176
Şekil 4.147 : C80 grid analizi	176

ARENA TİP SALONLARDA MİMARİ TASARIM ÖĞELERİNİN BİLGİSAYAR SİMÜLASYON ÇALIŞMASI İLE AKUSTİK AÇIDAN İRDELENMESİ

ÖZET

Yıllar boyunca salonlarda akustik, dikdörtgen tipli salon şemalarında ve kaynak olarak klasik müzik kullanılarak incelenmiştir. Fakat günümüzde farklı müzik türleri için de uygun akustik ortamın sağlandığı salonlar inşa edilmektedir. İnşa edilen bu salonlar farklı plan şemalarından oluşabilmektedir. Bu şemaların ana karakterleri sahne yerleşimine ve izleyicilerin konumlanışına göre değişmektedir. Sahnenin kenarda olduğu klasik plan şeması, en uygun müzik koşulu gibi gözükse de, seyircinin sahneye uzaklığının artması gibi bazı sorunlara neden olmaktadır. Ayrıca sahne kabuğunun ayrı olması müzisyen ile seyircinin bulunduğu akustik çevreyi farklılaştırmaktadır. Salon içerisinde yansımaların homojen olarak dağılması gerekmektedir. Sahnenin ortada olduğu arena tipli salonlarda ise seyirci ile sahne etkileşiminin artmasına rağmen, sahnenin ve dolayısıyla müzisyenlerin yeterli yansıma alamaması gibi sorunlar açığa çıkmaktadır. İlk bölümde salon tasarımı için uyulması gereken tasarım kriterlerine değinilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde salon değerlendirmesi yapılırken genel olarak kullanılan nesnel ve öznel değerler tanımlanmıştır. Aynı zamanda en önemli parametre olan müzik eylemi ve enstrümanların frekans değerleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu bilgilere göre klasik müzik dışındaki pop, caz gibi diğer müzik türlerine uygun akustik çevrenin tasarımı da tartışılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, tasarlanan bir salonun özellikleri ODEON simülasyon yöntemi ile değerlendirilmiş, nesnel ve öznel değerler açısından irdelenmiştir. Üzerinde çalışılan ana salon şemasının plan, kesit şeması, malzeme kabulleri ve malzeme uygulama detayları bu bölümde verilmiştir. Kabuller ikinci bölümde belirtilen tasarım kriterlerine göre yapılmıştır. Simülasyonda kullanılacak olan alıcı ve kaynak noktalarının konumları, özellikleri bu bölümde yer almaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise tavan, duvar, yansıtıcı panel gibi fiziksel tasarım parametreleri kontrollü olarak değiştirilerek farklar bulunmaya çalışılmıştır. Karşılaştırmalar çinlama, erken yansıma, geç yansıma, noktasal dağılım, bütünlük gibi değerlendirmelerin yapıldığı nesnel parametreler üzerinden yapılmıştır. Karşılaştırmalar seyirciler açısından yapılmakla beraber sahnede konumlandırılan ayrı bir alıcı ile performansçılar açısından da yapılmıştır. Alıcı noktaları bazında incelenen salon aynı zamanda parter bazında da irdelenmiştir.

Son bölümde ise değerlendirmeler akustikçilerce ve ISO standartlarınca önerilen değerler ile karşılaştırılarak fiziksel tasarım kriterleri ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir.

THE EXAMINATION OF ARCHITECTURAL DESIGN ELEMENTS IN ARENA TYPE OF HALLS WITH COMPUTER SIMULATION

SUMMARY

Over the years, the acoustic of halls has analyzed in rectangular shape halls with classical music as a source. However, today, different type of halls can be built, which provide proper conditions not only for classical music, but also for popular music such as jazz, pop, Latin music. These different types vary according to stage and audience situation. The plan scheme, which the stage is located in the side, seems to be the best type for halls, but with the enlargement of hall, the audience starts to become wider to the stage. Also when the stage has another ceiling and rear walls, it has different acoustic conditions from the audience hall. This conditions separate the musician from the hall. When the stage is in the middle, the warmth and spaciousness increase due to the close connection between source and receiver. Also musician and audience share the same acoustic conditions. However, when the stage is in the middle, the lack of walls near the stage and audience, which provide beneficial reflections, cause weak situation for the stage and audience. In the first section, the general purpose and the method of the study have explained.

In the second section, the acoustical parameters and the instruments' frequency spectrums have explained. There are subjective and objective acoustic parameters. The reverberation time, early decay time, sound strength, clarity, early lateral, late lateral sound strength and support are main musical parameters. Early reflections mostly creates apparent sound with which effects the first impression and spaciousness. Late reflections are mostly important for the envelopment. Every instrument have different rising and decreasing sound curves. There are some criteria to design a hall such as material combination, room shape, room volume. To make the material design, it is important to have the suitable reverberation time according to type of performance, hall volume. After deciding the reverberation time, the bass and treble ratio of the hall should be decided. Material combination effects the low frequency and high frequency distribution in the hall. When the low frequency distribution is too much the music in hall sounds without brightness. On the other side when the high frequency distribution is too much, the hall will lose its warmth. In every type of music, it has own tempo, frequency spectrum and instrument combination. The hall is also discussed which type of music can be performed in. There are three main musical genre which are classical music, jazz music, popular music (pop, rock etc). The classical music and jazz music have close instrumentation but different tempo and melody. But rock music is very different from classical with its low frequency instruments such as drum. The ideal acoustic design is distribute the low frequency much. But the rock music has too much low frequency which disturbs the audience in a hall suitable for classical music. The hall which rock music is performed in should be absorptive in low frequencies.

In the third section the information of hall, which designed for the study, has given. The plan and section scheme of the hall designed according to acoustical design criteria. The sight lines, audience number, reflection surfaces are important to evaluate the plan scheme. The material decisions are given according to hall volume, reverberation time and the bass – treble ratio. Because the stage locates in the middle, the stage walls should have maximum reflection as the side walls in the hall. The back side of the hall should be more absorbing to control the sound. To analyse the audience situation the receiver points are placed in every audience platform in the hall. The receiver - source positions and properties are given in this section. The source provides white sound which gives equal sound power in every one - third oktav frequency band. Receivers are omni receiver which collects reflections from every direction.

In the fourth section, the physical design parameters have changed in computer based simulation program ODEON Combined 10.0, to make a compare in order to have the numerical information about effects of these parameters. To analyze the effect of ceiling form, the plan scheme, material choices stayed constant and different type of ceiling forms are evaluated in the simulation. The ceiling forms varied from straight to convex and to concave form. Mostly in arena type of halls the suspended ceiling reflectors are used in order to increase the beneficial reflections to the stage. But the shape, dimension and the height of the reflector effects the quality of the stage acoustics. In the second comparison different type of reflectors with different dimensions are simulated. The dimensions of the reflector should be enough to contribute the distribution of reflections especially to the back side of the hall. The dimension of the reflector also should be enough big to reflect the low frequency reflections. When the height of the reflector lower than the optimum height, the sound is stuck between the stage and the reflector which causes lack of reflection in the back side of the hall. In this chapter the sound rays are showed distributing from the source until it is absorbed by the hall. The simulations are analysed for both audience and the performer. The side walls are another acoustical design parameter which provides envelopment and spaciousness. Due to the location of the stage, the platforms are located as vineyard to provide reflection to the stage and front platform. So that the side walls form and height are important for the acoustical surrounding. When the surface is convex it becomes more diffuser, which makes the sound distribution more homogen. In the third comparison the side walls between the stage and the platforms are designed in two different forms which are straight and convex. The height of the side walls are also important for lateral reflections. As the height of the side walls increase the acoustical quality of the front platforms increase. On the other hand due to the increased height of the side wall, the back platforms got further from the stage which causes bad acoustical surrounding. Also the hall is simulated with a symphony orchestra which has 80 musical instruments such as violin group, chello group, brass group, string group, wood wind, percussion group.

In the fifth section, the evaluation of receiver values and the average values in different type of halls have compared with the optimum values. The objective parameters such as reverberation time, early decay time, early lateral reflections, late lateral reflections, support, ensemble, sound strength are compared in each type of halls. When the ceiling forms are discussed the most effective ceiling form is the convex form which has optimum height. If the convex ceiling form is too low, it prevents the reflections to reach the back side of the hall. To improve the reflections

coming to stage the reflectors are analyzed and the optimum reflector is the separate one which improves the reflections and doesn't prevent the reflections reach the back side of the hall. Especially reflections coming from side wall are important to create envelopement for the audience. So that the convex form of the side walls are more effective than the straight side walls. The convex form let the reflections reach the back side of the hall. The convex form of the walls provides diffusion in order to have homogen sound distribution. The increasing the height of the side walls increase the early and late lateral reflections for the lower platforms but decreases the early - late lateral reflections and sound strength. When the orchestra has used in the simulation, the hall parameters provide the optimum values.

The study has focused on the design effects on acoustical surrounding. Both the audience and performers are effected from these design decisions. Arena type of halls can have difficulties on having reflection especially for the stage conditions. On the other hand, it provides strong connections between stage and the audience. Different form of architectural design elements of the hall have compared with each other and with the optimum objective parameters such as reverberation time (RT), early decay time (EDT), early lateral reflections (LF80), sound strength (G), Late lateral sound strength (LG80), time center (TS) and support for the stage conditions. These subjective parameters calculates reflections and direct sound coming from the source and give results in every frequency band.

1. GİRİŞ

Salonlarda elde edilen akustik koşullar genel olarak aynı olsa da kaynak tipine göre değişiklikler olmaktadır. Konuşmanın ön planda olduğu salonlarda akustik çevrenin daha yutucu olması ve sesin anlaşılır şekilde seyirciye iletilmesi gerekir. Müziğin ise daha ahenkli algılanması için ses, nota ya da şarkı sözlerinin birbirine eklenerek seyirciye akıcı bir şekilde ulaşması gerekir. Aynı zamanda seyirci sadece kaynaktan gelen sestən değil salonun verdiği tepkiden de etkilenir. Bu ortam koşulları çeşitli mimari tasarım elemanları ile sağlanmaktadır. Salon biçimi bu tasarım elemanlarından biridir. Elmas, fan, dikdörtgen tipli, sahnenin kenarda olduğu plan şemalarına ek olarak sahnenin ortada olduğu arena tipli çeşitli salonlar da mevcuttur. Salon biçimine ek olarak hacim, tavan şekli, yansıtıcı panellerin konumlanması, malzeme tercihleri salondaki akustik koşulları etkileyen diğer tasarım elemanlarıdır. Dinleyicinin müzik ve mekan algısı bütünüyle akustik çevre ile sağlanır. Koşulları değerlendirmek amaçlı bazı parametrelerden yararlanılır ve bu parametreler öznel veya nesnel olabilir. Nesnel parametreler mekandan alınan veriler üzerinden formülasyon ve bağıntı yöntemleriyle ya da simülasyon programlarıyla hesaplanır. Öznel parametreler ise salonun dinleyici ya da müzisyen açısından değerlendirilmesidir. Öznel parametreler kuru, sıcak, parlak, samimi, boğuk şeklinde değerlendirmelerden oluşabilir. Dinleyicinin algıladığı müzik koşullarının kalitesi kadar müzisyen için oluşturulan ortamın kalitesi de önemlidir. Müzik eyleminin uyum ve denge içerisinde oluşturulması gerekir. Sahne ve sahne çevresinde performansı elverişli kılan ortam oluşturulması kaliteli bir akustik çevrenin oluşumu açısından ilk adım olarak görülebilir. Klasik tipli salon şeması ele alındığında sahne, plan şemasında kenarda konumlandırılrsa da seyirci kapasitesinin artırıldığı salonlarda sahneyi orta kısımda konumlandırmak görsel ve işitsel açıdan daha samimi bir akustik ortam yaratabilmektedir. Tezde konu edilen irdelemeler arena tipli bir salon tasarımı üzerinde yapılmıştır. Sahne ve seyirci kısımlarındaki akustik ortamın elverişli olması, sahnenin ve seyirci gruplarının aldığı erken yansıma oranına bağlı olarak değişir. Sahnenin merkezde konumlandığı arena tipli salonlarda azalan

yansımaları artırmak amaçlı seyirci bölümleri şaşırtmalı ve farklı kotlarda yerleştirilir. Böylece platformların oluşturduğu duvarlar bir alt kottaki seyirci bölümlerinde yansıtıcı yüzey olarak kullanılır. Bu şekildeki arena tipli salonlara teraslı tip arena salonları denir.

1.1 Konu Alanının Tanıtılması

Günümüzde kullanılan konser salonlarında farklı plan şemaları karşımıza çıkmakla beraber kullanılan amaca göre avantajlar ve dezavantajlar oluşturmaktadır. Özellikle klasik tipli, sahnenin kenarda olduğu plan şeması en çok kullanılan plan şemasıdır. Bunun dışında arena tipli, sahnenin ortada olduğu salonlar da dinleme koşullarını daha samimi hale getirir. Salonun hacim ve bina akustik koşulları belirli bir müzik tipine göre oluşturulmakla beraber çağdaş konser salonları pop, caz gibi farklı müzik türlerine de elverişli tasarlanabilmektedir.

Klasik veya caz, pop, rock gibi popüler müzik türlerinin dinlenme ortamları akustik şartlar açısından farklı özellikler taşırlar. Her müzik türünün kullanılan enstrümanlarına göre farklı frekans spektrum aralıkları, ses düzeyleri ve seyirci konumlanışı vardır. Konser salonu tasarımlarında temel parametrelerden biri de dinlenen müziğin çeşididir. Bu durumda salon tasarlanırken hacim ve şekil belirlendikten sonra çınlama süresi belirlenir. Bu çınlama değerinin müziğe uygun frekanslarda elde edilebilmesi, akustik ortamın belirlenmesi açısından çok önemlidir. Yüksek frekanslarla alçak frekanslar için herhangi bir malzemenin veya panelin saçıcılık, yutuculuk ve yansıtıcılık değerleri birbirinden farklıdır. Salonun sahne yerleşimine göre oluşan plan şeması, sahnenin veya seyircinin çeşitli yararlı – yararsız yansımaları alması açısından etkilidir. Arena tipli salonlarda, seyircinin özellikle direkt ve erken yansımaları belli bir süre aralığında alması sağlanmalıdır. Aksi halde netlik, mekansal algılama gibi bazı değerleri olumsuz etkilemektedir. Sahnenin ortada olma durumunda, ses kaynağı merkeze yaklaştırılarak seyircinin direkt sesi alması kolaylaştırılmıştır. Fakat sahne için yan duvarlardan ve tavandan gelen yararlı yansımalar azaldığından bu yansımaların yansıtıcı panel, yan duvar tasarımı, malzeme tercihleri gibi yöntemlerle artırılması gerekir.

Hacim, yan duvarların yüksekliği, yansıtıcı panel, malzeme gibi ana tasarım değerlerinin birbirine yakın alınarak salonların nesnel ve öznel değerler üzerinden analizi yapılabilmektedir. Karşılaştırmanın yapılabilmesi için seyirci sayısı, plan

düzlemi gibi değerler karşılaştırma yapılan salonlarda yakın alınması gerekmektedir. Hacim akustiği açısından analiz edildiğinde test sonuçları alıcı ve kaynak konumlarında farklılık göstermektedir.

Simülasyonlarda beyaz gürültü gibi her frekansta aynı ses gücü ile etkili olan noktasal bir kaynak, uyarıcı olarak kullanılmıştır. Değerlendirmeler alıcı noktalarının olduğu alanlarda yapılmakla beraber sahnenin kendi içinde de, müzisyenler alıcı olarak atanarak bir değerlendirme yapılmıştır.

1.2 Çalışma Yöntemi Hakkında Bilgi

Çalışmada öncelikli olarak mimari strüktür açısından teraslardan oluşan 1871 kişi kapasiteli, arena tipli bir salon tasarlanmıştır. Sahne bölümü merkeze konumlandırılıp, yararlı yansımaların artması açısından seyirci bölümleri şaşırtılarak yansıtıcı duvar yüzeyleri artırılmıştır. Fiziksel özellikleri kontrollü olarak değiştirilmiş salonlarda noktasal kaynak kullanılarak hacim akustiği açısından salonların karşılaştırılmaları yapılmıştır. Salonda sırasıyla aşağıdaki tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

- Salonun kişi kapasitesine göre, alan, hacim ve boyutları
- Sahne konumu, alanı, sahne duvar boyutları
- Koltuk yerleşimi ve sirkülasyon alanı
- Konser salonu çınlama süresinin belirlenmesi

Ses ışın analize göre aşağıdaki yapı elemanların şekillerinin ve boyutlarının belirlenmesi;

- Sahne tavan panelleri
- Sahne yan duvarları
- Salon tavan panelleri boyut ve konumları

İstenilen çınlama süresine ulaşılması için aşağıdaki yapı elemanlarının bitiş malzemelerinin belirlenmesi ;

- Sahne tavan panelleri
- Sahne arka duvarı
- Sahne yan duvarları /panelleri
- Sahne zemini
- Salon tavan panelleri

- Salon arka duvarı
- Salon yan duvarları
- Salon zemini
- Salon tavanı
- Salon seyirci bölümü yutuculuk değeri

İkinci aşamada, salonlar Odeon Hacim Akustiği Simülasyon programında hesaplanmak üzere hazırlandı. Salonlar, programa aktarılabilmek için üç boyutlu olarak modellendi, modelin programa aktarımı, testlerinin yapılması ve tasarlanan bitiş malzemelerinin atanması gerçekleştirildi. Programa aktarılan salonların, modelleme programında tavan, kesit ve bazı mimari öğelerin boyutları değiştirildi.

Üçüncü aşamada, Odeon Hacim Akustiği Simülasyon programında hacim akustiği hesaplamaları gerçekleştirildi. Bütün salonlarda, alıcılar seyirci bölümüne ve noktasal kaynak sahne üzerine yerleştirildi. Yapılan genel karşılaştırmalarda noktasal kaynak kullanılsa da salonun tepkisini irdelemek açısından bir karşılaştırmada da sahnede, klasik müzik ve popüler müzik türüne uygun farklı kaynak türleri kullanıldı. Bu veri girişleri sonucunda, RT, C80, LF80, LG 80, ST, G, TS, EDT, ITDG gibi salonun akustik nesnel parametreleri hesaplandı.

Son olarak, fiziksel özelliklerin değişmesinin etkisiyle, kritik alıcı noktalarında ve sahnedeki alıcı noktalarında hesaplanan nesnel parametreler değerlendirilerek, hacim akustiğine olan etkileri ortaya konuldu.

2. SALON AKUSTİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Salonlarda dinleme koşullarını sağlayan ortam değerlendirilirken kaynak ve alıcı tipine göre farklı tercihler yapılır. Müzik eylemi için kullanılan salonlar farklı özellik taşırlar, konuşma ya da hem konuşma hem müzik eylemi için kullanılacak salonlar farklı özellik taşırlar. Müzik eylemi için kullanılan salonların hacmi diğer salonlara oranla daha fazladır ve çınlama süreleri daha uzundur. Dolayısıyla müzik eylemini oluşturan kaynak tipi, salonun değerlendirilmesinde etken bir parametredir. Sahnede gerçekleştirilen müzik eyleminin türü çınlama süresinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Örneğin güncel (popüler) müzik türlerinin çınlama süreleri, klasik ve senfoni müziğine göre daha kısadır. Bunun yanı sıra kilise ya da romantik klasik müziğinin geçtiği bir ortamda çınlama süresi çok daha uzundur. Ses güçlendirmenin olduğu salonlarda ise çınlama süresinin kısa olması tercih edilir. Ayrıca bu müzik türlerinde kullanılan enstrüman, melodi ve tempo tipleri farklı olduğundan salonun tepkisi farklı frekans spektrumlarına göre değişecektir. Kaynağın alıcıya ulaşmasındaki fiziksel ortam alıcının algısını değiştiren diğer bir etkidir. Direkt sesin alıcıya ulaşmasından sonra ortamdaki gelen yansımalarla müzik algısı değişir ve şekillenir. Sahnenin konumu, tavanın formu, platformların yüksekliği, tavan yüksekliği mekanda kullanılan malzemeler akustik koşulların oluşturulmasında etkin faktörlerdir. Akustik ortam koşulları, izleyiciler ve performansçılar tarafından öznel veya nesnel olarak değerlendirilir. Bu değerlendirmeler yapılırken bazı akustikçilerce belirlenmiş optimum değerler ya da değer aralıkları kullanılır. Değer aralıkları ortamdaki müzik çeşidine, salon hacmine, salonun doluluk – boşluk durumuna göre değişiklik gösterir. Salon koşullarını etkileyen faktörler genel olarak 3 başlıkta toplanabilir. Bunlar, mimari tasarım elemanları, hacim akustiği parametreleri (nesnel ve öznel parametreler), müzik eylemidir.

2.1 Mimari Tasarım Elemanları

Seyirci sarmalanması açısından genel olarak salon tasarım parametrelerini belirleyen bazı kriterler vardır. Salon hacim, form gibi geometrik tasarım parametreleri ile

malzeme seçimleri gibi diğer fiziksel özellikler, bu parametreler değerlendirilerek ele alınır.

1. Seyirciler ses tarafından sarmalandıklarını hissetmeliler. Bu da yan duvarlardan sağlanan yansıyan ses enerjisi ile sağlanır.
2. Hacim çınlayan bir yapıya sahip olmalıdır. Çınlama süresinin uzunluğu çalınan müzik türüne göre değişir. Çınlama süresinin artırılma çalışmasında genelde düşük frekanslar göz ardı edilerek, hacimdeki sıcaklık hissi azaltılır. Alçak frekansların çınlaması yeterli, düzeyde olmalıdır.
3. Devam eden bir müzik yapısında netlik ve anlaşılabilirlik önemli bir detaydır. Yansıma sağlayan duvarların alıcı noktalarına yakın olması gerekir. Böylece direkt ses ile ilk yansıyan ses arasında geçen süreyi veren ITDG, ilk gecikme süresi daha kısadır.
4. Ses yeterli yüksekliğe sahip olmalıdır. Koltuk sayısı çok arttığı zaman ses yüksekliği ve belirginliği azalmaktadır. Ses enerjisi özellikle arka platformlara doğru iletilirken azalır.
5. Geniş bir frekans bant aralığı desteklenmelidir. Müzik enstrümanlarının frekans aralıkları 30 Hz' den 12.000 Hz' ye kadar değişebilmektedir.
6. NC değerleri küçük hacimli salonlardan NC 15, büyük hacimli salonlarda NC 20 alınmalıdır.
7. Hacmin çınlama karakterinde eko, taraklanma, gölgeleme gibi akustik sorunlar oluşmamalıdır.
8. Performansçılar birbirlerini net olarak duymalı ve hacimden yeterli derecede yararlanmalıdır [2].

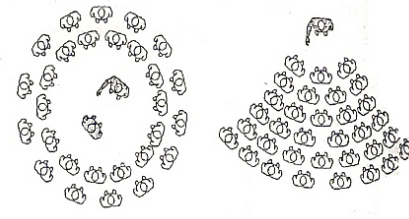
2.1.1 Salon formu

İzleyicilerin dizilişi, performansa bağlıdır. Organik seyirci dizilişi 2 tip performansa göre değişir [2].

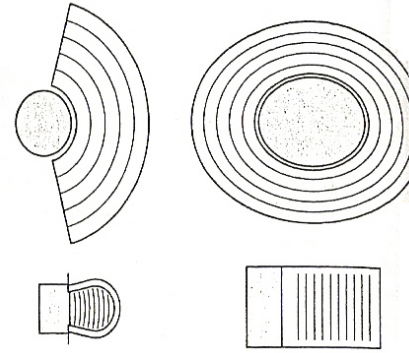
- 1- Aksiyon ve diyalog tiyatrosu, dans-dövüş, görüş ve işitsel olarak odak noktalıdır.
- 2- Monolog (proscenium) sahne tipinde daha sınırlı görsel ve işitsel yönlülük vardır. Monolog sahne tipine göre 4 ana plan şeması vardır. Şekil 2.1'de performans tipine göre salon şemaları verilmiştir.

- Fan tipli salon şeması
- Arena tipli salon şeması

- At nalı (horseshoe) tipli salon şeması
- Dikdörtgen tipli salon şeması



performansın tipine göre organik seyirci
şekillenmesi



Şekil 2.1 : Temel salon şemaları [2]

Arena tip salonlarda sahnenin odak noktası olarak belirlenmesi bu salon tipinin özelliğidir. Arena tipli salonların 2 önemli sorunu vardır.

1. Bütün enstrümanların yönlülük özelliği vardır. Özellikle bakır üflemeli ve yaylı grubunda yön özelliği daha etkindir. Sahne arkasında kalan kısımlar yön durumdan daha çok olumsuz etkilenirler.
2. Yansıtıcı yüzeylere gereksinim vardır. Ahşap üflemeli ve perküsyon, timpani gibi enstrümanların çok fazla yansıtıcı yüzeye gereksinimleri yoktur. Dolayısıyla sahnenin orta kısımlarında konumlanırlar. Diğer enstrüman tiplerinin ön durumu nedeniyle yansıtıcıya daha çok ihtiyaçları vardır. Sahnenin, seyircilerin bulunduğu teraslar sayesinde yararlı yanal yansımalar sağlanabilir. Eğimi artırılarak yerleştirilen terasların sesin arkaya doğru iletilirken daha az emilmesi söz konusudur [2].

2.1.2 Salon hacmi

Kişi başına düşen hacmin az olduğu salonlarda ses yüksekliğinin (G) kontrolü sağlanmalıdır. Kişi başına düşen hacim arttığı zaman salonu harekete geçirecek

yeterli enerjinin sağlanması gerekir. Büyük hacimli arena tip salonlarda sahnenin aldığı yansıma artırılmak amaçlı hareketli yansıtıcı paneller konulabilmektedir.

2.1.3 Yüzey malzemeleri

Arena tip salonlarda ve diğer tip salonlarda malzeme seçimleri, salon için belirlenen çınlama süresine göre yapılır. Özellikle konser salonlarında sahne duvarları ve zemini genel olarak yansıtıcı olarak tasarlanır. Kaynak ortada olduğu için yansımaların yeterli olması açısından diğer salon tiplerine göre yan duvarların yansımalarının daha fazla olması gerekmektedir. Alıcıların yan duvarlardan aldığı yansımaları artırmak amaçlı oturma teras duvarları yansıtıcı olmalıdır. Arka duvarlar aşırı ses yüksekliği ve eko oluşturmaması için genelde yutucu olarak tasarlanır. Pek çok opera ve konser salonlarında kalın tabakalı alçı uygulaması tercih edilen bir yöntemdir. Alçı, kalınlığı fazla olan bir zemine sıvı olarak uygulanır ve kurur. Dolayısıyla tok bir yansıma elde edilir. Alçı uygulaması yapılırken 3 katmanlı uygulama yapıldığından katmanlar daha kalın uygulanır. Toplam kalınlığı 3cm ya da 5 cm 'i bulan uygulamalar yapılabilmektedir. Alçı tabakasının kalınlaşması alçak frekanslardaki yutuculuğu azaltır [2].

Minimum 2,5cm kalınlığında ahşap bir malzeme kullanılmak istendiğinde, yığma bir sistem üzerine ya da beton katman üzerine uygulanmalıdır. İnce ve hava boşluklu uygulanan ahşap paneller, alçak frekanslarda çok yutucudurlar. Direkt beton yüzey üzerine uygulanan ahşap paneller, uygulama sırasında kullanılan ince ahşap kadronlar arasında yüksek yoğunluklu cam yünü kullanılarak uygulanabilir.

Zemin eğer beton yüzey olarak bırakılmışsa, sadece koridor ve yürüme alanları halı kaplanabilir. Sahne zemini uygulamalarında genelde 19mm kalınlığında kontrplak veya kontrplak kullanılır. Uygulama sırasında kadronların arasında kalan boşlukların, katmanın rezonansa girmemesi açısından kum doldurulduğu örnekler de vardır [2].

2.1.4 Sahne tasarımı

Müzisyenler rahatça kendilerini duyurmalı ve birbirlerini duymalıdır. Küçük platformlar müzisyenlerin çalma performanslarını etkilemediği sürece, daha iyi ses vermektedir [2].

Beranek,100 kişilik bir orkestrada müzisyen başına 1,9m² olmasını tavsiye eder. Fakat yüksek puanlı bazı salonlarda bu m² düşüktür. Örneğin; Viyana (Viennea Vereinsaal) 163 m², Boston 152m², Amsterdam 160m² dir [2].

Barron 'a göre enstrüman başına düşmesi gereken m² Çizelge 2,1'de verildiği gibidir.

Çizelge 2.1 : Enstrümanların sahne yerleşim alanları [2]

Yüksek frekanslı telliler, üflemeliler	1.25m ²
Cello	1.5m ²
Çift bas	1.8m ²
Timpani	10 – 20 m ²
Diğer perküsyonlar	20m ² ≤

100 kişilik bir orkestra için 150m² uygundur. Ayrıca 190 m² bir sahne vokal ve ek perküsyon için uygundur. Eğer 100 kişilik bir koro varsa 50 m² eklemek gerekir. Koroda kişi başına 0,5 m² düşer [2].

Sahne derinliği çok fazla olmamalıdır. En çok 11-12 m olabilir. Müzisyenler kendilerini seyirciden ayrılmış hissetmemelidir. Müzisyenler, sahnenin önüne ve yansıma almaları için seyirciden uzaklaşmayacak şekilde arka duvara yakın tutulmalıdır. Bu ölçüde sahne genişliği 17m 'ye denk gelir [2].

Sahne malzemesi ahşaptır. Eğer zemindeki ahşap çok ince ise bas sesler yutulacaktır, çok kalın ise zemin titreşmeyecektir. Optimum tasarım 22mm kalınlığında ahşap altına uygulanan 600mm kadronlardır.

Sahne platformu üzerindeki yükselmeler orkestra şefi ile müzisyenler arasındaki ilişkiyi artırır. Yükselmelerde gerekli olan derinlikler Çizelge 2.2'de verildiği gibidir.

Çizelge 2.2 : Enstrümanların yerleşmesi gereken basamak derinlik değerleri [2]

Yüksek frekanslı telliler, üflemeliler	1.25m
Çello, bakır üflemeli grup	1.4m
Çift bas	1.8m
Timpani	1,4m
Diğer perküsyonlar	1,4 m
Koro (ayakta)	0.7m
Koro (oturum halinde)	0,8m

Sahne yüksekliği, uygun görüş çizgisi için 1.1m'dir. Daha yüksek bir sahne, yatayda yansıtıcı yüzeylere daha çok yaklaştığı için sahne yüksekliği 1.1m'den yüksek olan sahneler de vardır. Örneğin Boston'da sahne yüksekliği 1,4, Amsterdam 'da 1.5m' dir [2].

Sahnede yansımalar dengeli dağıtılmalıdır. Eğer sahne üzerinde tavan yüksekliği 15m'yi geçiyorsa sahne tavanında ekstra yansıtıcılar kullanılmalıdır. Tavan yansıtıcıları ile müzisyenler arasındaki ideal mesafe 8-12m'dir. Geniş senfoni orkestraları için genişlik 12-18m arası değişir. Derinlik 12-13m alınmalıdır. Eğer koro varsa 6-8 m eklenmelidir. Sahne yüksekliği 0,9 – 1m gibi olmalıdır [2].

2.1.4.1 Sahne içerisinde yüksek ve alçak frekansların yayılması

Sahne içerisinde basamakların kullanılması alçak frekanslarda orkestra sesinin iletimini artırır. Ayrıca 63 – 125Hz arası 3m mesafeden fazla uzaklıkta zeminden alınan yararlı yansımalar sahne içerisindeki uyumu artırır. [9]

Yüksek frekansta (2000 Hz nin üzerinde) direkt ses iletiminde 14 m' de 12dB ses kaybı oluşur. Ayrıca 500 Hz üzerindeki enstrümanlarda yön etkisi fazladır. Sahnede kullanılan basamaklar ile müzisyenler arası iletilen ses seviyesi yükselir. Sahne yerleşiminde telli enstrümanlar genelde düz zeminde bulunurlar. Dolayısıyla basamak üzerindeki müzisyenler yakın iletişim kurarken keman gibi yaylı enstrümanlar uzak kalır [9].

Ek olarak kont bas ve ello yükseltilmiş döşemeden yeterli rezonansı alamazlar.

Yansıyan sesin senfoni orkestrasına etkisi

1. Enstrümanlar arası ses düzey farkı: bakır üflemeli grubu yaylılardan 10dB, yaylılar üflemeli enstrümanlardan 5dB daha yüksektir.
2. Müzisyenler arası fiziksel engellerden yüksek frekanslar daha çok etkilenir. 1KHz de 9dB, 2000KHz de 12dB düşüşe neden olur.

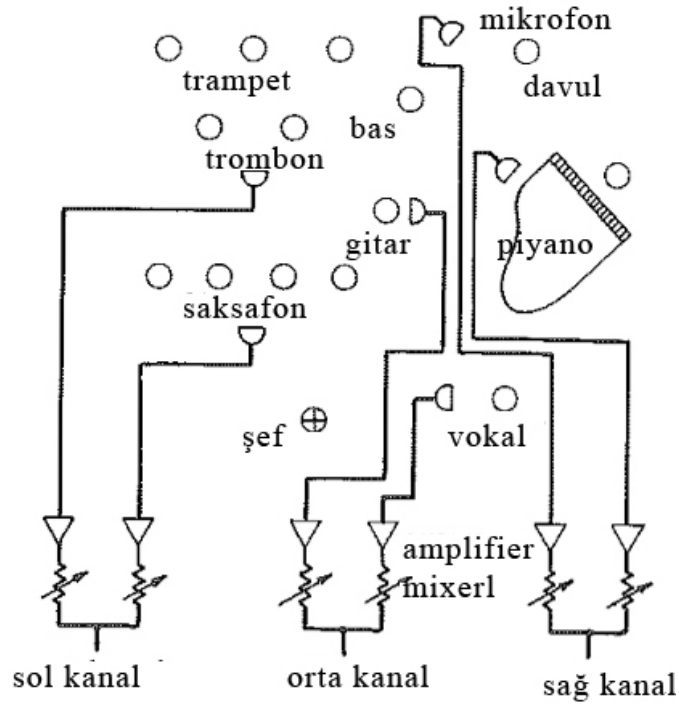
Rijit sahne zeminleri (beton üzerine direkt parke uygulama gibi) enstrümanın ses yüksekliğini yetersiz bırakan, soğuk bir ses alanı yaratmaktadır. Bas enstrümanlar, orkestra içerisinde birbirlerini duymakta zorlanırlar. Dolayısıyla enstrümanlar arası ses geçişinin aynı zamanda zeminden de titreşim yoluyla yapılması gerekmektedir. Direkt rijit bir yüzey yerine bas frekansların iletilebileceği yükseltilmiş bir zemin üzerine uygulama yapmak gerekir. Aynı zamanda yükseltilmiş zemin üzerine yapılan

esnek bir malzemenin alçak frekanslarda yutuculuk değeri 0,25 iken, rijit bir malzemenin yutuculuk değeri 0,04 'tür [23].

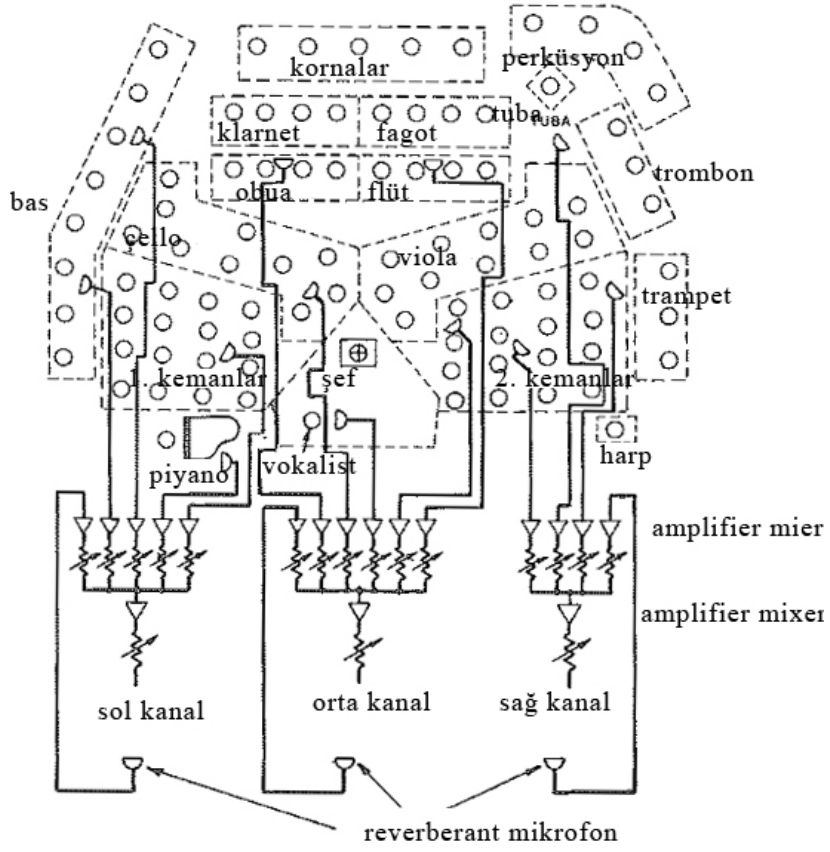
Platform malzemesi genelde ahşap taşıyıcılar üzerine ahşap kaplama olarak seçilir. Yalnız kullanılan ahşap kaplama kalınlığı eğer çok ince ise hava kaynaklı bas sesini yutar, eğer çok kalın ise titreşimin platform üzerinden iletilmesini engeller [2]. Optimum bir kalınlık seçilmelidir.

2.1.4.2 Enstrümanların sahne yerleşimleri

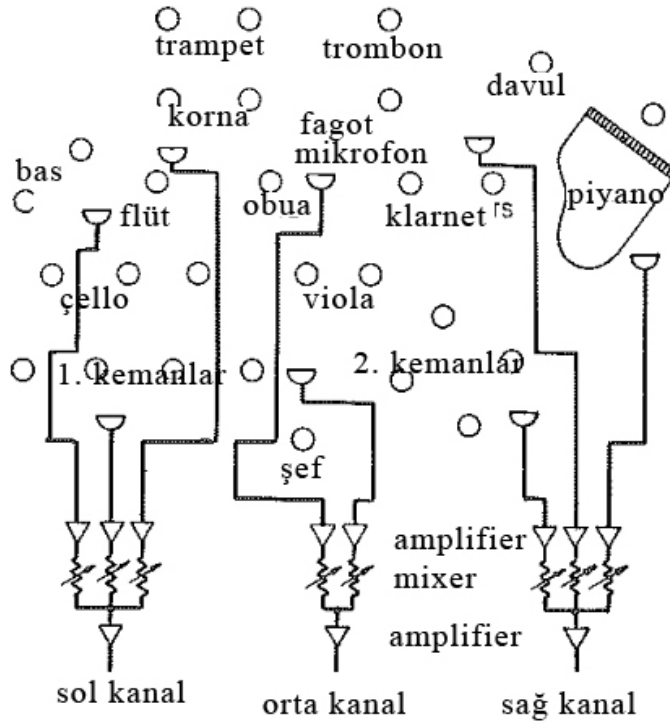
Genel olarak sahne yerleşimleri benzer olsa da müzik türüne göre enstrümanlar farklı olduğundan, dizilimler de farklı olmaktadır. Senfoni orkestrasında her enstrümanın frekans spektrumları farklı versiyonları da kullanılmaktadır. Fakat popüler müzikte kullanılan enstrüman sayısı daha azdır. Davul, gitar, basgitar, klavye, temel enstrümanlardır. Müzik çeşidine göre bu gruba farklı enstrümanlar eklenebilir. Örneğin caz müzik oluşumunda trombon, trompet, saksafon, gibi bakır üflemlerli grupları eklenir. Enstrümanın yanı sıra vokal çoğunlukla gruba eşlik eder. Şekil 2.2'de, 2.3'de ve 2.4'de ses güçlendirmeli salonlarda çeşitli sahne yerleşimleri verilmiştir [3].



Şekil 2.2 : Örnek bir caz orkestrasının enstrümanlarının ve mikrofonlarının sahne dizilimi [3]



Şekil 2.3 : Senfoni orkestrasının enstrüman ve mikrofon dizilimi [3]



Şekil 2.4 : Küçük klasik müzik orkestrasının enstrüman ve mikrofon dizilimi [3]

2.1.4.3 Sahnede yansıtıcı panel etkisi ve yanal yansımalar

Yansıtıcı panel kullanımı yıllardan beri konser salonlarında çok kullanılan bir yöntemdir. Genel amaç yüksekliği azaltarak tavadan gelen kuvvetli yansımaları 50 ms'nin altına düşürmektir [10].

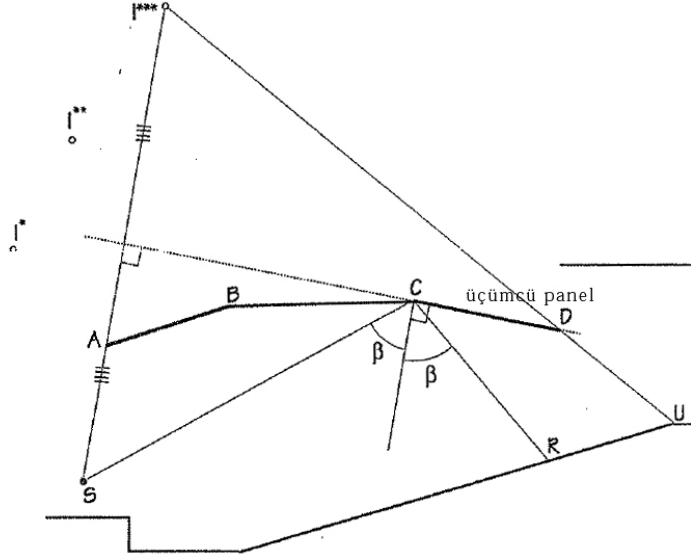
Yansıtıcı panel kullanımının sahne açısından genel amaçları:

1. Müzisyene kendi sesinin yansımalarını vermek
2. Sahne içerisinde bir iletişim kanalı yaratarak çoklu duymayı sağlamak
3. Sahnede 50 ms altında kuvvetli yansıma almak. [10]

Yansıtıcı panelin yanlış kullanıldığı yerler de mevcuttur. Erken yansımalar yeterli derecede yanal yansımalarından alınır ve bu değer yeterli görünür kaynak genişliği (ASW) oluşumunu sağlar. Yansıtıcı panel çoğunlukla yukardan yansıma verdiği için erken yanal yansıma (LF) değerini düşürür. Bu da görünür kaynak genişliği (ASW) değerinin daralmasına neden olur. Sadece yansıtıcı panelin verdiği erken destek (ST erken) değeri -23 dB'dir. Bu tavsiye edilen değer 10dB altındadır. Yukarıdan alınan erken yansımalar yatay yansımaları azaltır. Fazla yoğunluklu malzeme kullanılan ya da alçak duran yansıtıcı panellerde sahne çok fazla erken yansıma olarak yeterli çınlama düzeyine ulaşamaz ve netlik (C80) değeri artar. Bu durumda sahne salondan bağımsız olarak çalışır. Yukarıdaki sorunları gidermek amaçlı yükseltile yansıtıcı panelin yansımaları da zayıflamış olur. Yansıtıcı panel ile sahne akustiği ana salondan farklı çalışmamalıdır. Yeterli akustik koşullar yansıtıcı panelin boyut, yükseklik ve yüzey kitle ağırlığı açısından uygun değer alması ile elde edilir. Döşeme ve yan duvarların doğru tasarlanması ile yansıtıcı panelin doğru tasarımı sahneden salona yeterli düzeyde enerji geçişi sağlayacaktır. Yansıtıcı panelin yükseklik ayarı ile erken enerji yoğunluğunun ayarlanması gerekir. Bunu gösteren parametre erken destek (ST erken), 20–80 ms arasındaki erken yansıma enerji düzeyidir. Yansıtıcı panel olmadığı takdirde destek (ST) değeri hacim(V) ile ilişkilidir [11].

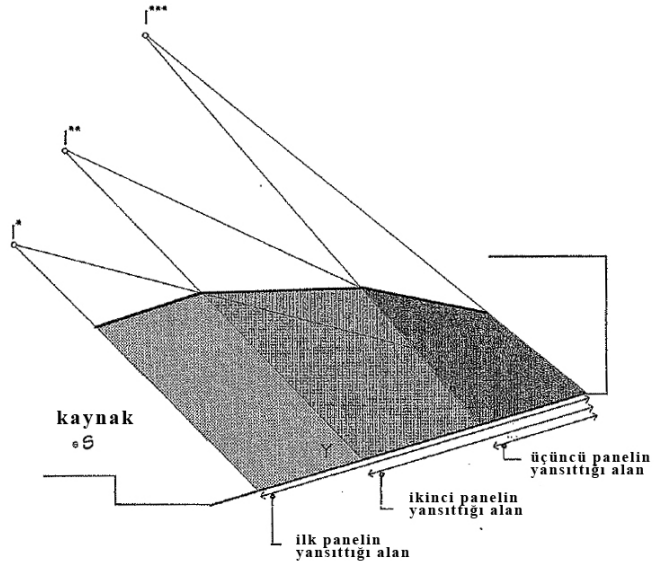
Tavanın fazla alçalması, gereğinden fazla bir ses yüksekliği (G) yaratır. Bu da müzisyenlerin birbirlerini anlamasının sağlayan netlik (C80) indeksini düşürür. Tavan tasarımında yararlı yansımaların 60ms den önce gelmesi önemlidir. Tavanın alçak olması halinde güçlü yansımaların 60 ms den sonra gelmesine bağlı olarak netlik indeksi düşecektir [24].

Yansıma alacak platformu 3 parçaya ayırıyoruz. Bu noktalardan aynı şekilde kaynağa bir önceki panelin bitiş noktasından ışın göndererek açıortaya dik gelecek şekilde panel düzlemini belirliyoruz. Panel düzlemine göre kaynak noktasının simetrisini alıp bu noktadan platformun bitişine ışın göndererek panelin uç noktasını belirliyoruz [6].



Şekil 2.7 : Üçüncü panelin konumlanış şekli [6]

Panellerin bütün platforma ses yansıması gönderdiği kontrol edilmelidir.

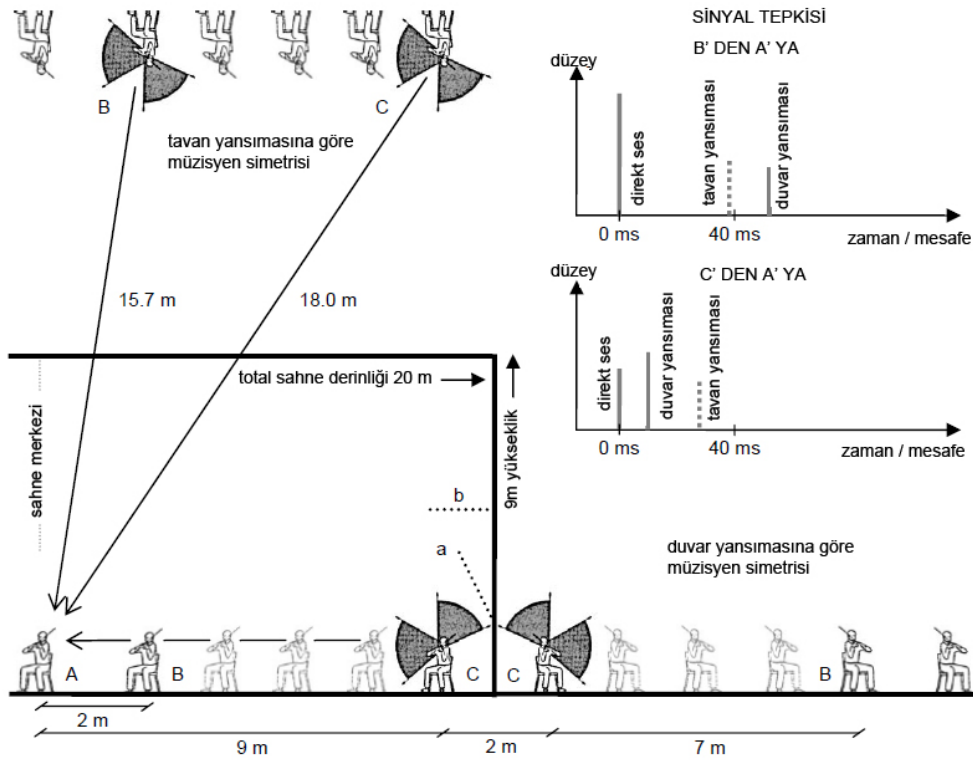


Şekil 2.8 : Panellerin yansıttığı ses ışını alanları [6]

Yansıtıcı panel şekillerinde eğrisel tasarımlar saçıcılığı artırdığından akustik kamaşmayı engeller [6].

Yansıtıcı panel boyutu bütün frekanslarda etkili olması açısından min. 2.5m olmalıdır. Yüksek derecede yansıtıcılık isteniyorsa rezonans frekansı düşük olacak şekilde uygun bir ağırlıkta olmalıdır. Örnek olarak tavana bağlantı konstrüksiyonuna bağlanmış tek katmanı 16mm olan alçıpan paneller yeterli olacaktır. Eğrisel tasarımlarda eğriselliğin verdiği rijitlik ve sertlik yansıtıcılığı artırdığından tek panel yeterli olacaktır [6].

Yan duvarların orkestraya yakın olması aynı zamanda bas frekansların da artmasını sağlar. Sahne dışına özellikle bas frekanslar dizildiği için bunların duvarlardan yararlı yansımalar alması sağlanır. Fazla yansıtıcı bir yan duvar tasarımında ise perküsyon ve bakır üflemleri grubunda denge sorunu yaşanabilir [24].



Şekil 2.9 : Yanal ve tavan yansıma örneği [24]

Şekil 2.9 'da sahnedeki müzisyene iletilen tavan ve duvar yansımaları verilmiştir. Sahne ortasındaki müzisyene, kendisine yakın müzisyenden gelen yansımalar öncelikli olarak tavadan yansıyarak gelir. Sonraki yansımalar ise duvardan yansıyarak ulaşır. Aynı müzisyene sahne duvarı kenarındaki müzisyenden gelen

erken yansımalar öncelikli duvardan alınır. Sonraki yansımalar ise tavandan yansıyarak ulaşır.

Panellerin seyirci açısından etkileri

Tavandan elde edilen ilk yansımalar analiz edildiğinde alçak tavanın düşük çınlama süresine neden olduğu görülür. Alçak tavan formunda ses enerjisi direkt olarak yutucu olan seyirci bölümüne iletildiğinden hacimdeki sarmalanma (LEV) değeri düşer ve alçak tavan nedeniyle ses yüksekliği (G) değerinde verimsiz bir yükselme oluşur [26].

Dar ve yüksek tavanlı salonlarda yatay olarak oluşan çınlama alanı seyirci bölümünün üzerinde kalır. Bu da boğuk ve erken enerjinin yetersiz olduğu bir akustik alan yaratır. Tavandan alınan yararlı yansımaların geldiği yüzeyler yutucu yapıldığı takdirde ses yüksekliği (G) değeri düşer ve istenmeyen yüksek bir netlik (C80) değeri alınır. Dikdörtgen tipli salonlarda çınlama süresi (RT) değerinin kontrolü için yan duvarların üst kısımları ele alınarak yutucu ya da yansıtıcı tasarlanabilir [26].

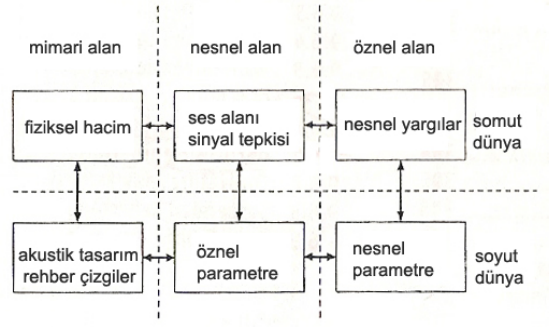
2.1.4.4 Sahnede yönlülük etkisi

Senfoni orkestrasında ses düzeyini etkileyen en önemli faktör yönlülüktür (directivity). Ses düzeyi en yüksek elemanlar, perküsyon ve bakır üflemeli grup elemanlarıdır. Özellikle yüksek (100 dBA) sese maruz kalan müzisyenlerde işitme kayıpları başlar. Bunun engellenmesi için müzisyenler arasında ses bariyerleri ya da kulaklıklar kullanılmaktadır [9].

2.2 Nesnel ve Öznel Parametreler

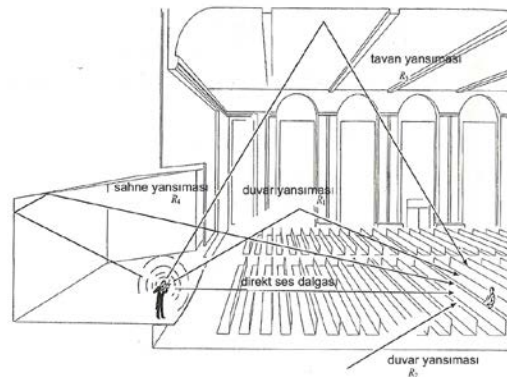
Sesin dağılımı, ses kaynağı ve alıcı arasında gibi gözüke de alıcının algısında ses enerjisi, oluştuğu ve yayıldığı ortam etkisiyle oluşur. Hacim akustiği temel olarak, sesin iç ortamda yayılarak alıcıya kadar ulaştığı yolu ve alıcının konforunu akustik olayına göre değerlendirmektir. Konuşma ve müzik benzer akustik frekans aralıklarına sahiptirler. Fakat açıkça müzik frekansı ve kaynak yapısı olarak daha esnek bir aralığa sahiptir. Oditoryum akustiği genel olarak, alıcı/dinleyicinin, sahnede oluşan ses enerjisine tepkisi olarak alınabilir. Alıcı tepkisini oluşturan değerler direkt ses ile ortamda oluşan yansımalarla oluşur ve nesnel veya nesnel

çeşitli parametrelerle ifade edilir. Nesnel parametreler izleyicinin ya da göstericinin gereksinimlerine ve izlenimlerine göre belirlenir. Nesnel değerleri ölçülebilir değerler haline getirmek için nesnel parametreler kullanılır. Öznel yargılar tasarımı nesnel parametreye çevrilir. Şekil 2.10'da ifade edilen ilişki çizelgesine göre mekânlar kullanıcının ihtiyacına göre şekillenir [1].

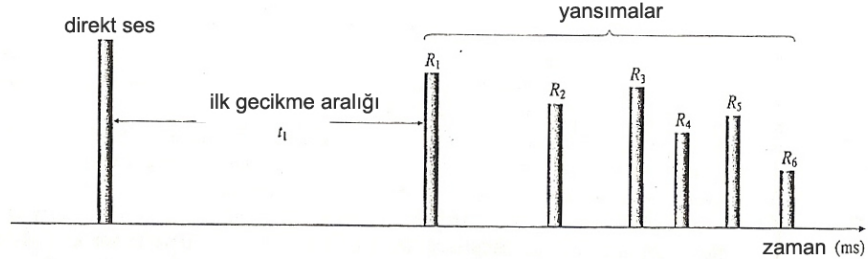


Şekil 2.10 : Öznel hacim akustiğine genel bakış [1]

En temel işitsel özelliği belli eden bilgi kaynağı, sinyal tepkisidir (impuls response). Kaynaktan çıkan küresel dalga bütün yönlerde doğru bir yayılım gösterir. Kaynaktan direkt olarak alıcıya ulaşan ses dalgalarına direkt ses denir. Direkt ses dalgasından sonra duvar elemanlarından ve hacimdeki diğer objelerden yansıyan sesler alıcıya ulaşır. Bunlara erken yansıma denir. Bu yansımalar çok daha düşük şiddetlidir. Küresel dalganın yüzey alanı arttıkça şiddeti azalır (spherical distance attenuation). Çarpmada ses enerjisi sürtünmeyle enerji kaybeder ve havanın sürtünme etkisiyle de enerjisi azalır. Ses dalgası tamamen emilene kadar yansıma yapmaya ve alıcılara iletmeye devam eder. Sonraki yansımaların yoğunluğu zamanla doğru orantılıdır. Bu süreye reverberasyon denir. Yansımalar arttıkça reverberasyon süresi de artıyor demektir[1].



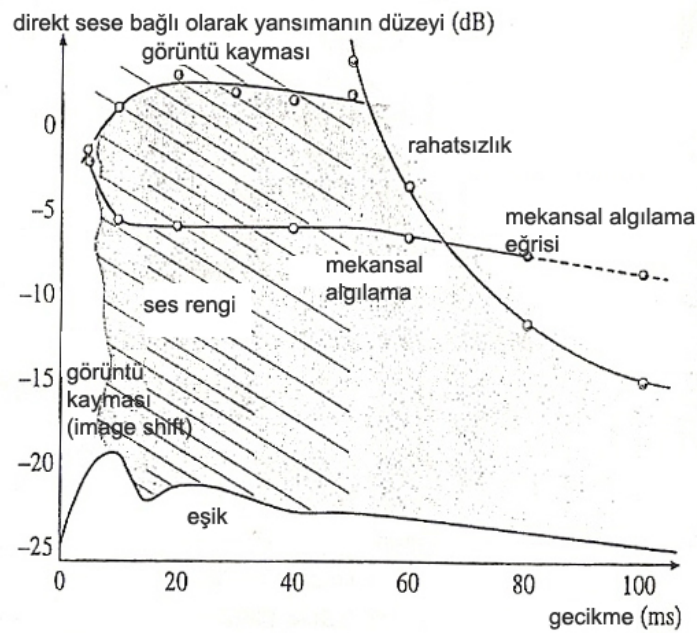
Şekil 2.11 : Akustik çevreyi oluşturan direkt ses ve yansıyan sesler [1]



Şekil 2.12 : Sinyal tepkisi oluşumunun ilüstrasyon diyagramı [1]

Direkt ses ile direkt sestten sonra gelen ilk yansıma arasında geçen süreye ilk gecikme aralığı (ITDG) denir. İlk gecikme aralığının kısa olması yansımaların erken alındığı gösterir. Fakat enerji ile ilgili bilgi taşımaz. İlk yansımadan sonraki yansımalar hacim içerisinde yüzeyler, seyirci ve hava tarafından yutulur ve zamana bağlı olarak azalarak devam eder. Yansımaların yükseklik analizine göre pek çok yargılara varılabilir. Eko, odaklanma, taraklanma gibi kusurlar yansıyan ses enerjisinin analizinde ortaya çıkmaktadır [30].

Fizik akustik olaylarına göre direkt sesin hemen ardından gelen yansıma, direkt sese göre şiddeti az ise duyulmazdır. Şekil 2.13'te yansımaların eşik değerleri ve algılama arasındaki ilişkileri verilmiştir. Böylece yansımanın yönü, gecikme süresine bağlı olarak duyulması için eşik değeri vardır. Eşik seviyesinin üzerindeki duyulabilir yansımalar [1].

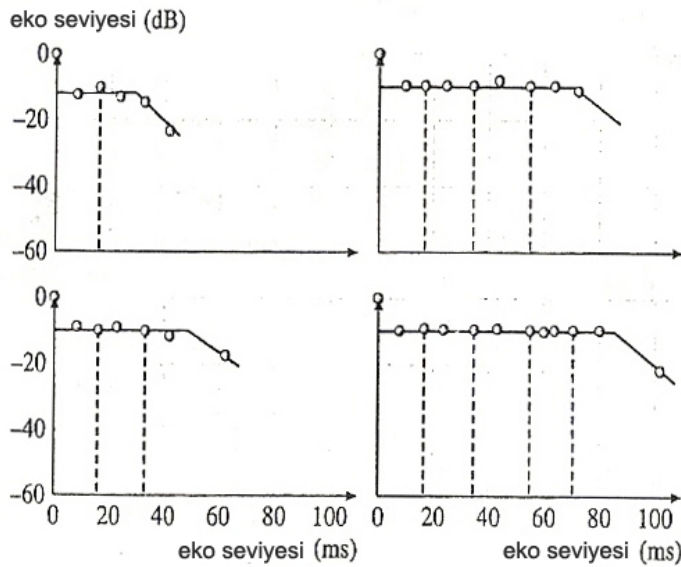


Şekil 2.13 : Yan duvardan gelen tek bir yansımanın çeşitli işitsel etkileri verilmiştir. Sinyal olarak müzik kullanılmıştır [1].

Yukarıdaki şekilde yansımaların ses düzeylerine göre algılanma değerleri verilmiştir.

- Sinyal olarak müzik kullanılmıştır. Eşik çizgisi altında kalan (yaklaşık -20dB altında) yansımalar gecikme süresinden bağımsız olarak işitilemezdir.
- Üst sağ kısım belirgin eko kısmıdır. Yansımaların ses düzeyi önceki yansımalarından daha yüksektir.
- 50 ms öncesini gösteren taralı alan mekânsal algılamanın (spatial impression) ve genişlemenin (boardening) sağlandığı bölgedir. 50 ms nin sonrasındaki yansımalar ses rengi ve ses tınısında istenmeyen etkilere neden olur. Direkt sesle erken yansımaların birleşmesi ile oluşan taraklanma (comb filter) sebebiyle bu istenmeyen etkiler oluşur.
- Eğer erken yansıma direkt sestemden daha fazla ise (0dB den yüksek) ve 50ms' den erken ise görüntü kayması (image shift) oluşur. Kaynaktan gelen yansımanın yönünün farklı algılanarak kaynağın yerinin farklı algılanmasına neden olur.

Pratikte sinyal tepkisinde pek çok yansıma vardır, fakat bilinmesi gereken gelen yansımalarla algılama eşik değeri arasındaki bağlantıdır. Belirtilen üst üste gelen yansımalar ile eşik seviyesi büyük ölçüde yükselir. Üst üste gelen bu yansımalar ile sinyal tepkisinin birleşmesine temel olarak maskeleyme denir. Sonuç olarak karmaşık bir sinyal tepkisinde çoğu yansıma maskelenir ancak dominant olanlar alıcının akustik algısını etkiler. Şekil 2.14'te direkt sestemden sonraki gelen yansımalar birbirine eklenerek eko eşik değeri seviyesini yükseltmiştir [4].



Şekil 2.14 : Dikey çizgilerle gösterilen direkt sese eklenen yeni yansımaların mekansal algılama eşikleridir. [4]

Duyulabilirliğe etkiyen parametreler:

- Yükseltilmiş seviye (energy addition): Direkt ses enerjisinin yansımalarla artarak alıcıya ulaşmasıdır.
- Yükseltilmiş netlik: Yansımanın konuşma için direkt sestten sonra 50ms içinde, müzik içinse 80ms içinde gelmesidir.
- Mekânsal algılamanın geliştirilmesi (increased spaciousness): Eğer yatay düzlemde yansıyan sesin yönü direkt sesinkinden farklı ise 2 kulaktaki etkisi farklı olacaktır.
- Eko: Konuşma için 50ms, müzik için 80ms' den sonra gelen yüksek düzeydeki yansımalar neden olur. Eğer gecikme süresi fazla ise (200 ms gibi) eko daha düşük seviyede çıkacaktır.
- Renklendirme (Coloration): Eğer yansıma 30ms'nin altında ise ve seviyesi yüksek ise orijinal frekans spektrumunu bozan comb filter etkisi yapacaktır.
- Yansıyan sesin direkt sestten büyük olması iç bükey yüzey veya amplifikasyona bağlı olarak oluşabilir [5].

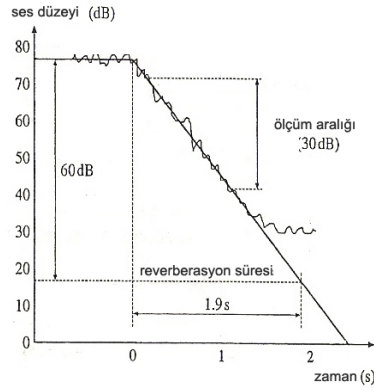
2.2.1 Nesnel akustik parametreleri

2.2.1.1 Çınlama Süresi (Reverberation, T)

En bilinen nesnel akustik parametresi olan reverberasyon, 100 yıl önce Sabine tarafından bulunmuştur. T, RT ile simgelenir. Eğer çınlama süresi (T) gereğinden yüksek ise konuşma ya da müzik anlaşılabilirliğini kaybeder, çünkü önemli detaylar daha yüksek seslerle maskelenir. Çınlama süresinin uygun değerde uzun olması, aynı ya da farklı enstrümanlardan çıkan sesleri birbirine ekleyerek müziğe dolgunluk verir.

Devamlı çalışan bir müzik kaynağının kapatılmasından sonra 60 dB' lik ses basıncının kaybolmasına kadar geçen süredir. Pratikte daha küçük (30dB' lik) aralık ile sınırlandırılmıştır. -5 dB' den -35 dB' ye kadar geçen süre yine 60dB düşüş eğrisine bağlı olarak alınır. Denklemden t-x eğrinin XdB ye geldiği zamanı gösterir. Şekil 2.15'te düşüş eğrisinin reverberasyon süresi ile ilişkisi verilmiştir[7].

$$T = 60dB \frac{(t-x)-(-5)}{(-5dB)-(-35dB)} \quad (2.1)$$



Şekil 2.15 : Ses düşüş eğrisi ve çınlama süresi [7]

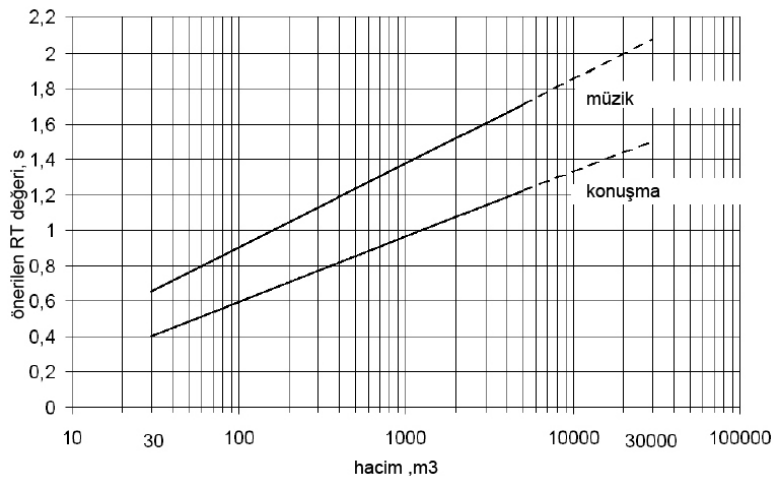
Sabine formülasyonu aşağıdaki gibidir. V – hacim, A yüzey yutuculuk katsayısı olarak alınır [27].

$$T = \frac{0,161V}{A} \quad (2.2)$$

A ile ifade edilen yutuculuk katsayısı, her bir yüzeyin yüzey alanı ve yutuculuk katsayısı çarpımının toplamından oluşur [27].

$$A = \sum_0^n = (\Sigma S_n a_n) \quad (2.3)$$

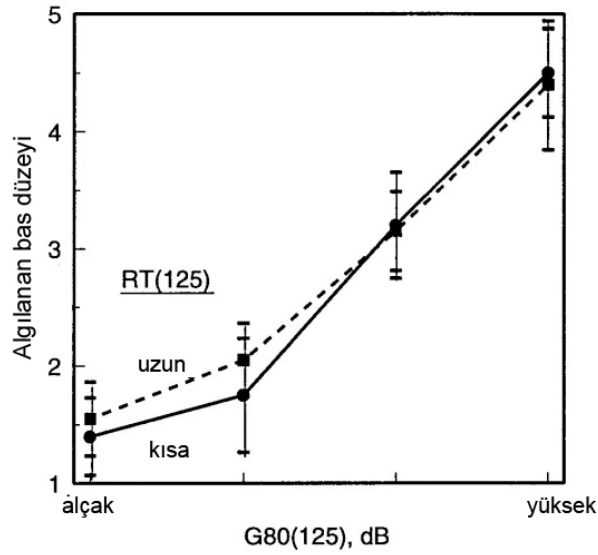
Şekil 2.16’da Müzik ve konuşma için önerilen hacme bağlı RT değerleri verilmiştir [19]. Hacim arttıkça önerilen RT değeri de artmıştır. Müzik için önerilen çınlama süreleri doyumluk ve sarmalanma hissi açısından çok daha uzun verilmiştir. Konuşma içinse öncelikli parametre anlaşılabilirlik olduğundan çınlama süresi daha az verilir.



Şekil 2.16 : Hacme bağlı konuşma ve müzik için önerilen çınlama süresi – RT değer grafiği [19]

Çınlama süresinin frekanslara bağlı dağılımı salonda kullanılan malzemenin frekansa bağlı yutucu çeşitliliğine göre değişmektedir. Salonun genel olarak alçak frekanslarda yutucu olarak tasarlanması ortamdaki alçak frekanslardaki çınlama süresini azaltacaktır. Ya da tam tersi bir uygulamada yüksek frekansların çok yutulması yüksek frekanslardaki çınlama süresini azaltabilir.

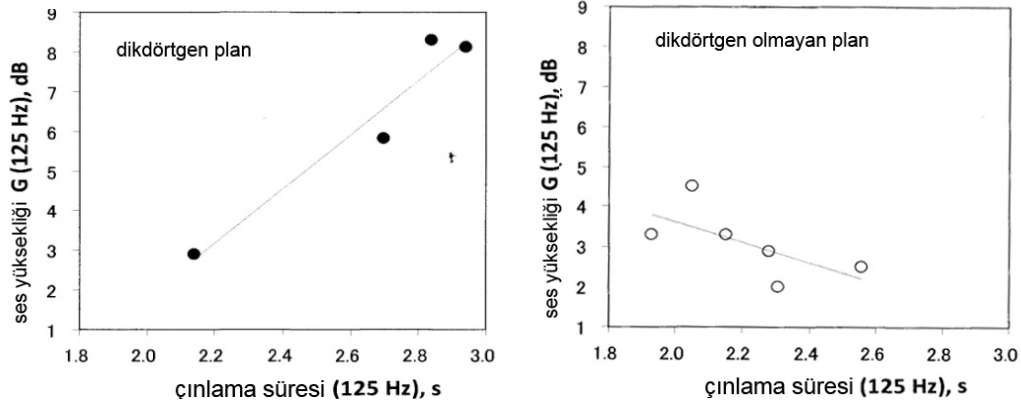
Alçak frekanslarda reverberasyon (RT) değerinin artması, ses yüksekliği (G) değerini artırır ve bas algısını artırır. Genel olarak erken yansımalar ses yüksekliği (G) üzerinde, geç yansımalar sarmalanma (LEV) üzerinde etkilidir. Şekil 2.17’de alçak frekanslardaki çınlama süresi ile ses yüksekliği ve algılanan bas düzeyi ilişkisi verilmiştir [22].



Şekil 2.17 : 125 Hz’de ses yüksekliğinin çınlama süresine bağlı artışı [22]

Çınlama süresinin artışı ya da azalımı, frekans spektrumlarında diğer parametreleri de etkilemektedir. Çınlama süresinin artması yansıyan enerjinin artması anlamına gelir. Hacmin artması çınlama süresini (RT) artırsa da ses yüksekliği (G) değeri her zaman doğru orantılı artmaz. Ortamdaki enerjinin yutulmasına ve yansıyan enerji seviyesinin yüksekliğine bağlı olarak ses yüksekliği (G), hacim arttığında artar ya da azalır. Ses yüksekliği (G) değeri dikdörtgen plan şemalarında daha yüksek çıkmaktadır. Fan, arena, elmas tip gibi dikdörtgen olmayan plan şemalarında ise çınlama süresi arttıkça ses yüksekliği (G) değerleri daha düşük çıkmaktadır. Özellikle alçak frekanslardaki ses yüksekliği $G(125\text{Hz})$, alçak frekansların oturma yüzeylerinde yutulmasından dolayı dikdörtgen olmayan plan şemalarında daha düşük

çıkar. Şekil 2.18 'de dikdörtgen planlı ve dikdörtgen planlı olmayan 2 farklı salon tipinde alçak frekanslardaki ses yüksekliği ve çınlama süresi ilişkisi verilmiştir[22].

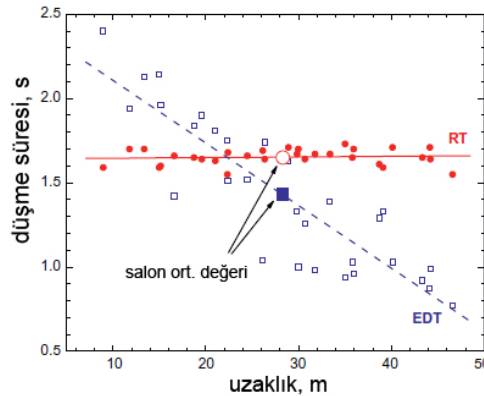


Şekil 2.18 : Dikdörtgen plan şemasına ve dikdörtgen olmayan plan şemasında ses yüksekliği ile çınlama süresi bağlantısı verilmiştir[22].

Devam eden bir konuşma ya da müzikte, sonradan gelen notalar ya da heceler reverberasyona bağlı olarak öncekini maskeleyeceği için erken düşme süresi (EDT) daha gerçekçi bir parametredir. Diğer parametrelerle olan ilişkisi nedeniyle temel parametredir. 0 ile -10dB arasında geçen süredir. Ses kaynağının susmasından sonraki ilk 10dB lik düşüşü için geçen sürenin 6 faktörü ile çarpımıdır. Erken düşme süresi (EDT) birkaç erken izole yansımadan meydana geldiği için erken yansımalarla ilgili de bilgi alabiliriz.

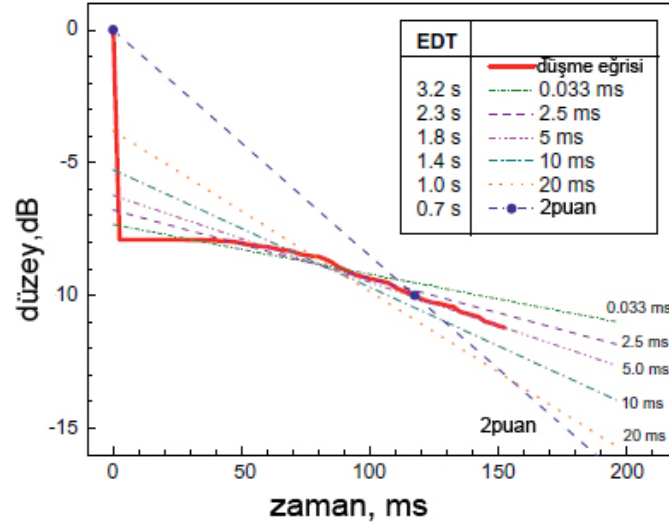
$$EDT= 6 (t_{10}) \quad (2.4)$$

Düşme süresi, RT genel olarak tüm dinleyicilerde benzerdir. Fakat erken düşme süresi (EDT) değeri ilk 10 dB lik düşüş süresini göstermesi açısından her seyirci noktasında farklılık gösterir [17]. Şekil 2.19'da EDT ve RT ölçümleri verilmiştir.



Şekil 2.19 : Mesafeye bağlı RT (çınlama süresi) ve EDT erken düşme süresi değişimi [17]

Alıcı kaynak mesafesine bağlı olarak değişen çınlama süresi (RT) ve erken düşme süresi (EDT) eğrileri verilmiştir. Çınlama süresi mesafeye bağlı olarak değişirse de, erken düşme süresi direkt olarak enerji bağlantılı bir parametre olduğundan kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır. Genel olarak kaynağa yakın sahne gibi noktalarda erken düşme süresi değeri ani düşüşler gösterir [17].



Şekil 2.20 : Erken düşme süresinin sahneye yakın noktalarda zamana bağlı grafiği verilmiştir. [17]

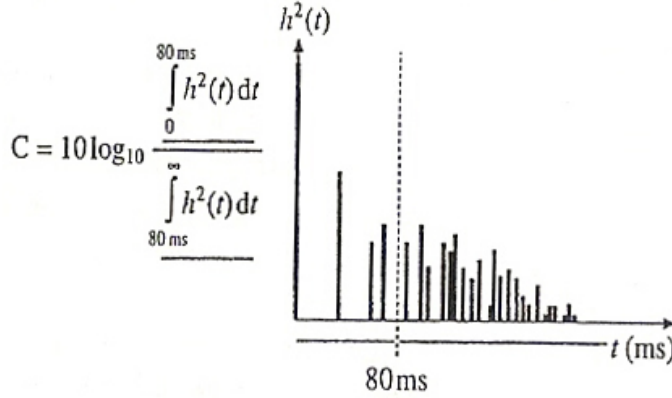
Çınlama süresi (RT) değeri uzun olması nedeniyle ilk yansımalarla ilgili net bilgi vermemektedir. Erken düşme süresi değeri analiz edildiğinde, çınlama süresinden yüksek çıkması, ilk yansımaların yüksek olduğunu ve yeterli enerjinin sağlandığını gösterir.

Erken düşme süresi (EDT) değeri ilk 10dB'lik düşme ile ilgili olduğundan salonun dolu olup olmamasıyla çok fazla ilgili değildir. Fakat çınlama süresi (RT) parametresi salonun dolu olup olmamasına göre 0,3 s değişir ve erken düşme süresi (EDT) değerleri salon boş iken ölçülür ve analiz edilir [4].

2.2.1.2Sesin netliği (Clarity, C)

Netlik, ses bileşenlerinin hepsinin sonradan gelenin etkisiyle bozulmaması, anlaşılabilir olmasıdır. Çınlamaya bağlıdır. Eğer yansımalar 50 – 80 ms. aralığı dışına çıkmıyorsa kulak sesleri beraber algılar. Bu da müziğin net olduğunu gösterir. Erken yansımaların geç yansımalara oranıdır. Şekil 2.21'de denklemde kullanılan yansımaların grafiksel gösterimi verilmiştir. Bu durumda nesnel olarak netliği gösteren parametre:

$$C = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_0^{80ms} h^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} h^2(t) dt} \right] \quad (2.5)$$



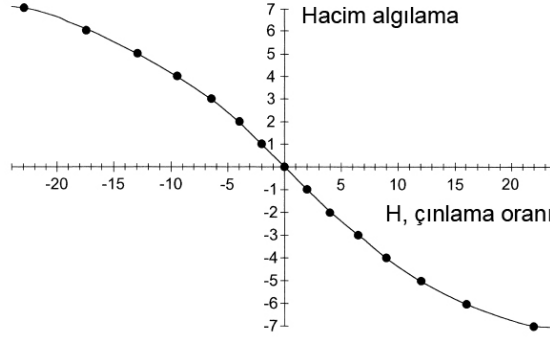
Şekil 2.21 : Sinyal tepkisinde erken yansımaların geç yansımalara oranı verilmiştir[4].

$$C_{80} = 10 \log \frac{e_{direkt} + e_{erken}}{e_{geç}} \quad (2.6)$$

Direkt ses ve erken yansımalarının toplamının geç gelen yansımalara oranıdır. Dolu olmayan bir salonda ölçülür ve ilk gecikme aralığı parametresi ses ışınlarının taşıdığı enerji ile ilgili bilgi vermediğinden netlik (C80) parametresi yansımalarla ilgili daha çok bilgi verir. Çınlama ile ters orantılı olarak ilişkilendirilir. Çınlama arttıkça 80ms'den sonra yansımalar arttığı için C80 değeri azalır [4].

$$C_{80-o} = C_{80} + 13 \log [T_{60}/T_{60-o}] \quad (2.7)$$

Netlik (C80) değerinin küçük pozitif sayı olarak çıkması salonun kuru olduğunu, küçük negatif çıkması reverberant bir salon olduğunu gösterir[4]. Netlik indeksi ile ilgili benzer bir parametre de H (Hallabstand)'dır. Direkt sesin çınlayan sese oranı olan H(Hallabstand), hacim izlenimi ile ilgili oranı şeklindeki gibidir. Netlik (C80) değeri -2dB ile +2 dB arasında ilerlediğinde netlik attıkça yansıyan ses oranı azalmış, H değeri artmış demektir. Dolayısıyla hacim algılaması zayıflamaktadır. H parametresi çınlama, netlik ve mekansal algılama arasında ilişki kurar [16]. Şekil 2.22'de çınlama oranı ile algılama arasındaki ilişki verilmiştir. X ekseninde çınlama oranı + ve - yönünde değişmektedir. Y ekseninde ise algılama değeri sübjektif olarak + ve - yönünde değerlendirilmektedir. Değerlendirmede salondaki diğer değerler sabit tutulmaktadır.



Şekil 2.22 : H (Hallabstand) parametresinin hacim algılama ile ilişkisi [16]

H değeri netlik (C80) ile denk oranı ifade ettiği için çınlama (RT) değeri ile ters orantılıdır. Netlik parametresinin keskinleşmesi, yansımaların ve ses enerjisinin yetersizliğini dolayısıyla hacim algılamasının zayıfladığını gösterir.

Netlik indeksi için tekil alıcı noktaları incelenmelidir. Netlik indeksinin diğer parametrelerle ve düşüş eğrisi ile kuvvetli bir ilişkisi vardır. Netlik ve çınlama arasında bir denge ve optimizasyon noktası olmalıdır. C50 ve C80 noktasal olarak daha çok bilgi taşıdığından, özellikle oturma yüzeylerinin alçak frekans yutuculuğu ile ilgili erken yansımaların oluşturduğu erken ses yüksekliği (*G erken*) parametresinden daha çok bilgi verir. İdeal bir ortamda oturma alanlarında erken yansılardan sonra geç yansımaların gelişimi kademeli bir şekilde azalarak olmalıdır [17].

Netlik (C80) için kesin değerler verilememekle beraber Schmitd'e göre bazı değer aralıkları verilmektedir. Netlik, klasik müzik için min -1,6dB, romantik müzik için min. -4,6dB ve kilise ya da dini müzikler için -5dB olması uygundur [19].

Direkt ses netlik indeksi (C7)

Yönlülük ve yakınlık parametresi ile ilgilidir. Direkt ses enerjisinin çınlayan ses enerjisine oranıdır. Müzik için -10dB ile -15 dB arası verilir [19].

$$C7= 10 \log \left(\frac{E7}{E_{\infty}-E7} \right),dB \quad (2.8)$$

Zamansal ağırlık merkezi (TS, center time): Geç gelen yansımaların yoğunluğu ile erken yansımalar yoğunluğunun eşit olduğu noktadır. Alıcıdaki bu nokta düşük ise erken yansımaların daha yoğun olduğu anlaşılır. Yön ile ilişkilendirildiğinde TS

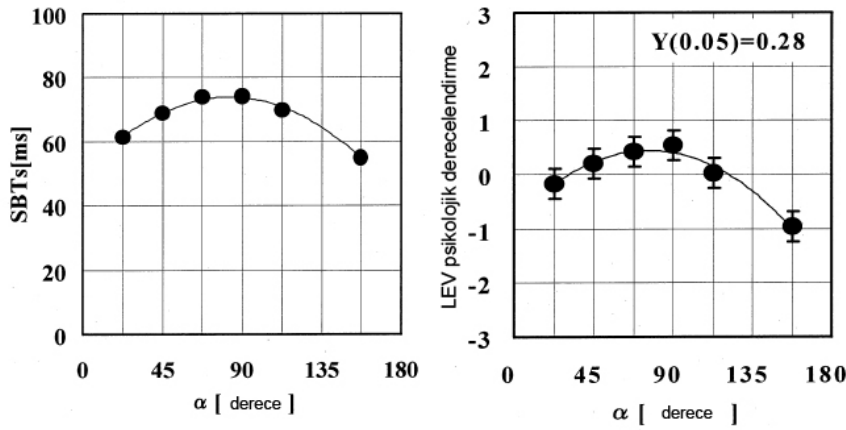
değerinin alıcıya her yönden gelen yansıyan enerjinin geometrik ortalaması alınır. Bu da mekansal olarak dengelenmiş SBTs (spatial balanced center time) adını alır. TS değeri zaman ile ilgili bilgi verirken SBTs değeri zaman, düzey ve yön ile ilgili bilgi verir. SBTs değeri doğru orantılı olarak değişir [15].

$$SBTs = \sum_{i=0}^n bi = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n ai \cdot aj \cdot \sin\left(\frac{\theta_{ij}}{2}\right) \quad (2.9)$$

İ ve j : gelen yansımalar

θ :iki yansıyan yön arasındaki açı

Bi : yansımanın etkisi



Şekil 2.23 : Gelen yansımaların yöne bağlı SBTs değerleri ve psikolojik sarmalanma hissine etkisi verilmiştir [15].

Şekil 2.23'e göre iki yansıma arasındaki açı 90 derece olduğu zaman zamansal ağırlık merkezi 90 ms'lere kaymaktadır. Alıcının sarmalanma hissi en çok 90ms'de yüksek çıkmıştır. Erken yansımaların geç yansımalarla dengelendiği nokta 80 ms 'nin altına düşükçe sarmalanma hissi azalmaktadır.

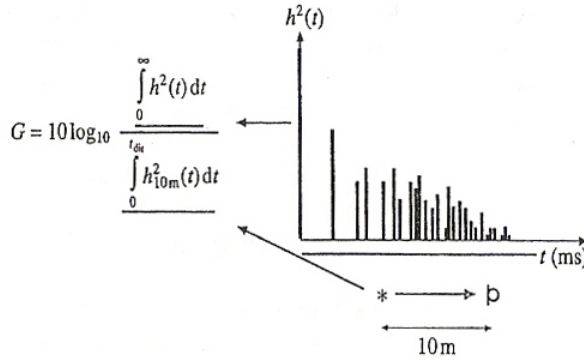
Erken yansımaların geç yansımalarla oranı olan C80, C50, D50 gibi parametrelere alternatif netlik indeksi olarak zamansal ağırlık merkezi (TS, center time) kullanılır [17]. Denge noktasından önce alınan enerji yoğunluğu ile sonradan alınan enerji yoğunluğunun eşit olmasıdır[18]. Schmidt'e göre müzik için 70 ile 150ms arasında olmalıdır. Konuşma için 60 ile 80ms arasında olmalıdır [19]. Zamansal ağırlık merkezinin düşük değer alması enerjinin büyük bölümünün alıcıya erken ulaştığını ve netliğin arttığını gösterir. Zamansal ağırlık merkezi ile (Ts) erken düşme süresi (EDT) arasında kuvvetli bir ilişki vardır. EDT değerinin yüksek olması yansımaların erken ulaştığını gösterir ve dolayısıyla TS değerinin küçük olmasını sağlar [1].

2.2.1.3 Sesin belirginliği (Definition, D-50)

Konuşmanın belirginliği, konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili en eski nesnel parametrelerden biridir. Alıcıya ulaşmada ortalama süresi 70 ms olup anlaşılabilirlik ile ilgili ölçümlerde erken ses için 50ms ve 80 ms arasındaki süreler kullanılmaktadır. Bu durumda konuşmanın belirginliği parametresi kısa süren bir ses sinyalinin ölçülen ilk 50 ms'lik zaman diliminde alıcıya ulaşan erken enerjinin toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir [1].

$$D50 = \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.10)$$

2.2.1.4 Ses yüksekliği (Strength, Loudness, G)



Şekil 2.24 : Ses yüksekliği denkleminin grafiksel olarak gösterimi verilmiştir [1].

Bir sesin, tamamen yutucu (anechoic) bir odada, kaynaktan 10m uzaklıktaki ses basıncı ile normal mekândaki basınç düzeyini farkına denir. Aynı zamanda mekândaki total enerjinin 10m mesafede kaydedilmiş direkt ses oranından da elde edilebilir [1].

$$G = \frac{\int_0^{\infty} h^2(t) dt}{\int_0^{tdir} h^2_{10m}(t) dt} \quad (2.11)$$

Etkileyen faktörler

- Alıcı kaynak mesafesi
- Erken yansımalar için yüzeyler
- Hacmin büyüklüğü

- Orta frekanslardaki çınlama suresi

Ses Yüksekliği ve Hacim İlişkisi

Ses yüksekliği (G) parametresi, küçük salonlardan ziyade, büyük hacimli, çınlayan bir mekanda özellikle değerlendirilir. Dinleyici tarafından tercih edilen ses basınç düzeyi için maksimum aralık 77 – 79dBA'dır.

G değeri eğer alçak frekanslarda ölçülüyorsa G alçak, orta frekanslara ölçülüyorsa G orta olarak değerlendirilir. İdeal G orta değerleri 4dB ve 6dB aralığı arasında olmalıdır. Eğer bu değer daha yüksek ise salon çok fazla uyarılmıştır. Hacme bağlı olarak bu aralık değişebilir. Küçük salonlarda ses yüksekliği çok fazla iken aynı değer büyük hacimli bir salonda normal ya da az olabilir. Ölçüm yapılırken orkestra ve seyircilerin yutuculuk oranı toplam salonun %75'i kadar olmalıdır. Ortalama yutuculuk değeri ise 0,85 olmalıdır [4].

ISO 3382-1'e göre ses yüksekliği G, G erken ve G geç olarak iki ayrı parametre olarak alınmalıdır. Alçak frekanslardaki erken yansımalar özellikle alçak frekanslarda yutucu olan koltuklar (seat dip effect) nedeniyle yutulurlar ve buna bağlı olarak G erken parametresini değiştirirler. G geç değeri ise genel olarak tüm salonun yutuculuğundan ve hacminden etkilenir. G erken ve G geç değerleri G ve C80 indeksleriyle belirlenebilir. Barron'a göre frekanslara bağlı olarak ele alınmalıdır. Kaynaktan 20 m uzaklıkta, en az değer +2dB olarak alınmalıdır. Orta frekanslarda G değeri 0 dB 'den büyük olmalıdır. Beranek 'e göre orta frekanslar konser salonları için 1,5 ile 5,5dB arasında olmalıdır. Küçük salonlar için 9, -13dB aralığı ve opera için -1, 2dB aralığı alınabilir [17].

Geç yansımaların etkili olduğu LEV değeri özellikle geç sesin yüksekliğine göre (GLL , late lateral sound strength) değişmektedir. Yapılan pek çok salon karşılaştırmalarında yanal yansıma oranı (LLF), çok fazla LEV değerini değiştirmemiştir. Fakat sarmalanma(LEV) ya bağlı geç yanal yansıma(GLL) oranları farklılık göstermiştir. Özellikle LEV değeri GLL düşük olan salonlarda düşük çıkmıştır. Geç ses düzeyi hacim sabit olduğunda salonun yutuculuk değerine göre değişmektedir. LEV değerinin küçük salonlarda iyi, büyük salonlarda kötü yargısı G değerine bağlı olarak farklılık gösterir. Ses yüksekliğini, sesin maskelenmemesi açısından C80 değerinin uygunluğu için optimize etmek gerekir [16].

İlk Gecikme Aralığı (ITDG, Initial Time Delay Gap)

İlk yansımanın geliş süresinden direkt sesin geliş süresi çıkarıldığında elde edilir. ITDG değerleri 20 ms' ye kadar olan salonlar iyi puan alırken 35 ms üzerindeki salonlarda konfor düşmeye başlamaktadır. İdeal olma durumu ise 20ms nin altındadır. Ando ve Beranek, samimiyet değerini sadece ITDG değeri ile ilişkilendirirken, Barron salonun hacmi ile de ilişki kurar. Barron'a göre daha küçük salonlarda ITDG 'nin düşük çıkmasına bağlı olarak samimiyet hissi artmaktadır. EDT değeri ile doğru orantılıdır. İlk gecikme aralığının kısa olması EDT süresinin de düşük çıktığını gösterir. İlk yansımaların alındığı noktaların yakın olması ITDG değerinin düşük çıkmasından anlaşılabilir. Bu noktalara yakın alıcıların EDT süreleri de kısa çıkacaktır [2].

2.2.1.5 Mekânsal algılama (Spatial impressions or spatial response)

Sesi monophonic etkinin tam tersi olarak pek çok farklı noktadan geliyormuş gibi algılanmasıdır. Bu etkinin 2 göstergesi vardır.

1. Algılanan Kaynak Genişliği (Apparent Sound With, ASW): Sesin görüldüğünden daha geniş bir kaynaktan geliyormuş gibi algılanmasıdır. Eğer erken yansımalar (müzik için 80ms den önce olan yansımalar) fazla ise ASW artar.

2. Dinleyicinin Hacimce Kuşatılması (Listener Envelopment, LEV): Dinleyicinin çınlayan ses ile sarmalanma izlenimidir. Geç gelen yanal yansımalar fazla ise sarmalanma etkisi (LEV) artar. Yanal yansıma enerji fraksiyonu ile hesaplanır.

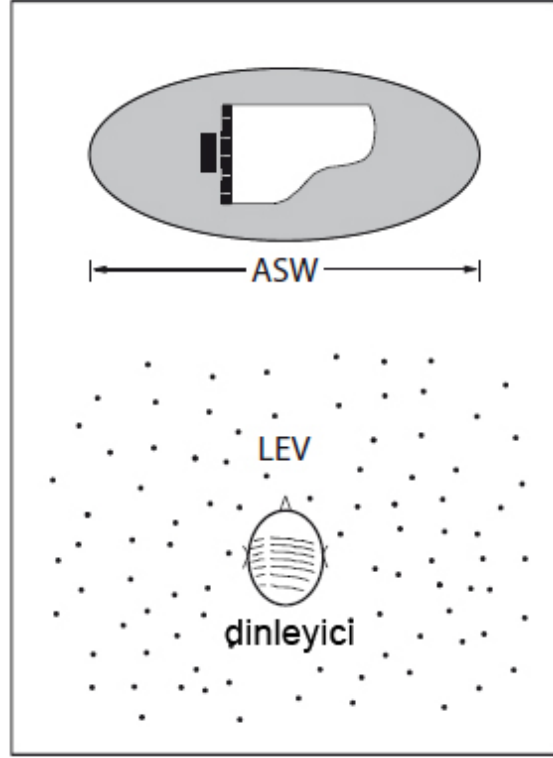
Yanal Yansıma Fraksiyonu (lateral energy fraction, LEF): Çoğunlukla algılama etkisinin verildiği alçak ve orta frekanslardaki sesin oluşturduğu enerjidir. Ölçümü 80 ms 'ye kadar olan yanal enerjilerin erken kısmının, direkt ses ile erken yansımaların toplamına oranıdır [1].

$$LEF = \frac{\int_{5ms}^{80ms} h_1^2(t) dt}{\int_{0ms}^{80ms} h^2(t) dt} \quad (2.12)$$

h_1 : 8li mikrofon ile kaydedilen sinyal tepki basıncı

h : noktasal mikrofon ile kaydedilen sinyal tepki ses basıncı

Yanal yansımalar mekansal izlenimi (spatial impression) oluştururlar. Erken gelen yanal yansımalar kaynağın olduğundan daha geniş ses enerjisi yayma izlenimi ile kaynak genişlemesini sağlarken, geç gelen yanal yansımalar sarmalanma hissini oluşturur[4]. Şekil sarmalanma (LEV) ve görünür kaynak genişliğinin (ASW) şekilsel tanımlanması verilmiştir.



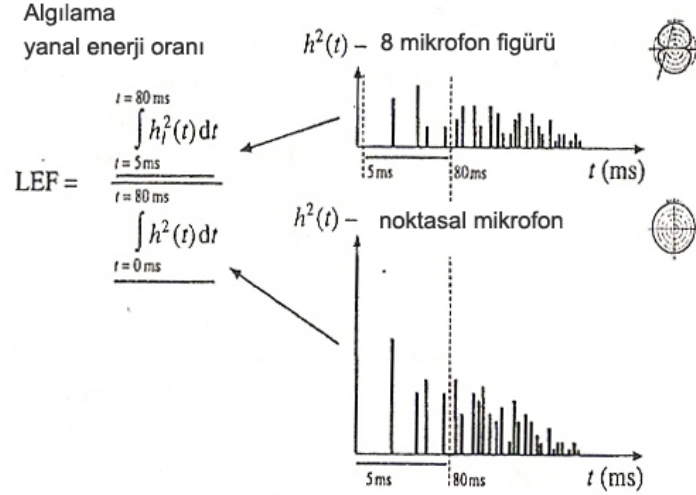
Şekil 2.25 : ASW kaynağın genişliği ile ilgili bilgi verirken, LEV alıcının sarmalanması ile ilgili bilgi verir. [4]

Erken yanal yansımalar (LEF) ne kadar fazla ise görünür kaynak (ASW) o kadar geniştir. LEF çınlamaya bağlı bir değer değildir. Saçıcı bir alanda 0.33 sabit bir değer olarak alınır.

SPL değeri sabit tutulup farklı frekans spektrumlarında değerler ile LEV ve diğer parametreler karşılaştırıldığında şu sonuçlara varılmıştır. [22]

$$\text{LEV calc} = 0.5 G_{\text{geç,orta}} + 10 \log \text{LFL}_{\text{geç,orta}} \text{ dB} \quad (2.13)$$

Orta frekanslardaki geç ses yüksekliği ile geç yanal yansımaların oranı toplamı LEV, sarmalanma değerini verir. ASW ise sadece yansımalara dayalı değil aynı zamanda sesin toplam düzeyine de bağlıdır. Şekil 2.26'da Lef bağlantısının grafiksel tanımı verilmiştir[1].



Şekil 2.26 : LEF bağıntısının yansıma grafiği ile anlatımı[1]

Erken yansımalar, süregelen bir müzik pasajında, özellikle de harpsikord, gitar gibi sessiz enstrümanların çalındığı pasajların alıcıya iletilmesi açısından çok önemlidir. Bu yüzden orkestra üzerinde genelde 6m yükseklikte dış bükey yansıtıcılar yerleştirilmektedir. Bu yansımalar ile salona ve orkestraya yararlı yansımalar iletilir. Yansıtıcı panelin uzunluğu, alçak frekansların geniş dalga boyu dolayısıyla en az 1,8m uzunluğunda olmalıdır [4].

LF erken ve kulak arası karşılıklı ilişki katsayısı (IACC) değerleri çok farklı gibi gözükse de her ikisi de genel olarak 125HZ ile 1000 HZ arası bilgi verir. LF erken ve 1 - IACC değerleri doğru orantılı olarak değişir. Fakat IACC 'deki bazı değişimler LF erken parametresinde kendisini göstermeyebilir. [17] Yanal enerji fraksiyonu (LF) ideal bir akustik ortamında 0,1 ile 0,25 arasında olmalıdır. LF nin frekansa bağlı taşıdığı bilgi şeması aşağıdaki gibidir [19].

125Hz - 500 Hz arası	LEV, sarmalanma
500Hz - 4000 Hz arası	Kaynak genişlemesi (source broadening)
4000Hz ve üzeri	görüntü kayması (image shifting)

Direkt sestem daha güçlü gelen erken yansımalar kaynak görüntü kaymasına neden olur. Direk sestem 7ms önce gelen kuvvetli erken yansımalar sesin kaynaktan değil de kaynakla yansıyan ses arasında bir yerden geldiği izlenimi verir. 20ms civarındaki yansımalar ise kaba ve keskin bir müzik tonuna dönüşür. Ses rengini sivrileştirerek sesin metalik bir tını almasına neden olur. Bu etki özellikle telli enstrümanların

seslerinde değişime neden olur ve yatay yansımalarından çok tavadaki yansıtıcı panellerden gelen dikey yansımalar bu etkiye sebebiyet verir. Tavandan asılan sistemlerden en çok kaçınma sebebi sesin tınısını metalik bir yönde değiştirmesidir [4].

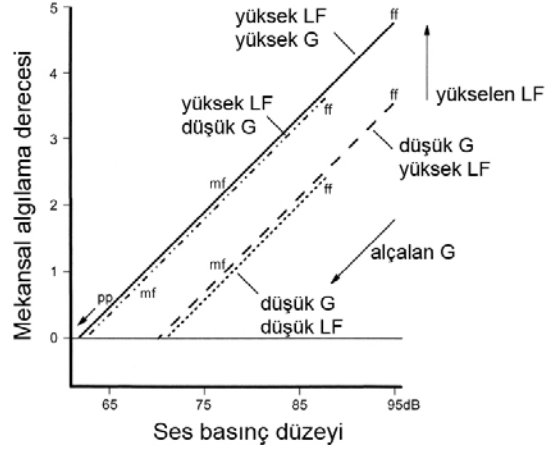
Dinleyicinin hacimce kuşatılması (LEV) daha çok geç gelen yansımalarla ilgilidir. Geç gelen yansımalarla ilgili (80ms den sonra gelen) parametreyi ölçen nesnel parametre geç yanal ses yüksekliğidir (LG) [1].

$$LG = \frac{\int_{80ms}^{\infty} h^2(t) dt}{\int_{0ms}^{tdir} h^2(t) dt} \quad (2.14)$$

80 ms den sonra olan yanal yansımaların, 10m deki direkt sese oranıdır. Mekansal işitme algılaması kesin olmayan bir duydur. Az şiddette bir ses sadece kaynağı ile ilgili bilgi verirken, yüksek şiddette bir ses mekan hacmi ve akustik karakteri ilgili bilgiler vermektedir. [12] Çınlama mekansal algılama çözümünde yetersiz kaldığı için özellikle yanal yansımalar irdelenmeye başlanmıştır. Yüksek puanlı salonlarda güçlü yansımalar tavandan daha çok yan duvarlardan alınmıştır. Özellikle arena tip salonlarda kaynaktan gelen sesler oturma bölümlerinde ani azalmalara uğramaktadır. Bu oluşuma oturma düşüş etkisi (SDE , seat – dip effect) denir [13]. Düşük frekansların seyirciler ve koltuklar tarafından yüksek derecede yutulmasından kaynaklanmaktadır. Seyircili, seyircisiz her iki durumda da bu etki gözlenmektedir. Salonda seyirci olduğu süre boyunca SDE kaçınılmaz olacaktır. Fakat bazı önlemlerle bu etkiyi minimize etmek mümkündür. Zeminde yapılan iyileştirmeler oluşumu çok etkilemez. Oturma bölümlerinde kullanılan koltuk malzemelerinin bas yutuculuğunun azaltılması, bas seviyesinin artırılması, seyirci platformlarının eğiminin optimumda tutulması, yerleşim planının şaşırtılmalı yapılarak ara duvarların bas yansıtıcılığını artırmak gibi önlemler alınabilir. Yapılan salon değerlendirmelerine göre G değeri mekansal algılamada etkili olmakla beraber, alçak tavanlı geniş bir salonda, 93 dB SPL değerindeki bir kaynakla yapılan denemede yan duvarlardan yeterli yansımanın alınamaması nedeniyle mekansal algılamasının zayıf olduğu ve oluşmadığı gözlemlenmiştir [12].

G değerinin artması ve yan duvarlardan yüksek yansıma alınması aynı ses basınç düzeyinde seyircinin mekansal algılamasını artırmaktadır.

Yanal yansımaların (LF) güçlü olduğu bir salonda kaynak genişlemesi (source boardening), erken ses enerjisi ile ilişkilendirilebilir [12]. Şekil 2.27’de ses basınç düzeyi ile mekansal algılama ve yanal yansıma arasındaki ilişki grafiği verilmiştir.



Şekil 2.27 : Mekansal algılama, G ve LF ilişkisi grafiği [12]

Kaynak genişleme derecesi;

$$(DSB, \text{degree of source broadening}) = LF + \frac{\text{Early level}}{60} \quad (2.15)$$

Yansımaların etkili olduğu parametre ASW, kaynak genişlemesi ve sarmalanma nesnel olarak IACC parametresi ile ilişkilendirilir. IACC, yanal enerji ile karşıdan gelen enerji oranı olarak değerlendirilir, ASW ile doğru orantılıdır. ASW’ nin artması mekansal tepkinin (spatial responsiveness,SR) artmasını sağlar. Sarmalanma hissi sadece erken yanal yansımalarla ilgili değil, aynı zamanda geç gelen yanal yansımalarla oluştuğu ortaya çıkmıştır. Bu durumda geç yanal yansımaların taşıdığı enerji parametresi ile LEV ilişkilendirilmiştir. LG değeri 125 ve 1000 HZ arası 4 oktavda ölçülüp ortalaması alınır [12].

Ses enerjisi, yönlülük etkisi ve ses genişmesi arasındaki ilişki denklemi aşağıdaki gibidir [12].

$$ASW = 90 * \left(LF + \frac{GE}{60} \right) - 60 \quad (2.16)$$

Mekânın akustik özelliği zamansal, mekansal ve nitelik olarak 3 şekilde ele alınır. Zamansal olarak değerlendirildiğinde ritim süreklilik, çınlama parametreleri ile

ilişkilendirilir. Mekansal olarak ele alındığında yön, mesafe ve mekansal algılama ile ilişkilendirilir. Nitelik olarak ele alındığında ise şiddet, yükseklik, tını parametreleri değerlendirilir. Mekansal algılama erken yansımalar ile daha ilişkilidir. LEV ise geç yansımalarla bağlantılıdır. Aynı zamanda FBR (front back ratio) alıcıya önden ve arkadan gelen yansımalar oranı da LEV parametresi için belirleyicidir. dB cinsinden verilir. LEV üzerinde anlaşılabilir bir etki yapar [14].

$$FBR = 10 \log\left(\frac{Ef}{Eb}\right) \text{ dB} \quad (2.17)$$

Ef: önden gelen yansıyan enerji toplamı

Eb: arkadan gelen yansıyan enerji toplamı

Sarmalanma hissi FBR azaldıkça artar. Arkadan gelen yansımalar sarmalanma hissini olumlu olarak artırır. ASW görünür kaynak genişliği, FBR den bağımsız olarak değişir ve erken yansımalarla oluşur. LEV parametresinin değerlendirilmesinde geç yansımadaki FBR, erken yansımadaki FBR' den daha etkilidir. Salon için etkisi düşünüldüğünde arka duvarı çok yutucu yapmak FBR değerini artıracığından alıcının sarmalanma etkisi düşecektir. Dinleyiciye önden gelen yansımalar zayıf kaldığında sadece direkt ses ve arkadan gelen yansımaları alırsa, alıcının arkasında keskin bir ses imajı alır. Bu da sarmalanma hissini oluşturmaz. [14]

Geç ses yüksekliği, LEV algılamasında en belirgin parametredir. Yüksek frekansların geç yansımaları zayıf olduğundan (LG) geç ses yüksekliği 125 ile 1000 Hz arası ölçülür. -5 dB den büyük olmalıdır. Dar dikdörtgen salonlar yüksek çıkarken eni daha geniş salonlarda düşük çıkmaktadır. [17]

Yansımaların geliş yönünün tam ortadan olmasına karşıt olarak yansımalar 2 kulakta farklı basınç etkisi yapacaktır. Bu etkiyi ölçen parametre kulak arasındaki karşılıklı ilişki katsayısıdır (interaural cross correlation coefficient, IACC) [19].

$$IACC \ t1, t2 = \max \frac{\int_{t1}^{t2} hL(t).hR(t+r)dt}{\sqrt{\int_{t1}^{t2} h^2L(t)dt. \int_{t1}^{t2} h^2R(t)dt}} \quad (2.18)$$

T1 ve t2 zaman aralığını göstermektedir. hL sol kulaktaki, hR sağ kulaktaki ses basıncını vermektedir [19].

0-1 arası bir değer alır. İki kulak arasındaki farklılık arttıkça değer yükselir ve bu mekansal algılamanın artmasıyla ters orantılıdır. Eğer ASW ölçülecekse t1, t2 sırasıyla 0ms - 100ms arası alınacaktır. Eğer LEV ölçülmek isteniyorsa t1, t2 sırasıyla 100ms -1000ms arası alınacaktır.

IACC erken, 0-80ms arasında ölçülür ve erken yansımalarla ilişkilendirilir. IACC değeri alçak frekanslarda dalga boyu nedeniyle ölçülemez. Değerlendirme aralıkları aşağıdaki gibidir [19].

“Mükemmel” , aralığında	IACC erken 500,1000,2000 Hz için	0,28 – 0,38
“İyi” , aralığında	IACC erken 500,1000,2000 Hz için	0,39 – 0,54
“Kabul edilir” , aralığında	IACC erken 500,1000,2000 Hz için	0,55 – 0,59

LEF ve IACC aynı parametreleri ölçseler de birbirleriyle bağlantılı değillerdir. Ölçüm frekansları farklıdır. LEF 125Hz,250 Hz,500 Hz,1000Hz de ölçüm yaparken, IACC 500 Hz den yüksek frekanslarda ölçüm yapar. Nedeni dalga boyunun iki kulak arası mesafeden fazla olmasıdır [5].

IACC değerinin artması sarmalanma hissini (LEV) artırır. LEV değeri yanal yansımaların gelen enerjiden çok yukarıdan ve arkadan olmak üzere her yönden gelmesi ile ilişkilendirilir. Aynı zamanda her yönden gelen yansımaların dengeli enerji dağılımıyla, mekansal denge (spatial balance) ile de ilgilidir. Yönlülük etkisine bağlı olarak yanal yansımalar arttıkça artar. Karşıdan gelen yansımalar (0° ile) hiçbir zaman LEV için etkisiz değildir. Mekansal olarak bakıldığında tekil yansımaların etkisi değer yansımaların geliş yönüne bağlı olarak artar. Zamana bağlı olarak bakıldığında LEV değeri yansıyan enerji arttıkça artar ve gecikmiş yansımalar daha çok etkilidir. Çınlama süresi ile doğru orantılı olan LEV aynı zamanda ses basınç düzeyi arttıkça artar. EDT genel olarak enerji ile ilgili bilgi taşımadığından LEV değeri ile ilgili direkt olarak ilişki kurulamaz [15].

Eko

80ms'den sonra gelen yüksek enerjili yansılardan meydana gelir. Ses basınç kayıtlarına bakılarak analiz edilebilir. Eko periyodik olarak tekrarlıyorsa tekrarlayan eko gözlenir. Genelde 80 – 100ms arasında ve yüksek frekanslarda gerçekleşir [19].

2.2.1.6 Sesin tınısı ve rengi (Tonal color)

Ses tınısı odanın, sesin yüksek, orta ve alçak frekans değerlerinin oranından etkilenmesidir. Ses tonu ile sertlik, aydınlık, sıcaklık, boşluk gibi değerlendirmenin yapılmasıdır. Bu parametrelerin ölçülmesi için bas oranı (Bass Ratio, BR) ve tiz oranı (Treble Ratio, TR) kullanılır. BR, alçak frekanslardaki çınlama süresinin orta frekanslara oranıdır. TR, yüksek frekanslardaki çınlama süresinin orta frekanslara oranıdır.

BR için genel olarak T 20 değerleri kullanılır. Müzik için bu değer 1 ile 1,3 arası olurken konuşma için 0,9 ile 1 değerleri arası olabilir. Konuşmada orta frekanslar etkili iken müzikte alçak frekanslar daha çok önem kazanır [19].

$$BR = \frac{T_{125Hz} + T_{250Hz}}{T_{500Hz} + T_{1000Hz}} \quad \text{bas oranıdır} \quad (2.19)$$

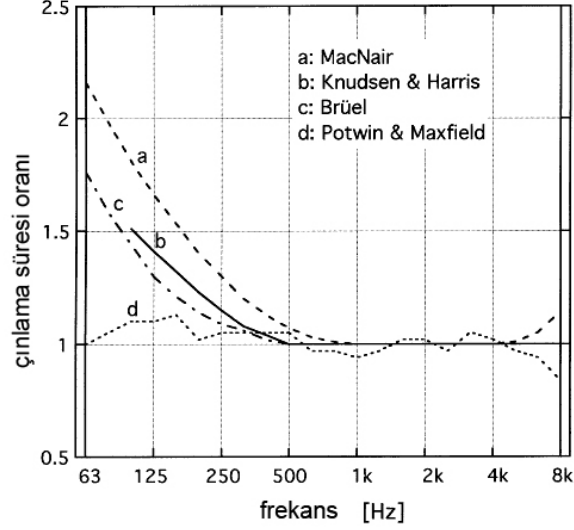
$$TR = \frac{T_{2000Hz} + T_{4000Hz}}{T_{500Hz} + T_{1000Hz}} \quad \text{tiz oranıdır} \quad (2.20)$$

Bazı salonlarda yüksek çınlama süresine rağmen bas eksikliği olabilir. Bu durumda bu frekanslardaki EDT ya da G değerine bakılabilir.

Tiz seslerin artması salonda nesnel olarak parlaklığın artmasını sağlar. Nesnel olarak 2000 Hz' nin orta frekansa oranı 0,9 ve büyük olmalıdır, 4000 Hz' nin orta frekansa oranı 0,8 ve büyük olmalıdır [6].

Souldre ve ve Bardley'e göre GLL (LG80) geç ses yanal yansımaların frekansa bağlı değerlendirilmesi, hacmin yutuculuğu ile ilgili bilgi verir. Kuvvetli yüksek frekansların hakim olduğu bir salonda GLL -3dB olarak çıkabilir. Alçak frekansların analizi için G erken analiz edilmelidir. [17]

Şekil 2.28'de bazı akustikçilerin tercih ettiği müzik için uygun frekans spektrum eğrileri mevcuttur. Bas frekanslarındaki yüksek çınlama süreleri müzik için tercih edilen bir durumdur. Fakat bazı akustikçilere göre de her frekansta yakın çınlama süresi tercih edilebilir [21]. Alçak ve yüksek frekanslarda çınlama süresi kontrolü malzeme tercihleriyle belirlenebilir.



Şekil 2.28 : Akustikçiler ve tercih ettikleri çınlama süresi oran eğrisi [21]

Beraneck 'e göre bas oranı, salon RT değeri 2,2s olan bir salonda 1,1 – 1,25 aralığında olmalıdır. RT değeri 1,8 civarında olan salonlarda ise 1,1 – 1,45 aralığında olmalıdır. Bas tepkisi beton üzerine kalın bir alçı tabakası ya da kalın bir (5cm gibi) ahşap kaplama ile elde edilebilir. İnce ve boşluklu uygulanan malzemeler bas yutuculuk görevi görür ve kaçınılmalıdır [4].

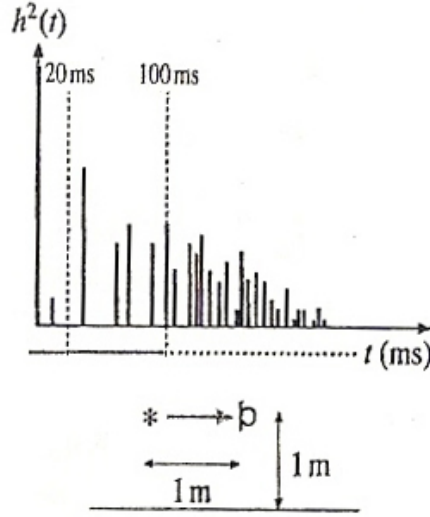
2.2.1.7 Performansçılarının koşullarının değerlendirilmesi

Müziyenlerin en çok ilgilendiği genel özellikler, çınlama (reverberance) ve ses tınısıdır (timbre). Bunların dışında 2 parametre performansçılarının durumu için çok önemlidir. Bu parametreler, bütünlüğün sağlanması (Ease of ensemble) ve destek (support)'tir.

Bütünlük (Ease of ensemble): Müziyenlerin birbirlerini en iyi şekilde duymaları ve beraber çalabilmeleridir. Bu parametre sahneden erken yansıyan enerji ile ilgilidir. ST erken ile ölçülür. Şekil 2.29 da erken ve geç sahne yansımalarının grafiksel gösterimi verilmiştir.

$$ST \text{ erken} = 10 \log \frac{\int_{20ms}^{100ms} h1m^2(t)dt}{\int_{0ms}^{tdir} h1m^2(t)dt} \quad (2.21)$$

$$ST \text{ geç} = 10 \log \frac{\int_{100ms}^{1000ms} h1m^2(t)dt}{\int_{0ms}^{tdir} h1m^2(t)dt} \quad (2.22)$$

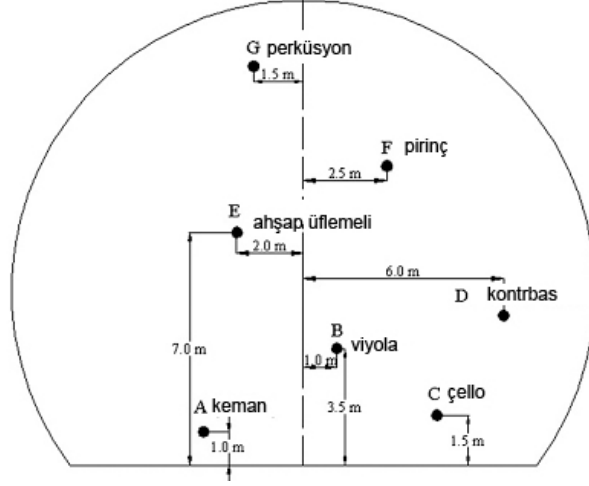


Şekil 2.29 : Erken ve geç yansıma enerjisinin, sahnede 1m alıcı kaynak mesafesinde kaydedilmiş direkt sese oranıdır.

Destek (Support): Enstrümanın hacim içinde kendine göre bir ton yaratması ile ilgilidir. Hacmi kolayca doldurabildiği ya da hacmi zor doldurmasına göre derecelendirilir. Daha çok geç yansımalarla ilgilidir. Özellikle telli enstrümanlarda erken yansımalar maskelenir. Bu durumda geç yansımalar önem kazanır. ST geç ile ölçülür. Destek, sahne yüzeylerinden alınan yansımaların değerlendirilmesidir. Ölçüm şekli olarak sahne üzerine kaynak ve ona 1m mesafede alıcı yerleştirilir. 0-20msn içinden gelen ses yansımalarının 0 – 10ms içinde gelen yansımalara oranına ST değeri adı verilir. Tercih edilen değer -11dB , - 13dB değerler arasındadır[4].

ST early ve late 4 oktavda ölçülür. 250Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz. Erken yansımaları kısa mesafede yakın frekanslarda ayırmak zor olduğu için ölçümler 4 bantta yapılır. [1] Sahne performansı ST erken ve geç olarak ayrılır. Sahne içerisindeki erken ve geç yansımaların oluşturduğu alan analizi için kullanılır. [20] ST erken, 20 ile 100ms yansıyan enerjinin direkt sese oranı olarak ölçülür. ST geç ise 100 – 1000ms arası yansıyan enerjinin direkt sese oranı olarak ölçülür. Sahne üzerindeki değerlendirmeler, erken yansıma ve geç yansıma oranını ölçen EDT, T20, G, C80, Ts gibi parametrelerle de yapılabilir fakat ST 7 – 100ms arası erken yansıma enerjilerini gösterir.

Sahneye seyirci bölümünden bakıldığında Amerikan düzeni olarak kabul gören sahne yerleşimi Şekil 2.30'daki gibidir. [20]



Şekil 2.30 : Sahne yerleşiminde Amerikan düzeni [20]

Keman grubu solda, çello sağda viyola ortadadır. Kontrbas çellonun arkasındadır. Üflemeli enstrümanlar ortada, yaylı grubun hemen arkasında yer alır. Bakır üflemeli grubunun bir kısmı ortada, üflemeli grubun hemen arkasında bir kısmı da sol tarafta en arka sıradaki perküsyonun hemen önündedir [20].

ISO 3382 – 1 'de verilen ST değerlerine göre erken ST değeri -24dB ile -8dB arasında iken, geç ST değeri -24dB ile -10dB arasındadır [20].

Gade 'in klasik müzik orkestrası için önerdiği değer aralıkları ise aşağıdaki gibidir.

Erken ST	-13dB ile -11dB arasında olmalıdır.
Geç ST	-13dB ile -12dB arasında olmalıdır.
Total ST	-12dB ile -8dB arasında olmalıdır.

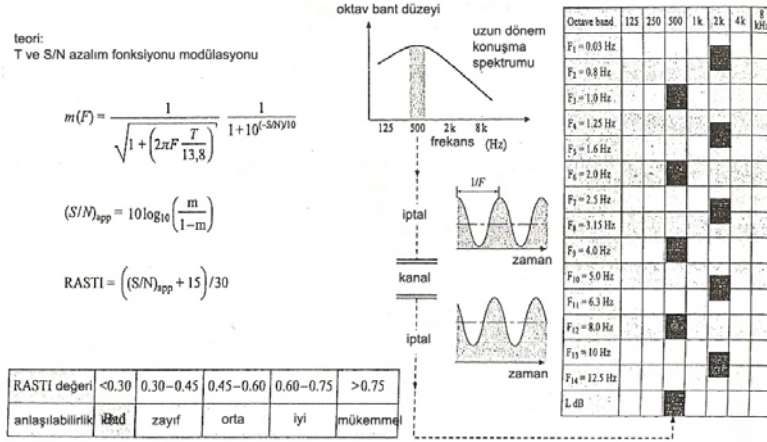
Sahne EDT değerinin frekansa bağlı değişimi önemlidir. EDT değeri sahnede 1,5s ve alçak frekanslarının EDT değerinin yüksek frekansları EDT değerine oranı EDTF parametresi 1 olarak verilir [20].

$$EDTF = \frac{\text{alçak frekanslar EDT (250Hz+500Hz)}}{\text{yüksek frekanslar EDT (1000Hz+2000Hz)}} \quad (2.23)$$

Konuşmanın algılanabilirliği (Intelligibility)

Bütün önceki parametreler (temel parametre hariç) büyük oditoryumlar, müzik salonları gibi mekânlar için daha çok kullanılır. Konuşmanın olduğu tiyatrolar, derslikler, konferans salonları, ofis gibi mekânlarda algılanabilirlik önemli bir nesnel parametredir. Nesnel parametre nesnel ile değerlendirilirken ses geçiş indeksi

(Speech Transmission Index, STI kullanılır. RASTI ile bir değerlendirme yapılır. Şekil 2.31’de Rasti bağıntısı ile anlaşılabilirlik ilişkisi verilmiştir.



Şekil 2.31 : STI ve RASTI ölçümünde teori ve prensip illüstrasyonu

U80: konuşmanın anlaşılabilirliğini ölçen netlik parametresinin değiştirilmiş halidir. Konuşma düzeyinin arka plan düzeyine oranıdır.

2.2.2 Optimum nesnel akustik parametreleri

Akustik parametreler için belli değerler önermek riskli olsa da, T gibi parametreler için optimum değerler vermek yerleşmiş bir anlayıştır. Fakat T 'ye göre ayarlanan bu parametreler gerçekte çok farklı sonuçlar verebilir. Bu fark, hacmin erken yansımaları kontrol eden yüzeylerinin nasıl şekillendiği ile ilgilidir. Güçlü erken yansımalar iyi netlik (C), iyi ses yüksekliği (G) ve iyi mekansal algılama sağlar.

Çizelge 2.3 : Akustik özelliklerin optimum değer çizelgesi

parametre	sembol	oda müziği	senfoni
salon ölçüleri	V/N	2500 m ³ /300 koltuk	25000 m ³ /2000 koltuk
reverberasyon süresi	T	1.5 s	2.0-2.4 s
erken düşme süresi	EDT	1.4 s	2.2 s
ses yüksekliği	G	10 dB	3 dB
netlik	C	3 dB	-1 dB
yanal enerji oranı	LEF	0.15-0.20	0.20-0.25
iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki	1-IACC	0.6	0.7
erken destek	ST _{early}	-10 dB	-14 dB

Çizelge 2.3'te verilen değerlere ek olarak konuşmanın anlaşılabilirliği için STI/RASTI en az 0.6 olmalıdır. Çınlama olan ibadet mekânlarında ise bu değer 0.55 ten yüksek olmalıdır [1]. Çizelge 2.4'te nesnel parametrelerin akustikçilerce belirlenmiş optimum değer aralıkları verilmektedir.

Çizelge 2.4 : Optimum nesnel akustik parametreleri.

PARAMETRE TANIMI	BAĞINTI KAYNAK	MEHTA	SPRINGER	M. LONG	BARRON	ISO 3382-1	ODEON
RT	sabine (long)				Org müziği >2.5		1,7-2,3 s
	norris-eyring (long)	kilise müziği 2 - 2,5	oda müziği 1,5 s	konser salonu 2,5 - 3,5s	romantik klisik müzik 1.8-2.2		
		orkestra müziği için konser salonu 1,8 - 2,2	senfoni 2-2,4 s	romantik senfoni 1,7 - 2,5s	erken dönem klasik müziği 1.6-1.8		
		hafif müzik için konser salonu 1,4 - 1,8	ritmik müzik 0,8-1,5 s	mozart opera 1,2 - 1,5s	Opera 1.3-1.8		
		opera tiyatroları 1 - 1,5	opera 1,4-1,8 s	hafif opera 1 - 1,2s	oda müziği 1.4-1.7		
		speech auditoriums 0,4 -1		sınıf, konfreans 1s'nin altı	sinema salonu 0.7-1.0		
EDT, ERKEN DÜŞME SÜRESİ	(mehta)	RT den %10 daha fazla	oda müziği 1,4 s senfoni 2,2 s	çınlama süresinden 0,3s fazla	1.8 - 2.2s aralığı	1,0 s; 3,0 s	
ITDG	(mehta)	16-31 ms					
TS			10 ms			60 ms; 260ms	
G, SES YÜKSEKLİĞİ	(mehta)	2 - 8 dB, tavsiye edilen 4 - 5.5 dB	oda müziği 10 dB senfonik müzik 3 dB 1 dB (nesnel farklılık)	4 - 5.5 dB aralığı	0 dB 'den büyük	-2 dB; +10 dB	> 3 dB
D50						0,3; 0,7	
C80	(mehta)	+1 ve -4 dB aralığı	oda müziği 3 dB senfoni -1 dB 0,5 dB (nesnel farklılık)	0 ve -4 dB aralığı	-2 ve +2 dB aralığı	-5 dB; +5 dB	-1, +3 dB
LF80				0,1 - 0,35 (IACC bağlı)		0,05; 0,35	> 0,25
LEF			oda müziği 0,15-0,2 senfonik 0,2-0,25 % 5 (nesnel farklılık)		0.1 - 0.35 aralığı		
LG(50 - 80)			ref ISO 3382				
STI			en az 0,6	ref BRADLEY 0,7 - 0,8			0,60-0,75 iyi, 0,75-1,00 çok iyi
IACC			0 ve 1 aralığı oda müziği 0,6 senfonik 0,7	0,3			
BR		1,1 to 1.25 için RT ≥ 2,2 s 1,1 to 1.45 için RT < 1,8 s		1.1 - 1.25 , T60 = 2.2 s 1.1 - 1.45 , T60 = 1.8 s			
TR	(springer)						
ST erken			ref ISO 3382 oda müziği -10 dB senfonik -14 dB	-13, -11 - (1500m3 salon için)		-24dB; -8dB	> -13 dB
Arka plan gürültüsü		RC 15 to 20		maksimum NC 20 küçük, NC15 büyük salonlarda			
ST geç			ref ISO 3382			-24dB; -10dB	> -12 dB

2.2.3 Özel akustik parametreleri

Müziyenler ve akustikçilerin anlaşabilmesi için bazı parametreler ve kavramlar geliştirilmiştir. Aşağıda bu terimlerin anlamları ve birbiriyle bağlantıları verilmiştir. Bir parametre başka bir ya da birden fazla parametreden etkilenebilmektedir. [1]

<i>Denge (Balance)</i>	: Çeşitli orkestra ve vokal katılımlarının eşit ses yüksekliğinde olması
<i>Harmanlanma (Blend)</i>	: Orkestra seslerinin birbiriyle karışması
<i>Parlaklık (Brilliance)</i>	: Açık ve net çınlayan bir ses, zengin harmonisi olması, yüksek frekansların yavaşça sönümlenmesi
<i>Netlik (Clarity)</i>	: Bireysel seslerin birbirinden ayrı ve eklentili olarak çıkması
<i>Sesin belirginliği(Definition)</i>	: Netlik ile aynıdır.
<i>Kuru ve ölü (Dry and Dead)</i>	: Çınlama eksikliğidir.
<i>Dinamik aralık (Dynamic Range)</i>	: Salondaki ses düzey aralıklarıdır. Mekandaki en yüksek düzey ile en alçak düzey arasındaki çeşitlenmedir.
<i>Eko (Echo)</i>	: Yeterli düzeyden sonra gelen uzun süreli yansımalarıdır.
<i>Uyum (Ensemble)</i>	: Müziyenlerin birliktelik içinde çalmaları
<i>Sarmalanma (Envelopment)</i>	: Dinleyiciye sesin her yönde geliyormuş hissi verilmesi
<i>Kamaşma (Glare)</i>	: Düz yüzeylerden gelen yansımalarla yüksek frekansların fazla yansıtılması, daha çok duyulması
<i>Yakınlık (Immediacy)</i>	: Mekânın bir notaya çabuk cevap vermesi. Erken yansımanın müziyene dönme süresi ile ilgilidir. Kısa ilk gecikme aralığı (ITDG) ile sağlanır.

<i>Samimiyet (Intimacy)</i>	: Müziğin küçük bir hacimde çalınıyormuş hissi vermesidir. Kısa ilk gecikme aralığı (ITDG) ile belirlenir. 45 ms'den çok ise düşük bir ITDG vardır.
<i>Canlılık (Liveness)</i>	: 350Hz'nin üzerinde çınlama süresi ile aynıdır.
<i>Varlık (Presence)</i>	: Kaynağa yakın olma hissi, direkt sesin çınlayan sese oranının yüksek olmasıyla oluşur.
<i>Çınlama (Reverberation)</i>	: Kaynak kapatıldıktan sonra mekânda kalan ses
<i>Mekansal algılama (Spaciousness)</i>	: Görünen mekan boyutları haricinde mekanın ses ile algılanması. Görünür kaynak yakınlığı (ASW) başka bir parametresidir.
<i>Doku (texture)</i>	: Dinleyicinin, aldığı ardışık yansımalar ile edindiği öznel izlenimdir.
<i>Ses tınısı (timbre)</i>	: Bir enstrümanın sesinin diğerinden ayrılmasıdır.
<i>Sesin rengi (Tonal color)</i>	: Farklı frekans aralıklarının birbiriyle dengeli olması
<i>Ton kalitesi (tonal quality)</i>	: Mekândaki tonların doluluğu
<i>Birlik (uniformity)</i>	: Ses dağılımının eşitliği
<i>Sıcaklık (warmth)</i>	: Alçak frekansın çınlaması, 75HZ ile 350Hz arası

2.2.3.1 Öznel ve nesnel parametreler arasındaki ilişki

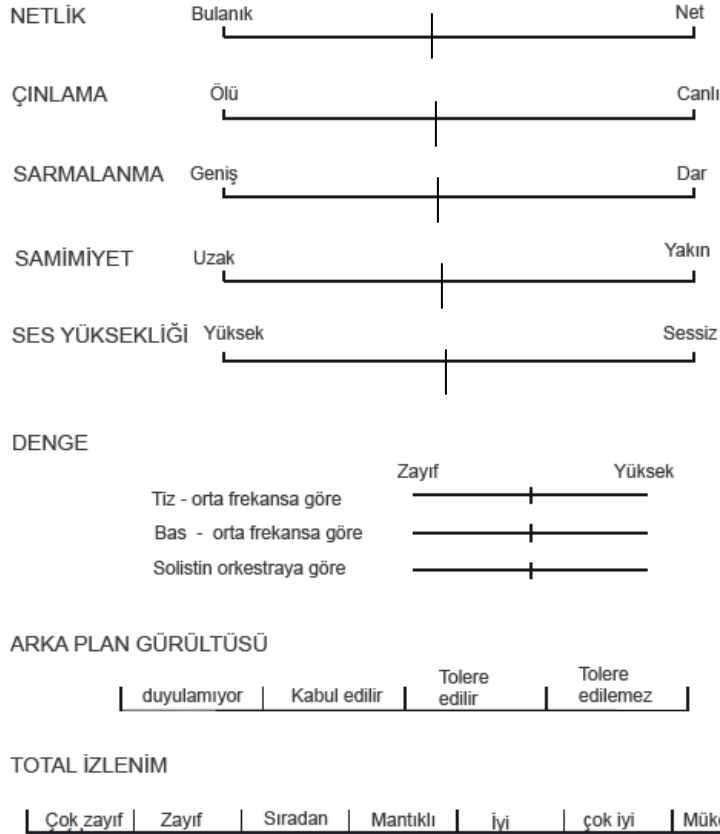
Terim Akustik faktör

Netlik	:Çınlama süresi, erken enerjinin geç enerjiye oranı, müziğin hızı
Samimiyet	: İlk gecikme aralığı, müzisyenlerin yakınlığı
Algılama	: Erken sesin görünür kaynak yakınlığı, LEV – çınlayan ses ile sarmalanma
Sesin tınısı ve rengi	:Yansıma ve yutuculukta frekans dengesi

Renk	:Tiz seslerin zenginliği, ton esnekliği, doku, denge, harmanlanma, sağılma, odaklanma
Sarmalanma	:Yanal yansımalar, çınlayan ses
Uyum	: Müzisyenlerin birbirini duyması
Dinamik aralık	: Arka plan seslerinin u frekans düzeyleri
Sıcaklık	: Alçak frekansta yansıtıcı yüzeyler

Salon değerlendirmeleri, öznel olarak izelge 2.5'te verilen değerlendirme tablosuna dayanarak yapılır [4].

Çizelge 2.5 : Öznel değerlendirme izelgesi



Parametreler aynı faktörden etkilenmeleri halinde birbirleri ile ilişki halindedirler. Bu iliŐkiler bazen belli bir katsayı olarak de belirlenebilmektedir. Sayısal veriler elde edilen nesnel parametreler, öznel olarak da değerlendirilebilmektedir. Çizelge 2.6'da öznel parametreler, etkiledikleri diğer parametreler, formülasyon ve nesnel değerlendirmeler ilişkilendirilmiştir.

Çizelge 2.6 : Özel ve nesnel parametrelerin ilişki çizelgesi

Objektif Parametre	Etkilediği Diğer Parametreler	Formül	Sübjektif Değerlendirme
RT - çınlama süresi	C80, C50, D50, G, V, total yansımaya	$T=60dB \{ (t-x) / (t-5) \} / \{ (t-5) / (t-35dB) \}$	canlılık, netlik, belirgin, sarmalanma, parlaklık
EDT - erken düşme süresi	LF, ITDG, V, erken yansımaya	EDT= 6 (t_10)	samimiyet, mekansal algılama
ITDG - ilk gecikme süresi	EDI, V, ASW, erken yansımaya	ilk yansımaya noktası - direkt ses	samimiyet, yakınlık
G - ses yüksekliği	LEV, V, malzeme, total yansımaya	$G = \frac{\int_{-0.02}^{0.02} h^2(t) dt}{\int_{-0.02}^{0.02} h^2(t) dt}$	dinamik aralık
C - ses netliği	RT, Ts, müziğin hızı	$C = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_0^{80ms} h^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} h^2(t) dt} \right]$	belirgin, net, kaynak genişliği (ASW)
Ts - zamansal ağırlık merkezi	C80, RT, EDI	$SBT_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot \sin(\theta_{ij}/2)}$	netlik (müzik, konuşma)
D50	RT, C50	$D50 = \frac{\int_0^{0.05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$	belirgin (konuşma)
IACC	LF80, ASW	$IACC_{t_1, t_2} = \max \left \frac{\int_{t_1}^{t_2} h_L(t) h_R(t+\tau) dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} h_L^2(t) dt \int_{t_1}^{t_2} h_R^2(t) dt}} \right $	kaynak genişliği (ASW)
LF 80	IACC, ASW, malzeme, erken yansımaya	$LEF = \frac{\int_{0.0125}^{0.0375} h^2(t) dt}{\int_{0.0125}^{0.0375} h^2(t) dt}$	ASW, samimiyet, mekansal algılama, ses rengi, ses tınısı
LF 80	IACC, ASW, malzeme, erken yansımaya		LF 80 (125 - 250) sarmalanma, LF 80 (500 - 1000) kaynak genişlemesi, LF80 (2000 - 4000Hz) görüntü kayması
LG 80	LEV, G, malzeme, geç yansımaya	$LG = \frac{\int_{80ms}^{\infty} h^2(t) dt}{\int_{0.0125}^{\infty} h^2(t) dt}$	sarmalanma (LEV), mekansal algılama
FBR - ön - arka yansımaya oranı	LLF, LEV, yönlülük	FBR = 10 log(Ef/Eb) dB	sarmalanma (LEV)
BR - bas oranı	RT, malzeme, yüzey yansıtıcılığı	$BR = \frac{7125Hz + 7250Hz}{7500Hz + 71000Hz}$	ses rengi, sıcaklık
TR - tiz oranı	RT, malzeme, yüzey yansıtıcılığı	$TR = \frac{72000Hz + 74000Hz}{75000Hz + 71000Hz}$	ses rengi , parlaklık, kamaşma
ST erken	malzeme, EDT	$10 \log \frac{\int_{0.0125}^{0.0375} k1m^2(t) dt}{\int_{0.0125}^{0.0375} k1m^2(t) dt}$	orquestra içi uyum, denge
ST geç	malzeme, RT	$10 \log \frac{\int_{0.0125}^{0.0375} h1m^2(t) dt}{\int_{0.0125}^{0.0375} h1m^2(t) dt}$	orquestra içi uyum, denge, harmanlanma

2.3 Müzik Eylemi

Müzik ve konuşma eylemleri genel olarak birbirlerine frekans aralığı ve sinyal olarak benzerlik gösterse de hacim tepkisi olarak değer aralıkları farklıdır. Oditoryumlarda eylem olarak müziği oluşturulan öğeler, enstrümanlar ve insan sesi olarak sıralanabilir. Enstrümanlar tekil olarak ele alınsa da sahnede beraber oluşturdukları sinyal ve birbirleri arasındaki ilişkinin optimize edilmesi müzik eyleminin doğru yapılmasını sağlar [3].

Ritim (Rhythm) : Müzik akışının parçalara ayrılmasıdır. Zamanın devamlılığıdır.

Atım (pulse) : Kendini yineleyen çıkışlardır. Bu çıkışların bazılarının üstü kapalı ya da açık olabilir.

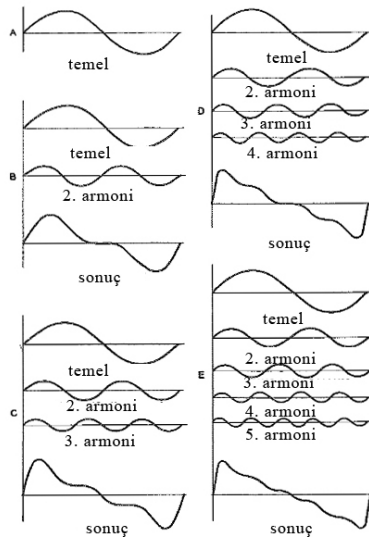
Ölçü (meter) : Atımın birimlere ayrılmasıdır. (4/4)

Tempo (tempo) : Atımın zaman ile ilişkilendirilmesidir.

Armoni (harmony) : İki veya daha çok sesin aynı anda kulağa hoş gelecek biçimde uyumu, harmoni

2.3.1 Müzik enstrümanlarının tınısı

Ses dalgası basınç ya da parçacık hızının zaman ile ilişkisi ile gösterilebilir. Karmaşık bir dalga yapısı, farklı yükseklik ve temel harmonilerden oluşur. Bu dalgaların toplanması Şekil 2.32'deki gibidir.



Şekil 2.32 : Bir melodinin temel frekans yapısı [3]

2.3.2 Müzik enstrümanlarının temel ve üst ton aralıkları

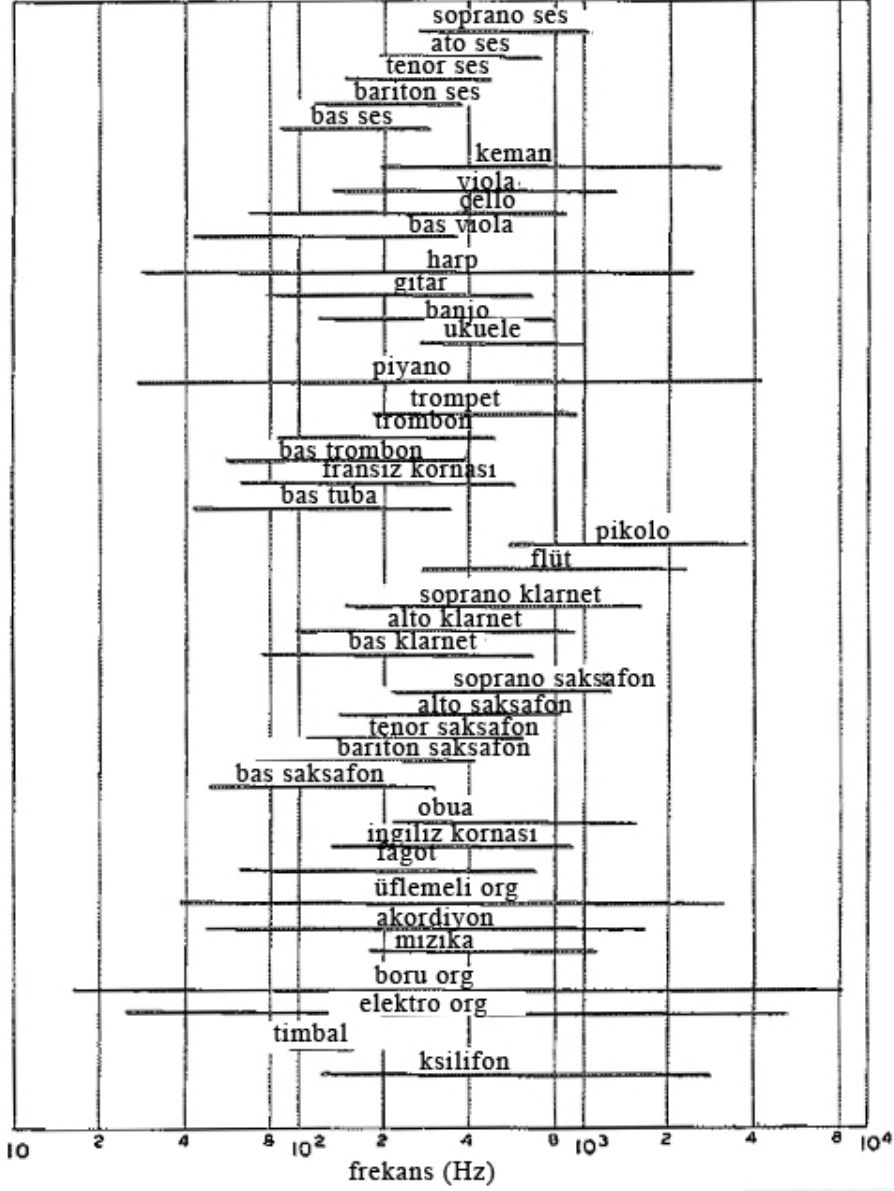
Müzik, ton ve dinamik olarak 2 parçaya ayrılır. Ton parametresi enstrümanın tını ve perde değerine bağlıdır. Ses tınısı enstrümanın akustik tınısına göre belirlenir. Dinamik belirginlik ise enstrümanın dinamik aralığına ve şiddet aralığına göre belirlenir. Müzik enstrümanları ve insan sesi belli frekanslar ve üst tonlar üretir. Üst tonlar (armonik yapısı) enstrümanları birbirinden ayıran özelliştir. Eğer üst tonlar olmasaydı her enstrüman belli frekans ve şiddette birbirleriyle aynı sesi çıkarabilirlerdi. Ek olarak her enstrüman veya insan sesi belli frekanslarda armoniler ve üst tonlar üretirler.

Müziğin dinamik görünüşü şiddetine bağlıdır. Müziğin şiddet aralığı en yüksek ve en alçak noktası arasındaki bölgeyi kapsar.

Sesin tınısı ve dinamiği aynı zamanda yönelim özelliği ile de ilgilidir.

Sesin yükselmesi, düşmesi ve kararlı hal durumları enstrümanın tını ve dinamik özelliklerini etkiler [3].

Şekil 2.33'de enstrümanların frekans aralıkları verilmiştir. İnsan sesi bas, bariton, tenor, alto, soprano şeklinde sırasıyla alçak frekanslardan yüksek frekansa doğru gitmektedir. Bu aralık 80 Hz ile 1000 Hz arasında değişmektedir. Org ve piyano en geniş frekans aralıklarına sahip enstrümanlardır. 20 Hz ile 8000 Hz arası değişebilmektedir. Trompet, trombon, korna genel olarak orta frekansta etkilidirler. Tuba, fagot, bas saksafon, timbal, bas klarnet, bas trombon alçak frekanslarda etkilidirler. Soprano saksafon, pikolo, keman, ksilifon yüksek ve orta frekanslarda etkili enstrümanlardır[3].



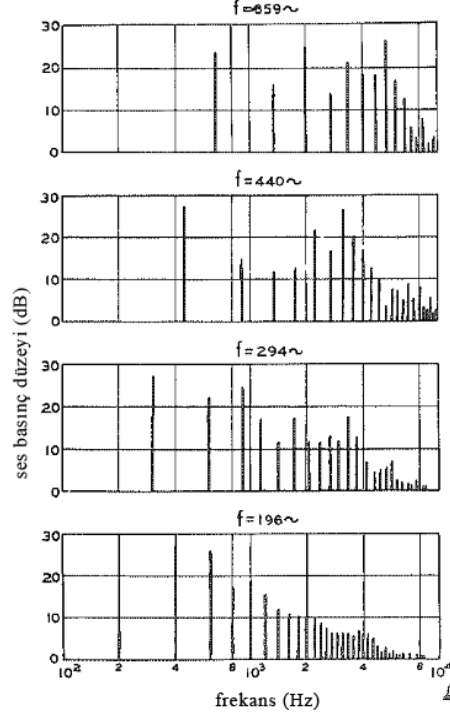
Şekil 2.33 : Enstrümanların genel frekans spektrumları verilmiştir. [3]

2.3.3 Müzik enstrümanlarının akustik frekans spektrumları

2.3.3.1 Telli enstrümanlar

Keman (violin):

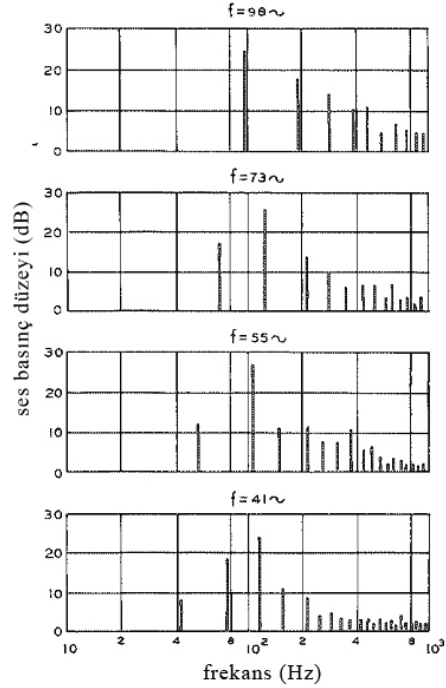
En üst tel ile en alttaki tel arasındaki fark çok bellidir. Alttaki tel çok daha armoniktir. Bütün telli enstrümanların içinde bulunan armoniler kemanda yer almaktadır. Bu kemanın sesini güzel yapan faktörlerdendir [3]. Şekil 2.34'te keman enstrümanı ve kemanın temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.34 : Keman ve temel frekans grafiği [3]

Kontrbas (double bass) :

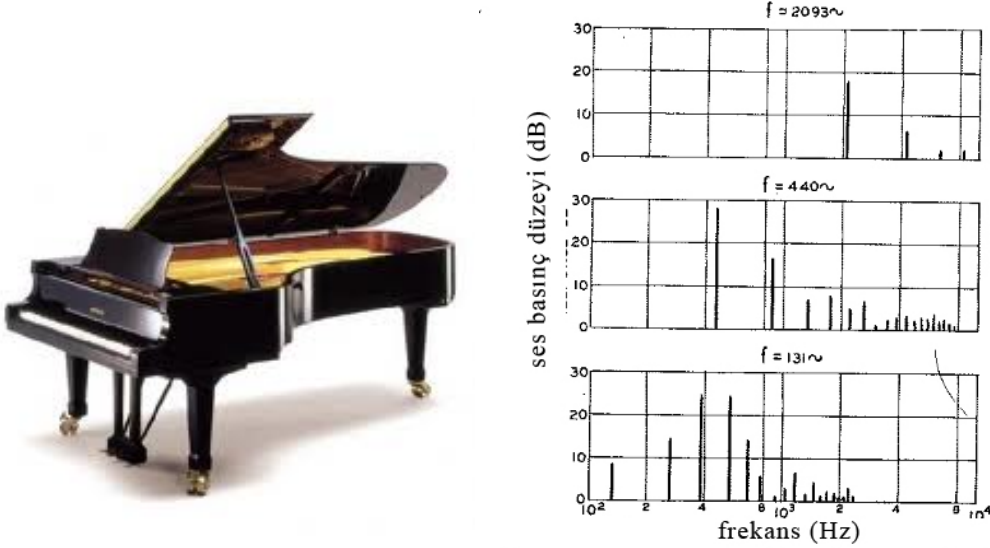
Kemana yakın bir spektrumu vardır. 100 periyodunun altındaki değerlerde temel tonlar zayıftır. Tek başına zayıf olsa da orkestrada bas sesleri güçlendirmede kullanılır [3]. Şekil 2.35'te kontrbas ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.35 : Kontrbas ve temel frekans grafiği [3]

Piyano (piano) :

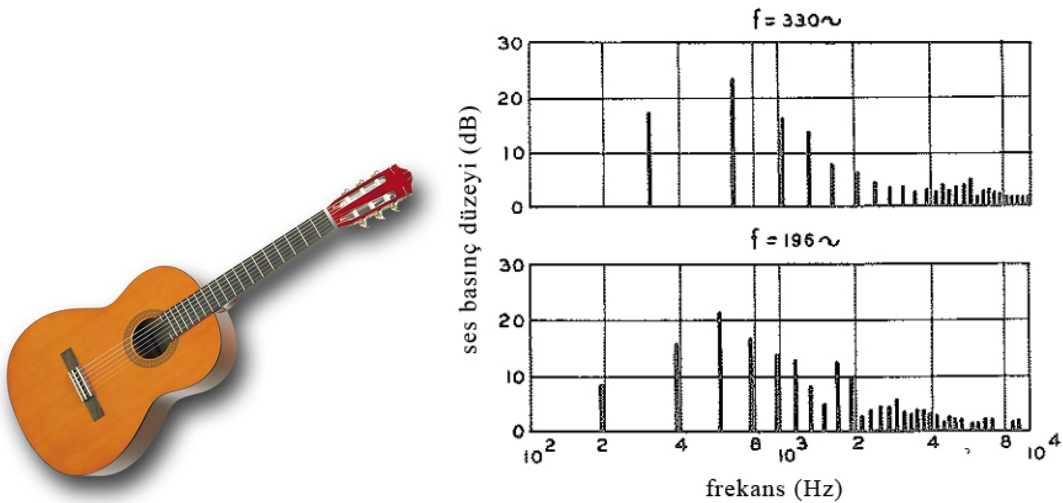
Keman gibi piyanoda da her armoni bulunmaktadır. Üst ton yapısı tuşlara basış hızıyla da alakalıdır. Şiddete bağlı olarak piyanist farklı ton kalitelerinde ses üretebilir. Üst frekanslarda frekansa basınç azalımılar daha fazladır. Alçak frekanslara armoniler açısından daha zengindirler[3]. Şekil 2.36'da piyano ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.36 : Piyano ve temel frekans grafiği [3]

Gitar (guitar):

Çekmeli telli enstrümanlardır. 2 telin akustik spektrumu şekilde verilmiştir. Piyanodaki gibi telin şiddetine göre üst ton değerleri değişmektedir. Şekil 2.37'de gitar ve temel frekans grafiği verilmiştir.

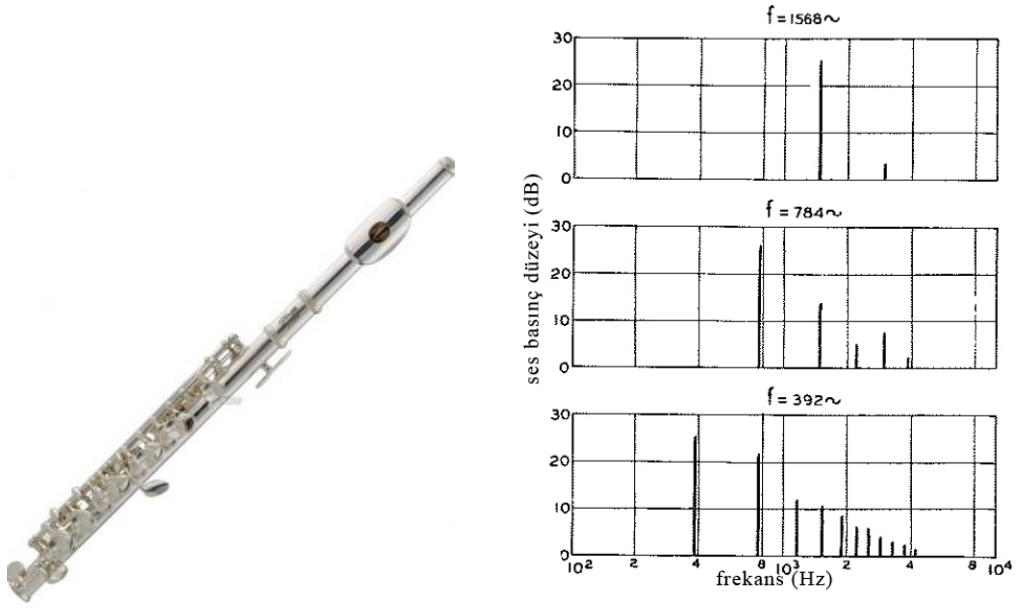


Şekil 2.37 : Gitar ve temel frekans grafiği [3]

2.3.3.2 Üflemeli enstrümanlar

Flüt (Flute):

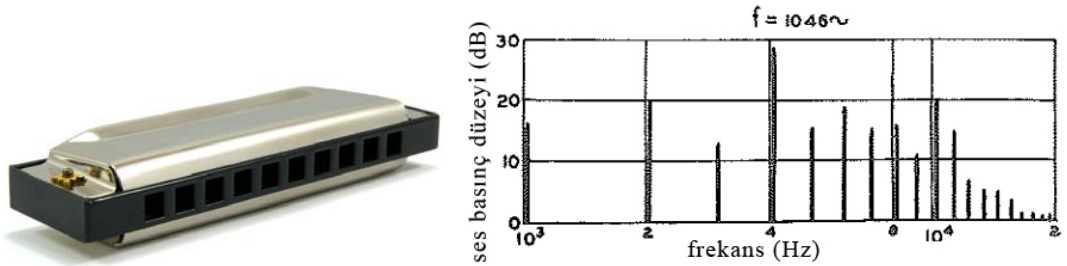
Üflemeli çalgılardan olan flüt baskın bir akustik enerjiye sahiptir. 3 notanın akustik spektrumu verilmiştir. Alt frekanslar armoni açısından zengindir. En yüksek tonunda pratik olarak üst tonlar bulunmamaktadır. Ses gücünün büyük bir kısmı as sayıda üst tona dağılmıştır. Bu da flütü en saf ve ince enstrüman yapmaktadır. Şekil 2.38’de flüt ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.38 : Flüt ve temel frekans grafiği [3]

Mızıka (Harmonica):

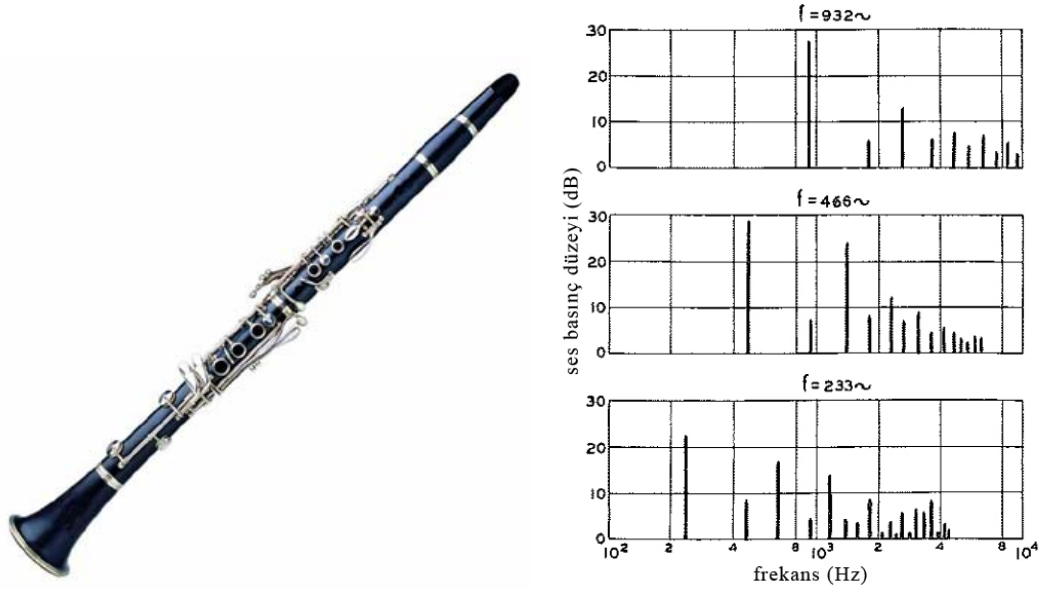
Direkt hava ile temas eden çalgıda yüksek genlikle üst ton açısından zengindir. Ayrıca akustik spektrumunda temel ve tek – çift armonileri bulundurmaktadır. Şekil 2.39’da mızıka ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.39 : Mızıka ve temel frekans grafiği [3]

Klarnet (clarinet):

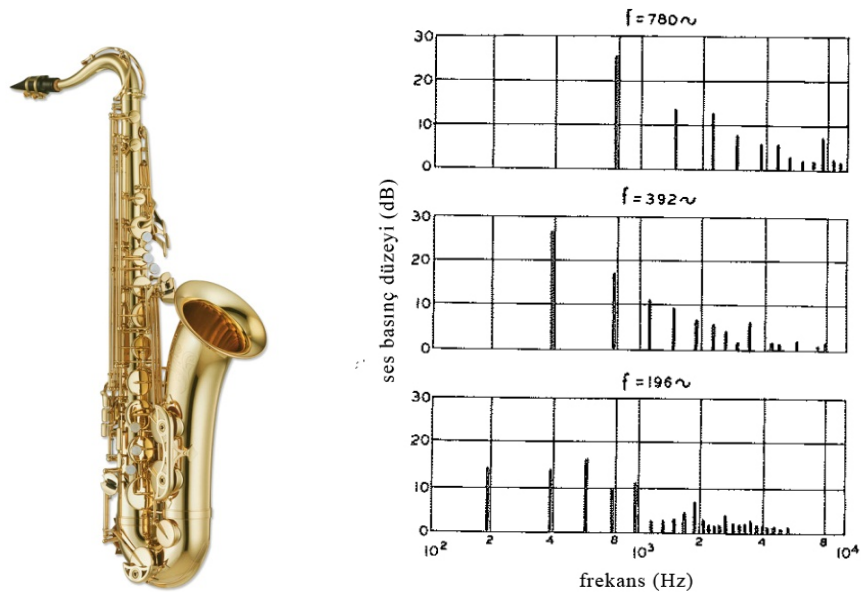
Tek kamışlı enstrümanlara örnektir. Akustik spektrumunda temel ve tek – çift armonileri bulundurmaktadır. Ses en çok temel frekanslarda yükselmektedir. Bu da sesi daha temiz ve parlaktır. Enstrümanın tınısı acı, keskin ve matemli olarak değerlendirilir [3]. Şekil 2.40’da klarnet ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.40 : Klarnet ve temel frekans grafiği verilmiştir[3].

Saksafon (Saxophone):

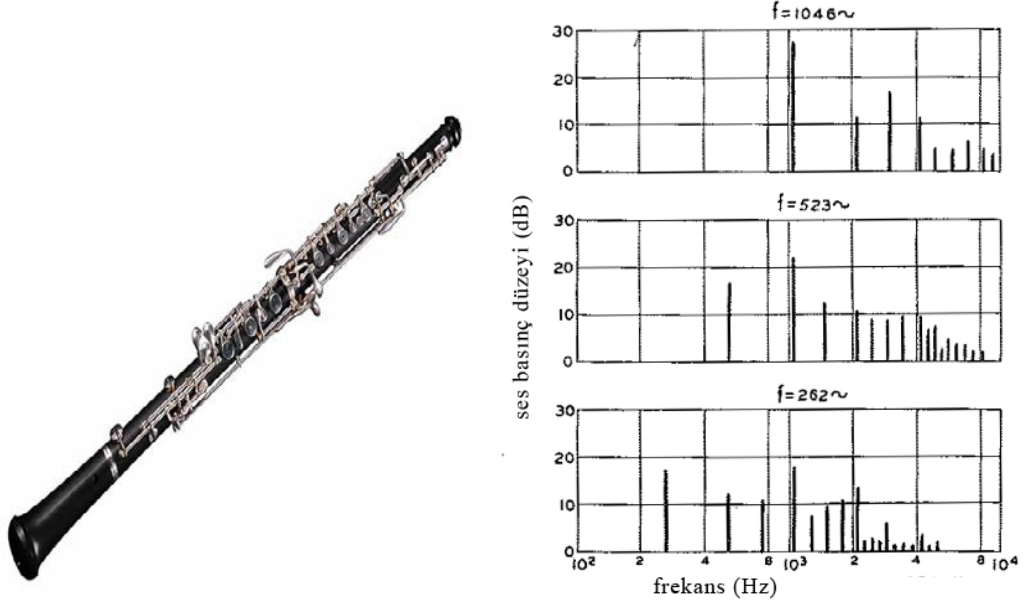
Tek kamışlı enstrümanlara örnektir. Üst tonlar enerji açısından kuvvetlidir. Tonu zengindir [3]. Şekil 2.41’de saksafon ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.41 : Saksafon ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3]

Obua (oboe):

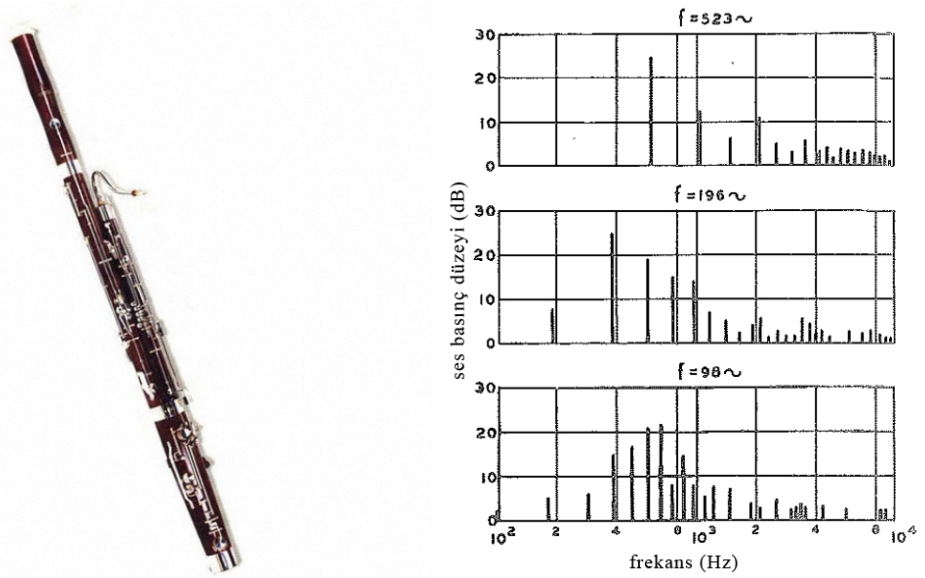
Çift kamışlı enstrümanlara örnektir. Enerji en çok 500 – 1500 Hz frekans aralığında toplanmıştır. Obuanın tonu parlak ve nettir. Alt tonları armoni açısından zengindir. Şekil 2.42’de obua ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.42 : Obua ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3]

Fagot (Basson):

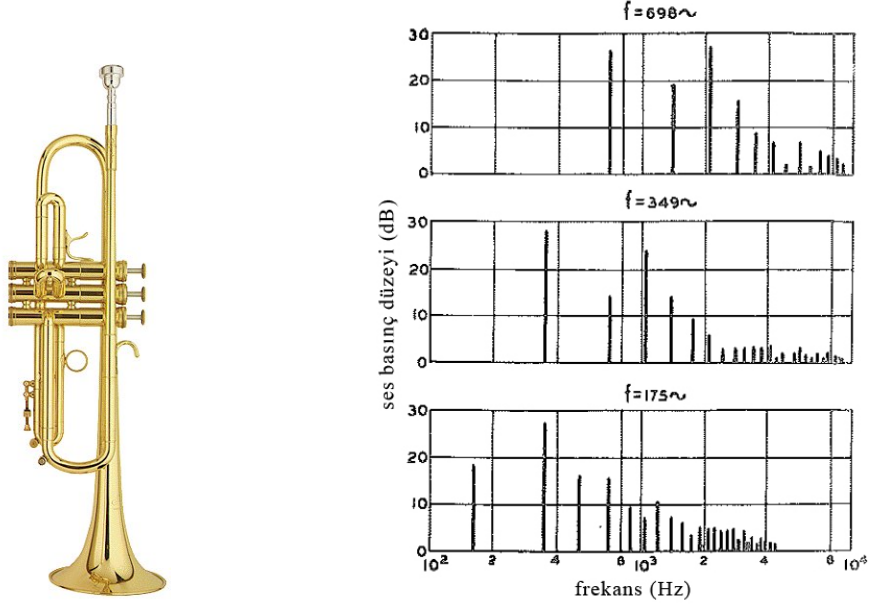
Çift kamışlı enstrümana örnektir. 500 Hz civarı en baskın karakterli aralıktır. Sesi öznel olarak garip değerlendirilir[3]. Şekil 2.43’defagot ve temel frekans aralığı verilmiştir.



Şekil 2.43 : Fagot ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3]

Trompet (Trumpet):

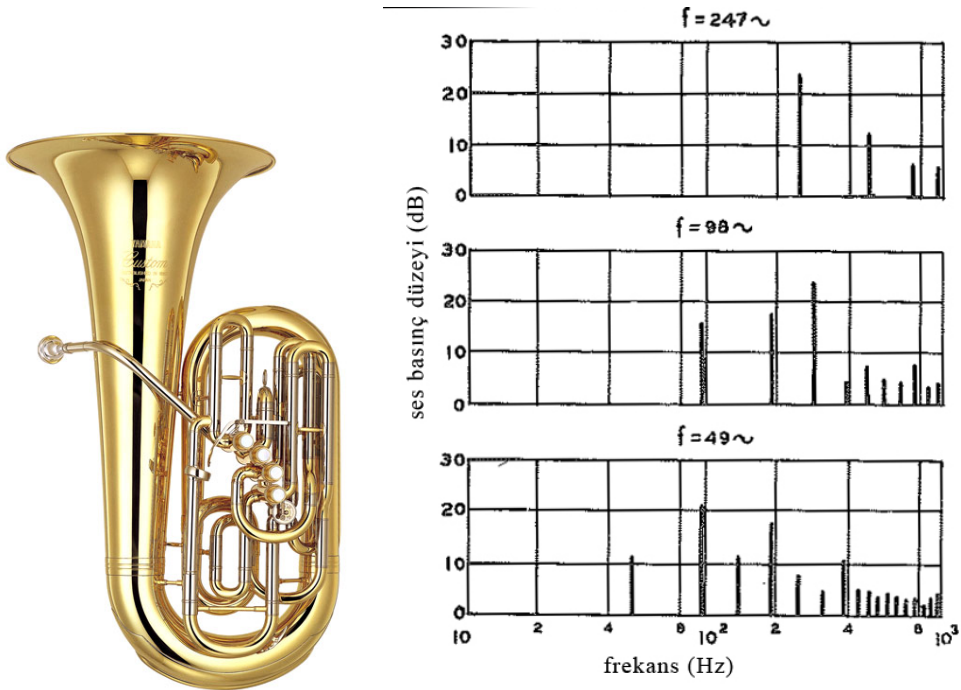
Armoniler açısından zengindir. Tonu çok net ve parlak olarak değerlendirilir. Aynı zamanda yumuşak ve zengin olabilir. [3] Şekil 2.44'te trompet ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.44 : Trompet ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3]

Tuba (Tuba):

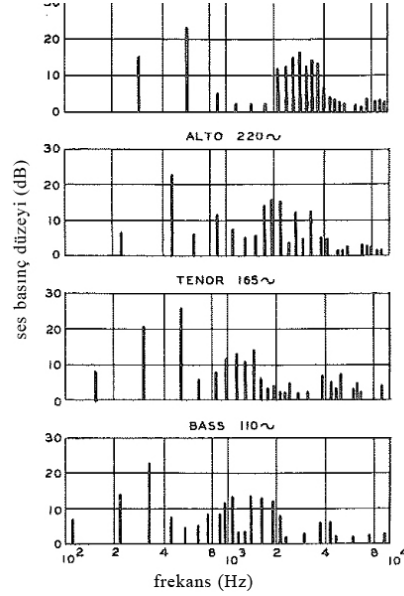
En büyük ağızlıklı enstrümandır. 100 ve 300 Hz arası baskındır. Büyük oranda alçak frekansta ses üretir [3]. Şekil 2.45'te tuba ve temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.45 : Tuba ve temel frekans grafiği verilmiştir. [3]

2.3.3.3 İnsan sesi

En esnek frekans aralığına sahip sestir. Temel ve tek çift armonilerine sahiptir. Şekil 2.46'da insan sesinin temel frekans grafiği verilmiştir. Bas tenor, alto ve soprano ses karakterlerinin akustik spektrumu verilmiştir. Akustik (armonik) karakterleri ayırdır. Fakat frekansları farklıdır. Yükselme - durgun hal – alçalma. Bütün sesli harfler için geçerli bir durumdur.

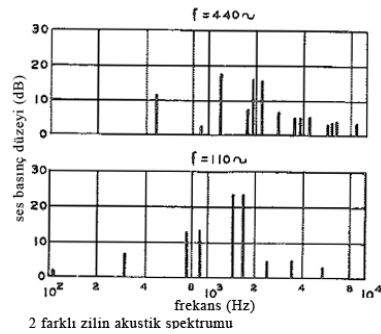


Şekil 2.46 : “Ah” sesinin akustik spektrumu verilmiştir [3].

2.3.3.4 Perküsyon enstrümanları

Zil (Cymbal) :

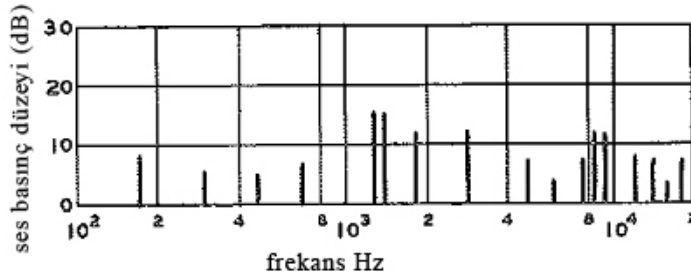
Zilin akustik spektrumu verilmiştir. Armoniler temel frekanslarda bulunmamaktadır. Birden fazla zil aynı anda çalındığında akortsuz gibi duyulacaktır [3]. Şekil 2.47'de zilin temel frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 2.47 : Zil enstrümanının temel frekans spektrumu [3]

Simbal:

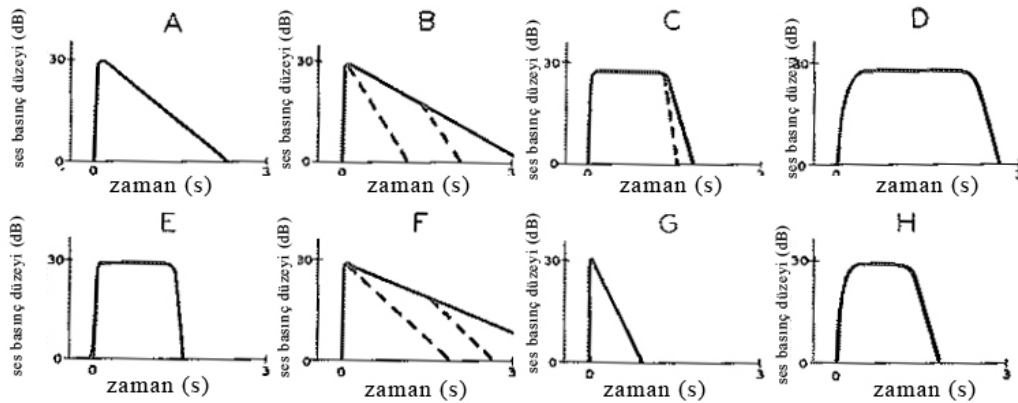
Şekil 2.48’de akustik spektrumu verilmiştir. Üst tonları armonik değildir. Bu yüzden tanımsız yükselme yapar. Fakat perküsyonda parlaklık ve güçlendirme katma açısından önemlidir. Yüksek frekanslarda baskı bir enstrümandır [3].



Şekil 2.48 : Zil enstrümanının temel frekans spektrumu [3]

2.3.4 Enstrümanların yükselme ve alçalma karakterleri

Sesin yükselme ve alçalma karakteri, ses tonunun tınısını ve yüksekliğini belirlemektedir. Şekil 2.49’da Farklı enstrümanların yükselme ve alçalma karakterleri verilmiştir. Karakterleri aynı zamanda frekansa bağlı olarak da değişmektedir.



Şekil 2.49 : Enstrümanların yükselme – durgun hal – alçalma karakterleri verilmiştir. A: tezeneli (çekmeli) çalgılar, B: vurmali telli çalgılar, C: yaylı telli çalgılar, D: org, E: üfleli çalgılar, F: perküsyon çalgıları, G: davul, H: insan sesi (sesli harf) [3]

A’ da verilen çekmeli yaylı çalgıların yükselme süreleri kısadır ve hemen alçalmaya başlarlar. B’ de verilen piyano gibi vurmali telli enstrümanların yükselme süreleri kısadır. Durgun hal süreleri yoktur ve hemen alçalma eğilimine geçerler. Alçalma

süreleri diğer enstrümanlara göre daha uzundur. C' de verilen keman gibi yaylı telli çalgıların yatın tekrar vurmasına kadar geçen süre uzundur. Durgun hal süreleri uzun olsa da çabuk sönümlenirler. D ile gösterilen grafikte orgun yükselme süresi durgun hal süresi uzundur, fakat çabuk sönümlenirler. E' de gösterilen üflemeli enstrümanlarda ses çabuk oluşur ve yükselir ve durgun hal süresi fazladır. Bununla birlikte çabuk sönümlenirler. F' de verilen zil gibi perküsyon elemanları çabuk oluşurlar, hemen alçalma eğilimine geçerler ve sönümlenme süreleri en uzun enstrüman grubudur. G' de verilen davul grubu çabuk yükselip çabuk alçalırlar. İnsan sesi yavaş yükselir, durgun hal süreleri uzundur. Fakat çabuk sönümlenirler. En uzun durgun halde kalan enstrüman orgdur. Bunun yanı sıra en kısa sürede oluşup sönümlenen enstrüman davuldur [3].

Çekmeli çalgılar: Tel çekilip bırakılarak çalınır. Çekildiği zaman potansiyel enerji yüklenir ve tel bırakılır. Yükselme zamanı çok kısa olmasına rağmen titreşimi fazla olduğu için alçalma süresi fazladır. Gitar, harp gibi enstrümanlar bu tipe örnektir.

Vurmali telli çalgılar: Çekiç darbesi ile teli titreştiren çalgılardır. Piyano bu tip çalgıya bir örnektir. Çekiçteki kinetik enerjinin tele geçmesi ile ses enerjisi ortaya çıkar. Dolayısıyla sesin yükselmesi kısa sürede olur. Pedal ile alçalma süresi ayarlanabilir [3].

Yaylı telli çalgılar: Çalgının telleri ile onu çalmakta kullanılan yayın kıllarının birbirine sürtülerek çekilmesi sonucu ses üretilir. Kısa sürede ses yükselir. Tel serbest bırakılırsa alçalma süresi uzundur. Fakat tele tekrar yay değerse süre kısaltılır. Kısalma süresi nokta olarak gösterilmiştir [3].

Büyük borulu orglarda yükselme süresi diğerlerine göre daha uzundur. Alçak frekanslı türlerinde yükselme süresi artar.

Üflemeli aletler: Çoğunlukla orta frekanslarda işlev görürler. Ses titreşimi konik silindirik ya da kıvrık boru içinden geçtiği için yükselme süresi alçalma süresinden çok daha kısadır.

Perküsyon enstrümanları: Ses, darbe ile çıkar, dolayısıyla bu durumda yükselme süresi çok kısadır. Titreşim çok fazla olduğundan alçalma süresi çok fazladır.

Davullarda titreşimi sağlayan darbe olduğundan yükselme süresi kısadır. Titreşme engellemesi fazla olduğundan alçalma süresi kısadır.

Sesli harflerin yükselme süreleri fazladır. Sesli harf 0,2 den 1s' ye kadar durgunluk süresine sahiptir [3].

2.3.5 Kaynak tipinin akustik konfora etkisi

Müzik tiplerinin ayırımında kullanılabilecek pek çok müzikal karakteristik özellikler vardır. Bunlar tempo, melodi, müzik strüktürüdür. Genel olarak rock müzik (popüler) ve klasik müzik ayrımı davul ve vurmali çalgı elemanlarıyla yapılır. Davul ve perküsyondaki alçak frekanslı enstrümanlar çeşitlenmede kolay algılanabilir ve müzik yapısını değiştiren elemanlardır. Diğer ayırıcı unsur ise tempodur. Popüler müzikte özellikle davul baskınken klasik müzikte piyano ve keman baskındır. Caz müzik ve klasik müzik piyano ve bakır üflemeli grubu açısından benzerlik gösterse de tempo ve melodi açısından farklılık gösterirler. Müzik tipleri oktav bazda ayrıldıklarında barok, romantik, pop, caz, ve rock olarak sınıflandırılırlar. Fakat enstrüman, tempo ve melodi baz alındığında pop(rock), caz, klasik olarak ayrılırlar [28].

2.3.5.1 Klasik müziğin akustik açıdan değerlendirilmesi

Klasik müzik enstrümanları ve frekans özellikleri madde 2.3.4 te verildiği gibidir. Bütün frekans spektrumlarında etkindir. Solo pasajların da kullanıldığı senfoni müziğin özellikle ritim kısmını timpani, zil gibi enstrümanlar oluşturur.

2.3.5.2 Popüler müziğin akustik açıdan değerlendirilmesi

Müzik sınıflandırması klasik ve popüler müzik gibi sınıflara ayrılırken bir alt başlıkta ise rock, caz, country, punk gibi sınıflara ayrılır. Bu sınıflandırma farklı müzik enstrümanlarına, frekans spektrumlarına ve tipik ses düzeyine göre yapılmıştır. Popüler müzik elemanları genel olarak ses güçlendirmesi ile kullanılır. Bas ve akustik gitar, klavye, ve davul genel enstrümanlarıdır [25].

Popüler müzik seyircisi genelde performansları ayakta izlediği için oturma bölümlerinin yutuculuk katsayısı 5 katına çıkmaktadır. Klasik müzik seyirci düzeninde 2 kişi/m² yerleşirken, ayakta izlenen bir performansta bu değer 2,7 kişi/m² olarak değişmektedir. SPL değeri normal bir klasik müzik performansına göre 20 – 30dB daha yüksektir. Eğer bir salonda popüler müzik performansı düşünülüyorsa özellikle rock müzik için, hacmin bas yutuculuğu fazla olmalıdır. Alçak frekansların yüksek olduğu bir ortamda izleyicilerin de yüksek frekansların yutuculuğunu artırdığı düşünülürse, denge daha da bozulacaktır. Rock müzik performanslarında 63Hz'nin altındaki frekanslar da hesaplanmalıdır. En iyi puan alan rock müzik

performans salonlarında, salonların her frekans değerinde eşit bir çınlama değeri verdiği görülmektedir. En kötü salonlarda ise, salonların alçak frekanslardaki çınlama değeri daha yüksek çıkmaktadır.

Çınlama süresi PA, ses güçlendirme sistemlerinin kullanılacağı akustik ortamlarda 1000 m³ için 0,6s, 7000 m³ için 1,2 s aralığında olmalıdır [25].

2.3.5.3 Caz müziğin akustik açıdan değerlendirilmesi

Caz müzik türü ve klasik müzik orkestrası enstrüman olarak birbirlerine benzerlik gösterse de melodi, ritim ve müzik strüktürü açısından ayrılık gösterir. Daha çok yüksek frekanslarda etkin bir müzik türüdür. Telli enstrümanlar ve bakır üflemeli grubu ağırlıktadır. Telli enstrümanların orkestradaki avantajları diğer üflemeli, bakır üflemeli ve perküsyon grubuyla uyumlu olmalıdır. Yüksek frekanslarda etkin yapıya kontrast katmak amaçlı kontrbas ya da ello grubu kullanılır. Vokal grubu caz orkestrasının klasik müzikten farklı bir grubudur. Perküsyon kısmı orkestranın ritim grubudur. Orkestra 5 gruba ayrılır [29].

Grup1: Trompet

Grup 2: trompet, alto saksafon

Grup 3: Trombon, alto saksafon, gitar

Grup 4: Trombon, tenor saksafon

Grup 5: Bas trombon, bariton, saksafon, ello, kontrbas, piyano

Bazı orkestralarda ritmi kuvvetlendirmek amaçlı perküsyon bulunabilir [29].

3. TASARLANAN SALONUN DEĞİŞEN MİMARİ TASARIM ELEMENLARININ AKUSTİK KOŞULLARA ETKİSİNİN SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE İRDELENMESİ

3.1 Simülasyon Yönteminin Açıklanması

Bu çalışmada, Danimarka Teknik Üniversitesi Akustik Bölümü uzmanları tarafından hazırlanan ve bileşik hesap yöntemine dayalı çalışan, bilimsel olarak doğruluğu ve hassasiyeti kanıtlanmış ODEON Ver. 10.0 Hacim Akustiği Programı kullanıldı. Çalışma için öncelikle salon sketch-up programında geometrik tasarım parametrelerine göre tasarlandı. Modelin ODEON programına yüklenmesinden sonra üç boyutlu geometride yanlışlıkların taranması (3D Geometry Debugger) komutuyla modelin doğruluğu tetkik edildi. ODEON ile güvenilir sonuçlar elde etmek için modelde üst üste gelen, tekrarlanan ya da birleşmeyen yüzeyler bulunmamalıdır. Daha sonra modelin ışın sızdırmazlık testi ve oda ayarları (room set up) yapılmıştır. Bunun için programda tanımlanmış olan yüzeylere %20 emicilik verilip, mekanın herhangi bir yerine de bir noktasal kaynak atanarak üç boyutlu ışın taraması (3D Investigating Ray-tracing) komutuyla modelin ışın sızdırmazlık doğrulaması yapılmıştır. ODEON programı gibi bileşik hesap yöntemlerini kullanarak hesap yapan simülasyon çalışmalarında karar verilmesi gereken en önemli parametreler; ilk yansılardan gecikmiş yansımalara geçiş için gereken sanal kaynakların yansıma derecesi ile ışınla tarama sırasında tarama yapacak ışın sayısı ve her bir ışının kaç kere yansıtılacağına doğru seçilmesidir. Doğru alınması gereken diğer önemli bir karar da gecikmiş yansımaların hesaplanmasında kullanılacak yüzey saçıcılık ve yutuculuk katsayılarıdır [8].

3.2 Simülasyonda Kullanılan Salon Kabulleri

Arena tip salonların değerlendirildiği projede kullanılmak üzere tasarlanan salonda sahne ortada konumlandırılmıştır. Genel oturma bölümleri sahnenin ön kısmında ve bir kısım seyirci bölümü de sahnenin arka kısmında bulunmaktadır. Bu tip salonlarda sahnenin yeterli yansıma alamaması ve sahneden seyirci bölümlerine aktarılan

enerjinin az olması nedeniyle oturma bölümleri belirli platformlar üzerine konumlandırılmıştır. Bu platformların oluşturduğu yüzeylerden yararlı yansımalar alınması amaçlanmaktadır. Kullanılan platformlarda bulunan seyirci alanları şaşırtılarak sesin arka kısımlara iletilirken yutulması engellenebilmektedir. Bu tip salon tasarımlarına literatürde teraslı tip (terraced halls) ya da üzüm bağı (vineyard) tip denebilmektedir. Aynı zamanda yapılan yansıtıcı panel denemeleriyle sahnedeki yansıma düzeyi artırılabilir. Salon değerlendirme aşamasında karşılaştırma yapmak üzere ana salon üzerinde varyasyonlar geliştirilmiştir. Bu varyasyonlarda bazı tasarım özellikleri sabit tutulmuş, etkisi değerlendirilecek olan tasarım özellikleri ise değiştirmiştir.

Akustik açıdan karşılaştırılan salonlarda kullanılan sabit faktörler aşağıdaki gibidir.

- Salonların plan şemaları
- Bütün mimari elemanların yüzey malzemeleri
- Ölçümlerde kullanılan alıcıların konumları ve özellikleri
- Sahnede bulunan kaynağın konumu ve özellikleri
- Sahnenin plandaki konumu ve ölçüleri
- Simülasyonda kullanılan kişi sayısı
- Salonun hacmi
- Kişi başı hacim

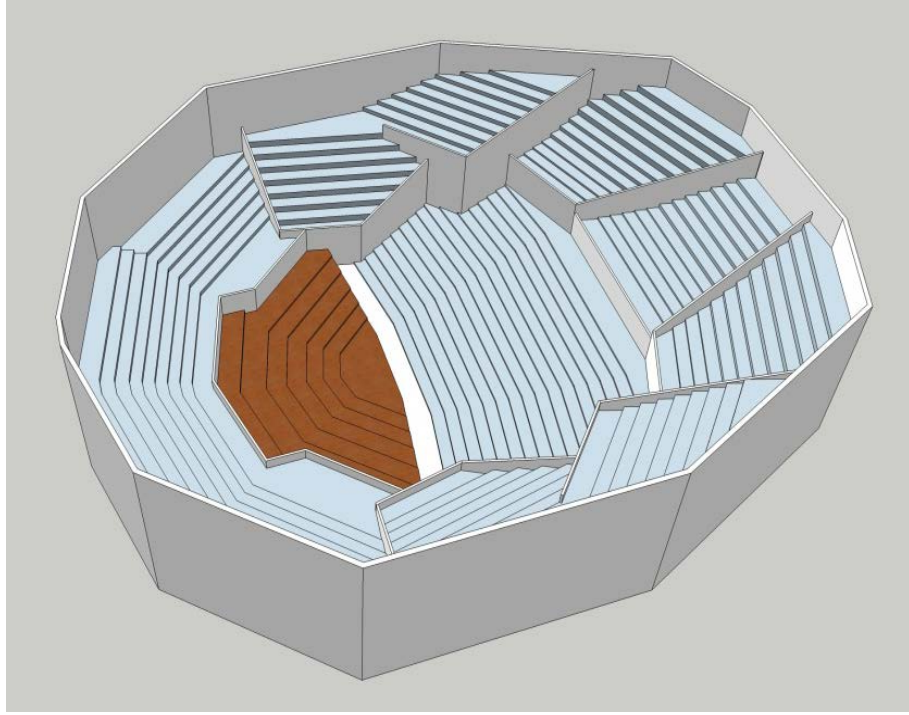
Akustik açıdan karşılaştırılan salonlarda kullanılan sabit faktörler aşağıdaki gibidir.

- Çınlama süresi (Mimari öğelerin tasarımına bağlı olarak değişmektedir.)
- Tavan formu ve yüksekliği
- Yansıtıcı panellerin tasarımı
- Yan duvarların ve arka duvarların formu
- Yan duvarların yüksekleri

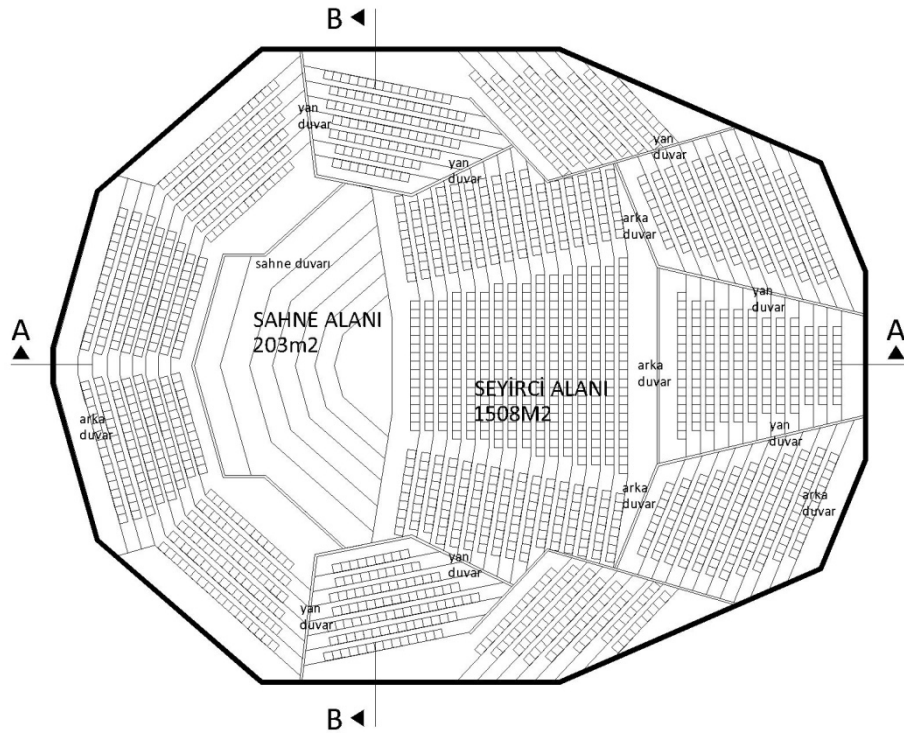
3.2.1 Geometrik tasarım kabulleri

Simülasyon programında kullanılmak üzere tasarlanan arena tip salon 1871 kişi kapasitesine sahiptir. Karşılaştırması yapılan projelerde genel olarak hacim, kişi sayısı, kişi başı m³ sabit tutulmaya çalışılmıştır. Sahne ve salon ölçüleri tezin 2.1.' nci maddesinde belirtilen tasarım kriterlerine uygun olarak belirlenmiştir. Platform yükseklikleri görüş çizgisinin kesintisizliğini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır.

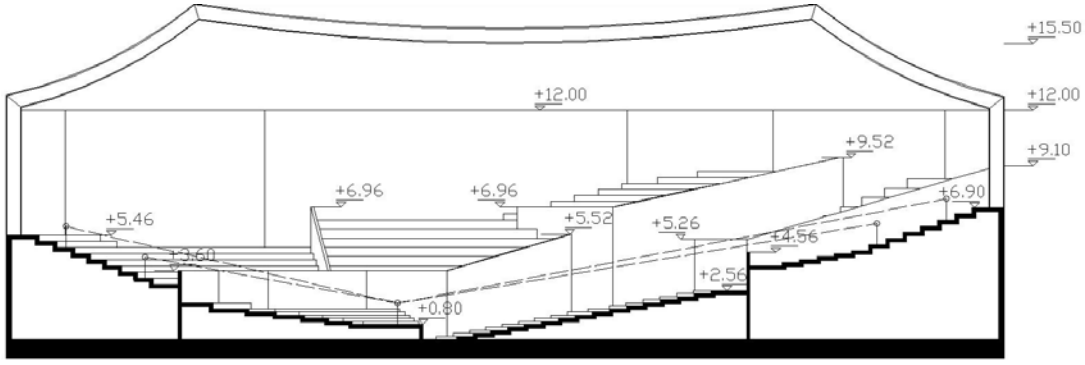
Tasarlanan ana salonun 3D görünüşü, plan, kesit şeması sırasıyla Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.42 'de verildiği gibidir. Tasarım olarak sahnenin alabildiği yansımayı artırmak amaçlı platformlar basamak şeklinde yükselmektedir.



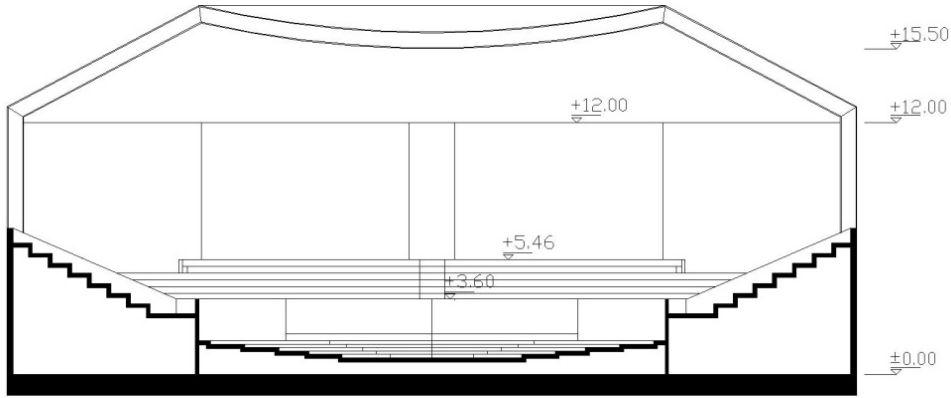
Şekil 3.1 : Tasarlanan ana salonun 3D görsel çalışması



Şekil 3.2 : Arena tip salonun plan şeması



Şekil 3.3 : Salonun A - A kesit şeması



Şekil 3.4 : Salonun B - B kesit şeması

Salonda platform yükseklikleri farklı kotlarda çözülmüştür. Her alıcının sahneyi rahat görmesi üzerine platform yön ve açıları çözülmüştür. Varyasyonları yapılan ana salonun teknik verileri aşağıdaki gibidir.

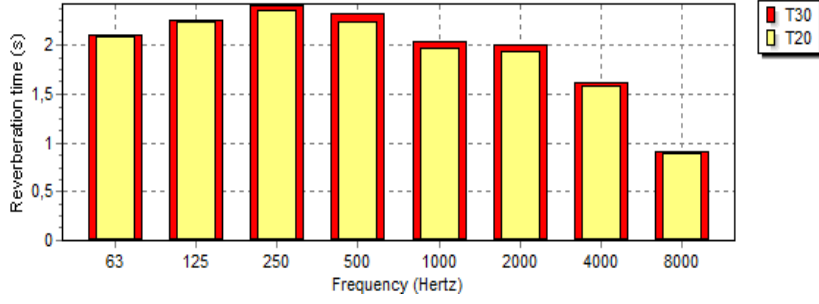
Kişi sayısı	: 1871 kişi
Hacim	: 18741 m ³
Toplam uzunluk	: 51,49 m
Toplam en	: 40,03 m
Salonun toplam alanı	: 1711m ²
Sahne alanı	: 203 m ²
Platform alanı	: 1508 m ²
Oturum alanı	: 906 m ²
Toplam yüzey alanı	: 6818m ²
İzleyici başına düşen m ³	: 10,01 m ³
İzleyici başına düşen m ²	: 0,8 m ²

Kullanım amaçları : klasik müzik türleri

3.2.2 Malzeme kabulleri

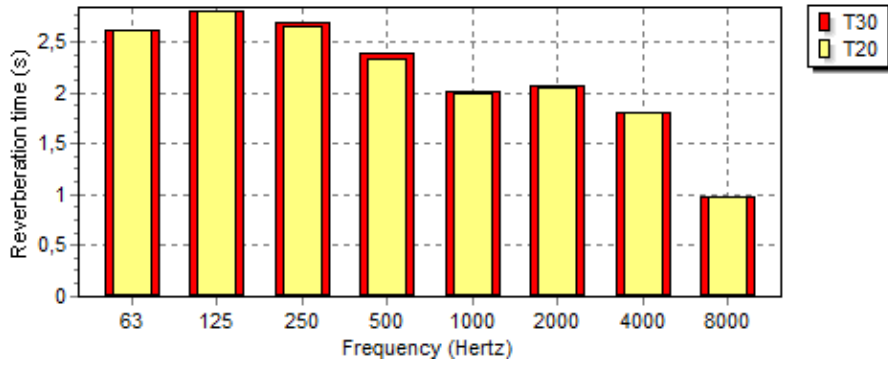
Malzeme seçiminde çınlama değerinin müzik tipine ya da performansa bağlı olarak optimum değerde olması gerekir. Çınlama süresinin oluşturulmasında hacim ve diğer geometrik özellikler sabitlendikten sonra malzeme seçimleri etkilidir. Klasik müzik performansına uygun bir salonda yüzey malzemeleri yansıtıcı tasarlanarak çınlama süresi uzatılır. Popüler müzik performansı içinse yüzey özelliklerinin daha az yansıtıcı tasarlanması gerekir. Müzik performansının geçtiği bir salonda, alçak frekanslı enstrümanların ağırlıkta olması ve ses güçlerinin fazla olması nedeniyle mekanın özellikle alçak frekanslarda yutucu olması gerekmektedir. Hacim olarak 15000 ve 23000 m³ arası değişen salonlarda çınlama süresi 1,8s ve 2.5s arasındadır. Arena tip salonlarda sahne konumu ortada olduğu için yararlı yansımaların alınması açısından erken yansımaların değerini artırmak ve seyircilere iletilen ses enerjisini artırmak için sahne duvarının ve zemininin yansıtıcı olması gerekmektedir. Seyirci bölümü için oluşturulan terasların tasarımında bütün teras yanal yüzeyleri, seyircilerin aldığı yararlı yanal yansımaları artırarak, LF80 ve LEV değerlerini yükseltmek amaçlı yansıtıcı tasarlanmalıdır. Arka duvar yüzeyleri ise ses yansımalarının kontrolü açısından diğer yüzeylere göre daha yutucu tasarlanır. Genel olarak salonda tavan ya da arka yüzeylerin yutuculuğunun artırılması T30 ve G değerlerini optimum değerlerin altına düşürmektedir. Salonda olumlu yansımalar özellikle yan duvarlardan alındığı için yan duvarların ve sahne duvarların yansıtıcı özelliği önemlidir. Yan duvarların yansıtıcılığı ile EDT, C80 değerleri yükseltilmelidir. T30 değerindeki aşırı yükselme ve EDT den yüksek çıkması erken yansımaların yetersizliğini göstermektedir.

Analiz için mimari ve akustik açıdan tasarlanan ana salonda, salon dolu ve boş iken çınlama süresi sırasıyla şekil 3.5'te ve 3.6'da verildiği gibidir. Orta frekansta dolu salonun çınlama süresi 2,17s olarak verilmiştir. Yutuculuk artışı özellikler alçak ve yüksek frekanslarda kendisini gösterir. Fakat salonun çınlama süresi değerinin çok değişmemesi açısından salonun dolu ve boş olma halinde benzer yutuculuk değerleri sağlanmalıdır. Koltuk için seçilen malzemenin bu kritere uygun olması gerekmektedir. Aksi halde salonun boş olması durumunda çınlama süresi değişim gösterir.



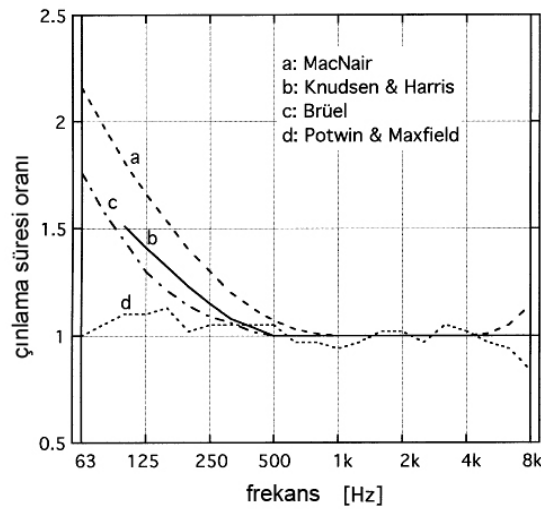
Şekil 3.5 : Salonun dolu iken frekansa bağlı T30 ve T20 grafikleri verilmiştir.

Salonun boş iken çınlama süresi aşağıdaki gibidir. Orta frekansta 2,2s olarak verilmiştir.



Şekil 3.6 : Salonun boş iken frekansa bağlı T30 ve T20 grafikleri verilmiştir.

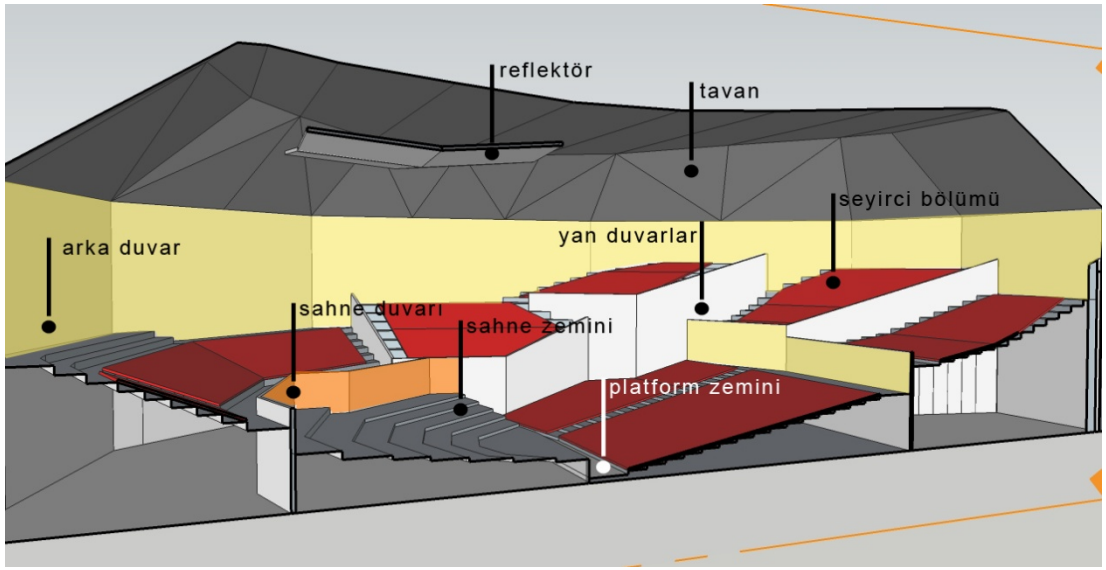
Çınlama özelliği olarak akustikçilerin farklı tercihleri vardır. Şekil 3,7'deki grafiğe göre McNair'e göre alçak frekansların yansıtılması daha fazla olmalıdır. Knüdsen & Harris ve Brüel'e göre alçak frekansların yansıtılması daha fazla olmalıdır. Potwin & Maxfield'e göre salonda bütün frekansların yansıtılması aynı düzeyde olmalıdır.



Şekil 3.7 : Akustikçilere göre çınlama sürelerinin frekansa bağlı süre tercihleri

Çınlama değeri uygun koşullara getirilse bile malzeme seçimine göre alçak frekanslar daha çok yutulursa mekanda sıcaklık gibi öznel değerler zayıflar. Ya da malzemenin alçak frekansları yutuculuk değerine göre alçak frekanslar daha yükselir. Yüksek frekansların (TR ratio) dağılımı azaldığı zaman parlaklık, canlılık gibi değerler zayıflar.

Ölçüm yapılırken orkestra ve seyircilerin yutuculuk oranı toplan salonun toplam yutuculuk oranının %75'i kadar olmalıdır. Ortalama yutuculuk değeri ise 0,85 olmalıdır. [4] Salondaki malzemelerin yüzey ayrımları Şekil 3.8'deki gibidir.



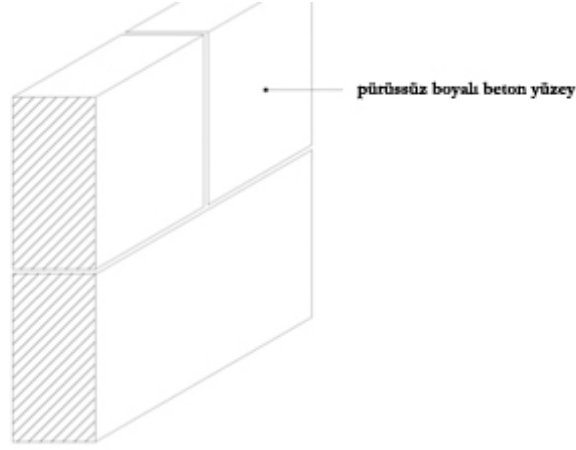
Şekil 3.8 : Salonda kullanılan malzemelerin yüzey ayrımları

Salonda kullanılan yüzey kaplama malzemelerinin konstrüksiyon detayları ve yutuculuk değerleri;

- Platformun yan duvarlarında: Beton blok kullanılmıştır. Odeon' da verilen malzeme bilgisine göre özellikle yüksek frekanslarda olmak üzere bütün frekanslarda yansıtıcı özelliktedir. Pürüzsüz olma durumu ile yansıtıcılığı artırılmıştır. Malzemenin frekansa bağlı yutuculuk değerleri Çizelge 3.1'deki gibidir. Şekil 3.9'da malzemenin uygulama detayı verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,02000	0,02000	0,02000	0,02000

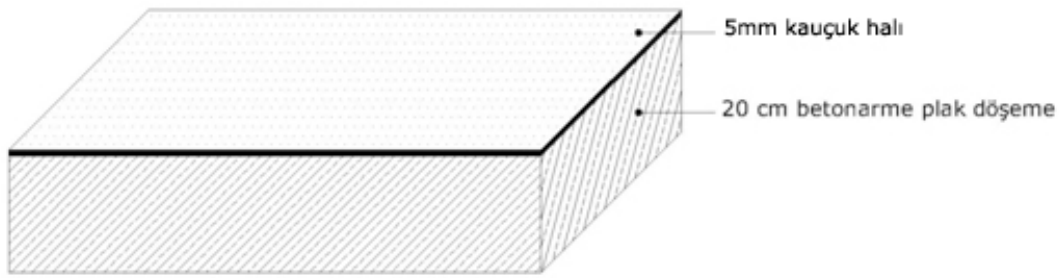


Şekil 3.9 : Yan duvarların malzeme uygulama detayı

- Platform zemininde: Beton üzeri 10mm kauçuk halı uygulanmıştır. Böylece genel olarak kontrollü bir yutuculuk sağlanmıştır. Halı malzemesi yoğunluğuna göre özellikle yüksek frekanslarda daha fazla yutuculuk sağlamıştır. Yüksek frekansların kontrolü açısından bu malzeme tercih edilmiştir. Çizelge 3.2’de malzemenin frekansa bağlı yutuculuk değeri ve Şekil 3.10’da döşeme elemanının detayı verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,04000	0,04000	0,04000	0,08000	0,12000	0,10000	0,10000	0,10000



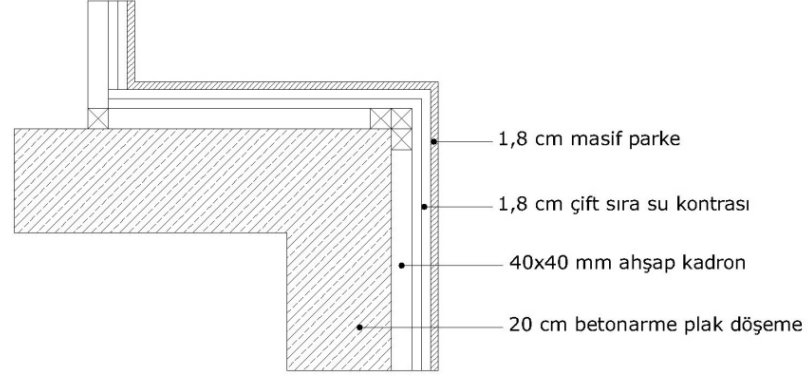
Şekil 3.10 : Döşemede uygulanan malzeme detayı

- Sahne zemininde: Ahşap platform üzeri parke uygulanmıştır. Betonarme plak üzerine 4cm boşlukla kontrplak ve masif parke uygulanmıştır. Sahneden seyirci bölümüne iletilen enerjinin yeterli olması açısından bu bölgede yansıtıcı yüzeyler kullanılmalıdır. Sahne üzerindeki basamaklar ahşap konstrüksiyon ile sağlanır.

Çizelge 3.3'te malzemenin frekansa bağlı yutuculuk değerleri verilmiştir. Uygulama detayı Şekil 3.11'deki gibidir.

Çizelge 3.3 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,15000	0,15000	0,11000	0,10000	0,07000	0,06000	0,07000	0,07000

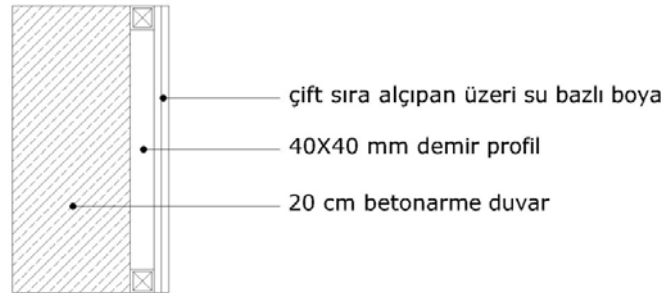


Şekil 3.11 : Sahne zemini malzeme uygulama detayı

- **Arka duvarlarda:** Demir konstrüksiyon üzeri çift sıra 13mm alçıpan üzeri alçı ve boya uygulanmıştır. Arka duvarların genel olarak yutucu tasarlanması gerekir. Fakat konser salonlarında çınlama değerinin yüksek tutulması ve G değerinin yeterli düzeye ulaşması açısından daha yansıtıcı tutulabilir. Bu durumda arka duvar yüzeyinde yansıtıcı ve yutucu malzeme kombinasyonları da kullanılabilir. Uygulama detayı Şekil 3.12'deki gibidir. Çizelge 3.4'te malzemenin frekansa bağlı yutuculuk değeri verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,28000	0,28000	0,12000	0,10000	0,17000	0,13000	0,09000	0,09000

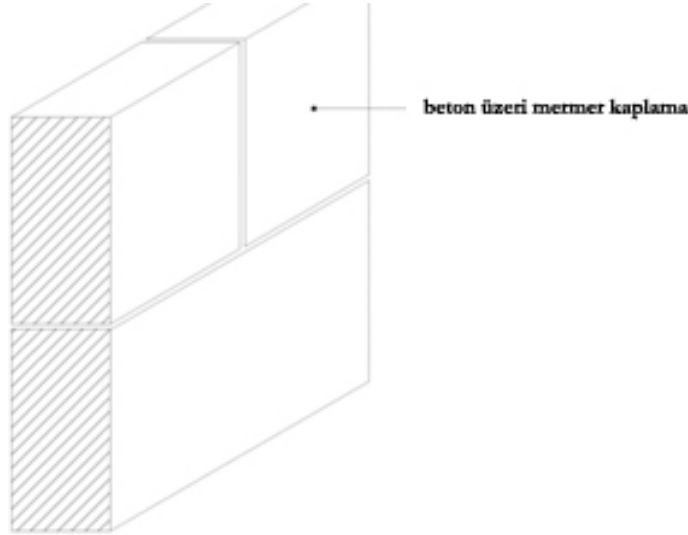


Şekil 3.12 : Arka duvar malzeme uygulama detayı

- **Sahne duvarında:** Beton duvar üzeri mermer kaplama uygulanmıştır. Sahne duvarında kontrollü bir yansıtıcılık sağlanmalıdır. Alçak frekansların iletiminin sahnede zor olmasına rağmen yüksek frekanslar daha çok çınlamaktadır. Dolayısıyla genel olarak yansıtıcı fakat yüksek frekanslarda daha yutucu bir malzeme tercih edilmiştir. Fakat arena tipli salonlarda yansıma alınan duvar yüzeyi az olduğundan maksimum yansıtıcılık sağlanmalıdır. Çizelge 3.5'te malzemenin frekansa bağlı yutuculuk değeri verilmiştir. Uygulama detayı Şekil 3.13'teki gibidir.

Çizelge 3.5 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,01000	0,02000	0,02000	0,02000



Şekil 3.13 : Sahne duvarı malzeme uygulama detayı

- **Seyirci bölümünde:** Oturum bölümlerinde çok yutucu olmayan döşemelik kumaş kullanılmıştır. Frekansa bağlı yutuculuk değeri Çizelge 3.6'daki gibidir.

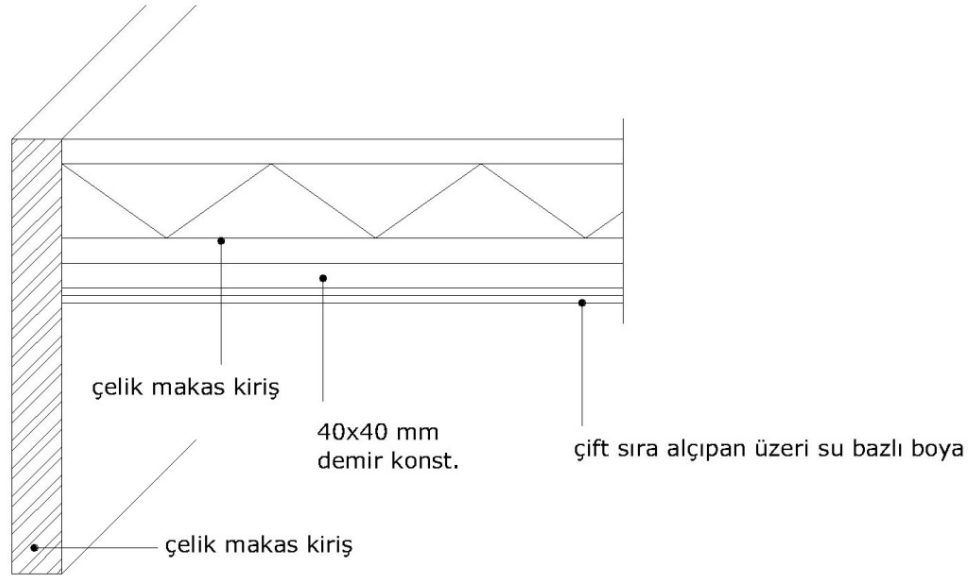
Çizelge 3.6 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,49000	0,49000	0,66000	0,80000	0,88000	0,82000	0,70000	0,70000

- **Tavan:** Alçıpan asma tavan üzeri alçı ve boya uygulanmıştır. Malzemenin frekansa bağlı yutuculuk değeri Çizelge 3.7'deki gibidir. Uygulama detayı Şekil 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,14000	0,14000	0,10000	0,06000	0,05000	0,04000	0,03000	0,03000



Şekil 3.14 : Tavan malzeme uygulama detayı

- **Yansıtıcı panel tasarımı:** Boyut tasarımı akustik olarak karşılaştırılan yansıtıcı panellerde kullanılan yüzey, cam malzemenin frekansa bağlı yutuculuk değerleri Çizelge 3.8’deki gibidir.

Çizelge 3.8 : Frekanslara bağlı yutuculuk değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,18000	0,18000	0,06000	0,04000	0,03000	0,02000	0,02000	0,02000

Analizde kullanılan salon tasarımının çınlama süresi belirlendikten sonra uygun malzeme tercihleri yapılır. Tercihler sadece çınlama sürelerine bağlı olarak yapılmaz, aynı zamanda malzemelerin alçak frekans ve yüksek frekanslardaki yutuculuk ve yansıtıcılık değerleri kontrol edilir.

Beraneke’ye göre yüksek frekans oranı TR için 0,8 - 0,9 oranında olması optimum değerleri sağlamaktadır.[6] Mevcut salon için malzeme analizi yapılırken salon verilerine göre değerler aşağıdaki gibi çıkmıştır. Kullanılan malzemelere göre salonun yüksek frekans oranı (TR) aşağıdaki gibidir. İdeal değerler arasında tutulmuştur.

$$TR = \frac{\text{yüksek frekanslar T (2000Hz+4000Hz)}}{\text{orta frekanslar T (500Hz+1000Hz)}} \quad (3.1)$$

$$0,88 = \frac{\text{yüksek frekanslar T (2,15+1,86)}}{\text{orta frekanslar T (2,45+2,07)}} \quad (3.2)$$

Beranek'e göre bas oranı BR için 1,1 – 1,3 aralığında olması optimum değerleri sağlamaktadır. Mevcut salon için malzeme analizi yapılırken salon verilerine göre değerler aşağıdaki gibi çıkmıştır [6].

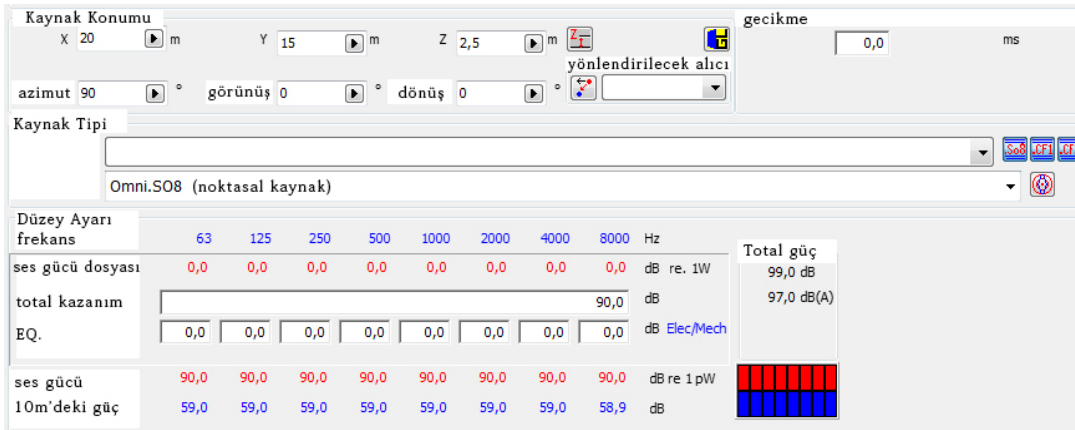
$$BR = \frac{\text{alçak frekanslar T (125Hz+250Hz)}}{\text{orta frekanslar T (500Hz+1000Hz)}} \quad (3.3)$$

$$1,2 = \frac{\text{alçak frekanslar T (2,71+2,73)}}{\text{orta frekanslar T (2,45+2,07)}} \quad (3.4)$$

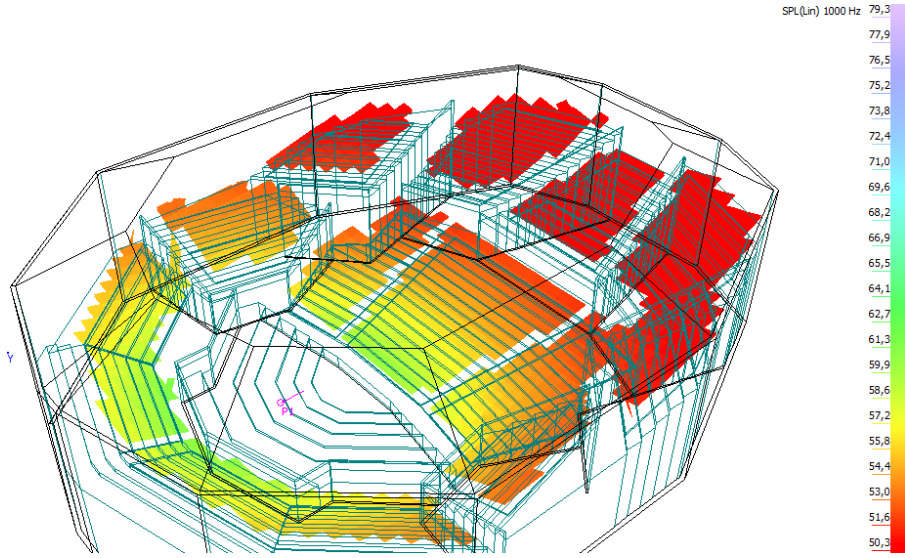
3.2.3 Kaynak, alıcı özellikleri ve konumları

Kaynak analizi

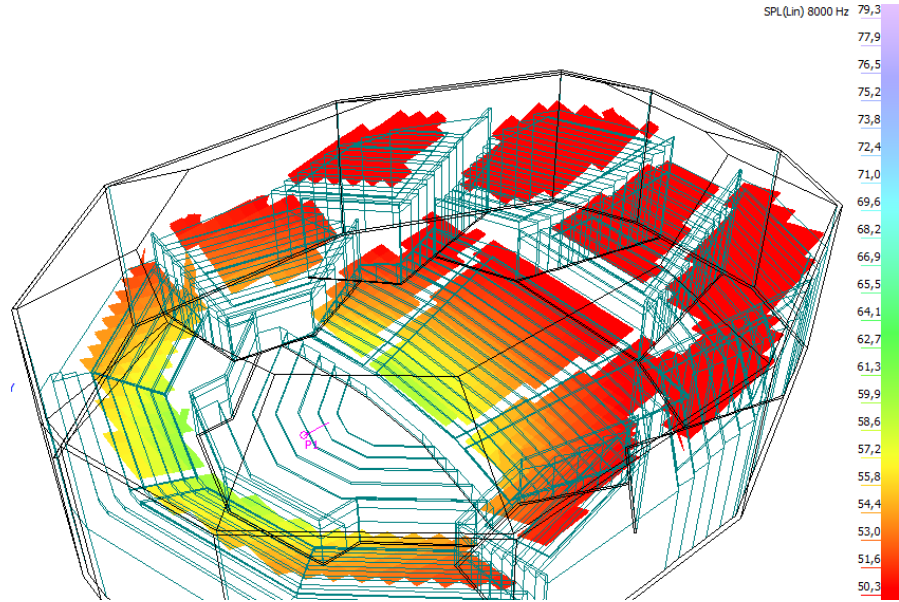
Kaynak olarak her frekans spektrumunda eşit ses düzeyi sağlayan beyaz gürültü yöntemi ile noktasal kaynak yerleştirilmiştir. Ölçümler, kaynağa 90 dB ses gücü verilerek sağlanmıştır. Yönlülük özelliği olarak direkt 90 derece ile Şekil 3.15'teki gibi karşıya yönlendirilmiştir. Ölçümler 6s boyunca 10000 ışın kullanılarak yapılmıştır. Kaynak konum olarak sahnenin tam ortasında kabul edilmiştir.



Şekil 3.15 : Kaynak ile ilgili ses gücü ve konum bilgileri



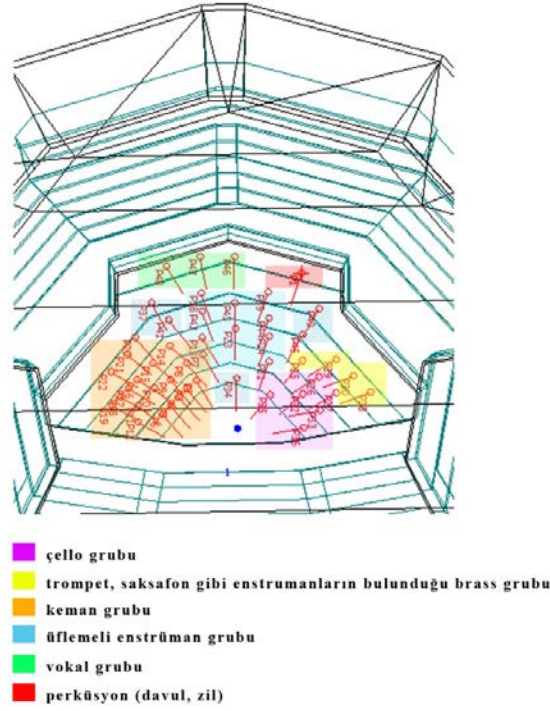
Şekil 3.16 : 250Hz' deki ses basınç düzeyi dağılımı



Şekil 3.17 : 8000 Hz' deki ses basınç düzeyi dağılımı

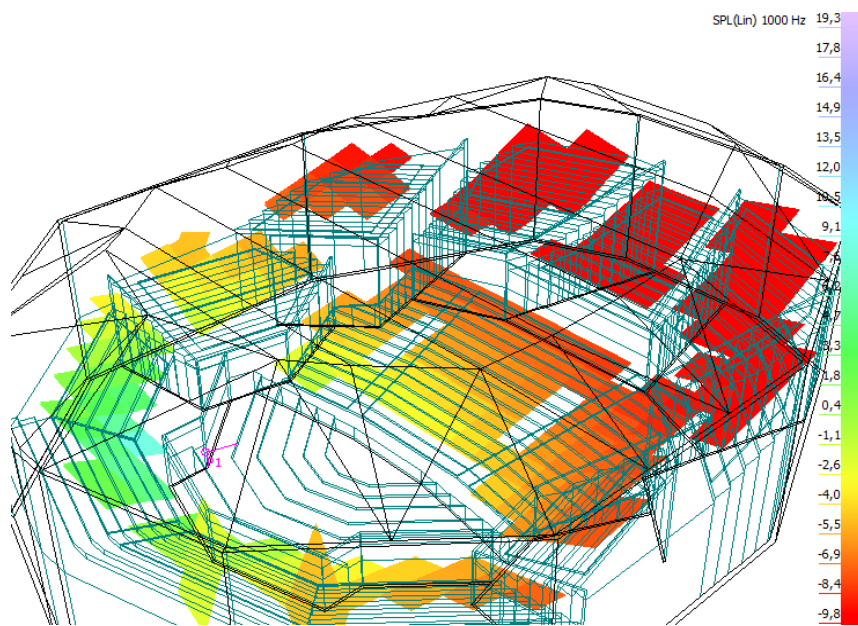
90 dB ses basınç düzeyindeki bir kaynağın her frekanstaki ses dağılımı farklı olabilir. Şekil 3.16 ve 3.17'de direkt sesin alçak frekansa ve yüksek frekansta ses basınç düzeyi dağılımı verilmiştir. Ses basınç düzeyi en yakın alıcıya 250 Hz de 53dB olarak ulaşırken 8000 Hz' de 49dB olarak ulaşmaktadır. Yüksek frekansta, havanın yutuculuğundan dolayı iletim daha azdır.

Analiz çalışmasında yapılan karşılaştırmalardan biri de orkestranın diğer noktasal kaynak analizleriyle karşılaştırılmasıdır. Böylece salonda senfoni orkestrası enstrümanlarıyla oluşan ortamın akustik analizi yapılabilmektedir. Odeon programında kullanılan orkestra dizilimi Şekil 3.18'da verildiği gibidir.



Şekil 3.18 : Odeon programında kullanılan orkestra dizilimi ve enstrüman yönelimi

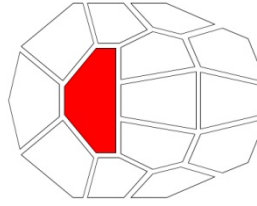
Sahneye bakıldığı zaman sol tarafta keman grubu, orta kısımda klarnet, zurna fagot, obua gibi üflemeli grup, sağ kısımda çello grubu ve arkasında trompet, saksafon gibi bakır üflemeli grubu bulunuyor. En arkada P1 ile gösterilen yerde vurmali çalgı (perküsyon) bulunuyor. En arkadaki 46, 47, 48 ile gösterilen kaynaklar soprano insan sesi olarak kullanılmaktadır. Orkestranın SPL dağılımı orta frekansta Şekil 3.19’de verildiği gibidir.



Şekil 3.19 : Orkestra ses basınç düzeyi dağılımı

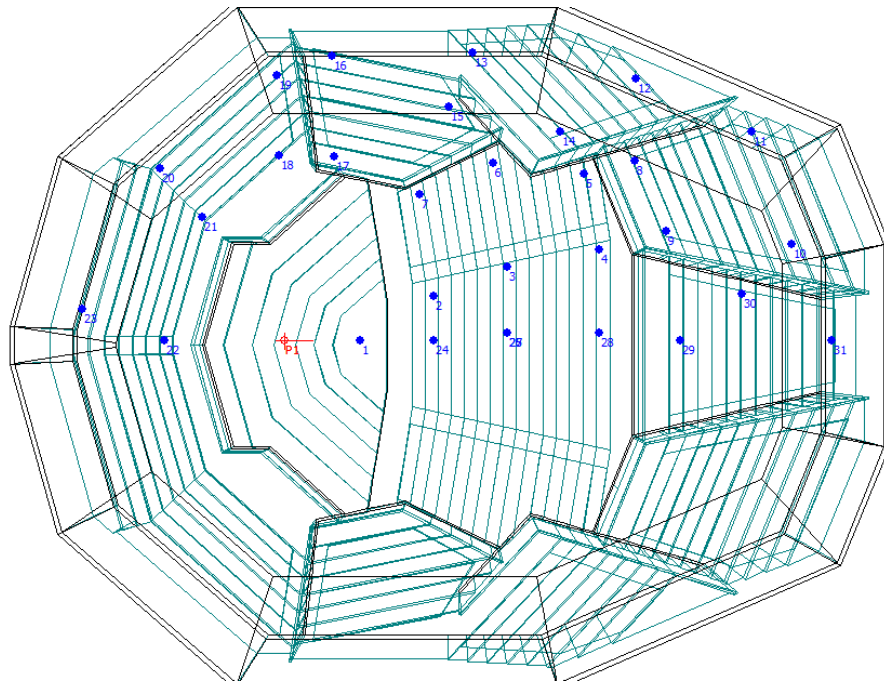
Alıcı Analizi

Alıcı noktaları, her bir terasta kritik olabilecek yerlere, yüksekliği platform zemininden 110 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Özellikle alanların orta kısımlarına ve duvar kenarlarına yerleştirilmiştir. Orta kısımlara yanal iletimler, duvara yakın alıcılara ulaştığından daha az ulaşabilmektedir. Salona bütün platformlara gelecek şekilde 28 alıcı yerleştirilmiştir. Analizler platformlar üzerinden ve alıcı bazlı olarak yapılmıştır. Alıcıların yerleştirildiği platformlar Çizelge 3.9’ da verildiği gibidir.



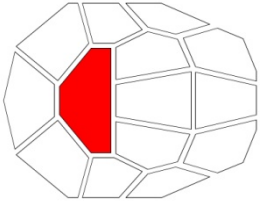
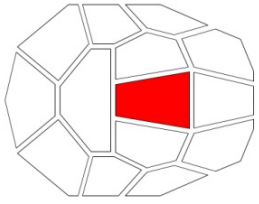
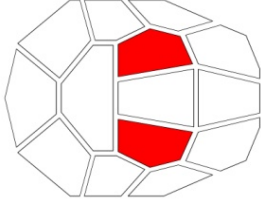
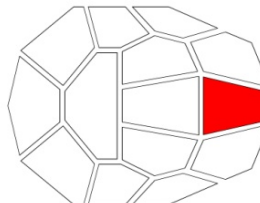
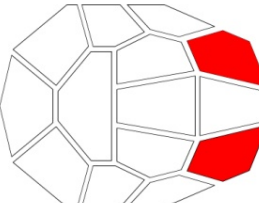
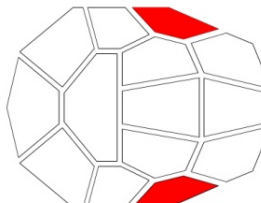
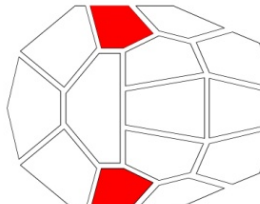
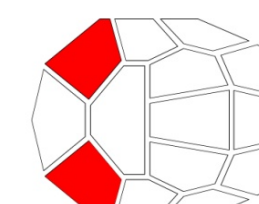
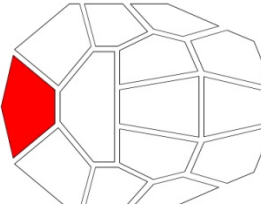
Şekil 3.20 : Sahne platformu

Değerlendirmede sahnedeki durumun analizi açısından 1 no’ lu alıcı orkestra şefi olarak Şekil 3.20’de verilen sahne platformunun merkez noktasına yerleştirilmiştir. Kaynağa yakınlık nedeniyle alınan ortalama değerlere katılmamıştır. Noktasal olarak analiz edilmiştir ve sahne değerlerini analiz eden ST erken ve ST geç parametrelerinde kullanılmıştır. Alıcıların plan üzerindeki konumları Şekil 3.21’deki gibidir.



Şekil 3.21 : Alıcı ve kaynak noktalarının yerleşim planı

Çizelge 3.9 : Analizi yapılan salonun platform çizelgesi

SAHNE	ALT PLATFORM	ALT PLATFORM
		
alıcı 1	alıcı 2, 3, 4, 24, 25, 28	alıcı 5, 6, 7
ARKA ÜST PLATFORM	ARKA ÜST YAN PLATFORMLARI	YAN PLATFORMLAR
		
alıcı 29, 30, 31	alıcı 8, 9, 10, 11	alıcı 12, 13, 14
SAHNE YANI PLATFORMLARI	SAHNE ARKASI YAN PLATFORMLARI	SAHNE ARKASI PLATFORMLARI
		
alıcı 15, 16, 17	alıcı 18, 19, 20, 21	alıcı 22, 23

4. ARENA TIPLİ SALONLARIN ODEON SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE ANALİZ ÇALIŞMASI

Bu çalışma için benzer özellikte çeşitli salonlar modellenerek geometrik tasarım özellikleri bazı değerler sabit bırakılarak değiştirildi. Tartışılacak olan tasarım özellikleri tavan formu, yansıtıcı panel boyutu, platformların yüksekliği, yan duvar biçim ve yükseklikleri olarak belirlenmiştir. Bu özelliklerin akustik konfora etkisi, ODEON programından alınan nesnel değerler ortaya konarak analiz edilecektir. Salonların analizleri ODEON programında grid bazında, ses ışınları ve parametrik değerler üzerinden yapılabilmektedir. Değerlendirmeler seyircilerin yanı sıra sahne performansı üzerinden de yapılmıştır. Fiziksel değişimlerin sahne koşullarına etkisi, uyumlu bir şekilde çalmayı sağlayan erken ve geç yansımaların analizi olan destek (ST erken, geç) parametresi ile ortaya konmaktadır. Modellenen bütün salonlarda madde 3.2 de verilen plan şeması, salon hacmi, kişi başı hacim, yüzey malzemeleri, sahnenin konumu gibi tasarım kabulleri değişmemektedir.

Yapılan karşılaştırmalar aşağıdaki gibidir.

1. Tavan formunun akustik konfora etkisi analiz edilmiştir.

Salon A: Düz tavan kullanılmıştır. Tavanın en alçak noktası 15,5m'dir

Salon B: En alçak noktası 15,5m olan konveks tavan formu kullanılmıştır.

Salon C: En alçak noktası 15,0m olan konveks tavan formu kullanılmıştır. Salon B'den farklı olarak tavanın eğriselliği artırılmıştır.

Salon D: En yüksek noktası 19,85m olan konkav tavan formu kullanılmıştır.

2. Yansıtıcı panel büyüklüğünün akustik konfora etkisi analiz edilmiştir.

Yansıtıcı panel yükseklikleri bütün salonlarda aynı yükseklikte ve malzeme özelliğinde kullanılmıştır.

Salon B: Salon yansıtıcı panelsüz tasarlanmıştır.

Salon B1: 4 parçalı 2,5m büyüklüğünde paneller kullanılmıştır.

Salon B2: 5m x5m büyüklüğünde tek panel kullanılmıştır.

Salon B3: 10m x 10m büyüklüğünde tek panel kullanılmıştır.

Salon B4: 10m den büyük parçalı yansıtıcı panel tasarımı kullanılmıştır.

3. Teraslı tip salonlarda yan duvarların ve arka duvarların biçimlerinin eğrisel ya da düz olmasının salon akustiğine etkisi analiz edilmiştir.

Salon B: Yan duvarların ve arka duvarların düz olarak tasarlanması

Salon BX: Yan duvarların ve arka duvarların eğrisel olarak tasarlanması

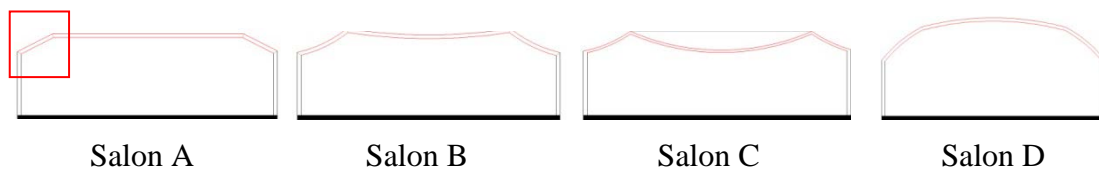
4. Teraslı tip salonlarda yan duvarların yüksekliğinin salon akustiğine etkisi analiz edilmiştir.

Salon B: Alçak yan duvarlı salon tasarımı

Salon By: Yüksek duvarlı salon tasarımı

4.1 Tavan Yükseklik ve Form Tasarımının Akustik Analizi

Karşılaştırma yönteminde madde 3.2' de verildiği gibi teras yükseklikleri, malzeme tercihleri, hacim, kişi başı hacim ve kişi başı m^2 sabit tutularak ölçümler yapıldı. Tavan ve duvar birleşiminde her salonda duvar yüzeyi eğik olarak düşünüldü. Salon A, B, C, D için benzer hacim özellikleri öngörülmüş, fakat tavan formları Şekil 4.1'de verildiği gibi değiştirilmiştir. Salon A'da düz bir tavan formu tercih edilmiştir. Salon B de konveks formu çok fazla olmayan bir tavan formu tasarlanmıştır. Salon C için konveks tavan formu daha da alçaltılarak tavan yüksekliğinin azaltılması ve buna bağlı tavanın konveks formunun artırılmasının akustik şartlara etkisi analiz edildi. Salon D için tavan formu konkav tasarlanarak bu formun akustik konfora etkisi gözlenmiştir. Bütün salonlarda tavan ve duvar birleşimi eğik tasarlanmıştır. Karşılaştırılan salonların teknik özellikleri Çizelge 4,1'de verildiği gibidir.



Şekil 4.1 : Tavan formu karşılaştırılan salonların kesit şemaları

Sabit faktörler

- Plan şeması
- Kişi başı m²
- Sahne konumu ve ölçüleri
- Platform yükseklikleri
- Yüzey malzemeleri
- Hacim
- Kişi başı hacim

Değişken faktörler

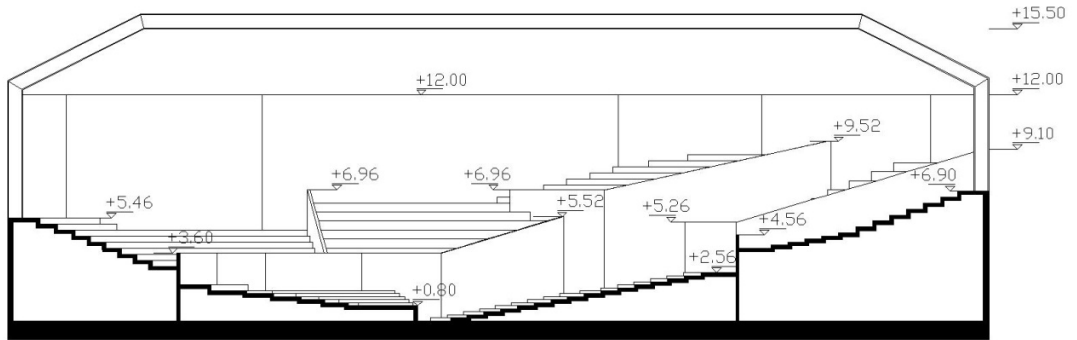
- Tavan formu
- Tavan yüksekliği
- RT, çınlama süresi

Çizelge 4.1 : Karşılaştırılan salonların genel olarak teknik özellik çizelgesi

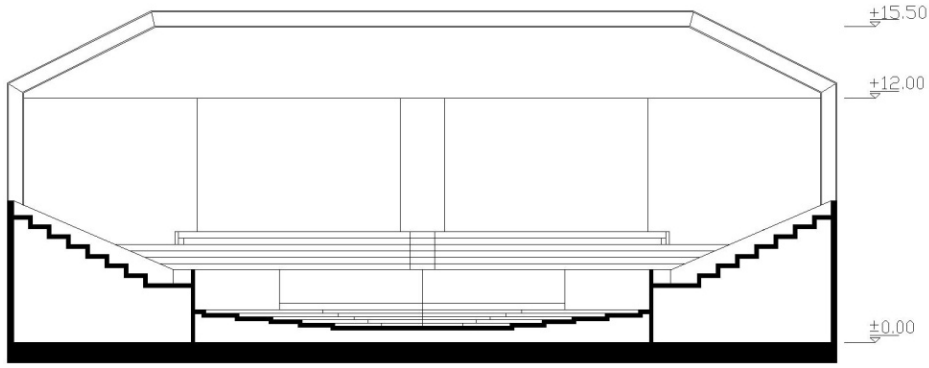
SALON ADI	HACİM (M3)	KİŞİ BAŞI (M3)	OTURMA KAPASİTESİ	TAVAN YÜKSEKLİĞİ (M)	EN UZAK KOLTUK (M)	TOTAL UZUNLUK (M)	SAHNE ALANI m2	KARŞILAŞTIRMA PARAMETRESİ
TAVAN ÖZELLİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRME								
SALON A	18058	9,6	1871	15,5	33	51,5	203	düz tavan
SALON B	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	konveks tavan
SALON C	18747	10,01	1871	15	33	51,5	203	konveks alçak tavan
SALON D	18732	10,01	1871	19,5	33	51,5	203	konkav yüksek tavan

4.1.1 Düz tavanlı salon tasarımının akustik analizi (h: 15,5m)

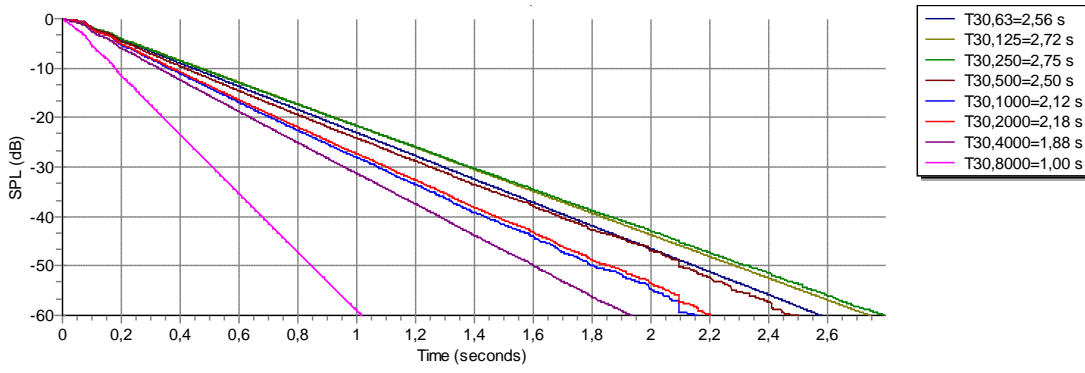
Salon A 'da tavan yüksekliği 15.5m 'de düz olarak tasarlanmıştır. Tavan ve duvar birleşimi yansıyan sesin platformlara tekrar yönlendirilmesi açısından diyagonal olarak önerilmiştir. Salonun kesit şemaları Şekil 4.2 ve 4.3'te verildiği gibidir.



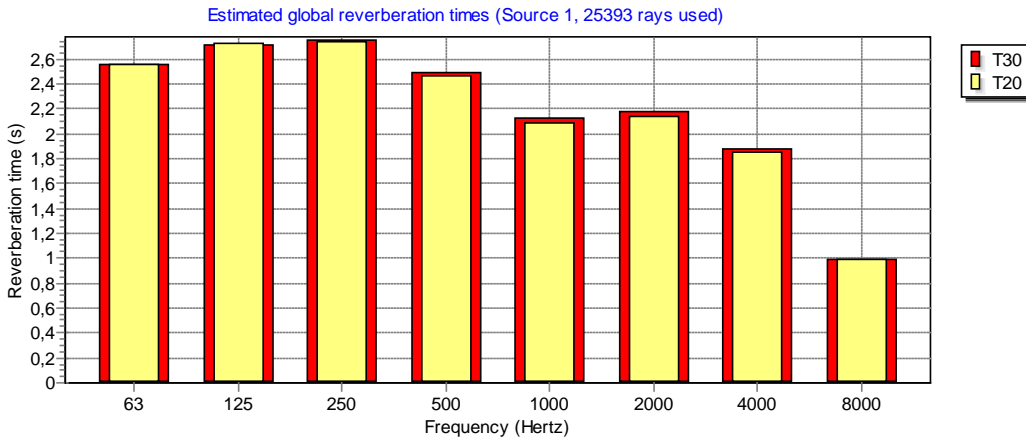
Şekil 4.2 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun AA kesit şeması



Şekil 4.3 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun BB kesit şeması



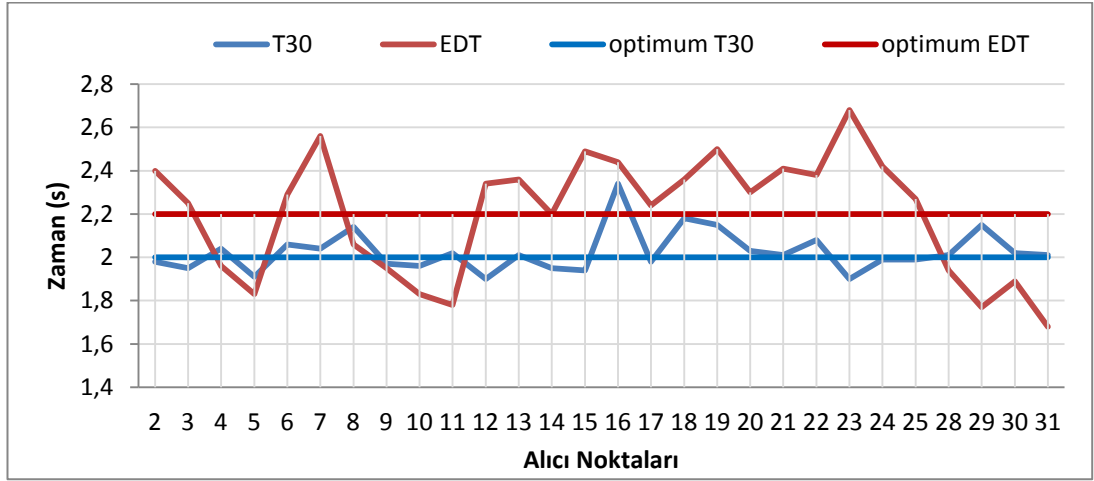
Şekil 4.4 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun frekansa bağlı çınlama süresi eğrileri



Şekil 4.5 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri

Salonun frekansa bağlı çınlama süresi dağılımı şekil 4.4 ve 4.5'te verildiği gibidir. Çınlama süresi alçak frekanslarda daha yüksek, yüksek frekanslarda daha alçaktır. Salon boş iken ölçümler yapılmış ve 1000 Hz de T30 değeri 2, 2 s olarak çıkmıştır.

Şekil 4.6’da verilen alıcıların karşılaştırmalı T30 ve EDT grafiği analiz edildiğinde sahneye ve yan duvarlara yakın noktalarda EDT değerinin T30 değerinden çok daha yüksek değerlerde çıktığı görülür. Bunu nedeni erken yansımaları daha çok almalarıdır. Düz tavan tasarımından kaynaklanan sahne ve çevresinde enerji artışı görülür. Bu nedenle 2, 3, 7, 22, 23, 24 alıcılarında EDT değerleri T30 değerinden optimumun üzerinde yüksek çıkmaktadır. Bu da erken yansımaların sakıncalı artışıyla fazla yüksek bir netlik (C80) değeri verir. EDT değeri Beranek’e göre T30 değerinden % 10 daha yüksek olmalıdır. Sahne ve çevresinde yoğunlaşan ses enerjisi arka kısımlara iletilemediğinden 5, 6, 8, 9, 11, 29, 30, 31 gibi alıcı noktaların T30 değeri EDT değerinden daha yüksek çıkmaktadır. Bu alıcıların erken yansımaları iyi alamadıkları söylenebilir.

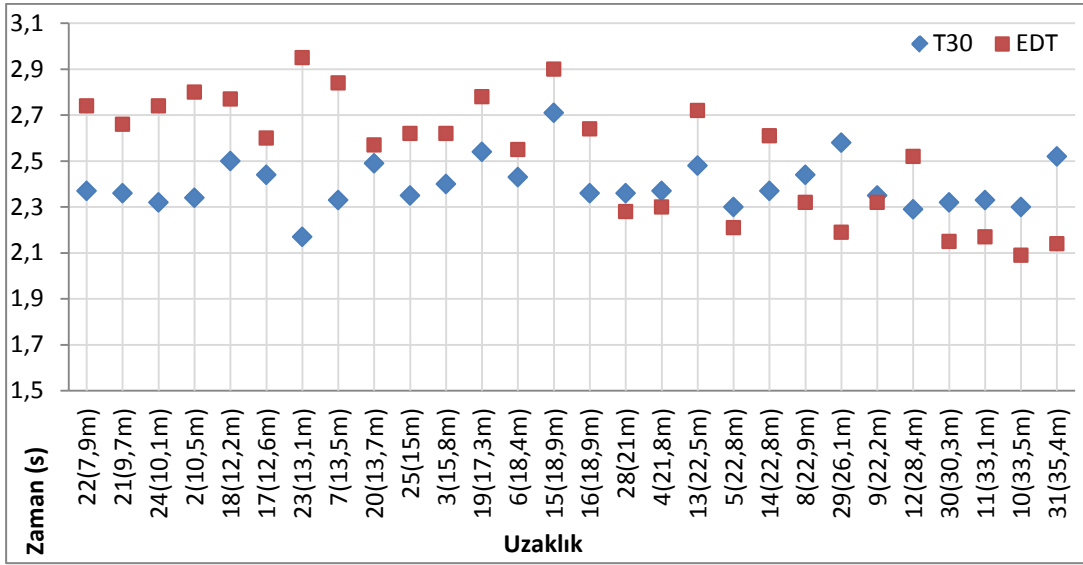


Şekil 4.6 : A salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT grafiği

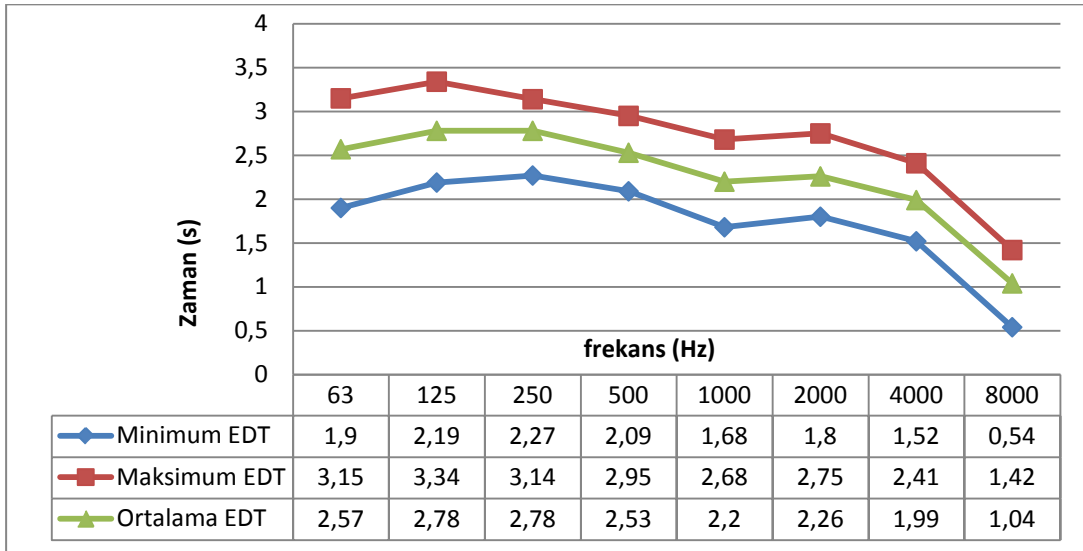
Şekil 4.7’de A salonunun mesafeye bağlı alıcı noktalarının EDT ve T30 değerleri karşılaştırılmıştır. T30 değerleri sabit mesafeden bağımsız olarak birbirine yakın çıkmaktadır. Fakat EDT değeri arka alıcılara doğru düşmektedir. Dikdörtgen plan şemalı bir salonda bu düşüş daha fazla gözlenmektedir. Fakat kaynak noktasının salonun orta kısmında bulunması nedeniyle bu düşüş çok fazla çıkmamaktadır. Salondaki tavan formunun düz olması nedeniyle çınlama süresindeki sabitlik bozulmaktadır. Aynı zamanda EDT sürelerinde de ani artışlar ve azalmalar görülmektedir. A salonunda frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama EDT değerleri Şekil 4.8’de verildiği gibidir.

A salonunda frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama EDT değerleri Şekil 4.9’da verildiği gibidir. Yüksek frekanslarda değerler düşmüştür. Frekanslar

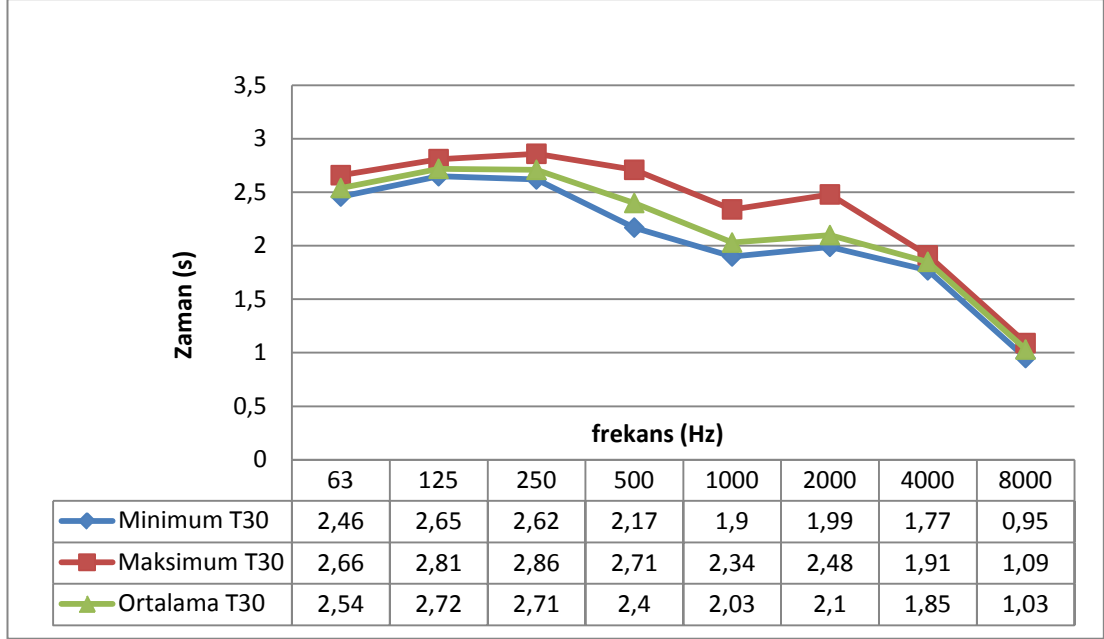
arasındaki maksimum, minimum, ortalama değerleri alıcı noktalarında farklı çıksa da T30 parametresinde bu aralık daha azdır. EDT sürelerinde bütün frekans noktalarında farklılaşma aynı olsa da T30 karşılaştırmasında alçak ve yüksek frekanslarında çınlama sürelerinde fark azdır. Özellikle farklılaşma orta frekanslarda gözlenmektedir. Salonunda alçak ve orta frekanslar yüksek frekanslardan daha çok çınlamaktadır. Bu özellik konser salonları için tercih edilir bir özelliktir. Ortalama değerlerine orta frekanslarda bakıldığında optimum aralığın içinde kalsa da tavan formunun etkisiyle bazı alıcı noktalarında bu değerler aralığın dışına çıkmaktadır.



Şekil 4.7 : A salonunda mesafeye bağlı alıcıların T30 ve EDT değerleri

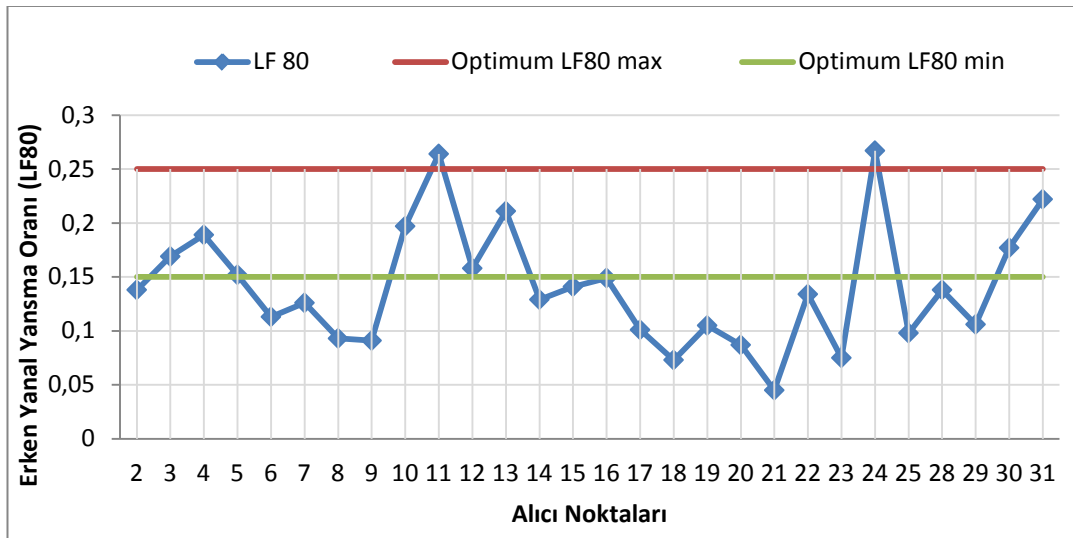


Şekil 4.8 : A salonunda frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama EDT değerleri

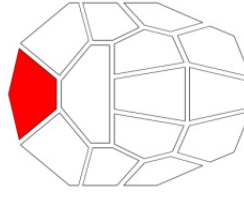


Şekil 4.9 : A salonunda frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama T30 değerleri

EDT değerlerin artması özellikler erken yanal yansımalar ile mümkündür. Bu nedenler alıcıların LF 80 değerleri analiz edilir. Beranek'e göre optimum olarak 0,15 ile 0,25 arasında olmalıdır. Fakat arena tip salonlarda sahnenin ortada konumlanması nedeniyle bu değer azalabilmektedir. Şekil 4.10'daki tabloda alıcı noktalarına bağlı LF 80 yanal yansıma oranları verilmektedir. Tavan formunun düz olması sesin homojen yayılmasını engellemiştir. Bu da bazı alıcı noktalarında değerlerin optimum aralık dışına çıkmasına neden olmuştur.

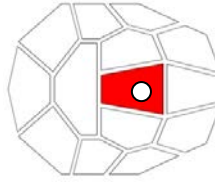


Şekil 4.10 : A salonunda alıcılara bağlı LF80 yanal yansımalar oranı grafiği



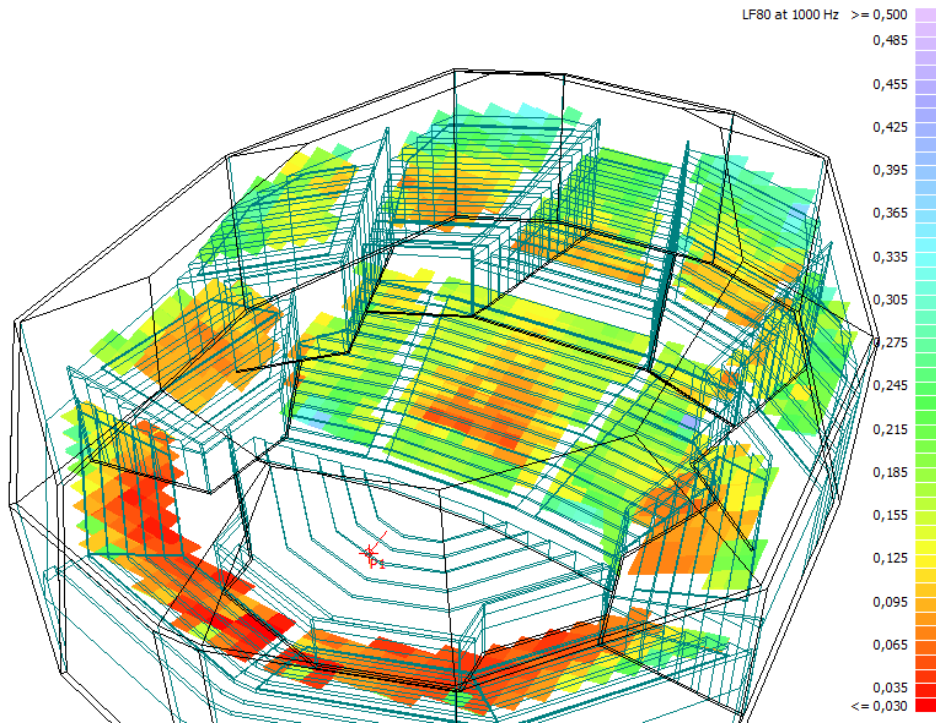
Şekil 4.11 : Sahne arkası platformu

Şekil 4.11’de belirtilen sahnenin hemen arkasındaki 20, 21, 23 alıcı noktalarında yan duvarlardan yansıma alınamadığı için LF 80 değeri düşmüştür. 22 no lu alıcı platformun merkezinde bulunduğu için yanıl yansımalar bu noktada artmıştır. Ayrıca tavan ve duvar birleşimindeki eğik yüzey bu noktadaki yanıl yansımaları da artırmaktadır.



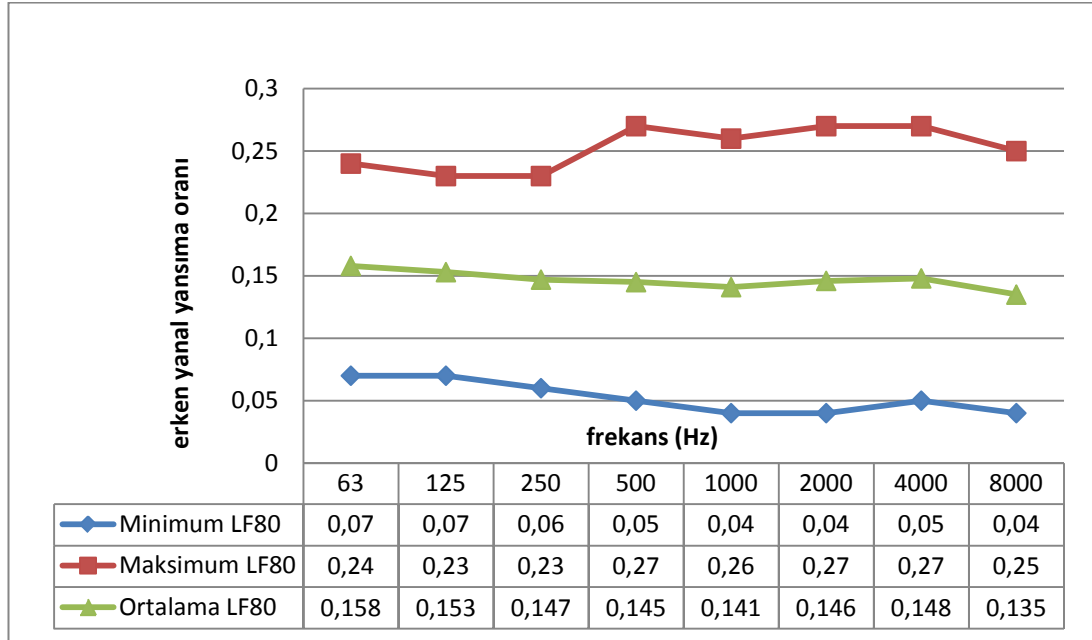
Şekil 4.12 : 24. Alıcı konumu

Şekil 4.12’de belirtilen 24 no ’lu alıcı salonun tam ortasında ve alt platformda yer aldığı için bütün yanıl yansımalarından eşit şekilde yararlanır dolayısıyla en yüksek LF 80 değeri bu noktada çıkmıştır.



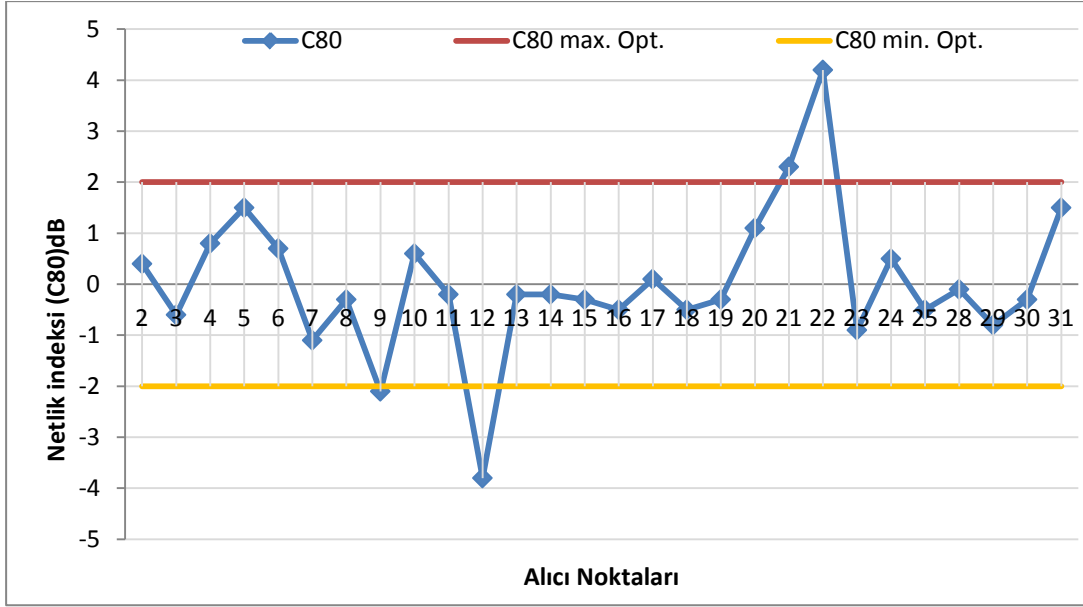
Şekil 4.13 : A salonunda erken yanıl yansıma (LF80) dinleyici alanının grid analizi

Şekil 4.13’de A salonunun 1000 Hz’ deki LF80 grid analizi verilmiştir. Yanal yansımaların oranı olarak alınan LF 80 değeri sahnenin arka kısımlarında yansıtıcı yüzeylerin az olmasından dolayı az çıkmıştır. Direkt ses düzeyi yüksek olsa da arka duvarların yutuculuğunun yüksek olmasından dolayı bu bölümlerde LF 80 düşüktür. Ayrıca yönlülük özelliği olarak sahne platformu önüne ses iletilirken sahne arkasındaki kısma tavan formunun düz olmasından dolayı tekrar ses iletilemez. Bu da arka duvarların yansıttığı ses enerjisinin azalmasına neden olmaktadır. Şekil4.14’te A salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama LF80 değerleri vardır. Bu değerlere göre ortalama bazı noktalar optimum değer aralığında olsa da minimum değerler göz önüne alındığında yeterli erken yanıl yansıma alamayan noktaların olduğu görülür.

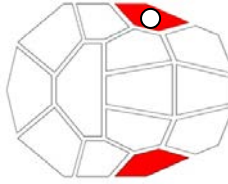


Şekil 4.14 : A salonunda frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama LF80 değerleri

Çınlama süresine bağlı olarak alıcıların aldıkları erken yansımalar ile geç yansımaların oranını gösteren netlik (C80) indeksi analiz edilmelidir. Optimum olarak - 2dB ve 0 arasında olması gereken değer - yönünde azaldığı zaman seslerin boğuklaştığı, 0 ‘dan yüksek ise sesin kurulaştığı hissedilir. Şekil4.15’de alıcılara bağlı C80 değerleri verilmiştir. Mesafeden bağımsız olarak salonda ön ve arka kısımlarda benzer değer aralıkları gözlenir, fakat yeterli yansıma alamayan alıcı noktalarında ani azalmalar ve direkt sesin geç yansımalarla oranla fazla olduğu noktalarda ise ani artışlar görülür.



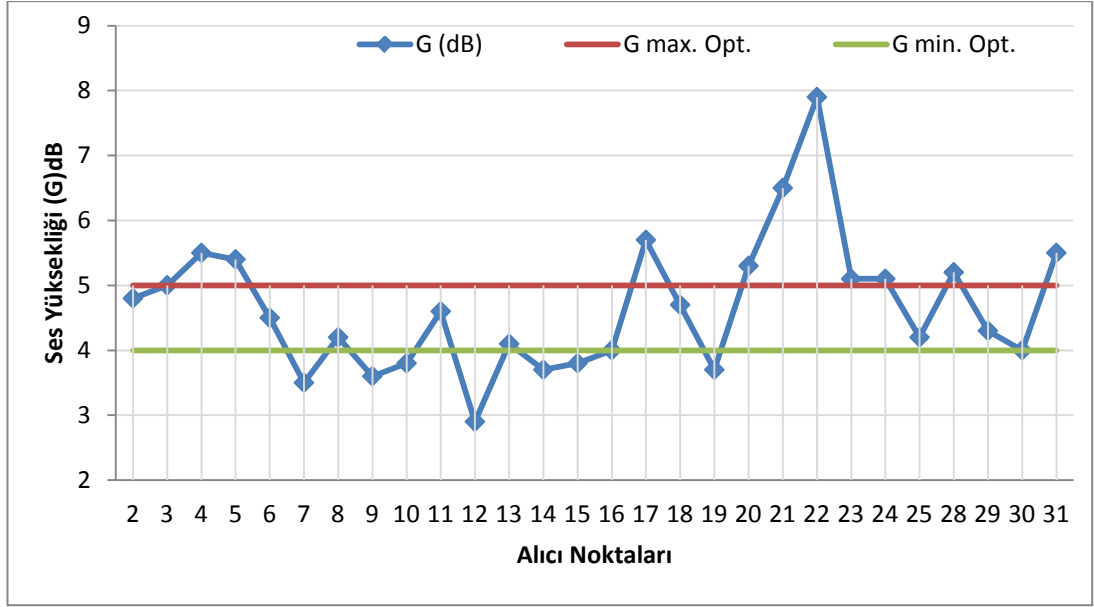
Şekil 4.15 : A salonunda alıcılara bağlı netlik indeksi (C80) çizelgesi



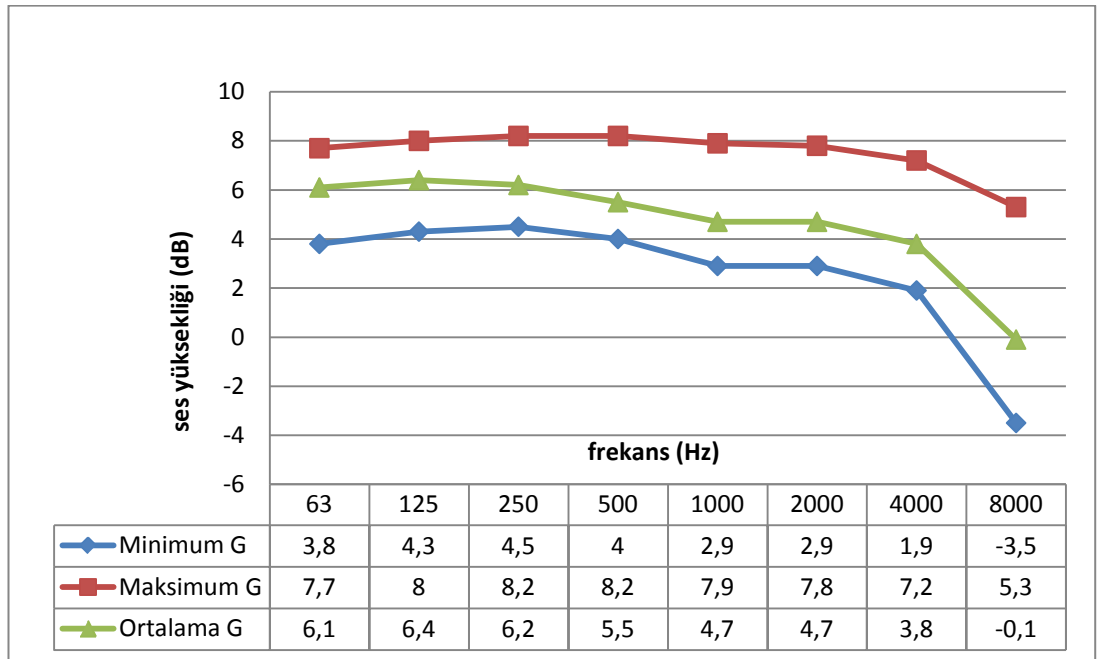
Şekil 4.16 : 12 no lu alıcı

Şekil 4.15'deki grafiğe göre genelde optimum aralıkta yer alan değerler Şekil 4.16 'da belirtilen 9, 12 gibi noktalarda aşırı düşmüştür. Bunu nedeni sahneden ve dolayısıyla direkt sestən uzaklaşarak erken yansımaları alamamalarıdır. 20, 21, 22 gibi sahnenin hemen arkasında yer alan noktalarda ise özellikle de tavanın düz formu nedeniyle C80 değeri fazla yansıma olarak aşırı yükselmiştir. Ayrıca tavadan ve sahneden en kısa sürede ses yansıması alan 4, 5, 6 gibi noktalarda da C80 değeri optimum değer dışında yükselmiştir.

Konser salonlarında Beranek'e göre G değeri optimum olarak 4-5 dB aralığı olarak belirlenir. Fakat mesafeye bağlı olarak değişen bir parametredir. Aşırı yükselmesi alıcının sesleri fazla yüksek algılamasına neden olur. Şekil 4.17'de verilen grafikte alıcılara bağlı G değerleri verilmiştir. Şekil 4.18'de A salonunun maksimum, minimum, ortalama G değerleri verilmiştir. Yüksek frekansta (8000 Hz) ani bir düşüş gözlenmiştir. Ortalama olarak bakıldığında orta frekansta ortalama değerler optimum aralık arasındadır. Fakat homojen olmayan salon içerisindeki ses dağılımı nedeniyle maksimum ve minimum değerler arasındaki farklılık fazladır. Bu da salonda pek çok alıcı noktasında olumsuz koşullar gözlendiğini gösterir.



Şekil 4.17 : A salonunda alıcılara bağlı G ses yüksekliği grafiği

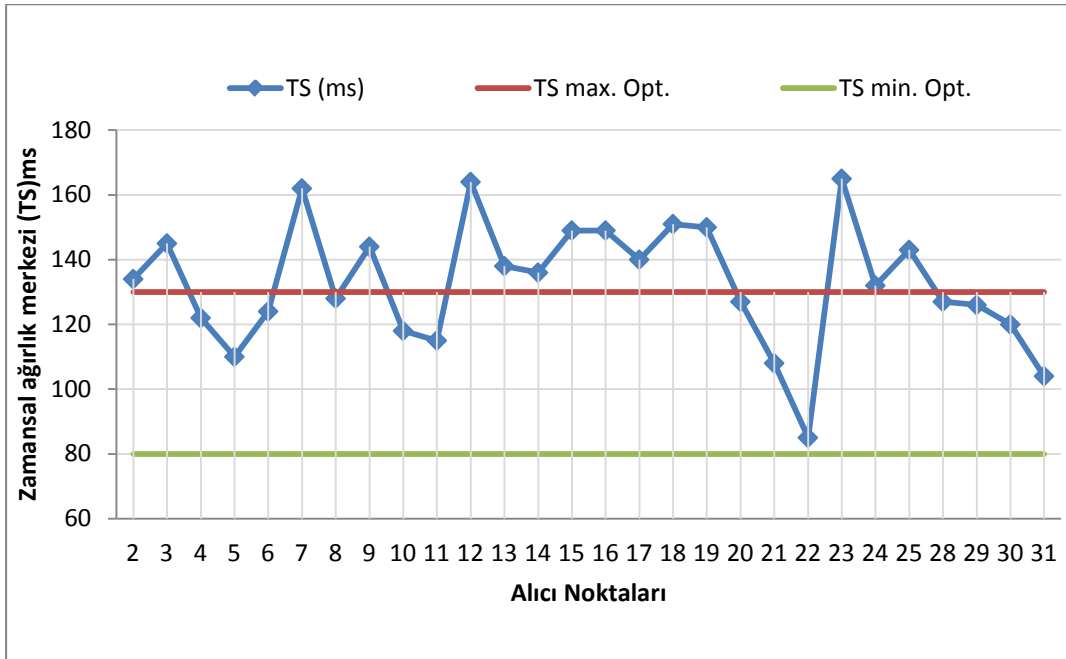


Şekil 4.18 : A salonunun maksimum, minimum, ortalama G değerleri

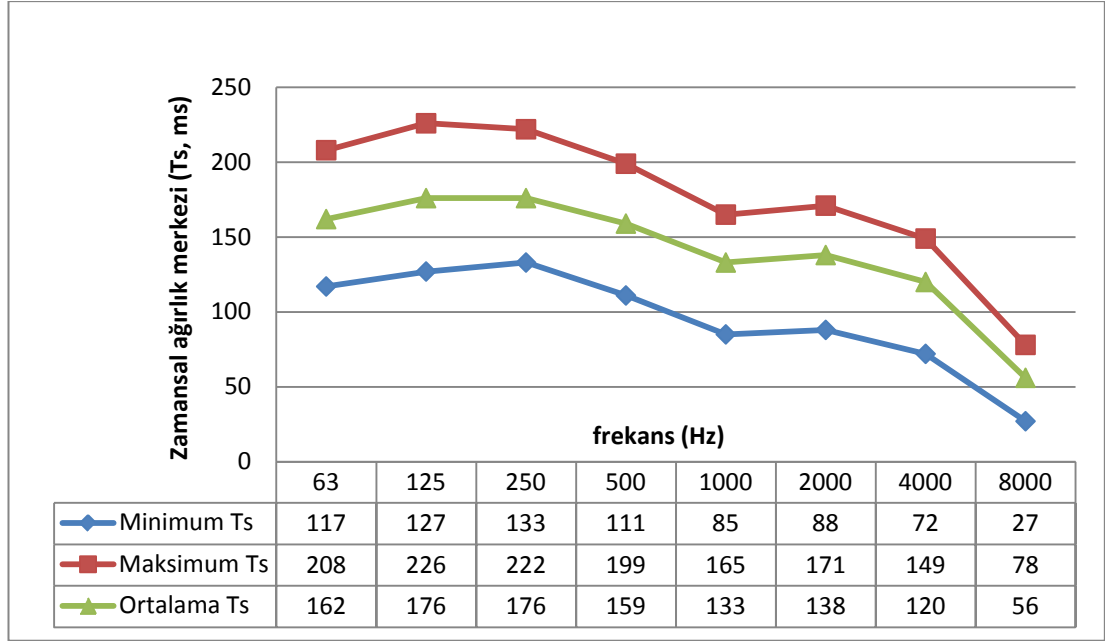
Sahnenin hemen arkasındaki noktalar düz tavan formu nedeniyle olması gerektiğinden fazla yansıma almaktadırlar. Dolayısıyla bu noktalardaki ses yüksekliği rahatsız edici boyuttadır. Bunun yanı sıra 12 no lu, C80 değerinin en düşük çıktığı alıcı noktasında yeterli ses yansımalarının iletilmemesinden kaynaklanan yetersiz ses yüksekliği gözlenir. Bunun sonucu olarak bu noktada C 80 değeri çok düşmüştür. Düz tavan tasarımdan kaynaklanan kaynak ve tavan arasından periyodik bir ses yansıması bulunmaktadır. Dolayısıyla kaynak noktasında aşırı bir

ses basınç düzeyi artışı (SPL) görülmektedir. Tavan tasarımı, kaynaktan çıkan direkt sesi tekrar kaynak noktasına ve sahneye en yakın yan platformlara yönlendirmektedir. Mekanın genel olarak SPL değerleri yüksek gibi gözükse de noktasal alıcı bazında bakıldığında noktalar arasında G değerlerinde ve özellikle yansıyan sesin salonun arka kısmına iletilmemesinden kaynaklanan yetersiz ses yüksekliği görülür. Bu da dinleyicinin sarmalanma hissini zayıfladığını ve mekanda homojen olmayan bir ses dağılımının olduğunu gösterir.

Erken yansımaların analiz edilebileceği diğer bir parametre de zamansal ağırlık merkezidir. Bu parametre erken yansımalar ile geç yansımaların enerji yoğunluğunun eşitlendiği zamanı vermektedir. 80 ile 130ms aralığında olması gereken bu değer 80ms'ye yaklaştığında, ağırlık merkezine erken ulaştığı için erken yansımaların ağırlıkta olduğu öngörülebilir. Şekil 4.19'da zamansal ağırlık merkezinin alıcılara bağlı değer grafiği verilmiştir. Grafiğe göre pek çok nokta optimum aralığın üzerindedir. Bu da erken yansımaları salon içerisinde zayıf olduğunu gösterir. Sahne arkasında ve çevresinde ise özellikle erken yansımaların fazla olduğu alanlarda ağırlık merkezi 80ms'ye yaklaşmıştır. Şekil 4.20'de A salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama TS değerleri verilmiştir. Frekans bazlı bakıldığı zaman yüksek frekanslarda enerji yoğunluğu azaldığı için bu noktalar 80 ms nin altına düşmektedir.

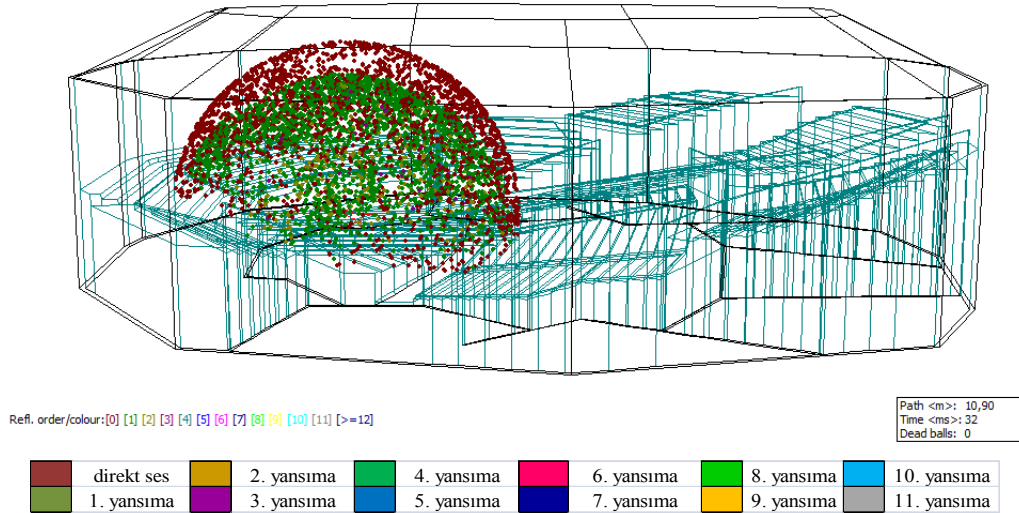


Şekil 4.19 : A salonunun alıcı noktalarının TS değerleri

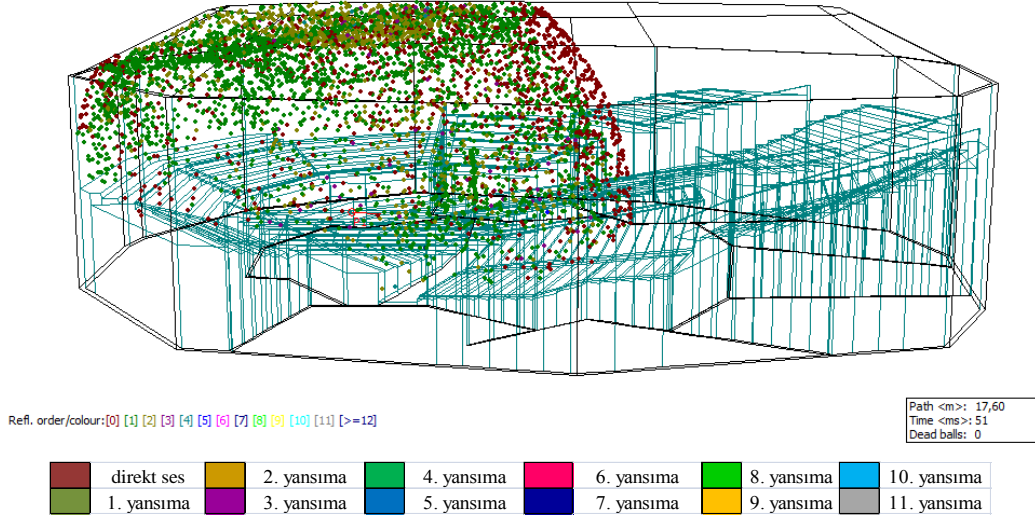


Şekil 4.20 : A salonunun maksimum, minimum ve ortalama TS değerleri

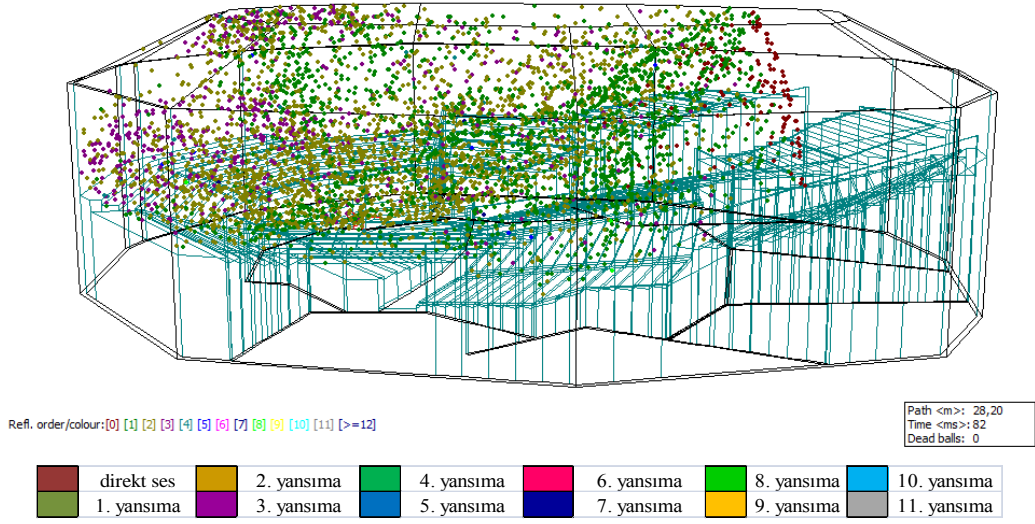
Şekil 4.21, 4.22, 4.23, 4.24'te sırasıyla 30., 50., 80. 135. saniyelerde alınan noktasal dağılım grafiklerde ses dağılımının özellikle sahne ve çevresinde toplandığı, arka kısımlara iletilmediği görülür. Noktasal dağılım ve yansımalar analiz edildiğine sahne arkası ve çevresinde yansımaların toplandığı görülür. Şekillerde noktalar yansıma sayılarına göre renk değiştirmektedirler. 80. Saniyeden sonraki kısım analiz edildiğinde yansımaların özellikle sahne çevresinde ve sahne arkasında toplandığı görülür. Tavan formu sesin arka kısımlara doğru iletilmesine uygun değildir.



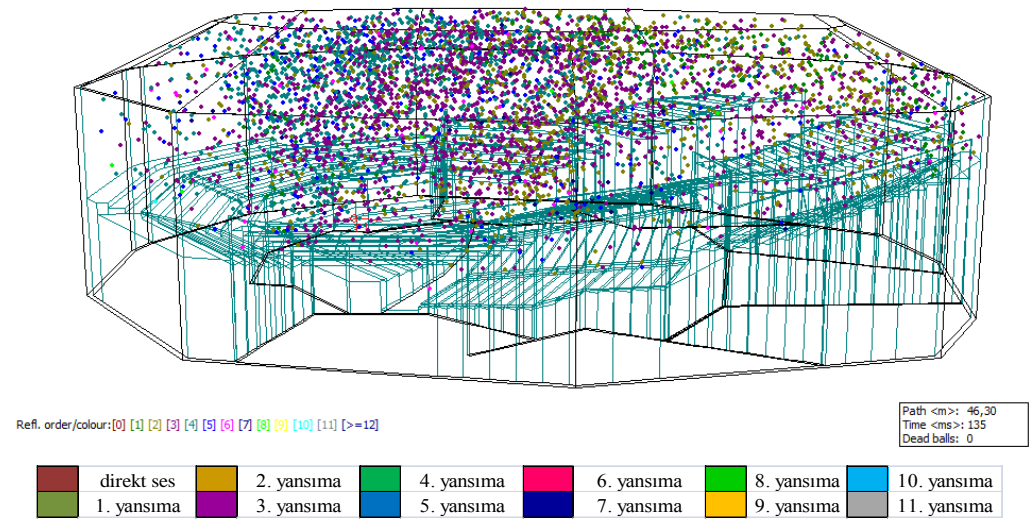
Şekil 4.21 : 32. saniyedeki noktasal yansıma analizi



Şekil 4.22 : 51. saniyedeki noktasal yansıma analizi

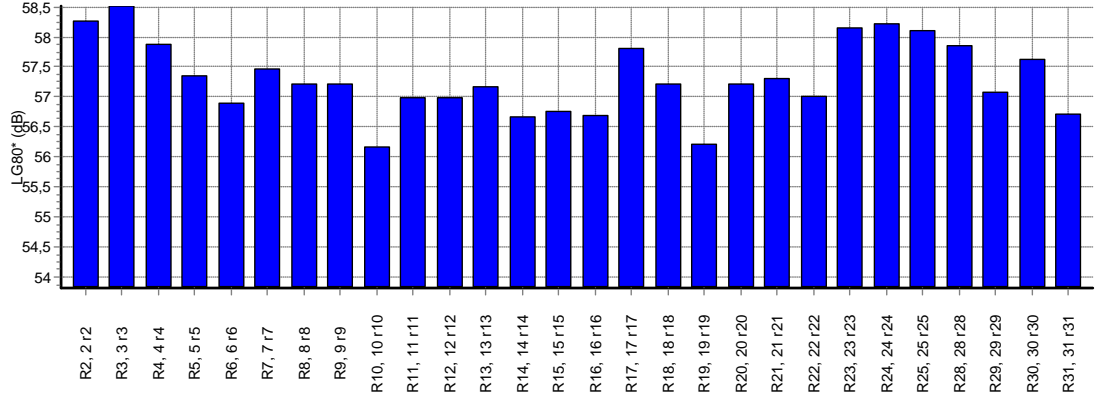


Şekil 4.23 : 82. saniyedeki noktasal yansıma analizi

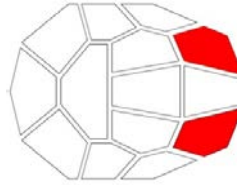


Şekil 4.24 : 135. saniyedeki noktasal yansıma analizi

Salonda erken yansımalar kadar geç yansımalar da akustik konforu etkilemektedir. Geç yansımaların uygun değerlerde olması izleyicinin sarmalanma etkisini ve mekan algısını artırmaktadır. Şekil 4.25'teki grafikte salonun alıcıya bağlı geç yanal yansıma (LG 80) değerleri verilmiştir.

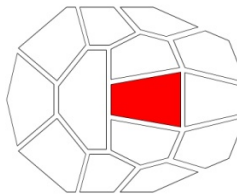


Şekil 4.25 : A salonunun LG80 geç yanal yansımaların alıcıya bağlı değer grafiği



Şekil 4.26 : Alıcının salondaki yeri

Grafiğe göre Şekil 4.26'da belirtilen salonun arka kısımlarındaki 8, 9, 10, 11, 12, 29, 30, 31 alıcılarına yeterli yansımalar iletilemediğinden geç yanal yansıma (LG) değerleri diğer alıcılara göre 1,5dB daha düşük çıkmıştır.

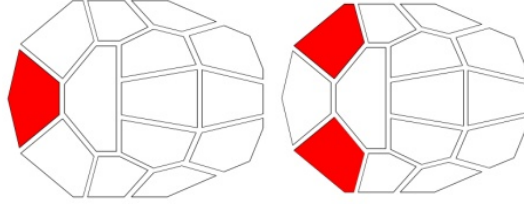


Şekil 4.27 : Alıcının salondaki yeri

Şekil 4.27'de belirtilen platformda bulunan 24, 25, 28 numaralı alıcılar gibi salonun alt platformunda bulunan alıcı noktaları yan duvarların etkisiyle en çok geç yanal yansıma alan noktalarıdır. Bütün arka ve yan platformlardan gelen yansımalar burada toplanabilmektedir.

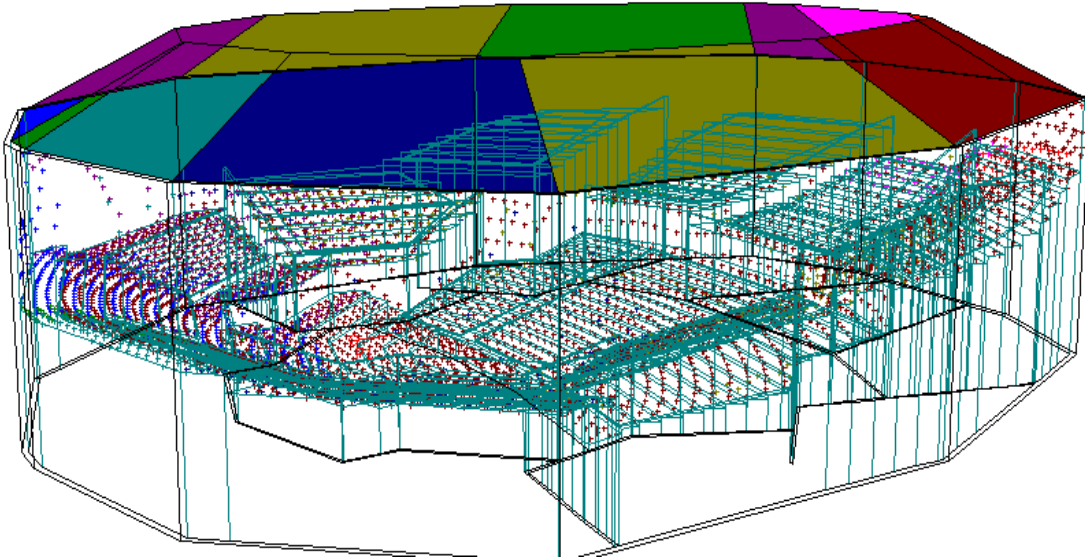
10 ve 19 no lu alıcılar ise LG 80 değerinin en düşük olduğu alıcı noktalarıdır. Geç yansımaların da az olması dinleyici için sarmalanmanın ve mekansal algılamının yetersiz olduğunu gösterir.

Salonda yansımaların oturma düzeylerinden üzerinden geçerek ulaşan 8, 9, 29 gibi arka üst platformdaki alıcılarda LF80 değerlerinde ön platformdaki alıcılara göre, ani düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak oturma düşüş etkisi (seat dip effect) verilebilir. Yan duvarlardan uzak olduğundan dolayı da yansıma alamamış, LG80 değerleri de zayıflamıştır.



Şekil 4.28 : Alıcının salondaki yeri

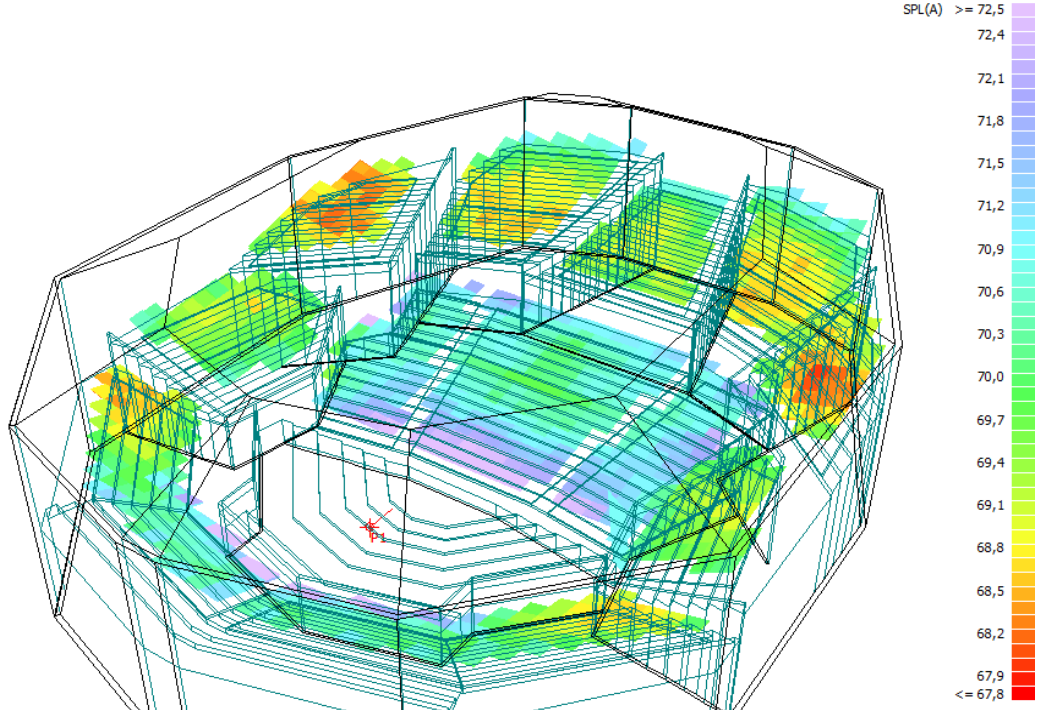
Şekil 4.28’de belirtilen platformlarda bulunan 17, 18, 19, 20, 21, 22 numaralı, sahne arkasında kalan alıcılar tavandan verimli yansımalar almalarına rağmen arka duvarın malzeme yutuculuğundan dolayı ses yutulduğundan arkadan gelen yansımalar azalmış, FBR (önden yansımaların arkadan gelen yansımaları oranı) yükselmiştir. FBR oranının yükselmesi sarmalanma hissini (LEV) zayıflatmaktadır.



Şekil 4.29 : A salonunun tavan yüzeyinin yansıma iletim şekli

Şekil 4.29’da tavan elemanının yansıttığı ses ışınlarının dağılımı verilmiştir. Dağılıma göre ilk yansımalar düz tavan formu nedeniyle sahnede ve sahne arkasında yüksek çıkmıştır. Şekil 4.30’da verilen ses basınç düzeyi grid analizine göre enerjinin

üst ve yan platformlara iletilmemesinden kaynaklanan yetersiz ses basınç düzeyi gözlenir. Sahne önünde ise belirtilen mor kısımlarda ses basıncının fazla olduğu gösterilmektedir.



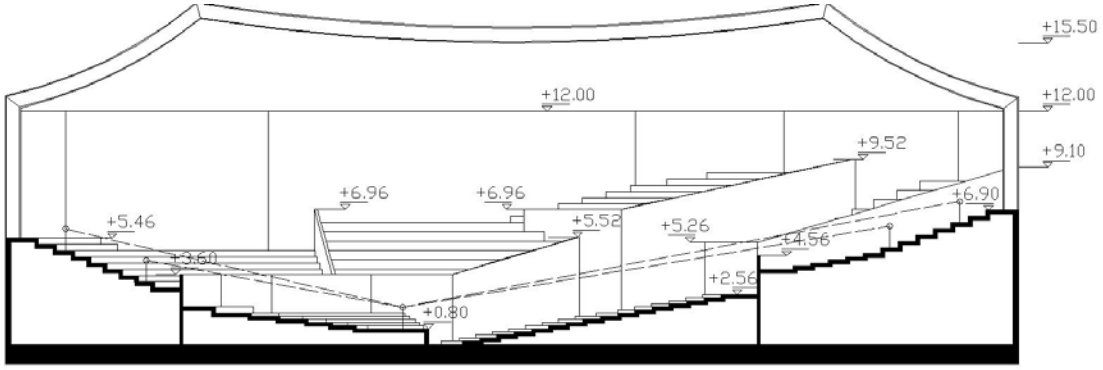
Şekil 4.30 : A salonunda ses basınç düzeyi grid analizi

4.1.2 Konveks tavanlı salon tasarımının akustik analizi (h: 15,5m)

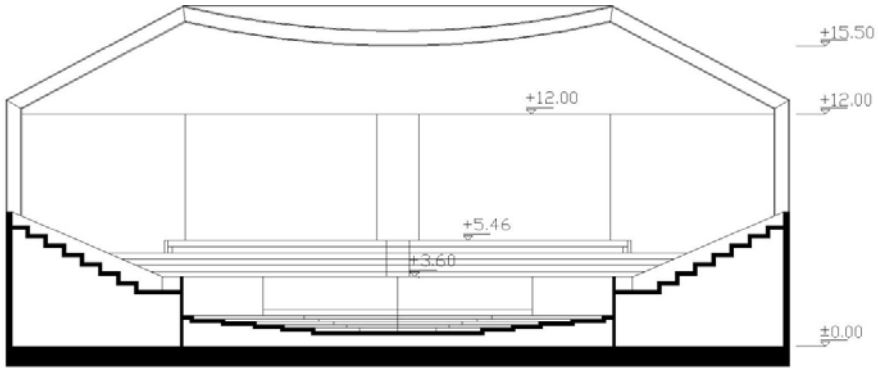
Salon B' de tavan yüksekliği 15.50m'de eğrisel olarak tasarlanmıştır. Varyasyonları yapılan ana salon şemasıdır. Genel olarak bütün karşılaştırmalarda bu salon şeması kullanılmıştır. Karşılaştırma yapılan salonların teknik verileri çizelge 4.2'deki gibidir. B salonunun kesit şemaları şekil 4.31 ve 4.32'deki gibidir.

Çizelge 4.2 : Karşılaştırma çizelgesi

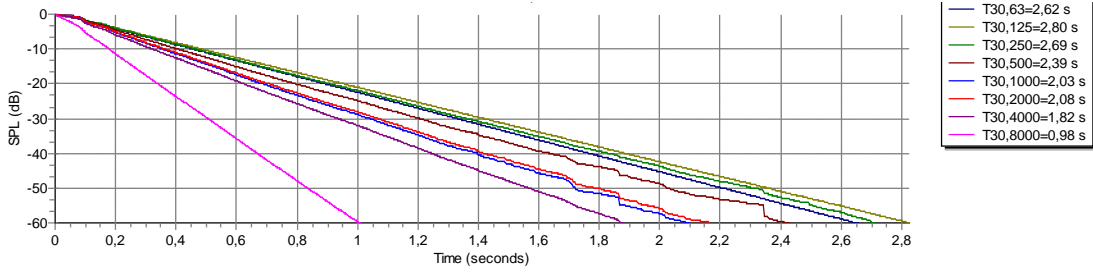
SALON ADI	HACİM (M3)	KİŞİ BAŞI (M3)	OTURMA KAPASİTESİ	TAVAN YÜKSEKLİĞİ (M)	EN UZAK KOLTUK (M)	TOTAL UZUNLUK (M)	SAHNE ALANI m2	KARŞILAŞTIRMA PARAMETRESİ
TAVAN ÖZELLİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRME								
SALON A	18058	9,6	1871	15,5	33	51,5	203	düz tavan
SALON B	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	konveks tavan
SALON C	18747	10,01	1871	15	33	51,5	203	konveks alçak tavan
SALON D	18732	10,01	1871	19,5	33	51,5	203	konkav yüksek tavan



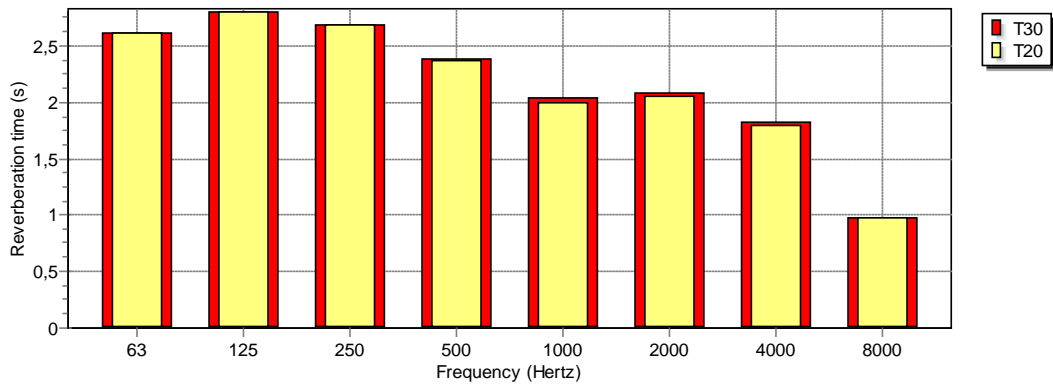
Şekil 4.31 : Eğrisel konveks tavanlı olarak tasarlanan salonun AA kesit şeması



Şekil 4.32 : Eğrisel konveks tavanlı olarak tasarlanan salonun BB kesit şeması

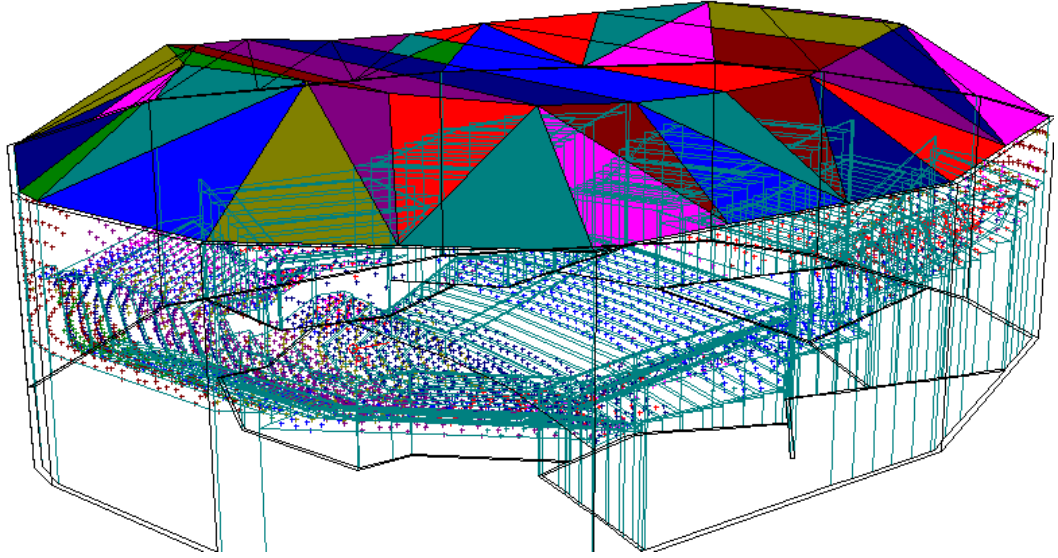


Şekil 4.33 : Eğrisel konveks tavan tasarımı kullanılan B salonunun frekansa bağlı ses azalım eğrileri

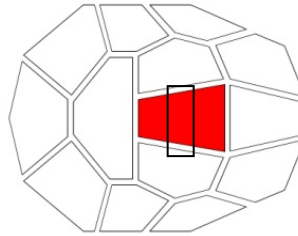


Şekil 4.34 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri

Şekil 4.33'te ve 4.34'te B salonunun çınlama süresi alçak frekanslarda daha yüksek, yüksek frekanslarda daha alçaktır. Salon boş iken ölçümler yapılmış ve 1000 Hz de T30 değeri 2, 03 s olarak çıkmıştır. Şekil 4.35'te tavan elemanının ilettiği yansımaların dağılımı verilmektedir. Şekilde tavan panelleri simülasyon programında yansıtıcı panel olarak atanmıştır. Böylece hangi panelin salonun hangi kısmına yansıma gönderdiği görülür. Örneğin kırmızı tavan panelinin taradığı alan kırmızı noktalarla gösterilmiştir. Tavan eğriselliğinin etkisi şekildeki gibi analiz edilmiştir. Tavan formu, Şekil4.36'da belirtilen, orta hölün 3, 4, 5 alıcılarının olduğu bir kısma ilk yansımaları vermemektedir. Ve bu noktalardaki alıcılarda EDT değerleri T30 değerlerinden 0,3 – 0,4 s daha düşük kaydedilmiştir. Buradaki alıcılar tavandan ziyade yanal yansımalarından yararlanırlar.



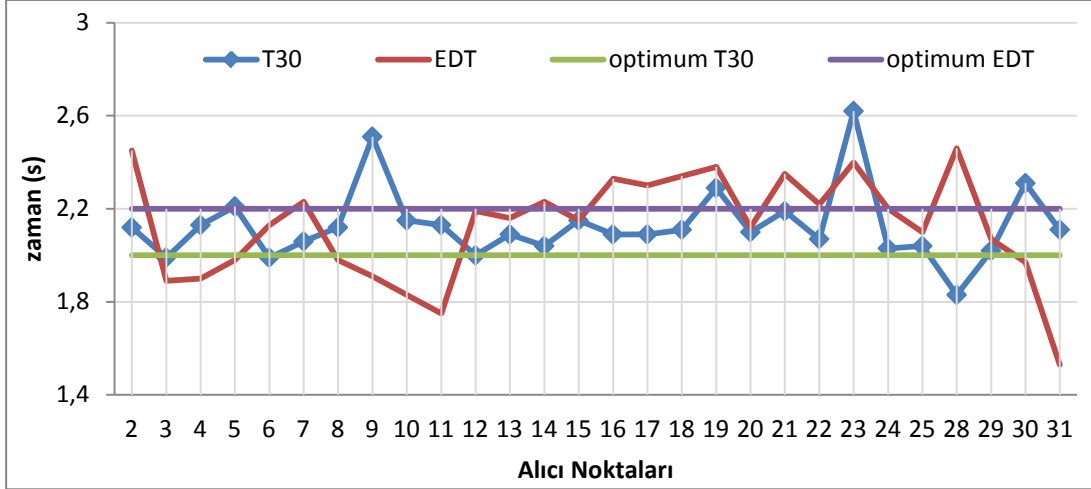
Şekil 4.35 : B salonu tavan yüzeyinin yansıma iletim şekli



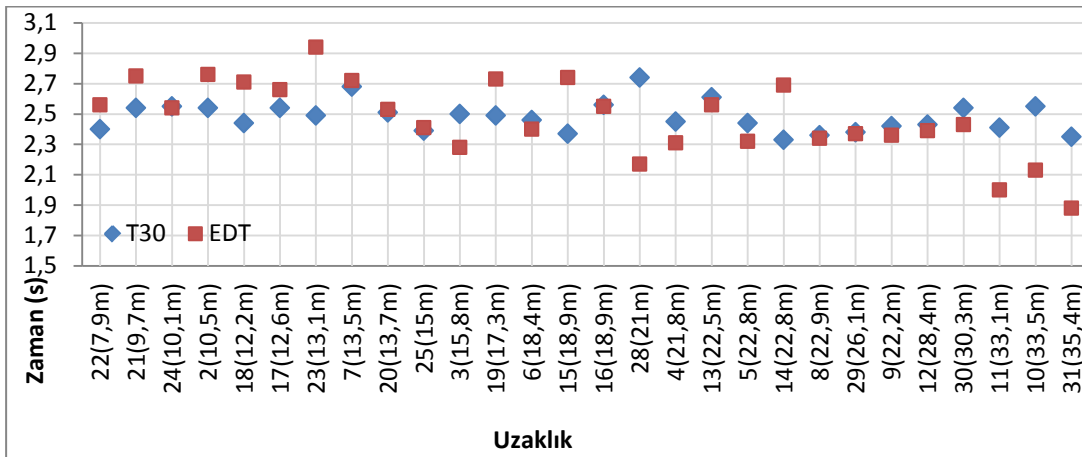
Şekil 4.36 : Tavan formu nedeniyle yansıma alamayan alan

B salonunda tavan tasarımında konveks formun analizi yapılmıştır. Bu formun önerilmesinin amacı sahne ve çevresinde yoğunlaşan yansımaları arka kısımlara iletmektir. B salonun için T30 ve EDT karşılaştırmalı grafiği 4.37'de verilmiştir.

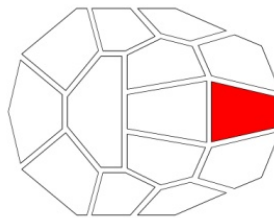
Noktalar A salonuna göre optimum aralığa daha çok yaklaşmışlardır. Şekil 4.38’de salonda mesafeye bağlı, alıcıların EDT ce T30 karşılaştırmaları bulunmaktadır. Genel olarak mesafe arttıkça EDT değerleri düşmektedir. T30 değeri ise kendi içerisinde A salonuna göre daha sabit bir hal almıştır.



Şekil 4.37 : B salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT değerleri



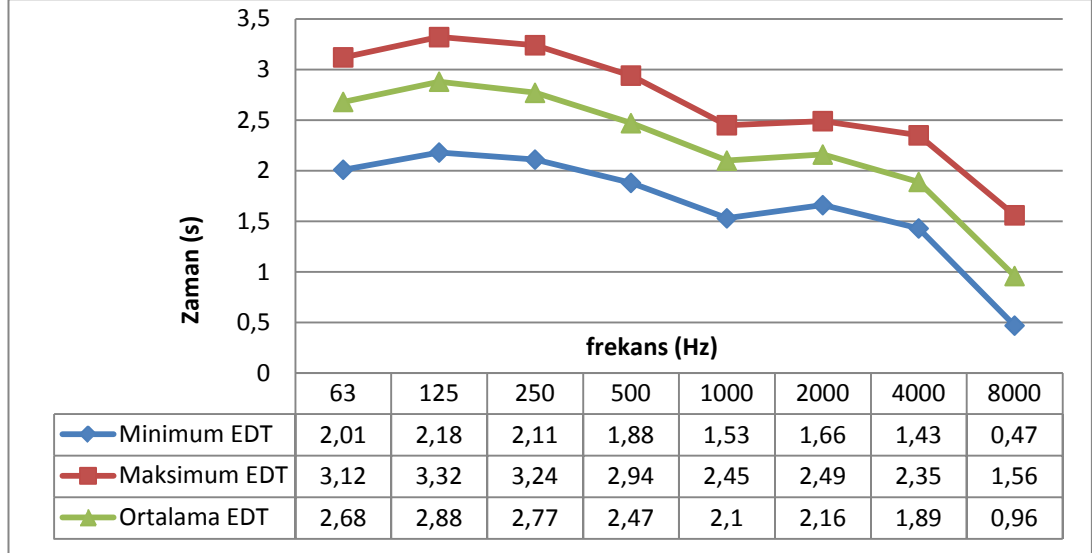
Şekil 4.38 : B salonunun mesafeye bağlı alıcıların EDT ve T30 değerleri



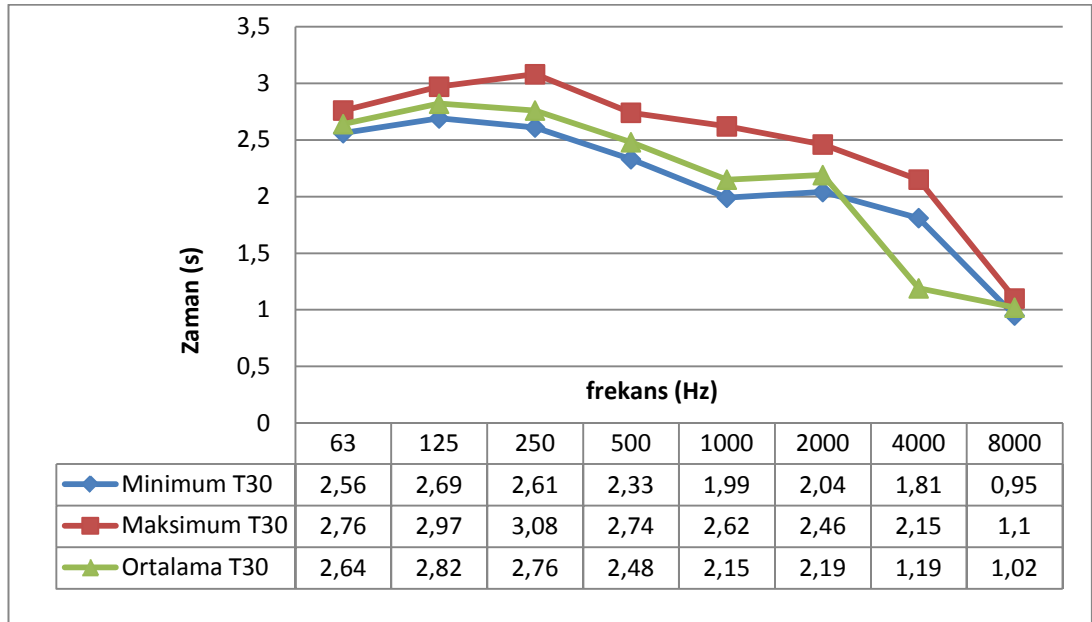
Şekil 4.39 : Alıcının yeri

Değerlere göre T30 değeri tavan formundan çok etkilenmemiştir. Fakat EDT değeri özellikle Şekil 4.39’da belirtilen salonun arka kısımlardaki 28, 29 numaralı alıcılarda yükselmiştir. Arka kısımlara iletilen erken yansıma ile buradaki EDT değerleri

yükselmiştir. EDT değerleri T30 ile dengeli bir hale gelmiştir. Şekil4.40’da B salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama değerleri verilmiştir. Şekil 4.41’de B salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama değerleri verilmiştir. Değerlere göre yüksek frekanslar ortamın yutuculuğundan daha çok etkilendiği için düşük çıkmıştır.

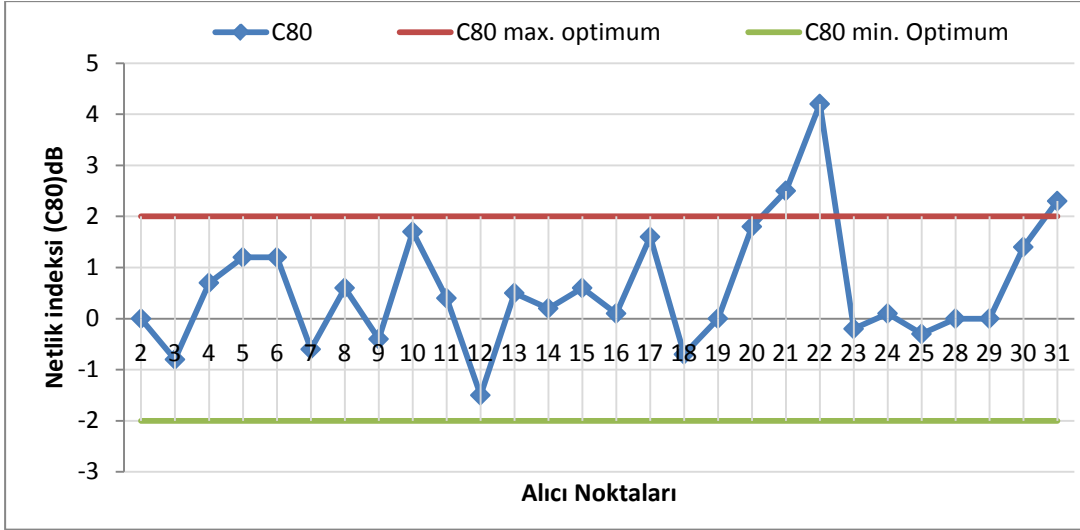


Şekil 4.40 : B salonunu maksimum, minimum, ortalama EDT değerleri verilmiştir.

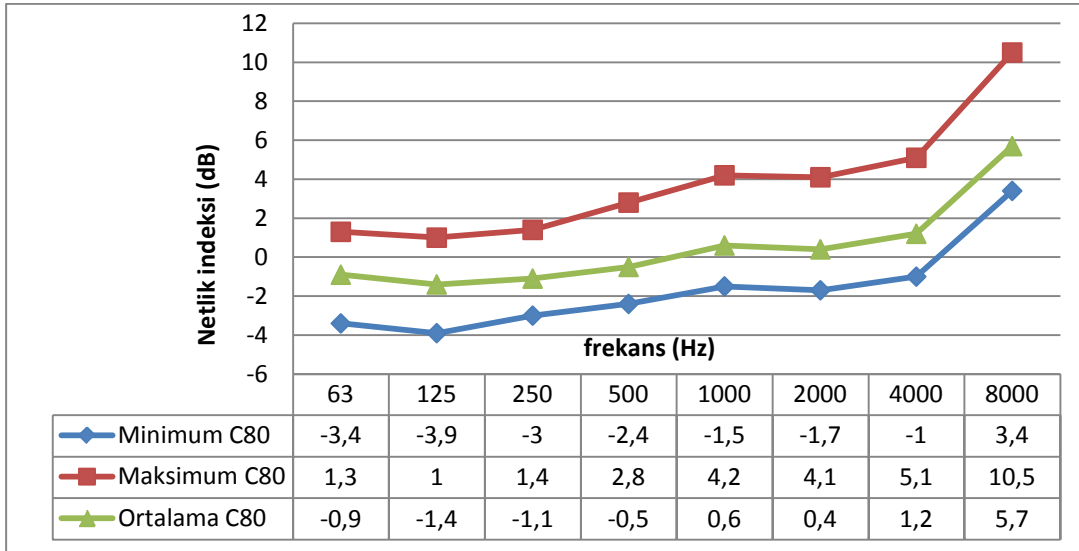


Şekil 4.41 : B salonunun maksimum, minimum, ortalama T30 değerleri verilmiştir.

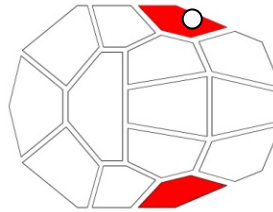
Değişen EDT değerlerine göre C80 değerleri Şekil 4.42’teki gibidir. C80 değerlerinin frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama değerleri Şekil 4.43’teki gibidir.



Şekil 4.42 : B salonunda alıcılara bağlı C80 grafiği

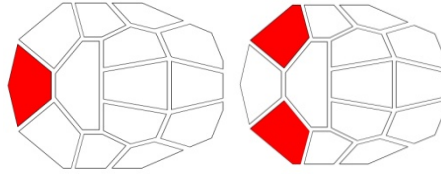


Şekil 4.43 : B salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama C80 değerleri



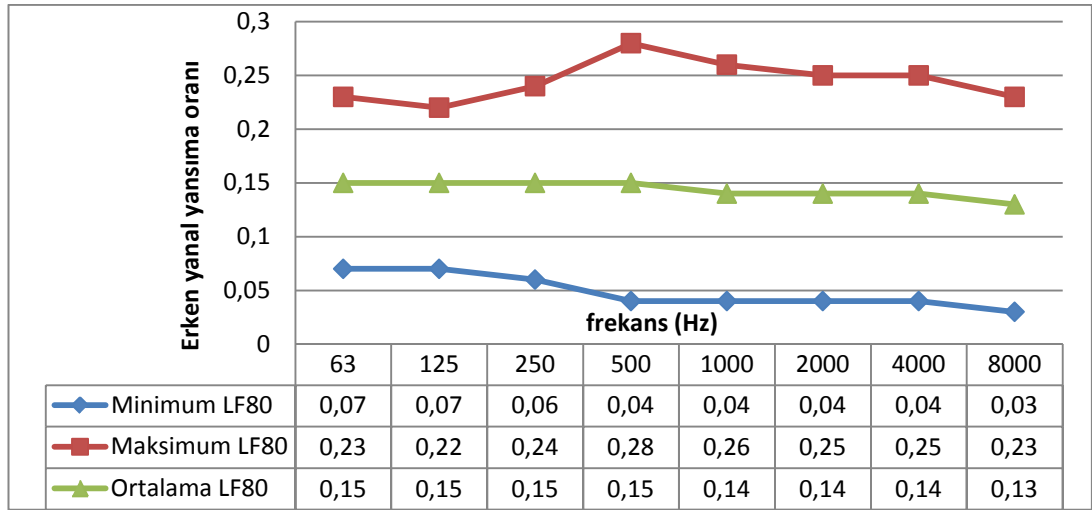
Şekil 4.44 : 12 numaralı alıcı

A salonunda en kötü nokta olarak belirlenen Şekil 4.44'te belirtilen 12 numaralı alıcının C80 değeri -3.8dB'den 1.5dB'ye yükselerek optimum değerler arasına girmiştir. Salonun genel çizelgesine bakıldığında erken yansımaların artmasından kaynaklanan C80 artışı olmuştur.

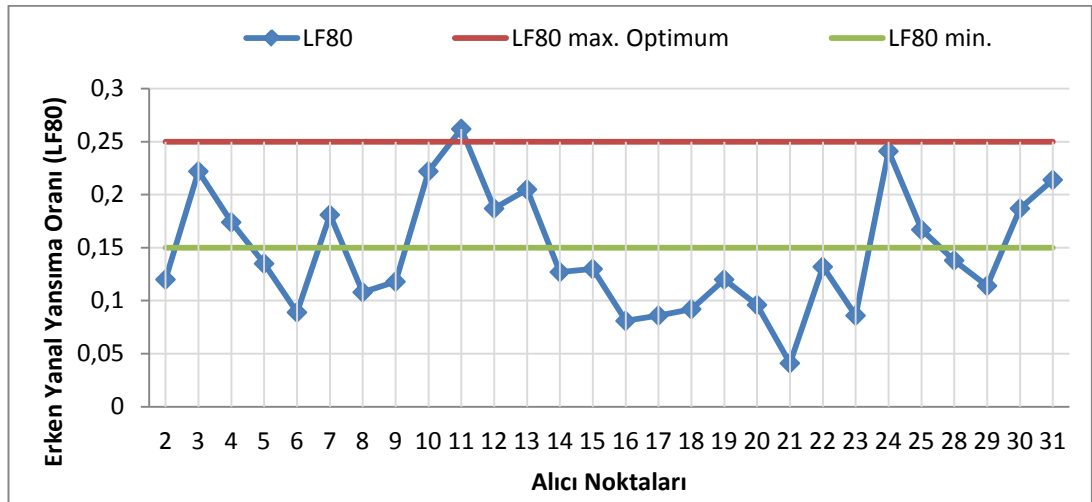


Şekil 4.45 : Alıcının yeri

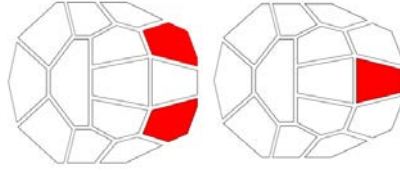
Kaynağın tam arkasında Şekil 4.45'te belirtilen platformlarda bulunan alıcılar için direkt ses yüksekliği kaynağa yakınlık açısından yükselmiştir. Fakat yanıl yansımaların azlığı nedeniyle C80 değeri olumsuz yönde yüksek çıkmıştır. Erken yanıl yansımaların oranı Şekil 4.47'de verildiği gibidir. Şekil 4.46'da LF80'in frekansa bağı maksimum, minimum, ortalama değeri verilmiştir.



Şekil 4.46 : B Salonunda frekansa bağı maksimum, minimum, ortalama LF80 değeri

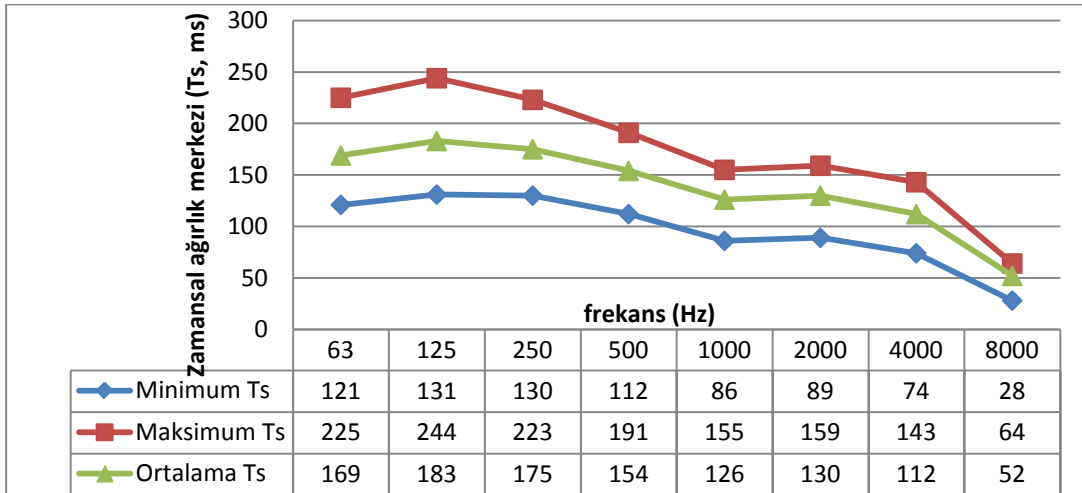


Şekil 4.47 : B salonunda alıcılara bağı LF80 grafiği

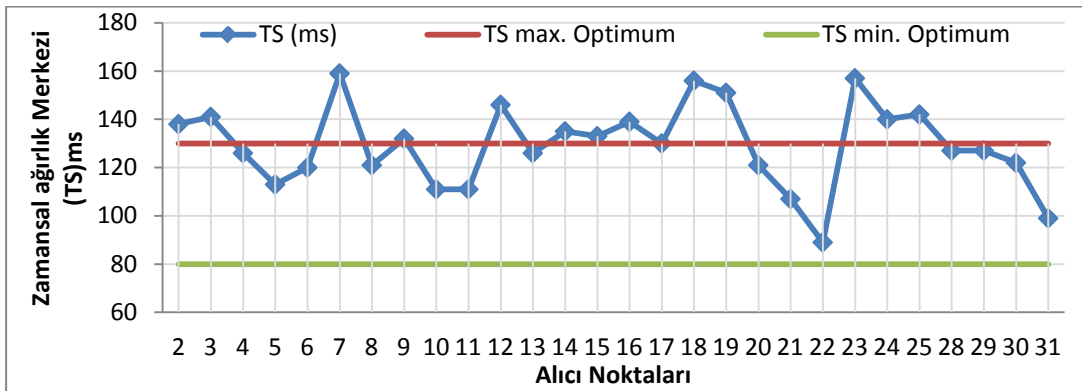


Şekil 4.48 : Alıcının yeri

Şekil 4.48’de belirtilen platformlarda bulunan 8, 9, 29, 30 gibi salonun arka kısımlarındaki alıcı noktalarında LF80 değerleri yükseltilmiştir. Genel olarak bütün alıcı noktalarında bir yükselme görülmüştür. Tavan formu arka kısımları iletilen yansımayı artırmıştır. Erken yansımaları gösteren diğer parametre TS grafiği şekil 4.50’de verilmiştir. Grafiğe göre TS değerli A salonuna göre daha çok optimum aralığa girmiştir. Bu da erken yansımaları arttığını göstermektedir. Şekil4.49’da B salonunda frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama TS değerleri verilmiştir.

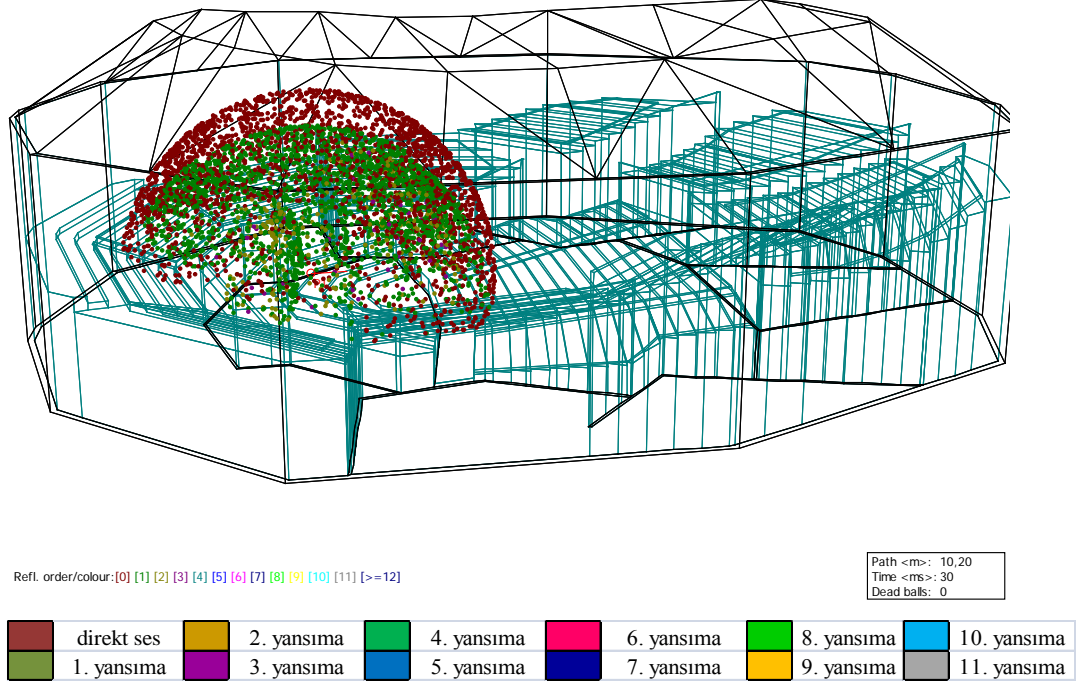


Şekil 4.49 : B salonunda maksimum, minimum, ortalama TS değerleri

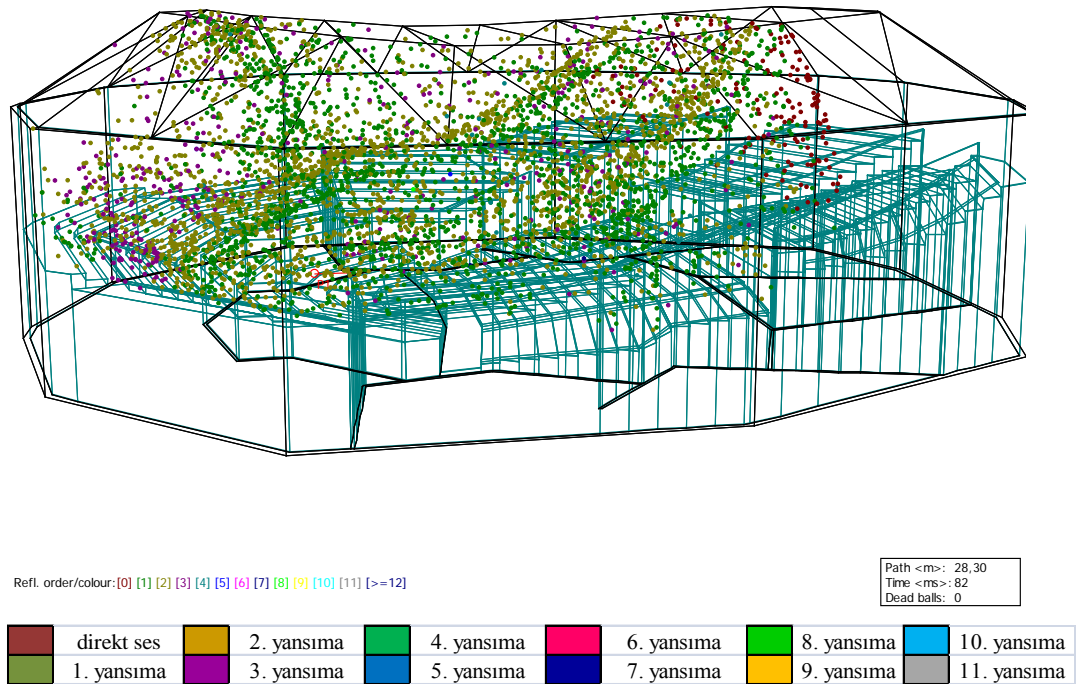


Şekil 4.50 : B salonunda orta frekansta alıcılara bağlı TS değerleri

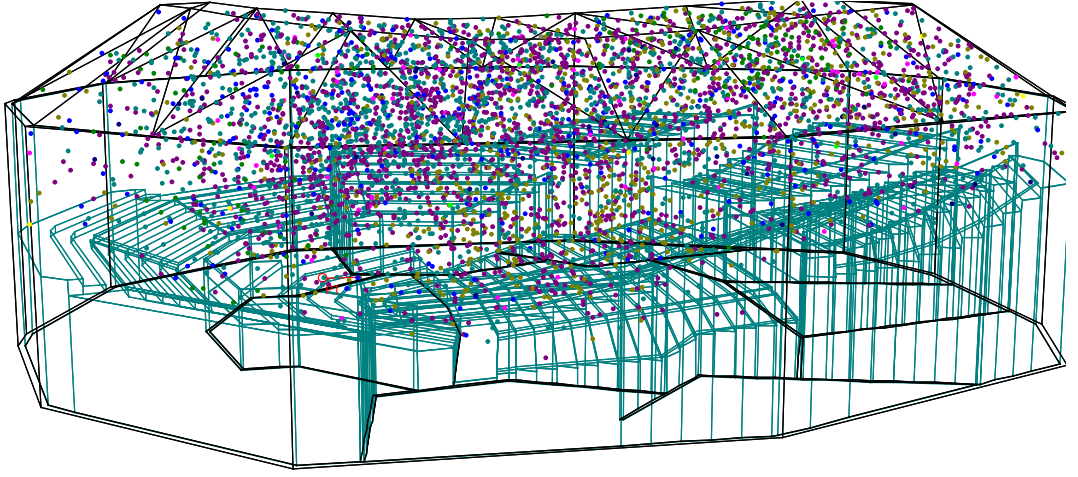
B salonunda noktasal direkt ses ve yansımaların 30., 82. ve 148. saniyelerdeki noktasal dağılımı sırasıyla Şekil 4.51, 4.52, 4.53 'teki gibidir. B salonunda ses dağılımı bir yerde toplanmadan bütün salon hacmi içerisinde dağılmaktadır. Salonun arka kısımlarına daha fazla yansıma iletilmesi bu parterlerde bulunan alıcıların dinleme koşullarını düzeltmektedir.



Şekil 4.51 : 30. saniyedeki noktasal yansıma analizi



Şekil 4.52 : 82. saniyedeki noktasal yansıma analizi



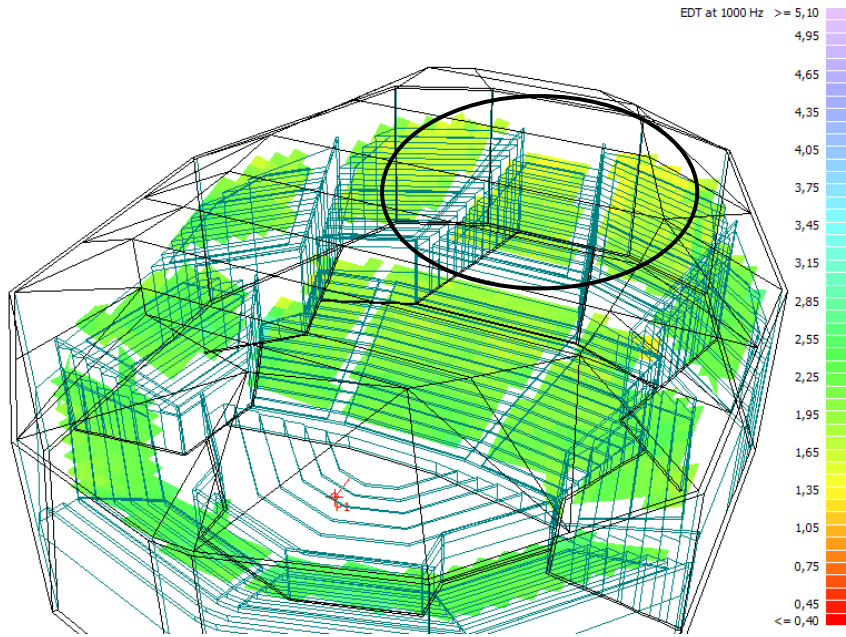
Refl. order/colour: [0] [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [>=12]

Path <m>: 50,80
Time <ms>: 148
Dead balls: 0

direkt ses	2. yansıma	4. yansıma	6. yansıma	8. yansıma	10. yansıma
1. yansıma	3. yansıma	5. yansıma	7. yansıma	9. yansıma	11. yansıma

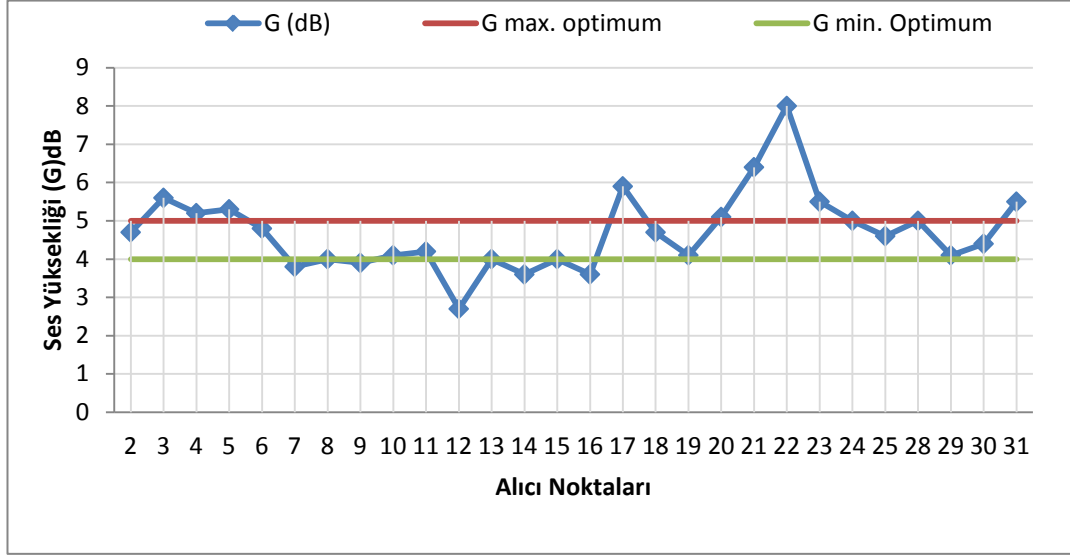
Şekil 4.53 : 148. saniyedeki noktasal yansıma analizi

Şekil 4.54'te B salonunun 1000 Hz'deki EDT grid analizi verilmiştir. Genel olarak bütün parterler birbirine yakın değerler almıştır. Erken düşme süreleri direkt sesin yeterli seviyede salonun arka kısımlarına ulaşamaması nedeniyle ve arka duvarların yutuculuğu nedeniyle, sahneden uzak olan salonun arka bölümlerinde düşük çıkmıştır

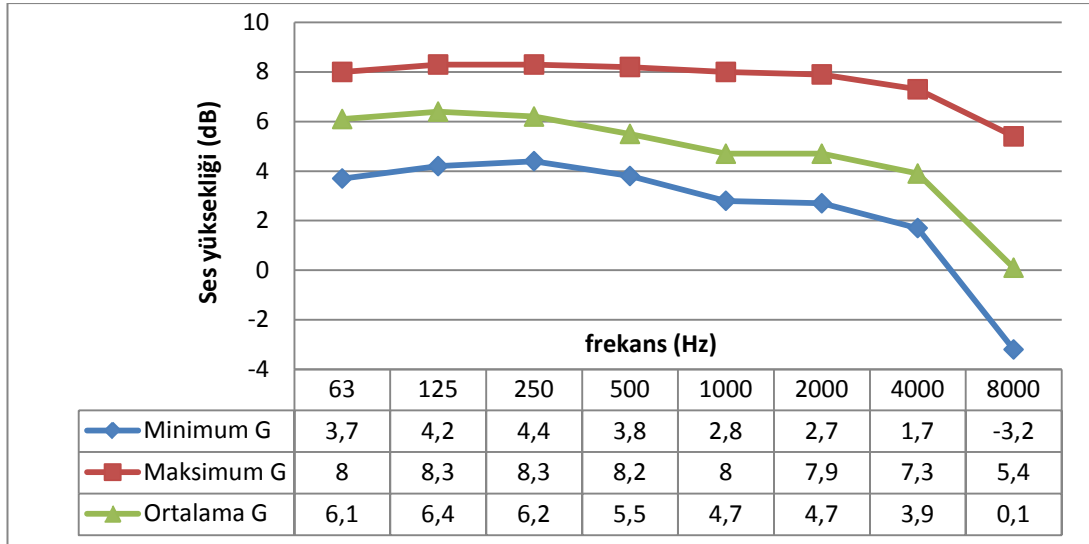


Şekil 4.54 : Erken düşme süresinin (EDT, early decay time) dinleyici alanındaki grid analiz

Şekil 4.55'te EDT ve C80 değerlendirmeleri yapılan salonun, tavan formunun ses yüksekliği (G) açısından etki analiz grafiği verilmiştir. Şekil 4.56'da B salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama G değerleri verilmiştir. B salonunda minimum ve maksimum değerler arasındaki fark A salonuna göre daha az çıkmıştır.

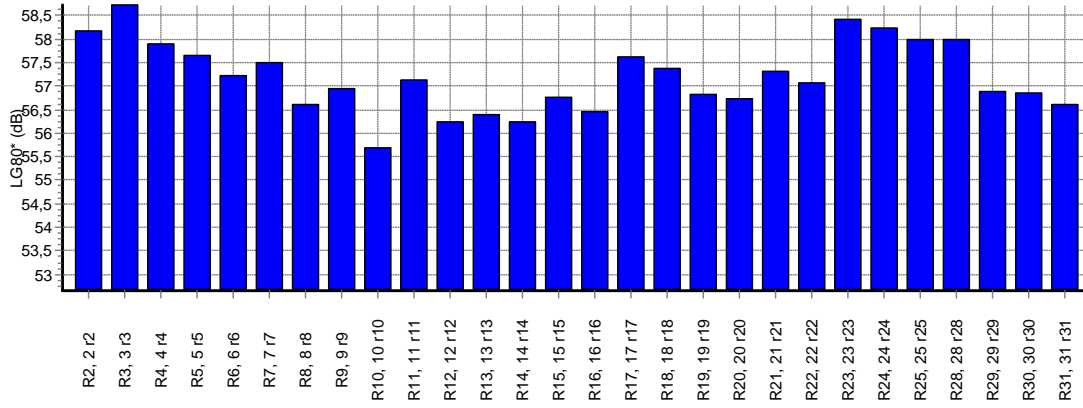


Şekil 4.55 : B salonunun ses yüksekliği (G) grafiği



Şekil 4.56 : B salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum ve ortalama G değerleri

A salonundaki dağılıma göre daha homojen bir dağılım olmuştur. Ses yüksekliğine bağlı olarak geç yanal yansımaların analizi Şekil 4.57'deki gibidir. A salonunda ani azalış ve artışlar gözlenirken B salonunda geç yanal yansımaların dağılımı platformların konumlarına göre kademelenerek değişir.



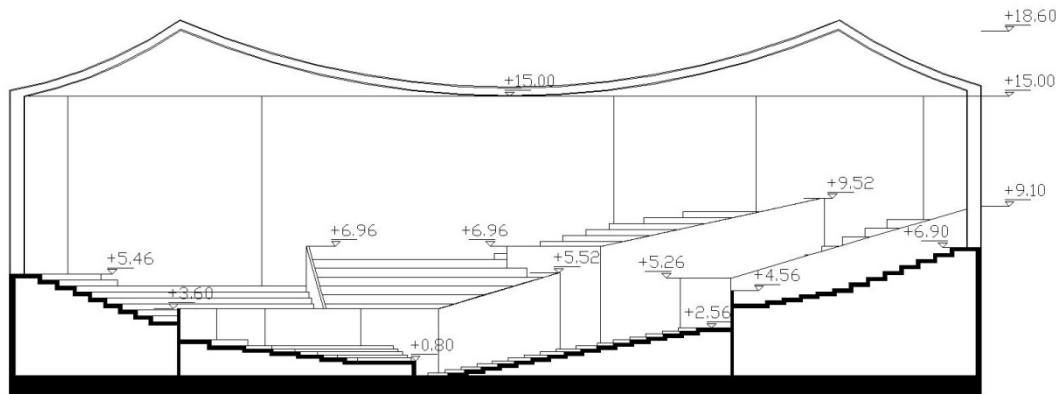
Şekil 4.57 : B salonunun geç yanal yansıma ses yüksekliği (LG 80) grafiği

4.1.3 Konveks tavanlı salon tasarımının akustik analizi (h: 15,0m)

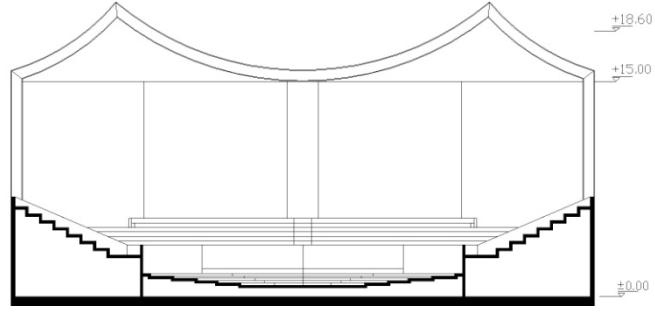
Salon C 'de tavan yüksekliği 15,0 m 'de konveks olarak tasarlanmıştır. Çizelge 4.4'te karşılaştırılan salonların teknik bilgileri verilmektedir. Şekil 4.58 ve 4.59'da salonun kesit şemaları verilmiştir. Kesit şemalarına göre salon tavanı yükseltilmiş, orta noktası alçaltılmıştır. Böylece tavan formunun ve yüksekliğinin etkisi hacim değişmeden irdelenebilmiştir.

Çizelge 4.3 : Karşılaştırılan salonların teknik verileri

SALON ADI	HACİM (M3)	KİŞİ BAŞI OTURMA KAPASİTESİ	TAVAN YÜKSEKLİĞİ (M)	EN UZAK KOLTUK (M)	TOTAL UZUNLUK (M)	SAHNE ALANI m2	KARŞILAŞTIRMA PARAMETRESİ	
TAVAN ÖZELLİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRME								
SALON A	18058	9,6	1871	15,5	33	51,5	203	düz tavan
SALON B	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	konveks tavan
SALON C	18747	10,01	1871	15	33	51,5	203	konveks alçak tavan
SALON D	18732	10,01	1871	19,5	33	51,5	203	konkav yüksek tavan

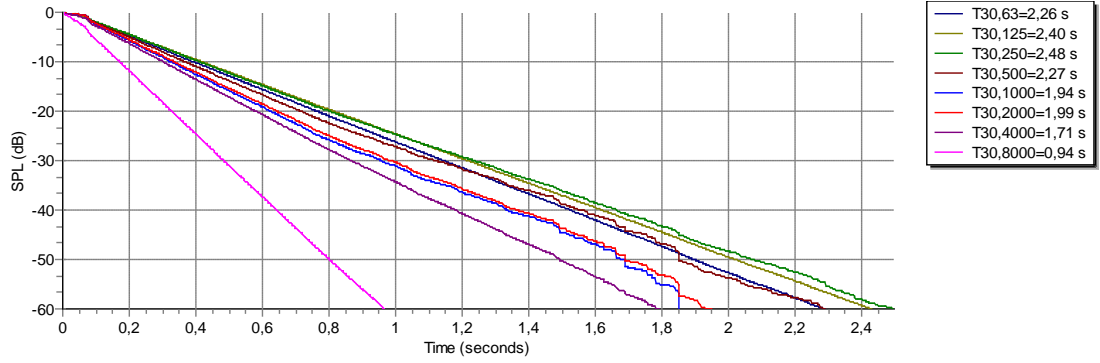


Şekil 4.58 : Eğrisel konveks tavan tasarımı salonun AA kesit şeması

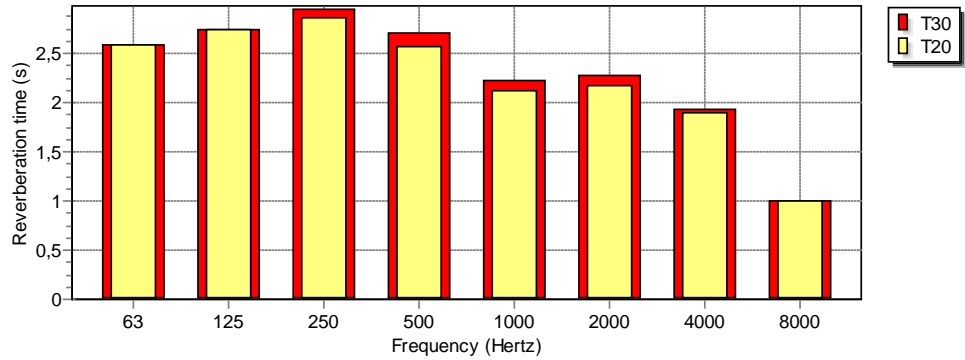


Şekil 4.59 : Eğrisel konveks tavan tasarımı salonun BB kesit şeması

Şekil 4.60 ve 4.61’de salonun frekanslara bağlı çınlama süreleri verilmiştir. Hacmin azalmasına bağlı olarak RT değeri diğer boş salonlarda yapılan ölçüm 2,03s gibi çıkarken bu salonda RT artmış ve 2,23 s çıkmıştır.

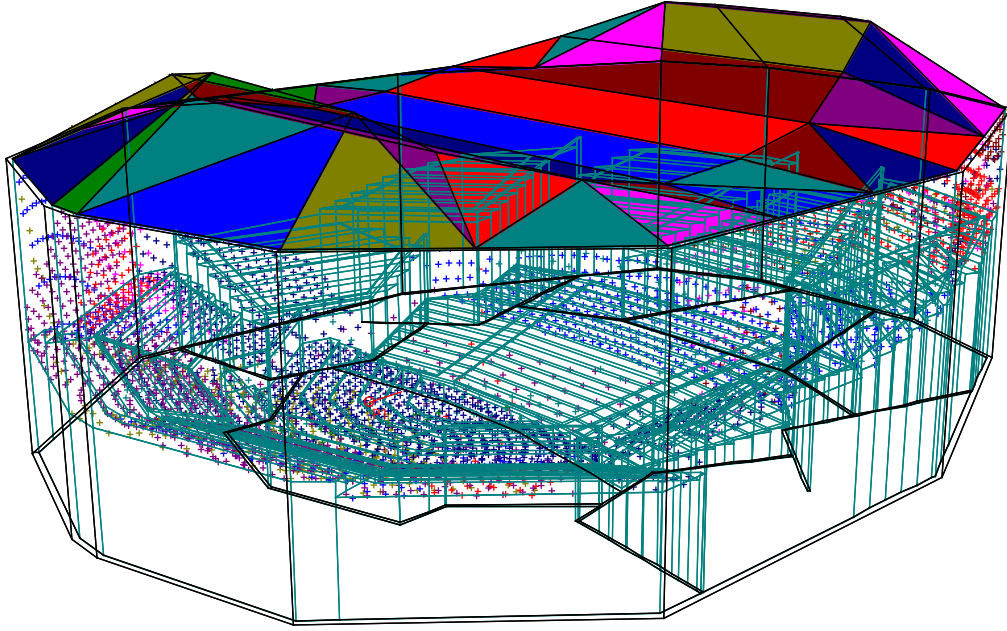


Şekil 4.60 : Eğrisel konveks tavan tasarımı salonun frekansa bağlı düşüş eğrisi



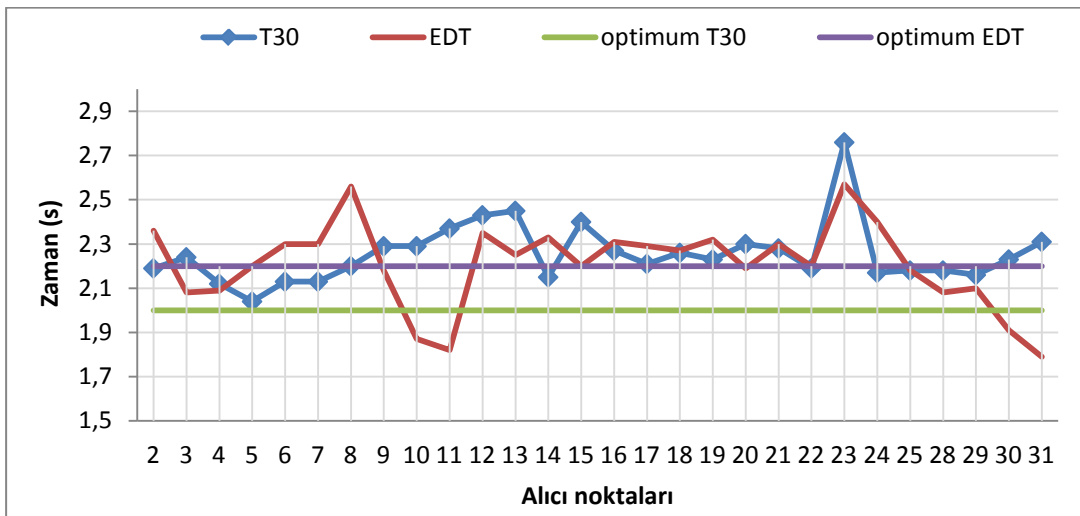
Şekil 4.61 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri

Şekil 4.62’de tavandan alınan yansımaların dağılım grafiği verilmiştir. Tavanın formu nedeniyle orta platformdaki alıcı bölümü tavandan erken yararlı yansımalar alamamaktadır. Bu nedenle T20 değeri düşmüş, geç yansımalar da azalmıştır. Sarmalanma hissi buralardaki alıcılarda zayıflayacaktır.

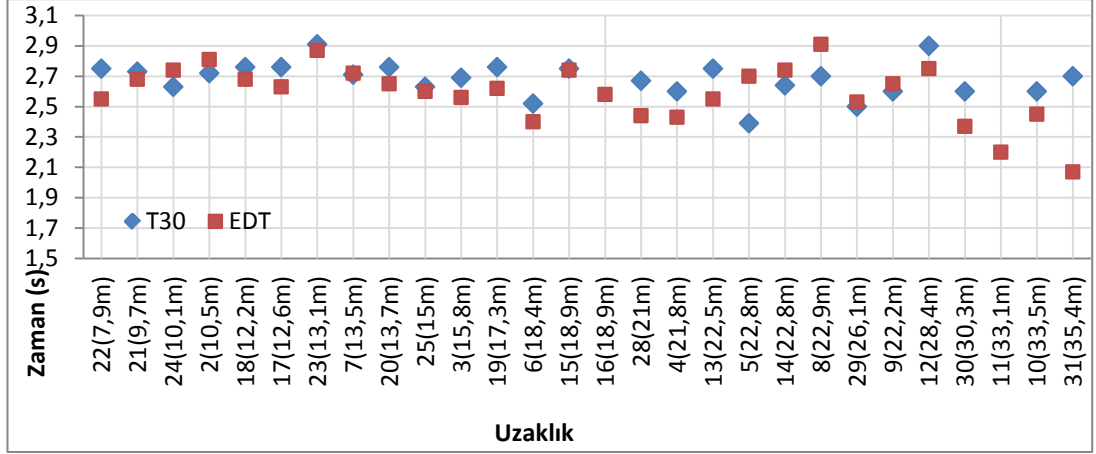


Şekil 4.62 : C salonunda tavan yüzeylerinin yansımaya iletim şekli

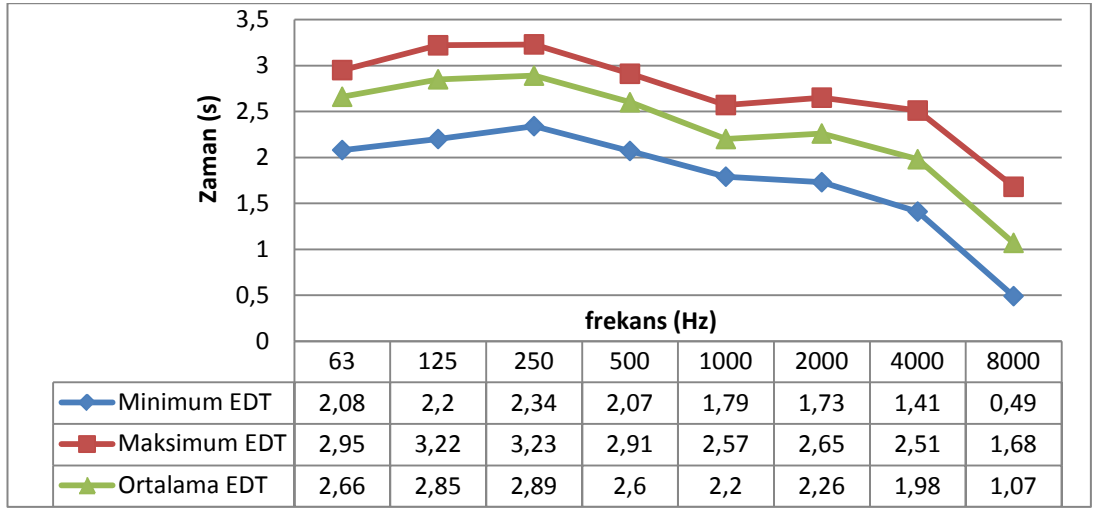
Erken yansımaların analiz edildiği T30 ve EDT grafiği şekil 4.63'teki gibidir. Salonun arka kısmındaki alıcı noktalarında EDT değerleri düşmüştür. Bu kısımlarda yetersiz erken yansımalar görülür. Salonun genel değerlerine bakıldığında da EDT değerlerinin düştüğü görülür. Şekil 64'te C salonunda mesafeye bağlı alıcı noktalarının EDT ve T30 değerleri verilmektedir. Şekil 65'te C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama EDT değerleri verilmektedir. Şekil 66 'da C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama T30 değerleri verilmektedir.



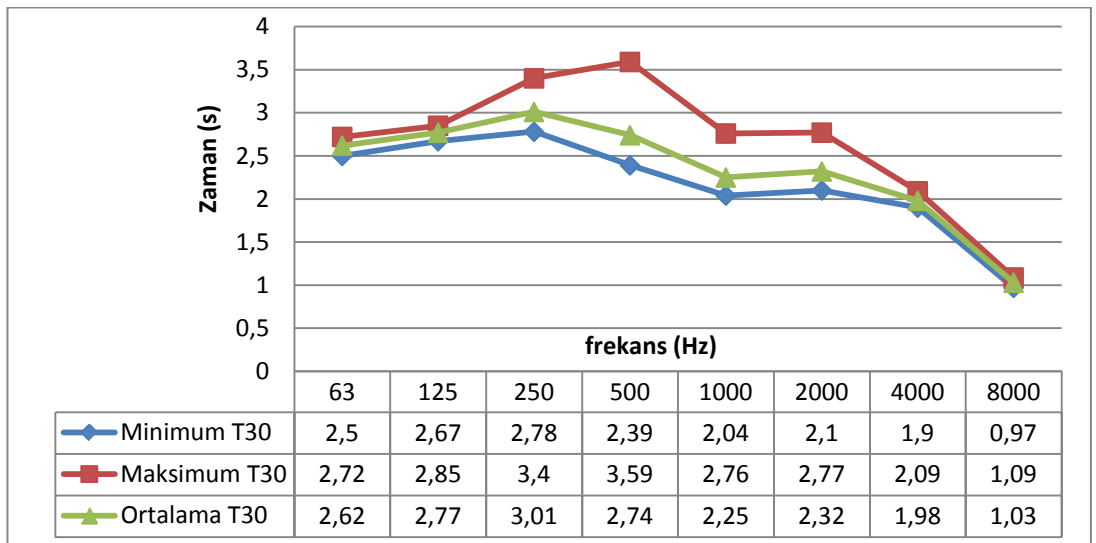
Şekil 4.63 : C salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT grafiği



Şekil 4.64 : C salonunda mesafeye bağlı alıcıların EDT ve T30 değerleri

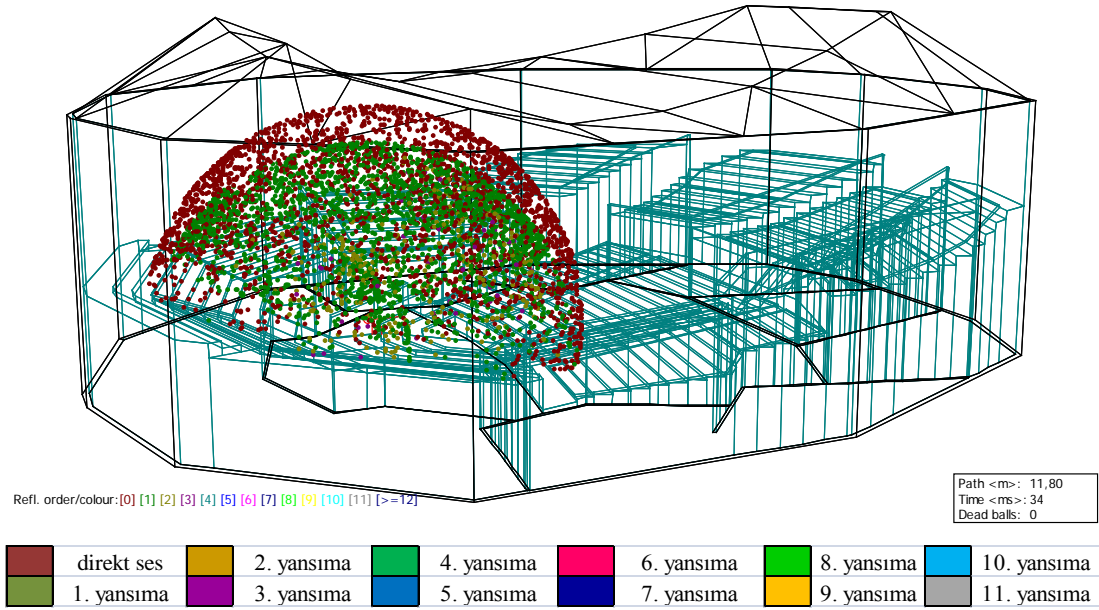


Şekil 4.65 : C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama EDT değerleri

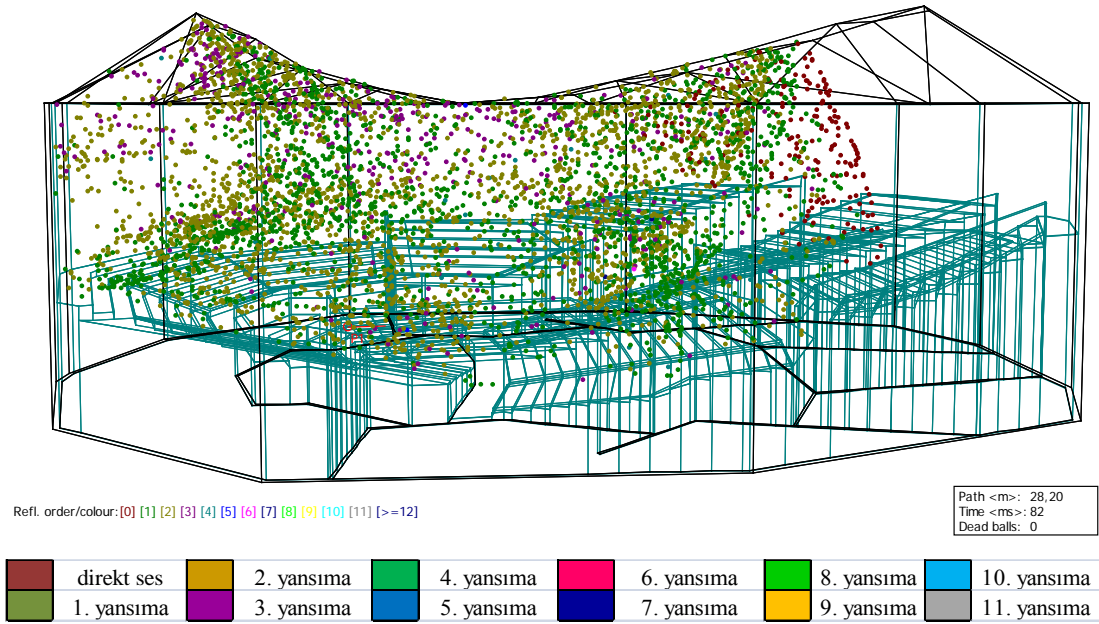


Şekil 4.66 : C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama T30 değerleri

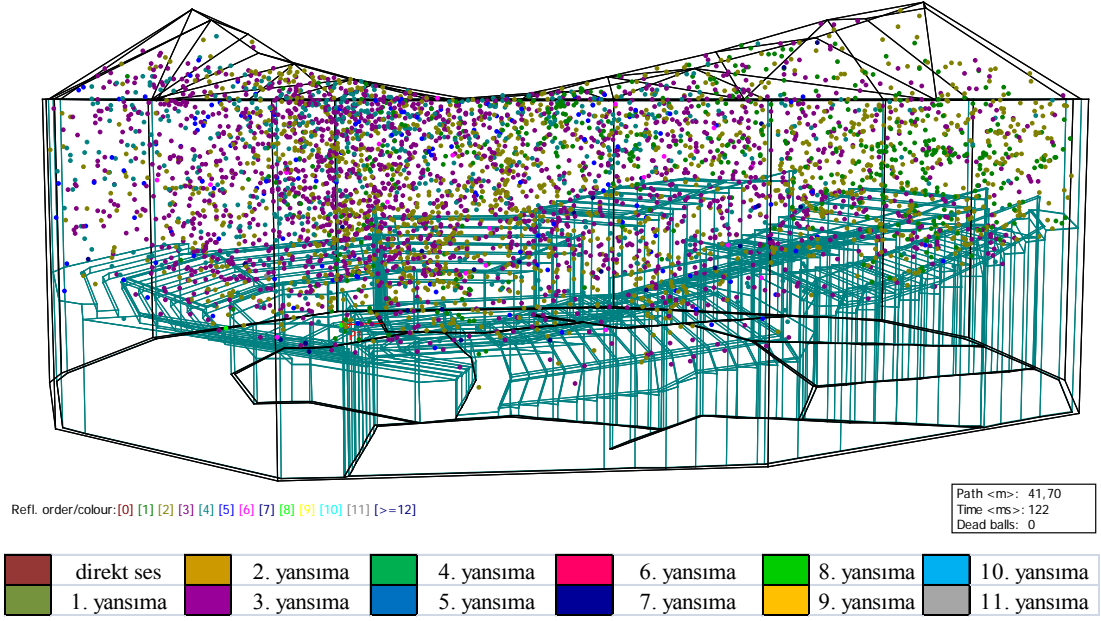
Şekil 4.67, 4.68, 4.69 'da yansımaların noktasal kaynaktan dağılımı sırasıyla 34., 82., 122. saniyelerde irdelenmiştir. Yansımaların renkleri şekildeki numaralara ilk yansımalar konveks tavanın alçaklığı nedeniyle iki ana kısma ayrılarak sahnenin arka kısmına ve ön kısmına aktarılır. Tavan formunun etkisiyle sahnedeki erken yansımalar zayıflar.



Şekil 4.67 : 34. saniyedeki noktasal yansıma analizi

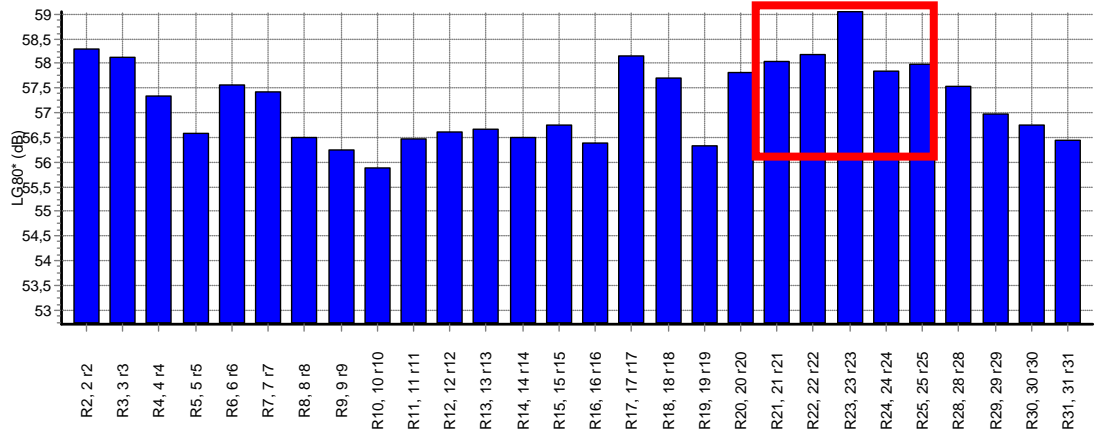


Şekil 4.68 : 82. saniyedeki noktasal yansıma analizi

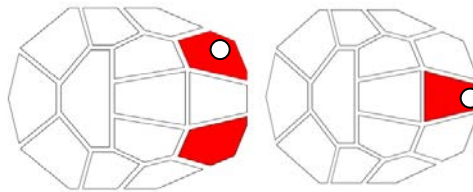


Şekil 4.69 : 122. saniyedeki noktasal yansima analizi

Şekil 4.70'te verilen geç yanal yansima (LG80) grafiğine bakıldığı zaman yansımaların özellikle sahne arkasında toplandığı görülür. Bu toplanma nedeniyle de sahne yan platformlarında bu noktalara göre geç yanal yansima oranı çok daha azdır.

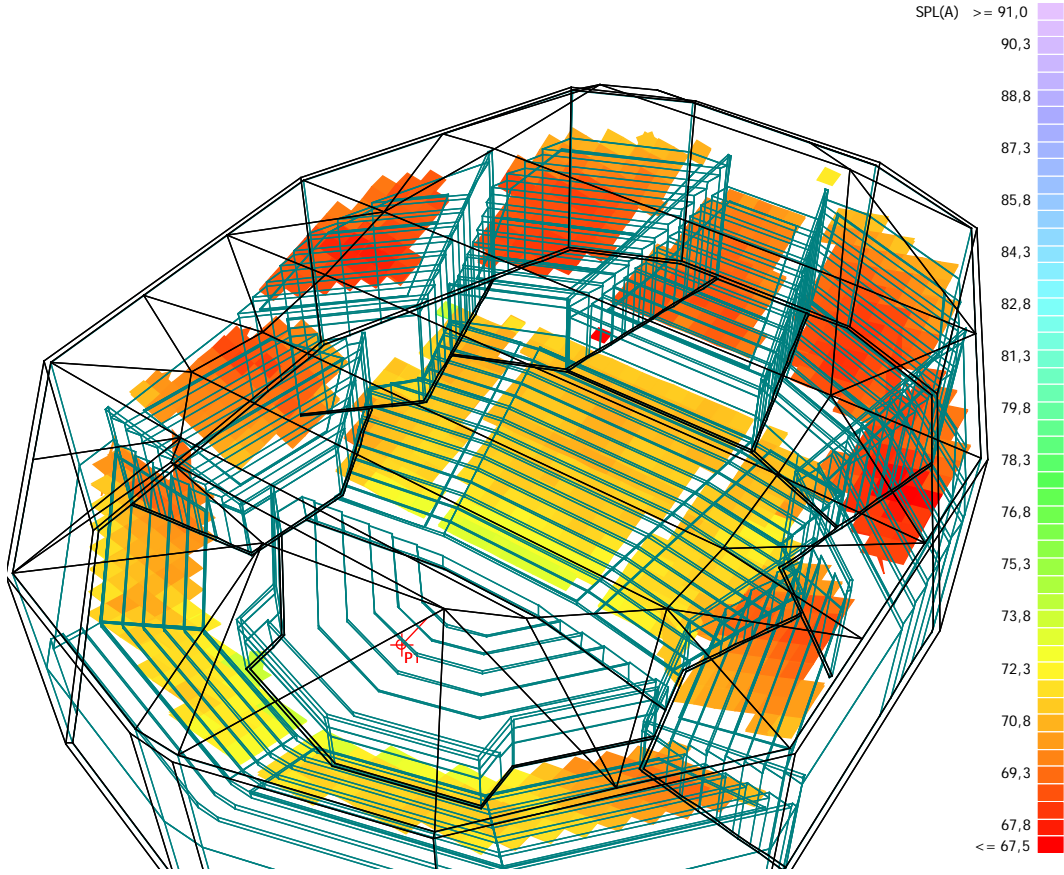


Şekil 4.70 : C salonunun alıcılara bağlı LG 80 grafiği



Şekil 4.71 : Alıcıların konumu

Şekil 4.71’de belirtilen platformlarda bulunan 10, 11, 12 , 30, 31 numaralı alıcılarda en düşük EDT değerleri çıkmıştır. Salonun arka kısmındaki alıcılarda EDT değeri ile birlikte LG80 değeri de düşük çıkmıştır.

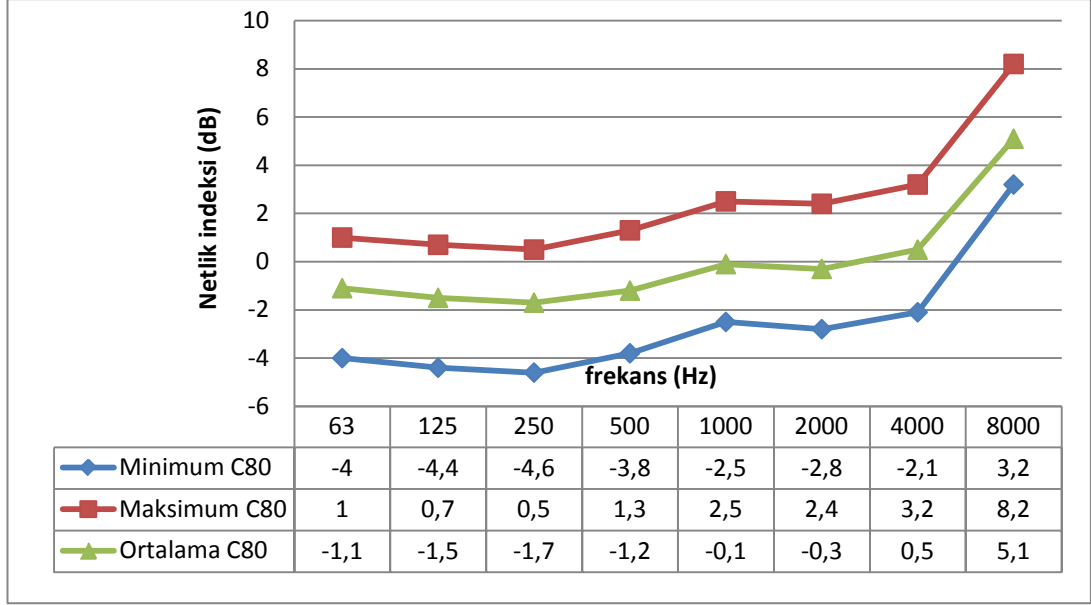


Şekil 4.72 : C salonu için SPL grid analizi

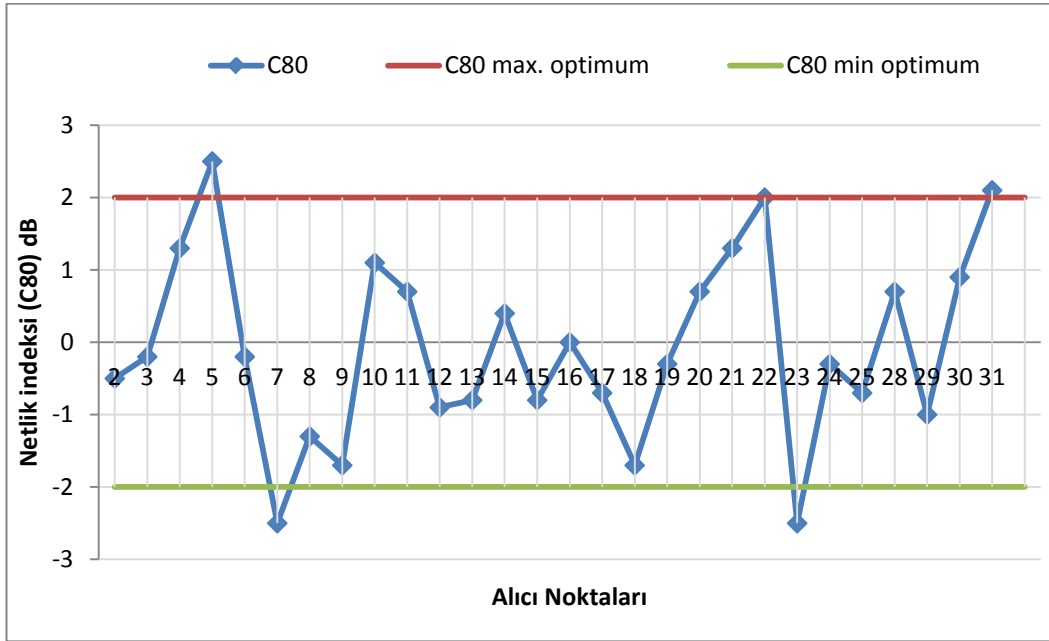
Şekil 4.72’de C salonun ses basınç düzeyi grid analizi verilmiştir. Salonun arka platformlarına iletilen enerjinin azalmasından dolayı bu noktalardaki SPL değerleri diğer platformlara göre daha az çıkmıştır. Özellikle sahne önü ve arkasında ses basınç düzeyleri yükselmiştir. SPL değerlerinin yükselmesine bağlı olarak netlik indeksi bu noktalarda olumsuz şekilde yükselmektedir.

Şekil 4.73’te C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama C80 değerleri verilmiştir. Yüksek frekanslara doğru yansımaların azalmasıyla salonun genelinde C80 değeri yükselmiştir.

C salonunun netlik analizini gösteren C80 parametresi, Şekil 4.74’deki gibidir. Salondaki dengesiz yansıma dağılımı göre alıcı noktalarında ya çok kuru ya da çok boğuk ses algısına neden olmuştur. Alıcıların konumlarına göre aldıkları erken yansımalar değişmektedir. Erken yansımaların artmasıyla C80 değeri artmaktadır.

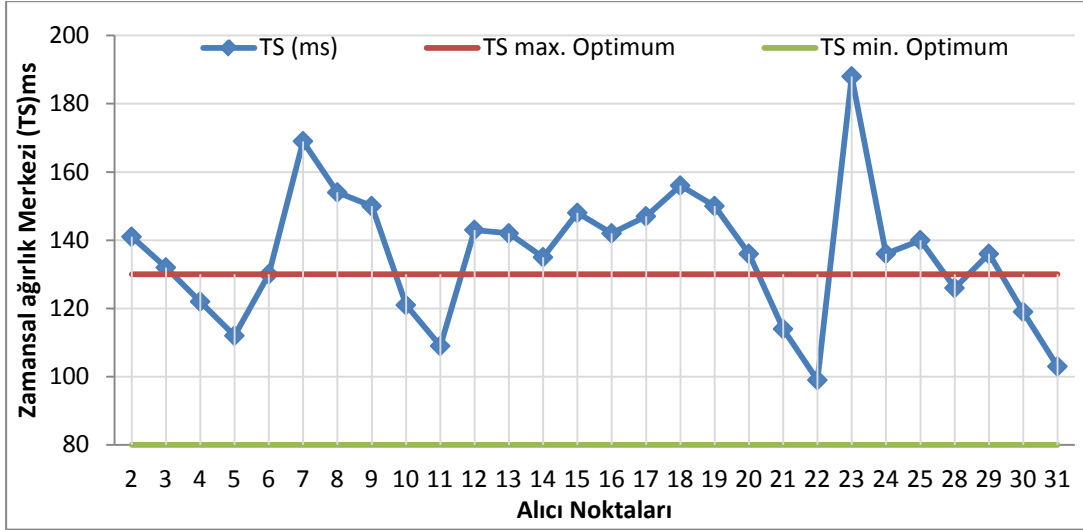


Şekil 4.73 : C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama C80 değerleri

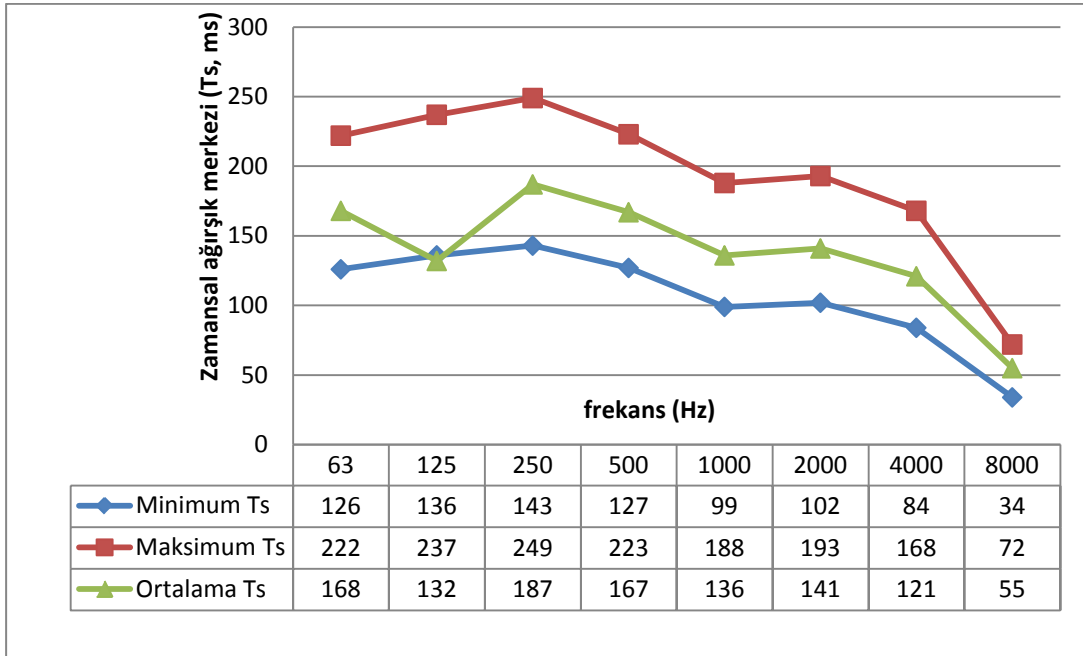


Şekil 4.74 : C salonunda alıcılara bağlı C80 grafiği

TS değeri, geç yansımaların yoğunlukta olması nedeniyle artmıştır. Şekil 4.75 'te alıcıların orta frekansta TS değerleri verilmiştir. Sahneye yakın noktalarda ve sahnenin hemen arkasındaki noktalarda değerler 80 ms'ye yaklaşırsa da salonun arka kısımlarındaki alıcılarda 130'un üzerine çıkmıştır. Şekil4.76'da C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama TS değerleri verilmiştir.

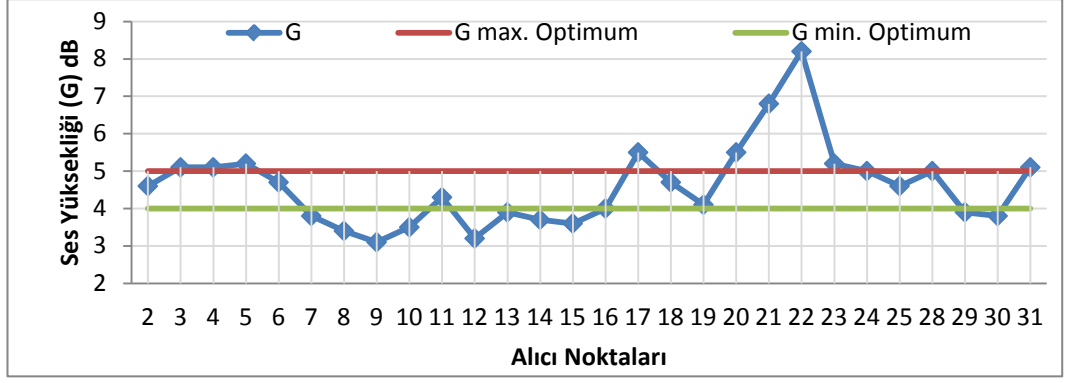


Şekil 4.75 : C salonunun orta frekansta alıcılara bağlı TS değerleri

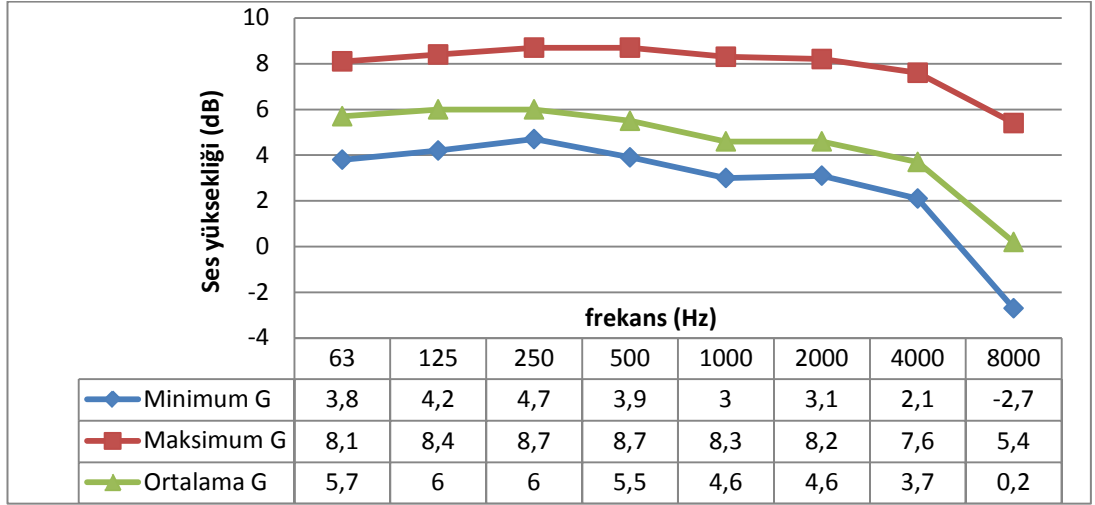


Şekil 4.76 : C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama TS değerleri

Yansıma ve enerji yoğunlaşmasının ses yüksekliğine (G) değerine etkisi Şekil 4.77'deki gibidir. Sahnenin hemen arkasındaki noktalarda 4 – 5dB olması gereken G düzeyi optimum seviyenin üzerinde yükselmiştir. Özellikle yansıma alamayan sahne önünde G değerleri optimum seviyenin altına inmiştir. Şekil 4.78'de C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri verilmiştir. Orta ve minimum değerler birbirine yakın olsa da maksimum değerler yüksek çıkmaktadır. Bu da bazı alıcı noktaların ses yüksekliğinin yansımaların toplanmasına bağlı olarak yükseldiğini gösterir.



Şekil 4.77 : C salonunda alıcılara bağlı G grafiği



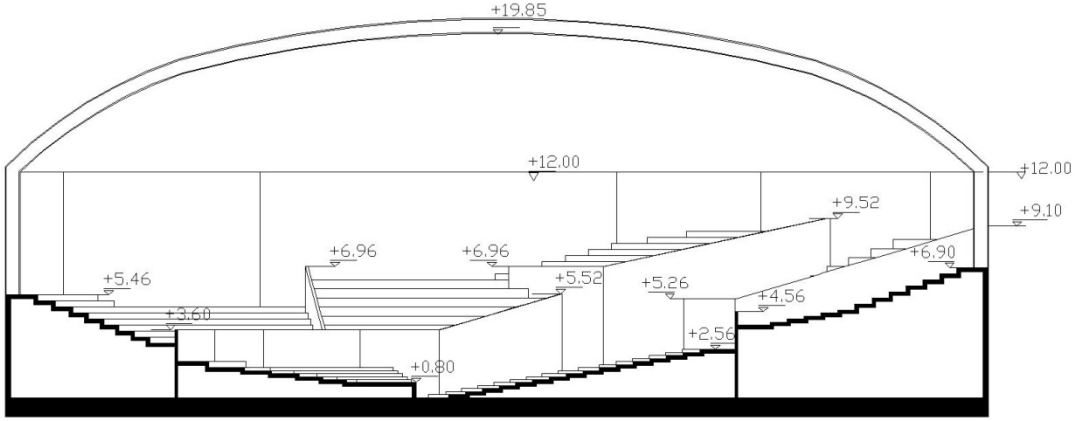
Şekil 4.78 : C salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri

4.1.4 Konkav tavanlı salon tasarımının akustik analizi (h:19,85m)

Salon D 'de tavan tasarımında kişi sayısı ve yerleşim planı sabit tutularak tavan formu konkav olarak tasarlanmıştır. Duvar tavan birleşim yeri sabit tutulduğundan tavanın en yüksek yer 19,85 m olarak alınmıştır. Karşılaştırılan salonların teknik bilgileri Çizelge 4.4 'te verilmiştir. Şekil 4.79'da kesit şeması verilen D salonunun hacmi diğer salonlarla benzerdir.

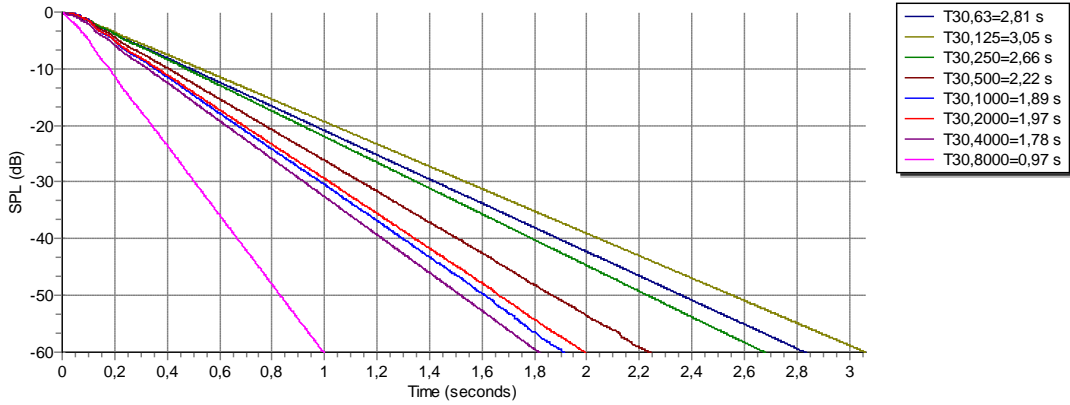
Çizelge 4.4 : Karşılaştırma çizelgesi

SALON ADI	HACİM (M3)	KİŞİ BAŞI (M3)	OTURMA KAPASİTESİ	TAVAN YÜKSEKLİĞİ (M)	EN UZAK KOLTUK (M)	TOTAL UZUNLUK (M)	SAHNE ALANI m2	KARŞILAŞTIRMA PARAMETRESİ
TAVAN ÖZELLİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRME								
SALON A	18058	9,6	1871	15,5	33	51,5	203	düz tavan
SALON B	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	konveks tavan
SALON C	18747	10,01	1871	15	33	51,5	203	konveks alçak tavan
SALON D	18732	10,01	1871	19,5	33	51,5	203	konkav yüksek tavan

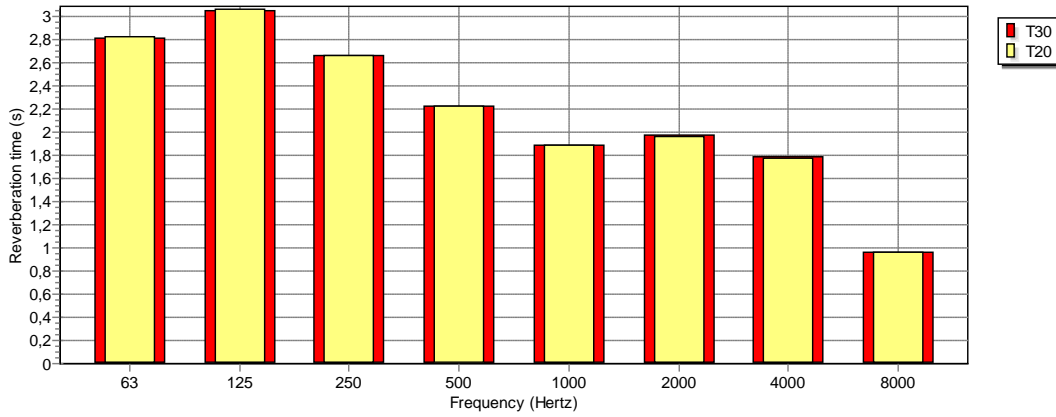


Şekil 4.79 : Eğrisel konkav tavanlı olarak tasarlanan salonun AA kesit şeması

Şekil 4.80 ve 4.81’de D salonunun frekansa bağlı çınlama süreleri verilmiştir. Çınlama süresi boş salonda yapılan ölçümlerde 2,18s çıkmıştır.

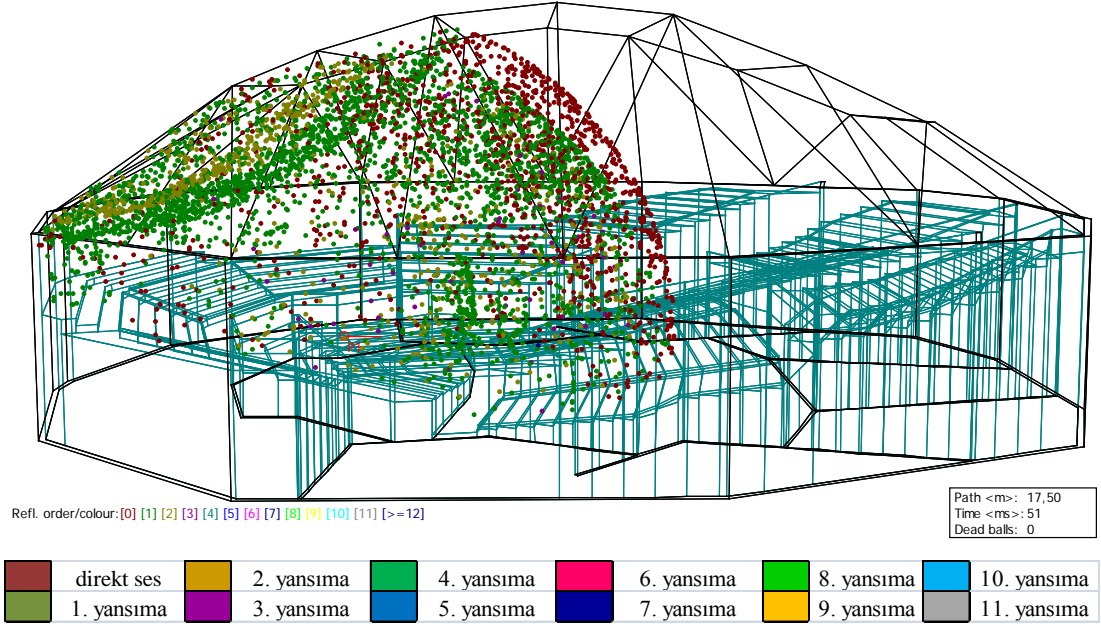


Şekil 4.80 : Eğrisel konkav tavan tasarımı salonun frekansa bağlı çınlama süresi eğrileri

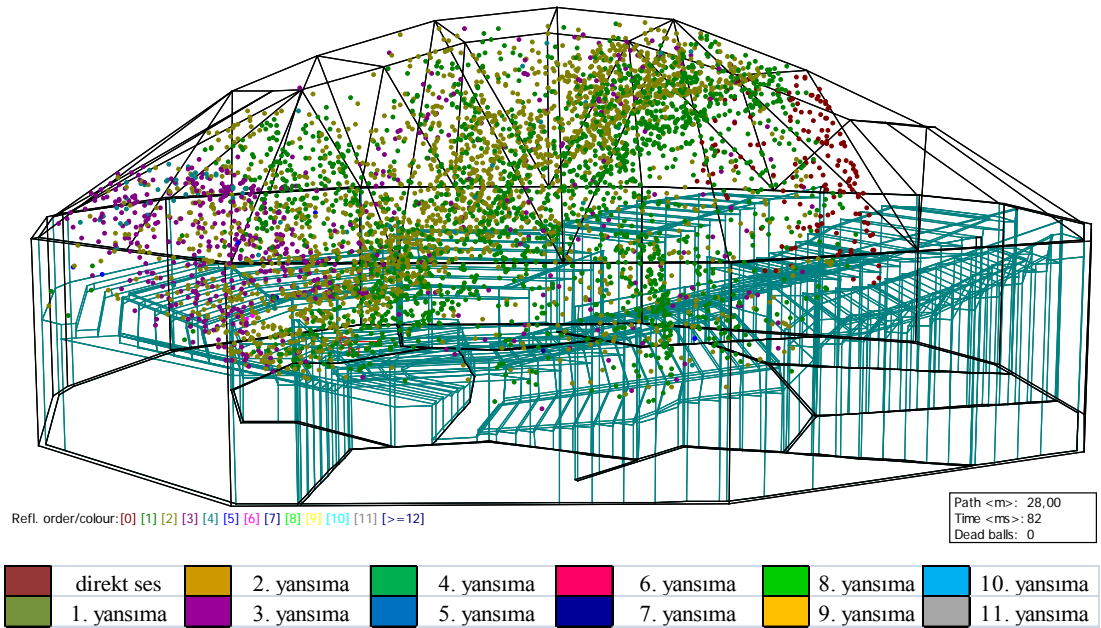


Şekil 4.81 : D salonunun frekansa bağlı çınlama süresi

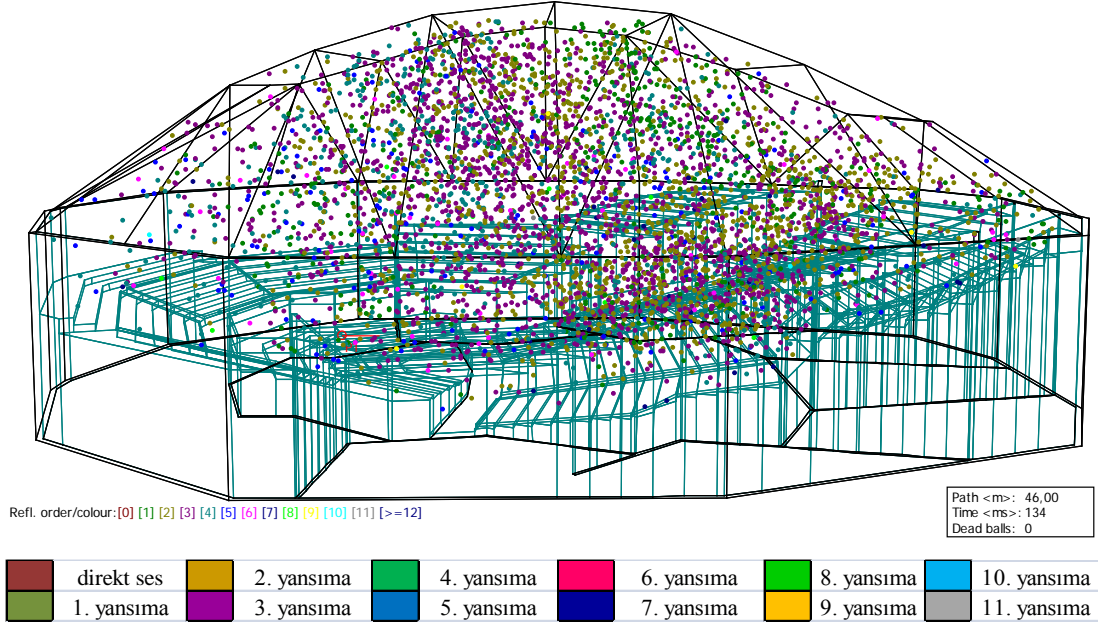
Salonda genel olarak hacim artışına bağlı T30 ve EDT değerleri aynı gözükse de tavan formu nedeniyle belli noktalarda T30 değeri yükselir. Şekil 4.82, 4.83, 4.84'te sırasıyla 50., 89., 138. saniyelerdeki noktasal yansımaların dağılımları verilmiştir. Ses yansıma dağılımına göre yansımalar özellikle orta kısımlarda toplanmıştır. Sahne arkası kısımlara doğru iletimler zayıflamış, buradaki noktalarda SPL değerleri artmış ve C80 değerleri yükselmiştir.



Şekil 4.82 : 50 ms'deki ses yansıma grafiği verilmiştir.



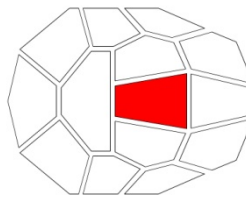
Şekil 4.83 : 82ms'deki ses yansıma grafiği verilmiştir.



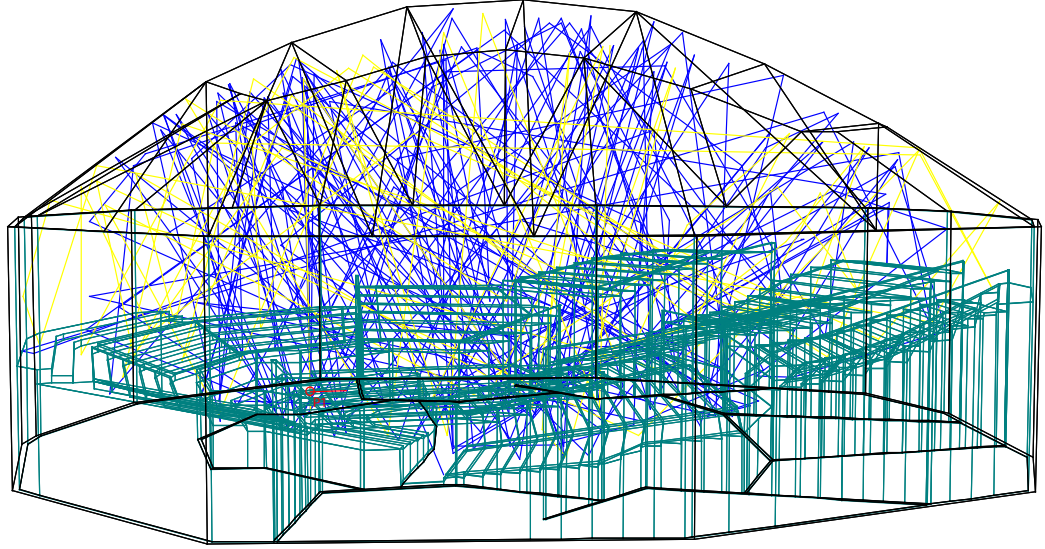
Şekil 4.84 : 139 ms'deki ses yansıma grafiği verilmiştir.

Salonda tavan formundan dolayı Şekil 4.85'te belirtilen orta kısımlardaki 2,3,4,5, 24,25, 28, numaralı alıcılarında SPL ve LG 80 değerleri diğer alıcılara göre 2-5 dB yüksek çıkmıştır. Bu noktalarda hem direkt ses fazla hem yansımalar fazladır.

Şekil 4.86 'da kaynaktan çıkan ses ışınının sönmüleyinceye kadar yaptığı yansımaları ve izlediği yolları vermektedir. Direkt sesin oluşturduğu pek çok yansımalar sonucunda oluşan şekil incelendiğinde salonun orta kısımlarında yansımaların yoğunlaştığı görülmektedir. Konkav tavan formlarında, kubbe gibi ses yansımalarını tek bir noktaya toplayan tavan tiplerindeki odaklanma adı verilen akustik sorunlar oluşabilmektedir. Odaklanmanın ses konforunu bozmaması açısından bu formdan kaçınılabilir ya da çeşitli saçıcılar yardımıyla yansımaların tek bir noktaya toplanması engellenebilir. Odaklanma sorununa paralel olarak diğer noktalardaki ses ışınları da azalmaktadır. Kaynağın sahne arkasına yakın olması nedeniyle bu kısımlardaki ses yansımalarının azalması fark edilmese de ses ışınlarının analiziyle bu noktalardaki geç yansımalar özellikle olumsuz olarak hissedilir. Geç yansımaların oluşturduğu sarmalanmaz hissi (LEV) bu noktalarda azalacaktır.



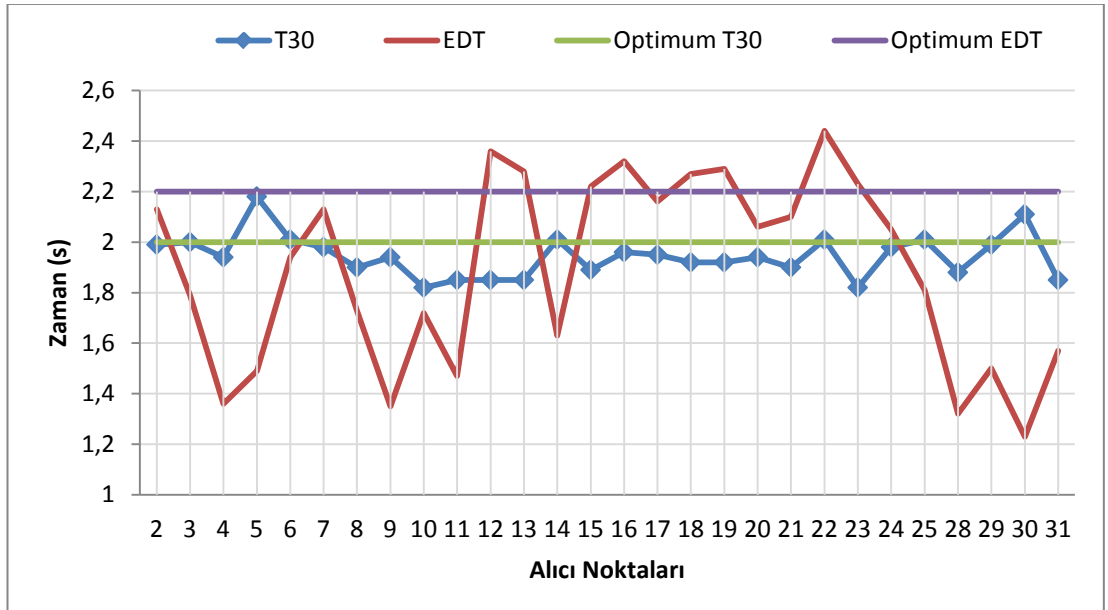
Şekil 4.85 : Orta platform



■ kaynaktan gönderilen ses ışınları ■ son gönderilen yansıma ■ kaynak noktası

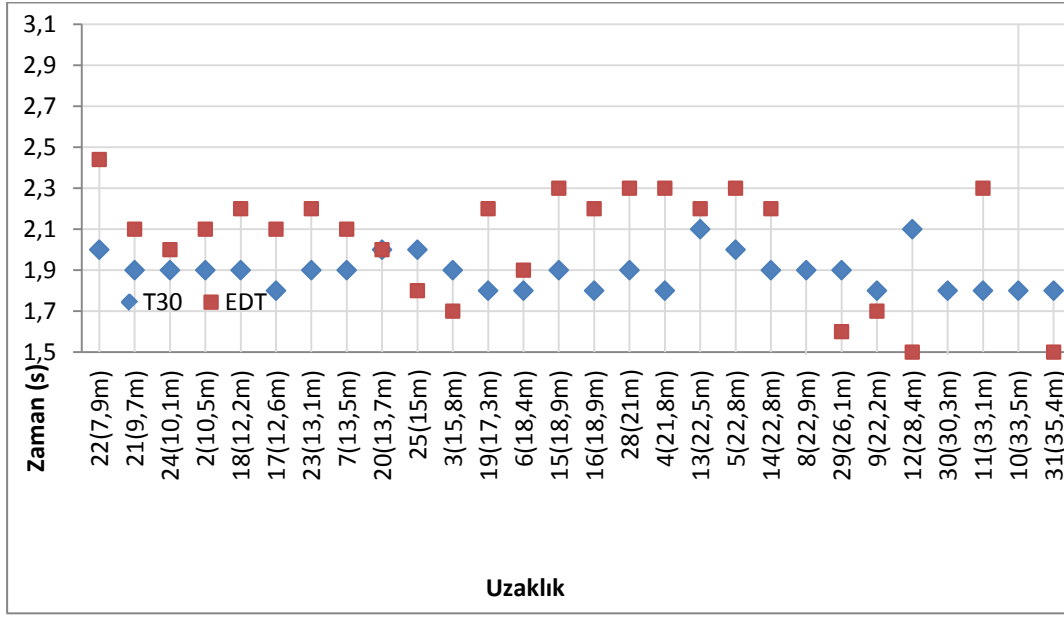
Şekil 4.86 : Konkav tavanlı salon tasarımının ışın analizi

Odaklanma sonucu T30 ve EDT grafiği şekil 4.87’deki gibidir. Odaklanma olan noktalarda EDT değeri aşırı yükselmiştir. Diğer noktalarda ise enerji seviyesinin düşüklüğüne bağlı olarak T30 değeri EDT değerlerinden yüksek çıkmıştır. Şekil4.89’da D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama EDT değerleri verilmiştir. Şekil 4.91’de D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama T30 değerleri verilmiştir.

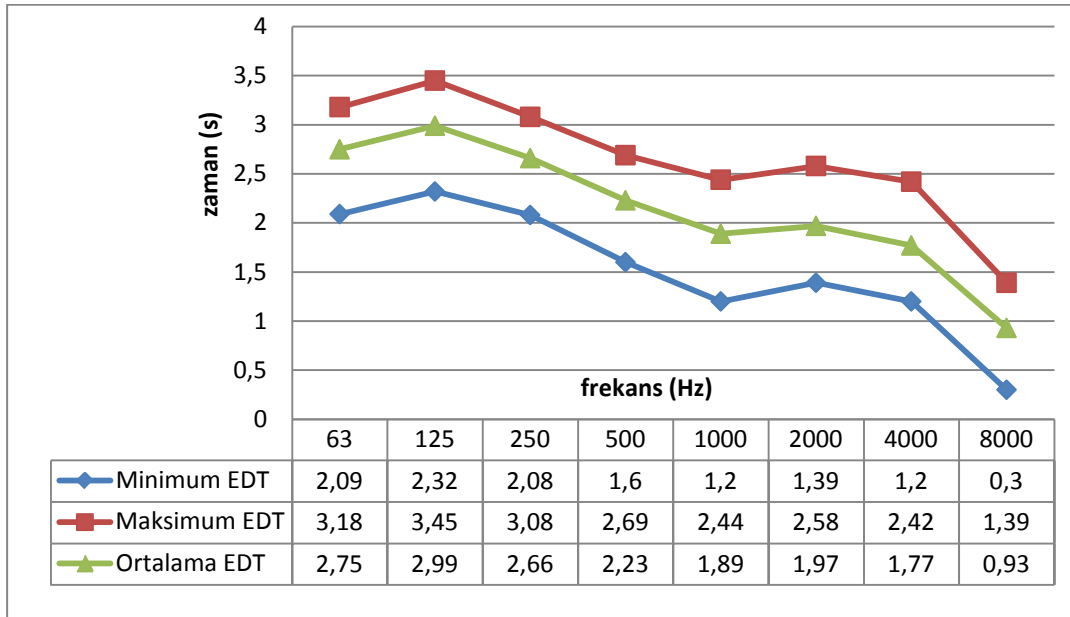


Şekil 4.87 : D salonunda alıcılara bağlı T30 ve EDT grafiği

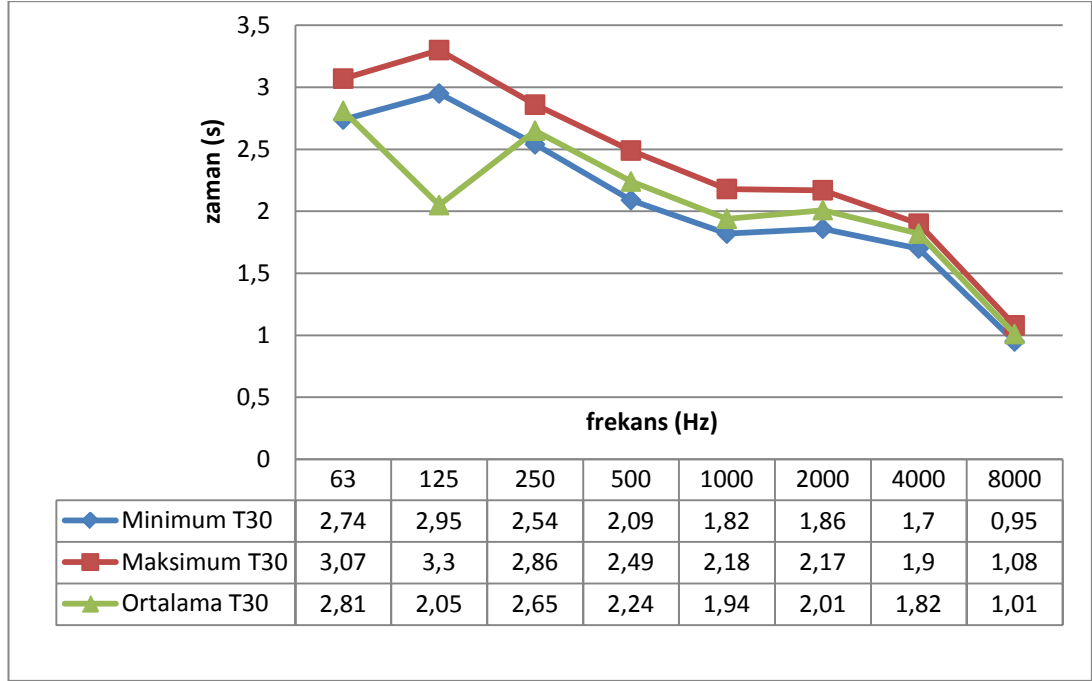
Şekil 4.88 'de D salonundaki mesafeye bağlı, alıcıların EDT ve T30 değerleri verilmiştir. T30 değerleri kendi içinde sabitlense de EDT değerleri tavan formundaki odaklanma sorunu nedeniyle farklı değerler almıştır. Salonun arka kısımlarındaki EDT değerleri hem mesafeye hem de erken yansımaların azalmasına paralel olarak düşmüştür.



Şekil 4.88 : D salonunda mesafeye bağlı alıcıların EDT ve T30 dağılımları

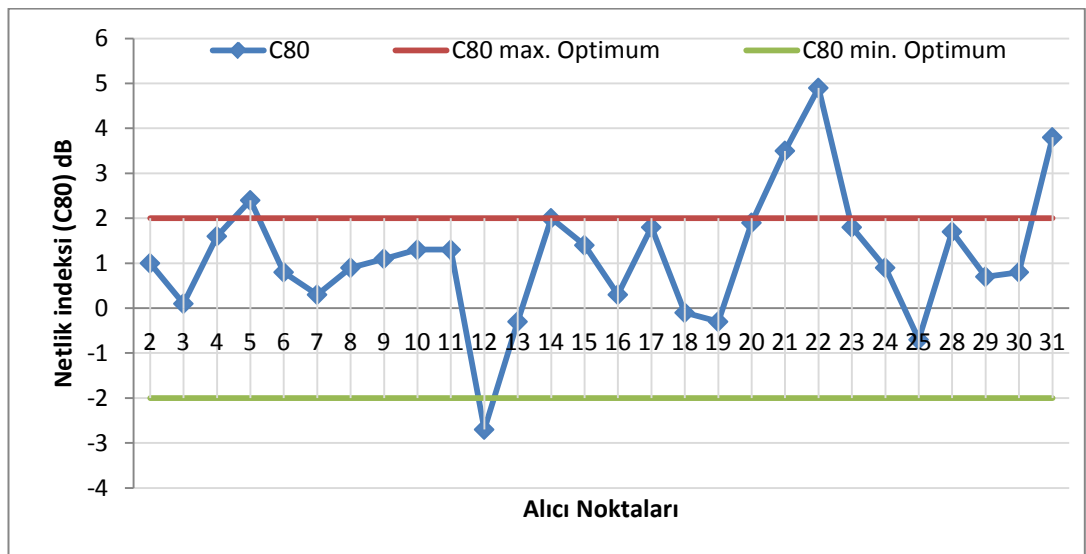


Şekil 4.89 : D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama EDT değerleri

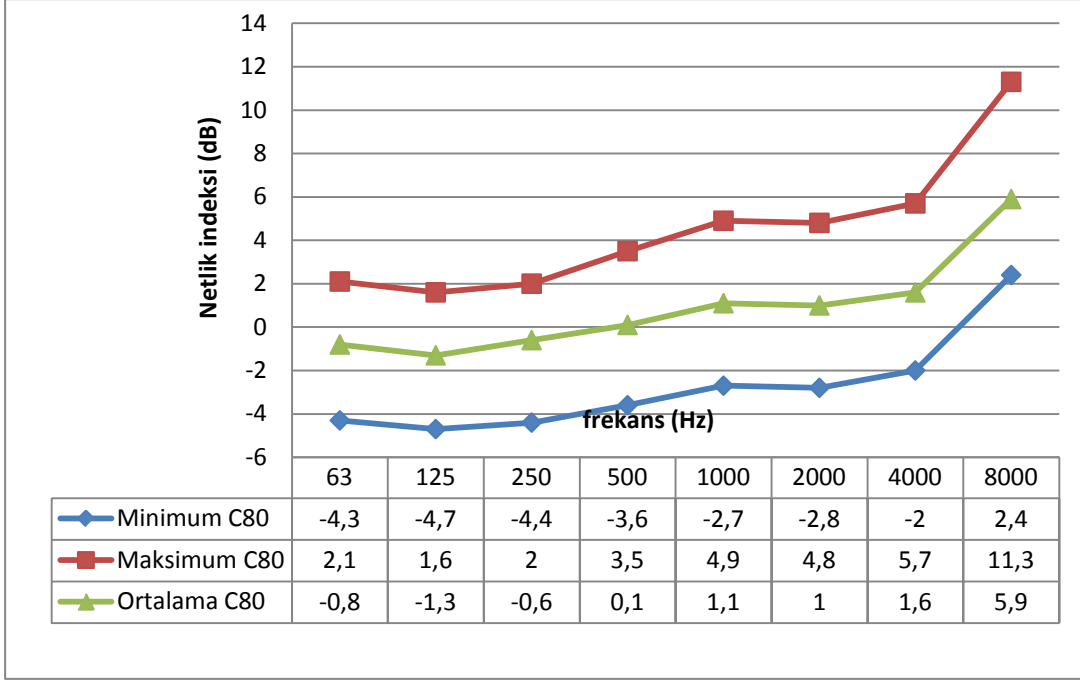


Şekil 4.90 : D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama T30 değerleri

D salonunda C80 netlik indeksi Şekil 4.91'deki gibidir. Sesin iletilemediği 12 numaralı alıcı haricinde bütün alıcı noktalarında C80 indeksi olumsuz yönde yükselmiştir. Salonun yeterli çınlama noktasına ulaşamadığını gösterir. Şekil 4.92'de D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama C80 değerleri verilmiştir.

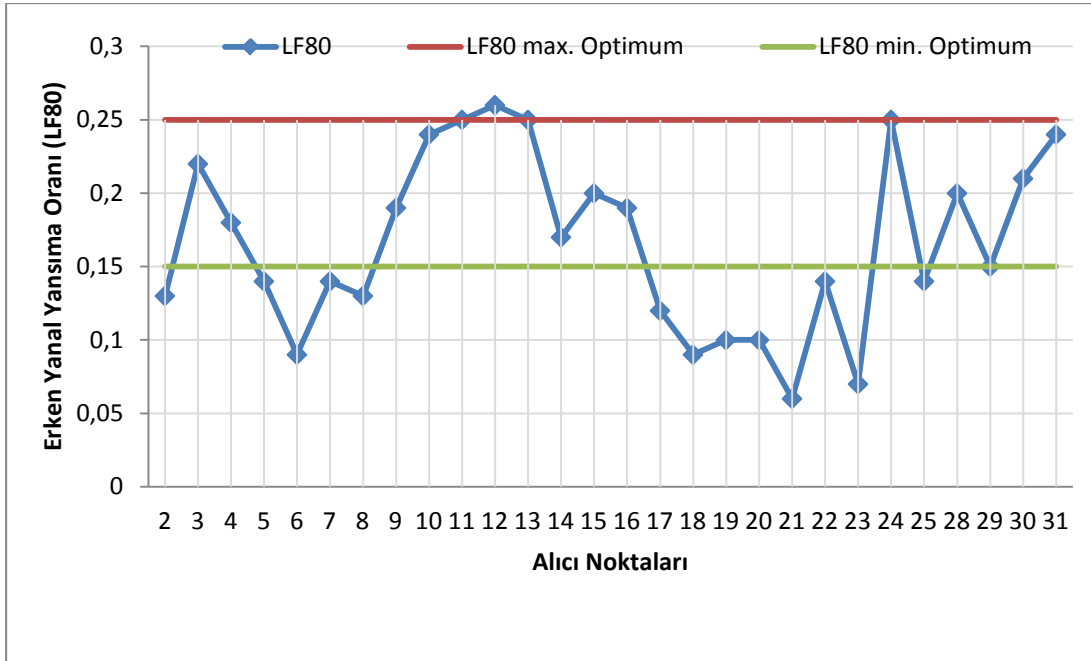


Şekil 4.91 : D salonunda alıcılara bağlı C80 çizelgesi

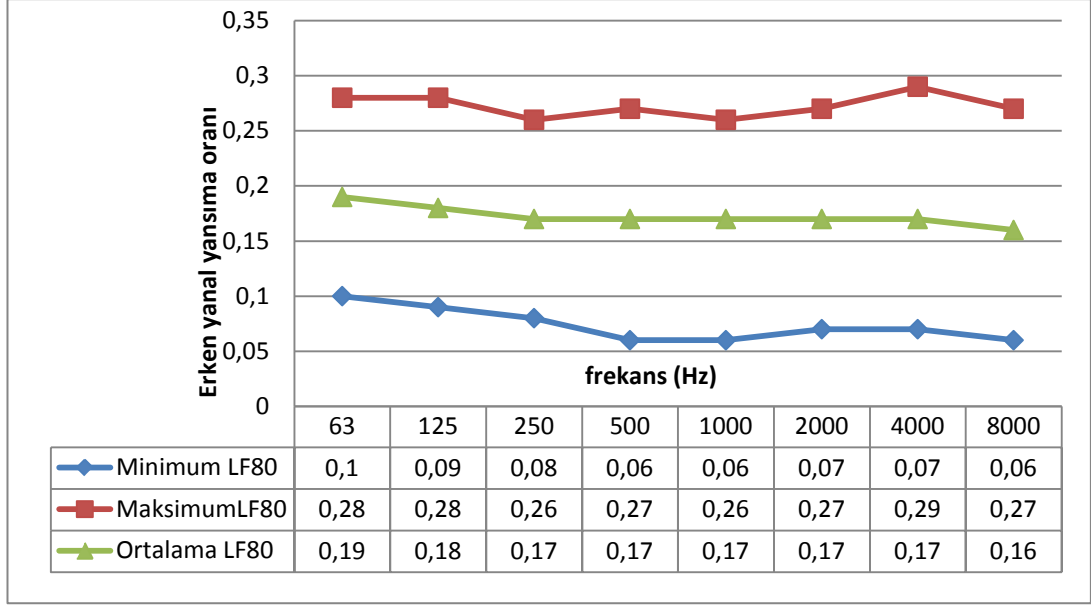


Şekil 4.92 : D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama C80 değerleri

Enerji yoğunluğunun arttığı noktalarda LF80 değeri de artmıştır. Direkt yansıma alınamayan noktalarda ise bu değerler düşer. Şekil 4.93'te D salonun alıcılara bağlı erken yanal yansıma oranları verilmiştir. Şekil 4.94'te D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama LF80 değerleri verilmiştir.

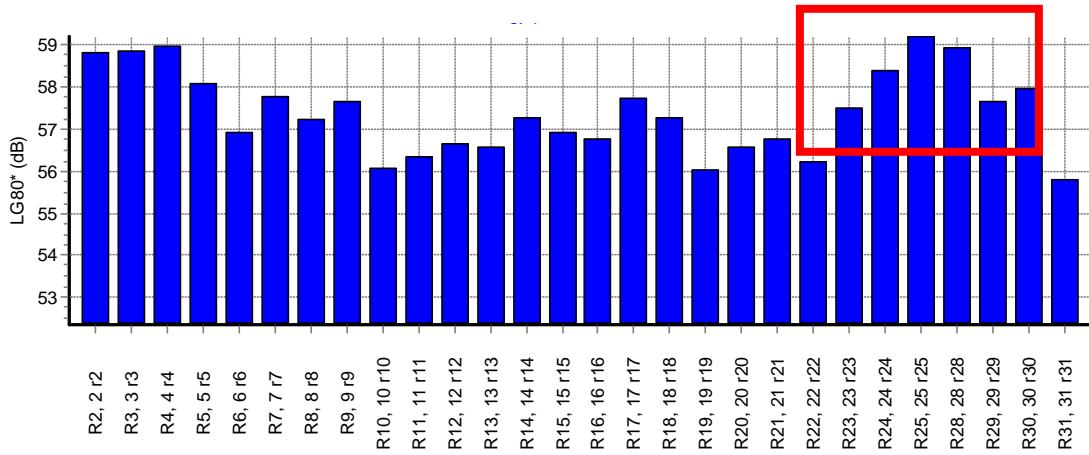


Şekil 4.93 : D salonun alıcılara bağlı LF80 grafiği

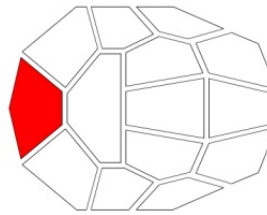


Şekil 4.94 : D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama LF80 değerleri

Şekil 4.95'te D salonunun, alıcılara bağlı geç yanal yansıma değerleri verilmiştir. Konkav tavan formuyla erken yansımalar sahne çevresinde yoğunlaşırken, geç yansımalar özellikle yansımaların yoğun olduğu alt platformun arka noktalarında yükselmiştir.

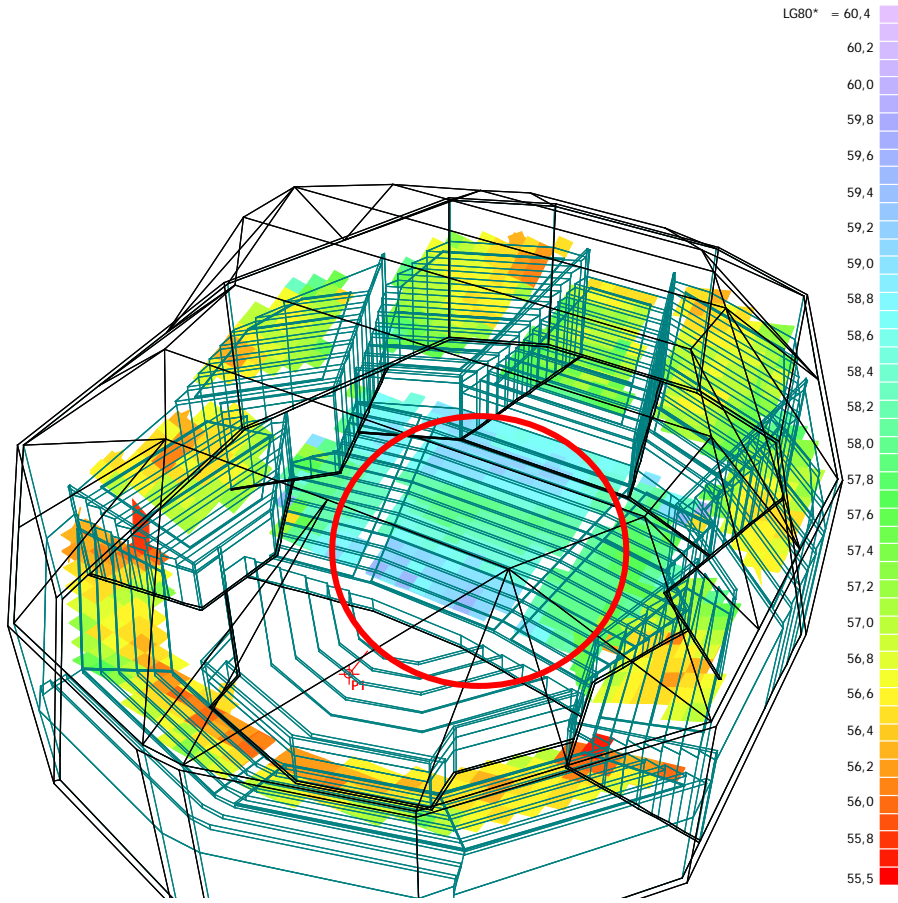


Şekil 4.95 : D salonunda alıcılara bağlı LG 80 grafiği



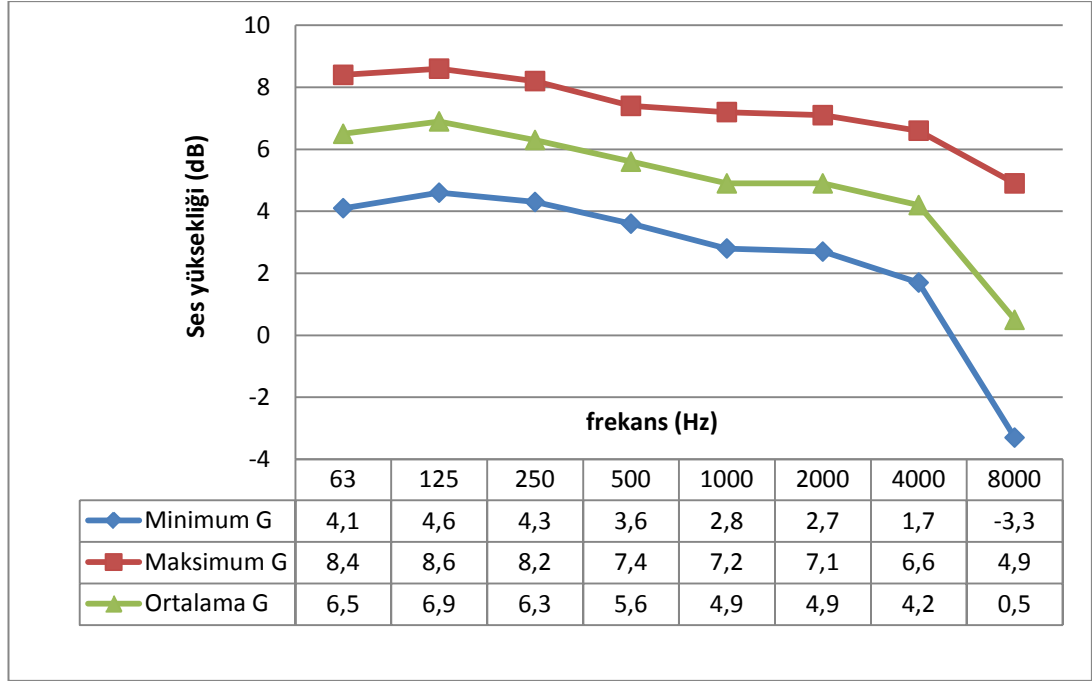
Şekil 4.96 : Sahne arkası

Şekil 4.96’da belirtilen platformda bulunan 22 numaralı, sahnenin hemen arkasındaki alıcı noktasında direkt sesin fazla olmasından dolayı SPL, G değerleri diğer alıcılara göre çok yüksek çıksa da yeterli yanal yansıma ve tavandan iletim almamasından dolayı LG değeri düşük çıkmaktadır. Yansımalarının azalmasının nedeni eken yansımalarından faydalanabilecek yan duvarların bulunmaması ayrıca yansıma alınan arka duvarların yutucu olmasıdır. Şekil 4.97’deki D salonunun LG80 grid analizi incelendiğinde, tavan formuna bağlı orta kısımlarda geç yansımalarda artış görülür. Tavan formunun neden olduğu odaklanmaya bağlı olarak bu bölümdeki LG 80 değerleri yüksek çıkmıştır.

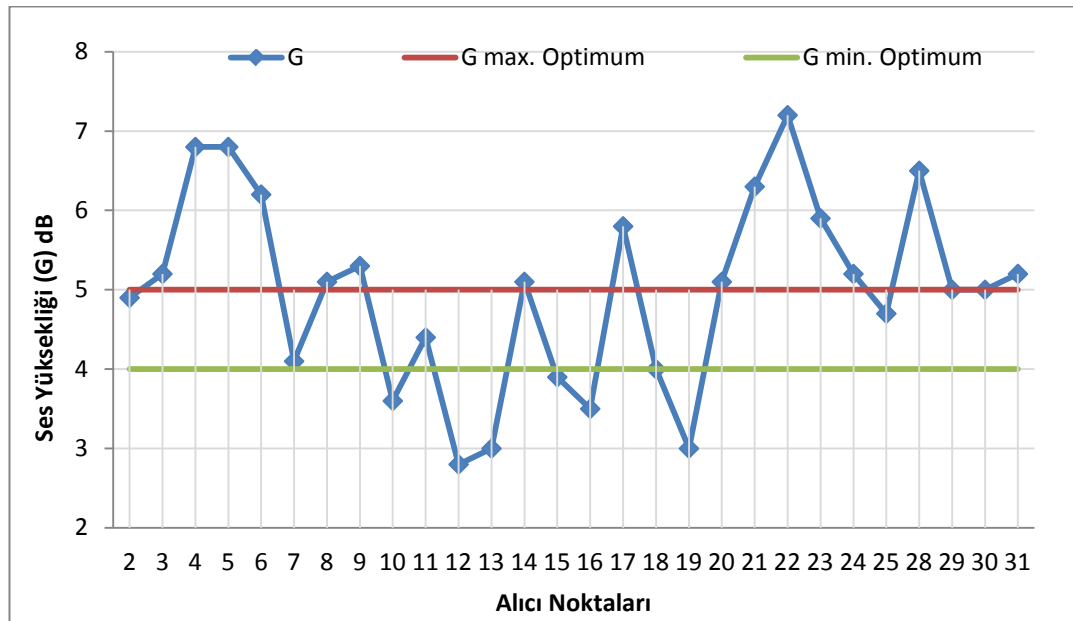


Şekil 4.97 : LG 80 değerinin salon içerisindeki grid analizi

Total yansımaların direkt sese oranı olan G değeri grafiği Şekil 4.99’daki gibidir. Ses basınç düzeyi homojen olarak dağılmamıştır. Üst - yan platformlardaki ses yüksekliği yetersiz kalırken sahne arkası platformlarında olması gereken değerden yüksek ses yüksekliği çıkmıştır. Şekil 4.98’de D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri verilmiştir. Ortalama değerler diğer salonlara göre yükselmiştir.

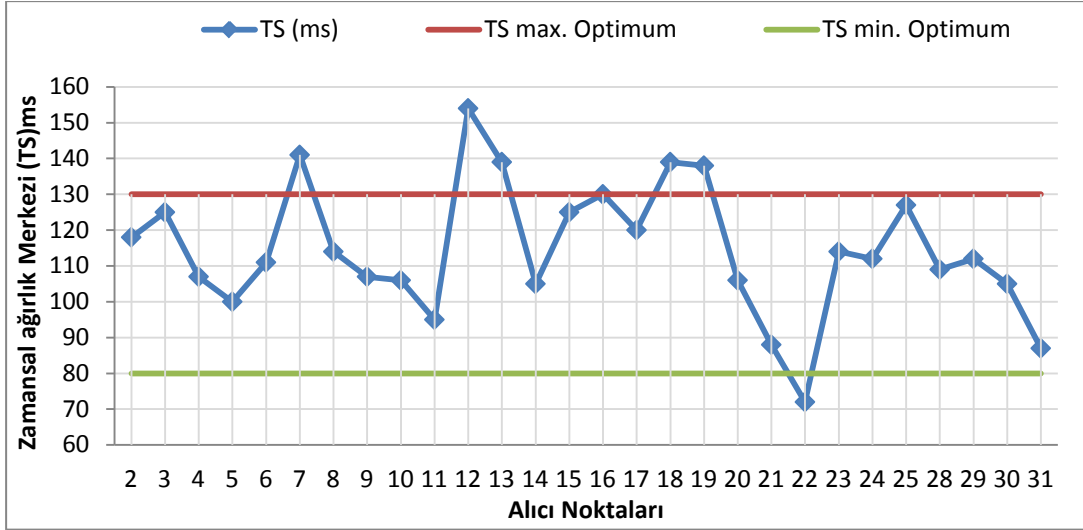


Şekil 4.98 : D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama G değerleri

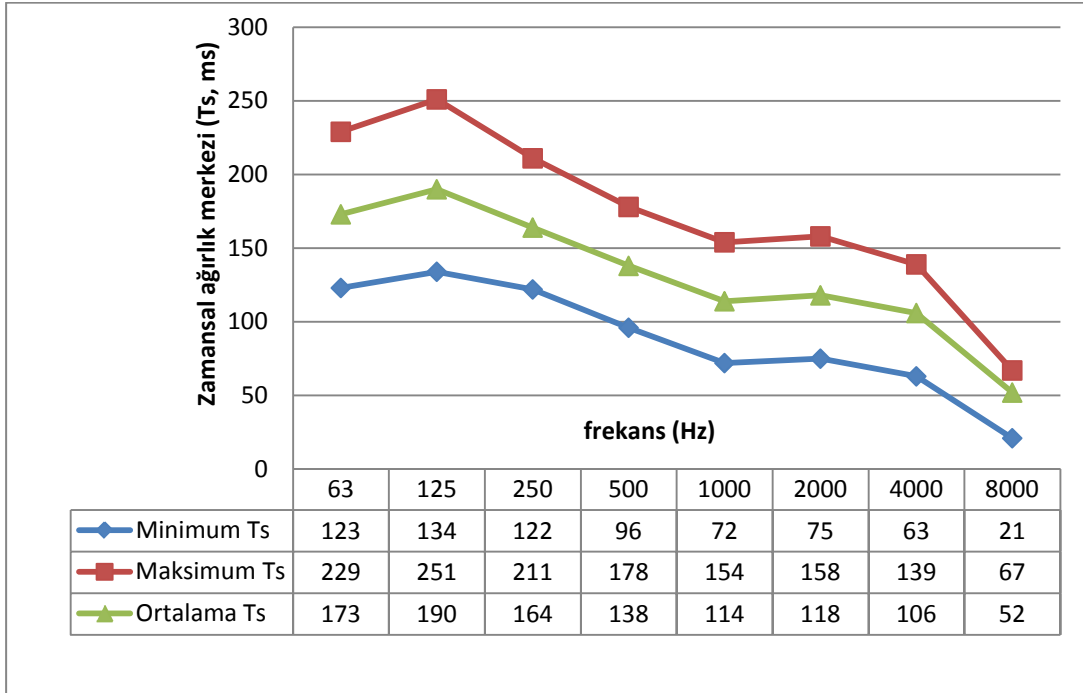


Şekil 4.99 : D salonunda alıcılara bağlı G çizelgesi

D salonunun erken yansımaların analizinin yapılabildiği TS değerleri Şekil 4.100'de verilmiştir. Şekil 101'de D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama TS değerleri verilmiştir. Değerler optimum aralıkta çıkmıştır. Salonun genel olarak orta kısmında enerji yoğunluğu olması nedeniyle bu alana yakın olan bütün alıcı noktalarında yansımalar alıcılara erken ulaşmaktadır. Ancak salonun yan platformlarında gecikmeler gözükmemektedir.



Şekil 4.100 : D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama TS değerleri verilmiştir.



Şekil 4.101 : D salonunun frekansa bağlı maksimum, minimum, ortalama TS değerleri verilmiştir.

4.1.5 Tavan tasarımlarının genel akustik etkilerinin karşılaştırılması

Tavan formu erken, geç yansımalar ve tavadan gelen ilk yansımalar açısından önemlidir. Tavan formunun bütün alıcılara yansıma göndermesi ön görülür. Bu yansımaların belirli alıcı noktalarında toplanmadan (odaklanma), seyirci bölümlerine homojen bir şekilde dağılımı hedeflenir.

Konveks tavanın alçak olması ilk yansımaları belirli bir bölümde toplanmasına neden olur. Bu bölümlerdeki SPL ve G değerlerinin olumsuz yönde yüksek çıkmasıyla C80 değeri de olumsuz olarak yükselir. Erken yansımaların oluşturduğu görünür kaynak genişliği (ASW), yansımaların alıcıya her yönden gelmesi ve geç yansımaların oluşturduğu sarmalanma (LEV) etkisi zayıflar. Erken yansımaların ulaşamadığı noktalarda EDT değerleri T30 değerlerinden daha düşük çıkmaktadır. Bunun yanı sıra TS değerleri geç yansımaların ağırlıkta olduğu noktalarda ise 160ms'nin üzerine çıkmaktadır. Ts 'nin geç çıktığı noktalarda C80 değeri olumsuz yönde düşmektedir. Sesin seyirci tarafından boğuk bir şekilde algılanmasına neden olur.

Tavan özelliğinin değişmesi erken yanal yansıma oranı (LF80) değerini etkilememiştir. Fakat enerjinin genel olarak sahne arkasına yönlendirildiği C salonunda sahne arkası noktalarında LF değeri artmış, diğer alıcı noktaların düşmüştür.

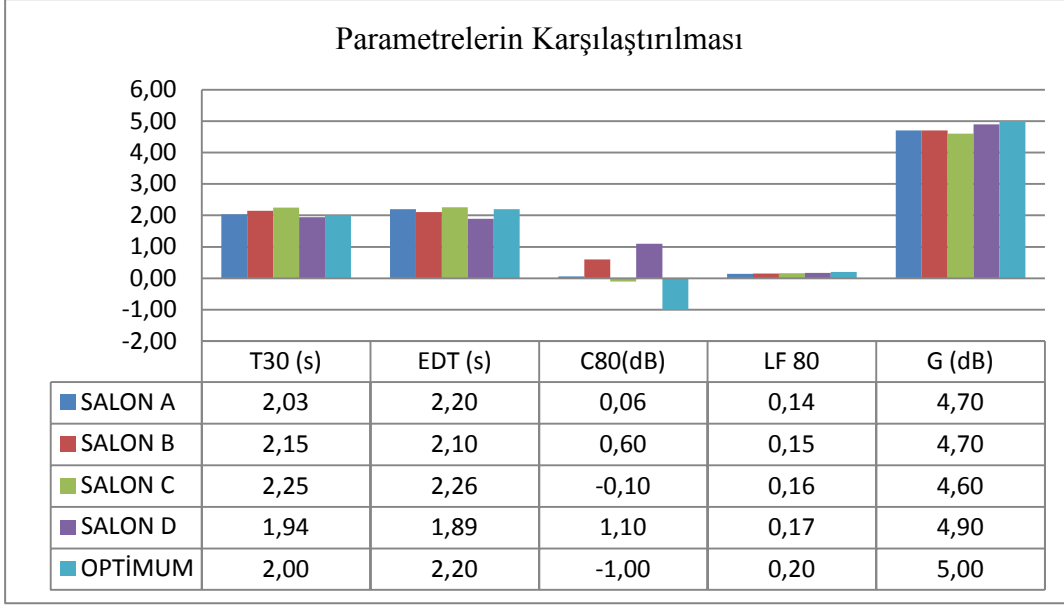
Zamansal ağırlık merkezi (TS), tavanın alçak olduğu C salonunda tavandan alınan yansımaların erken alınması nedeniyle diğer salonlara göre alçak çıkmıştır. TS değerinin alçak çıkması C80 değerini netliğin artması yönünde artırmıştır.

Tavan form özelliği olarak düz tavan olması nedeniyle sahne ile tavan arasında sesin sürekli yansımaları, sesin arka kısımlara iletilmesine engel olmuştur. Konveks tavanın daha da alçalması, ses enerjisinin sahneye yakın olan ön ve arka dinleyici noktalarında yoğunlaşmasına neden olmuş, bu formda salonun arka kısımlarına doğru enerjinin iletilmesini engellemiştir.

Tavan formu konkav olarak tasarlanan D salonunda ise salonun orta bölümünde sesin odaklanmasına ve bu bölümdeki alıcı noktalarında SPL değerinin artmasına, arka bölümdeki dinleyici noktalarında yeterli enerji iletilmemesinden dolayı SPL değerinin azalmasına neden olmuştur.

Tavan tasarımları farklılaştırılan 4 tasarımın orta frekansta nesnel parametreleri optimum değerlerle karşılaştırılması Şekil 4.102'deki gibidir. Optimum değerler Beranek'e göre alınmıştır. Değerler aralık olarak önerilir.

T30 için salon hacmine uygun bir değer alınmıştır. Tasarım parametresi 2s olarak belirlenmiştir. EDT değeri Beranek 'e göre T30 'dan %10 daha uzun olmalıdır. Bu değer 2.2s olarak alınmıştır. C80 değeri için özellikle konser salonlarında 0'ın altında olması tercih edilir. LF80 değeri için 0,15 ile 2 arası optimum aralıktır. Karşılaştırma için 0,2 değeri alınmıştır. Ses yüksekliği için optimum aralık 4-5dB arasındadır. Karşılaştırmalarda 5dB olarak alınmıştır.



Şekil 4.102 : Salonların nesnel parametrelere göre optimum değerlerle karşılaştırma grafiği

T30 ve EDT Değerlendirmesi

Çınlama süresi, malzemeleri ve hacimleri sabit tutulan salonlarda değişmemiştir. Fakat tavan formu ve yansıyan enerji oranına göre EDT değişmektedir. EDT - T30 ile ilişkileri erken yansıyan ses ile ilgili bilgi verir. EDT değerleri T30 değerlerinden %10 büyük olmalıdır. Özellikle yanal yansımaları artması EDT değerinin artmasını sağlamaktadır. Konser salonlarında özellikle salonun arka kısımlarında sahneye uzaklıktan dolayı olumsuz koşullar gözlenir. Bu sorunlar özellikle erken yansımaların azlığına bağlı olarak oluşur. Dolayısıyla tavan formunun yansıtıcı panel kullanılmaması halinde salonun arka kısımları yansıma iletimi önemlidir. B salonunda konveks tavan formu, salonun arka kısımlarına yeterli düzeyde ses enerjisi iletir. Dolayısıyla arka kısımlarda da EDT değeri bu salonda T30 ile aynı ya da T 30 dan daha yüksek çıkmaktadır.

C80 Değerlendirmesi

Erken yansımaların geç yansımalara oranını belirten netlik indeksi konser salonlarında -2dB ile 0dB aralığında olmalıdır. En uygun değer C salonunda elde edilmiş gibi gözükse de noktasal analiz yapıldığında çoğu noktanın ortalama değerinin dışında olduğu gözlenir. Arena tip salonda C80 değerinin yükseltmek amaçlı yansımaları artırmak G değerini olumsuz yönde yükselterek müziğin algılanmasını zorlaştırabilir.

LF80 Değerlendirmesi

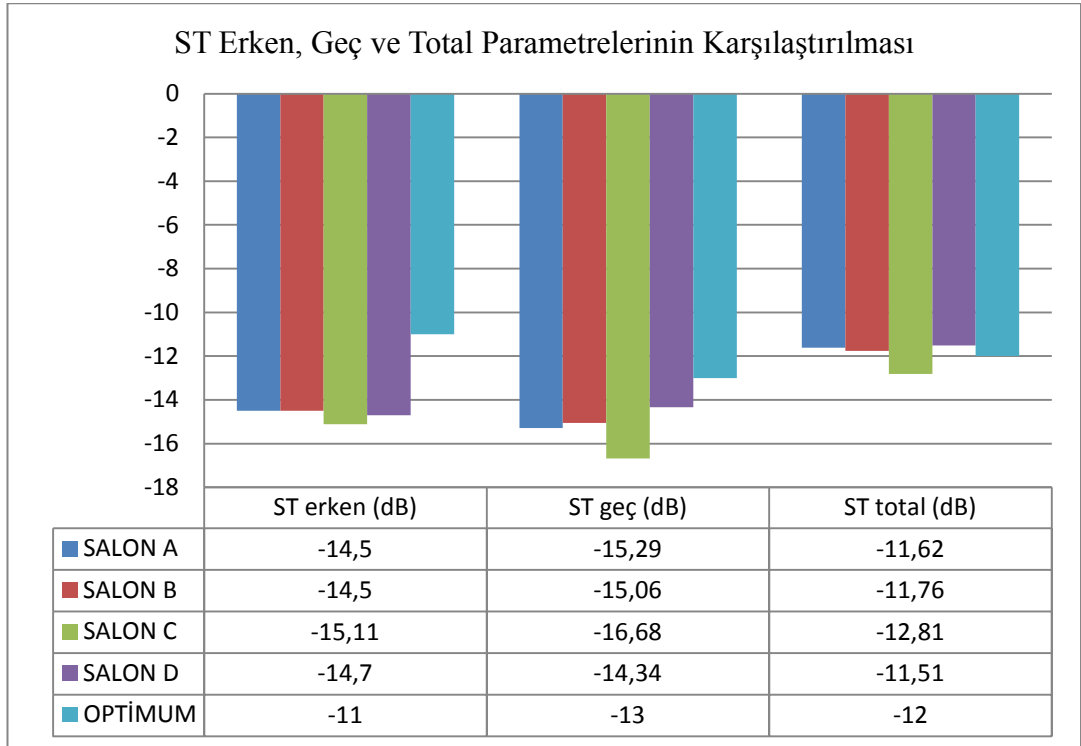
Düz tavanlı salon tasarımında, kaynaktan çıkan ses ışınlarına arka kısımlara iletilemez. Dolayısıyla bu salonda L80 değerleri en düşük çıkmıştır. Alt platformlarda yan al yüzeylerin artması bu platformlardaki alıcı noktaların LF 80 değerinin yükselmesini sağlar. Özellikle direkt sesin ulaşmasının zor olduğu noktalarda LF 80 değeri düşer.

G Değerlendirmesi

Ses yüksekliği enerji yoğunluğuna bağlı olarak artmaktadır. Bütün salon tiplerinde özellikle sahne arkasındaki kısımlarda G değeri yükselir.

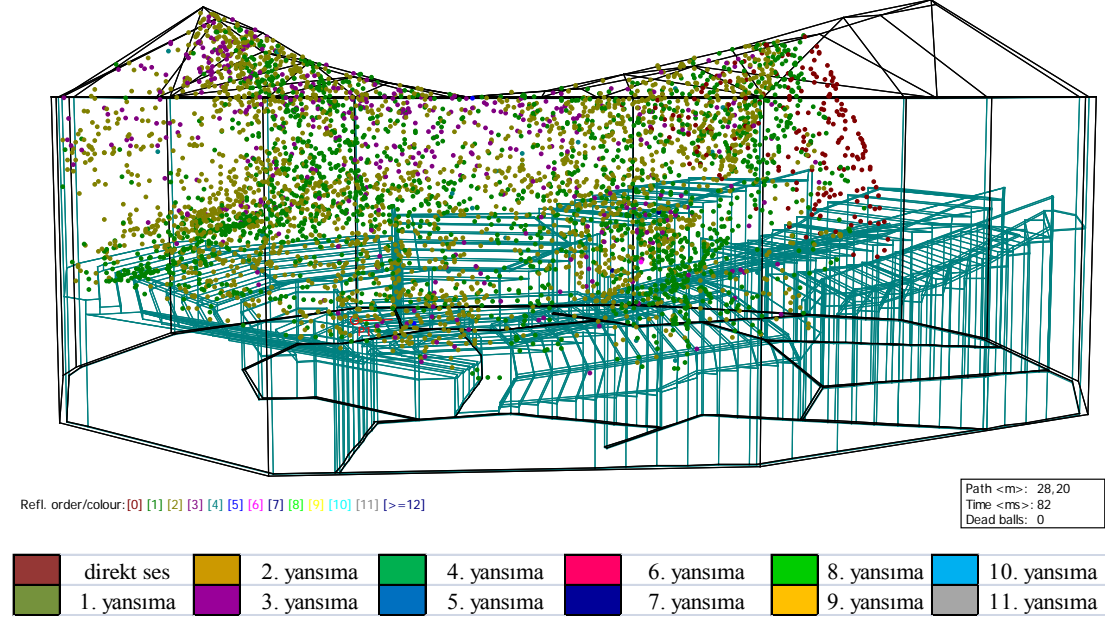
Tavan Formunun Sahne Açısından Değerlendirilmesi:

Tavan formunun sahnedeki akustik koşullara etkisinin analizi sahneye yerleştirilen 1 numaralı alıcıdan elde edilen nesnel destek (ST) parametresiyle yapılmıştır. Nesnel verilerin karşılaştırılması Şekil 4.103'teki gibidir. Tavan formunun karşılaştırmalarına göre sahnedeki erken, geç ve total yansımalarda yansıtıcı panel olmamasından dolayı ve sahnenin salonun ortasında konumlanmasından dolayı yetersizlik gözlenir. Sahne değerlerini en verimsizleştiren tavan formu C salonundadır.



Şekil 4.103 : Salon tasarımlarının Destek (ST) parametrelerinin karşılaştırılması

Tavana yansıyan ses ışınları konveks tavanın formu ile ikiye ayrılarak sahne arkasına ve sahne önüne iletilir. Yeterli yansımaya alamayan sahne ST parametrelerinde düşük değerler alır. Şekil 4.104'te C salonunda sahne değerlerini olumsuzlaştıran tavan formundan yansıyan enerji dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.104 : 80. saniyedeki noktasal yansımaya analizi

Yapılan analizler sonucunda seyirci ve sahne alanlarında yansımaların iletilmesi ve dağılması açısından en olumlu koşullar B salonunda sağlanmıştır. Dolayısıyla diğer karşılaştırmalarda B salonu kullanılmıştır.

4.2 Yansıtıcı Panel Tasarımlarının Akustik Analizi

Arena tipli salonlarda sahne, yan duvarlardan yansımaya alamadığı için genel olarak salondaki platformlardan yansımaya sağlar. Sahnenin yeterli düzeyde yansımaya alması, müzisyenlerin uyum içinde çalışması açısından önemlidir. Sahnenin yararlı yansımaları tavadan daha çok yan duvarlardan alması tercih edilir. Böylece sahnenin aldığı erken yansımalar artar. Bazı projelerde tavan yansıtıcıları büyük ebatlarda ve mekanik sistem ile birlikte çözümlenerek ağırlaştırılmıştır. Bu da salonlarda farklı hacim oluşmasına neden olur ve ses dalgaları yansıtıcı ile tavan arasında kalır. Çalışmada farklı ebatlarda yansıtıcı paneller, aynı yükseklikte asılarak analiz edilmiştir. Ayrıca yansıtıcı panellerin malzeme seçimi de sahnenin alçak ve yüksek frekanslardan yaralanması açısından önemlidir. Yansıtıcıların tasarımları özellikle sahne değerleri açısından incelenmiştir.

Sabit faktörler

- Hacim, kişi başı m³
- Yüzey malzemeleri
- Platform yükseklikleri
- Yansıtıcı panel yüksekliği
- Plan şeması
- Kişi başı m²
- Çınlama süresi

Değişken faktörler

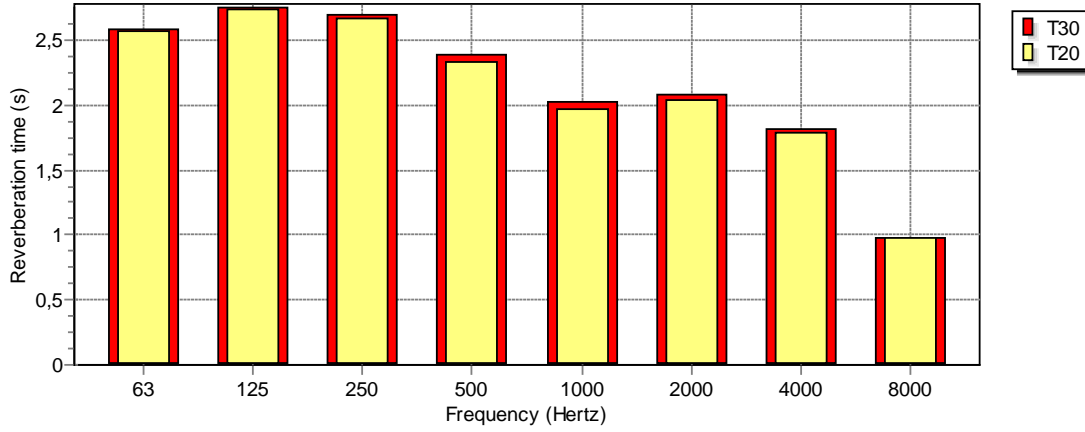
- Yansıtıcı panel boyutları
- Yansıtıcı panel konumu

4.2.1 Yansıtıcı panel büyüklüğünün akustik analizi

Salon B 'de yansıtıcı panel kullanılmamıştır. Salon B1'de yansıtıcı paneller 2,5m x 2,5 m, 4 parça halinde yerleştirilmişlerdir. Salon B2'de paneller tek parça 5m x 5m olarak yerleştirildi. Salon B3'de panel boyutu tek parça halinde 10m x10m olarak alınmıştır. Salon B4'de daha geniş alana yayılmış 10m den büyük parçalı yansıtıcı paneller kullanılmıştır. Alçak frekansların dalga boylarının artması nedeniyle yansıtıcıların ebatların büyümesi gerekmektedir. Örneğin 63Hz için yansıtıcı panelin ölçüleri 5m civarında olmalıdır. Paneller açılı olarak yerleştirilmiştir. Yansıtıcılar, arena tip salonlarda sahnenin yansıma değerlerini yükseltmek amaçlı kullanılır. Bütün salon tasarımlarında yansıtıcı panellerin zemin kotundan yüksekliği 9,36m sahn kotundan yüksekliği 8m olarak alınmıştır. Çizelge 4.5'te karşılaştırılan salonların teknik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Karşılaştırılan salonların teknik değer çizelgesi

SALON ADI	HACİM (M3)	KİŞİ BAŞI (M3)	OTURMA KAPASİTESİ	TAVAN YÜKSEKLİĞİ (M)	EN UZAK KOLTUK (M)	TOTAL UZUNLUK (M)	SAHNE ALANI (M2)	KARŞILAŞTIRMA PARAMETRESİ
REFLEKTÖR ŞEMASINA GÖRE DEĞERLENDİRME								
SALON B	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	250CM X 250CM 4 PARÇALI REFLEKTÖR
SALON B1	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	500CMX500CM TEK PARÇA REFLEKTÖR
SALON B2	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	1000CMX1000CM TEK PARÇA REFLEKTÖR
SALON B3	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	REFLEKTÖRSÜZ
SALON B4	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	1000CMX1000CM TEK PARÇA REFLEKTÖR

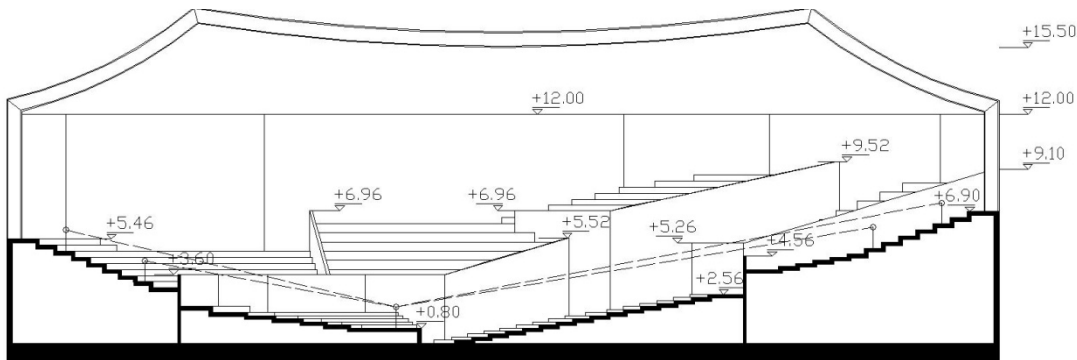


Şekil 4.105 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri

Şekil 4,105'te B salonu için frekansa bağlı çınlama süreleri verilmiştir. Farklı yansıtıcı panel tiplerinin kullanıldığı salon tasarımlarında, malzeme, yansıtıcı panel yüksekliği, hacim sabit tutulduğundan T30 değerleri değişmemiştir. Çınlama süresi alçak frekanslarda daha yüksek, yüksek frekanslarda daha alçaktır. Salon boş iken ölçümler yapılmış ve 1000 Hz de T30 değeri 2,03 s olarak çıkmıştır. Salondaki panellerin ve form değişikliğinin salonun genel çınlama süresi üzerine etkisi olmamıştır.

4.2.1.1 Salon B, yansıtıcı panelsiz salon tasarımının akustik analizi

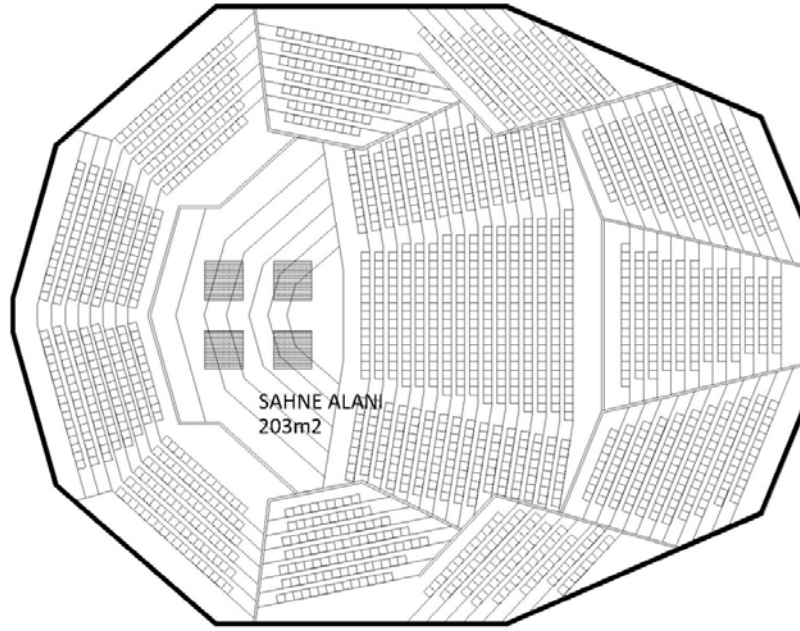
Salonda sahne üzeri yansıtıcı panel kullanılmamıştır. Salondaki koşullar elverişli gibi gözükse de madde 4.1.5 te verildiği gibi sahnedeki erken ve geç yansımalar yeterli değildir. Şekil 4.106'da B salonunun kesit şeması verilmiştir.



Şekil 4.106 : Salon A kesit şeması

4.2.1.2 Salon B1, 2,5mx2,5m parçalı yansıtıcı panel tasarımının akustik analizi

250 cm kare eğrisel paneller halinde 4 parça olarak 9,36m yüksekliğinde asılmıştır. Sahnenin merkezinde konumlandırılmıştır. Açılı olarak yerleştirilen panellerin sahneden alınan sesin salonun arka kısımlarına da iletilmesi ön görülmüştür. Şekil 4.107 'de yansıtıcı panellerin bulunduğu salonun plan şeması verilmiştir. Şekil 4.108 'de B1 salonunun kesit şeması verilmektedir.



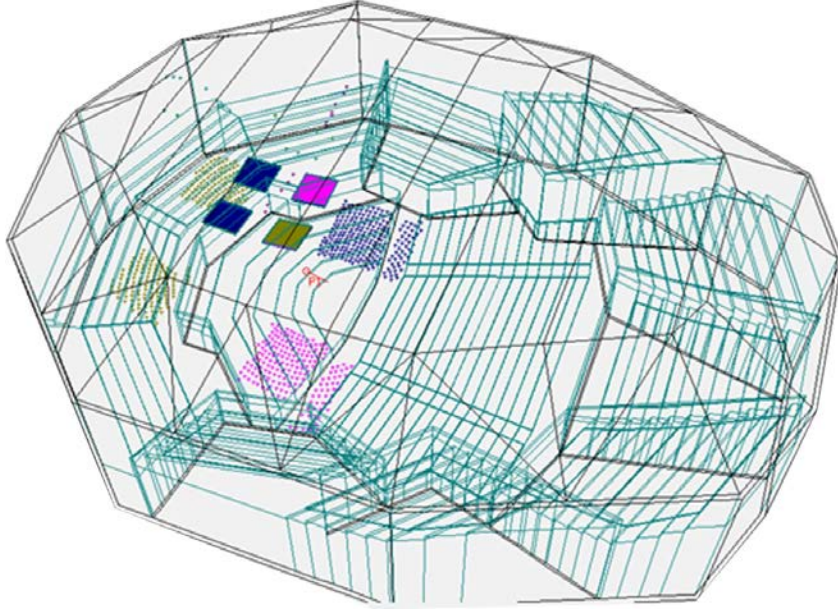
Şekil 4.107 : Yansıtıcı panel plan şeması



Şekil 4.108 : Yansıtıcı panel kesit şeması

Şekil 4.109'da parçalı panellerin ilk yansımaları ilettikleri alanlar gösterilmiştir. Öndeki paneller yine sahnenin ön kısımlarında erken yansımayı artırmak amaçlı

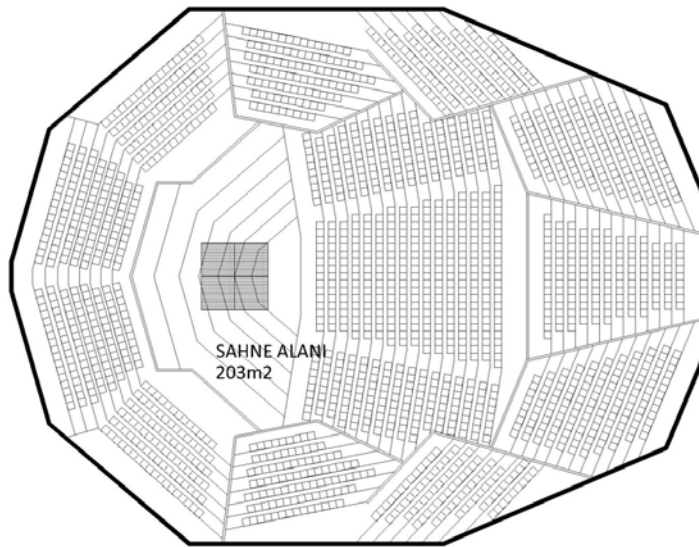
yerleştirilmiştir. Arka kısımdaki paneller ise enstrümanların yönlülük özelliği nedeniyle yeterli yansımaya alamayan sahne arkasına yansımaya iletmektedir.



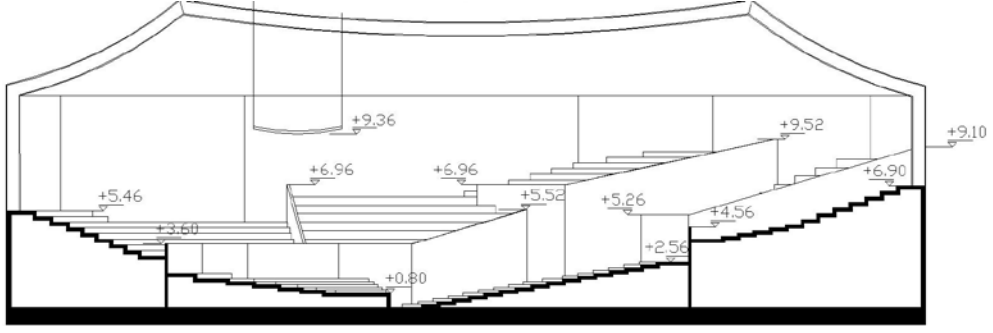
Şekil 4.109 : 2,5m x 2,5m tasarlanan yansıtıcı panellerin yansıyan ses taraması

4.2.1.3 Salon B2, 5m x 5m yansıtıcı panelli salon tasarımının akustik analizi

500 x 500cm tek parça halinde eğrisel panel 9,36m yüksekliğinde asılmıştır. Sahne merkezinde konumlandırılmıştır. Bütün olarak asılarak sahnenin tavandan aldığı ilk yansımaları artırması öngörülmüştür. Şekil 4.110'da plan şeması, 4.111'de kesit şeması bulunmaktadır.

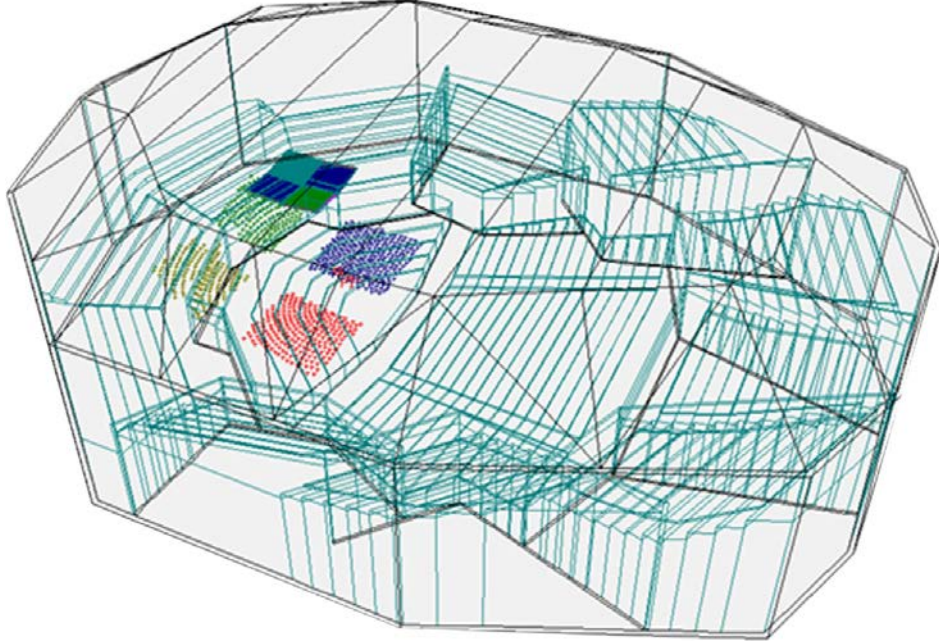


Şekil 4.110 : Yansıtıcı panel yerleşimi plan şeması



Şekil 4.111 : Yansıtıcı panel yerleşimi kesit şeması

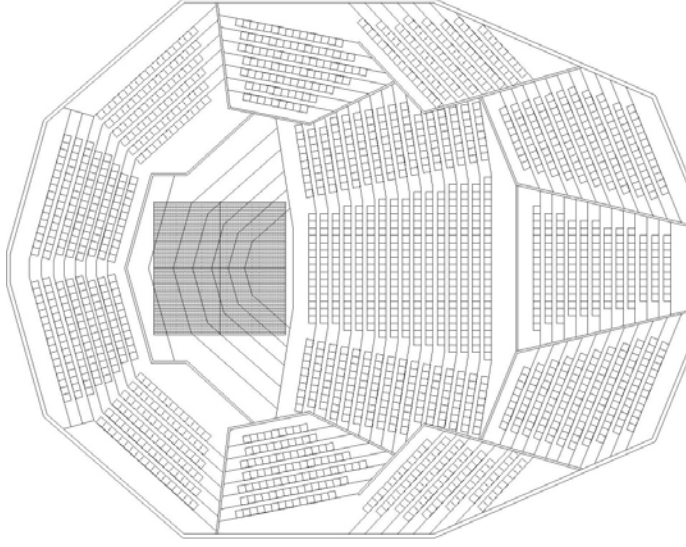
Şekil 4.112’de panellerin ilk yansımaları ilettikleri alanlar verilmiştir. Bu alanlar özellikle sahne içerisinde yer almaktadır. Sahnenin aldığı erken yansımaları artırmak amaçlanmıştır.



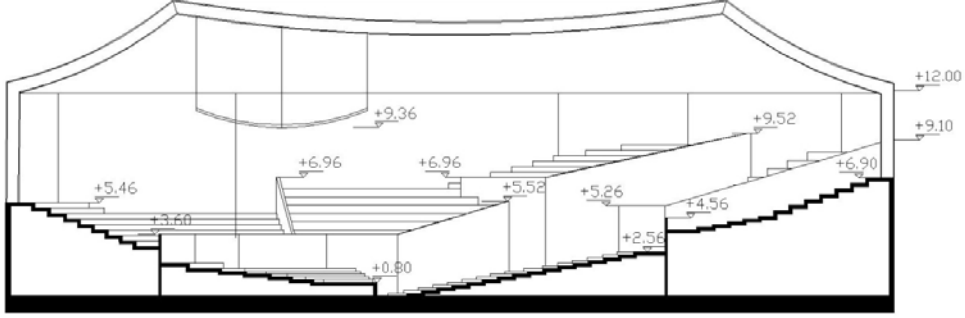
Şekil 4.112 : 5m x 5m tasarlanan yansıtıcı panelin yansıyan ses taraması

4.2.1.4 Salon B3, 10mx10m tek parça yansıtıcı panelli salon tasarımının akustik analizi

10m x 10m eğrisel panel 9m yüksekliğinde asılmıştır. Panel, tek parça halinde boyutu büyütülerek kullanılmıştır. Daha fazla erken yansıma elde edilmesi öngörülmüştür. Aynı zamanda boyutun artması ile oluşabilecek olumsuz koşullar da incelenmiştir. Büyük panellerin kullanılması, ses yansımalarının tavan ve panel arasında sıkışmasına sebep olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir. Şekil 4.113’te salonun plan şeması, 4.114’te kesit şeması bulunmaktadır.

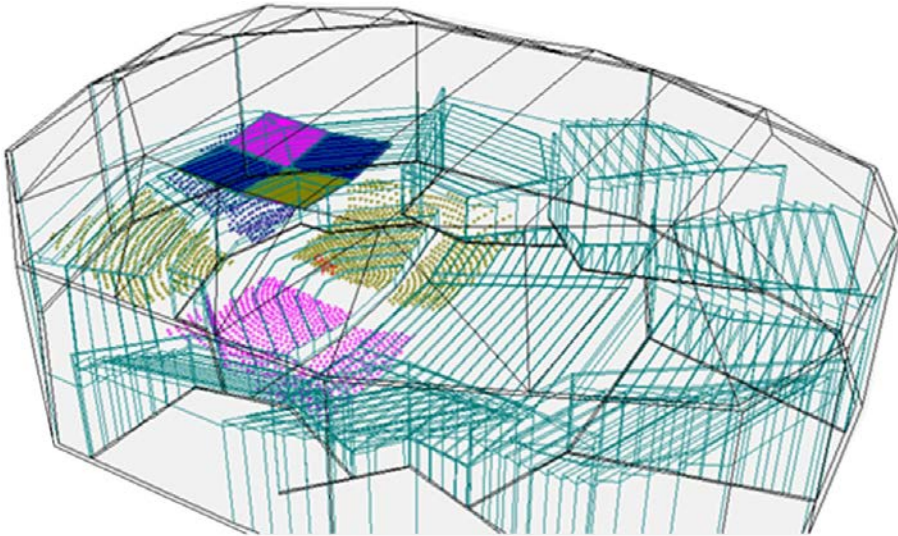


Şekil 4.113 : Yansıtıcı panel tasarımının plan şeması



Şekil 4.114 : Yansıtıcı panel yerleşiminin kesit şeması

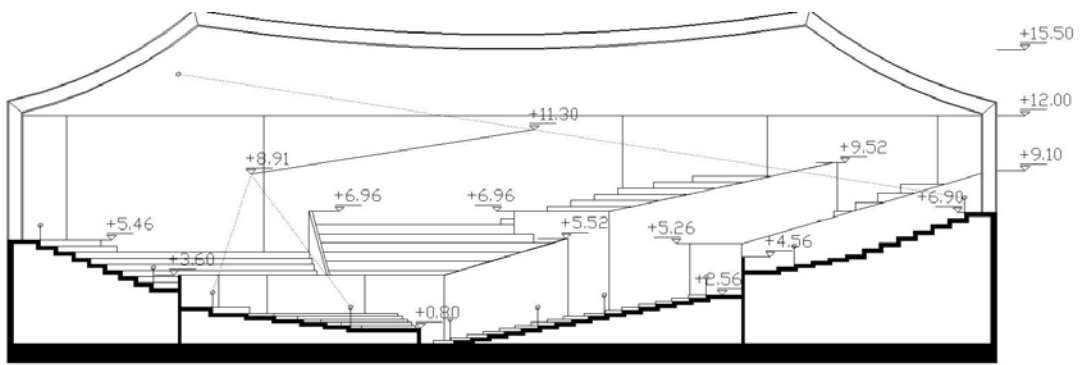
Şekil 4.115'te panelin ilk yansımaları ilettiği alanlar verilmektedir. Sahne arkası, sahne ve sahne önü erken yansıma alanlarıdır.



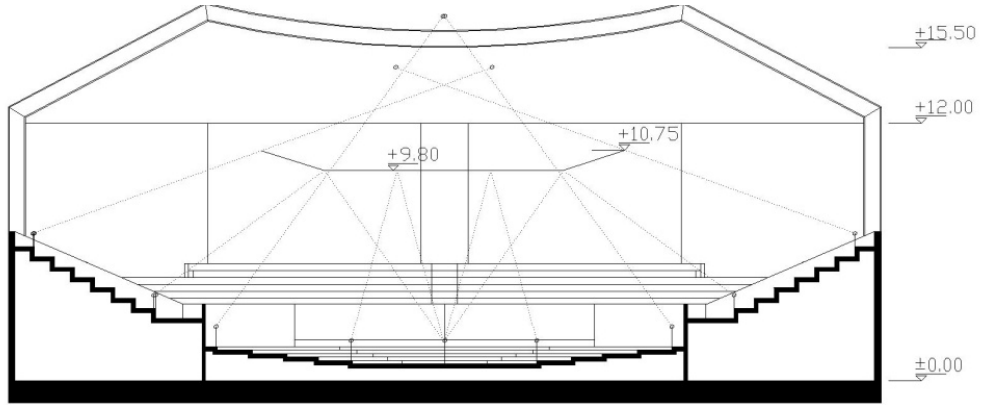
Şekil 4.115 : 10m x 10m tasarlanan yansıtıcı panelin yansıyan ses taraması

4.2.1.5 Salon B4, 10m'den büyük parçalı yansıtıcı panel tasarımı salonun akustik analizi

Tavana asılan paneller ışın analizleri yapılarak hesaplanmıştır. Panellerin ses yansımalarını zayıf olan salonun arka kısımlarına iletmeleri öngörülmüştür. Boyut olarak 10m'den büyük olması ve parçalı olması tercih edilmiştir. Parçalı olması boyutun getireceği olumsuz koşulları gidermesi için önerilmiştir. Tavan ile sahne ilişkisini kesmeden yansıma yapması açısından büyük parçalara ayrılmıştır. Şekil 4.116 ve 4.117'de kesit şemaları verilmiştir.



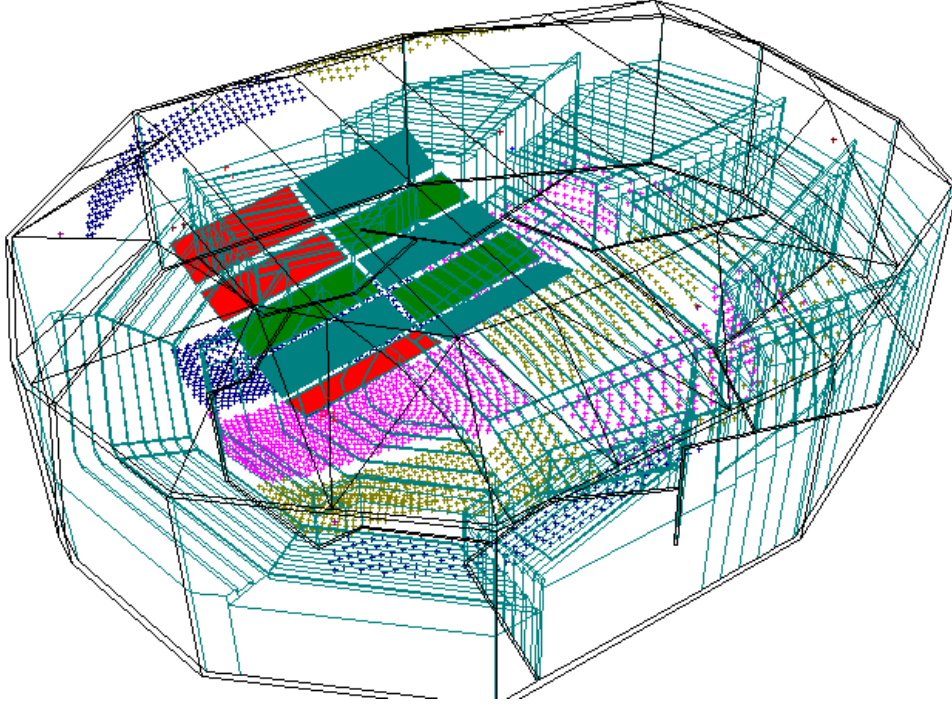
Şekil 4.116 : Yansıtıcı panel tasarımının AA görünüş şeması



Şekil 4.117 : Yansıtıcı panel tasarımının BB görünüş şeması

Şekil 4.118'de panelin ilk yansımaları ilettiği alanlar verilmektedir. Sahne ve sahne önü, yan platformlar, orta platformlar erken yansıma alan alanlardır. Boyut olarak büyütülerek daha fazla alana erken yansıma iletilmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda parçalı tasarlanması boşlukların etki analizi açısından düşünülmüştür. B3 salonunda

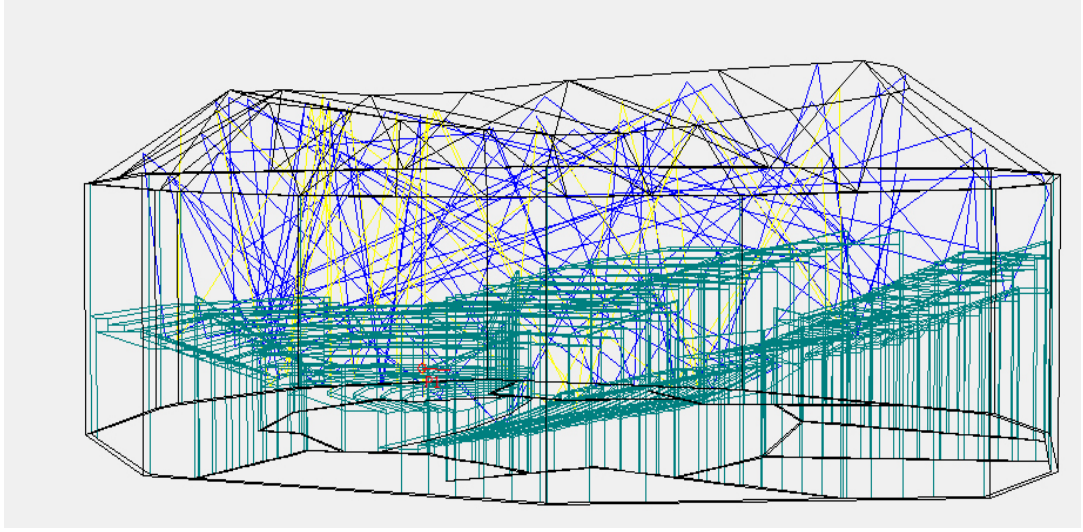
tek parça halinde 10mx10m ebatlarında tasarlanan panel ile özellikle karşılaştırılabilecektir.



Şekil 4.118 : B4 salonunda yansıtıcı panelin ilk yansımaları ilettiği alanlar

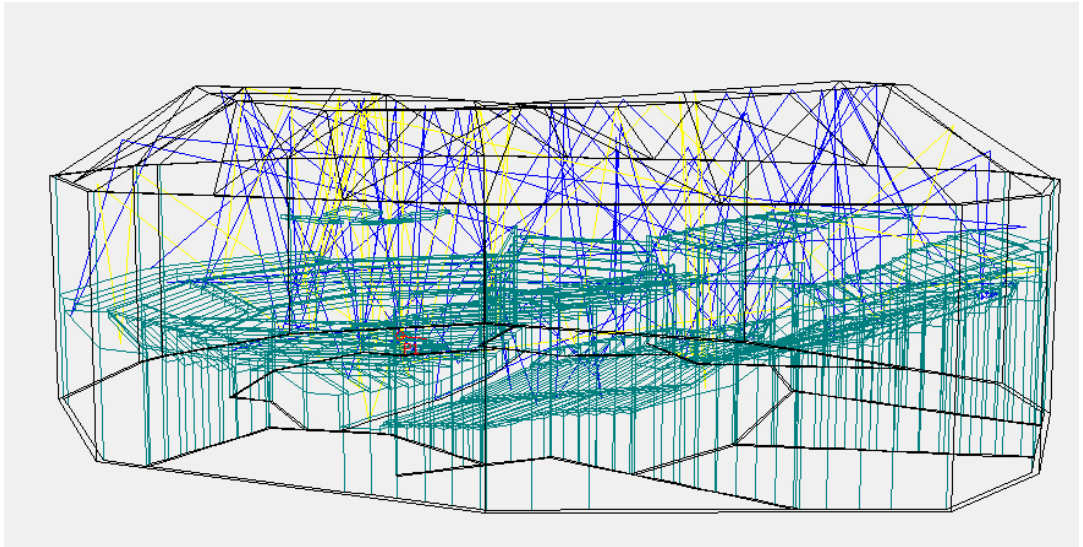
4.2.2 Yansıtıcı panel tasarımlarının genel akustik etkilerinin karşılaştırılması

Yansıtıcı panel tasarımında malzeme ve boyut özellikleri ses enerjisinin dağılımında farklı değerlere sebep olurlar. Yapılan karşılaştırmalara göre ses enerjisinin, özellikle büyük ebatlı (10mx10m) yansıtıcının kullanıldığı salonda, yansıtıcı panel ile yansıtıcı arasında kaldığı ve SPL değerlerinin bazı noktalarda 2dB bazı noktalar 0,5dB azaldığı görülür. Yansıtıcının direkt olarak yönlendiği yerlerde ise SPL değerlerinde artışlar olmuştur. Arka noktalara ses enerjisinin iletiminin artması parçalı yansıtıcılarda daha fazla olmuştur. Özellikle geç yanal yansımalarda (LG80) yansıtıcıların etkisi daha çok gözlenmektedir. Yansıtıcıların yönlendiği alıcı noktalarında B ve C salonlarında SPL değerleri artarken D salonunda bu noktalarda azalmıştır. Geç yansımalar ise genel olarak yansıtıcı panel olan salonlarda azalmıştır. Şekil 4.119'da yansıtıcı panel kullanılmayan B salonunun ses yansımaları dağılımı verilmiştir. 3 ışın kullanılan analizde salonun arka kısımlarına doğru yansımaların azaldığı görülür. Fakat genel olarak ışınlar bir alıcı bölgesinde odaklanma oluşturmamışlardır.



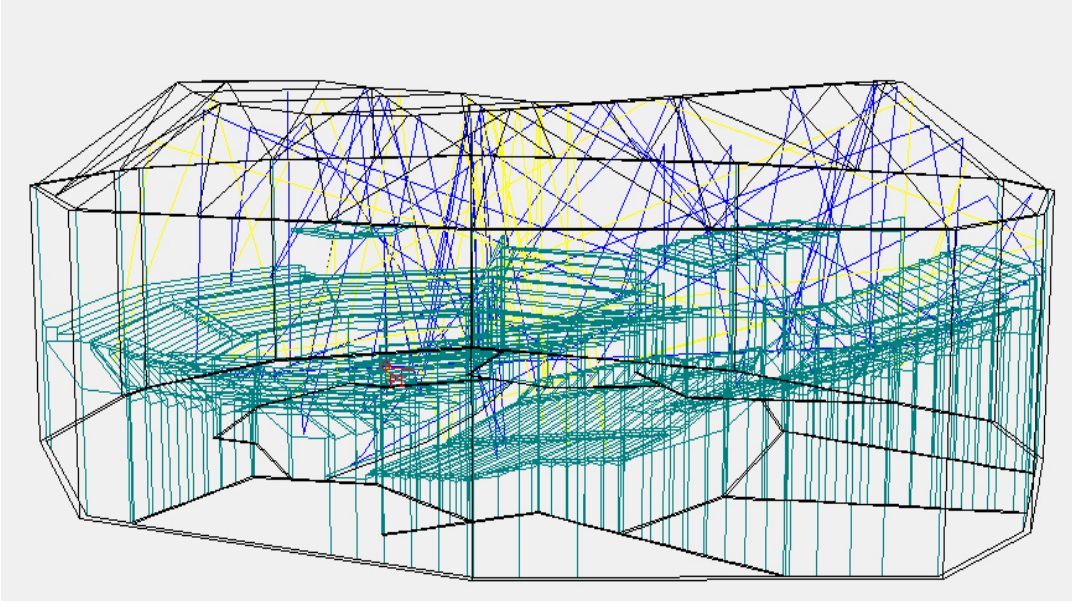
Şekil 4.119 : Yansıtıcı panelsiz tasarımda ses ışınlarının yansımaya analizi

Şekil 4.120 'de 2.5mx2.5m büyüklüğünde 4 adet yansıtıcı panel kullanılan B1 salonundaki ses yansımaları dağılımı verilmiştir. Sahne arkasına doğru iletilen yansımalar zayıflamıştır. Bu analizde kaynak noktasından çıkan 3 ses ışını kullanılmıştır. Ses ışınlarının kaynaktan çıkıp sönmümleninceye kadar izlediği yol verilmektedir.



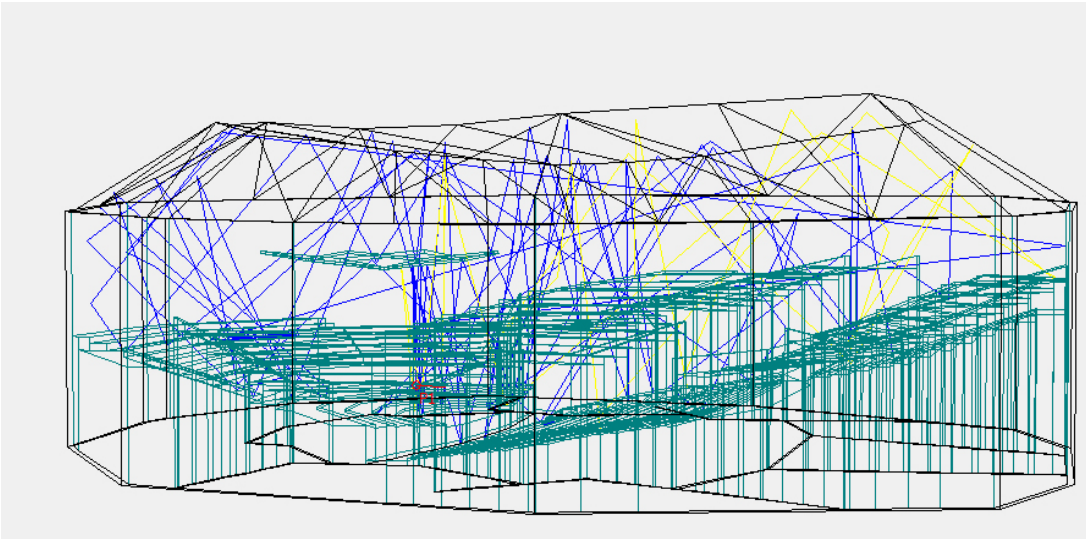
Şekil 4.120 : 2,5m x 2,5m parçalı yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansımaya analizi

Şekil 4.121 'de tek parça 5mx5m yansıtıcı panel kullanılan B2 salonunun ses yansımaya dağılımı verilmiştir. Dağılıma göre sahne üzerinde ve arkasında yansımalar zayıflamıştır.



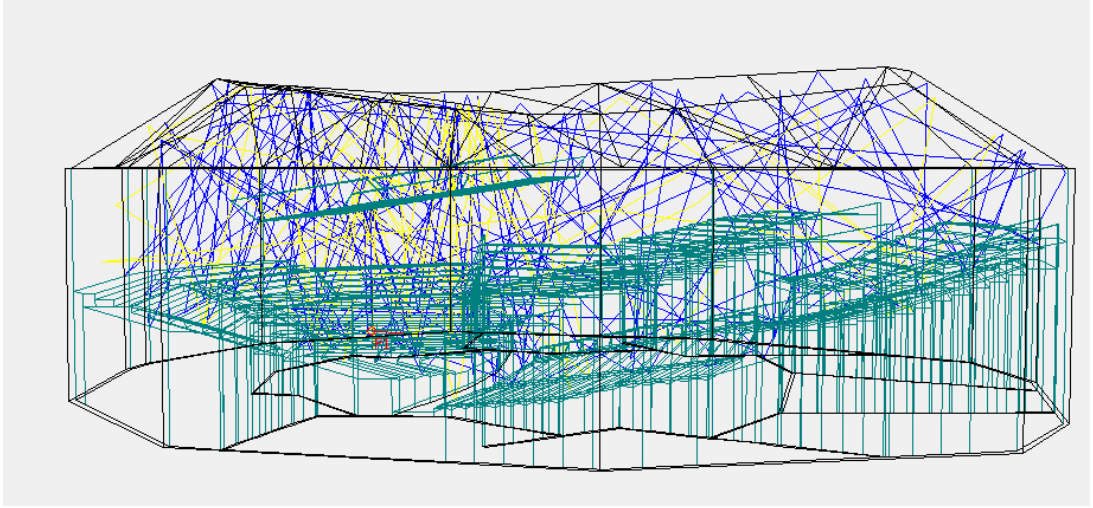
Şekil 4.121 : 5mx5m yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansıma analizi

Şekil 4.122’de tek parça 10mx10m yansıtıcı panel kullanılan B3 salonunun ses yansıma dağılımı verilmiştir. 5 ışın kullanılan analizde panel ile tavan arasında yoğun bir yansıma görülür. Salonun arka kısımlarında yansımalar zayıflamıştır.



Şekil 4.122 : 10m x 10m yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansıma analizi

Şekil 4.123’te B4 salonundaki ses yansıma dağılımı verilmiştir. Boyutu artırılan ve parçalar halinde kullanılan panellerin etkisiyle sahne arkasına ve salon arkasına iletilen enerji artmıştır. Sahnedeki yansıma yoğunluğu da artmıştır.



Şekil 4.123 : 10m den büyük parçalı yansıtıcı panel tasarımında ses ışınlarının yansıma analiz

Yansıtıcı panellerin sahne akustiğine etkisinin analizi, destek parametresinin değerlendirilmesi ile yapılır. Sahnedeki yansımaların değerlendirilmesinde kullanılan destek (ST) parametresinin optimum değerleri aşağıdaki gibidir.

ISO 3382 – 1 ‘de verilen ST değerlerine göre erken ST değeri -24dB ile -8dB arasında iken, geç ST değeri -24dB ile -10dB arasındadır. [20]

Gade ’in klasik müzik orkestrası önerdiği değer aralıkları ise aşağıdaki gibidir.

Erken ST -13dB ile -11dB arasında olmalıdır.

Geç ST -13dB ile -12dB arasında olmalıdır.

Total ST -12dB ile -8dB arasında olmalıdır.

E: ses enerjisi, yansımaların toplamı

$$ST\ erken = \frac{E_{20-100}}{E_{0-10}} dB \quad (4.1)$$

$$ST\ geç = \frac{E_{100-1000}}{E_{0-10}} dB \quad (4.2)$$

$$ST\ total = \frac{E_{20-1000}}{E_{0-10}} dB \quad (4.3)$$

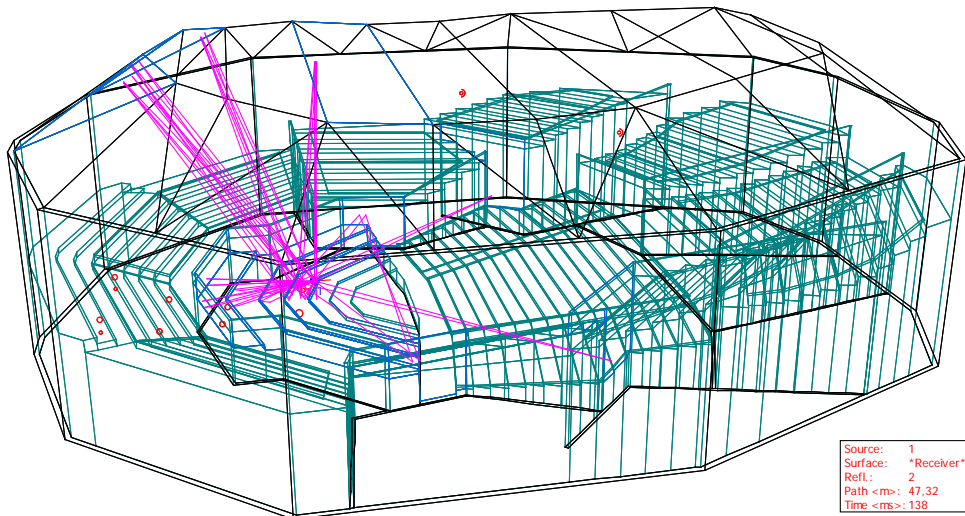
Simülasyonda sahneye yerleştirilen alıcı noktalarında Destek (ST) parametre verileri alınmıştır. Parametrede sahnenin aldığı erken ve geç yansımalar analiz edilir. Işınlardan zamana bağlı ses düzeyleri ve yön ile ilgili bilgileri analiz edilir. B4 salonunda erken yansımaların arttığı görülmektedir. Yansıtıcı panellerin asıldığı

yükseklikler ve sahne duvar özellikleri aynı olduğu için direkt sestten sonraki ilk gecikme aralığı (ITDG) bütün yansıtıcı panel tasarımlarında aynıdır. Yansıtıcı panel tasarımı özellikle erken ve geç yansımaların yoğunluğunu değiştirmektedir.

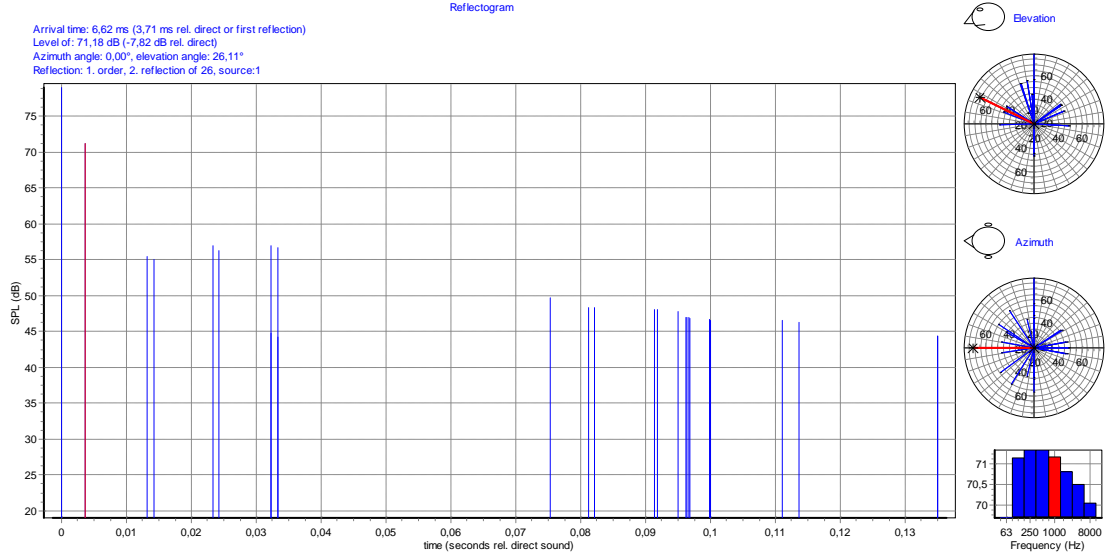
Yansıtıcı panelin etkisinin analizi için sahnede kaynağa yakın bir noktaya alıcı yerleştirilir. Bu alıcının yansımaları ne yönden, ne zaman ve ne ses basınç düzeyinde aldığı irdelenir. Çizelge 4.6'da yansıtıcı panel kullanılmayan B salonu için erken destek, geç destek, total destek, ses basınç düzeyi ve geç yanal yansıma değerleri verilmiştir. Destek değerleri optimum aralığa yakın olsa da sınırın dışındadır ve sahnenin yeterli yansıma alamadığını gösterir. Şekil 4.124'te alıcıya iletilen yansımaların dağılımı verilmiştir. Direkt ses ile ilk yansıma arasındaki süre olan ITDG bütün panel tasarımlarında aynıdır. Şekil 4.125 incelendiğinde ilk yansımaların yanal yüzeylerden alındığı görülür. Geç yansımalar 0.07s ile 0.08. saniyeler arasında başlamıştır. Belirgin bir eko durumu yoktur.

Çizelge 4.6 : Salon B, yansıtıcı panselsiz salon tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
STerken (dB)	-14,26	-14,74	-15,30	-15,49	-14,50	-14,17	-14,56	-15,62
STgeç (dB)	-13,92	-13,89	-13,85	-14,40	-15,06	-15,11	-16,52	-22,09
STtotal (dB)	-11,08	-11,29	-11,51	-11,90	-11,76	-11,60	-12,42	-14,74
SPL(A) =	86,9(dB)							
LG80* =	61,3(dB)							



Şekil 4.124 : B salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi

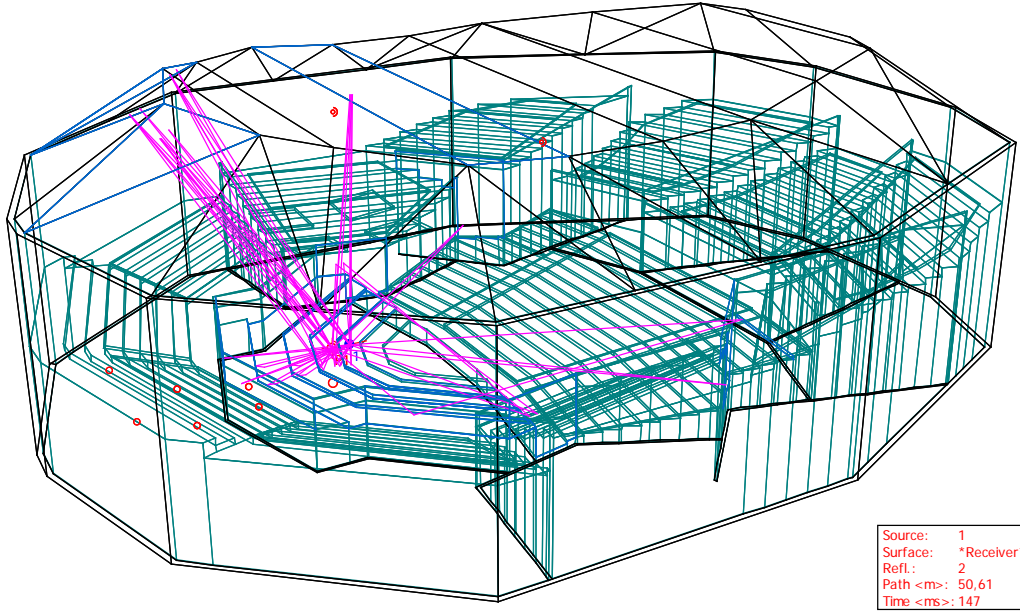


Şekil 4.125 : B salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği

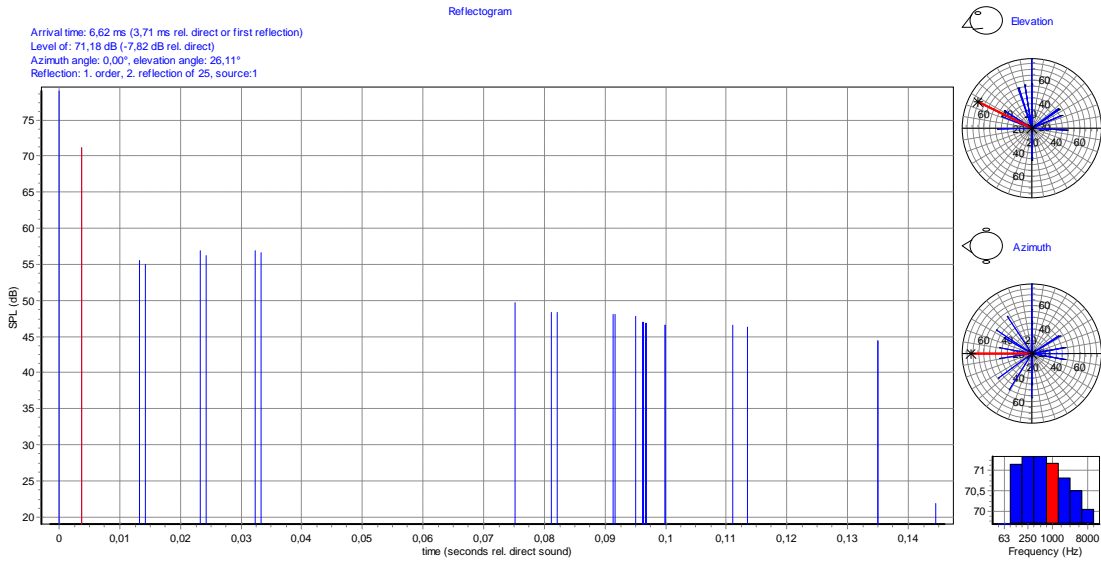
Çizelge 4.7’de 2,5 m’lik parçalı yansıtıcı panel kullanılan B1 salonu için erken destek, geç destek, total destek, ses basınç düzeyi ve geç yanal yansıma değerleri verilmiştir. B salonuna göre değerlerde bir değişiklik yoktur. Fakat panellerin geç yansımaların dağılımını etkilemesinden dolayı LG80 değeri 0,6dB düşmüştür. Şekil 4.126’da alıcıya iletilen yansımaların dağılımı verilmiştir. Şekil 4.127’de alıcıya gelen yansımaların süre ile ilişkisini analiz eden grafik verilmiştir. Direkt ses ile ilk yansıma arasındaki süre olan ITDG bütün panel tasarımlarında aynıdır. 0.07’nci saniyeden sonra geç yansımalar başlamaktadır. Önceki gelen yansımaların yüksekliğine göre bu grafikten eko analizi yapılabilir. Yansımalar azalarak devam etmektedir.

Çizelge 4.7 : Salon B1, 2,5m x 2,5m parçalı yansıtıcı panel tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
STerken (dB)	-14,39	-14,85	-15,43	-15,66	-14,68	-14,38	-14,87	-16,12
STgeç (dB)	-14,36	-14,29	-14,20	-14,86	-15,42	-15,44	-16,74	-22,08
STtotal (dB)	-11,36	-11,55	-11,77	-12,23	-12,02	-11,87	-12,70	-15,14
SPL(A) = 87,5(dB)								
LG80* = 60,7(dB)								



Şekil 4.126 : B1 salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi

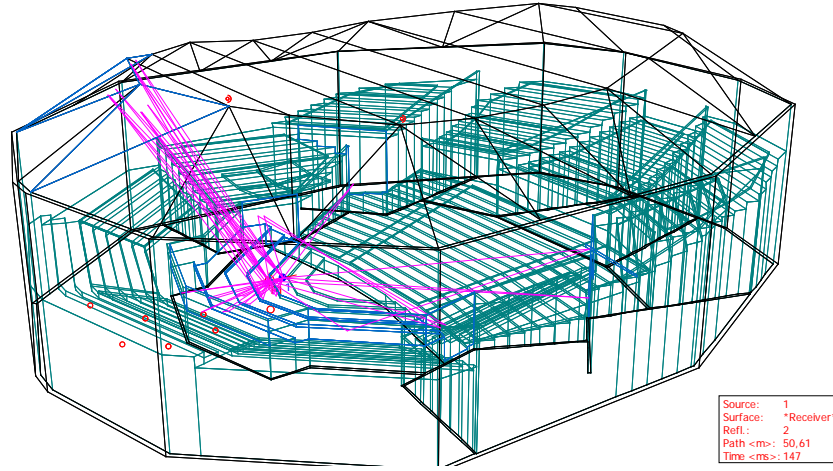


Şekil 4.127 : B1 salonu yansıyan ışınların zamana bağlı ses düzeyi grafiği

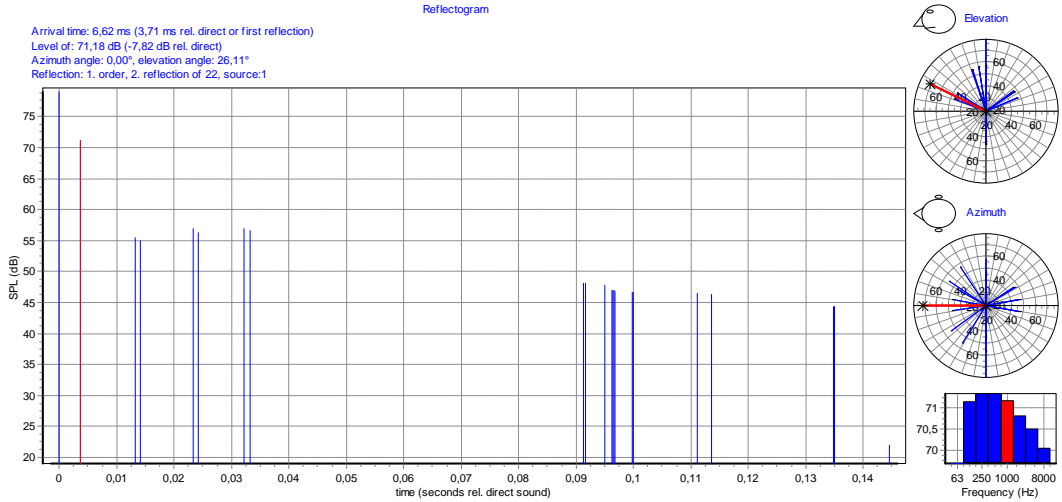
Çizelge 4.8 'de 5 m'lik parçalı yansıtıcı panel kullanılan B2 salonu için erken destek, geç destek, total destek, ses basınç düzeyi ve geç yanal yansıma değerleri verilmiştir. Orta frekansta erken yansımaların değerleri düşmüştür. Şekil 4.128'de alıcıya gelen yansımaların yön dağılımı verilmiştir. Alıcı öncelikli olarak yan duvarlardan yansıma almaktadır. Şekil 4.129'da alıcıya gelen yansımaların zamana bağlı ses basınç düzeyi grafiği verilmektedir. Grafiğe göre geç yansımalar 0.02s ötelenmiştir.

Çizelge 4.8 : B1 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
STerken (dB)	-16,76	-17,17	-18,11	-18,65	-18,55	-18,61	-19,07	-20,27
STgeç (dB)	-14,89	-14,68	-14,93	-15,68	-15,99	-16,28	-18,19	-23,28
STtotal (dB)	-12,72	-12,74	-13,22	-13,90	-14,08	-14,28	-15,60	-18,51
SPL(A) = 86,9(dB)								
LG80* = 60,8(dB)								



Şekil 4.128 : B2 salonu sahnedeki alıcının yansımaya analizi



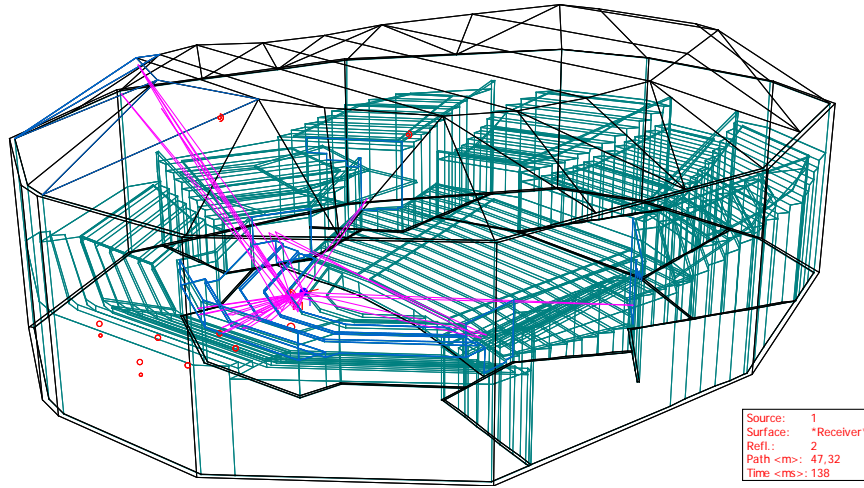
Şekil 4.129 : B2 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği

Çizelge 4.9’da B3 salonunun erken destek, geç destek, total destek, ses basınç düzeyi ve geç yanal yansımaya değerleri verilmiştir. Erken destek değeri yansıtıcı panel kullanılmayan B salonuna göre artmıştır. Fakat geç yansımaların destek değerleri azalmıştır. Şekil 4.130’da alıcıya gelen yansımaların yön dağılımı verilmektedir.

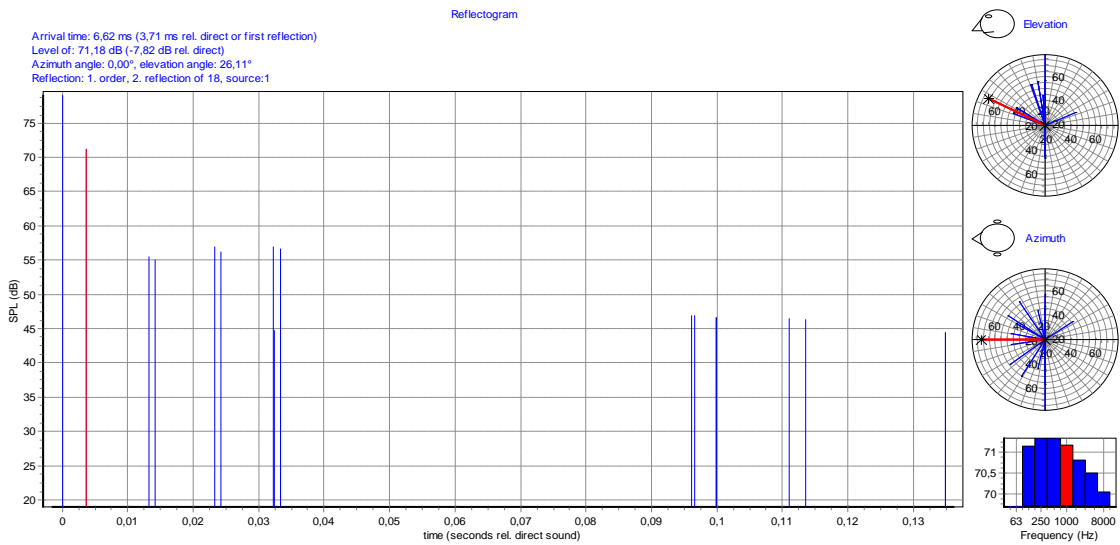
Şekil 4.131’de alıcıya ulaşan yansımaların zamana bağlı ses düzeyi grafiği verilmiştir. Geç yansımalar 0.02s ötelenmiştir ve SPL değerleri azalmıştır.

Çizelge 4.9 : Salon B3, 10m x1 0m lik yansıtıcı panel tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
STerken (dB)	-14,73	-15,25	-15,85	-16,17	-15,04	-14,65	-15,02	-15,95
STgeç (dB)	-15,19	-15,14	-14,96	-15,62	-16,23	-16,23	-17,56	-23,08
STtotal (dB)	-11,94	-12,18	-12,38	-12,87	-12,58	-12,36	-13,10	-15,18
SPL(A) = 86,9(dB)								
LG80* = 60,2(dB)								



Şekil 4.130 : B3 salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi

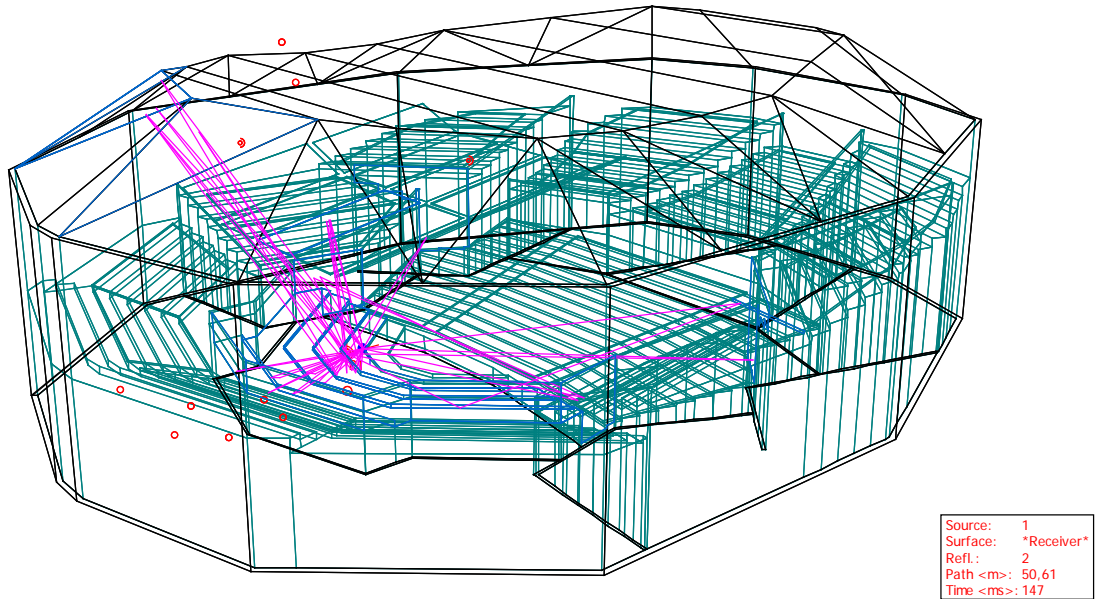


Şekil 4.131 : B3 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği

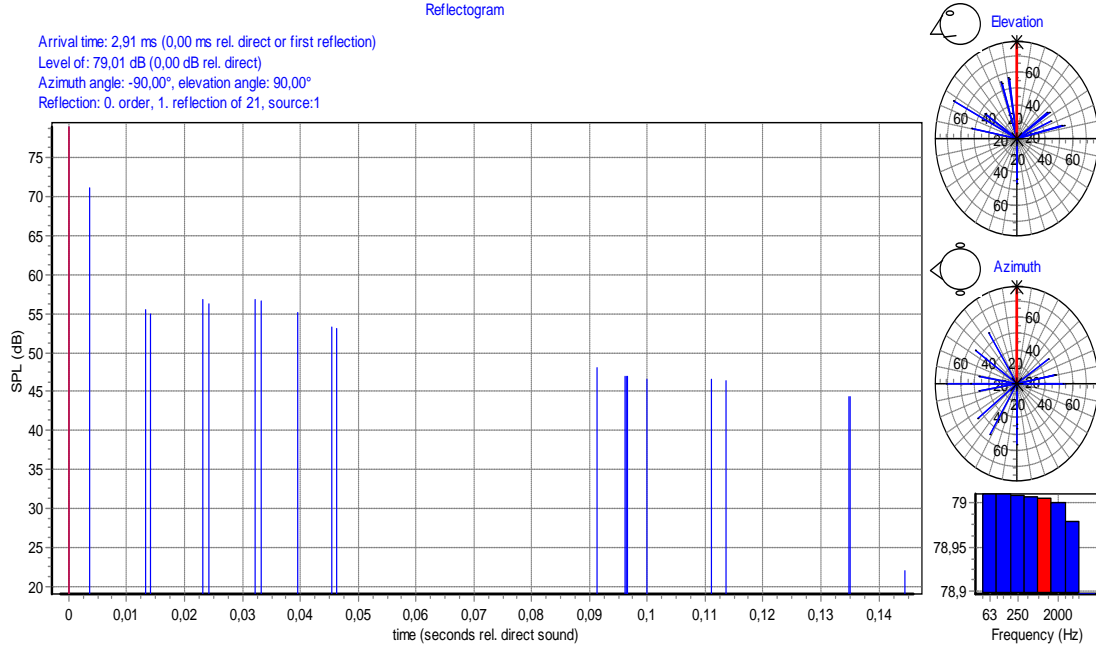
Çizelge 4.10'da B4 salonunun erken destek, geç destek, total destek, ses basınç düzeyi ve geç yanal yansıma değerleri verilmiştir. B salonuna göre erken destek değerleri artmıştır, SPL değerleri değişmemiştir. Geç yansımalar ise 1dB azalmıştır. Şekil 4.132'te alıcıya ulaşan yansımaların yön dağılımı verilmiştir. Yansıtıcı panelden de yansıma alınmıştır. Alıcıya ulaşan yansımaların zamana bağlı ses düzeyi grafiği Şekil 4.133'te verilmiştir. Buna göre erken yansımalar artmış, geç yansımalar zayıflamıştır. 0,07. Saniyeden sonra gelen geç yansımalar azalarak alıcıya ulaşmıştır. Bu da alıcı noktasında belirgin bir eko gözlenmediğini göstermektedir.

Çizelge 4.10 : Salon B4, yansıtıcı panel tasarımı için sahne ile ilgili parametreler;

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
STerken (dB)	-13,41	-14,02	-14,31	-14,49	-13,65	-13,38	-13,83	-15,02
STgeç (dB)	-15,42	-15,26	-14,68	-15,19	-15,73	-15,70	-17,03	-22,38
STtotal (dB)	-11,29	-11,59	-11,48	-11,81	-11,56	-11,38	-12,13	-14,29
SPL(A) = 86,9(dB)								
LG80* = 60,3(dB)								



Şekil 4.132 : B4 salonu sahnedeki alıcının yansıma analizi



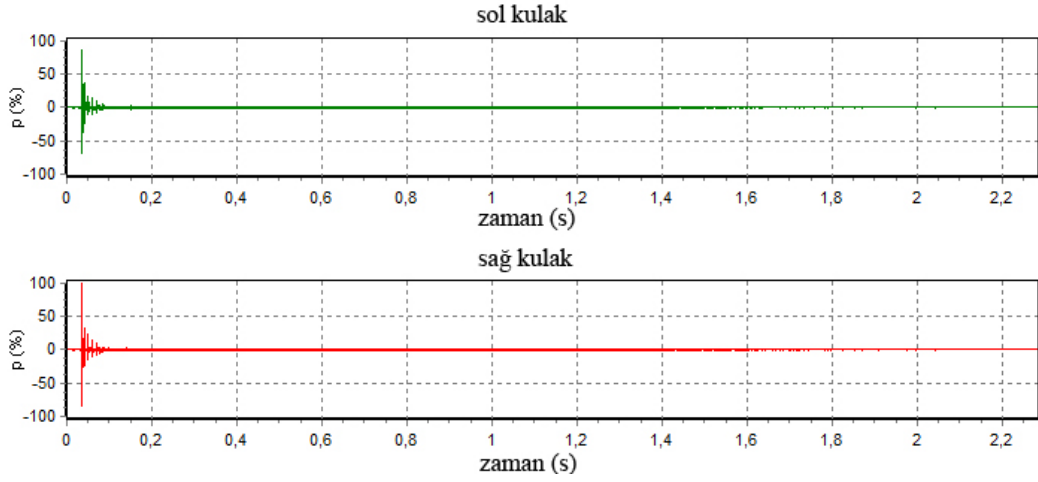
Şekil 4.133 : B4 salonu zamana bağlı yansıyan ışınların ses düzeyi grafiği

Alçak tavanlı salonlarda genel olarak yansıtıcı panel tasarımı belli noktalarda aşırı ses artışlarına neden olur ve sesin salonda homojen dağılımını engelleyebilir. Çeşitli yansıtıcı panel şekillerinin kullanıldığı salonlarda, sahne üzerinde alınan değerler ISO'ya uygun olarak gözükse de akustikçilerin verdiği değer aralıklarının altında kalmaktadırlar. Yansımaların azlığı nedeniyle değerler optimum aralığın altında çıkmıştır.

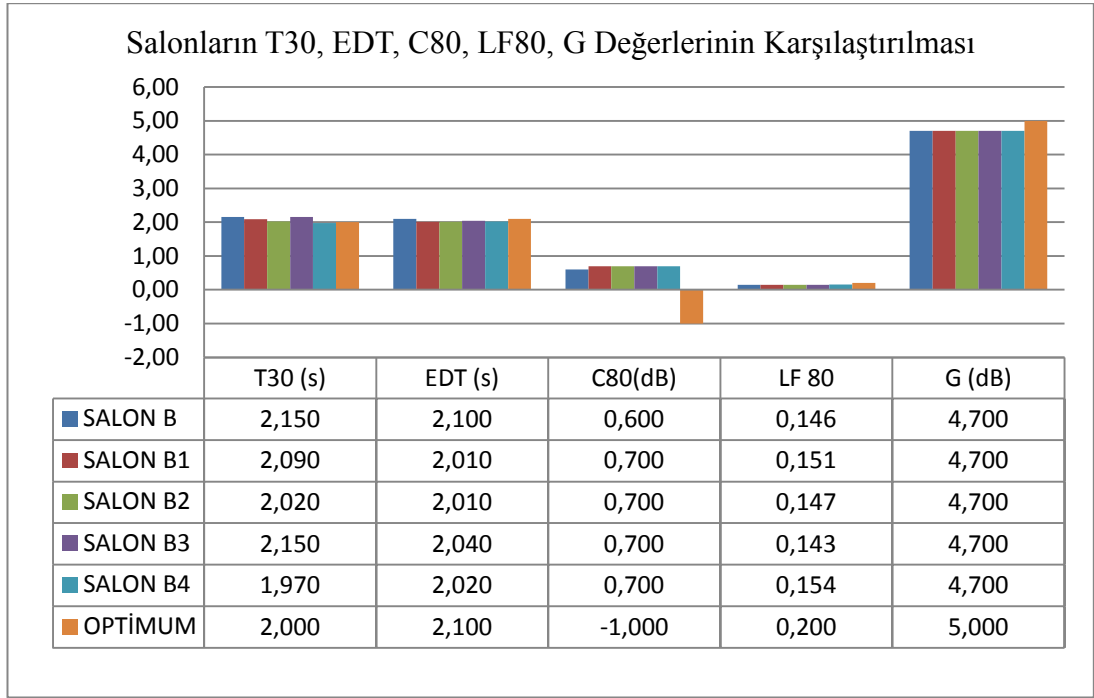
Şekil 4.135'te salonlarda alınan T30, EDT, C80, LF80, G değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması verilmiştir. 15m'den daha fazla olan salon yüksekliklerinde elverişli olabilecek yansıtıcı panellerin salon değerlerine bir katkısı olmamıştır. Etki alanı olarak sahne ile sınırlanmıştır. Sahnedeki koşulları iyileştirirse de tavan ile panel arasında sıkışan yansımalar nedeniyle salon içerisindeki bazı alanlarda EDT değerleri zayıflamış, G değerleri B salonuna göre düşmüştür.

Şekil 4.134'te alıcıların sağ ve sol kulaktaki ses basıncı verilmiştir. Karşılaştırılan bütün salonlarda aynı çıkmıştır. Alıcının sahnenin merkezinde bulunmasından dolayı sağ ve sola kulak arasında ses basıncı farkı görülmemiştir. Panelden kaynaklanan herhangi bir eko olması IACC grafiğinden analiz edilebilmektedir. Panelden kaynaklanan bir eko durumu görülmemiştir. Salonun yan kısımların bulunması halinde o taraftaki gelen yansımaları değiştirmektedir.. Bu da sağ ve sol kulaktaki

basıncın farklılaşmasına neden olur. Fazla bir basınç farkında olumsuz koşullar gözlenebilmektedir.



Şekil 4.134 : Salonlarda sahnedeki alıcının sağ ve sol kulaktaki ses basıncı



Şekil 4.135 : Nesnel parametrelerin optimum değerlerle karşılaştırma grafiği

T30 ve EDT Değerlendirmesi

Yansıtıcı panel etkisiyle salonlarda T30 çok fazla değişmemektedir. Fakat EDT değeri, arena tipli salonlarda sahnenin alabildiği yansıma azaldığından, düşük çıkmaktadır. Fakat B4 salonunda EDT değeri T30 değerinden yüksek çıkmıştır. Bu parterlerin aldığı yararlı yansımanın artmış olduğunu gösterir.

C80 Değerlendirmesi

Yansıtıcı panellerin salonun genel ortalamasında bir etkisi olmamıştır. Noktasal olarak bakıldığında yansıtıcı panellerden yansımaya alan noktaların erken yansımaları arttığı için C80 değeri pozitif yönde artar.

LF80 Değerlendirmesi

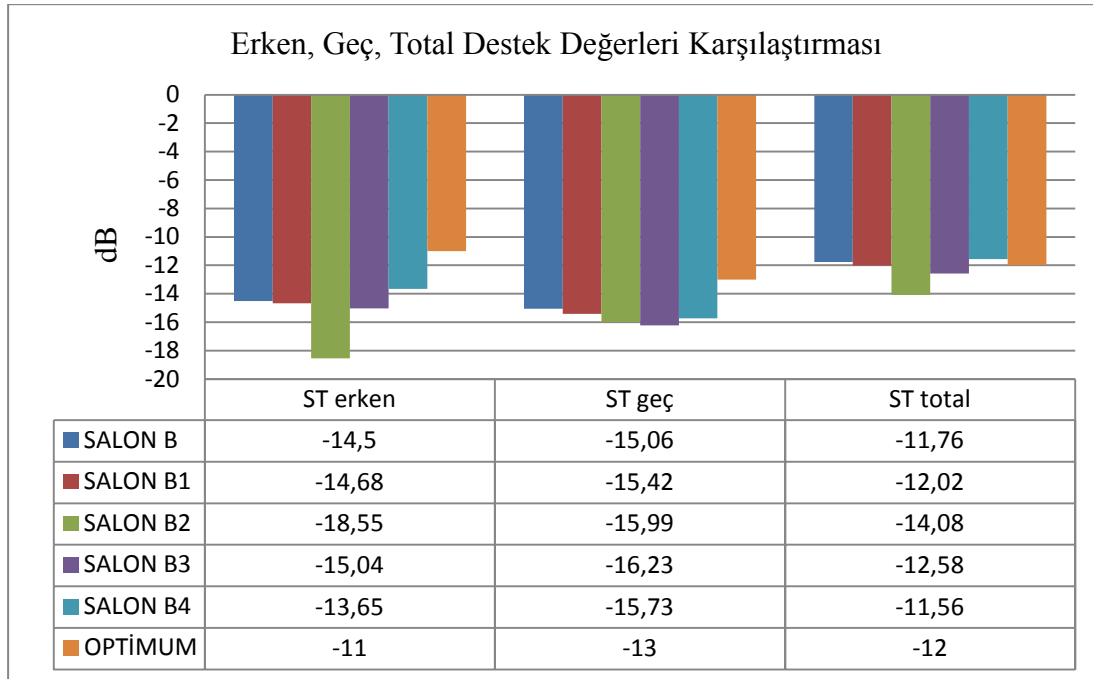
B4 salonunda en yüksek yanal yansımaya elde edilmiştir. Yansıtıcı panel tasarımı direkt olarak duvarlara gelen yansımaları da artırdığından LF 80 değeri artmıştır.

G Değerlendirmesi

Yansıtıcı panel tasarımının salondaki genel ses yükseklik değerine bir etkisi olmamıştır.

Reflektörlerin Sahne Açısından Değerlendirilmesi

Şekil 4.136’da salonların sahnedeki erken, geç ve total destek değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.136 : ST ort, ST erken ve ST geç parametrelerinin optimum değerlerle karşılaştırma grafiği

Sahnedeki erken yansımaların geç yansımalara oranını değerlendiren ST erken, geç ve total parametreleri analiz edilmiştir. Bu analize göre olması gereken değerler aşağıdaki aralıklar gibidir.

Gade 'in klasik müzik orkestrası önerdiği değer aralıkları ise aşağıdaki gibidir.

Erken ST -13dB ile -11dB arasında olmalıdır.

Geç ST -13dB ile -12dB arasında olmalıdır.

Total ST -12dB ile -8dB arasında olmalıdır.

Salonun değerleri arena tipli salon olmasından dolayı en optimum değere yaklaşan salonda 1dB düşük çıkmaktadır. Işın analizleri yapılan B4 salonunda bütün parterler yansıma alacak şekilde sahne üzerine 9.m kotunda yansıtıcı panel yerleştirilmiştir. Bu panel etkisiyle değerler en optimuma yaklaşmıştır. Diğer salonlarda ise yansıtıcı panel tasarımları sahne koşullarını olumsuz olarak etkilemiştir.

4.3 Yan Duvar Tasarımlarının Akustik Analizi

Yan duvarların form ve malzeme seçimi seyircilerin yararlı yansımaları hızlı almaları açısından önemlidir. Yararlı yansımaların hızlı alınması, düşük ITDG ile sağlanabilir. Ayrıca yansımaların homojen şekilde dağılımı (IACC'nin 1 olması) yan duvarların öncelikli tasarım ilkelerinden biridir. Özellikle arena tipli salonlarda yan yansımaların dağılımı zayıftır. Fakat teraslı (vineyard) arena tip salonlarda platformların duvarları yararlı yan yansımalar açısından verimli kullanılmalıdır. Odaklanma ya da eko gibi akustik konforsuzluklara neden olmamalıdır. Özellikle yan yansımaların değerlendirilmesi açısından LF80, EDT, IACC parametrelerinin analizi gerekir.

4.3.1 Yan duvarların ve arka duvarların eğriselliğinin akustik analizi

Çizelge 4.11'de karşılaştırılan iki salonun teknik bilgileri verilmiştir. Tabloya göre değişen tasarım elemanları yan ve arka duvarların formudur.

Çizelge 4.11 : Karşılaştırılan salonların teknik değerleri

SALON ADI	HACİM (M3)	KİŞİ BAŞI (M3)	OTURMA KAPASİTESİ	TAVAN YÜKSEKLİĞİ (M)	KOLTUK (M)	TOTAL UZUNLUK	SAHNE ALANI	KARŞILAŞTIRMA PARAMETRESİ
EĞRİSEL / DÜZ YAN DUVAR ANALİZİ								
SALON B	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	DÜZ YAN DUVAR
SALON BX	18746	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	EĞRİSEL YAN DUVAR

Sabit faktörler

- Kişi başı m²
- Yüzey malzemeleri
- Yansıtıcı panel yüksekliği

- Plan şeması
- Kişi başı m²
- Hacim
- Kişi başı hacim

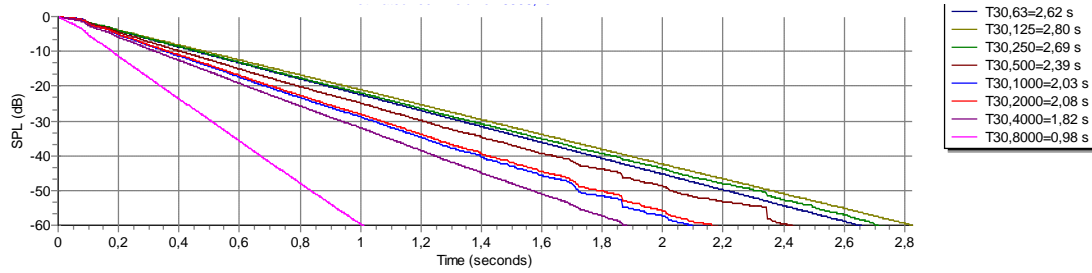
Değişken faktörler

- Yan ve arka duvarların formu

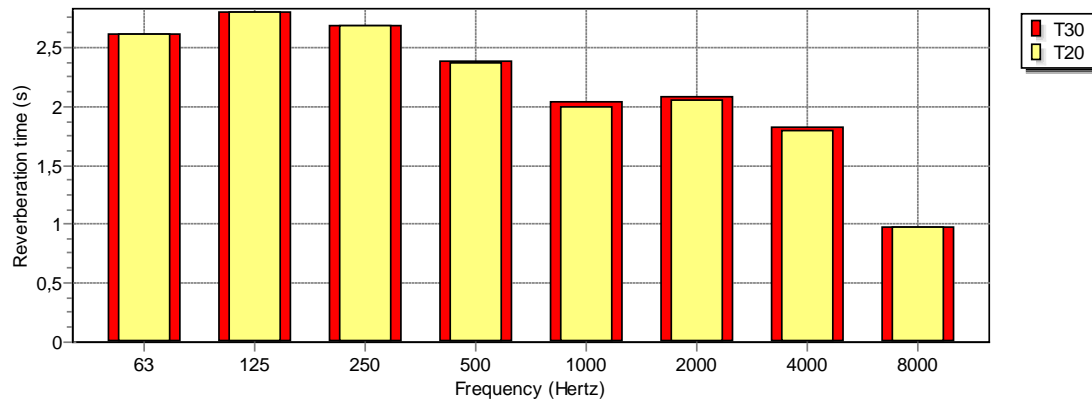
Salonun karşılaştırma analizinin hacim değişikliğinden etkilenmemesi için hacimler yakın tutulmuştur.

4.3.1.1 Düz yan ve arka duvarlı salon tasarımının akustik analizi

Yan ve arka duvarlar düz olarak tasarlanmıştır. Yüzey malzemeleri her iki salonda da aynı alınmıştır. T30 değeri 2,03 olarak verilmiştir. Şekil 4.137’de ve 4. 138 ’de B salonunun frekansa bağlı çınlama süreleri verilmiştir.



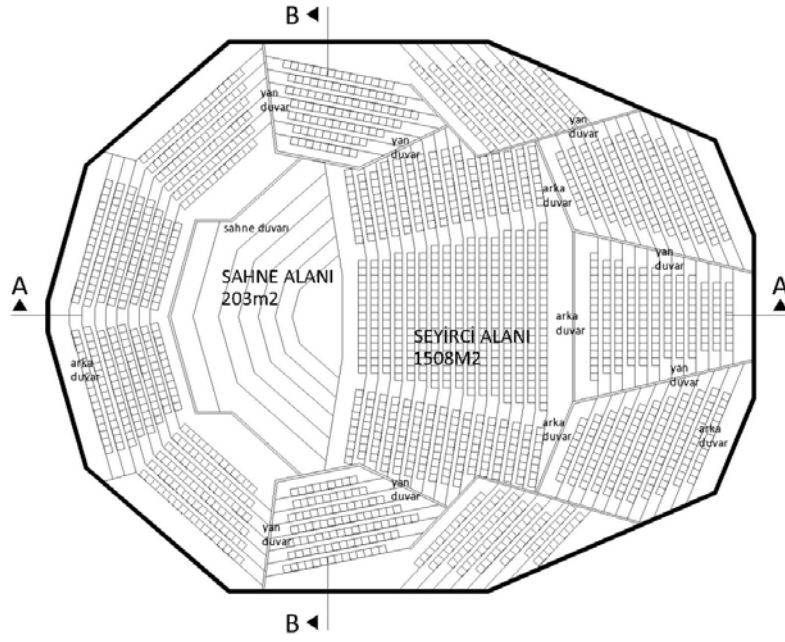
Şekil 4.137 : Düz tavan tasarımı kullanılan salonun frekansa bağlı ses azalım eğrileri



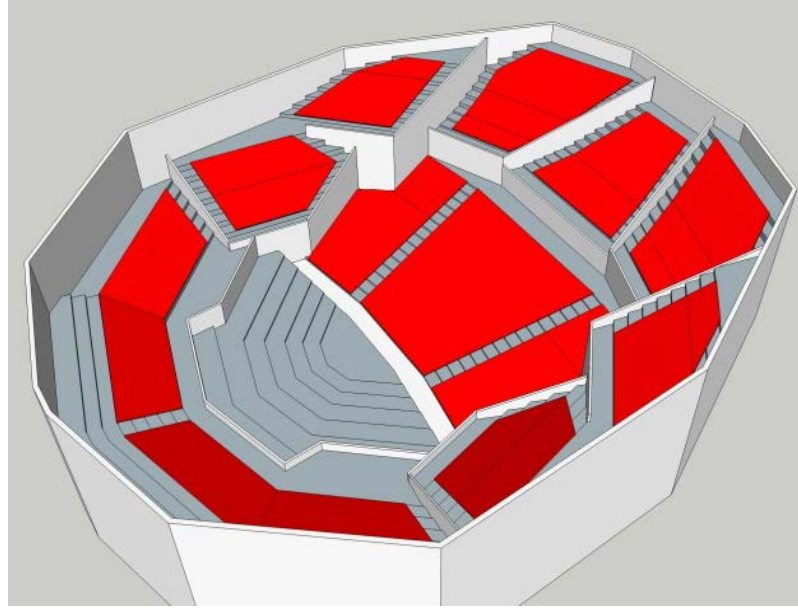
Şekil 4.138 : Frekansa bağlı salonun RT süreleri

Şekil 4.139’da B salonunun plan şeması verilmiştir. Şemaya göre platformların oluşturduğu yan duvarlar, sahne duvarları, dış kabuğu oluşturan arka duvarlar düz

olarak tasarlanmıştır. Şekil 4.140’da salonun 3D görünüşü verilmektedir. Kırmızı ile gösterilen alanlar seyirci alanlarıdır.



Şekil 4.139 : Düz duvarlı salon tasarımı plan şeması

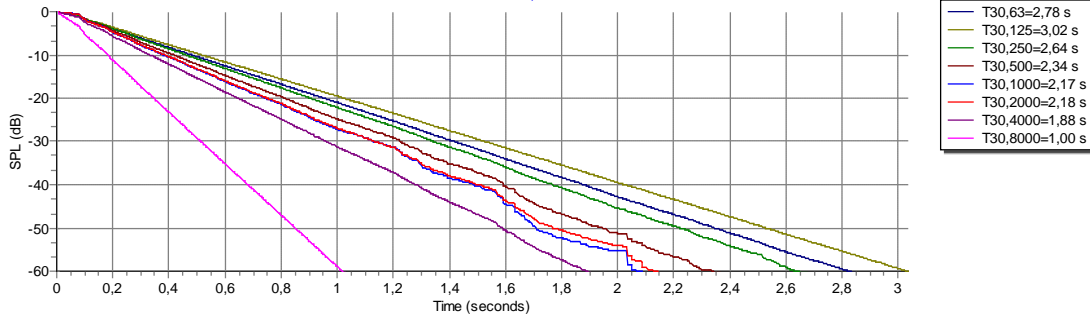


Şekil 4.140 : 3D salon görünüşü

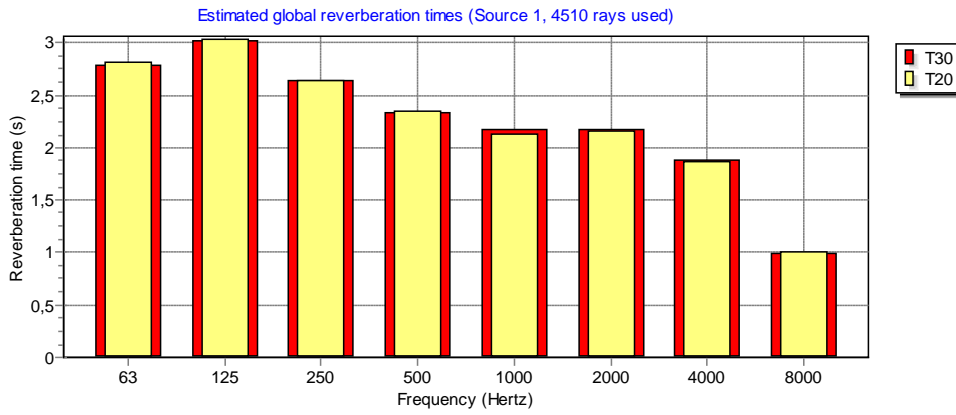
4.3.1.2 Eğrisel yan ve arka duvarlı salon tasarımının akustik analizi

Yan duvarlar ve arka duvarlar eğrisel dış bükey olarak tasarlanmıştır. Yüzey malzemeleri her iki salonda da aynı alınmıştır. Şekil 4.141’de ve 4. 142 ’de

salonların frekansa bağılı çınlama süreleri verilmiştir. T30 değeri 2,17s'dir. T20 değerleri diğer salona göre artmıştır.

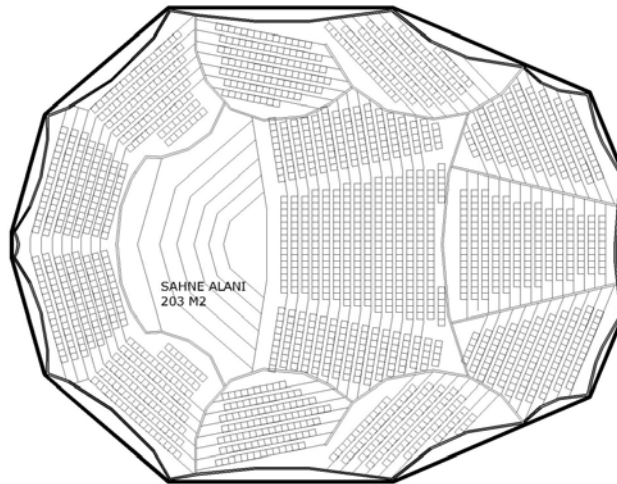


Şekil 4.141 : Frekansa bağılı salonun çınlama süresi

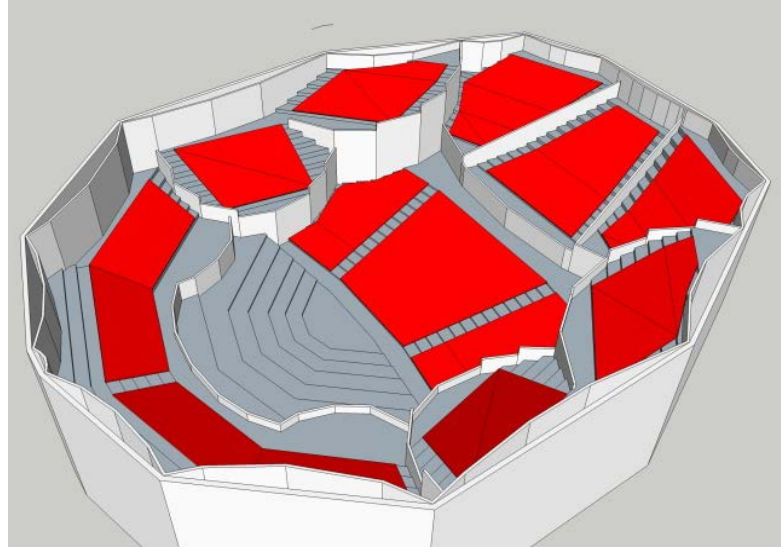


Şekil 4.142 : Frekansa bağılı salonun RT süreleri

Şekil 4.143'te BX salonunun plan şeması verilmiştir. Plan şemasına göre platformların oluşturduğu yan duvarlar, sahne duvarları ve kabuğu oluşturan arka duvarlar eğrisel olarak tasarlanmıştır. Hacim diğer salon ile benzerdir. Şekil 4.144'te salonun 3D görünüşü verilmektedir. Kırmızı ile gösterilen alanlar seyirci alanlarıdır.

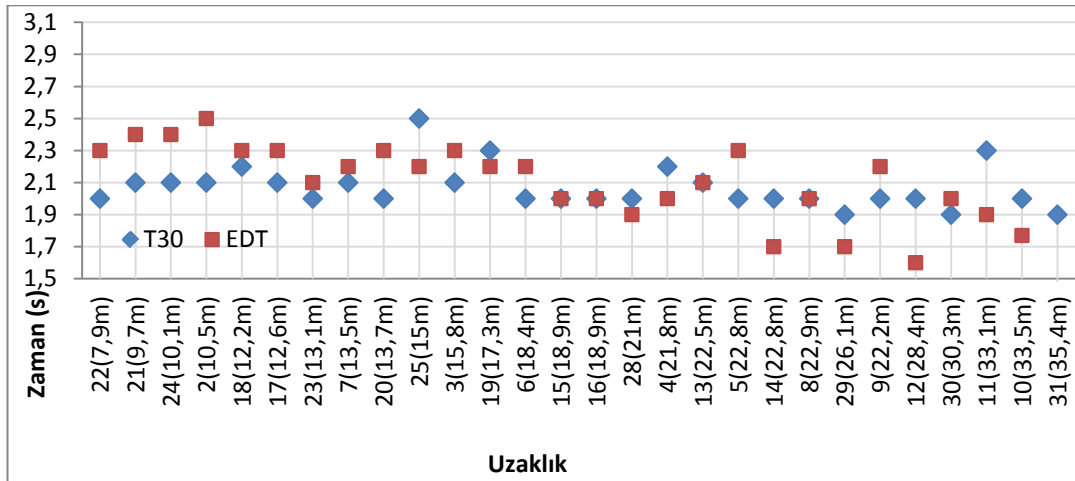


Şekil 4.143 : Eğrisel duvarlı salon tasarımının plan şeması



Şekil 4.144 : Eğrisel duvarlı salon tasarımının izometrik perspektifi

Şekil 4. 145'te BX salonunda mesafeye bağlı, alıcıların EDT ve T30 dağılımları verilmiştir. Bu dağılıma göre T30 mesafeye bağlı değişirse de EDT değerleri sahneye yakın noktalarda yüksek çıkmaktadır.



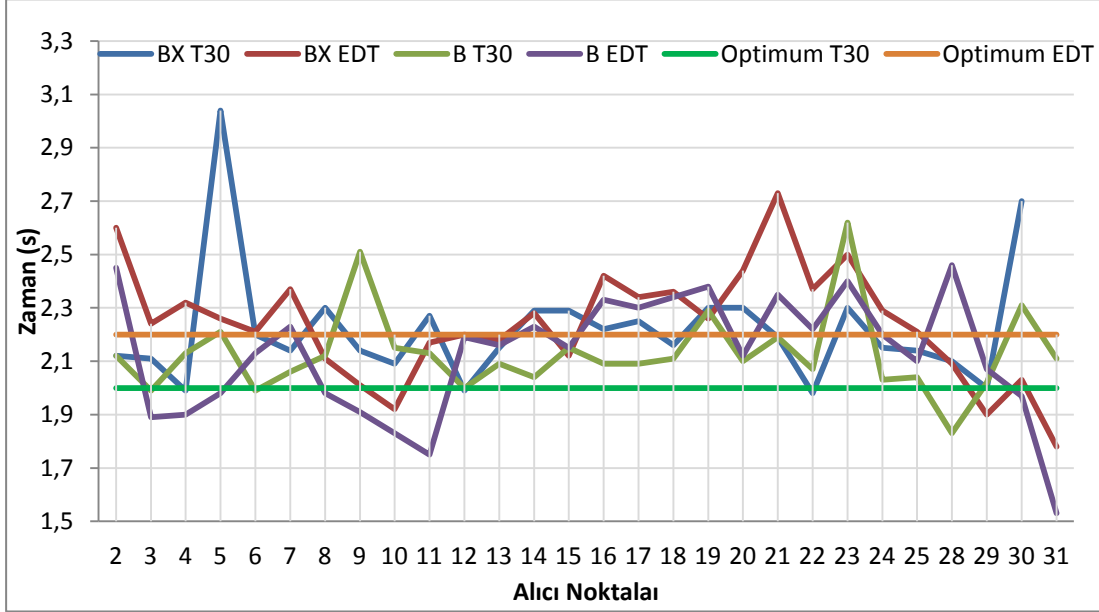
Şekil 4.145 : Eğrisel yan duvarlı BX salonunda mesafeye bağlı alıcıların EDT ve T30 değerleri

4.3.1.3 Düz ve eğrisel yan duvarların genel etkisinin akustik analizi

Erken yansımaların alındığı yan duvarlar özellikle arena tip salonlarda erken yansımalar açısından önemlidir. Yansıtıcılığı yüksek olarak tasarlanır. Bu kadar yansıtıcı olan yüzeylerin yüksek düzeyde yansıma yaparak olumsuz koşullar da oluşturması söz konusudur. Yan duvarların saçıcı olarak tasarlanması genel bir çözümdür. Özellikle yansımaların homojen yayılmasını sağlarlar. Yapılan analizlerde yan duvarların etkisi erken düşme süresi (EDT), netlik (C80), erken yanal yansıma

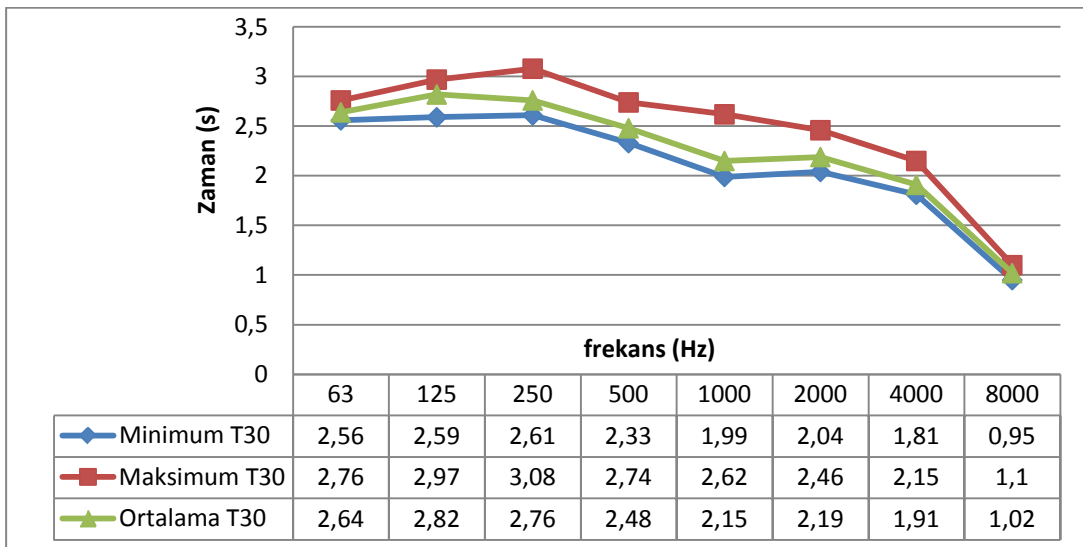
oranları (LF80), ses yüksekliği (G) ve geç yanal yansımalar (LG 80) parametreleri üzerinden yorumlanmıştır.

Erken yansımaların artırılması hedeflenen eğrisel yanal yüzey tasarımında T30 ve EDT karşılaştırmaları Şekil 4.146'da verilmiştir. EDT değerleri salonun genelinde artmıştır.



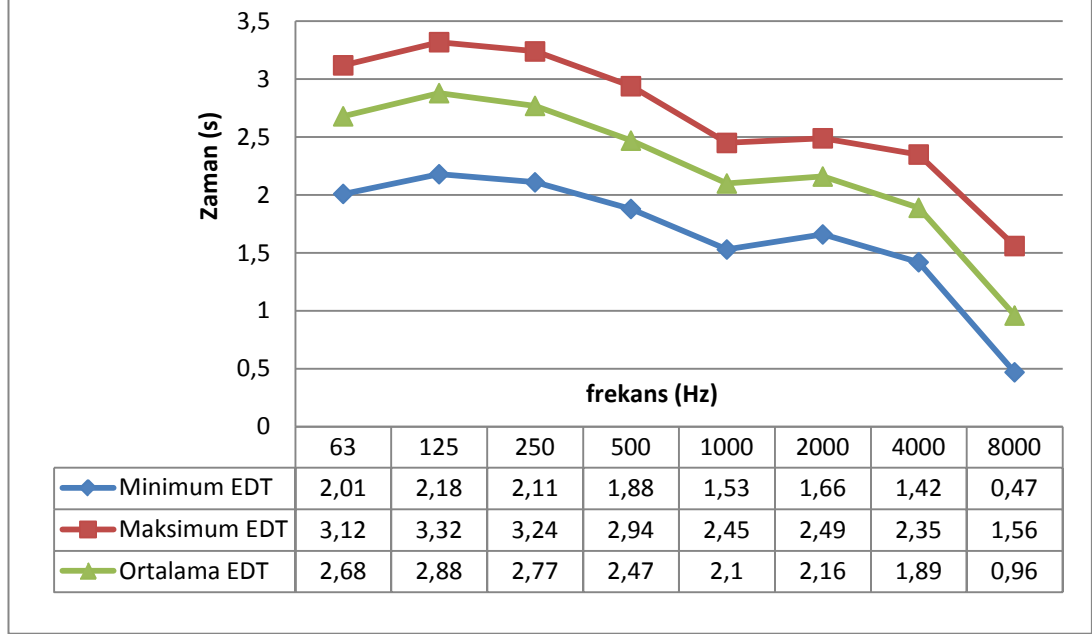
Şekil 4.146 : BX salonu ve B salonu EDT ve T30 karşılaştırma grafiği

Şekil 4.147'de B salonunun maksimum, minimum ve ortalama T30 değerleri verilmiştir. Yüksek frekanslarda değerler düşmüştür. Ortalama frekans değerleri alındığında optimum değerler arasındadır.



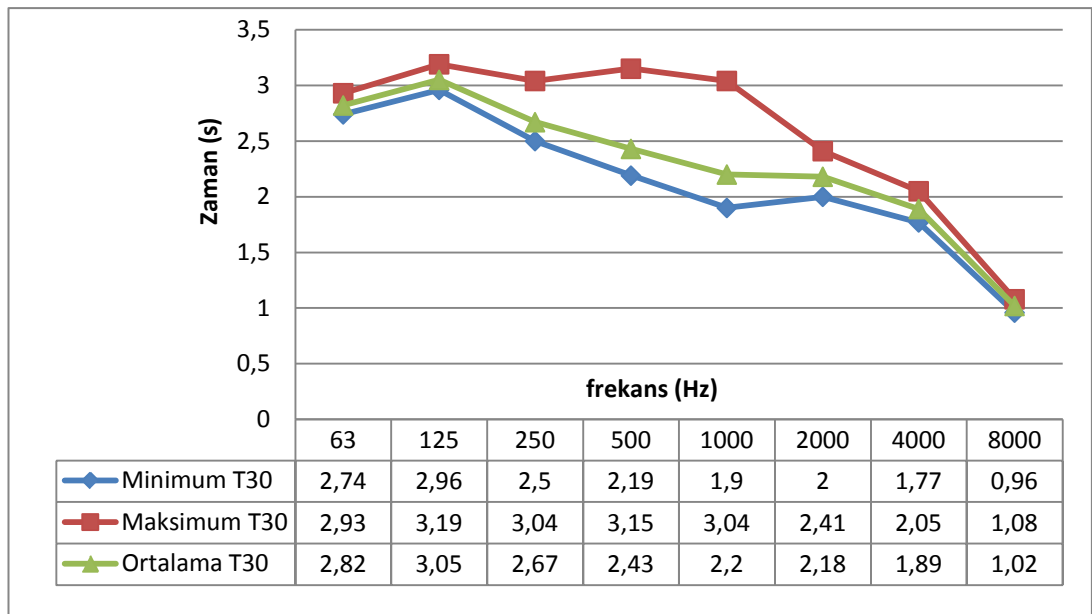
Şekil 4.147 : B Salonu frekansa bağlı T30 değerleri

Şekil 4.148’de B salonunun maksimum, minimum ve ortalama EDT değerleri verilmiştir. Yüksek frekanslarda değerler düşmüştür. Ortalama frekans değerleri alındığında optimum değerler arasındadır.

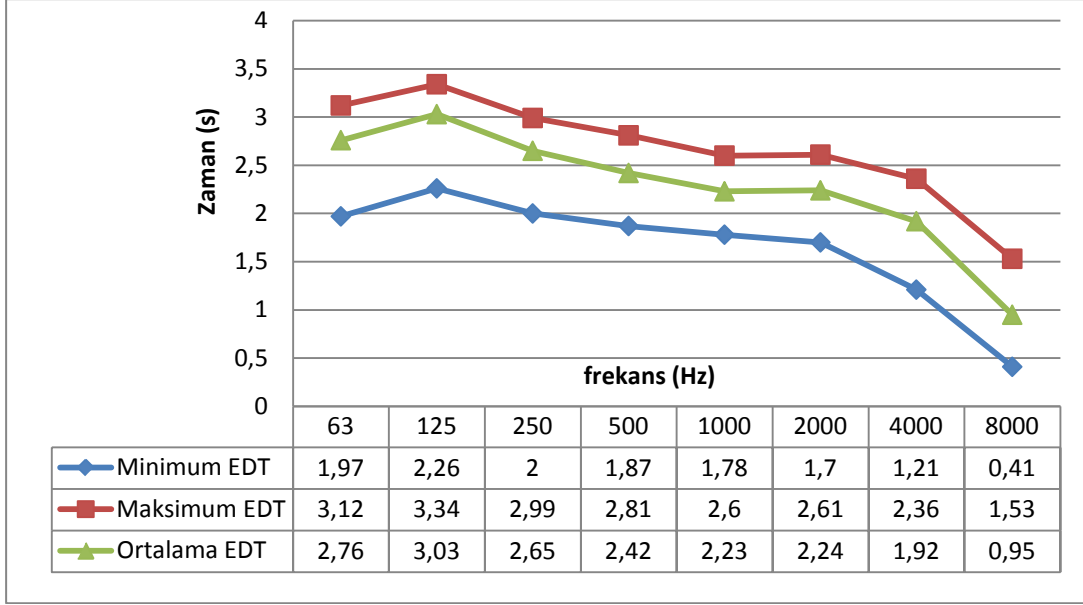


Şekil 4.148 : B Salonu Frekansa Bağlı EDT değerleri

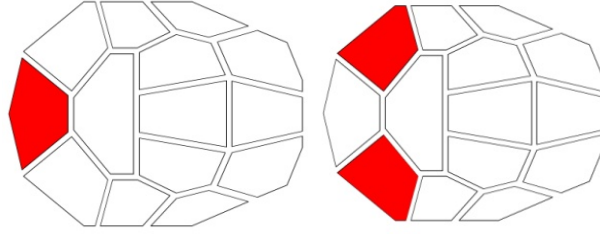
Şekil 4.149’de BX salonunun maksimum, minimum ve ortalama T30 değerleri verilmiştir. Yüksek frekanslarda değerler düşmüştür. Ortalama frekans değerleri alındığında optimum değerler arasındadır. Şekil 4.150’de BX salonunun maksimum, minimum ve ortalama T30 değerleri verilmiştir.



Şekil 4.149 : BX salonunun maksimum, minimum ve ortalama T30 değerleri

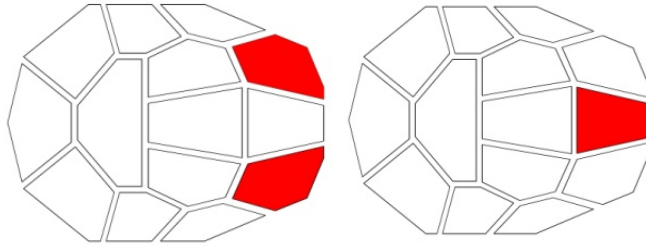


Şekil 4.150 : BX salonunun maksimum, minimum ve ortalama EDT değerleri



Şekil 4.151 : Sahne arkası alıcıları konumu

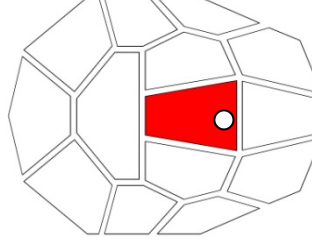
Şekil 4.151’da belirtilen sahne arkasındaki alıcı noktalarında B salonuna göre genel olarak SPL değerleri azalmıştır. LF80, yanal yansımalar ise yüksek frekanslarda azalmış, alçak frekanslarda artmıştır.



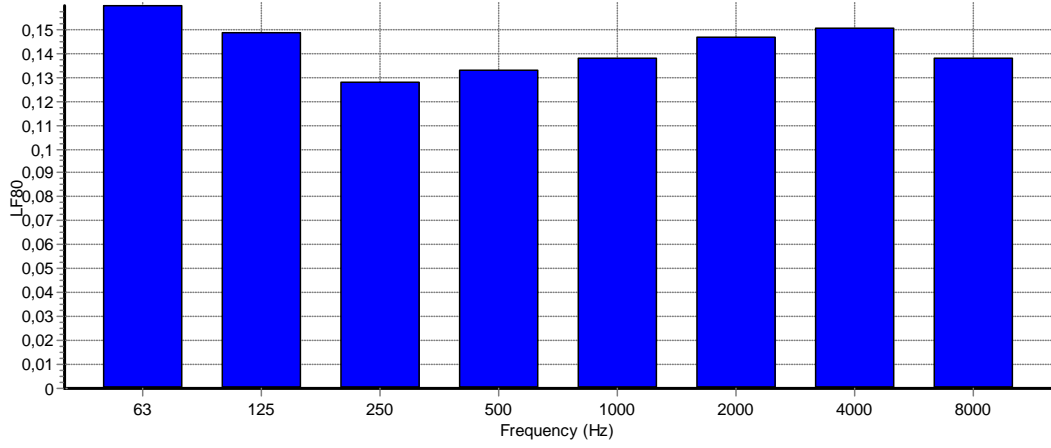
Şekil 4.152 : Salon arkası alıcıları

BX salonunda Şekil 4.152’de belirtilen salonun arka kısımlarına doğru, duvarların eğriselliği sonucu, sesin iletilmesiyle arka kısımlardaki alıcılar için SPL değerleri artmıştır. Bu noktaların EDT değerleri artmış, yansımaların ulaşması daha elverişli hale gelmiştir. Sesin arka kısımlara iletilmesi ile orta platformlardaki ve sahne arkasındaki ses düzeyi azalmış, optimum değerler almıştır.

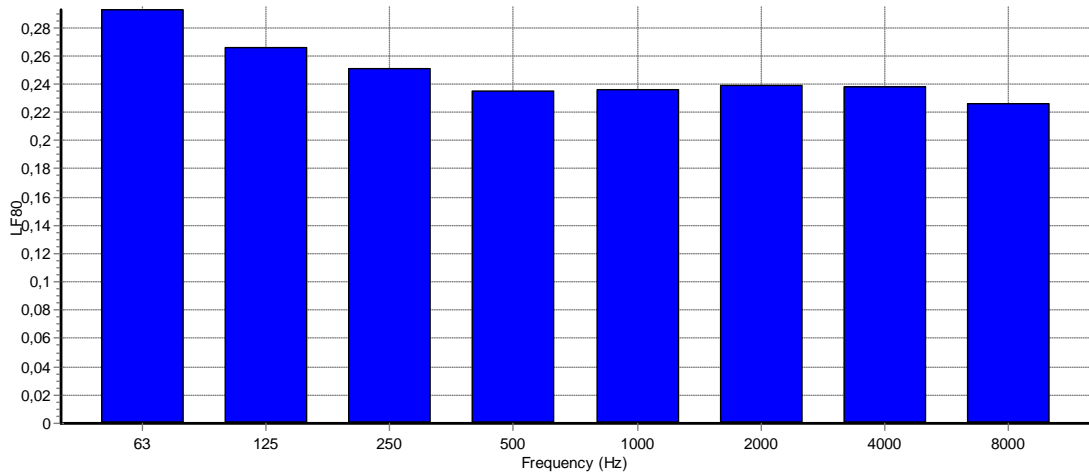
Özellikle alçak frekanslarda SPL değerinin arttığı noktalarda erken yanal yansıma (LF80) değerleri artmıştır. Şekil 4.153'te belirtilen salon ortasında bulunan 28 numaralı alıcı noktasının B salonundaki ve BX salonundaki erken yanal yansıma grafikleri sırasıyla 4.154 ve 4.155'teki gibidir. Erken yanal yansıma oranları bütün frekanslarda artmıştır.



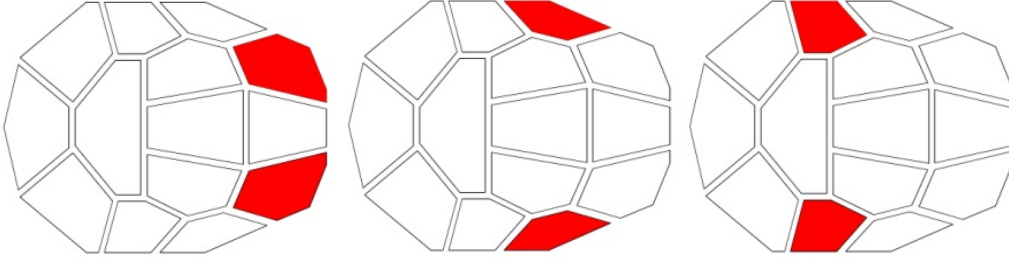
Şekil 4.153 : Salon arkası alıcıları



Şekil 4.154 : Düz duvarlı salon tasarımında 28 numaralı alıcı için frekansa bağlı LF80 değeri

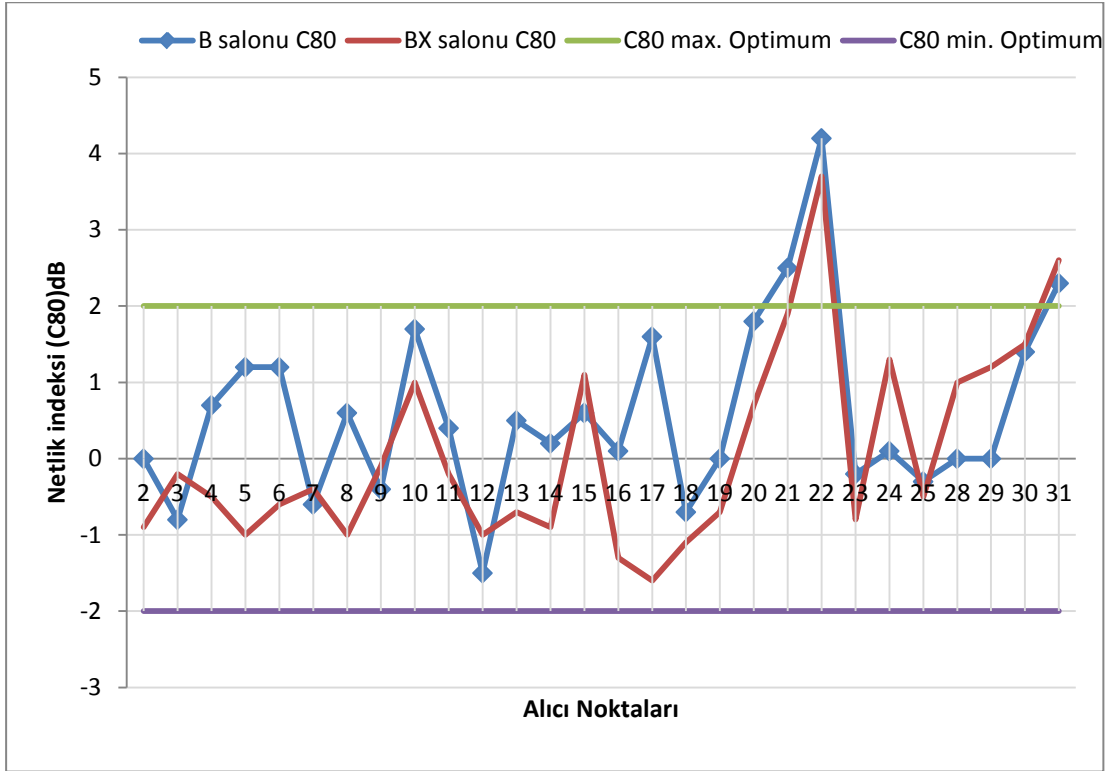


Şekil 4.155 : Eğrisel duvarlı salon tasarımında 28 numaralı alıcı için frekansa bağlı LF80 değeri



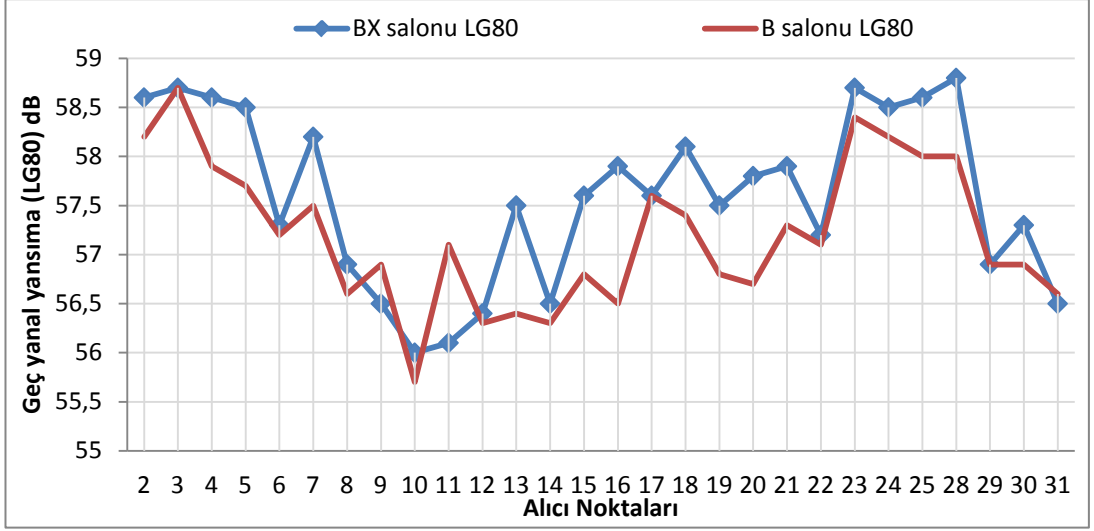
Şekil 4.156 : Alıcı platformları

Şekil 4.156 'da belirtilen yan platformlarda da LF 80, yanıl iletimler artmaktadır. Şekil 4.157'de verilen karşılaştırmalı C80 netlik indeksine bakıldığında verimli geç yansımaların da artışıyla değerler 0'ın altına düşmektedir. Özellikle konser salonlarında bu değerlerin 0 ve -2dB aralığında olması tercih edilir. Her iki salonda da kaynağa yakınlık nedeniyle sahne arkasındaki 20, 21, 22 numaralı alıcı noktalarında C80 artışı gözlenmektedir.



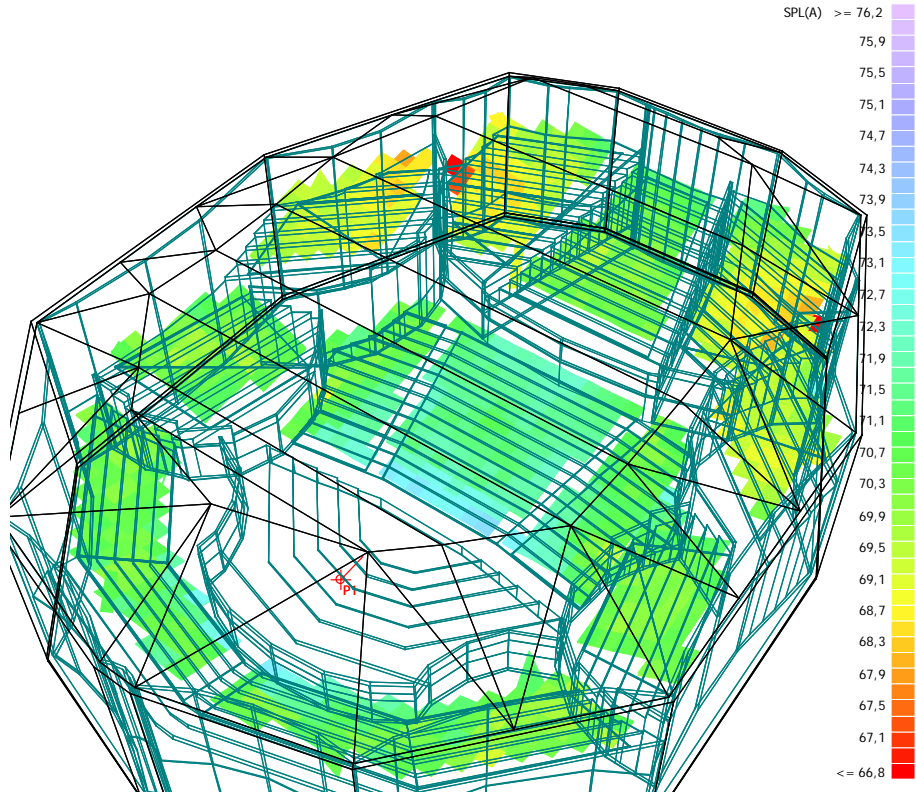
Şekil 4.157 : B ve BX salonlarının karşılaştırmalı C80 değerleri

Geç yanıl yansımaların önem kazandığı konser salonlarında karşılaştırmalı LG80 değerleri Şekil 4.158'deki gibidir. Değerler BX salonunda artmıştır. C80 değerinin azalması geç yanıl yansımaların artışı ile doğru orantılıdır. Geç yanıl yansımaların yüksek olduğu noktalarda C80 indeksi olumlu olarak düşmüştür.



Şekil 4.158 : B ve BX salonlarının alıcılara bağlı LG80 değerlerinin karşılaştırılması

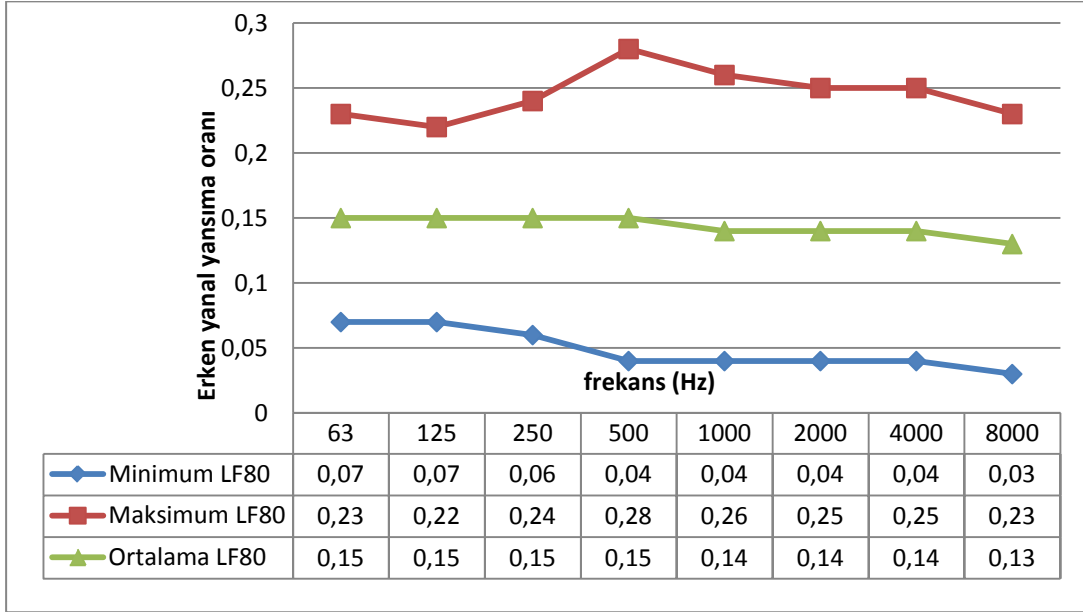
Şekil 4.159’da eğrisel yan ve arka duvarlı salon tasarımının 1000 Hz’de SPL grid analizi verilmiştir. Salonda eğrisel duvarların birleşim yerlerinde iç bükey birleşimler oluşması nedeniyle bu noktalarda kaynaktan ses alınamaması, orta bölümdeki diğer alıcı noktalarına göre SPL değerini düşürmüştür.



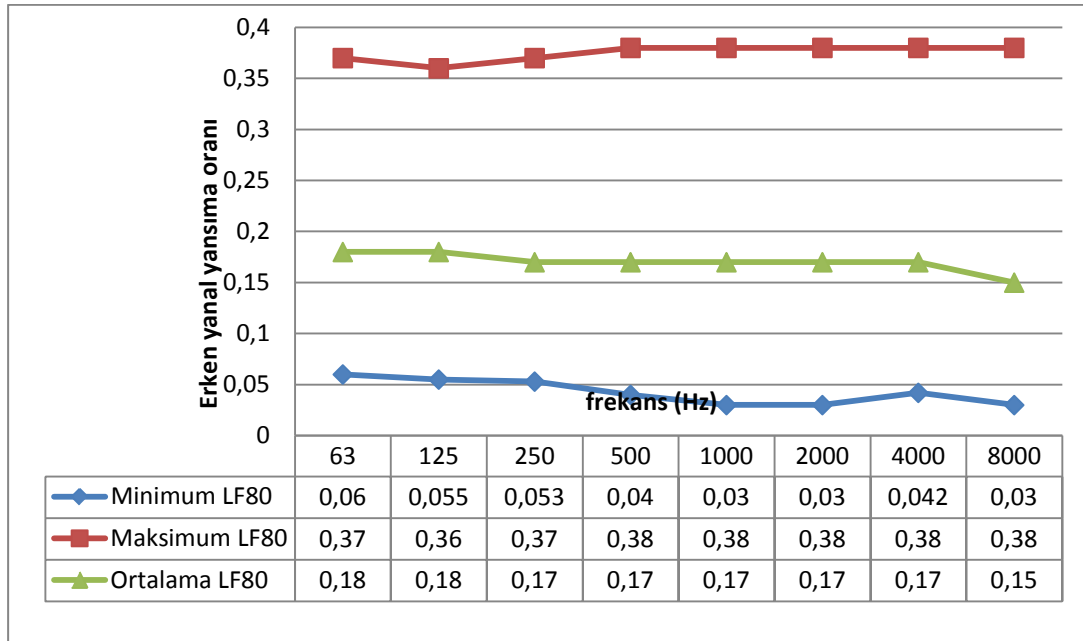
Şekil 4.159 : Eğrisel duvarlı salonun ses basınç düzeyi (SPL) grid grafiği verilmiştir.

Şekil 4.160 ve 4.161’de sırasıyla B salonunun ve BX salonunun frekanslara bağlı maksimum, minimum ve ortalama LF80 değerleri verilmiştir.

Salon yanal iletim oranları yükselmiştir. Her iki salonda LF 80 değerleri optimum değer aralıklarında olsa da eğrisel duvarın yansıtıcılık oranı daha yüksek çıkmıştır.

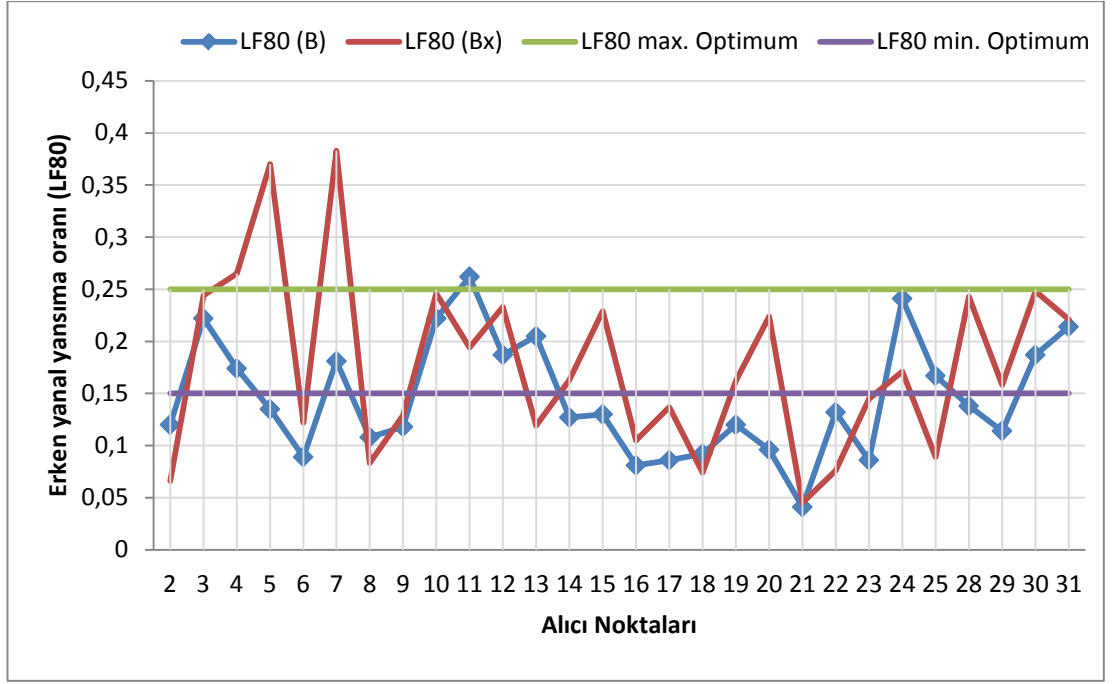


Şekil 4.160 : B salonu LF80 değerleri



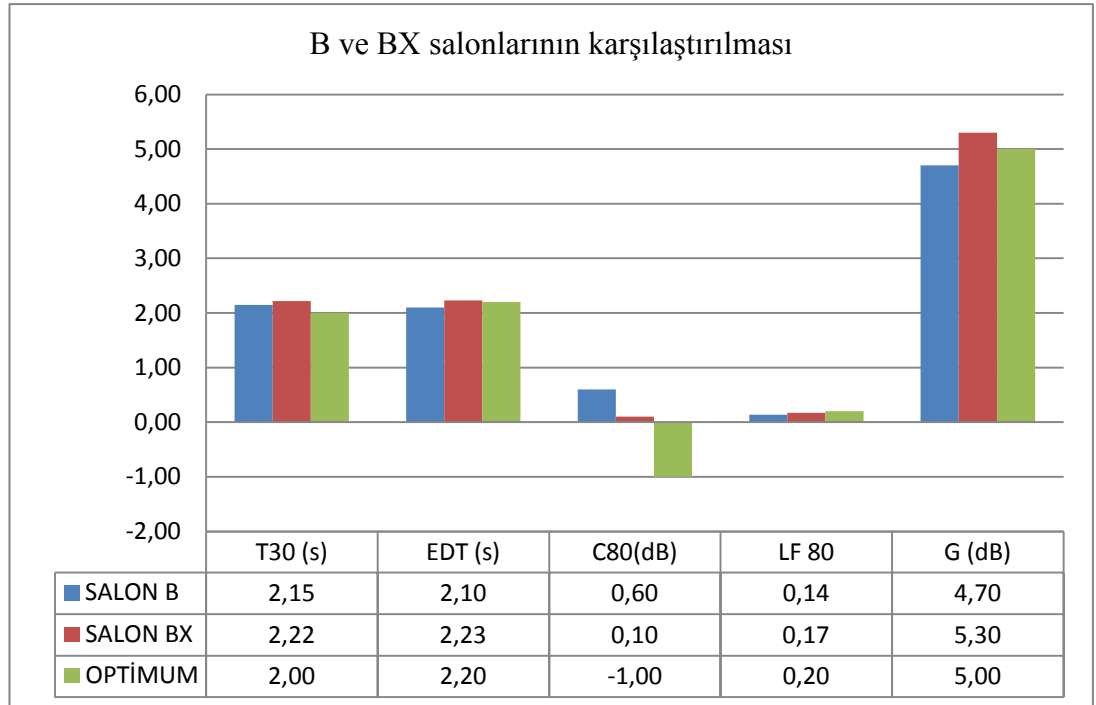
Şekil 4.161 : BX salonu LF80 değerleri

Şekil 4.162’de salonların LF80 değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Değerler özellikle yan platformlardan etkilenen orta kısımlarda artmıştır. Aynı zamanda salonun arka kısımlarında LF80 değerleri artmıştır.



Şekil 4.162 : B ve BX salonlarının yanıl yansıma oranlarının karşılaştırılması

Şekil 4.163'te B ve BX salonlarının optimum değerlerle karşılaştırma grafiği verilmiştir



Şekil 4.163 : Salonların nesnel parametrelere göre optimum değerlerle karşılaştırma grafiği

T30 ve EDT değerlendirmesi

Düz duvarlı salon tasarımı ile eğrisel duvarlı salon tasarımı karşılaştırıldığında yanal iletimlerin artmasından dolayı EDT değeri T30 değerinden yüksek çıkmaktadır. Salonların hacimleri birbirlerine çok yakın tutulmuştur.

C80 değerlendirmesi

Salonların genel ortalamasına bakıldığında netlik değeri eğrisel duvar tasarımlı salonda optimuma daha çok yaklaşmıştır. Geç yansımaların da verimli dağılımına paralel olarak değerleri 0'a yaklaşmıştır.

LF80 değerlendirmesi

BX salonunda en yüksek yanal yansıma elde edilmiştir. Noktasal analiz edildiğinde çoğu nokta 0,3 değerlerine çıkmaktadır. Bu noktalar özellikle daha fazla yanal iletim alan orta ve en alçak kottaki parterde yer almaktadır.

G değerlendirmesi

G değeri salonun hacmi değişmemesine rağmen saçıcılığın artışıyla artmıştır.

4.3.2 Yan duvarların yüksekliğinin akustik analizi

Duvarların yüzey alanının artırılması ile yansımaların total düzeyi artırılarak LG değeri yükseltilir. Yansımaların aşırı artışı C80 değerinin azalmasına neden olur. Dolayısıyla karşılaştırmada yan duvarların yüzey alanının artışının akustik konfora etkisi analiz edilmiştir. Çizelge 4.12'de alçak yan duvarlı tasarımlı B salonu ile yan duvarlarının, sahne duvarlarının 1m yükseltildiği BY salonunun teknik verileri verilmiştir. Hacimleri parametrik verileri etkilememesi açısından yakın verilmiştir.

Sabit faktörler

- Hacim
- Kişi başı m³
- Yüzey malzemeleri
- Yansıtıcı panel yüksekliği
- Plan şeması
- Kişi başı m²

- Çınlama süresi

Değişken faktörler

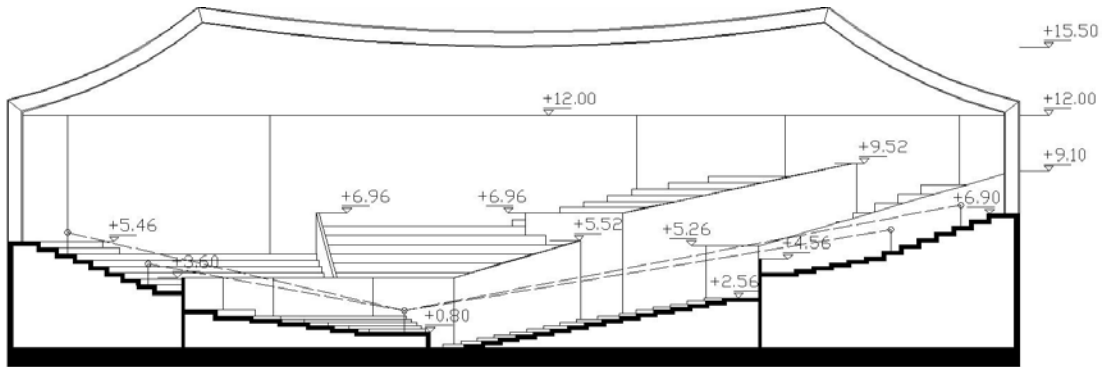
- Platform yükseklikleri
- Platform eğimleri

Çizelge 4.12 : Alçak ve yüksek yan duvar tasarımlı salonların karşılaştırma çizelgesi

SALON ADI	HACİM (M3)	KİŞİ BAŞI (M3)	OTURMA KAPASİTESİ	TAVAN YÜKSEKLİĞİ (M)	KOLTUK (M)	TOTAL UZUNLUK	SAHNE ALANI	KARŞILAŞTIRMA PARAMETRESİ
YAN DUVAR YÜKSEKLİK ANALİZİ								
SALON B	18741	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	YAN DUVAR
SALON BY	18688	10,01	1871	15,5	33	51,5	203	YÜKSEK YANDUVAR

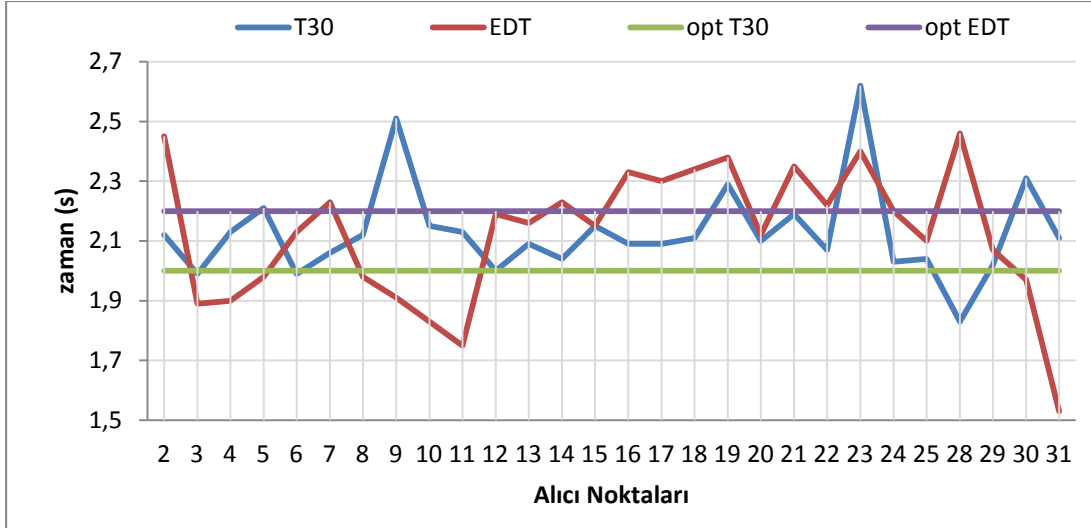
4.3.2.1 Alçak yan duvarlı salon tasarımının akustik analizi

Projede belirlenen standart salon yüksekliği kullanılmıştır. Orta bölümdeki platform yüksekliği ve sahne yüksekliği değiştirilmemiştir. Yan, salon arkası ve sahne arkası platformlar yükseltilerek yan duvarların yüksekliğinin akustik konfora etkisi incelenir. T30 değeri 2,03 olarak verilmiştir. Şekil 4.164 'te B salonunun kesit şeması bulunmaktadır.



Şekil 4.164 : Alçak duvarlı B salon tasarımının kesit şeması

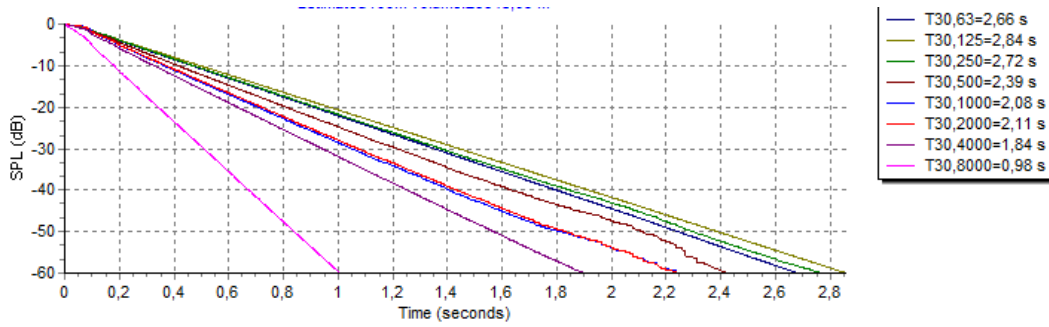
B salonu için T30 ve EDT grafiği Şekil4.165'te verilmiştir. 2, 3, 4 numaralı alıcılarda ve 8, 9, 10, 11, 29, 30, 31 numaralı alıcılarda EDT değeri düşük çıkmıştır. Sahneden uzaklaşmaya bağlı olarak bu noktadaki EDT değerleri düşüktür. EDT parametresi alıcı mesafesine bağlı bir parametredir.



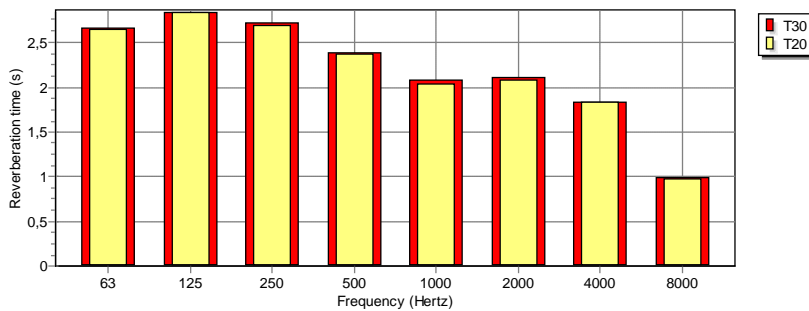
Şekil 4.165 : Alçak yan duvar tasarımlı B salonunun T30 – EDT grafiği

4.3.2.2 Yüksek yan duvarlı salon tasarımının akustik analizi

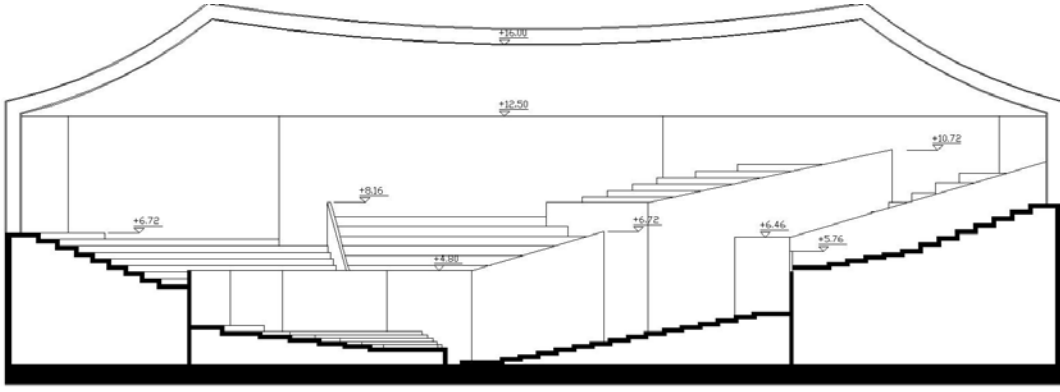
Salon duvarları yansıyan ses enerjisinin artırılması açısından yükseltilmiştir. T30 değeri 2,08s olarak verilmiştir. Şekil 4.166 ve 4.167’de BY salonunun frekansa bağlı çınlama süreleri verilmiştir. Yüzey malzemeleri ve hacmin aynı olması nedeniyle B ile salonu ile bir farklılık yoktur. Şekil 4.168’de yüksek duvarlı BY salonunun kesit şeması verilmektedir.



Şekil 4.166 : By salonunun frekansa bağlı çınlama süresi eğrileri

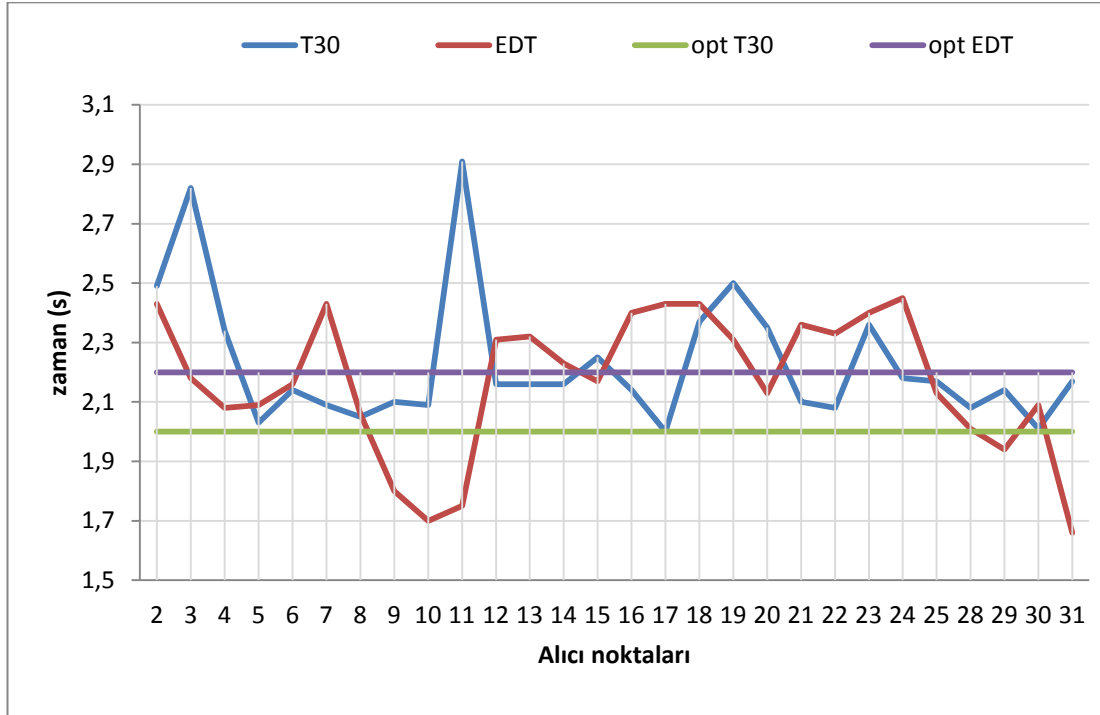


Şekil 4.167 : Frekansa bağlı çınlama süresi

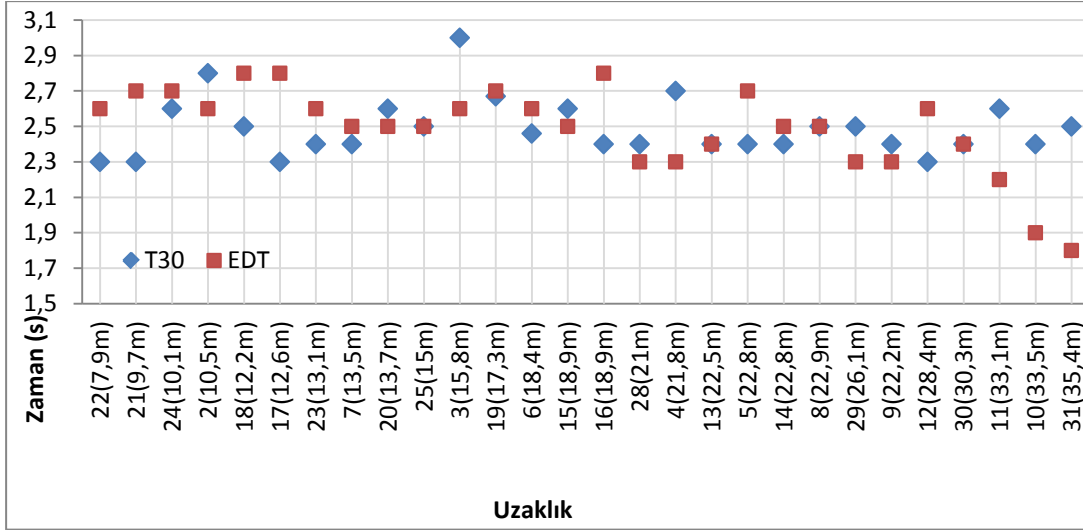


Şekil 4.168 : Yüksek duvarlı By salon tasarımının kesit şeması

Şekil 4.169 'da BY salonu için yapılan ölçüm sonucu alınan EDT ve T30 analizi mevcuttur. Özellikle 11 numaralı alıcıda kaynaktan uzaklaşmaya bağlı olarak aldığı erken yansımalar azalmıştır. Özellikle üst platformlarda yer alan alıcılarda EDT değerleri düşmüştür. Şekil 170'te BY salonunun mesafeye bağlı, alıcıların EDT ve T30 değerleri verilmiştir. Salonda kaynak noktasına en yakın alıcıyla en uzak alıcı arasında benzet T30 değeri gözlenmektedir. Fakat EDT değeri arka kısımlara doğru azalmıştır. Sahnenin orta kısımda bulunması nedeniyle bu azalma eğrisi kademeli olarak düşmektedir.



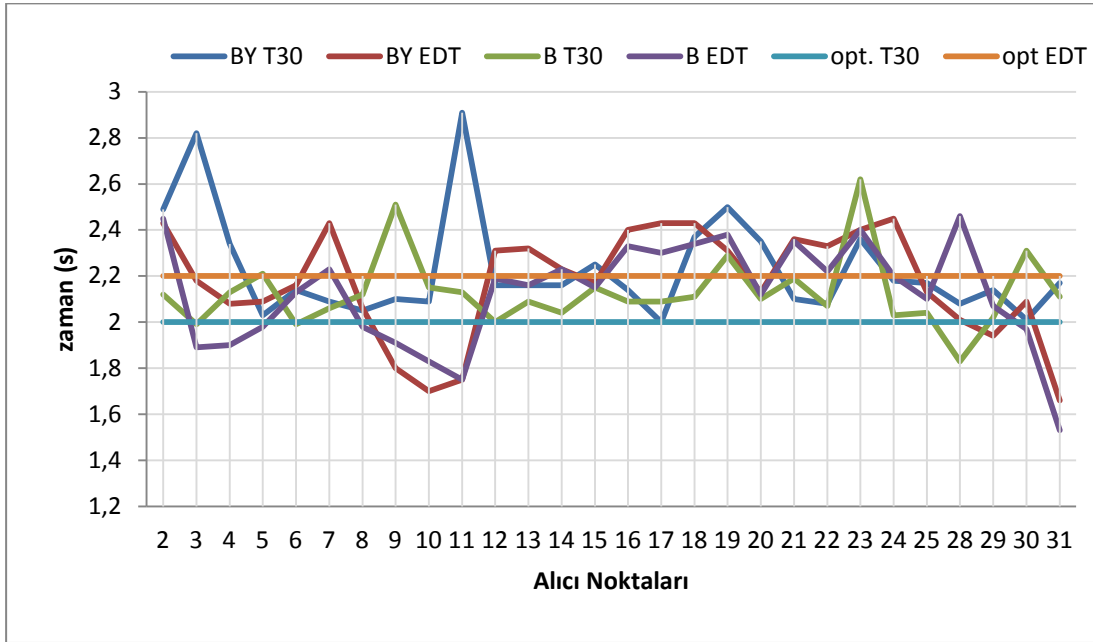
Şekil 4.169 : Yüksek yan duvar tasarımı BY salonunun T30 – EDT grafiği



Şekil 4.170 : BY salonunda mesafeye bağlı, alıcıların EDT ve T30 değerleri

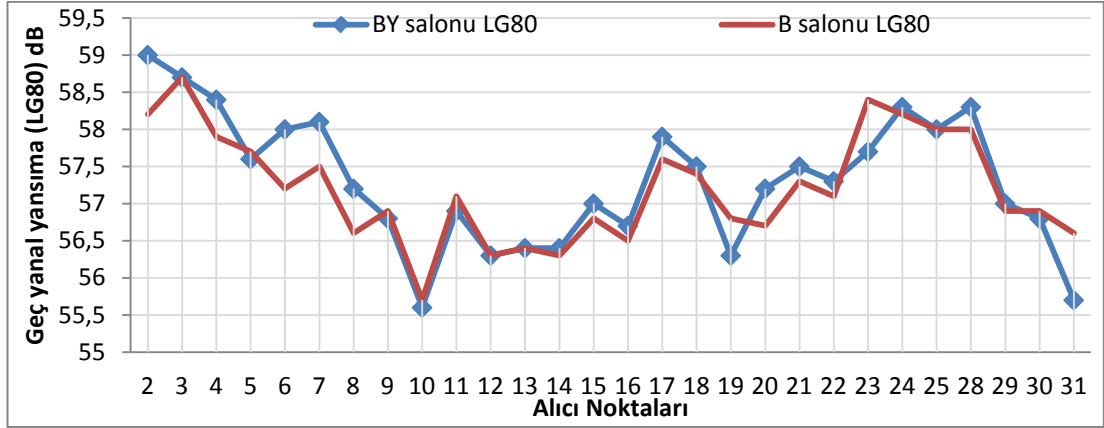
4.3.2.3 Alçak ve Yüksek Yan Duvarlı Salon Tasarımının Genel Akustik Etkisinin Karşılaştırılması

Duvarların yükselmesi alt platformlarda ve üst platformlarda farklı özellikler göstermiştir. Şekil 4.171’de her iki salonun T30 ve EDT değerlerinin optimum aralıkla karşılaştırılması verilmiştir. BY salonunda üst platformlarda olumsuzluklar nedeniyle ani artışlar görülür.



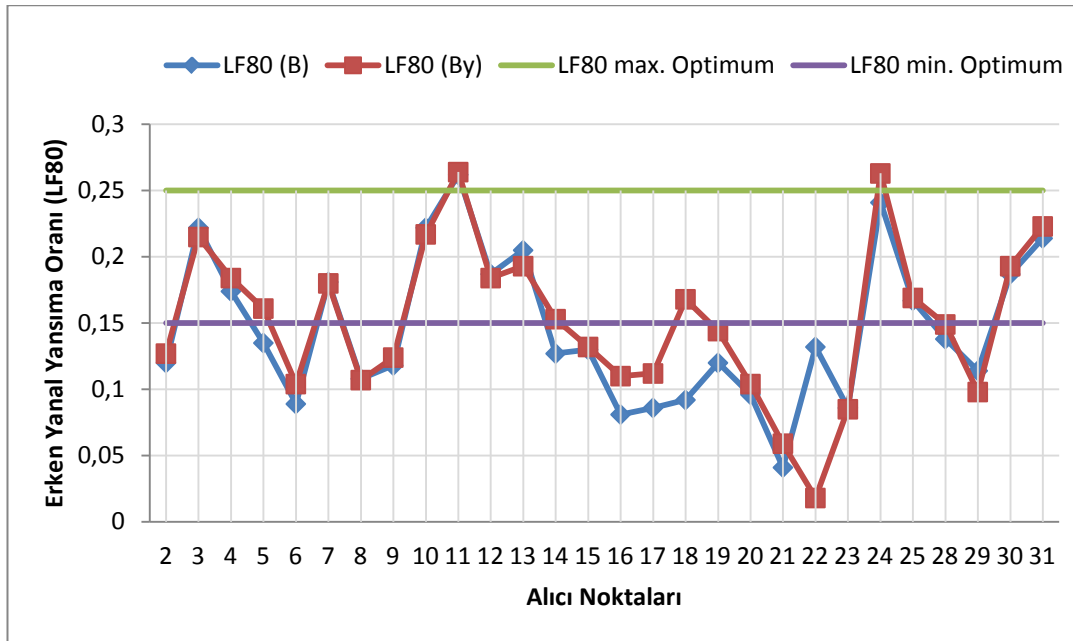
Şekil 4.171 : B ve BY salonlarının EDT – T30 değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması

Alt platformlardaki alıcı noktalarında ise LF 80 değerlerinin artması beklenirken yan duvarların malzeme tasarımı özellikle alçak frekanslarda yutucu olduğu için genel olarak LG80 değerleri alçak frekanslarda azalırken, orta ve yüksek frekanslarda artmıştır. Şekil 4.172’de B ve BY salonlarının geç yanıl yansıma değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Sahne önü ve alçak platformlarda bulunan alıcı noktalarında artış varken diğer noktalarda benzer değerler çıkmıştır.



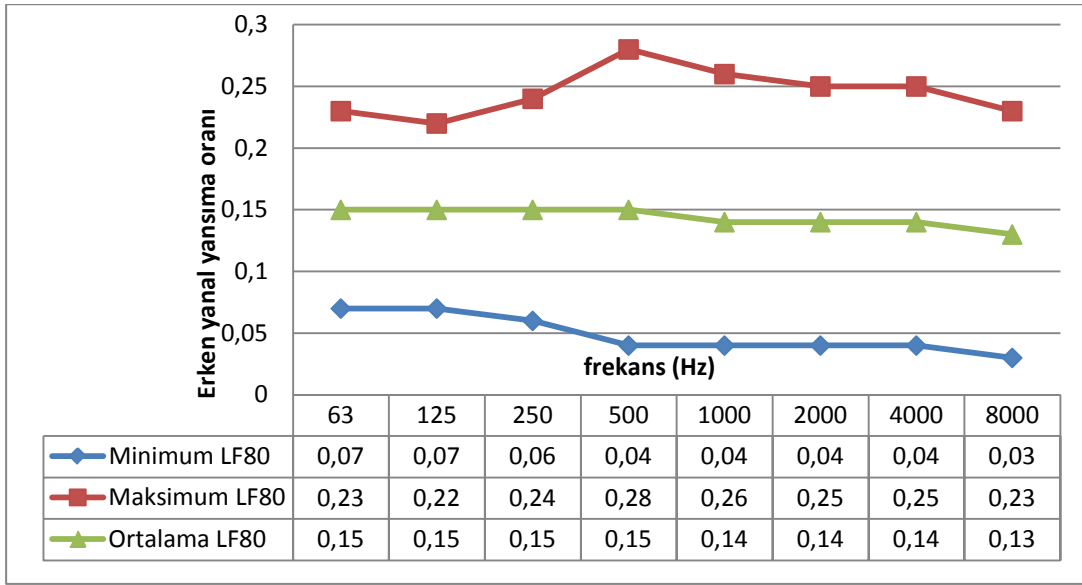
Şekil 4.172 : B ve BY salonunun geç yanıl yansıma karşılaştırmaları

Şekil 4.173’te B ve BY salonlarının erken yanıl yansıma değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Yan duvarların yükselmesi en belirgin olarak LF 80 değerini etkilemiştir.

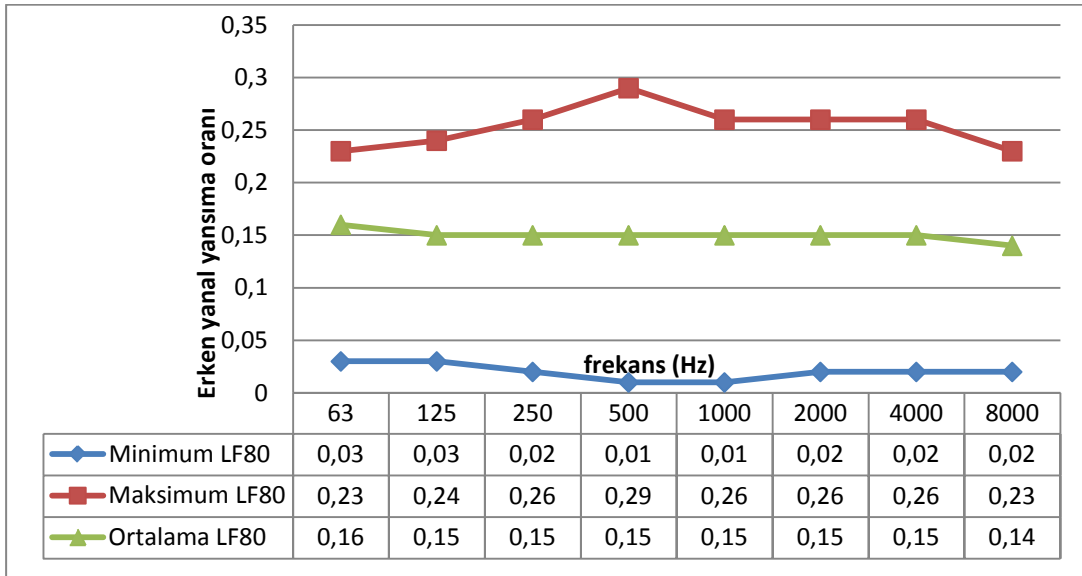


Şekil 4.173 : B ve By salonlarının yanıl yansıma oranlarının (LF 80) karşılaştırılması.

Yüksekliğin artmasıyla alıcıların yanal duvarlardan yansıma alma oranı da artmaktadır. 22 alıcı noktası sahnenin tam arkasında bulunduğundan bu nokta yan duvarlardan çok fazla yararlanamamaktadır. Şekil 4.174'te B salonu için erken yanal yansıma değerlerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri verilmiştir. Şekil 4.175'te ise BY salonu için erken yanal yansıma değerlerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri verilmiştir. BY salonunda alt platformdaki artışa paralel olarak maksimum değerler yükselmiştir. Buna rağmen minimum olan değerler azalarak salon içerisindeki alıcı noktalarında algı farkına neden olmaktadır.



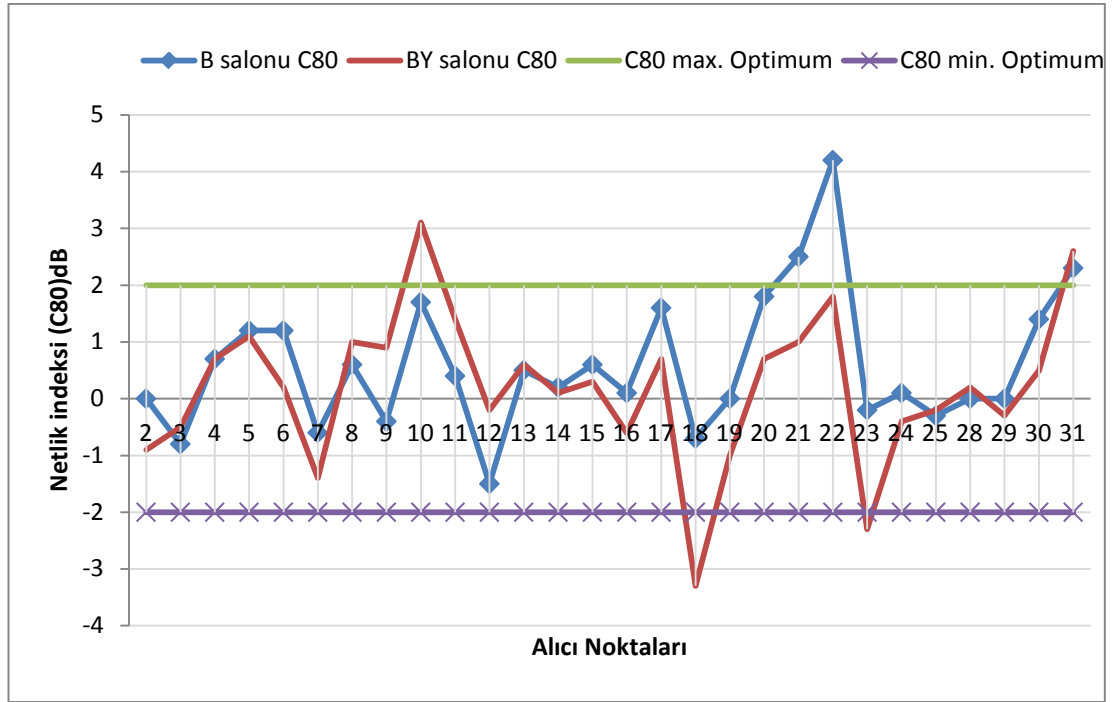
Şekil 4.174 : B salonu için LF80 değer çizelgesi



Şekil 4.175 : By salonu için LF80 değer çizelgesi

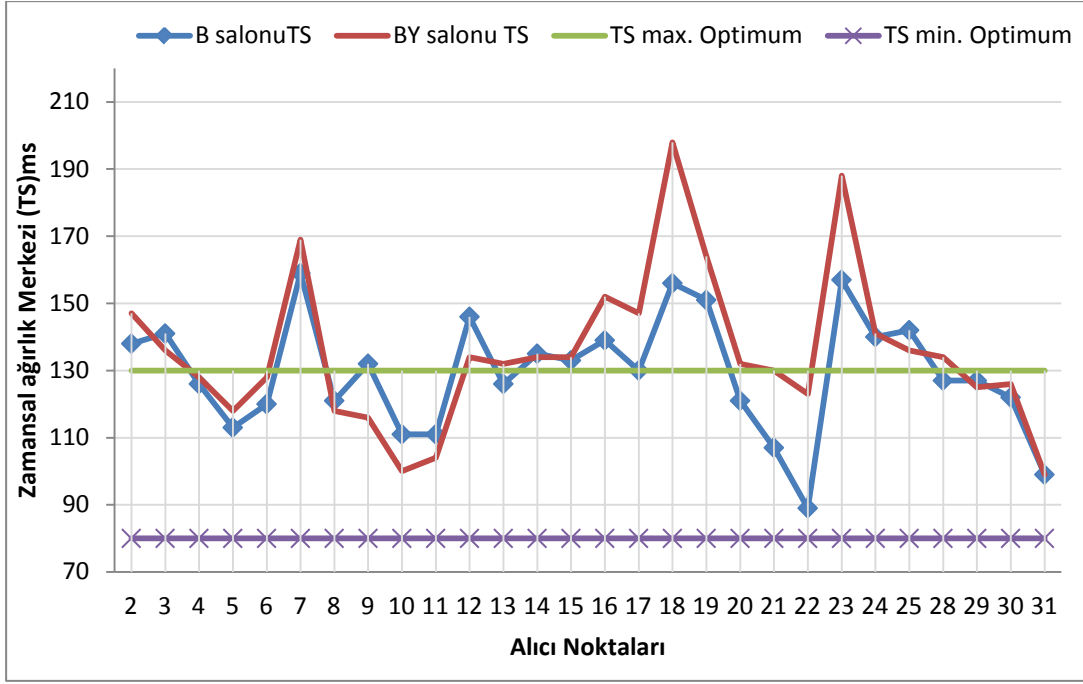
Salonda alt platformda yan duvarların yükselmesiyle LF 80 değeri artmıştır fakat yan platformların yükselmesi ile 10, 12, 13, 22 gibi noktalara etki eden duvarlara sesin iletilmesini azalttığı için bu noktalarda LF 80 değerleri azalmıştır. Genel olarak salona etki ortalaması alındığında yanal yansıma oranlarının arttığını görmekteyiz.

Şekil 4.176'da verilen erken yansımalar ile geç yansımaların oranı olan netlik indeksi analiz edildiğinde yüksek duvarların alt platformlarda netlik indeksini artırdıkları görülür. B salonunda alçak yan duvarlar nedeniyle yeterli geç yansıma alamayan sahne arkasındaki noktalar, BY yüksek duvarlı salon tasarımında yeterli geç yansımalar ile optimum aralığa girmişlerdir. Alt platformun etkisiyle erken yansımalar 4, 5, 6 gibi sahne önü ve alt parterde yer alan alıcılarda netlik indeksi olumsuz önde artmıştır.



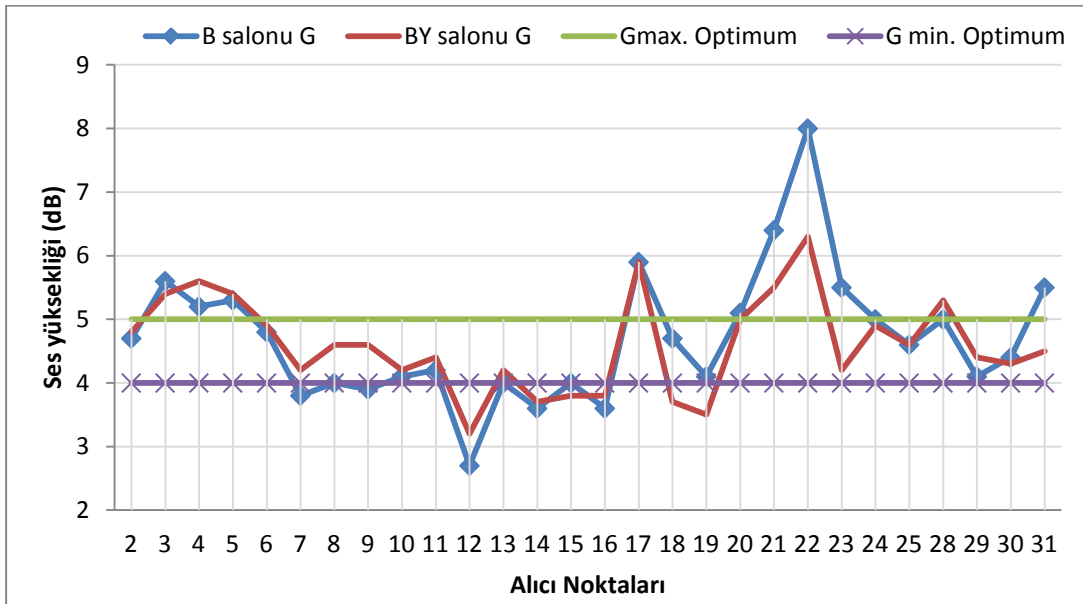
Şekil 4.176 : Salonların C80 değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.177 'de analiz edilen TS değerleri erken yansımalar ile geç yansımaların eşitlendiği ağırlık merkezi zamanını vermektedir. Yansımalar C80 değeri ile paralel değişir. C80 değerinin çok düştüğü 18 numaralı alıcı noktasında TS değeri de 200'e yaklaşmaktadır. Bu da yetersiz erken yansımaların olduğunu göstermektedir. Bu alıcı noktasında yan duvar elemanı direkt olarak erken yansımaları alamamaktadır. Sahne arkasında kalması nedeniyle de yönlülük durumundan olumsuz etkilenir.



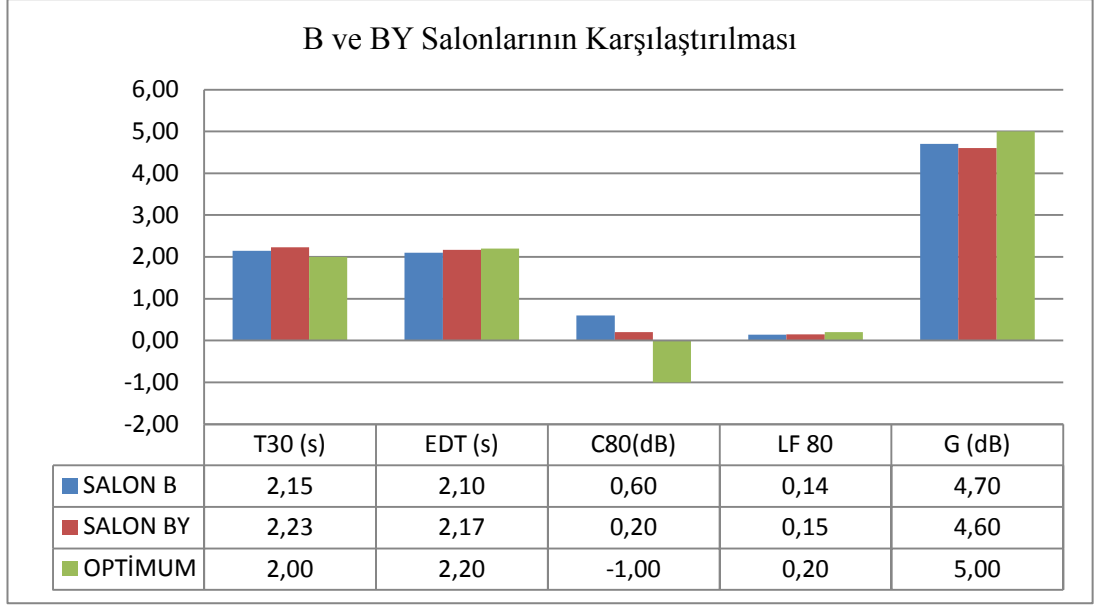
Şekil 4.177 : Salonların TS değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.141’de alıcı noktalarındaki ses yükseklikleri karşılaştırılmıştır. Alt parterlerdeki ses yükseklikleri yükselirken, üst ve yan parterlerdeki ses yüksekliği olumsuz yönde azalmıştır.



Şekil 4.178 : Salonların ses yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.179’da B ve BY salonlarının orta frekanstaki ortalama değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Karşılaştırmalar genel değerlendirme açısından T30, EDT, LF80, C80 ve G parametreleri üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 4.179 : Salonların nesnel parametrelere göre optimum değerlerle karşılaştırma grafiği

T30 ve EDT değerlendirmesi

T30 ve EDT değerlerine salonun ortalamasına bakıldığı zaman BY salonunda EDT değeri yükselmiştir. Salonun alçak ve orta parterini olumlu etkilerken kaynaktan uzaklaşan üst parterlerde değerlerde olumsuz etkilenmiştir.

C80 değerlendirmesi

Salonların genel ortalamasına bakıldığında netlik değeri yüksek duvar tasarımlı salonda optimuma daha çok yaklaşmıştır. Fakat üst kotlarda C80 değeri yeterli erken yansıma almamasından dolayı ” – “ yönde artmıştır.

LF80 değerlendirmesi

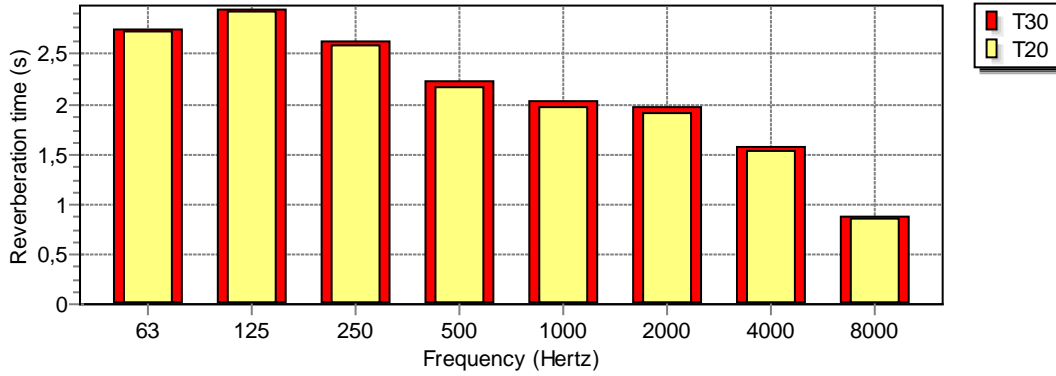
Ortalama olarak çok fazla etkilenmemiştir. Yüksek duvarların etki ettiği orta ve alçak parterde LF80 değerleri yükselir. Erken yansımaların artmasında sahne duvarlarının yüksekliğinin artırılması da etkili olmuştur. Fakat üst kotlarda LF 80, erken yanıl iletimler zayıflamıştır.

G değerlendirmesi

G değeri duvarların yükselmesi ile yükseltelen duvarların oturduğu platformlardaki alıcı noktalarında G değeri azalırken, alt parterdeki noktalarda yansımaların alındığı yüzeylerin artmasına bağlı olarak yükselmiştir.

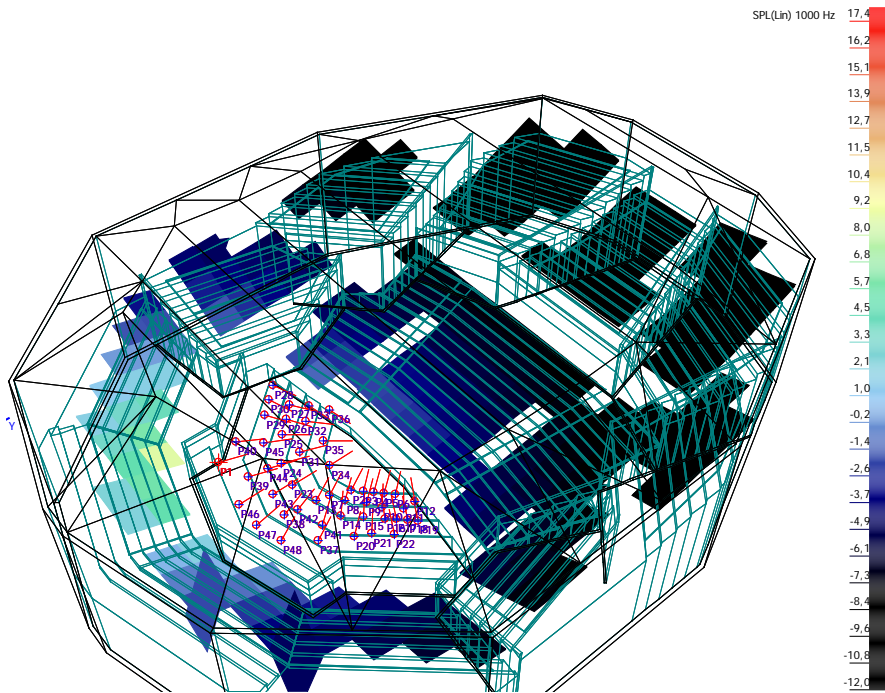
4.4 Kaynak Olarak Orkestra Etkisinin Akustik Analizi

Bütün analizler her frekansta eşit ses düzeyi ileten noktasal kaynak kullanılarak yapılmıştır. Fakat salon değerlerini etkileyen diğer bir parametre de kaynaktır. Kaynak olarak orkestranın salon değerlerine etkisi analiz edilmiştir. Salon olarak B salon tipi kullanılmıştır. Şekil 4.180'de orkestra bulunan salonun frekansa bağlı çınlama süresi değerleri verilmiştir.



Şekil 4.180 : Frekansa bağlı çınlama süresi

Şekil 4.181'de salonun 1000 Hz'de ses basınç düzeyi grid analizi bulunmaktadır. Yönlülük özelliği fazla olmayan sahne içerisinde bulunan perküsyon bölümünün sahne arkasındaki alıcılara etkisi fazladır.

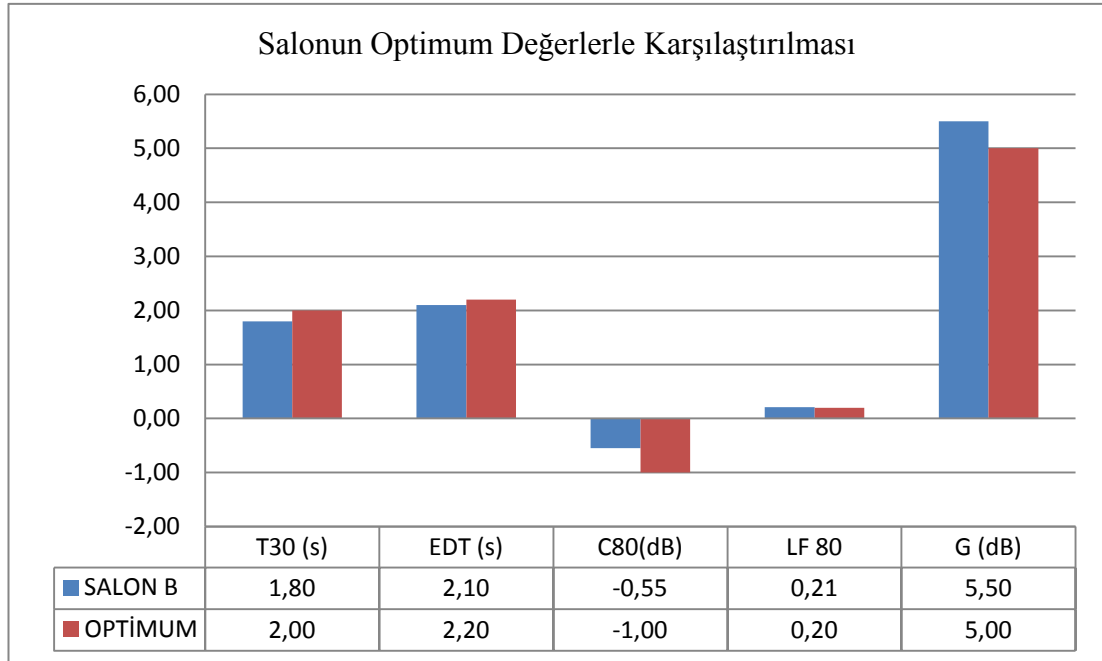


Şekil 4.181 : Orkestranın direkt ses grafiği

Çizelge 4.13'te sahnede noktasal kaynak yerine orkestra bulunan salonun parametrik değerleri bulunmaktadır. Şekil 4.182'de salonun optimum değerlerle karşılaştırılması verilmiştir. Yeterli ses yüksekliğine ulaşmaktadır. Erken yanıl yansımaların yeterli olduğu görülmektedir.

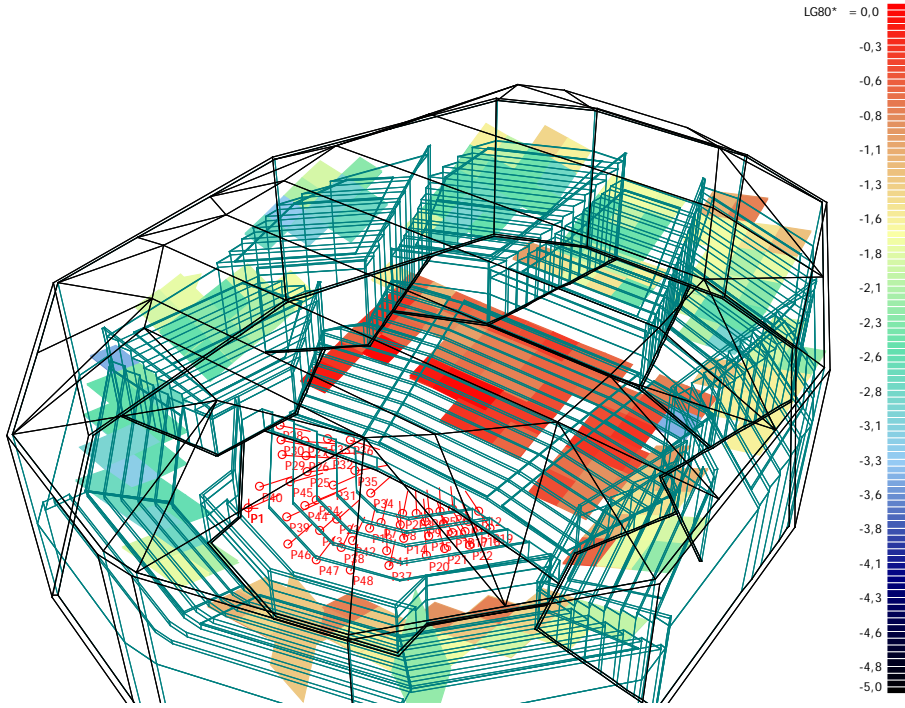
Çizelge 4.13 : Orkestranın olduğu salonun frekansa bağı nesnel akustik parametreleri

Bant (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	2,67	2,95	2,45	2,00	1,77	1,81	1,47	0,84
T30 (s)	2,75	2,94	2,65	2,27	2,08	2,01	1,60	0,89
SPL (dB)	7,9	8,0	7,0	6,3	5,5	5,3	4,3	1,0
C80 (dB)	-2,0	-2,3	-1,5	-1,0	-0,5	-0,6	0,4	3,7
D50	0,28	0,28	0,31	0,33	0,35	0,35	0,40	0,55
Ts (ms)	186	202	172	148	134	134	112	70
LF80	0,212	0,208	0,214	0,222	0,213	0,208	0,203	0,180
SPL(A) = 11,8(dB)								
LG80* = -0,1(dB)								



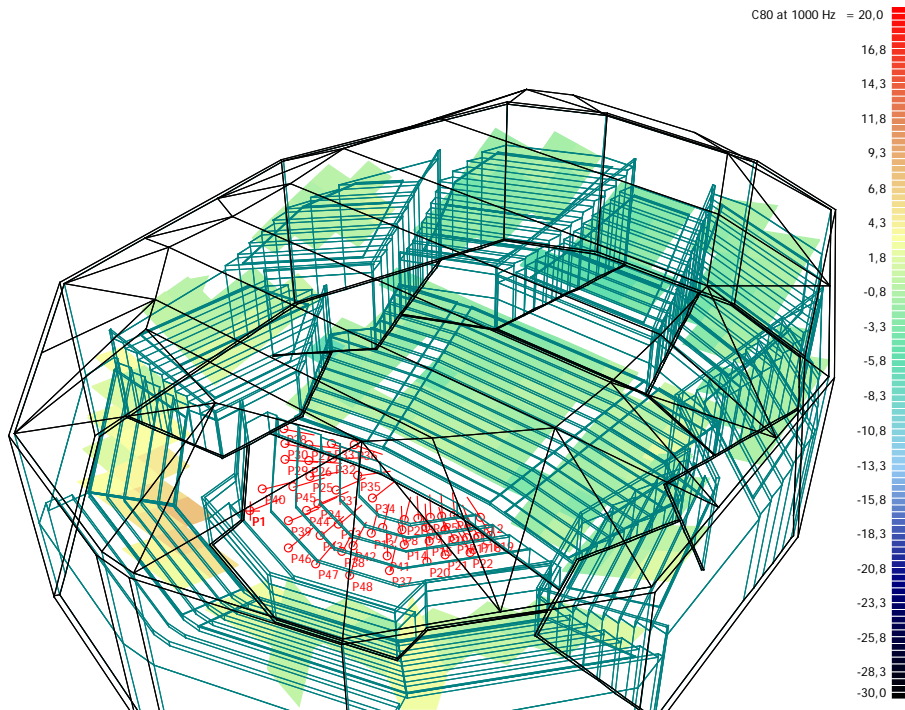
Şekil 4.182 : Salonun optimum değerlerle karşılaştırılması

Şekil 4.183'te geç yanıl yansımaların grid analizi verilmiştir. Alt parterde geç yanıl yansımalar artmıştır.



Şekil 4.183 : LG80 grid analizi

Şekil 4.147’de salonun C80 grid analizi bulunmaktadır. Salonda alt platformların aldığı yanal yansımalar üst platformlara göre daha azdır. Direkt ses daha yakın bölgede netlik indeksi yüksek çıkmıştır. Salonda C80 değeri -2dB ve 2dB arasında olduğu için olumlu görülmüştür.



Şekil 4.184 : C80 grid analizi

5. SONUÇ

Malzeme, tavan kotları, yansıtıcıları, yan duvarlar, sahne duvarları gibi fiziksel tasarım elemanlarının kontrollü olarak değiştirilip elde edilen sonuçlar akustikçilerin elde etmiş olduğu ve standartlarda geçen, tavsiye edilen değer aralıkları dahilinde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda nesnel olarak elde edilen değerlerin genel olarak orta frekanstaki verileri alınmıştır. Çalışmada karşılaştırmalar sırasında kişi başı m² ve hacim sabit tutulmaya çalışılmıştır. Malzemelerin yutuculuk, yansıtıcılık ve saçıcılık değerleri değişmemiştir. Karşılaştırmalar sırasında salonların ortalama değerleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırmalar T30, EDT, LG80, LF80, C80, G, TS ve ST açısından yapılmıştır.

Tavan formunun etkisinin analizi açısından çeşitli salon varyasyonları tasarlanmıştır. Karşılaştırma sırasında plan şeması, platform yükseklikleri, duvar formları, hacim sabit tutulmuştur. Alınan verilere göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tavan formunun ve yüksekliğinin etki analizi;

Çınlama süresi, hacme ve kullanılan malzemenin yutuculuk katsayısına bağlı olduğu için tavan formunun değişiminden çok etkilenmemiştir. Düz tavanın kullanıldığı salonda ses enerjisinin genel olarak tavan ile sahne yakını seyirci alanları arasında seyrettiği gözlenmiştir. Dolayısıyla bu alanlardaki C80 değeri olumsuz yönde artarken (+2dB üzeri) arka kısımlara yeterli ses enerjisinin iletilmemesinden dolayı C80 düşmüştür. Ses enerjisinin azalmasından dolayı LF 80, G, SPL değerleri de azalmıştır. Tavan formuna eğrisellik verilmesi arka kısımlara iletilen enerjiyi artırmış ve buna bağlı olarak C80 değerini ve diğer LF80 gibi erken yansıma değerlerinin olumlu etkilenmesini sağlamıştır. Eğriselliğin artırılması durumunda ise formdan dolayı ses enerjisi salonun arka kısımlarına iletilmemiş, sahnenin ön ve arka kısımlarında fazla bir enerji artışı olmuştur. Bu da dinleme koşullarını olumsuz etkilemiştir. Sahne alanına da yeterli yansıma iletilmediğinden, burada da olumsuz koşullar gözlenmiştir ve ST değerleri düşük çıkmıştır. Aynı zamanda ses enerjisi belli noktalarda toplandığı için salonun arka kısımlarında düşük ses yüksekliği gibi

yetersiz enerjiye bağı olumsuz koşullar gözlenmiştir. Konkav salon formunda ise salonun orta kısmında enerji toplanmış yan platformlara iletimler azalmıştır. Dolayısıyla karşılaştırılan salonlardan en olumlu koşulları yaratan B salonu diğer yansıtıcı panel, eğrisellik ve yükseklik karşılaştırmalarında ana salon tipi olarak kullanılmıştır.

Yansıtıcı panel boyutlarının etki analizi:

Arena tipli salonlarda sahne konumu salonun ortasında olduğu için yan duvarlardan yeterli yansıma alınamaz. Dolayısıyla sahnede performans koşullarını artırmak amaçlı yansıtıcı paneller kullanılır. Yansıtıcı panellerin koşulları iyileştirmesi boyut, malzeme ve konuma bağı olarak değişir. Salon varyasyonlarında 4 farklı tipte yansıtıcı panel uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamalarda en uygun değerler yansıtıcı panelin geniş alanda parçalı olarak yerleştirilmesi ile sağlanmıştır. Alçak frekansların da yansıtılması açısından daha geniş ebatlarda uygulanması ve yüksekliğinin azaltılması olumlu olacaktır. Yüksekliğin fazla olması nedeniyle erken yansımalar yetersiz kalmıştır. Yansıtıcı panellerin geniş, tek parça, ağır ve kalın tasarlanması halinde yansıyan ses enerjisi tavan ile yansıtıcı panel arasında kalarak sesin diğer noktalara dağılımını etkilemektedir. Özellikle Salon B4 'teki parçalı geniş yansıtıcı panel tasarımında, sahnedeki alıcı noktasının aldığı erken yansımalar artmıştır., fakat geç yansımalar zayıflamıştır. Alçak tavanlı salon tasarımlarında paneller, sahne için olumlu koşullar yaratsa da salon içerisinde olumsuz koşullar yaratmaktadır. Panellerin en ideal kullanımı 15m 'den yüksek tavanlı salonlarda olmalıdır. Bunu yanı sıra panellerin sahneye yaklaşması halinde erken ve geç yansımalar artacaktır.

Eğrisel yan duvarların etki analizi:

Saçıcılık özelliğinin arttığı eğrisel yan duvarlarda salonun LF değerlerinde ve IACC değerlerinde artış olur. Fakat LG 80 ya da çınlama süresi gibi enerjiye bağı parametreleri değiştirmemiştir. LG80 değerlerinin daha homojen bir şekilde dağılımını sağlamıştır. Salonun arka kısımlarına yanal duvarlardan iletilen enerji artmıştır. Yan duvarların eğrisel tasarımında birleşim yerlerinde oluşan bazı alanlar direkt sesin ulaşmamasından olumsuz etkilenmiştir. Fakat genel olarak eğrisel yan

duvarların kullanıldığı BX salonunda yanal yansıma iletimi ve arka kısımlara iletilen enerji yoğunluğu artmıştır.

Yüksek duvarların etki analizi;

Duvarların yükselmesi durumunda LF değeri ve yanal yansımaların artmasıyla LG değeri de artmıştır. Fakat platformların yükselmesinden dolayı üst platformlarda alıcı ve kaynak mesafesi arttığı için ITDG (ilk gecikme aralığı) artmış ve EDT değeri düşmüştür. Bunun yanı sıra düşük kottaki alıcılarda ve orkestra şefinde LF ve T30 ve EDT değerleri artmıştır. Alt platformlara etki eden yan duvarların yüksekliği artırıldığı için bu bölgede SPL değerleri de artmıştır. Direkt sestən uzaklaşan üst platformlar koşullardan olumsuz etkilenmiştir. Dolayısıyla yüksek duvarların analiz edildiği BY salonunda alıcı noktaları arasındaki denge azalmış ve olumsuz koşullar yaratmıştır. Salon platformlarının oluşturduğu duvarlar, oturma kısımlarına erken yansıma sağlayacak kadar yüksek olmalıdır ve platformlar arası geçişler kademeli olmalıdır.

Salonda orkestra etkisi

Salonda noktasal kaynak kullanılarak yapılan analizlerin yanı sıra orkestra ile salon koşulları incelenmiştir. T30 değeri yüksek gözlense de LF 80, C 80 değerleri optimum değerler arasında çıkmıştır. Arena tip salonlarda duvar yüzeyleri yansımaları artırmak amaçlı özellikle yansıtıcı tasarlanır. Bu durumda yutucu bir ortam gerektiren popüler müzik türündeki alçak frekansların baskınlığı performansı zorlaştıracaktır. Ancak salondaki bazı hareketli elemanlar ile salondaki çınlama süresi düşürülürse bu tür performanslar için uygun ortam sağlanabilir. Caz müzik ile klasik müziğin orkestra ve enstrüman özellikleri benzer olduğundan bu tip bir salonda caz müzik performansları gerçekleştirilebilir. Caz müziğin yüksek frekanslarda etkili olan yapısı salonun yapısına uygundur. Fakat salon hacmi 15.000 ile 20.000 m² arası olduğundan bu tür salonlarda yeterli ses yüksekliğini sağlayabilecek performanslar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Rossing, D.** Thomas, 2007, Springer Handbook of acoustics, Springer Science+Business Media, LLC New York.
- [2] **Long, M.**, 2006. Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, USA.
- [3] **Harry F. Olson**, 1967, Musici Physics and Engineering, Dover publications, New York.
- [4] **Barron, M.**, 1993. Auditorium Acoustics and Architectural Design, E & FN SPON, London.
- [5] **Beranek, L.L.**, 1996. How They Sound: Concert and Opera House, Acoustical Society of America, New York.
- [6] **Mehta, M., Johnson, J., and Rocafort, J.**, 1999. Architectural Acoustics Principles and Design, Prentice Hall, New Jersey.
- [7] **ISO/ CD 3382-1.2**, 2005, Measurement of room acoustic parameters- Part 1: Performance spaces, *International Standards Organization*, Switzerland.
- [8] **Christensen, C.L.**, 2003. Odeon room acoustics program user manual, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- [9] **Jens Jørgen Dammerud**, 2009, Stage acoustics for symphony orchestras in concert halls, Ph D. of the University of Bath, England
- [10] **Skålevik, Magne**, 2006, Sound Transmission Between Musicians in a Symphony Orchestra on a Concert Hall Stage, Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting Gothenburg, Sweden.
- [11] **Skålevik, Magne**, 2006, Orchestra Canopy Arrays- Some Significant Features, Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting Gothenburg, Sweden.
- [12] **A.H. Marshall , M. Barron**, 2000, Spatial responsiveness in concert halls and the origins of spatial impression, Applied Acoustics , Applied Acoustics 62, 91-108.
- [13] **D. Takahashi**, 1997, Seat dip effect: The phenomena and the mechanism, Department of Architectural Engineering Fukui University, Japan.

- [14] **Masayuki Morimoto, Kazuhiro Iida, Kimihiro Sakagami**, 2000, The role of reflections from behind the listener in spatial impressions, Faculty of Engineering, Kobe University, Japan.
- [15] **Toshiki Hanyu , Sho Kimura**, 2000, A new objective measure for evaluation of listener envelopment focusing on the spatial balance of reflections, Applied Acoustics 155-184.
- [16] **M. Barron**, 2000, Late lateral energy fractions and the envelopment question in concert halls, Applied Acoustics 62 , 185-202.
- [17] **J.S. Bradley**, 2011, Review of objective room acoustics measures and future needs, Applied Acoustics 72, 713–720.
- [18] **António Pedro O. Carvalho**, 1994, Effect of architectural styles on objective acoustical, measures in portuguese catholic churches, Acoustical Laboratory - Faculty of Engineering, Portugal.
- [19] **Dr. Wolfgang Ahnert and Dr. Wolfgang Schmidt**, Fundamentals to perform acoustical measurements.
- [20] **Maria Giovannini , Arianna Astolfi**, 2010, The acoustical characterization of orchestra platforms and uncertainty estimation of the results, Applied Acoustics 71, 889–901.
- [21] **Y. Tahara, T. Miyajima**, 1998, A New Approach to Optimum Reverberation Time Characteristics, Applied Acoustics 54,113-129.
- [22] **Leo L. Beranek**, 2010, Listener Envelopment LEV, Strength G and Reverberation Time RT in Concert Halls, Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA, Sydney, Australia
- [23] **Knut Guettler, Anders Askenfelt, Anders Buen**, 2007, Double basses on the stage floor, Dept. of Speech, Music and Hearing, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [24] **Dammerud, Jens Jørgen, Barron, Mike**, 2007, Early subjective and objective studies of concert hall stage conditions for orchestral performance, ICA, UK
- [25] **Niels Werner Adelman-Larsen, Eric R. Thompson, Anders C. Gade**, 2009, Suitable reverberation times for halls for rock and pop music, Denmark
- [26] **R. Essert (Arup Acoustics)**, 1997, Progress in concert hall design developing an awareness of spatial sound and learning how to control it, EBU Technical Review.

- [27] **Sabine**, Collected Papers on Acoustics, Harvard University Press (1922), republished, 1993, Acoustical Society of America.
- [28] **Jiajun Zhu, Xiangyang Xue, Hong Lu**, Musical Genre Classification by Instrumental Features, Dept. of Computer Science and Engineering, Fudan University, Shanghai, China.
- [29] **William Russo**, 1975, Caz Composition and Orchestration, Chicago
- [30] **Prof. Dr. Sevtap Yılmaz Demirkale**, 2007, Çevre Ve Yapı Akustiği, Birsen yayınevi, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

07 Ocak 1986'da Ankara'da doğdu. Ortaöğretimi Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nde 2003'te tamamlayarak İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Bölümü'ne girdi. 2007 yılında lisans derecesini kazandı ve 2009 yılında İTÜ Mimarlık Anabilim Dalı, Fiziksel Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programına girmeye hak kazandı. İyi derecede İngilizce ve orta seviyede Almanca bilmektedir.