

**KONSER SALONLARINDA AKUSTİK KONFOR
PARAMETRELERİNİN ANALİZİ VE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA**

Naciye Esra ÖZKARTAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2011
ANKARA**

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Naciye Esra ÖZKARTAL

**KONSER SALONLARINDA AKUSTİK KONFOR
PARAMETRELERİNİN ANALİZİ VE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA
(Yüksek Lisans Tezi)**

Naciye Esra ÖZKARTAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2011**

ÖZET

Dinleyici salonlarında hacim içerisinde hedeflenen işitsel konfor düzeyinin sağlanması, en az mimari tasarım kadar akustik tasarımın da başarılı olmasına bağlıdır. Akustik tasarım günümüzde, hacim içerisindeki ses kalitesinin, çeşitli yöntemlerle analiz edilmesi ve ölçülmesi yolu ile hacmin kullanım amacına uygun olarak optimizasyonunu kapsamaktadır. Bir konser salonunda uluslararası standartlarda belirtilen doğal akustik konfor düzeyinin sağlanması halinde, kaynaktan çıkan ses, tüm dinleyicilere uygun ve eşit olarak ulaşabilmektedir.

Bu bağlamda tezde; konser salonlarında akustik performansın değerlendirilmesine yönelik kriterlerin analizi yapılmış ve bir konser salonu örneklem olarak seçilerek hacim akustiği açısından değerlendirilmiştir.

Örnek çalışma bölümü, Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu'nun mevcut akustik koşullarının tasarım kriterlerine göre değerlendirilmesini, salondaki akustik konfor düzeyinin ODEON yazılımıyla yapılan simülasyonlarla ve yerinde yapılan alan ölçümü ile analiz edilmesini kapsamaktadır.

Son bölümde, yapılan simülasyon ve ölçümlerle elde edilen veriler ışığında, salonun akustik performansına ilişkin sonuçlar ortaya konulmuş ve iyileştirme önerileri geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 804.1.040

Anahtar Kelimeler : Mimari Akustik, Hacim Akustiği, Konser Salonları

Sayfa Adedi : 142

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Füsun DEMİREL

**ANALYSE OF ACOUSTICAL COMFORT PARAMETERS CONCERT
HALLS WITH A CASE STUDY**

(M.Sc. Thesis)

Naciye Esra ÖZKARTAL

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2011

ABSTRACT

Provision of an acoustic comfort level in the auditoriums depends on the success of acoustical design parameters as well as the architectural design.

Today, acoustic design, depending on the intended use, involves the provision of optimal acoustic parameters, obtained by using simulation programs for analysis of sound quality and using equipments for measurements.

This thesis aims to uncover the analyze criteria regarding acoustic comfort of concert halls.

As the case, the acoustics performance of the Concert Hall in the Museum of Picture and Sculpture is assessed through simulation using ODEON software and measurements.

Science Code : 804.1.040

Key Words : Architectural Acoustics, Room Acoustics, Concert Halls

Page Number: 142

Adviser : Prof. Dr. Füsün DEMİREL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Füsün DEMİREL'e; değerli katkılarından dolayı jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Metin ARSLAN ve Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY'a; örnek çalışmam için destek veren Kültür ve Turizm Bakanlığı Güzel Sanatlar Genel Müdürlüğü'nün ve Ankara Resim ve Heykel Müzesi'nin tüm yetkili ve çalışanlarına; BAP projesi kapsamında ODEON yazılımını ve akustik ölçüm cihazlarının alınmasını sağlayan Gazi Üniversitesi'ne, çalışmam sırasında yanımda olan ekip arkadaşlarım S. Gül İLİSULU, Rıza TÜRKMEN, Zuhale ÖZÇETİN, Merve DOĞAN, Sümeyra PEKTAŞ'a; yaşantım boyunca desteklerini esirgemeyen AİLEME ve EŞİME teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. HACİM AKUSTİĞİ ve KONSER SALONU TASARIMI.....	3
2.1. Hacim Akustiği Parametreleri.....	18
2.1.1. Reverberasyon süresi (RT), erken sönümlenme süresi (EDT) ve canlılık.....	18
2.1.2. Sesin berraklığı ve netliği (C80), erken sesin reverberant sese oranı (ELR).....	25
2.1.3. İlk yansımanın gecikme aralığı (ITDG) ve sesin yakınlığı.....	27
2.1.4. Sesin algılanan yüksekliği ve ses yüksekliği (G).....	29
2.1.5. Mekansal algılama, dinleyicilerin kuşatılması, yan yansıma oranı (LF) ve iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki katsayısı (IACC)	31
2.1.6. Akustik parlama ve yüzeyin ses dağıtma indeksi (SDI)	36

Sayfa

2.1.7. Sesin sıcaklığı, bas oranı (BR), orta ve düşük frekanslardaki ses yüksekliği (G_{mid} , G_{low})	38
2.1.8. Arka plan gürültüsü ve gürültü düzeyi kriteri (NC).....	39
2.2. Konser Salonu Akustiğinin Tasarım ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Hacim Akustiği Parametrelerinin Optimum Değerleri	41
2.3. Mimari Tasarım Parametreleri	43
2.3.1. Salonun kapasite, biçim ve boyutları	44
2.3.2. İç yüzeylerde kullanılan malzemeler.....	51
2.3.3. Özel tasarım gerektiren yerler	57
2.4. Hacim Akustiği Parametrelerinin Birbirleri ve Mimari Tasarım Parametreleri ile İlişkilerinin Analizi	65
2.5. Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilme Yöntemleri	69
3. ÖRNEK ÇALIŞMA: ANKARA DEVLET RESİM ve HEYKEL MÜZESİ KONSER SALONU.....	71
3.1. Örnekleme İlişkin Genel Bilgiler	71
3.2. Salonun Mimari Tasarımının Akustik Açısından Analizi.....	76
3.3. Salonun Akustik Performansının Simülasyon Yöntemi ile Analizi	85
3.3.1. Salonun modellenmesi ve simülasyon sırasındaki kabuller	86
3.3.2. Kaynak ve alıcıların yerleştirilmesi, yüzey özelliklerinin tanımlanması.....	88
3.3.3. Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi	90
3.4. Salonun Akustik Performansının Alan Ölçümü Yöntemi ile Analizi	115

Sayfa

4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	122
KAYNAKLAR.....	127
EKLER.....	134
EK-1: Kaynağın sahnedeki konumunun salonda sesin davranışına etkilerini gösteren bilardo topu yöntemi ile değerlendirme aşamaları.....	135
EK-2: Konser salonlarında öznel akustik parametrelerin değerlendirilmesine yönelik hazırlanan dinleyici anketi örneği.....	137
ÖZGEÇMİŞ.....	142

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Farklı kullanımlar için frekanslara göre optimum RT değerleri.....	21
Çizelge 2.2. Salonun dolu olduğu durumda farklı müzik türlerine göre önerilen reverberasyon süreleri.....	22
Çizelge 2.3. Başlıca nesnel hacim akustiği parametrelerinin optimum değerleri ve tolerans aralıkları.....	42
Çizelge 2.4. Koltukların merkez frekanslarda ortalama ses yutma katsayıları.....	60
Çizelge 2.5. Koltuk türlerinin belirlenmesi.....	60
Çizelge 2.6. Öznel parametrelerin, performans alanının özellikleri ve nesnel parametreler ile ilişkisini açıklayan çizelge.....	66
Çizelge 3.1. Salonun yer seçimi ve planlamasına ilişkin değerlendirme.....	76
Çizelge 3.2. Salonun boyutlandırılmasına ilişkin değerlendirme.....	78
Çizelge 3.3. Balkon boyutlandırılmasına ilişkin değerlendirme.....	83
Çizelge 3.4. Sahnenin boyutlarına ilişkin değerlendirme.....	84
Çizelge 3.5. Yüzeylerin orta frekanslarda dağıtıcılık katsayıları.....	89
Çizelge 3.6. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarında elde edilen parametre değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları.....	90
Çizelge 3.7. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki RT_{30} değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları.....	91
Çizelge 3.8. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki RT_{30} değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları.....	91
Çizelge 3.9. Çeşitli kaynaklarda belirtilen salon hacmine ve kullanımına göre sağlanması gereken optimum RT_{30} aralıkları ve sonucun değerlendirmesi.....	94

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.10. Farklı kaynak yerlerine göre RT_{30mid} değerleri.....	94
Çizelge 3.11. Farklı dinleyici gruplarında RT_{30mid} değerleri.....	96
Çizelge 3.12. Ana sahnedeki kaynak aktif iken 7 ölçüm noktasında RT_{30mid} değerleri.....	97
Çizelge 3.13. Ön sahnedeki kaynak aktif iken 7 ölçüm noktasında RT_{30mid} değerleri.....	98
Çizelge 3.14. İki ölçüm koşulunda RT_{30mid} değerleri karşılaştırması.....	98
Çizelge 3.15. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki EDT değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları.....	99
Çizelge 3.16. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki EDT değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları.....	99
Çizelge 3.17. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum EDT aralıkları ve sonucun değerlendirmesi.....	100
Çizelge 3.18. Farklı kaynak yerlerine göre orta frekanslarda EDT değerleri.....	100
Çizelge 3.19. Farklı dinleyici gruplarında EDT değerleri.....	102
Çizelge 3.20. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki C80 değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları.....	103
Çizelge 3.21. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki C80 değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları.....	104
Çizelge 3.22. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum C80 aralıkları ve sonucun değerlendirmesi.....	104
Çizelge 3.23. Farklı kaynak yerlerine göre orta frekanslarda C80 değerleri.....	105
Çizelge 3.24. Farklı dinleyici gruplarında C80 değerleri.....	106

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.25. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki LF değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları.....	108
Çizelge 3.26. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki LF değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları.....	108
Çizelge 3.27. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum LF aralıkları ve sonucun değerlendirmesi.....	109
Çizelge 3.28. Farklı kaynak yerlerine göre orta frekanslarda LF değerleri.....	109
Çizelge 3.29. Farklı dinleyici gruplarında LF değerleri.....	111
Çizelge 3.30. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki G değerlerinin ortalaması.....	112
Çizelge 3.31. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki G değerleri.....	113
Çizelge 3.32. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum G değerleri farkı.....	113
Çizelge 3.33. Alıcı noktalarına göre en yüksek, en düşük ve ortalama G değerleri.....	114
Çizelge 3.34. K1 için 7 alıcı noktasında ölçülen RT_{30} değerleri.....	119
Çizelge 3.35. K1 için 7 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için ölçülen RT_{30} değerleri.....	120
Çizelge 3.36. K2 için 7 alıcı noktasında ölçülen RT_{30} değerleri.....	120
Çizelge 3.37. K1 için 7 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için ölçülen RT_{30} değerleri.....	120
Çizelge 3.38. Çeşitli kaynaklarda belirtilen salon hacmine ve kullanımına göre sağlanması gereken optimum RT_{30} aralıkları ve ölçüm sonucunun değerlendirmesi.....	121

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Salonun akustik performansının değerlendirilmesi.....	122
Çizelge 4.2. Ölçüm ve analizde alınan RT_{30} sonuçlarının değerlendirilmesi.....	123
Çizelge 4.3. Parametrelerin sahnedeki kaynağın konumuna göre değerlendirilmesi.....	124
Çizelge 4.4. Parametrelerin dinleyici gruplarına göre değerlendirilmesi.....	125

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.(a) Konuşma sesi için kullanılan işitme aralığı.....	5
Şekil 2.1.(b) Müzik sesi için kullanılan işitme aralığı.....	5
Şekil 2.2. Açık mekandan kapalı mekana geçiş adımları.....	7
Şekil 2.3. Sahnedeki örnek uyarı yanıt grafiği ve ses bileşenleri.....	10
Şekil 2.4. Bir hacmin uyarıya karşı ideal akustik yanıtı ve ses bileşenlerinin grafik gösterimi.....	10
Şekil 2.5. Konser salonu sahnesinde dolaysız ses, erken ve gecikmiş yansımalar çözümlemesi örneği.....	13
Şekil 2.6. Hacim içerisindeki ses basıncı değişimi adımları.....	14
Şekil 2.7. Hacimde dengede olan sesin, kaynak kapatıldıktan sonra sönümlenişi....	14
Şekil 2.8. Sesin hacimde artış ve sönümlenişi.....	15
Şekil 2.9. Çeşitli aktiviteler için önerilen optimum reverberasyon süreleri.....	20
Şekil 2.10. Salon hacmine göre, işleve uygun reverberasyon süreleri.....	21
Şekil 2.11. Reverberant sesin düşme eğrisi.....	23
Şekil 2.12. (a-b) Berraklık ve netlik parametresinin RT ile ilişkisi.....	25
Şekil 2.13. Konuşma ve müzik için D50 C80 değerlerinin öznel berraklık algısında karşılığı.....	26
Şekil 2.14. SPL – RT grafiğinde reverberant sönümlenme.....	27
Şekil 2.15. Sönümlenme eğrisi üzerinde RT ve ITDG.....	28
Şekil 2.16. Ses yansımalarının şematik gösterimi üzerinde ITDG.....	28

Şekil	Sayfa
Şekil 2.17. Frekansa ve ses düzeyine dayalı NC kriteri eğrileri.....	40
Şekil 2.18. Konser salonları için temel plan biçimleri.....	46
Şekil 2.19. Işın diyagramı yöntemi ile plan biçimine göre yansıma analizi.....	48
Şekil 2.20. Yan yüzeye göre görüntü kaynak pozisyonları.....	48
Şekil 2.21. Yansıyan sesi salona yönlendirmeyi sağlayan tavan geometrisi örneği...50	
Şekil 2.22. Hacim içinde yutucu uygulamasının ses azaltımına etkisi.....	53
Şekil 2.23. Düz tavandan yansıyan sesler.....	53
Şekil 2.24. Parçalı tavandan yansıyan sesler.....	54
Şekil 2.25. Basamaklı tavandan yansıyan sesler.....	54
Şekil 2.26. Kapalı hacimlerde meydana gelebilecek akustik kusurlar.....	55
Şekil 2.27. Uyarı yanıtı grafiği üzerinde yankı	56
Şekil 2.28. Bir dinleyici salonunda arka duvar ve tavandan kaynaklanan yankı.....	57
Şekil 2.29. Salonlarda dinleyici alanının yutuculuk etkisinin grafik gösterimi.....	59
Şekil 2.30. Tip orkestra çukuru boyutları.....	62
Şekil 2.31. Balkonlarda sağlanan iyi görüş ve iyi dolaysız ses açıları.....	63
Şekil 2.32. Balkon tasarımında dikkat edilmesi gereken konular.....	64
Şekil 2.33. Balkon tasarımında boyutlar.....	65
Şekil 3.1. Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu 1.kat planı.....	77
Şekil 3.2. Dinleyici koltukları yerleşim şeması.....	79

Şekil	Sayfa
Şekil 3.3. Ana salon katı şematik bölümsel kesiti.....	80
Şekil 3.4. Balkon ve loca şematik kesiti.....	82
Şekil 3.5. Sahne ve çevresi şematik kesiti.....	84
Şekil 3.6. Salon modelinden perspektifler.....	87
Şekil 3.7. Salon modelinde sızdırmazlık testi sonucu ve hesaplama parametreleri....	87
Şekil 3.8. Salon modelinde tanımlanan kaynak ve alıcı noktaları.....	88
Şekil 3.9. (b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken RT_{30} parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	95
Şekil 3.10. Alıcı noktalarında RT_{30} - Frekans grafiği.....	96
Şekil 3.11.(a) RT_{30} parametresinin 500 Hz dağılımları.....	96
Şekil 3.11.(b) RT_{30} parametresinin 1000 Hz dağılımları.....	97
Şekil 3.12.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken EDT parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	101
Şekil 3.12.(b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken EDT parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	101
Şekil 3.13. Alıcı noktalarında EDT-Frekans grafiği.....	102
Şekil 3.14.(a) EDT parametresinin 500 Hz dağılımı.....	102
Şekil 3.14.(b) EDT parametresinin 1000 Hz dağılımı.....	103
Şekil 3.15.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken C80 parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	105

Şekil	Sayfa
Şekil 3.15.(b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken C80 parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	106
Şekil 3.16. Alıcı noktalarında C80-Frekans grafiği.....	107
Şekil 3.17.(a) C80 parametresinin 500 Hz dağılımı.....	107
Şekil 3.17.(b) C80 parametresinin 1000 Hz dağılımı.....	107
Şekil 3.18.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken LF parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	110
Şekil 3.19. Alıcı noktalarında LF ₈₀ - Frekans grafiği.....	111
Şekil 3.20.(a) LF parametresinin 500 Hz dağılımı.....	111
Şekil 3.20. (b) LF parametresinin 1000 Hz dağılımı.....	112
Şekil 3.21.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken G parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	114
Şekil 3.21.(b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken G parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)	114
Şekil 3.22. SPL(A) dağılımı.....	115
Şekil 3.23. Salon şemasında ölçüm noktaları.....	119

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Konser salonu sahnesinde ses yansımalarının şematik gösterimi.....	13
Resim 3.1. Resim ve Heykel Müzesi'nin uydu görünümü.....	71
Resim 3.2. Resim ve Heykel Müzesi'nin görünüşü.....	72
Resim 3.3. Salonun locadan görünümü.....	79
Resim 3.4. Gül ağacından yapılmış, orijinal dinleyici koltukları.....	80
Resim 3.5. Salon süslemeleri, yan duvardan görünüm.....	81
Resim 3.6. Tavan süslemeleri, sahne üstünden görünüm.....	81
Resim 3.7. Salondan balkon ve loca görünümü.....	83
Resim 3.8. Sahnenin salondan görünümü.....	85
Resim 3.9. Ölçüm sırasında salonda kurulan ölçüm düzeneği.....	117
Resim 3.10. Ölçümün yapıldığı bir alıcı noktasına yerleştirilmiş mikrofon.....	117
Resim 3.11.(a-b) Çok yönlü ses kaynağının sahnede yerleştirildiği K1 ve K2 konumu.....	118

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
RT, RT₃₀, RT₆₀:	Reverbarasyon Süresi (Reverberation Time)
RT_{mid}, RT_{30mid}:	Orta Frekanslarda Reverbarasyon Süresi Ortalaması (Mid-Frequency Reverberation Time)
EDT:	Erken Sönümlleme Süresi (Early Decay Time)
ITDG:	İlk Yansımanın Sönüm Süresi (Initial Time- Delay Gap)
LEV:	Müzik Tarafından Çepeçevre Kuşatılma (Listener Envelopment)
BR:	Bas Oranı (Bas Rate)
D50:	Sesin Berraklığı veya Netliği (Clarity) Konuşma için
C80:	Sesin Berraklığı veya Netliği (Clarity) Müzik için
ASW:	Algılanan Kaynak Genişliği (Apparent Source Width)
LF:	Yan Yansıma Oranı (Lateral Energy Fraction)
LF80:	Erken Yan Yansıma Oranı (Early Lateral Energy Fraction)
IACC:	İki Kulak Arasındaki Karşılıklı İlişki Katsayısı (Interaural (binaural) Cross CorelationCoefficient)
BQI:	İki Kulak Arasındaki Nitelik İndeksi (Binaural Quality Index)

Kısaltmalar	Açıklama
IACF:	İki Kulak Arasındaki Karşılıklı İlişki Fonksiyonu (Interaural Cross Correlation Function)
G, G_{mid}:	Ses Yüksekliği (Sound Strength, Strength Factor)
ST_{Early}:	Erken Destek (Early Support)
ST_{Late} :	Geç Destek (Late Support)
LG₈₀, L_J, GLL:	Gecikmiş Yanal Ses Seviyesi (Late Lateral Sund Level)
ELR:	Erken Sesin Gecikmiş Sese Oranı (Early to LAte Ratio)
SPL:	Ses Basıncı Düzeyi (Sound Pressure Level)
t₀, t_{1..n}:	Dolaysız, ilk yansıyan vb. sesin dinleyiciye ulaştığı an
t_e, t_R:	Erken ve gecikmiş yansımaların zamansal aralığı
sn:	saniye
ms:	milisaniye
dB:	Desibel
a.g.e. :	Adı Geçen Eser

1. GİRİŞ

Günümüzde, kullanıcıların ihtiyaç duyduğu konfor düzeyinin giderek yükselmesine bağlı olarak, binalarda en uygun fiziksel çevre koşullarının sağlanması, tasarımcı için oldukça önemli bir hal almıştır. Bu durum, mimarların aydınlatma, akustik, iklimlendirme, enerji etkinliği ve yangın güvenliği gibi alanlarda bilinçlerinin gelişmesini zorunlu kılmaktadır.

Özellikle özel bir amaca hizmet eden binalarda, kullanıcı konforunun sağlanması için, ilgili yapı alt sistemlerinin iyi tasarlanmış ve uygulanmış olması şarttır. İşitsel etkinliğin birinci derecede önemli olduğu mekânlardan dinleyici salonlarının da işlevine uygun olması, hacim içerisindeki sesin kalitesine bağlıdır.

Her salonun kendine has bir akustiği vardır ve salonlarda akustik tasarımın birinci hedefi, dinleyici memnuniyetidir. Dinleyici salonları için akustik konfor; öncelikle her dinleyiciye yeterli düzeyde sesin ulaşmasını, salon içinde seslerin düzgün dağılmasıyla her dinleyicinin sesleri eşit nitelikte işitmesini ifade etmektedir. Konser salonlarında hafızalarda kalacak bir müzik deneyimi yaşatmak için, orkestra şefi, orkestra ve salon mükemmel bir uyum içinde olmalıdır. Bu organizasyonun başarılı olması için, mimar, mühendis ve akustik tasarımcıların, şef ve müzisyenlerin bütüne ne katabileceklerinin ve bu bileşenlerin öneminin farkında olmaları gerekmektedir.

Konser salonu akustiği bir problem olarak ele alındığında, tasarımda birbirini etkileyen ya da etkilemeyen (bağımlı-bağımsız) birçok değişkenin yer aldığı görülmektedir. Bu değişkenlerin birbirleri ile ilişkilerinin tanımlanması ve konser işlevi için optimum değerlerinin belirtilmesi, bu çalışmanın birinci aşamasını oluşturmaktadır.

Konser salonları, müziğin yapısal olarak konuşmadan farklı olması sebebiyle farklı akustik düzenlemeler gerektirmektedir. Enstrümandan çıkan sesin dinleyiciye ulaşana kadar belirli prensipler dahilinde yayıldığı akustik ortamın tüm özellikleri, algılanan ses kalitesini etkilemektedir. Bu sebeple, bir konser salonu tasarlanırken,

binanın çevresi ile birlikte ele alınarak doğru planlanmasından başlayan, salon biçim ve boyutları, iç mekânda kullanılan tüm yapı eleman ve malzemeleri gibi kararların alındığı mimari tasarımının yanında bunların doğrudan etkilediği, hacim akustiği parametreleri göz önünde bulundurulmaktadır.

Salonların akustik tasarımı yapılırken ya da mevcut salonlarda akustik performans değerlendirilirken baz alınan, son yüzyılda birçok araştırmacı tarafından belirlenmiş, tanımlanmış ve formüle edilmiş bu parametrelerin yanında, çalışmalar sonucu getirilmiş standartlar da bulunmaktadır.

Mimari tasarım sürecinde bir salonun fuayesinin fonksiyonel gereklilikleri, dinleyici salonunun kendisi, sahnesi ve diğer yardımcı birimleri ayrı ayrı hesaba katılmalıdır. Mimari program yalnızca fonksiyonelliğe değil, tüm teknik ihtiyaçlara ve estetik kaygılara cevap vermelidir. Özellikle akustik konforu etkileyen mimari tasarım sorunları iyi çözülmelidir.

Bu tezde, açıklanan hacim akustiği parametreleri ve değerlendirme kriterleri ışığında Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu'nun akustik performansının ortaya koyularak, gelecekte yapılması muhtemel akustik düzenlemeler için yol gösterici nitelikte veriler sunulması amaçlanmaktadır. Örnek çalışmanın seçiminde; yapının ulusal mimarlık tarihimiz açısından önemli bir yere sahip olması ve salonun günümüzde aktif olarak konser işlevi için kullanılması etkili olmuştur.

Tez, hacim akustiğine ve konser salonu tasarımına yönelik bilgileri, öznel ve nesnel hacim akustiği parametrelerinin açıklamalarını, örnekleme ilişkin genel bilgileri ve akustik özelliklerinin değerlendirmelerini kapsamaktadır.

Örnek çalışmanın sunulduğu bölümde öncelikle, salonun mimarisinin genel kriterlere uygunluğu literatürden edinilen bilgiler ışığında incelenmiş, ardından ODEON simülasyon programı ile analizler ve yerinde alan ölçümü yapılarak, salonun akustik performansı ortaya konulmuştur. Sonuç bölümünde ise salonda hesaplanan akustik parametreler yorumlanarak, bu değerlendirmeler ışığında öneriler geliştirilmiştir.

2. HACİM AKUSTİĞİ ve KONSER SALONU TASARIMI

Ses bilimi anlamına gelen akustik; psikoakustik (sesin insanlar üzerindeki psikolojik etkileri), fizyoakustik (sesin insanlar üzerindeki fiziksel etkileri), biyoakustik (medikal diyagnostikte ses dalgalarının kullanımı), gürültü kontrolü ve bu çalışmanın konusu olan mimari akustik gibi birçok kola ayrılmaktadır [1].

Mimari akustik, yapılı çevredeki ses ile ilgilenen bilim dalıdır. Birçok bakımdan, özellikle müzik konusunda kişisel yargılara bağlı olduğundan, bu alanın nesnelliği tartışılabilir da bilimselliği günümüzde kabul görmüştür. Yapılar arasında asil bir yere sahip olan konser salonlarının tasarımı, yapılı çevredeki ses kontrolü ve gürültü ile ilgilenen mimari akustik dalının, kapalı hacimlerde sesin üretilmesini ve yayılmasını inceleyen hacim akustiği bölümünde ele alınmaktadır ve mimari akustikte en önemli çalışma alanlarından biridir [2].

Akustik araştırmalardan diğer tüm yapı tiplerine göre daha fazla yararlanan konser salonu tasarımı, akustikçiler için kapalı toplanma alanları içinde en ilgi çekici konulardandır. Çünkü mimarlık ve müzik sanatının akustik bilimi ile bir araya gelip harmanlandığı, müzisyen ile dinleyicilerin birlikte kullandıkları konser salonları, özel olarak müzik işlevi için tasarlanmaktadır [1,3,4].

Mimari akustiğe konu olan, binalarda ve hacim içerisindeki sesin kontrolü; istenen veya istenmeyen sesin kontrolü anlamına gelmektedir. Çok genel olarak hacim akustiği, kapalı mekanlarda ses kalitesinin yükseltilmesine yönelik düzenlemeleri, yapı akustiği ise ses yalıtımına yönelik yapı ve mekan kabuğunun detaylandırılması ile gürültü kontrolünü kapsamaktadır.

Ses kontrolünün temel kavramsal prosedürlerini anlayabilmek için sesin bazı ölçülebilen fiziksel niteliklerini bilmek gerekir. Sesin doğması, yani başka bir cins enerjinin ses enerjisine dönüşmesi, doğal veya yapay olarak, mekanik ya da fiziksel olaylar sonucu ses titreşimlerinin elde edilmesi demektir. İster havada, ister bir müzik aletinin telinin titreşmesiyle veya bir sert zemin üzerine bir cismin

vurulmasıyla, kısaca esnek ortamdaki bir titreşim sonucu meydana gelen ses dalgaları, ortamın esnekliğine bağlı olarak belli oranda yayılacaktır. Bu ses titreşimlerinin insan kulağında yarattığı etkiler insanın sesi algılaması olarak ifade edilebilir. Sesi, işitme duyumuzla algılarız. Bu algılar öznedir ve kişilerin hoşlanıp hoşlanmamasına açıktır. Bu öznedir, müzik ve gürültü arasındaki farkı tanımladığı gibi, bir ortamdaki iletişimin kalitesini de belirlemektedir [1,2].

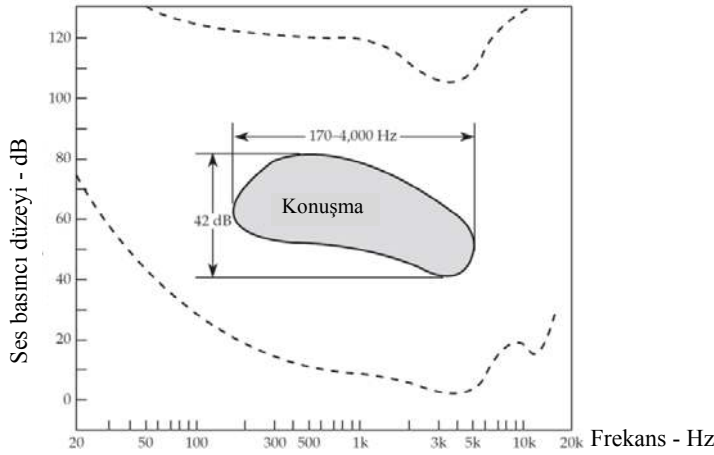
Mimari akustikle ilgili ses kaynakları; insan sesi, müzik aletleri, hoparlörler, makineler gibi çok çeşitlidir ve her birinden çıkan sesin karakteristikleri ve doğrultusal özellikleri diğerdendir farklıdır. İnsan sesinin baskın frekans aralığı, kulağın da en duyarlı olduğu frekans aralığı olan 500 ila 4000 Hz 'dir. İnsanların 20 ila 20.000 Hz arasındaki frekanslarına sahip duyabildiği kabul edilirken, akustik tasarım ve ölçmelerde yaygın olarak 125 ila 4000 Hz frekans aralığı kullanılmaktadır [1,5].

Seslerin kesin olarak sınıflandırılmaları, genellikle içlerinde düzenli ve düzensiz sesleri birlikte bulundurdıklarından zordur [6]. İnsanlar günlük yaşamda en çok konuşma ve müzik seslerini duyar ve gürültüye maruz kalırlar. Bu ses sinyallerinden konuşma; insan iletişimi için anahtar niteliğinde, müzik; gereksinim duyulan ve memnun edici, gürültü ise genellikle konuşma, müzik ve sessizlik için rahatsız edici, karmaşık, istenmeyen seslerdir [7].

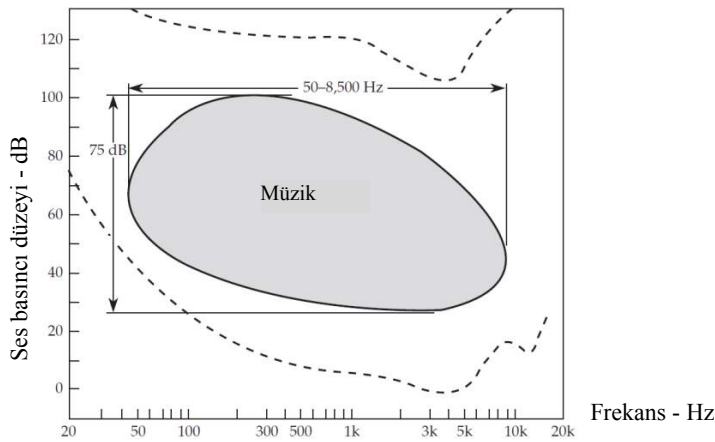
Konuşma, sesli harflerin geniş tonlarıyla, sessizlerin hızlı ve yüksek frekanslı seslerinin karışımıdır. Müzikal sesler, karmaşık yapıları içerisinde, tek sesli bir enstrümanın sesinden, bir senfoni orkestrasının çok karmaşık seslerine kadar geniş bir aralıkta çeşitlilik gösterebilmektedir. Her enstrüman ve her sesin, her nota için farklı tonal dokusu vardır. Sesin dokusu, müzikte, dinleyicilerin kulağına gelen erken ses yansımaları dizisinin sıklığına bağlı olarak öznel izlenimleri etkilemektedir [7, 8].

Konuşma, müzik ve diğerseslerin frekans aralığı ve dinamik aralığı, insan kulağında farklı işitme alanlarında yer almaktadır. Dinamik aralık, mekanda işitilebilen ses düzeyinin yayıldığı alandır. Konuşma, kulağın işitme kapasitesinin Şekil 2.1.(a)'da

gösterildiği gibi sadece küçük bir bölümünü kullanmaktadır ve bu alan işitme aralığının merkezinde yer almaktadır. Çünkü normal bir konuşmada ne aşırı kısık veya yüksek sesler, ne de çok yüksek veya alçak frekanslardaki sesler kullanılmaktadır. Müzik ise, kulağın işitme kapasitesinin Şekil 2.1(b).’de gösterildiği gibi, konuşma alanından daha geniş bir bölümünü kullanmaktadır. Yayıldığı alan da beklendiği gibi hem ses düzeyi hem de frekans için uyumlu bir şekilde, konuşma alanından daha büyüktür. Grafiklerde gösterildiği gibi konuşma ve müziğin işitme aralığındaki yerleri farklıdır ve temsilin türünün mekânın akustik tasarımını temelden etkileyeceği açıkça görülmektedir [7, 8].



Şekil 2.1.(a) Konuşma sesi için kullanılan işitme aralığı [7]



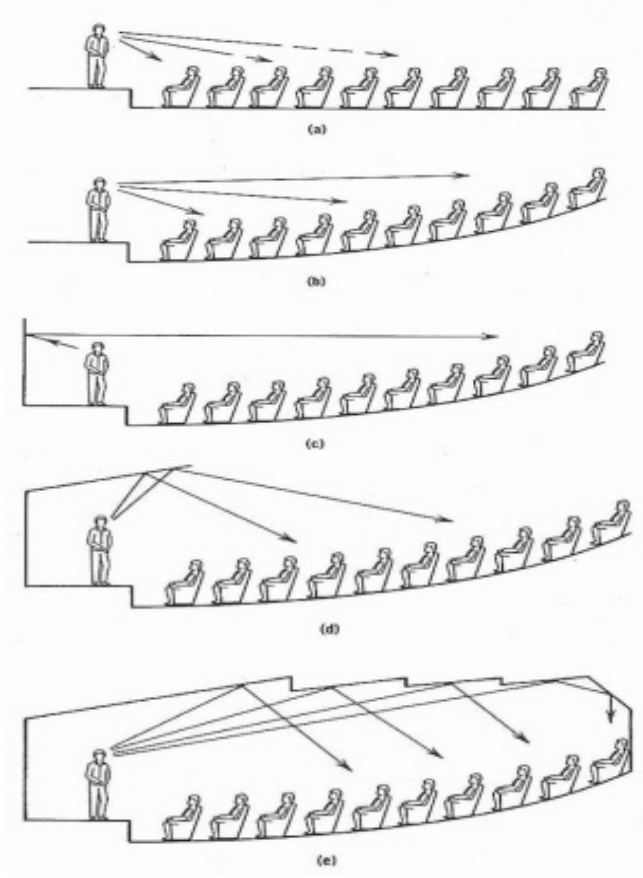
Şekil 2.1.(b) Müzik sesi için kullanılan işitme aralığı [7]

Akustik ortam

Her tür mekanın akustiğini meydana getiren temel etmenler; mekandaki sesin kaynakları, yayıldığı ortam ve alıcılarıdır. Bir kaynaktan çıkan ses dalgalarının, dinleyiciye ulaşana kadar davranışını incelediğimiz ortam, akustik ortamdır. Ses dalgaları boşlukta yayılamaz, iletken bir esnek ortama gerek duyarlar. Ses dalgalarının davranışı, hacmin kapalı veya açık olmasından başlayarak, ortamın, varsa sınırlarının, kaynak ve alıcının tüm özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Konser salonu ile ilgili tasarım birimleri ve teknoloji, müzisyenlerin sanatçılığını süslemek, güzelleştirmek için bilimi kullanarak, dinleyicinin yüksek kalitede sese ulaşmasını sağlamaktadır. Açık hava tiyatrolarından kapalı salonlara geçiş, kaynaktan çıkan sesin etkin kontrolünü sağlamak için, özellikle ortamdaki yayılma yolları üzerinde, akustik tasarımın amacına uygun olmasına ve varsa akustik problemlerin çözümüne yönelik yapılmış çalışmalar ve aşamaları izlenebilir [2, 9].

Açık alanlarda kaynaktan çıkan ses, mesafe her iki katına çıktığında yoğunluğu 6 dB veya %25'i kadar düşerek yayılmaktadır (Şekil 2.2.a). Ses enerjisindeki bu düşüş, dinleyicilerin sesi, direk insanların başlarının üzerinden geçerken yutması sebebiyle belirgin şekilde hissedilebilmektedir. İyi akustiği ile bilinen Roma ve Yunan açık tiyatrolarında, dinleyiciler eğim üzerinde kademeli ve performansa olabildiğince yakın yerleştirilerek, ses mesafesi mümkün olduğunca düşürülerek bu kaybın telafi edilmeye çalışıldığı görülmektedir (Şekil 2.2.b). Bu iki ölçüt, açık tiyatrolarda akustik açıdan başarı sağlamıştır. Bir diğer önemli katkı faktörü de, dinleyicilerin sessiz yerde konumlanmış olmasıdır. Ayrıca Roma tiyatrolarında, yansıyan sesin dinleyicilere en kısa (30ms' den az) sürede ulaştırma amacıyla yapılmış sahne arkası duvarı da görülmektedir (Şekil 2.2b-c). Bu ses yansıtıcı sahne arkası duvarlar, hacim akustiğinin gelişiminin ilk basamağı olarak düşünülebilir. Ardından gelen kapalı hacimlerde, kabuk yüzeylerin dinleyiciyi kuşatabilmek için, yansıyan ses enerjisiyle ilave güçlendirme sağlamak için uzatılışı ve kapalı mekana geçilişi görülmektedir (Bkz: Şekil 2.2) [2].



Şekil 2.2. Açık mekandan kapalı mekana geçiş adımları [2]

Açık mekanlarda, ses yansımaları olmadığı için dinleyicilere yalnızca orkestradan gelen dolaysız ses ulaşmakta ve ses uzak, kalitesiz algılanmaktadır. Müzik kapalı mekana taşındığında, dinleyiciler hacmin akustiğine dahil olmakta ve sesle kuşatılmaları sağlanmaktadır. Hacmin sınırlarından gelen yansımalar, sesi kuvvetlendirerek ve diğer yansıma karakteristiklerini de ekleyerek sese reverberasyon katmaktadır. Konser salonu akustiğinin, özellikle klasik müzik performansında algılanan sese katkı sağladığı, kısaca kapalı konser salonlarının müzik sesini daha da güzelleştirdiği kabul görmüş bir gerçektir [9].

Akustik konfor

Akustik konfor, genel çerçevede iki farklı işlev üzerinden tanımlanabilir. Bu ayrımın sebebi asıl işlevi konuşma olan salonlarda konuşmanın anlaşılabilirliğinin, müzik olan salonlarda ise müziğin güzelleştirilmesinin hedeflenmesidir [1,7].

Performans alanlarında akustik kalitenin, konuşma amaçlı olanlarda, söylenen kelimelerin ne kadar anlaşıldığı ölçülerek kolayca yorumlanabilmesine rağmen, müzik işlevli salonlarda işitsel konforun değerlendirilmesi, iyi bir deneyim, karşılaştırma için elverişli durumlar ve eleştirel bir kulak gerektirdiğinden daha karmaşıktır [10].

İşleve uygun akustik konfor, yüksek dinleyici memnuniyetinin sağlandığı dinleme koşulları ile tanımlanmaktadır. Temelde konuşma ve müzik işlevine yönelik tasarımlar için ortak olan, her dinleyiciye yeterli düzeyde sesin ulaşması, salon içinde seslerin düzgün dağılması, doğal ve eşit derecede işitme ve algılamının sağlanması ve olumsuz akustik olayların önlenmesi gibi genel ölçütleri vardır [11]. Bununla birlikte akustik konfora engel olan arka plan gürültüsünün etkin kontrolü, tüm dinleyici salonları için sağlanması gereken önemli bir diğer parametredir [3].

Konuşma amaçlı iyi bir salon, yüksek anlaşılabilirlik oranı sağlamalıdır. Kaynaktan çıkan sesin düzeyi yeterince yüksek ve bütüncül olmalıdır. Arka plan gürültüsü dinleyici ortamına karışmayacak, kullanıma uygun olacak kadar düşük olmalı ve yüksek sinyal/gürültü oranı sağlanmalıdır. Yankı, vurgusal yankı, odaklanma ve rezonans gibi akustik kusurlara karşı uzun gecikmiş yansımaların önlenmesi, bunun için de orada yüksek direkt ses alanı sağlanması gereklidir. Ses güçlendirilmesi yapılmamış yerlerde kaynak ile alıcı arasındaki mesafe kontrol edilmelidir. Bununla beraber, salonda reverberasyonun düşük olması ve bu konforu ifade eden diğer nesnel ve öznel akustik parametrelerin konuşma işlevine uygun aralıklarda olması gereklidir [3].

İyi bir konser salonu ise güçlü reverberasyon, salonda icra edilebilecek farklı müzik türlerine uygun reverberasyon süresi ve karakteristiği, bas seslerin ve saçılmanın yeterli düzeyde olması gibi özellikleri ile dinleyicileri kuşatan, güçlü, canlı ve doygun, güzel bir müzik ile dinleyici memnuniyeti sağlamalıdır. Konser salonlarında akustik konforun değerlendirilmesinde kullanılan parametrelere ve optimum değerlerine gelecek bölümlerde detaylı olarak yer verilecektir.

Kapalı ortamda sesin yayılması ve sönümlenmesi

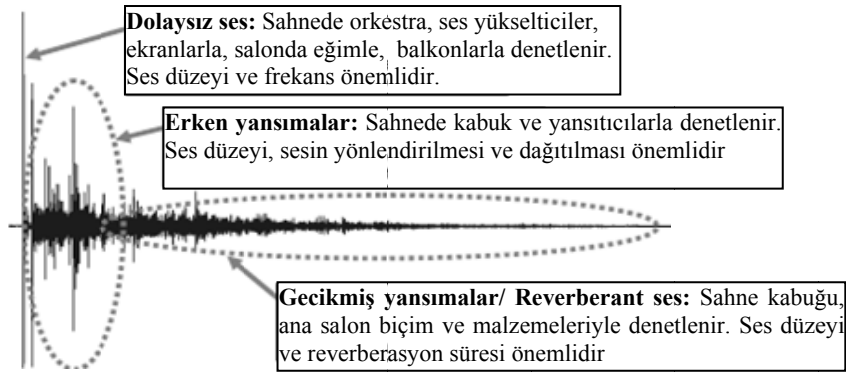
Akustik konforun sağlanması için akustik ortamın ve ortamdaki sesin kontrolü, sesin davranışındaki temel prensiplerin ve nasıl üretilip yayıldığıнын anlaşılmasına dayanmaktadır [2].

Akustik konforun değerlendirilmesinde kullanılan parametreler, hacim içerisinde oluşan ses olayları, sesin dinleyiciye ulaşma şekli, süresi ve bunların birbirlerine oranları ile yakından ilişkilidir. Dolayısıyla bu parametreleri incelemekten önce, hacimdeki ses bileşenleri ve olaylarına yönelik analizlere yer verilecek, seslerin ortamda yayılışı ve dinleyici üzerindeki etkileri açıklanacaktır.

Ses dalgaları akustik ortamda, yansıma, kırılma, dağılma ve saçılma olmak üzere dört temel kategoride yönünü değiştirerek yayılmaktadır. Bu olaylar, ses dalgasının yayıldığı ortamda değişiklikler meydana geldiğinde olur ve fiziksel prensipleri optik alanında ışığın davranışı ile aynıdır [1].

Kapalı hacimlerde akustik davranışı incelemenin esas yöntemi, uyarı yanıtı ölçümlerinden geçmektedir. Mevcut bir salonda akustik parametrelerin doğrudan ölçülmesi mümkün iken, salon inşa edilmeden önce, akustiğine ilişkin bir tahmin yürütebilmek için bu grafiklerden ve çeşitli formüllerden faydalanılmaktadır.

Uyarı yanıtı (impulse response); akustik ortam veya bir sistemin ani bir uyarıya (silah patlaması, davula vurmak, el çırpma gibi) nasıl cevap vereceğini göstermekte ve ani bir ses doğduğunda belli bir noktaya gelen tüm ses yansımaları ile ilgili genel bir özet vermektedir. Uyarı yanıtında, dolaysız ses, ardından tüm yüzeylerden gelen yansımalar ve hacmin mimari özelliklerine göre değişen ses kalitesi ile ses düzeyi ortaya çıkmaktadır (Bkz: Şekil 2.3). Bu sebeple, bir salonun mimari kararları alınırken veya mevcut bir salonun düzenlenmesinde de uyarı yanıtı eğrisi kullanılmaktadır [12].

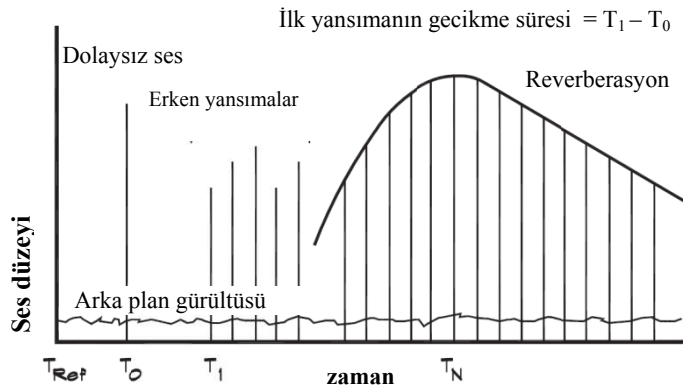


Şekil 2.3. Sahnedeki örnek uyarı yanıt grafiği ve ses bileşenleri [12]

Belirli bir kaynaktan belirli bir dinleyiciye giden sesi açıklayan uyarı yanıtı, sesin aldığı toplam yola bağlı olarak her koltukta değişiklik göstermektedir. Bu sebeple, farklı kaynak ve alıcı noktalarında yansıtıcı yüzeylere olan mesafe, böylece her noktadaki uyarı yanıtı da farklıdır [12].

Hacim içerisindeki sesin bileşenlerine ayrılması

Akustik tasarım ve değerlendirmelerde, ortamdaki sesin belirli bir takım bileşenlere ayrılması kavramı önemlidir. Bu aşama temelde, uyarı yanıtı eğrisinde ortaya çıkan sesin sınıflandırılması fikrine dayanmaktadır: *Dolaysız ses*, *erken yansımalar*, *gecikmiş yansımaların oluşturduğu reverberant sesler* ve *arka plan gürültüsü* (Bkz: Şekil 2.4, 2.5) [2].



Şekil 2.4. Bir hacmin uyarıya karşı ideal akustik yanıtı ve ses bileşenlerinin grafik gösterimi [3]

Dolaysız ses

- Kaynaktan çıkarak yansıtıcı yüzeylere çarpmadan, alıcı pozisyonuna ilk ulaşan ses dalgasıdır.
- Dinleyicinin ilk duyduğu, bir hacim içerisinde dinleyici açısından en önemli sestir ve kaynak-dinleyici arasındaki en kısa yolu tarif etmektedir.
- Genellikle geometrik genişlik ve uzaklıkla bağlantılı olarak, ses kaynağından uzaklaştıkça (mesafe her iki katına çıktığında 6 dB veya %25'i kadar) düşmektedir.
- İnsan duyusu çoğunlukla yön belirlemek, sesi tanımak ve kaynağının ne olduğunu anlamak için dolaysız sesi kullanmaktadır, dinleyiciler açısından sesin doğduğu doğrultu üzerinde olmak önemli bir avantajdır.
- Sesin algılanan yüksekliği (loudness), berraklık (clarity) ve varlık (presence) gibi öznel akustik parametrelerin sağlanmasında etkilidir [2, 7, 12].

Erken yansımalar

- Dolaysız ses ile birlikte, dinleyicilerin kulağına dolaysız sesin ulaşmasından sonraki ilk 80 ms (müzik için) içinde ulaşan yansımaları kapsamaktadır ($1\text{ms}=1/1000\text{sn}$).
- Kulakta dolaysız ses ile birleştirildiği ve kaynaktan geliyormuş gibi algılandığı için dolaysız sesin ve ses kaynağının algılanan yüksekliğini iyileştirmekte, ifadesini güçlendirmektedir.
- Genellikle sahneden ve sahne yakınından yansıyan sesler olduğundan, sahnedeki yansıtıcı yüzeyler, erken yansımalar elde edilmesinde etkilidir (Bkz: Şekil 2.5).
- Dolaysız sestten 40 ms veya daha kısa süre içinde ulaşırsa akustik yakınlık (intimacy) duygusuna, dinleyicinin başına yanlardan gelenler de ayrıca kuşatılma ve kaynağın algılanan genişliği hislerine katkı sağlamaktadır.
- Bu yansımaların dolaysız sesle kombinasyonu, büyük hacimlerin her yerinde bulunan tüm koltuklarda benzer ses seviyesini mümkün kılarken iki ayrı sesin

duyulması durumunda yankıya sebep olduğu için olumsuz etkisi de olabilmektedir.

- Doğru ve berrak seslendirilen salon, her biri dolaysız sinyalin ilk çarpmasının ardından ilk 140sn içinde ulaşan 30 kadar ayrı erken yansıma ile desteklenmektedir. Bunların bazıları zayıf, bazıları kuvvetli olacaktır, ancak tüm erken yansımaların toplanmış enerjileri, iyi bir ses güçlendirmesi için 60 dB, nitelikli bir müzik için ise 80 dB aralığında olmalıdır [2, 8, 12].

Gecikmiş yansımalar (Reverberant sesler)

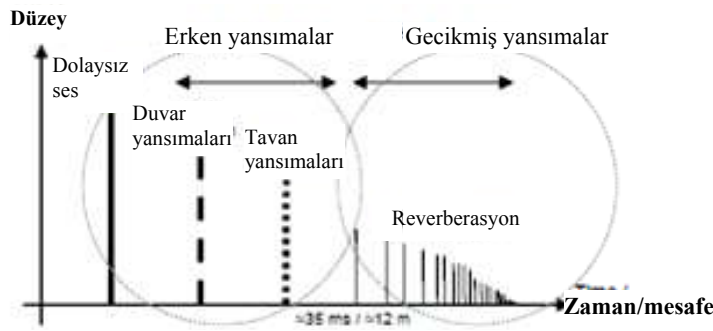
- 80 ms'nin ardından ulaşan tüm yansımaları kapsayan seslerdir.
- Salondan gelen tüm yansımaların karışımıdır, sese canlılık katmakta ve salonun genel akustik etkisini vermektedir.
- Bir salon ölü veya canlı olarak ifade edilmesi, daha çok reverberant sesin düzeyine ve salonun reverberasyon süresine bağlıdır [8, 12]

Arka plan gürültüsü

- Mekanda mevcut olan, insanlar, mekanik sistemler, trafik gibi dış gürültü kaynakları ile veya maksatlı olarak gizlilik için yapılan elektronik maskeleme gürültüsü vb. kaynaklı sestir.
- Konuşma salonlarında uzun gecikmiş yansımalar ve sürekli reverberasyon ile beraber, anlaşılabilirliği düşürmekte, müzik işlevli salonlarda ise dışarıdan ve mekanik sistemlerden gelen gürültü, akustik konforu bozmaktadır.
- Mekan içerisinde kullanıma uygun ortamın sağlanmasında, arka plan gürültü düzeyinin ölçülmesi ve gerekli önlemler alınarak etkin kontrolün yapılması son derece önemlidir [3].

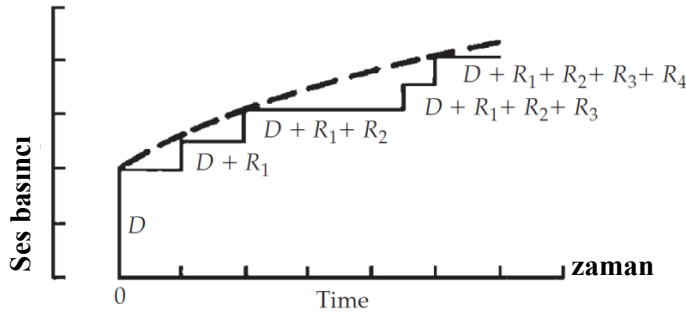


Resim 2.1. Konser salonu sahnesinde ses yansımalarının şematik gösterimi



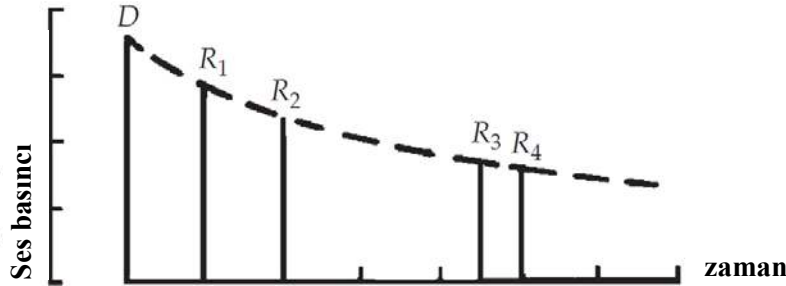
Şekil 2.5. Konser salonu sahnesinde dolaysız ses, erken ve gecikmiş yansımalar çözümlemesi örneği [12]

Bir mekanda ses doğduğunda, hacim, ses enerjisini kararlı duruma gelene kadar kontrol altına alacaktır. Kaynak (S) aniden uyarıldığında, ses dolaysız yolları izleyerek alıcıya (L) doğru gider ve bunun için geçen sürenin sıfır olduğunu kabul ederiz, bu an aynı zamanda dolaysız sesin, alıcının kulağına ulaştığı andır ($t=0$). Ses hacim içerisinde yükselerek yayılırken, alıcı noktasına ulaşan ses bileşenlerini ve buradaki ses basıncını grafiklerden analiz edebiliriz (Şekil 2.6). S kaynağından çıkan ses D düzeyine ulaşacak ve küresel sapma ve havadaki küçük kayıplardan dolayı aniden düşecektir. R1 yansıması gelene kadar bu değerde kalan ses düzeyi, yansıma geldiğinde $D+R1$ değerini alacak, kısa süre içinde gelen R2 ile bir miktar daha ve bu gibi her yansıyan bileşen ile adım adım artacaktır. Dolaysız sestten sonra alıcıya ilk ulaşan sesler (R1) sadece bir yüzeye çarpıp gelen sesleri ifade eden, erken (birincil) yansımalarıdır. Bunu takip eden, salonun büyüklüğü ile orantılı gecikmiş yansımalar (R2, R3,...Rn) bir süre sonra sönümlenerek anlaşılamaz hale gelecektir [7, 12].



Şekil 2.6. Hacim içerisindeki ses basıncı değişimi adımları [7]

L alıcı noktasındaki ses basıncındaki artışın kademeli olmasının sebebi, yansıyan bileşenlerin dolaysız sese ardı ardına, farklı uzunlukta yolları kat ederek katılmasıdır. Söz konusu yansıyan bileşenler, dolaysız ve dolaylı yol arasındaki mesafeyle orantılı olarak gecikecektir. Bazı dalgalar, kaynak ile alıcı arasındaki yolda 2,3,4, ve daha fazla sayıda yüzeye çarpacak, düzende ses yansımalarının sayısının artışına göre alıcıya ulaşan ses de artacaktır ve bir süre sonra tüm yansımalar salonda *reverberant ses* olarak birbirine karışacaktır. İdeal olan durum, reverberant ses alanının tüm yönlerde eşit oluşmasıdır ve bu, *dağınık ses alanı* olarak adlandırılmaktadır [12].

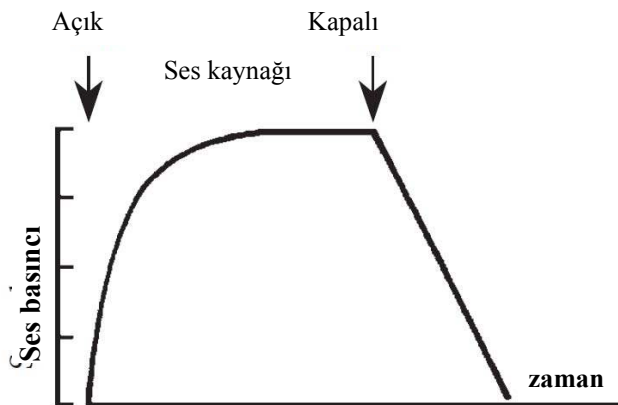


Şekil 2.7. Hacimde dengede olan sesin, kaynak kapatıldıktan sonra sönümlenişi [7]

Konuşma ve müzik sesi pratikte, genelde kısa süreli ve değişken tayflı olduğundan, bir ses işitme sınırının altına inmeden diğer bir ses oluşmaktadır. Yani gerçek bir hacimde, durağan bir sesin oluşturduğu dağınık ses alanının oluşmasına nadir rastlanmaktadır. Sesin hacim içerisinde yayılışı nispeten yavaş olsa da pratikte, dinleyici tarafından kısa bir an olarak algılanacak kadar hızlıdır. Buna kıyasla ses sönümlenmesi ise çok yavaştır ve genellikle dinleyici tarafından reverberasyon olarak daha fazla fark edilmektedir. Bu sebeple, pratik salon akustiği tasarımı, sesin sönümlenme karakteristiği daha fazla dikkate alınmaktadır (Şekil 2.7.) [2, 3, 7].

Hacimde meydana gelen ses yansımaları, ses kaynağı kesildiği sırada kendi rotasında ilerlemekte ve dinleyicilerin (L) başlarından geçerken enerji kaybetmektedir. Sonra bu yansımalar diğer yüzeylere tekrar tekrar çarpacak ve her yansımada enerji kaybederek sönmüş sayılacak kadar zayıflayacaktır [7].

Hacimdeki sesin nihai düzeyi, öncelikle kaynaktan gelen enerjiye bağlıdır. Kaynağın yaydığı enerji, havada olan küçük kaybın yanında, diğer sınır yüzeylerde ısı olarak harcanacaktır. Ses basınç düzeyi denge durumunda, kaynaktaki sabit girdi ile orantılıdır ve değişir ise hacmin ses basınç düzeyinde yeni bir denge oluşacaktır. Ses kaynağının kapatılmasının ardından ise hacim kısa bir süre için hala ses ile dolu olacaktır ancak kayıplar S' den gelen enerjiyle dengelenmeyeceği için bu kararlılık bozulacaktır. Sesin hacim içindeki sönümlenmesi de aynı şekilde adım adım gerçekleşen bir olaydır. Şekil 2.8, sesin hacim içinde ideal artış ve sönümlenmesini göstermektedir, burada ses basıncı düzeyi (SPL), logaritmik ölçek olan dB cinsinden verilmiştir. Sesin hacimdeki yayılışı sırasında, yansıyan enerji ses kaynağına eklenirken sönümlenme sırasında kaynağın gücü kesilmiş olacaktır. Bu sebeple artış ve sönümlenme eğrilerinin şekilleri birbirinden farklıdır. Şekil 2.8'deki sönümlenme eğrisi ideal formda düz çizgidir ve bu, kapalı mekanlarda reverberasyon süresi ölçümü için baz alınan grafikdir [7].



Şekil 2.8. Sesin hacimde artış ve sönümlenmesi [7]

Uyarı yanıtı eğrisindeki zamansal bölgeler ($t_0 - t_E - t_R$), salondaki *serbest ve reverberant ses alanını* tanımlamaktadır. Kapalı bir hacimdeki ses alanı, dolaysız

sesin olduğu serbest ses alanı ile yansıyan seslerin geldiği erken ve reverberant ses alanının toplamından oluşmaktadır [13]. Pratikte bu ayrımlar çok belirgin değildir. Örneğin erken yansımalar ve reverberasyon birleşmiş olabilir, gecikmiş yansımalar var ise reverberant sönümlenme boyunca gelebilir ve bazen tekil yansımalar, odaklanma veya parlama durumu olduğunda, dolaysız sestten daha yüksek algılanabilir. Böylece reverberant ses alanı, alıcıya kaynaktan daha yakınsa, dolaysız sestten daha yüksek algılanabilmektedir [3].

Reverberant ses alanı, konser salonlarında 2sn veya daha uzun sürebilir. Bunun da reverberant alanın özelliklerine bağlı olarak birçok öznel yargıda olumlu etkisi olacaktır [2]. Hacimdeki ses alanlarının dağılımı ve reverberasyon karakteristiği, öncelikle kullanım amacına uygun olmalıdır. Reverberasyon, konuşma salonları için olumsuz bir terim olarak kullanılırken, konser salonlarının akustik konforunun sağlanmasında önemli bir parametredir. Reverberasyon, müzisyen ve şefin kullanacağı müzikal bir etkidir. Çünkü reverberant ses, onlar çalarken yeni notalar arasında mekânı doldurmakta, müzisyenlerin istek ve ihtiyaçlarına göre isterse kullanıp hakim olacakları biçimde sese doygunluk sağlamaktadır [8].

Serbest ses alanı

- Açık mekanlarda sesin yayıldığı tüm ortamı, kapalı mekanlarda ise kaynağa yakın, dolaysız sesin yayıldığı alanı ifade etmektedir.
- Ses dalgaları henüz hiçbir yansıtıcı yüzey ile karşılaşmadığında meydana gelen serbest ses alanı koşullarında, noktasal kaynaktan çıkan ses enerjisi, küresel dalgalar halinde yayılarak kaynaktan her iki kat mesafe uzaklaştığında 6 dB düşerek yayılmaktadır.
- Boyutları ve içerisindeki ses seviyesinin hesabı, kaynağın büyüklüğü ve ses yayma karakteristiği ile ilgili ayrıntılı bilgi gerektirmektedir [2, 13].

Reverberant ses alanı

- Kapalı hacimlerde, hacmin yüzeylerinden yansıyan seslerin oluşturduğu reverberasyon sebebiyle oluşan ses alanıdır.
- Dinleyicinin kulağına ulaşmadan önce birçok yüzeyden yansıyan ses dalgalarını içermektedir. Yansımalar hacimde uzun mesafe kat eder, dolaysız ses ve erken yansılardan uzaklaştıkça azalır.
- Kapalı mekânlarda reverberant alandaki ses enerjisinin oluşumu, kaynağa olan mesafeden kısmen etkilenirken, hacim içindeki ses yutuculuğu ile ters orantılı olarak belirgin şekilde değişmektedir [13, 15].

Reverberasyon, kapalı mekanlardaki sese özel bir durumdur, serbest ses alanında reverberasyon yoktur. Kapalı mekan akustiğinin temelini oluşturan reverberasyon olgusu, sabit bir ses kaynağı açıldığında, hacim içerisinde sesin hızla, hacimde ortaya çıkan akustik enerji oranı ile yutulanın oranının eşit olduğu kararlı bir düzeye ulaşmaya kadar yükselmesiyle açıklanmaktadır [8]. Bir salonda koltuklar ve dinleyiciler kaldırılır, havanın yutuculuğu göz ardı edilir (fiziksel olarak imkansızdır) ve zemin dahil tüm iç yüzeyler tam yansıtıcı yapılır ise (fiziksel olarak imkansızdır) salonda bir kerelik başlatılan bir ses sonsuza kadar devam edecektir. Pratikte, sesin sönümlenmesine sebep olan hacimdeki toplam yutuculuk etkisi, kaynak kapatıldığında ses düzeyini gitgide azaltacaktır. İç yüzeylerin yutuculuğunun artması sönümlenme oranını yükselteceğinden, ses daha hızlı kaybolacaktır [2, 5].

Mimari akustik dünyasında binalarda sesin davranışını anlamayı sağlayan, üstün bir ilerleme dönemini başlatan reverberasyon eşitliği 1898 yılında, Sabine tarafından geliştirildiğinden 20. yy, Sabine asrı olarak kabul görmüştür. Yüzyılın ilk yarısında, reverberasyon ve gürültü kontrolü türlerinde önemli ilerlemeler meydana gelirken, ikinci yarısına kadar akustik kalitenin değerlendirildiği dinleyici salonlarının tasarımında sanatsal veya bilimsel olarak büyük adımlar atılmamış, ancak mevcut algılama ve dinleme düzeyinin ifade edilişinde önemli mertebe kaydedilmiştir.

Beranek'in bu yüzyılın son yarısında yaptığı değerlendirmeler, tanımlamalar ve öne sürdüğü yeni parametreler ile akustik tasarıma yönelik katkıları dikkate değerdir [2].

2.1. Hacim Akustiği Parametreleri

Konser salonu tasarımında, dinleyici ve müzisyenlerin, işitsel ve görsel algıları etki altına alınarak sanatın en iyi şekilde sunulması hedeflenmektedir. Bu bağlamda müzisyen ve dinleyicilerin beklediği iyi akustiğin ne olduğu ve bir konser salonunu neyin bir diğerinden daha iyi yaptığı sorusu ile sıkça karşılaşmaktadır. İyi ve kötü salonlar, genel tasarım ve akustik kaliteleri bazında birbirinden, bilinen hacim akustiği parametrelerini karşılayıp karşılamamasına göre ayrılmaktadır. Ayrıca mimari tasarım da, sesin ortamdaki davranışını etkilemesinin yanında malzeme ve renklerden iletilen sıcak bir görünüm sayesinde gözün algılamayacağı eksiklikleri bastırabildiğinden, işitsel ve görsel algı üzerinde etkilidir ve akustik performans değerlendirmelerinde dikkate alınmaktadır [1].

Konser salonları için akustik konfor tanımlanırken, salonun akustik koşullarının dinleyiciler üzerinde bıraktığı izlenimleri ifade etmede kullanılan öznel parametreler ve bunları bunu ifade eden nesnel ve mimari parametreler kullanılmaktadır. İlk zamanlar sesin kapalı mekanlarda sürekliliği olarak reverberasyonun açıklanmasıyla bulunan reverberasyon süresi, akustik değerlendirmelerde en önemli parametre olarak kullanılsa da, ilerleyen yıllarda salonları tasarlamak ve analiz etmek için buna yeni tanımlar eklenmiştir [16].

Bu bölümde, bir salonun akustik konfor düzeyini saptamakta kullanılan, hacmin fiziki koşullarına bağlı olan parametreler incelenecek ve konser salonları için optimum değerleri belirtilecektir.

2.1.1. Reverberasyon süresi (RT), erken sönümlenme süresi (EDT) ve canlılık

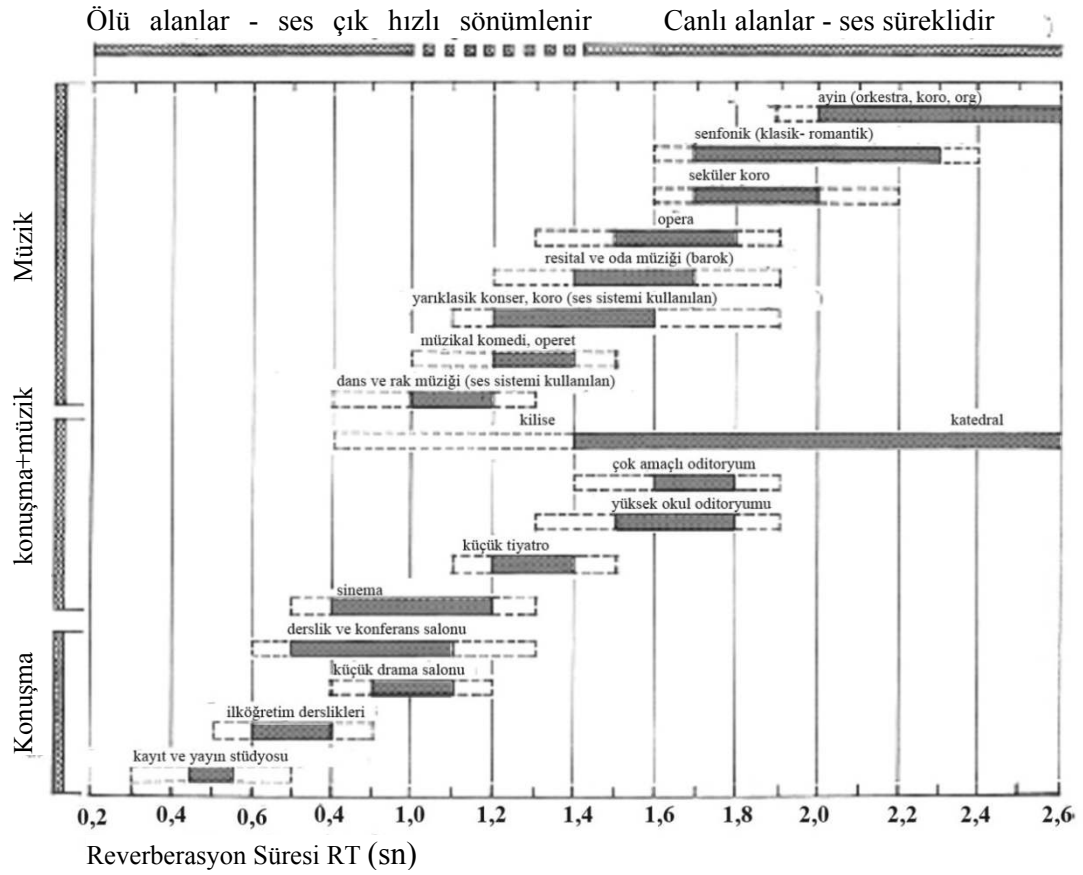
Kapalı hacimlerde, ses kaynağının kapatılmasının ardından, sesin varlığının ardışık yansımalarla devam etmesi reverberasyon, hacim içerisindeki ses seviyesinin 60 dB

düşmesi için gerekli olan, mekandaki sesin duyulmaz hale gelmesine kadar geçen süre reverberasyon süresi olarak tanımlanmaktadır. Sesin frekansına, ortamın hacmine ve yutuculuğuna bağlı olan reverberasyon süresi, hacmin akustik performansının saptanmasında en belirgin parametredir ve aşağıda verilen Sabine formülü ile hesaplanmaktadır [2, 5].

$$\begin{aligned}
 RT &= 0,161 \, V/A \\
 V &= \text{Salonun toplam hacmi (m}^3\text{)} \\
 A &= \text{Salondaki toplam yutuculuk} \\
 &= (S_1 a_1 + S_2 a_2 + S_3 a_3 \dots) \\
 S &= \text{Yüzey alanı (m}^2\text{)} \\
 a &= \text{Yüzeyin yutuculuk katsayısı}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

20. yy’ da Sabine tarafından hacimlerde reverberasyon süresinin hesaplanmasına yönelik formül geliştirilmesi, mimari akustiğin bir bilim olarak görülmesini sağlamıştır. Uzun yıllar, konser-opera salonu, tiyatro ve ibadet yerleri tasarımında, yankı, odaklanma ve gürültü gibi olumsuz durumların giderilmesi ile birlikte, temel tasarım parametresi olarak kabul edilen RT için uygun değerleri sağlamak ilk hedef olarak görülmüştür.

Reverberasyon süresinin uygun değerleri öncelikle hacmin işlevi esas alınarak saptanmaktadır. Çok uzun RT konuşmayı daha az anlaşılır, müziği ahenksiz kılmakta ve yüksek arka plan gürültüsüne sebep olmaktadır. Kısa RT ise arka plan gürültüsünü bastırır da konuşmayı boğmakta ve müzik sesini zayıf, kesik kılmaktadır [17].



Şekil 2.9. Çeşitli aktiviteler için önerilen optimum reverberasyon süreleri [13]

Havanın yutuculuğunun toplam etkisiyle, duyulabilen ses enerjisinde sınırlı bir uzama veren reverberasyon, öncelikle salonun boyutları, hacmi ve içerdiği akustik yutuculuk tarafından kontrol edilmektedir, daha küçük salonlarda ise salonun şekline de bağlıdır. Tüm bu faktörler ve sonuçta RT de frekansa bağlı olarak değişmektedir. Çünkü kulak, orta ve yüksek frekanslara daha fazla duyarlıdır, 63-125 Hz arasındaki RT, 500-1000 Hz' dekinden 1,5 kat daha uzun olmalıdır. 2000-4000 Hz arası, 500-1000 arası ile aynı olmalıdır, ancak bunu elde etmek zordur çünkü havanın normal şartlarda çok etkili olmayan yutuculuk etkisi, frekans ve hacmin boyutu yükseldikçe artar ve halı gibi bazı yaygın malzemeler de yüksek frekanslarda en yüksek yutuculuklarına ulaşırlar [2].

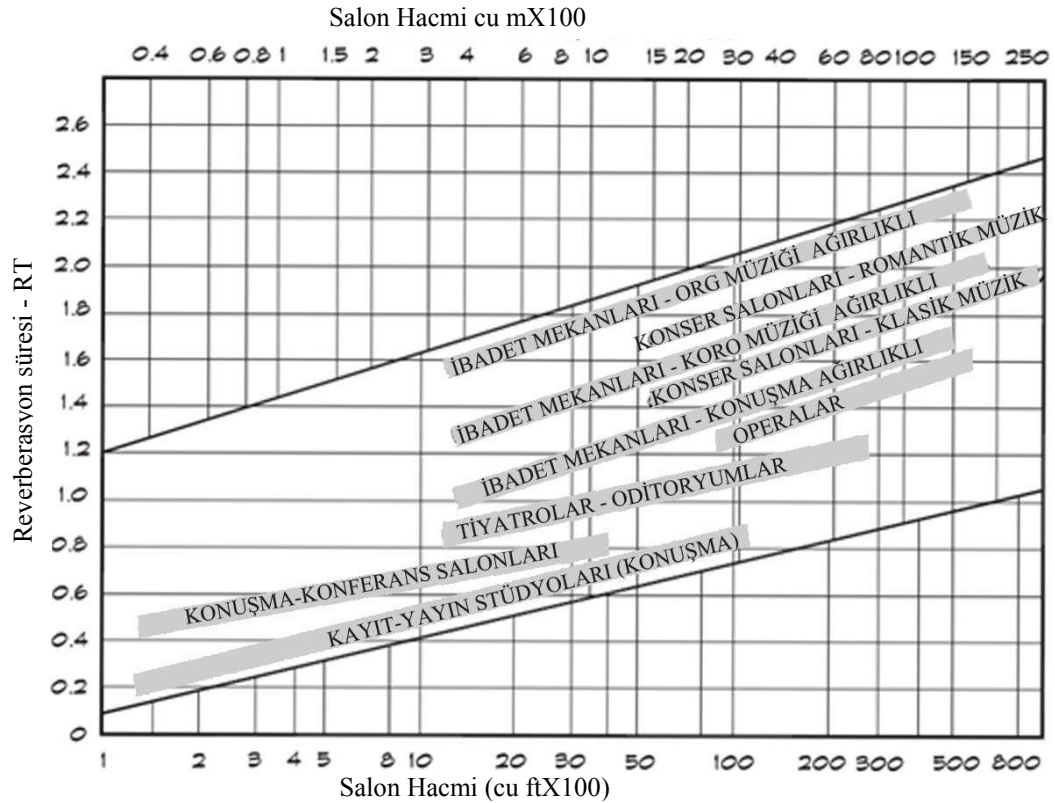
Bir salon için tek bir referans RT değeri veriliyor ise, bu referans değer 500 veya 1000 Hz için veya ikisinin ortalaması içindir. Konser salonlarında optimum RT 1.5-2.2 sn aralığında değişmektedir. Tercih edilen değerler 1.8 ile 2.0 sn arasındadır. Net

seçimler müzik türüne ve mekanın hacmine bağlı olarak değişmektedir. Barok müzik en az süreye ihtiyaç duyarken (1.5-1.7 sn), klasik orta (1.6-1.9 sn) ve romantik en uzun (1.8-2.2 sn) aralıktadır. Uzun RT elde etmek için, konser salonlarının tavanının yüksek ve saçıcı olması tercih edilmektedir. Yan duvarlar, yansıyan enerjiyi saçmaya yardımcı olacak saçıcı panellerle veya sütunlarla, heykellerle vb. dışbükey bezemelerle donatılmış olmalıdır [3].

Çizelge 2.1. Farklı kullanımlar için frekanslara göre optimum RT değerleri [18,19]

F (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Sinema	1,00	0,83	0,76	0,71	0,64	0,57
Konferans	1,30	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
Müzik	1,70	1,50	1,40	1,30	1,20	1,00

Konser salonlarında akustik etki, görsel etki ile tutarlı olmalıdır. Büyük konser salonları ve katedraller gibi hacimler, konuşma için kullanılan bir sınıf gibi küçük mekanlara nazaran daha uzun RT' ye sahip olmalıdır [2, 13].



şekil 2.10. Salon hacmine göre, işleve uygun reverberasyon süreleri [3]

Müzik mekanlarının çok boyutlu akustik karakterleri büyük ölçüde icra edilen müziğin türü ile ilişkilidir. Aşağıda, farklı müzik türlerine göre önerilen uygun reverberasyon süreleri verilmektedir.

Çizelge 2.2. Salonun dolu olduğu durumda farklı müzik türlerine göre önerilen reverberasyon süreleri (sn) [18]

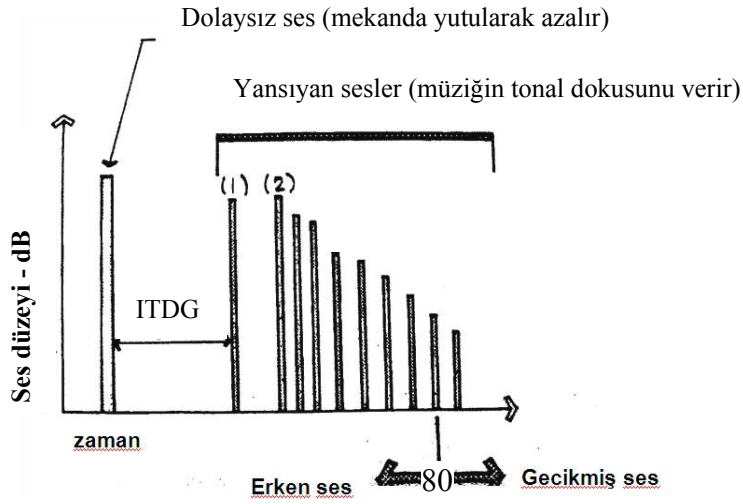
Org Müziği	>2,5
Romantik klasik müzik	1,8 - 2,2
Erken dönem klasik müzik	1,6 – 1,8
Opera	1,3- 1,8
Oda müziği	1,4- 1,7
Drama Tiyatro	0,7-1,0

Salonların reverberasyon karakteristiği birçok öznel parametreyi de etkilemektedir. Belli bir dinleyici noktasında algılanan reverberans, sesin canlılığı (liveness) ve sesin doygunluğu (fullness of tone) parametreleri, reverberasyon süresindeki ses düşüşlerine bağlıdır. *Sesin canlılığı*, daha çok müzik salonlarının akustiğinin analizinde kullanılan aralık olan 350 – 1400 Hz arasındaki frekanslardaki reverberasyon süresinin ortalaması olan RT_{mid} üzerinden değerlendirilen öznel parametredir [8]. Akustik açıdan canlı salonlarda RT değeri uzundur ve kısa reverberasyon süresine sahip salonlar *ölü-kuru* olarak tanımlanmaktadır. Gecikmiş reverberant enerji, sesin canlılık ve doygunluğunu artırırken, berraklık ve netliğini ise azaltmaktadır.

Reverberant sesler birden çok yönden geliyorsa ve dinleyen kişinin iki kulağında da tam eşit değilse bu hacimdeki *akustik genişlik* hissini de artıracaktır. Reverberant ses alanının güçlü düşük frekans veya bas bileşenleri var ise, hacimdeki *sıcaklık* hissini artıracaktır. Eğer güçlü yüksek frekans veya soprano- üçlü bileşenleri var ise, *sesin parlaklığı* algısına katkı sağlayacaktır [2].

Reverberasyon süresinin etkili olduğu bir diğer öznel parametre olan *seslerin doygunluğu*, salonda ardı ardına gelen notaların ve seslerin karışım etkisini sağlayan parametredir.

İnsan kulağı reverberasyona karşı oldukça hassastır ve sönümlenmenin karakteristiğini detaylı şekilde algılamaktadır. Hacim içerisindeki reverberant sesin sönümlenmesinin incelendiği *reverberant sesin düşme eğrisi*, akustikçilerin çalışmaları için bir anahtar niteliğindedir ve *erken reverberasyon ile gecikmiş reverberasyon* (early and late reverberation) evresi olarak iki kısımda ele alınmaktadır.



Şekil 2.11. Reverberant sesin düşme eğrisi [13]

Erken reverberasyon, gecikmiş reverberasyona göre daha çok erken yansıma içeren, dolaysız ses ile birleşerek onu güçlendiren yansılardan oluşmaktadır. Bu yansımalar salonun geometrisinden ve sahne özelliklerinden etkilenmektedir. *Gecikmiş reverberasyon* genellikle ardından gelen müzik notaları ile maskelenmektedir ve müzik çalındığında, başarılı notalar arasında ses sönümlenme sürecinin ilk kısımları işitilebilir düzeyde kalmaktadır. Dinleyiciler için de sessel olayların algılama süresi içindeki biçimlenişi daha önemli olduğundan, reverberasyonun öznel etkilerinin akustik tasarım ve değerlendirmelerde kullanılmasında, sesin gelişmesi ve sönümlenmesindeki bu başlangıç evrelerinin, yani erken düşme süresi (EDT)'nin reverberasyon süresi (RT)'ye göre daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır [7, 8].

Erken sönümlenme süresi (EDT), hacmin sönümlenme eğrisinin ilk kısmından hesaplanan erken reverberasyon süresidir. Formel olarak ses kaynağı kapatıldıktan

sonra sesin 10 dB sönümlenmesi için geçen sürenin 6 katıdır ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$EDT = t_{10X} 6 \quad (2.3)$$

Bu şekilde 6 ile çarpılarak RT_{60} 'ın saptanması, aynı şekilde ölçülen EDT ve RT' nin saniye cinsinden birbiri ile karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak EDT değeri, bir sinyalin kararlı durumdaki değerinin ardından 0 dB ila 10 dB arasındaki düşüşünü esas almaktadır. Müzik işlevli salonlar için temel bir ölçüt olan EDT, dinleyicilerin reverberasyona olan tepkilerini daha doğru ifade etmesinden dolayı önemli bir parametredir. EDT akustik canlılığın ölçütüdür, uzun EDT, müziğin canlılığını artırmaktadır [3, 8, 10, 18].

EDT, salonun doluluğuna, RT' den daha az bağlıdır ve dinleyicisiz ortamda ölçülmektedir. Beranek çalışmalarında, 52 salon arasında boş salondaki EDT ve dolu salondaki RT_{60} arasındaki yaklaşık 0,3 sn'lik fark olduğu ortaya çıkmıştır [3].

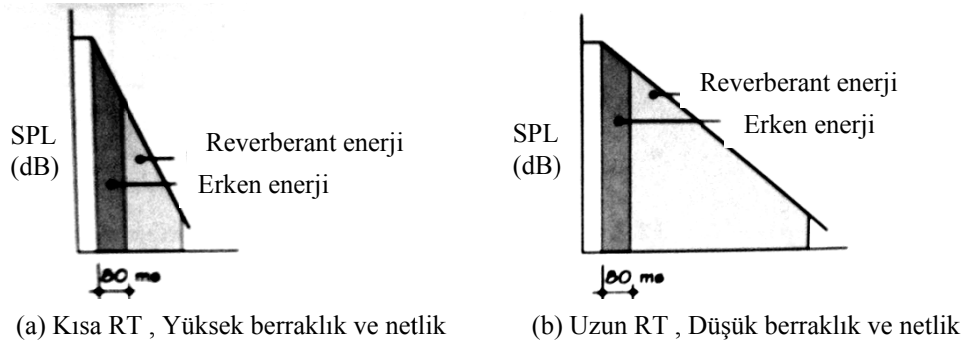
$$EDT \cong RT_{60} - 0 + 0,3 \text{ sn} \quad (2.4)$$

EDT, Sabine eşitliğine benzer bu formülden de hesaplanabilir ancak bu RT ve EDT değerlerini birbirinden ayıramaz. EDT değeri, her bir alıcı noktasına ulaşan ilk yansımaları, dolayısıyla, hacmin geometrisinin etkisini detaylı olarak analiz etmektedir. Konser salonu tasarımında model üzerinde ölçüm veya ışın yöntemiyle de saptanabilen EDT değerinde öncelikle, orkestranın çevresinde yer alan yansıtıcı yüzeylere çarpan ışınlar etkilidir [3, 15].

Salondaki erken ses enerjisi, reverberans, berraklık ve netlik, akustik yakınlık ve mekansal algılamayı, reverberant ses ise mekansal algılama, sıcaklık, parlaklık ve algılanan yükseklik öznel parametrelerini etkilemektedir [20].

2.1.2. Sesin berraklığı ve netliği (C80) , erken sesin reverberant sese oranı (ELR)

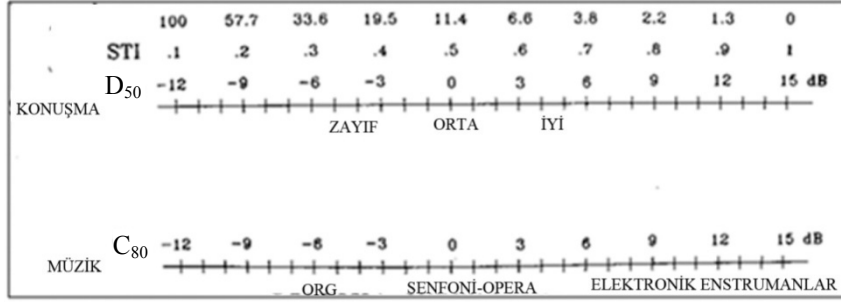
Erken sesin önemi, çok eski dönemlerden beri bilinmekte ve akustik tasarımda dikkate alınmaktadır. Vitruvius, Yunanların doğru ses olarak adlandırdıkları, sahne ve diğer yakın çevreden gelen yansımalarla güçlendirilen sesin akustik değerinden övgüyle bahsetmektedir. Sabine (1964), Vitruvius'u referans göstererek alıcıya yakın mesafede mesafedeki yüzeylerden gelen yansımaların gerekliliği üzerinde durmuştur. Beranek (1962) de ilk yansımanın gecikmesini ve onun öznel etkisi olan akustik yakınlığı tanımlamış ve erken yansımaların önemini vurgulamıştır [3].



Şekil 2.12. (a-b) Berraklık ve netlik parametresinin RT ile ilişkisi [20]

Büyük oranda sesin erken yansıma sürecinde saptanan ses kalitesi, erken ve gecikmiş (reverberant) yansımalar ve birbirleri ile oranları ile ilgilidir. *Sesin berraklık ve netliği (clarity)*, bir müzikal performansta dinleyicilerin farklı sesleri, tonları ayırt edebilmesinin ölçü ve derecesidir [8]. Sesin berraklığı ve netliği parametresinin ölçülmesi için 'erken sesin gecikmiş sese oranı' (ELR), 'konuşmanın iletim indeksi' (STI) ve 'konuşmanın basit iletim indeksi' (RASTI) gibi birtakım nesnel parametreler de geliştirilmiştir. Bunların arasında müzik için basit ve yaygın şekilde kullanılan ELR parametresidir. ELR, sinyal-gürültü oranındaki erken sesin gecikmiş sese oranıdır. Berraklık hesabında ELR için konuşma işlevinde 50 ms, müzik işlevinde 80 ms süre oranı geçerlidir, bu oranlar D50 ve C80 olarak bilinmektedir. İyi konuşma akustiğinin kötü müzik akustiği olduğu düşüncesinin bir sebebi, ilk 50 ms içinde ulaşan yansımaların konuşmanın berraklığına katkı sağlarken, 50 ila 100ms

arasındakiler yararlı olabilmesi veya olmaması ve onun ardından gelenlerin berraklık için zararlı olmasıdır. Şekil 2.13, konuşma müzik için ELR ölçeğini D50 ve C80 olarak ölçeklendirmektedir [2, 7].

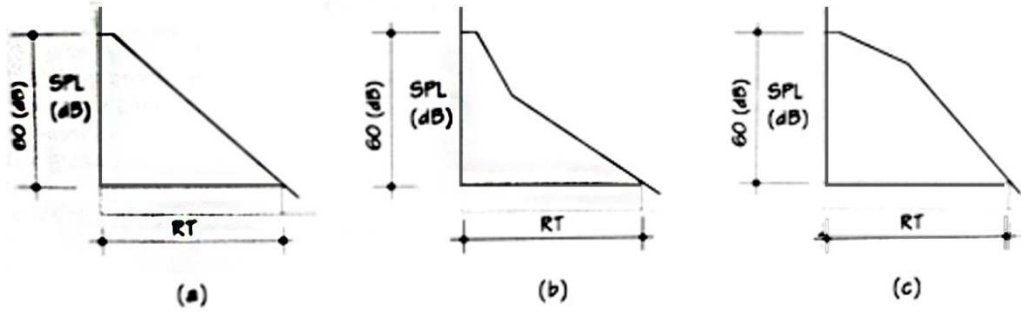


Şekil 2.13. Konuşma ve müzik için D50 C80 değerlerinin öznel berraklık algısında karşılığı [2]

Müzik için, dinleyici pozisyonuna gelen dolaysız sesin ardından ilk 80ms içinde ulaşan yansımaların, daha sonra ulaşan yansımalara (ya da serbest alanda aynı kaynağa 10m mesafede alınan yanıtın), ses düzeyi (dB) türünden logaritmik oranı C₈₀ parametresini vermektedir. Öznel berraklık faktörü olan C80(3), aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır. (3) sembolü 500, 1000 ve 2000 Hz bantlarındaki C80 değerlerinin ortalamasıdır, ses enerjisi frekansa bağlı olduğu için kullanılmaktadır. Bu parametredeki süre, konuşma işlevi için 50ms alındığından terim *D₅₀ belirlilik (definition)* ile ifade edilmektedir [2, 3, 8,13,21].

$$C80 = 10 \log \frac{\int_{\infty}^{.08} p^2(t) dt}{\int_{.08}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ dB.} \quad (2.6)$$

Büyük salonlarda yeterli berraklık için C80 (3) değeri -4dB ila +1dB arasında olmalıdır. Ancak canlılık ve berraklık birbirleri ile ters orantılıdır. Salonda erken enerji sesin berraklığı için faydalı, canlılığı için zararlı olduğu varsayılmaktadır. Salon tasarımlarında, canlılık kadar iyi berraklık ve netlik elde etmek için, reverberant sönümlenmenin 2 parçalı (çift eğimli) olması sağlanmalıdır. Erken sönümlenmenin dik eğimi ve kısa EDT' si, gecikmiş sönümlenmenin daha sığ, yüzeysel eğimi ve daha uzun RT₆₀'ı olmalıdır.



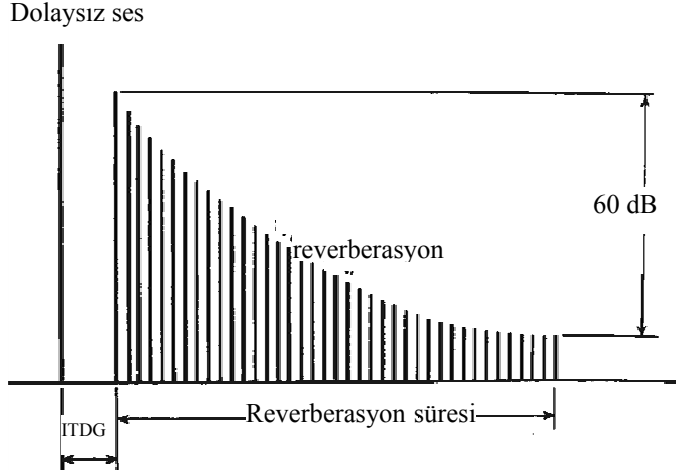
Şekil 2.14. SPL – RT grafiğinde reverberant sönümlenme [20]

Dar salonların dolaysız ve erken yansıyan ses enerjisini desteklemesi, sesin berraklık ve netliği parametresinde ses kaynağının ve yakınındaki yansıtıcıların yanında hacmin özelliklerinin de etkili olduğunu göstermektedir [13].

2.1.3. İlk yansımanın gecikme aralığı (ITDG) ve sesin yakınlığı

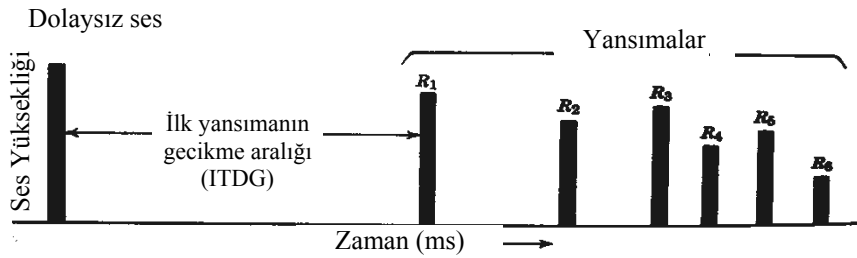
Beranek, 60'lı yıllarda ifade ettiği akustik yakınlık (intimacy) parametresi ile ilişkili olarak, t_0 (dolaysız sesin dinleyiciye ulaştığı an) ile t_1 (ilk yansıyan sesin dinleyiciye ulaştığı an) değerlerinin arasındaki farkı işaret etmiş ve bunu, ilk yansımanın gecikme aralığı (ITDG) parametresi olarak adlandırmıştır. Ardından mekansal algılama ve hacmin fiziksel özellikleri ile de ilişkilendirilen bu parametre, fiziksel anlamlarından dolayı akustik tasarım ve değerlendirmelerde yerini korumaktadır [2].

Bir mekanda akustik yakınlık, ilk yansımaların alıcıya ne kadar kısa sürede ulaştığı ile ilgilidir. Bu algının ve bu sürenin nesnel ifadesinde en etkin parametre olan ITDG ne kadar kısa ise salondaki ses o kadar yakın hissedilmektedir. Küçük bir mekanda ses yakın çevredeki yüzeylerden geldiğinden, tıpkı insanların yakın çevresindeki duvar ve nesnelere baktığında görsel yakınlık hissettiği gibi, akustik yakınlık söz konusudur. Ses kayıt ve yayın alanında çalışanların varlık (presence) olarak da adlandırdıkları bu kavram, mekanın fiziksel özellikleri ile yakından ilişkilidir, dinleyicinin salon boyutu ile ilgili algılarını ciddi derecede etkilemektedir [8, 13].



Şekil 2.15. Sönümlenme eğrisi üzerinde RT ve ITDG [8]

İlk yansımanın gecikme aralığı (ITDG), dinleyicinin kulağına direkt sesin ulaşması ile ilk majör yansımanın ulaşması arasındaki süredir [3]. Kontrolsüz yansımalarla, kusurlu ITDG'ye sahip salonlar dinleyiciler tarafından kalitesiz bulunmaktadır. Akustik kalitesi yüksek salonlarda 20 ms civarında olduğu görülen ITDG parametresinin çok genel olarak, konser salonunun merkezinde 15ms'den az olması istenmektedir. ITDG özellikle dinleyicinin bulunduğu yere bağlıdır. Örneğin yan duvarların kenarında oturan dinleyiciler, salonun ortasındakilere göre arzu edildiği gibi daha kısa ITDG ve daha yakın bir ses algılamaktadır [7].



Şekil 2.16. Ses yansımalarının şematik gösterimi üzerinde ITDG [8]

Küçük ve dinleyicinin yakınında yansıtıcı düzeyler olan salonlarda ITDG kısa, büyük salonlarda daha uzundur. İlk yansımalar genellikle salonun yan duvarlarından ve balkon önlerinden geldiğinden düşük ITDG için salonların dar olması tercih edilmektedir. Ayakkabı kutusu plan şeması, yakınlık (kısa t_1) sağlamasından dolayı ideal biçim olarak görülmektedir. Alternatif olarak erken yansımalar sağlamak için

yan balkonlar, teraslar gibi çıkmalar kullanılabilir ve dinleyicilerin bulundukları alanlar yansıtıcı duvarlarla çevrelenerek birbirinden ayrılabilir. Bu yansımalar aynı zamanda yanal yansıma sağlayacağından yakınlık ve mekansal algılama (spaciousness) hissini de artıracaktır. Yelpaze planlarda ise ilk yansımalar arkalara yöneleceğinden dinleyiciye ilk olarak tavandan gelen yansımalar ulaşacaktır ve ITDG 30 ms'i aşacaktır. Bu durumlarda asma tavan panelleri ve duvarlarda saçıcı panellerin kullanılması gibi düzenlemelerle erken ses dinleyicilere yönlendirilerek ITDG 20 ms bölgesine çekilebilmektedir, tavanın alçak olması akustik yakınlığı artırmaktadır [7,8].

2.1.4. Sesin algılanan yüksekliği ve ses yüksekliği (G)

Sesin algılanan yüksekliği (loudness), günlük hayatta kullanıldığı anlamda, kişinin kulağına gelen sesi algıladığı yüksekliktir.

Salonlarda müziğin etkili olması için ses yüksekliği son derece önemli bir faktördür. Bir orkestranın, farklı salonlarda farklı ses düzeyleri üretmesi, salonun dinamik yanıtıyla ilgili bir durumdur. Bir eseri dinlerken salonda en büyük alkışın, parça sonundaki kuvvetli sesin ardından geldiği bilinmektedir. Böyle coşku veren kuvvetli bir sesin, yalnızca orkestranın ve şefin yorumunun kalitesiyle değil, salon özelliklerinin de uygun olması ile (çok büyük olmayan, halı, perde, döşemeli koltuklar gibi yutucu malzemelerin az olduğu mekanlarda) sağlanması, dinleyicilerin salondaki küçük farklılıklara karşı ne kadar hassas olduğunun kanıtıdır [8, 18]. Konser salonu tasarımında oldukça önemli olan bu parametrenin kontrolü için tasarımcı, küçük salonlarda sesin aşırı yüksek olmasını engellemek, büyük salonlarda da sesin zayıflığının üstesinden gelmek durumundadır [2].

Ses kaynağı, gücü ve ürettiği ses yüksekliği büyük oranda sabit olduğundan, salonda algılanan ses yüksekliğinin bir belirleyicisidir. Ancak büyük oranda salon özelliklerinin, büyüklük ve kapasitesinin bir fonksiyonu olan sesin algılanan yüksekliği parametresi, başlıca dört mimari tasarım faktöründen etkilenmektedir.

Bunlar;

1. Salonun önünden arkasına doğru yayılırken dolaysız sesin yüksekliği düşeceğinden, *dinleyicinin sahneye olan uzaklığı,*
2. Mesafeden dolayı düşen ses yüksekliğini etkili yansımalarla güçlendirerek artıracığı için, *dinleyiciye doğru yönlendirilmiş erken ses enerjisi yansıtan yüzeyler,*
3. Üretilen ses enerjisini yutarak düşüreceği için *salondaki ses yutucu malzemelerin miktarı,*
4. Sahne ve dinleyici alanının toplamı ile hacim ne kadar büyük ise algılanan ses yüksekliği o kadar düşeceği için *salondaki akustik alandır.*

Dinleyici alanının büyüklüğü, ses yüksekliğinde ayrıca etkili bir bileşendir. Bunun sebebi, orkestranın ürettiği belirli ses enerjisi dinleyicilere eşit dağıtıldığında, dinleyici sayısı ne kadar fazla ise kişi başına düşen ses enerjisinin o kadar az olacağıdır. Algılanan ses yüksekliği kişi başına düşen hacim ile ters orantılıdır. Düşük oturma kapasitelerinde ses yüksekliğinin kontrolü için koltuk başına düşen hacmin büyük olması, yüksek kapasiteli salonlarda ise değerli olan ses enerjisini korumak ve iyi değerlendirmek için küçük olması tercih edilmektedir [2, 3, 8].

Akustikte sesin algılanan yüksekliği yargısı, '*ses yüksekliği*' (strength factor) olarak adlandırılan nesnel parametre ile ölçülmekte ve '*G*' ile simgelenmektedir. *G*, standart bir ses kaynağı için, salondaki toplam ses düzeyinin dB türünden ifadesidir [2, 8].

Bir diğer ifade ile ses yüksekliği (*G*), sahnede bulunan çok yönlü bir ses kaynağından salon içerisinde bir noktaya gelen ses basınç düzeyi (SPL) ile anekoik odada, eşdeğer bir kaynağın 10m uzağında oluşan ses basınç düzeyinin (SPL) dB cinsinden oranıdır. Genellikle 6 oktav frekans bandında ölçülmektedir, aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [8].

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{t_2} p^2(t) dt}{\int_0^{t_2} pA^2(t) dt} \text{ dB} \quad (2.11)$$

($P_A(t)$, serbest alan koşullarında 10 m mesafedeki SPL değeridir).

Ando (1985) konser salonları çalışmasında, ses yüksekliğinin (G), akustik özellikleri direkt olarak etkileyen 4 parametreden biri olduğunu belirtmiştir [3]. Ses yüksekliğinin (G), 10 dB'lik artış veya düşüşünde kulakta algılanan ses yüksekliği iki katına çıkmakta veya yarıya düşmektedir. Yani G değerindeki 10dB' lik değişim, kulaktaki ses yüksekliği algısını iki kat değiştirmektedir. Sesin yüksekliği mekansal ve reverberant etkilerin algılanabilirliğini etkilediğinden, sinyal ve gürültünün rölatif yüksekliğinden etkilenmekte olan berraklık gibi birçok parametre bu parametreye bağlıdır [2].

2.1.5. Mekansal algılama, dinleyicilerin kuşatılması, yan yansıma oranı (LF) ve iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki katsayısı (IACC)

Mekansal algılama (spaciousness), hacim içerisinde yayılan ses enerjisinin, olduğundan daha geniş bir ses kaynağından geldiği hissine sebep olan, özellikle yan duvarlardan gelen erken yansımalarla (dolaysız sesin ardından ilk 80 ms içinde, dinleyiciye her yandan yaklaşık 20° ila 90° açıyla gelen yansımalar) sağlanan öznel parametredir. Mekansal algılama ve dinleyicilerin kuşatılması hissiniin saptanmasında erken ses alanının karakteristiği ve yeterli yan yansıma sağlanması önemlidir. Bu bağlamda özellikle dikdörtgen biçimli salonlar bu parametreyi olumlu, yelpaze biçimli salonlar olumsuz etkilerken ters yelpaze salonlar daha iyi sonuçlar vermektedir. Mekansal algılamayı artıran bir diğer faktör de salondaki saçıcılığın artırılmasıdır. Özellikle eski dönemlere ait salonlardaki dekoratif süslemelerin bu etkisi bilinmektedir [7].

Mekansal algılama, dinleyicinin sesi beyinde binoral olarak algılaması sebebiyle başın iki yanında bulunan kulakların işittiği bilgileri beyin ayrı ayrı algılamasına dayanmaktadır. Bir dinleyici açık alanda bir ses kaynağı karşısında iken, ses her iki kulağa ayrı ayrı ve mekanın etkisine maruz kalmadan ulaşacaktır. Ancak ses tek bir

yandan geldiğinde bir kulak sesi diğerinden hafif kısa bir süre sonra ve daha düşük düzeyde duyacaktır (insanın başı sesi gölgeleyeceği için). Farklı açılardan, dinleyiciye ilk 80 ms içinde ulaşan birçok yansımanın geldiği bir salonda, yansımaların önemli bir bölümü yan yansıma olarak algılanacaktır. Bu yansımalar dinleyicinin kulağında doğru açılardan ve doğru derecelerden birleştiğinde salonun akustiğini iyileştiren mekansal algılama etkisini sağlamaktadır. Ayrıca bas seslerin güçlü olması da bu hissi güçlendiren bir faktördür. Mekansal algılamanın nesnel karşılığı, iki kulak arasındaki nitelik indeksi (BQI) olarak adlandırılan, aşağıda verilen formül ile hesaplanan parametredir [8].

$$BQI = 1 - IACC_{E3} \quad (2.9)$$

(E; 0-80 ms arasındaki erken ses enerjisini, 3; 500,1000 ve 2000 Hz merkez frekanslarda alınan IACC değerlerini ifade etmektedir.)

Dinleyicilerin kuşatılması etkisi ile ilgili olarak LEV ve kaynağın genişletilmesi ile ilgili olarak ASW olmak üzere iki temel parametre tanımlanmıştır. ASW, yan yansımaların yüksekliğinden erken yansımaların ilk kısmında ciddi şekilde etkilenirken, sonradan ulaşan yanal enerjinin yüksekliği LEV parametresi için çok etkilidir [2].

Dinleyicilerin kuşatılması (listener envelopment), dinleyiciyi çepeçevre sardığı hissini veren, tüm yönlerden gelen reverberant sesin ölçütüdür. Bu parametrenin tanımlanmasında, gecikmiş yan yansımalar ile kuvvetlendirilen *müzik tarafından çepeçevre kuşatılma (LEV)* parametresi kullanılmaktadır [Everest, 2009]. Akustiği mükemmel olarak değerlendirilen salonlarda, reverberasyon, salonun üst kısımlarından doğup dinleyiciye tüm yönlerden geliyor gibi görünmektedir. Bunun tersi, örneğin, balkonlu bir salonun arkasında, kişinin, reverberasyonu önlerden geliyor gibi hissetmesiyle yaşanmaktadır. Bu parametrenin elektronik ölçümlerin yanı sıra öznel olarak değerlendirilmesinde, başın çevresinde ses dalgalarının hareket serbestliğinin olup olmadığına dikkat edilmelidir. Yan duvar, tavan ve balkon önlerindeki düzensizlik ve süslemelerin, sesin tüm yüzeylere yayılmasına yardımcı olduğu açıkça görülecektir [8].

Algılanan Kaynak Genişliği (*ASW*), orkestra gibi bir ses kaynağının fiziksel olarak olduğundan daha geniş algılanmasını ifade etmede kullanılan parametredir. Yan yansıma oranı (LF) ile ilişkili olduğu laboratuvar ölçümleriyle belirlenmiştir. LF değeri yüksek olduğunda kaynak olduğundan daha geniş görünecektir, bu da mekansal algılamaya katkı sağlamaktadır [7].

LF kavramı, salonların akustik kalitesinde yan yansımaların önemini vurgulamak için ortaya atılmış bir parametredir, hacmin yan yüzeylerinden gelen erken ses enerjisinin toplam ses enerjisine oranı olarak da ifade edilebilir, salonun genişliği ile ters orantılıdır, yan duvarlar arasındaki mesafe arttıkça parametre değerleri azalmaktadır [21].

$$LF = \frac{\int_{0.005}^{0.08} p^2(t) dt}{\int_0^{0.08} p^2(t) dt}. \quad (2.9)$$

LF_{E4} (*erken yan yansıma oranı*); 0-80 ms arasındaki periyotta 4 frekans bandındaki (125-250-500-1000) LF değerlerinin ortalamasıdır. Dinleyici pozisyonuna tam arkasından ve kaynak yönünden gelmeyen, yani yanlardan gelen ses enerjisinin tüm yönlerden gelen toplam ses enerjisine oranıdır. Bir kaynağa yönlendirilmiş 8 mikrofona gelen ses enerjilerinin, aynı yerdeki çok yönlü bir mikrofona gelen ses enerjisinin birbirine oranı şeklinde ölçülmektedir. Yukarıdaki eşitlikte 8 mikrofon için 5-80 ms aralığında ve çok yönlü mikrofon için 0-80 ms integral aralığı alınmasının sebebi, 5 ms değerinin dolaysız sesin kesin olarak hesaptan çıkarılmasıdır [8].

Dinleyicilerin reverberant ses ile çevrelenmesi ya da kuşatılmasının akustik konfor açısından önemi 1960' larda ortaya çıkmış ve ardından bununla ilgili olarak LF ve '*iki kulak arasındaki ilişki katsayısı*' (IACC) grubu parametreleri ifade edilmiştir. Kuvvetli yan yansımalar, özellikle dikdörtgen salonlarda ve dinleyiciye yakın yüzeylerde üretildiğinden, yapılan çalışmalar, IACC ve salon genişliği arasında kuvvetli bir bağ olduğunu göstermiştir. Müzik işlevi için, dikdörtgen planlı müzik salonlarının yelpaze planlılara göre daha iyi akustiğe sahip olmasının sebebi,

sağladığı yan yansımaların zenginliğidir. Salonun dar olmasının yanında, sahneye olan uzaklığın artmasının LF_{80} değerini negatif yönde etkileyeceğinden salon boyunun çok uzun olmaması önemlidir.

IACC ve LF birbirleri ile çok ilişkili olduğundan birinden diğeri hesaplanabilir. Yan yansımalar ve kuşatılma, 23 m civarında genişliğe sahip dikdörtgen salonlarda doğal olarak ortaya çıkmaktadır. Bu özelliğe yüksek saçılma oranı ana salonda oturma alanına doğru hafif bir eğimle, sesi dinleyicilerin üzerindeki yan duvarlara aktarmasıyla yardımcı olmaktadır. Derin çıkmalı balkonlar ise ters etki yapmaktadır, dinleyiciye yalnızca önden gelen ses ulaşacağından reverberant sestten mahrum bırakacaktır [3].

Dinleyicilerin kuşatılması ile ilgili mekansal algılama hissine yönelik ifade edilen IACC, sağ ve sol kulağa gelen seslerin ve yan yansımaları (LF)'nin farklılığının ölçütüdür. IACC grubu, 2 noktaya, örnek olarak dinleyicinin 2 kulağına gelen sesin yakınlığının benzerliğinin ölçülmesi için kullanılmaktadır [3].

$IACF_t(\tau)$; sahnedeki bir ses kaynağı tarafından üretilen bir sesin iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki fonksiyonunun ve farklılığının binoral ölçümüdür. Matematiksel olarak şu şekilde bulunabilir [8].

$$IACF_t(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} pL(t)pR(t+\tau)dt}{(\int_{t_1}^{t_2} pL(t)pR(t+\tau)dt)'/2} \quad (2.7)$$

(L ve R sağ ve sol kulak deliklerini ifade etmektedir).

Yukarıdaki eşitlik için en olası en yüksek değer birdir. Bu, iki sinyal birbirine eşit olduğunda meydana gelmektedir. Bu hesaplama, t_1 anından (dolaysız sesin 1 kulağa ulaştığı an) başlayacak ve t_2 anında (isteğe bağlı seçilen ilgili periyot) sonlanacak şekilde yapılmaktadır. Değişken ' τ ' değeri 2 kulak arasındaki süre farkıdır ve sesin ilk ulaşma anından itibaren -1 ila +1 ms aralığında değişmektedir. Bu durumda $IACF_t(\tau)$ için en büyük tam değer olan 'iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki katsayısı' nı (IACC) bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır: [3, 8]

$$IACC_t = | IACF_t(\tau) |_{\max} \quad (-1 < \tau < +1 \text{ için}) \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte ‘0’, dolaysız sesin dinleyiciye ulaştığı andır. 0- t_2 ms arasındaki integral, t_2 anına kadar geçen sürede gelen dolaysız, erken ve reverberant sesleri kapsamaktadır. Çünkü başın bir yanına dik gelen bir ses dalgasının diğer yana geçmesi için geçen bu süre 1 ms civarındadır, τ değerinin -1 ila +1 aralığında olması olağandır [3, 8].

İntegraldeki süre (t) farklı değerler almaktadır. IACC grubu, bu parametrenin farklı periyotlar için hesaplamalarından oluşmaktadır.

$IACC_A$; ($t_1=0$, $t_2=1000ms$) genel, iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki katsayısıdır, bir salonda yüzü performans alanına doğru bir dinleyicinin iki kulağına gelen sesler arasındaki farktır. Ölçümü için, dijital bir kayıt cihazı, bir insanın ya da yapay insan modelinin kulaklarına yerleştirilmiş iki küçük çok yönlü mikrofona bağlanır ve bir bilgisayar programıyla analiz yapılmaktadır. 100 - 8000 Hz arasında, frekans ağırlıksız, 0 -1 sn aralığında ölçülmektedir [3, 8].

$IACC_{(bands)}$ yukarıda açıklanan parametrelerin, 6 oktav bandında (125-250-500-1000-2000-4000 Hz), aşağıdaki gibi zaman ve bant kombinasyonlarıdır [8].

$IACC_{E3}$ ($t_1=0$, $t_2=80ms$); erken, iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki katsayısı ASW’ nin ölçütüdür. 0-80 ms periyodu için belirlenen IACC’ dir. 0 ms, çok yönlü kaynaktan çıkan direkt sesin küçük mikrofona ulaştığı andır. Orta frekanslarda (500, 100, 2000 Hz) ölçülen değerlerin ortalaması alınmaktadır. Öznel akustik yargılarla yakından ilgilidir. Özellikle istenen, tam dolu salonlardaki $IACC_{E3}$ değerinin, boş salonlardakinden yalnızca %8-%10 düşük olmasıdır [8].

$IACC_L$ ($t_1=80$, $t_2=1000ms$); gecikmiş, iki kulak arasındaki karşılıklı ilişki katsayısı, dinleyicilerin kuşatılmasının nesnel (LEV) ölçütüdür. $IACC_{L3}$ 80’ ms’den 750 ms arasındaki zaman aralığı için ölçülen IACC değeridir. 500, 1000 ve 2000 Hz orta frekanslarda ölçülen değerlerin ortalaması alınmaktadır [3, 8].

IACC için yaklaşık 0,3 gibi düşük değerler önerilmektedir. Bu, sesin iki kulağa yalnızca % 30 ilişkili geldiği anlamına gelmektedir. Bu fark ne kadar büyük olursa, o kadar uygundur. Bu katsayılar hesaplanırken orta frekanslı oktav bantlarında ölçülerek ortalaması alınmaktadır. 1-IACC şeklinde listelenen verilerde değerlerin yüksek olması olumludur. Beranek (1996), 37 salon için verileri sıralamıştır, en iyi 3 salonun $IACC_{E3}$ değerleri 0.65, 0.62, 0.71' dir [3].

2.1.6. Akustik parlama ve yüzeyin ses dağıtma indeksi (SDI)

Bir salonda, yan duvarlar veya tavanda, erken yansıma sağlayacak şekilde konumlandırılmış düz, pürüzsüz yansıtıcıların bulunması, optikteki parlamaya benzer sert ve keskin yansımalara sebep olmaktadır. *Akustik parlama* (acoustical glare) olarak adlandırılan bu kusur, yansıtıcı yüzeylerin doğru oranlarda düzensizleştirilmesi veya eğilmesi ile önlenebilmektedir [8].

Erken sesin parlamasını engellediği ve reverberant sesin birçok yönden geldiği (örneğin önden olduğu kadar yanlardan ve üstten) hissi sağladığı için, bir salonda yüzey düzensizliklerinin fazla olması akustik açıdan olumludur [3].

Beranek'in çalışmasında en iyi akustiğe sahip olduğunu belirttiği salonların çoğunda nişler, sütunlar gibi eğimli ve düzensiz yüzeyler ile yan duvarların üst kısımlarında heykeller, alt kısımlarında ölçülü süslemeler bulunmaktadır. Yan duvarların alt kısımlarındaki düzensizlikler, akustik parlamayı bertaraf etmede daha etkin iken üst kısımdakiler öncelikle reverberasyon süresinde etkilidir ve geniş frekans aralığını kapsamaları, sesi eşit dağıtması için büyük boyutta yapılmıştır. Bu düzensiz yüzeyler ve süslemeler sesi yansıtırken dağıtıp saçarak müziğe parlak olmayan, hoş bir etki kazandırmaktadır. Güncel uygulamalarda bu amaçla, dekoratif süslemelerin yanı sıra özel üretilmiş saçıcı paneller kullanılmaktadır [8].

Sesin saçılması ve dağılması, aynasal olmayan düzensiz, belli bir yönü olmaksızın saçılmasıdır, düzensiz ve/veya dışbükey yüzeyler ile sağlanmaktadır. Verilen bir frekansta fark edilebilir düzeyde bir saçılma için, yüzeydeki düzensizliğin derinliği,

gelen sesin dalga boyunun dörtte birine eşit ya da ondan büyük olmalıdır. Sesin saçılması ve dağılması, dinleyicilerin kuşatılmasına ve reverberant sesin homojen olarak yayılmasına yardımcı olmaktadır [3].

Yüzeylerin saçıcılık ve dağıtıcılık değerleri, yüksek, orta ve düşük saçıcılık olarak sınıflandırılmakta ve '*yüzeyin ses dağıtma indeksi*' (SDI) parametresi ile ifade edilmektedir. SDI, salondaki ses saçıcı yüzeylerin toplam alanının, tüm duvar ve tavan alanının toplamına oranıdır, yüksek, orta ve düşük saçıcılık olarak derecelendirilmektedir [3, 8].

Yüksek saçıcılık (SDI=1); Derin (>100 mm) niş ve oymalı tavan ve tüm yüzeylerde gelişigüzel saçıcı elemanlarla (>50mm derinliğinde),

Orta saçıcılık (SDI=0.5); Sığ girintili (<50mm derinliğinde) kırık yüzeyler ve yarı geçirgen sert panellerin arkasında düz yüzeylerle,

Düşük saçıcılık (SDI=0); Düz, parlak veya eğimli yüzeyler ve yutucu yüzeyler kullanılarak elde edilebilmektedir [3].

Beranek'in sıralamasına göre 31 konser salonundan en iyileri 1.0, orta kaliteliler 0.5 ila 0.9 arasında ve daha düşük kalitede olanlar 0.3 ila 0.7 arasında SDI değerine sahiptir [8].

SDI, verilen bir yüzey için belirlendiğinden, tüm salon için saçıcılık oranı, toplam alana göre ağırlıklı bir ortalama değer baz alınarak hesaplanmaktadır. Sesin saçılma-dağılmasının akustik açıdan olumlu olduğuna dair genel bir kabul olmasına rağmen, miktarı, türü ve nasıl ölçüleceğine yönelik kesin bilgiler henüz yetersizdir [3].

2.1.7. Sestin sıcaklığı, bas oranı (BR), orta ve düşük frekanslardaki ses yüksekliği (Gmid, Glow)

Konser salonlarında ‘*sesin sıcaklığı*’ (warmth), tüm orkestra çaldığı sırada bas seslerin açıkça duyulabilir olması ile doğrudan ilgili olan ve bas tonların yüksekliği (bass strength) ile belirlenen öznel parametredir. Müziğin sıcak algılanması, basların zenginliğine bağlıdır. Akustik sıcaklığın yetersiz olması, salon yüzeylerinin (özellikle ahşap panellerin) düşük frekansları yutmasından ve bas reverberasyonun düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun tersine müzisyenlerin salonu ‘*karanlık*’ (dark) olarak tanımladığı, akustik sıcaklığın çok yüksek olması durumu, yüksek frekanslı seslerin perde, halı gibi yutucularla çok fazla düşürülmesinden kaynaklanan çok güçlü bas reverberasyon anlamına gelmektedir [3, 8].

Akustik sıcaklık, müzik salonlarında istenen bir duygudur. Bu daha çok düşük frekanslardaki seslerin uzun reverberasyon süresine sahip olmasına dayanmaktadır. Sıcaklığın göstergesi olan bas seslerin ölçülmesine olanak sağlayan yollardan biri bas oranıdır. Bas oranı (BR), dolu salonlarda, düşük frekanslardaki reverberasyon süresinin orta frekanslardakine oranıdır. 125 ve 250 Hz’ teki reverberasyon sürelerinin toplamının, 500 ve 1000 Hz’ teki reverberasyon sürelerinin toplamına bölünmesi ile bulunmaktadır [7,8].

$$BR = \frac{RT_{60/125} + RT_{60/250}}{RT_{60/500} + RT_{60/1000}} \quad (2.12)$$

Akustik açıdan sıcak, uzun bas reverberasyona sahip bir salon, 1.0’ den büyük BR vermelidir. Bir çalışmaya göre, 1.8’sn den daha kısa RT’ ye sahip salonlar için, BR 1.1 ila 1.45 arasında değişmektedir, daha yüksek RT’ ye sahip salonlarda ise 1.1 ila 1.25 arasında değişmektedir. Konuşma işlevi için BR değerinin 0.9 ila 1.0 arasında olması tercih edilmektedir [7].

Beranek (2004) yaptığı gözlemler sonucunda, bas oranının salondaki öznel sıcaklıkla çok kuvvetli bir ilişki içinde olmadığını belirterek, aşağıdaki eşitlikte verildiği gibi,

dolu salonda ölçülen orta frekanslardaki ses yüksekliğinin düşük frekanslardaki ses yüksekliğinden çıkarılması yoluyla bas seslerin ses yüksekliğini analiz etmiştir [8].

$$G_{\text{mid}} - G_{\text{low}} = (G_{125} + G_{250}) - (G_{500} + G_{1000}) \quad (2.13)$$

G_{mid} , orta frekanslardaki sesin dB cinsinden yüksekliğidir. 500 ve 1000 Hz frekans bantlarında ölçülen G değerlerinin ortalamalarıdır. Önerilen değerleri 5 ± 1 dB aralığındadır [3, 8].

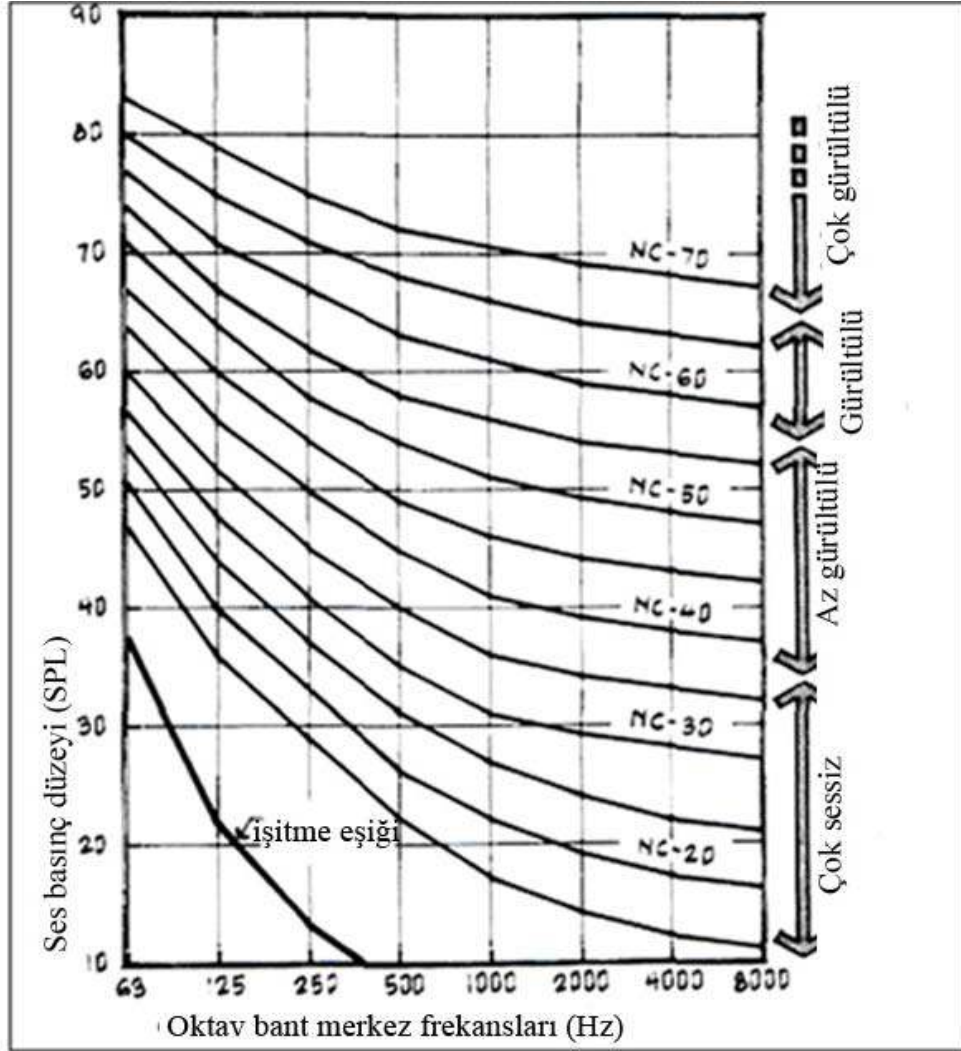
G_{low} , düşük frekanslardaki sesin dB cinsinden yüksekliğidir. 125 ve 250 Hz frekans bantlarında ölçülen G değerlerinin ortalamalarıdır [8].

Beranek tarafından 38 konser salonu için denendiğinde bu hesaplamanın da yararlı bir ölçüt olmadığı ortaya çıkmış ve akustik sıcaklıkla daha ilişkili olan bir diğer yöntem olan düşük frekanslardaki sesin tam yüksekliğinin dB cinsinden ölçülmesi, yani G_{low} veya G_{125} ortaya koyulmuştur. G_{125} , 125 Hz frekans bandında ölçülen sesin dB cinsinden yüksekliğidir. Bradley ve Soulodre, deneylerinden, sıcaklığın ifadesinde G_{low} , özellikle de G_{125} 'in bas oranına (BR) nazaran daha etkili bir ölçüt olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Bu çalışma ile örtüşen bir diğer sonuç da Beranek'in 45 salonu derecelendirdiği bir grafikteki sıralama ile tam dolu salonda ölçülen BR arasında güçlü bir ilişki bulunmazken, 31 boş salondaki G_{125} değerlerinin (dB cinsinden) sıralama ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sebeple boş salonlarda yapılan ölçümlerde özellikle G_{125} değeri ile sıcaklık arasında doğrudan bağlantı olduğu söylenebilmektedir [8].

2.1.8. Arka plan gürültüsü ve gürültü düzeyi kriteri (NC)

Arka plan gürültüsü, bir ortamda incelenen asıl sesler bastırıldığında, verilen konumdaki ve verilen durumdaki geriye kalan toplam sesi ifade etmektedir [23].

Ortamdaki gürültü düzeyinin ifadesinde kullanılan NC, RC, NCB, PNC eğrileri gibi belirlenmiş olan ölçütlerin arasından, ülkemizde geçerli olan standartlarda NC eğrileri (mekandaki en yüksek gürültü düzeyini baz alır) kullanılmaktadır.



Şekil 2.17. Frekansa ve ses düzeyine dayalı NC kriteri eğrileri (Grafğin altındaki koyu renkli eğri sürekli gürültü için işitme eşiğini göstermektedir) [13]

Grafikte verilen NC eğrilerinin sayısal tanımı 1000, 2000 ve 4000 Hz' de ses basınç düzeylerinin aritmetik ortalamasıdır (bunlar konuşmanın algılanması için önemli frekanslardır). NC oranı, bir gürültü ölçümü için NC eğrilerinin çizilmiş ses spektrum noktalarıyla karşılaştırılarak bulunmaktadır, ses spektrum noktası tarafından aşılmayan en düşük NC eğrisidir [13].

NC eğrilerinin düşük frekanslardaki ses düzeyleri, insanlar düşük frekanslardaki ses enerjisine daha az duyarlı olduğundan yüksek frekans düzeylerine göre daha yüksektir [13]. Gürültü kontrolü ölçütleri ve sesin yükseltilmesi, hem açık hem kapalı dinleme amaçlı mimari akustik projelerinde ortak bir meseledir.

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 4 Haziran 2010' da resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 27601 sayılı ' Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde ele alınan konser salonları için iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri (Leq), pencerenin açık olduğu durumlar için 35, kapalı olduğu durumlar için 25 dBA olarak verilmektedir. Salonlarda gerekli ses yalıtımı, kabukta ve mekanik tesisatta alınacak önlemler ve planlamada tampon bölgeler oluşturulması gibi yöntemlerle sağlanabilmektedir [23].

2.2. Konser Salonu Akustiğinin Tasarım ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Hacim Akustiği Parametrelerinin Optimum Değerleri

Akustik parametreler, temel olarak 500-2000 Hz arasındaki orta frekanslarda hesaplanmakta ve ölçülmektedir [18].

Çizelge 2.3' de müzik amaçlı salonların tasarım ve değerlendirilmesinde kullanılan başlıca hacim akustiği ve çeşitli referanslardan derlenen optimum değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Başlıca nesnel hacim akustiği parametrelerinin optimum değerleri ve tolerans aralıkları [2,8,18,19,24,25]

PARAMETRE	SEMBOL	PARAMETRELERİN KONSER İŞLEVİ İÇİN OPTİMUM DEĞERLERİ VE TOLERANS SINIRLARI					
Referans		Beranek	Barron	ODEON Manual	Riberio	TS-EN ISO 3382-1	Cavanaugh ve Wilkes
Reverberasyon Süresi	RT(sn)	1.60; 1.80	1.8; 2.2	1,7; 2,3	1.30<RT<1.83	-	2,0
Erken Sönümlenme Süresi	EDT (sn)	1,9; 2,3	1.8; 2.2	1,7; 2,3	1.04<EDT<1.56	1,0; 3,0	-
Sesin Berraklığı ve Netliği	C80 (dB)	1 ± 2	-2 ; +2	-1; +3	-2<C80<4	-5; +5	-
Ses Yüksekliği	G (dB)	4,5; 5,5	>0	>3	>0	-2; +10	-
İlk Yansımanın Gecikme Süresi	ITDG(ms)	12; 18 <20	-	-	-	-	<20
Yan Yansıma Oranı / Kuşatılma	LF LEV	-	0.1; 0.35	>0,25	—	-14; +1	< 0.40
Bas Oranı	BR (-)	1,40	—	—	—	—	>1.0
İki Kulak Arasındaki Karşılıklı İlişki Katsayısı	IACC(-)	1.00	—	-	—	—	<0.50
Yüzeyin Ses Dağıtma İndeksi	SDI	1.00 >0,8	—	—	—	—	-
Algılanan Kaynak Genişliği	ASW	—	0,1; 0,35	—	—	0,05; 0,35	-
İki Kulak Arasındaki Nitelik İndeksi	BQI	0,70; 0,76	—	—	—	—	-

2.3. Mimari Tasarım Parametreleri

Önceki yüzyıllarda yapılan klasik konser salonları, kabaca dikdörtgen planlı, bir veya birkaç sığ balkonlu olan, akustik özellikleri büyük ölçüde rastlantı ya da öncekilerin tekrarı sonucu ortaya çıkmış binalardır. Bu yapılarda zaman zaman yapılan akustik denemeleri, anlamlı ve faydalı sonuçlara ulaşamamıştır. Dini amaçlı olmayan salonlarda (saraylardaki balo salonları ve avlu tiyatrolar vb.) belirgin gelişmelerin yaşandığı dönemde, müzik amaçlı özel salonlar tasarlanmadığından müzikal performanslar, eski salonların gelişmesiyle oluşmuş yerlerde sergilenmiştir. Tarihsel süreçte, özellikle kiliselerin anıtsal mimarisi, müzikal litürel in sözlü litürel den daha başarılı olduğu bir akustik karakter üreterek müziğin erken gelişimine büyük katkı sağlamıştır [2, 3].

Her müziksever, çoğu kez farkına varmadan, mutlaka salonun mimari ve akustik özelliklerinin etkisi altında kalmakta ve yaşadığı deneyimi, öznel ifadelerle değerlendirmektedir [8]. Her salon, tasarımına ilişkin genel tasarım prensipleri olmasının yanında, kendine özgü tüm mimari özellikleri ve detaylarıyla, kendi akustik sorun ve çözümlerini içinde barındırmaktadır. Özellikle konferans, tiyatro ve müzik performansları ile çok amaçlı kullanıma yönelik akustik gereklilikler farklılık gösterdiğinden, konser salonlarında, ayırt edilebilir nitelikte müzik dinlemek için, genel tasarım kararları alınırken, uygun akustik koşulların bilinmesi ve doğru ihtiyaç programının oluşturulması son derece önemlidir [4].

Konser salonu kombinasyonu ayrıca ulaşım, tahliye, yangın güvenliği, etkin enerji kullanımı, iyi görüş açıları, aydınlatma ve havalandırma sağlanması gibi geniş bir yelpazede çok çeşitli ve kompleks ihtiyaçları kapsamaktadır. Mimari programda teknik ve estetik tasarım özelliklerinin yanında, fonksiyonel konfor da gözetilmeli, fuaye, dinleyici salonu, sahne ve teknik destek hacimleri gibi farklı işlevlerdeki tüm birimlerin özellikleri ayrı ayrı hesaba katılmalıdır [4, 9]. Bu sebeple tasarım, yapım ve kullanım süreçlerinde, dinleyici memnuniyetine yönelik tüm bu unsurların bir araya getirilmesi amacıyla farklı alanlarda uzman kişiler ortak bir çalışma yürütmelidir [8].

Konser salonlarında özel ve birincil işlevin dinleme olmasından dolayı en önemli tasarım kriteri akustik konforun sağlanmasıdır ve tasarımın farklı aşamalarında devreye girecek olan alt disiplinler arasında proje danışmanlarının çözümlerini yönlendirecek başlıca faktör akustik olmalıdır [4]. Akustik tasarım, özellikle mimari tasarım ile etkileşimli ve ona paralel yürütülecek birer süreçtir ve burada mimar ile akustik danışmanın birlikte çalışması son derece önemlidir [7]. Konser salonu için sağlanması istenen akustik parametreler, salonun yapılacağı kentsel bölge ve yerinin seçilmesi ve oraya binanın yerleşiminden başlayarak mahallerin yerleşim ve yönelimi gibi birçok mimari planlama aşamasını ve genel tasarım kararlarını yönlendirecek, yapısal kararların alınmasında ve performans alanının düzenlenmesinde de özellikle etkili olacaktır [2].

2.3.1. Salonun kapasite, biçim ve boyutları

Bir konser salonunun detaylı tasarımına geçmeden önce, akustik tasarımcının, işveren ve mimar ile birlikte, önemli ve öncelikli bazı kararları alması gerekmektedir. Tasarımın başlangıcı niteliğindeki bu kararlar, işleve bağlı olarak hedeflenen reverberasyon karakteristiği, salonun kapasitesi, biçimi ve boyutudur. Çünkü bu faktörler birbirini ve ileride yapılacak çalışmaları muhakkak etkileyecektir [8, 16]

Dinleyici sayısı

Konser salonları koltukların konser sırasında kiralanması şeklinde işletildiğinden, çoğu kez tasarımcıdan kapasitenin olabildiğince yüksek tutulması talep edilmektedir. Ancak belli başlı kararların alınmasında, salonda hedeflenen reverberasyon süresi etkili olmalıdır ve hesaplar, dinleyici ve havanın yutuculuğu göz önünde bulundurularak, istenen salon kapasitesi veya salon hacmi baz alınarak iki yoldan yapılabilmektedir [3, 8]. Örneğin kapasitesi belli bir salonun oturum alanı ve hacmi buna göre hesaplanmalı ve aynı şekilde salonun yapılacağı alan da önceden verilmiş ise, koltuk sayısını saptarken dikkate alınmalıdır. Verilen bir hacme uygun olan N (koltuk sayısı) daha çok müzik türüne bağlı olarak, aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilmektedir [7].

$$N = \frac{0,2 V m^3}{RT_{mid}} \text{ adet}$$

(RT_{mid} : 500 ve 1000Hz'de ortalama RT)

(N: Dinleyici sayısı)

(2.1)

Ayrıca salonun dinleyici sayısı, toplam zemin alanına (dinleyici alanı + sahne alanı) göre şu şekilde hesaplanabilmektedir [7]:

$$\text{Toplam zemin alanı} = 0,7N m^2$$

(2.2)

(N: Dinleyici sayısı)

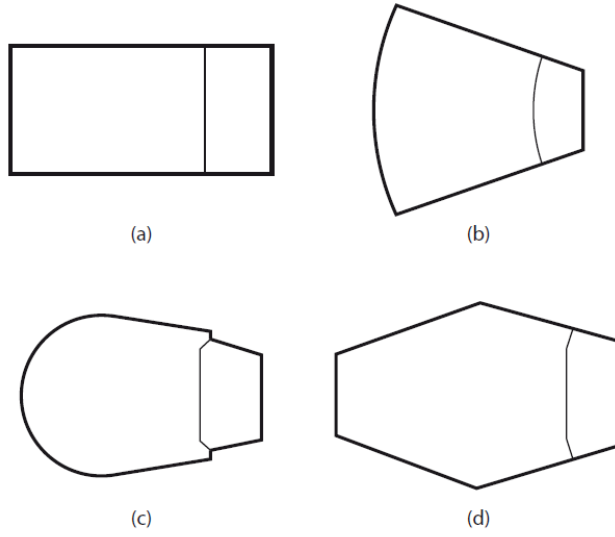
Bunun sebebi akustik konfor düzeyinin artırılması hedeflenen dinleyicilerin kendilerinin ve hava hacminin salon akustiğine ciddi bir etken olarak katılmalarıdır. Kumaş kaplı bir koltuk üzerindeki bir dinleyicinin sağlayabileceği yutuculuk değerleri 500 Hz frekansında 4-5 sabın civarındadır [17]. Bu etki simülasyonla değerlendirilirken, dinleyicilerin oturduğu alan salondaki en önemli ve en büyük yutucu yüzeyi oluşturduğundan, basitçe zeminde kapladıkları alanı ifade eden, hacmin bir tek alt yüzünün tamamen yutucu olduğu varsayılmaktadır.

En iyi konser salonlarında dinleyici kapasitesinin düşük olduğu kabul görmüş bir gerçektir, klasik konser salonlarının kapasitesi 1700 - 2600 kişi aralığındadır. Tercih edilen kapasite aralığı olan 1700 - 2200 kişilik salonlarda, maksimum akustik kaliteyi yakalamak, büyük rakamlara kıyasla daha kolaydır ve 2600' ün üzerine çıkıldıkça başarı şansı düşmektedir. Beranek'in çalışmasında (1996) en iyi olarak değerlendirdiği dokuz salonun ortalama kapasitesi yaklaşık 1850, en kötü sekizinin ise yaklaşık 2800 kişi olduğu görülmektedir [2, 3, 8].

Salonun geometrik biçimi

Salonun akustik kalitesinde en etkin kriterlerden bir diğeri olan geometrik biçim, dinleyici sayısına uygun olarak, sesin salonun arkalarına doğru yönlendirilerek tüm salona istenilen nitelikte ve homojen yayılmasını destekleyecek şekilde belirlenmelidir. Gerçekte konuşma ya da müzik, kaynağın sabit olduğu bir pozisyon

üzerinden yayılmadığından salon şekli, dinleme alanına birkaç kaynak pozisyonundan gelecek olan seslerin dağılımı ile uyumlu olmalıdır. Konser salonu tasarımında en çok karşılaştığımız biçimler Şekil 2.18’de verildiği gibi ayakkabı kutusu, yelpaze, karo ve at nalı biçimleridir. Bunların arasından ayakkabı kutusu yani dikdörtgen zemin planlı olanın en iyi ve en tutarlı performansa sahip olduğu kabul görmüş bir gerçektir [3, 7, 13, 18].



Şekil 2.18. Konser salonları için temel plan biçimleri [18]

Ayakkabı kutusu biçimli konser salonlarının doğması ve gelişmesi Avrupa’daki Geleneksel Batı Müziği ile ilintilidir. Saraylardaki balo salonlarına benzeyen, dikdörtgen planlı, oratoryo adı verilen yerlerde sahnelenen Ortaçağ ve Rönesans müzik performansları, konserlerin saraylardan dışarı çıkmasıyla, yeni yeni ortaya çıkan orta sınıfın katıldığı konserlere dönüşmüştür. Bu şekilde oratoryoların kopyalanmasıyla ilk konser salonları doğmuştur. Müzik enstrümanlarının tasarımı ile de benzer şekilde, konser salonları tasarımı hakkında birçok bilgi olmasına rağmen, iyi olduğu kabul edilmiş eski örneklerin tekrarlanmasıyla, ayakkabı kutusu yaklaşımı en çok tutulan biçim haline gelmiştir [2].

Birçok modern akustik danışman da, salon çok büyük değil ise, ayakkabı kutusu yaklaşımının yan yansımalarına katkısı olduğu konusunda hemfikirdir. Çünkü bu plan

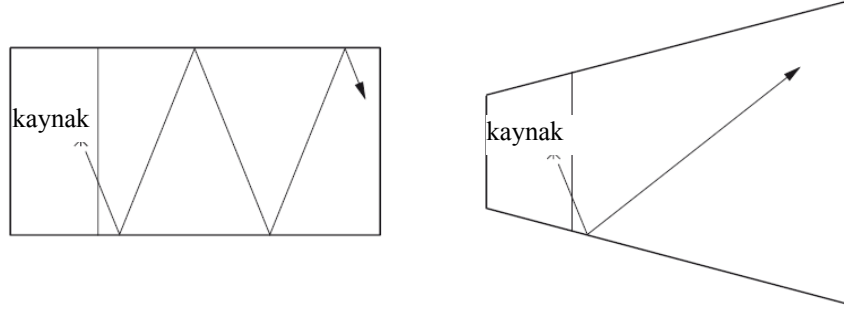
biçiminde, yan duvarlarının birbirine paralel ve yakın olmasından dolayı, salondaki ses kalitesi için gerekli olan güçlü yan yansımalar ve erken yansımalar için uzun sönümlenme süreleri sağlanmaktadır. Bu da özellikle salonda mekansal algılama ve dinleyicilerin kuşatılması hissini güçlendirmektedir. Beranek'in konser salonlarını incelediği çalışmasında, en başarılı bulduğu sekiz salondan altısı bu temel biçimdedir. Günümüzde dar en, düşük oturma kapasitesi, üstlerde yansıtıcılar gibi geleneksel özellikler ile beraber ilginç tasarım elemanlarının kombinasyonu ile bu biçimin uygulanmasına devam edilmektedir [2, 3, 8].

Burada dikkat çekmesi gereken husus, eski ve yeni salonlarda, saçıcı nitelikte düzensiz yüzeylerin varlığıdır. Çünkü bu formda akustik başarı için, özellikle yeterli saçılma ve dağılma olmalıdır. Eski salonlarda yan ve arka balkonlar, daha eski salonlarda nişlerle ve heykellerle detaylı modülasyonlar, yeni salonlarda ise tavan ve duvar alanlarında hesaplanmış yüzey modülasyonları düzgün geometriyi bozmakta, böylece salon içinde sesin daha homojen dağıtılmasına olanak tanımaktadır [2].

Ancak modern ayakkabı kutusu plan şemasının, arzu edilen birçok temel parametrenin sağlanması için iyi bir başlangıç olduğu bilinse de akustik tasarımda, performans alanı (sahne ve çevresinin) konfigürasyonu, uygun hacim, yankı kontrolü, yeterli saçılma, iyi bir kuşatılma ve iyi görüş açıları gibi diğer tüm faktörler dikkate alınmalıdır. Örneğin bu biçim en fazla 2000 ila 2500 kapasiteli konser salonları için uygulanmalıdır. Çünkü erken yansımalar üretebilmek için dar tutulan salonda oturma kapasitesinin artırılmaya çalışılması, arka duvarın sahneden çok uzaklaşmasına ve akustik üstünlüğe bakmaksızın görsel yakınlığın bozulmasına sebep olacaktır. Ayrıca ayakkabı kutusu salonlar, dinleyici memnuniyeti açısından olumlu yanıt verse de performans alanı üzerinde uygun bir yükseklikte büyük ses yansıtıcı yüzeyler olmadan, sahne tavanı yüksek olduğundan ideal kondisyonu sağlayamazlar. Sahnedeki oyuncuların iletişimini zorlaştıran yüksek sahne tavanları, bu salonlarda performans kalitesini düşürmektedir [2].

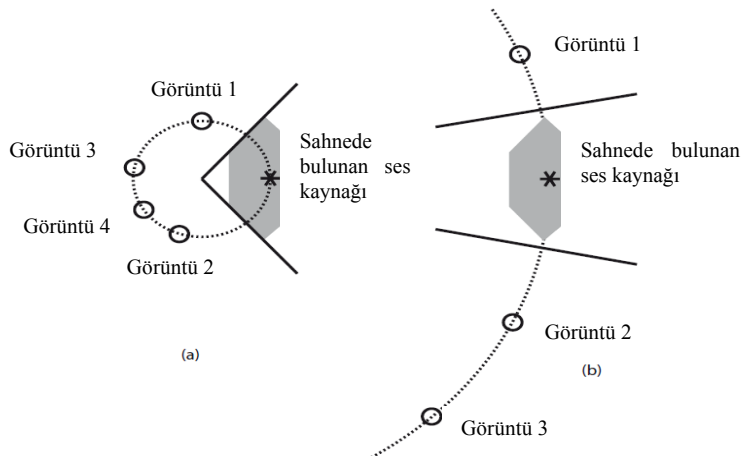
Ayakkabı kutusu biçiminde yaşanabilen bu olumsuz durumlar, mimarın yaratıcılığı ve eski formları kopyalamayı reddeden doğal eğilimine eklenerek, bu biçimin akustik

başarı için tek çözüm olmadığını gösteren yeni denemelere öncülük etmiştir ve zamanla farklı biçimlerde salonlar tasarlanmıştır. Dinleyicileri sahnenin daha yakınına alma isteği, geniş yelpaze biçimli ve dairesel salonlara kadar uzanmıştır [2].



Şekil 2.19. Işın diyagramı yöntemi ile plan biçimine göre yansıma analizi [18]

Yelpaze plan şeması, kuvvetli yan yansımalar sağlayamaması ve geniş açılı duvarlarının görüntü kaynağı yalnızca bir bölgede yoğunlaştırmasıyla (Şekil 2.20) dinleyicilerin algıladığı kaynak genişliğinin küçülmesine sebep olduğundan, müzik salonları için tavsiye edilmemektedir. Ayrıca bu geometrinin içbükey bir arka duvarla tamamlanmasının odaklanmaya sebep olması ve arka sıralardaki dinleyici sayısının artmasıyla, ortalarda oturan dinleyicilerin yan yansılardan tamamen mahrum kalması da bu biçimin getirdiği olumsuz durumlardır [18].



Şekil 2.20. Yan yüzeye göre görüntü kaynak pozisyonları [18]

At nalı plan şeması, daha çok tiyatro ve operalar için yaygın kullanılan bir biçimdir. Müzik için, alanı büyülterek yeterli reverberasyon süresi sağlayabilmesi durumunda kısmen tavsiye edilmektedir. Ancak bu biçimde de yansımaların zayıflaması ve arka duvarın içbükey olmasından dolayı meydana gelecek odaklanmalar, akustik kaliteyi düşürecektir [18].

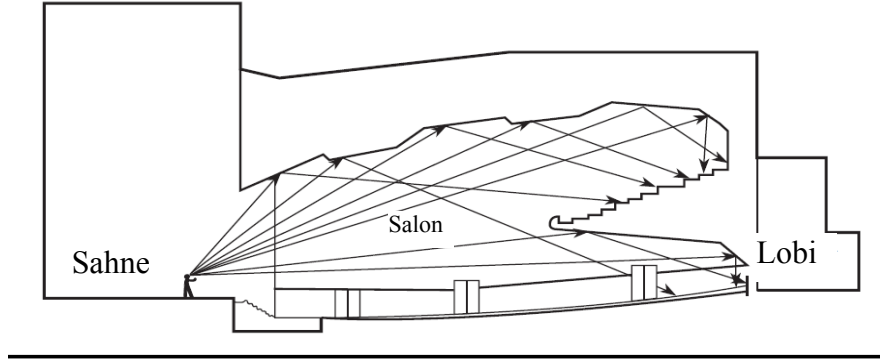
Merkezi plan şemasında arena salonlar, genellikle coşku verici görünüşleri sebebiyle, mimarları ile ün kazanmış salonlardır. Temel salon biçimlerinden herhangi biri, orkestra platformunun salonun merkezine taşınması ve arka ve yan koltukların ona çevrilmesiyle arena biçimine dönüştürülebilir. Tüm detaylarıyla ilgi gören salon bu biçimi, mimara daha fazla ifade özüllüğü verebilir, ancak akustik tutarlılığı standart formlara göre daha azdır. Bazı akustik danışmanlar, arena tipi konser salonlarının, orkestra arkasındaki oturma alanı nispeten az değilse veya elektronik ilave donanımların bilinçli kullanımıyla akustik kalite iyileştirilmemiş ise temel tasarımda en iyi seçenek olmadığını belirtmektedir. Çünkü müzikal enstrümanlar ve insan sesi doğrultusaldır ve geleneksel sanatçı-dinleyici ilişkisi bunu hesaba katmaktadır. İyi akustik koşullar, ilk etapta dinleyicilerin orkestraya dönük olmasıyla başarılabilir. Yanda oturulduğunda, orkestra dengesi değişecektir ve geleneksel sahne tipolojisi yeniden düzenlenmelidir. Dinleyici orkestranın arkasında yer aldığında mekansal ilişkiler tersine dönecek ve akustik denge kaybolacaktır. Örneğin kornolar baskın çıkarken vokalistlerin duyulması güçleşecek, şarkıcılar arkaya ve daha ileri ses yayamayacaktır. Ancak akustikleri bir yana, arena salonlar yine de arena konfigürasyonlar birçok dinleyiciyi cezbetmektedir. Bu formun en tipik örneği, göz kamaştırıcı bir görünüme sahip ancak akustiği yetersiz bulunan Berlin Filarmoni Salonu'dur. Burada akustik sorunları giderebilmek için, ses enerjisini dağıtan, düzensiz duvar ve tavan yüzeylerini tamamlayacak şekilde yönlendirilmiş paneller tasarlanmıştır [3, 2].

Salonun boyutları

Konser salonlarında akustik performansını en çok etkileyen mimari parametre olan hacmin boyutlandırılması, tasarımcıların karşılaştığı en büyük sorunlardan biridir.

Salonun en, boy ve yükseklik oranlarının her biri akustik performansını ayrı ayrı etkilemektedir.

Salon boyutlarından tavan yüksekliği genellikle gerekli toplam salon hacmi baz alınarak belirlenmektedir. Genel bir ifade ile tavan yüksekliği salon genişliğinin üçte biri ile üçte ikisi arasında olmalıdır, daha küçük oranlar çok büyük salonlar için, daha yüksek oranlar ise küçük salonlar için kullanılmaktadır. Tavanın çok yüksek olması salon hacminin, dolayısıyla reverberasyon süresinin büyük olmasını sağlasa da istenmeyen gecikmiş yansımalar da meydana getirebilmektedir. Ayrıca olası vurgusal yankılardan kaçınmak için düz ve yansıtıcı bir tavan, zemine paralel olmamalıdır (Şekil 2.21) [7].



Şekil 2.21. Yansıyan sesi salona yönlendirmeyi sağlayan tavan geometrisi örneği [7]

Salon boyutlandırılırken dikkat edilecek bir diğer husus, alıcı ve kaynak arasındaki mesafenin çok uzun tutulmaması, yani salonun orantısız şekilde uzun olmamasıdır. Çünkü her dinleyici noktasında yansıyan ses ve dolaysız sesin kat ettiği yolların uzunluk cinsinden farkı, işitilme sürelerini etkilemektedir. Örneğin yansıyan bir ses dalgası, ortalama, dolaysız sesin duyulmasının ardından $1/17$ sn (~ 0.06 sn) veya daha sonra duyulursa yankı olarak algılanmaktadır [13].

Bir alıcı noktasına ulaşan sesler arasındaki mesafe farkı (uzunluk cinsinden), yansıyan sesin aldığı yoldan dolaysız sesin aldığı yolun çıkarılması ile bulunmaktadır. Görsel algı ile işitsel algı arasındaki bağ da bu kriterin önemini artırmaktadır.

Bu durumlarda;

- Dinleyiciler için balkon yapılması
- Oturma alanının eğimli yapılması
- Plan şemasının genişletilmesi
- Uzun mesafelerden gelecek yansımaların önlenmesi için salonun arka duvarının yutucu yapılması

gibi düzenlemeler gerekmektedir.

Salon hacmi

Salonun hacmi, reverberasyon süresini ve hacim içerisinde yayılacak olan sesin yüksekliğini (mesafe ve havanın yutuculuğu sebebiyle), kaynaktan çıkan ses düzeyi ile birlikte doğrudan etkileyen bir faktördür. Örneğin dinleyici sayısı az olan salonlarda aşırı yüksek sesi kontrol etmek için kişi başına daha yüksek hacim gerekirken, daha yüksek kapasitelerde (özellikle balkon var ise) kişi başına düşen hacmin düşük olması, ses enerjisini korumada yardımcı olmaktadır. Özellikle hacmin işlevine uygun reverberasyon süresine ve salon kapasitesine göre belirlenmesi gereken salon hacmi, toplam salon hacmi veya kişi başına düşen minimum hacim olarak iki şekilde hesaplanabilmektedir. Genellikle koltuk sayısının artırılması amacıyla kişi başına düşen hacmin azaltılmasına yönelik bir eğilim olsa da her salon tasarımcısının kendi tercihi olan ve iyi sonuçlar veren hacim değerleri geniş bir aralıktadır. Konser salonları için dinleyici başına olması gereken hacim değerlerini Long en az - 6.2 m^3 , orta - 7.8 m^3 , en fazla - 10.8 m^3 olarak, Everest ise $5.6\text{-}11 \text{ m}^3$ aralığında önermektedir [3, 7].

2.3.2. İç yüzeylerde kullanılan malzemeler

Bir konser salonu, sahne ve oturma alanının bulunduğu kabuğun içindeki tüm kullanıcılar için konfor ve güven sağlarken, sanatçı, müzisyen ve dinleyicilerin özel akustik gereksinimlerini karşılamalıdır [7]. Akustik parametrelerin optimum değerlerinin sağlanması ve muhtemel kusurların önlenmesini hedefleyen akustik tasarımcı, salonun sınırlarını tanımlayan iç yüzeylerinde farklı özelliklerdeki akustik

malzemeleri farklı biçim, boyut ve yönlendirmelerle kullanarak, sesin ortamda en doğru şekilde denetlenmesini sağlamaktadır.

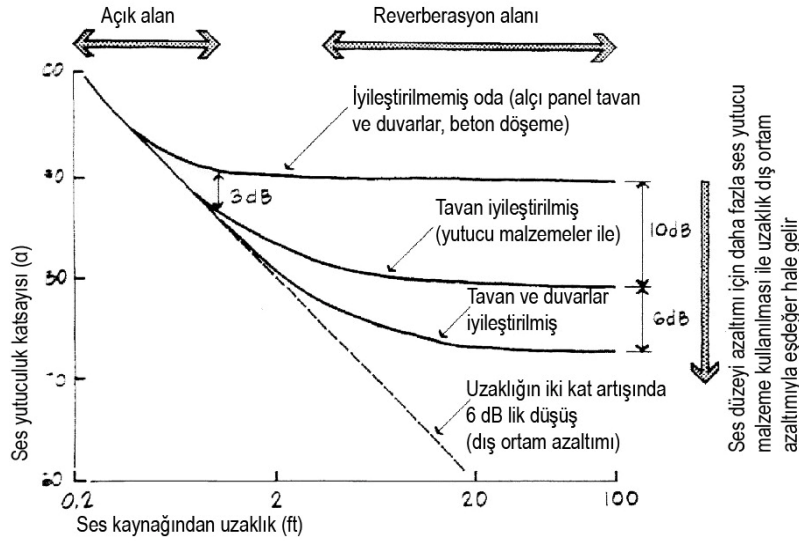
Sesin hacim içerisindeki denetimi, yalnızca sesin azaltımını değil, ses enerjisini korumak isterken hacimde yayılma özelliklerinin kontrolünü de ifade etmektedir, Yansıtıcı ve saçıcı elemanlarla sesin hacim içerisinde kuvvetli ve homojen yayılması sağlanırken, yutulma ve yalıtım yoluyla da ses azaltımı yapılmaktadır. Gürültü kontrolü ise, gürültü istenmeyen ses olarak tanımlandığı için, genellikle sesin azaltımını ifade etmektedir [1].

Her yapı malzemesinin, üzerine gelen sese vereceği yanıt, sesin de özelliklerine bağlı olarak farklıdır, her malzemenin frekansa bağlı akustik nitelikleri vardır. Ahşap paneller, alçı pano, halı ve cam gibi yaygın yapı malzemeleri, sesi farklı şekillerde yutar, yansıtır veya geçirir. Malzemelerin akustik yanıtları, öz niteliklerine (yoğunluk, moleküler yapısı vb.) bağlı olmasının yanında, mekan içindeki kullanım yeri, yüzeyi, şekli ve doğrultularından da etkilenmektedir.

Bu sebeple hacim akustiği çalışmalarında, mekandaki tüm malzemelere, mobilyalara ve dinleyici sayısına karar verilirken, sahne tasarlanırken, sesin hacim içinde nasıl üretilip yayıldığı, yapı malzemelerinden ve elemanlarından nasıl etkilendiği hesaba katılmalıdır. Özellikle yansıma yollarının, reverberasyonun ve gürültünün kontrolünde kritik yer tutan bu kararlar, başlangıçtan itibaren nitelikli bir akustik danışman rehberliğinde alınmalıdır [1, 5].

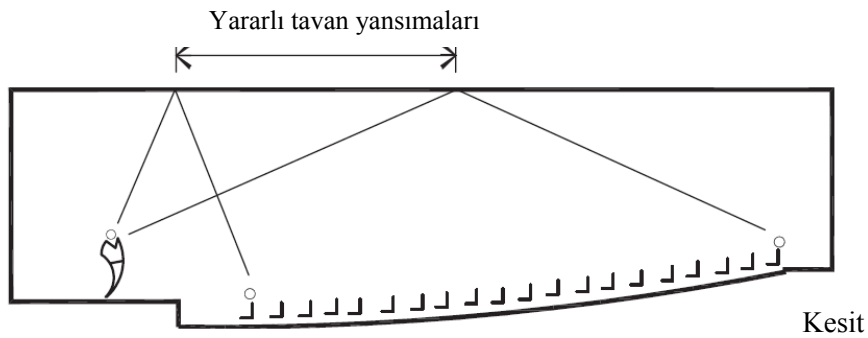
Konser salonlarında ses yansıtıcı ve yutucu panellerin kullanılması, akustik kusurlara yol açtığı düşüncesiyle yanlış anlaşılabilmektedir, ancak bu kusurlar, panellerin kullanılmasından ziyade nicelik ve yönelimlerinin hatalı olmasından dolayı meydana gelmektedir. Örneğin bir dinleyici salonunun duvarlarında yutucu kullanmak, istenmeyen yansımaları giderilmesine yardımcı olabilir ancak ses yutucu malzemelerin gereğinden fazla kullanılmasının hacimdeki ses düzeyini çok düşürdüğüne dikkat edilmelidir. Küçük bir hacmin tavanına ses yutucu eklenmesi, reverberant ses düzeyini 10 dB azaltabilirken, kaynağa yakın yerlerde uygulanması 3

dB azaltacaktır. Reverberant alandaki ses düzeyi, tavan ve duvarlar ses yutucu malzemelerle kaplandığında ek olarak 6 dB daha düşerken, kaynak yakınında (serbest alanda) bu uygulamadan etkilenmez. Aşağıdaki grafikte, ayrıca tamamen ses yansıtıcılarla çevrelenen hacme, enerjisini yutması için mobilya eklendiğinde reverberant ses düzeyinde 6-8 dB’lik bir azalma olduğu görülmektedir [1, 13].

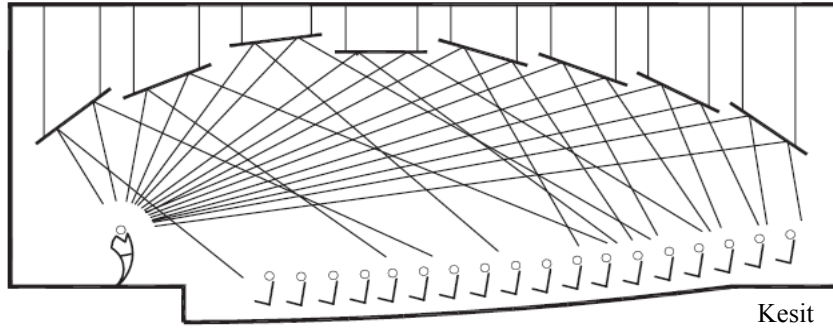


Şekil 2.22. Hacim içinde yutucu uygulamasının ses azaltımına etkisi [13]

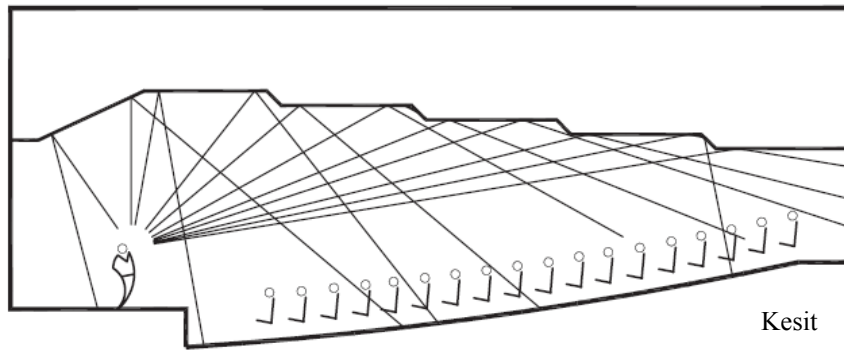
Ses yansıtıcı paneller, akustik tasarımda öncelikle içbükey yüzeylerde odaklanmaları düzeltmek ve sesin dağılımını güçlendirmek için ve büyük hacimlerde erken yansılardan etkin yararlanmak için kullanılmaktadır. Ayakkabı kutusu biçimli salonlarda da, sahnede sanatçılar için ve erken yansımaların yeterince hızlı ulaşmadığı ön koltukların üzerinde bu panellerden faydalanılmaktadır [2].



Şekil 2.23. Düz tavandan yansıyan sesler [3]



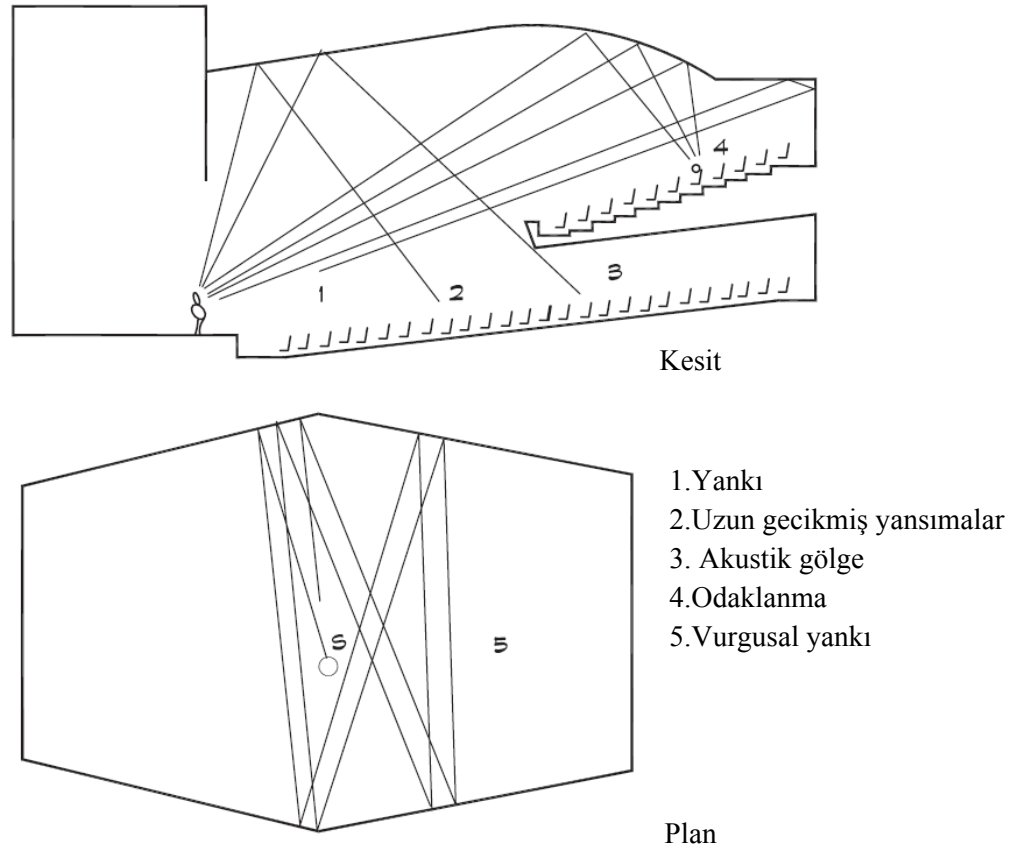
Şekil 2.24. Parçalı tavadan yansıyan sesler [3]



Şekil 2.25. Basamaklı tavadan yansıyan sesler [3]

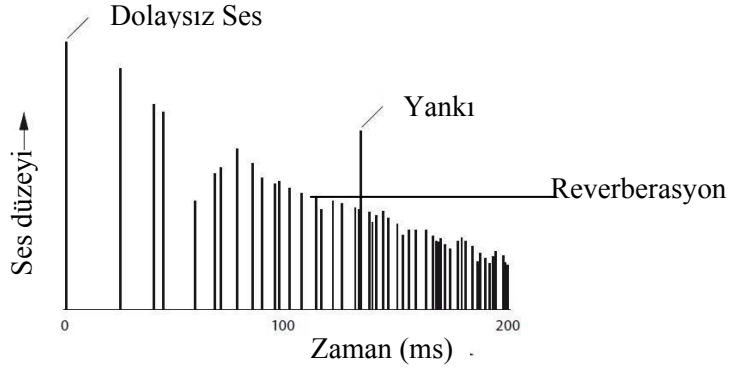
Salon tavanı, sesi alıcı noktalara yansıtmak için, farklı boyutlarda ve açılarda yönlendirilmiş panellerle düzenlenebilmektedir (Şekil 2.24, 2.25). Örneğin tavanın sahneye yakın kısımları sesi ön sıralara, uzak kısımları arka sıralara ulaştırabilir. Salon tasarlanırken, tavan farklı kesitlerde yükseltip alçaltılarak akustik düzenlemesi yapılmalıdır [7].

Kapalı mekanlarda salonun iç yüzeylerinden yansıyan sesler, salonda olumlu ya da olumsuz akustik olaylar meydana getirerek çeşitli işitme koşulları sağladığı gibi, birçok potansiyel problemi de beraberinde getirmektedir (Şekil 2.26) [2].



Şekil 2.26. Kapalı hacimlerde meydana gelebilecek akustik kusurlar [3]

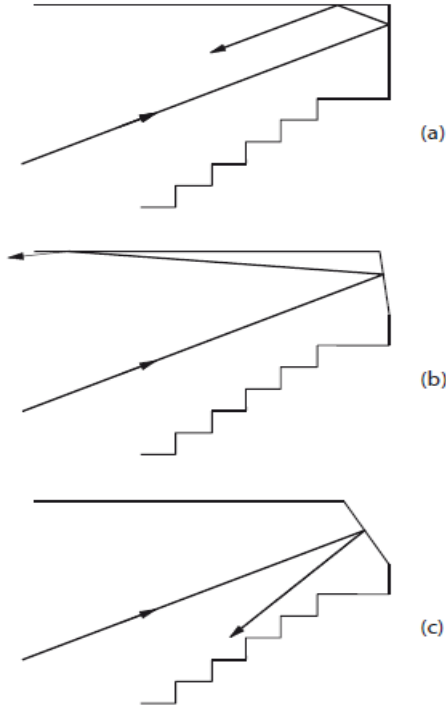
Odaklanma, içbükey yansıtıcı yüzeylere gelen ses ışınlarının yansımalarının, hacim içinde bir noktada ya da alanda toplanarak ikincil bir ses kaynağı oluşturduğu akustik kusurdur. Salon içinde, odaklanmaya sebep olabilen kubbe, tonoz ve silindirik kemerler gibi konkav yüzeyler dikkatli kullanılmalıdır. Arka duvarın çok büyük, tek parça ve içbükey ve yan duvarların paralel olmasından kaçınılmalıdır. Bu durum, duvar yüzeylerinin dışa doğru şaşırtılmasıyla çözülebilir ve bu düzenlemeden yansıyan sesin dinleyici alanına yönlendirilmesinde ve saçılma sağlamada da faydalanılabilmektedir. İçbükey gibi istenmeyen biçim ve açılarda olması istenen yüzeyler, yutucu malzemelerle kaplanarak olumsuz etkisi önlenebilmektedir [7].



Şekil 2.27. Uyarı yanıtı grafiği üzerinde yankı [18]

Yankı, açıkça duyulabilen ve tanımlanabilen ayrı ses yansımalarıdır ve üretilen sesleri işitme mekanizmamızın sınırlı olmasından kaynaklanan bir akustik kusurdur. İki sesin kulağa ulaşma süreleri arasındaki fark 60 ms' den az ise, iki sesin birleşimini tek ses gibi duyulurken, bu fark 60 ms' i aştığında iki ayrı ses duyulmaktadır. Bu iki ses tek bir kaynaktan çıkıyor ise, yankı olarak adlandırılan bu etki (özellikle fark 100 ms' den büyük ise) konuşmanın anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu tür gecikmeler, kişi, biri kaynaktan, diğeri yansıtıcı yüzeyden gelen iki ayrı ses duyduğunda meydana gelmektedir. Bir hacimde tüm yüzeylerden gelen birçok yansıma ise reverberasyon olarak bilinen ses olayını meydana getirerek sese farklı ve müzikte istenen bir etki katmaktadır [1, 18]

Vurgusal yankı; paralel yüzeyler uzun ve birbirine yakın olduğunda, hızlı ve ardı ardına, orta frekanslarda yankılar oluşmasıdır. Hacim içi rezonans, belirli frekanslarda, birbirine paralel yansıtıcı iki duvarı olan hacimlerde meydana gelir. Bu olayın iki ve üç boyutta meydana geldiği durumlar, sürekli ses dalgasıyla, hacim içinde düzensiz ses dağılımına sebep olmaktadır [1].



Şekil 2.28. Bir dinleyici salonunda arka duvar ve tavandan kaynaklanan yankı [18]

Kapalı mekanlarda ses enerjisi kaybı olmadan bu tür akustik kusurların ortadan kaldırılabilmesi başta olmak üzere, hacimde ölü alanların oluşmaması ve yeterli ses dağılımının sağlanması için saçılma ve dağılma, son derece önemli bir niteliktir. Bu da, ses saçıcı-dağıtıcı elemanların veya ardışık farklı malzemelerin, pürüzlü yüzeylerin (süslemeler gibi) kullanılması ve yutucuların düzensiz olarak yerleştirilmesi gibi uygulamalarla sağlanabilmektedir. Büyük hacimlerde sesin düzgün dağılımı için tekrar yönlendirilmesi (redirection) ve saçılması - dağıtılması (diffussion) iyi sonuçlar vermektedir [1].

2.3.3. Özel tasarım gerektiren yerler

Dinleyici alanının düzenlenmesi

Konser salonlarında oturma alanı, tipik salonlarda en düşük seviyesi orkestra hizasında ve genişliğinde olmak üzere arkaya doğru yükselen, bazı salonlarda balkonlarda da yer alan, dinleyici koltuklarının bulunduğu bölümdür [3]. Dinleyiciler

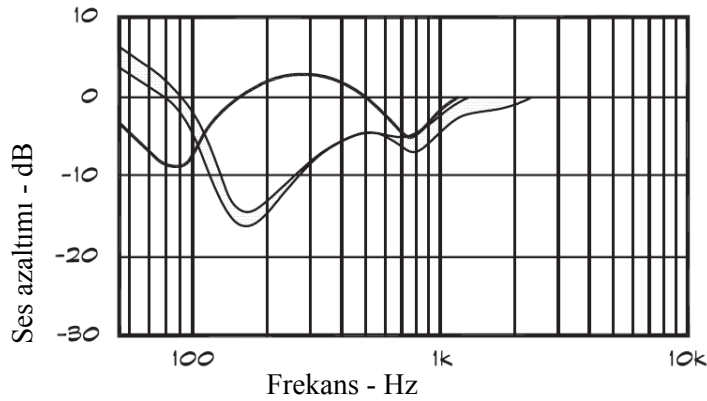
için işitsel, görsel ve fiziksel konforun sağlanması için oturma alanının belli kriterlere göre düzenlenmesi gerekmektedir.

Dinleyicilerin oturduğu alan, salon içindeki en büyük yutucu yüzeyi oluşturmaktadır. Bir dinleyici alanının genel toplam yutuculuğu, koltukların sayısından çok dinleyici ile işgal edilen zemin alanına bağlıdır. Bu sebeple Beranek, minimum salon hacminde konser işlevi için yeterli reverberasyon sağlayabilmek için oturma alanının en aza indirilmesinin önemini vurgulamış ve salon hacminin oturma alanına oranının, koltuk başına düşen hacmin hesabına göre daha doğru ve işlevsel bir sonuç verdiğini belirtmiştir. Ayrıca bu alan hesaplanırken, koltuk kenarlarının yutuculuğunun da hesaplanması için her yandan 0,5m kadar (veya koltuk sıraları arasındaki koridor genişliğinin yarısı kadar) artırılmalıdır [3].

İkinci olarak,

- Dinleyicilerin sahneye olan uzaklığını çok artırmadan salon kapasitesini yükseltmek
- Koltuk hizasını yükselterek dinleyicilerin sahneyi daha iyi görmesini, böylece performansı daha iyi algılamasını sağlamak
- Dinleyicilerin dolaysız sesi yutma etkilerini en aza indirerek arka sıradakilerin daha fazla dolaysız ses almalarını sağlamak

Amacı ile salonda dinleyici oturma alanının eğimli olması istenmektedir. Döşeme eğimleri, salon boyunca sabit ya da sahne yakınında düz iken ileri doğru basamaklarla yükselmesi gibi, sahneden belli mesafelerde değişken olabilir, ortalama dereceden büyük olmalıdır. Çünkü geniş bir dinleyici alanının üzerinden geçerek yayılan ses, dinleyicilerin baş hizasına dik açıyla geldiğinde, eğimli açıyla gelmesine göre daha az yutulacaktır. Normalde buradan geçen sesin frekans yanıtı da geliş açısı ile büyük oranda ilişkilidir. Mesafeden ve yüksek frekansların dinleyicileri geçmesinden kaynaklanan kayıplarla, tahmin edilenin üzerinde bir enerji düşüşü görülecektir. Bu kayıp 125 Hz’ de belirginleşir ve frekans yanıt eğrisinde derin 10-15 dB arasında derin bir çöküntü gibi görünecektir (Şekil 2.29) [3, 7, 13].



Şekil 2.29. Salonlarda dinleyici alanının yutuculuk etkisinin grafik gösterimi [3]

Koltuklar sebebiyle öz dirençteki değişimle ilişkilendirilen bu yutuculuk etkisine bazı geometrik alternatiflerle çözümler önerilmiştir. Böyle bir düşük frekans yanıtı daha çok dolaysız ve erken ulaşan sesler için dile getirilmektedir ve etkilerini azaltmanın bir yolu, erken reverberant enerjide de düşük frekanslı destek tasarlamak, bir başka deyişle tavandan veya yukarıda asılı yansıtıcılardan güçlü yansımalar sağlamaktır. Bu düşüşü minimize etmenin bir diğer yolu da döşeme eğimini artırmak ya da arena salonlarda, koltukları üzüm bağı ve basamaklı oturma düzeni şeklinde adlandırılan, yukarı doğru yükselen basamaklı ve dikdörtgen biçimin akustik etkisini sağlamak için alçak yan duvarlarla ayrılmış kümelerde gruplandırmaktır. Ayrıca sahnenin yükseltilmesi de doğru bir yaklaşımdır [3, 7].

Salonlarda sağlanan tutarlı, yeterli akustik ortamın, koltukların boş ya da dolu olması durumunda da sürdürülmesi ve ayrıca prova ve performans sırasındaki akustik kalite farkının az olması için koltuk seçimi son derece önemlidir. Dinleyici sayısı ne olursa olsun yutuculuk özellikleri, orada oturan dinleyicilere en yakın, kaplanmış ve minderli koltukların kullanılması gerekmektedir. Çünkü koltukların yutuculuk katsayısı, minder kalınlığına bağlı olarak ciddi derecede çeşitlilik göstermektedir. Beranek ve Hidaka, minderli koltukların yutuculuk katsayılarını değerlendirmek üzere, 10 salonda koltukların yerleştirilip monte edilmesinden önce ve sonra alınmış ölçümlere dayanan, kapsamlı çalışma yapmışlardır. Salonun dolu ve boş koşullarında da ayrı ayrı ölçülüp değerlendirilmesiyle elde edilmiş ve minder kalınlığı ile yoğunluğuna göre gruplandırılmış sonuçlar Çizelge 2.4' de gösterilmektedir. Burada

farklı kalınlıklarda minderleri olan koltuklar arasında dinleyicilerin oturduğu koşullarda bile fark olması dikkat çekicidir (Minder özellikleri Çizelge 2.5’ de verilmektedir) [3].

Çizelge 2.4. Koltukların merkez frekanslarda ortalama ses yutma katsayıları.

Merkez frekanslarda oktav bantlar		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Dinleyici bulunması	Koltuk türü	Ortalama ses yutma katsayısı					
Boş durum	Kalın	0,70	0,76	0,81	0,84	0,84	0,81
	Orta	0,54	0,62	0,68	0,70	0,68	0,66
	İnce	0,36	0,47	0,57	0,62	0,62	0,60
Dolu durum	Kalın	0,72	0,80	0,86	0,89	0,90	0,90
	Orta	0,62	0,72	0,80	0,83	0,84	0,85
	İnce	0,51	0,64	0,75	0,80	0,82	0,83

Çizelge 2.5. Koltuk türlerinin belirlenmesi

Koltuk Türü	Koltuk arkasının ön yüzü	Koltuk arkasının arka yüzü	Oturma yerinin üst yüzü	Kolçak
Kalın	7,5 cm	Bazen	10 cm	2 cm
Orta	2,5 cm	0	5 cm	Sert
İnce	1,5 cm	0	2,5 cm	Sert

Sahne ve orkestra çukuru

Salonda müzisyenler için ayrılan alan, iyi duyabilecekleri ve duyulabilecekleri şekilde tasarlanmalıdır. Konser salonu tasarımında orkestranın kendini duyabilmesi meselesi, yeterli ses düzeyi, baslar ve birliktelik parametreleri başta olmak üzere, salonunun ve üretilen müziğin kalitesinde son derece etkilidir [3].

Konser salonlarında müzisyen ve dinleyici alanı birbirinden ayrı tutulmamalıdır, plan şemasına göre salonun ortasında veya bir ucunda yer alan orkestra bir platform üzerinde yükseltilebilir, koro ve org için sahnenin arka kısmında yer ayrılabilir. Sahneyi orkestra kabuğu adı verilen yansıtıcılarla çevrelemek ve sanatçıları sahne arkası duvara yakın yerleştirmek (sahnenin çok derin olamaması şartıyla), güçlü yansımaların desteklenmesiyle müzisyenlerin kendilerini ve birbirlerini

duyabilmelerini ve salona erken sesin daha iyi yönlendirilmesini sağlayacağından olumlu bir yaklaşımdır. Orkestranın salonun merkezine yakın konumlandığı plan şemalarında, tavan yansımaları yeterince güçlü olmadığından orkestral dengenin sağlanması daha zordur. Özellikle böyle durumlarda sahne arkasından istenen kuvvetli yansımaların telafi edilmesi için tavana, müzisyenlerin yaklaşık 6 - 8 m üstünde yer alacak şekilde, genellikle dışbükey ve kuvvetli yansıtma özelliği olan paneller asılması gerekmektedir [3].

Salonlarda sahne alanının büyüklüğü, mekansal ve işitsel konfor koşullarının arasında bir uyum neticesinde belirlenmelidir. Bir sahnenin mükemmel akustiğe sahip olması için müzisyenlere küçük bir alan ayrılması şartı yoktur ancak küçük sahnelerin daha iyi ses ürettiği de bilinen bir gerçektir. Müzisyenlerin birbirlerinden uzaklaşma ve dinleyicilere doğru açılma tercihi ve şeflerin orkestranın dinleyicilerin arasına doğru kaymasının sesi güçlendireceği düşüncesi yanlıştır. Müzisyenleri birbirine ve çevreleyici platform kabuğunun arka duvarına (çok derin olmaması şartıyla) yakın tutmak akustik açıdan daha faydalıdır, orkestra platformu için en fazla 10 - 12 m, ortalama bir derinlik ve yaklaşık 17 m genişlik uygundur [3].

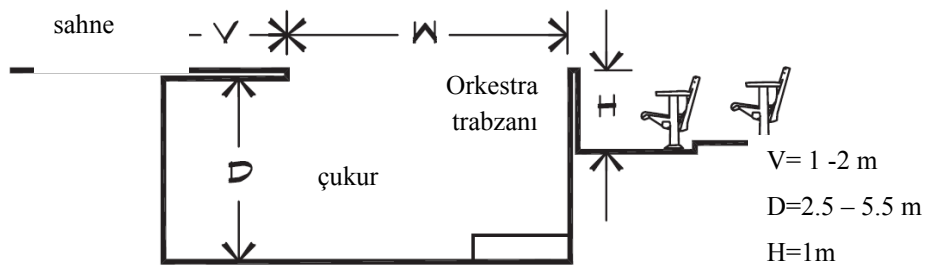
Beranek, 100 kişilik bir orkestrada kişi başına 1.9 m^2 (toplam 190 m^2) sahne boyutu önermiştir. En iyi salonların çoğunda sahnelerin belirgin şekilde küçük olması bu boyutu desteklemektedir (Örneğin Viyana Musikvereinssaal'da 163 m^2 , Amsterdam'da 160 m^2 ve Boston'da 152 m^2). Barron ise, 100 kişilik orkestra için 150 m^2 bir alanın gerektiğini hesaplamıştır ve Beranek'in 190 m^2 ölçütünü de ayrıca önermekte, ayrıca soloistler, orkestra önündeki 1m' lik bant ve yükselticilerden kaynaklanan kayıplar için de yer ayırmaktadır. Barron (1993) koro üyeleri için kişi başına $0,5 \text{ m}^2$ gerektiğini hesaplamıştır. Böylece 100 sesli bir koro, ek olarak 50 m^2 yer işgal etmektedir. Koro, orkestranın arkasında veya bir yanında, kullanılmadığında dinleyicilerin kullanabileceği bir yerde bulunmaktadır [3].

Sahne boyutlandırılması için Barron (1993) tarafından, enstrüman türlerine göre çeşitlilik gösteren bir zemin alanı önerileri aşağıda verilmektedir:

- 1.25 m²: Uzun yaylılar ve üflemeli enstrümanlar için
- 1.50 m²: Çello ve daha büyük üflemeli enstrümanlar için
- 1.80 m²: Çift baslar için
- 10 m²: Timpani için
- 20 m²: Diğer perküsyon için [3].

Orkestra çukuru normalde ana konser salonunun bir bölümü olmasa da opera salonları ve çok amaçlı kullanımlarda son derece önemlidir. Çukurun şarkıcılara oranla orkestranın ses yüksekliğini azaltma işlevi vardır ve müzisyenlere, dinleyicilerin görüş alanının dışındayken şef tarafından izlenebilecekleri bir yer sağlar. Çukurdaki müzisyenler birbirlerini ve şarkıcıları duyabilmelidirler ve dönüşümlü söyleyecek şarkıcılar ses düzeylerini diğerine göre ayarlayabilmek için orkestrayı iyi duyabilmelidirler [3].

Orkestra çukurunda özellikle çukur kısmen kapalı olduğunda çok yüksek olabilen ses seviyeleri, yutucu malzemelerle düşürülebilse de bu uygulama aynı zamanda müzisyenler arasındaki iletişimi de azaltacaktır. Çukur tasarımında arzu edilen ses düzeyinin kontrolü, salon boyutu, orkestra boyutu, sanatçılara ve müzik türüne bağlıdır. Çukurda ihtiyaç duyulan alan platform için gerekenden biraz daha azdır (müzisyen başına yaklaşık 1,5 – 1.7m²). Birkaç istisna dışında çukur orkestraları, konser orkestralarından daha küçüktür. Açık veya kısmen kapalı orkestra çukuru konfigürasyonları şekil 2.30’da verilmektedir [3].



Şekil 2.30. Tip orkestra çukuru boyutları [3]

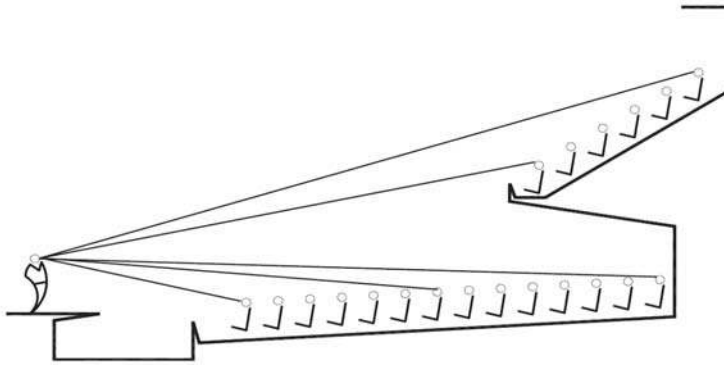
Orkestra trabzanının üstü, sahne ile eş yüksekliktedir. Çukur zemini asansörlü ise, sahneye doğru kaldırılabilir. Sahnenin önünde yer alan açık çukurlar, çift baslar için

uygun derinlikte (2,5 - 3,5 m) olmalıdır. Açık tipin avantajı, orkestra sesinin engellenmemesi ve müzisyenlerin şarkıcıları ve salondaki sesi duyma olanağını artırmasıdır. Dezavantajları ise, orkestranın şarkıcıları bastırması, müzisyenler arasındaki iletişimi zayıflatması ve müzik stantlarındaki ışıkları dinleyicilerin görmesi sebebiyle konforu düşürmesidir [3].

Kapalı çukurun da kendi bir dizi tasarım problemleri vardır. Orkestra, açık çukurlarda olmayan ve 5m veya daha fazla çıkmanın büyüklüğüne bağlı olarak, sahne üzerindeki aktivitelerden ve dinleyicilerden izole durumdadır. Büyük çıkmalı sahnesi olan orkestraların, çift eğrili ayrı reverberant alanları olan kendi akustik ortamları vardır. Çukurdaki gecikmiş reverberasyon, ses ana salona yayılıp geri buraya döndüğünden, salonun akustik karakterini yansıtacaktır. Barron (1993) orkestra çukuru için sönümlenme eğrisinin ilk kısımlarında RT aralığı olarak 0.35 - 0.7 sn aralığını vermektedir [3].

Balkon ve localar

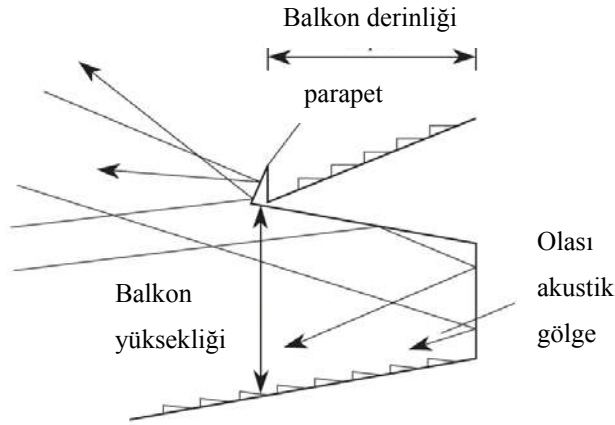
Balkonlar, konser salonlarında genel tasarım prensipleri çerçevesinde salonun kapasitesini artırırken, uzunluğunu yani dinleyici ile sahne arasındaki mesafeyi kısa tutarak, görüş açılarının gelişmesini ve erken seslerin ulaşmasını sağladığından tercih edilen çıkmalardır (Bkz. Şekil 2.31).



Şekil 2.31. Balkonlarda sağlanan iyi görüş ve iyi dolaysız ses açıları [3]

Salonun akustiğini, hacmi düşeyde farklı mekanlara bölerek etkileyen balkonlar,

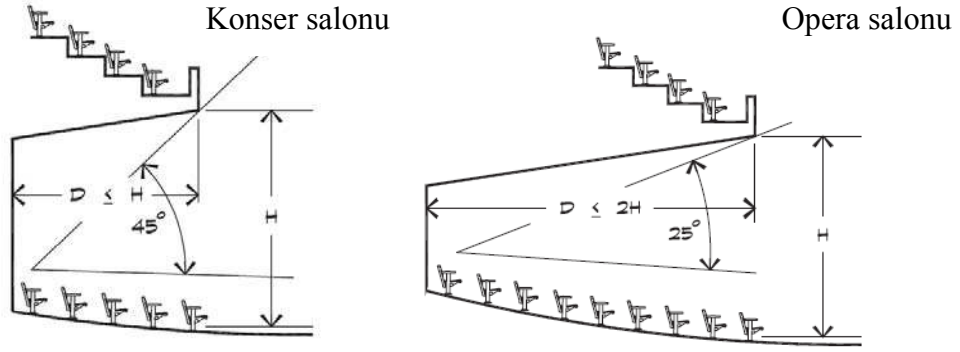
- Altına daha az ses enerjisi ulaşacağından akustik gölge oluşturmaları
- Derinliğine bağlı olarak altında daha az reverberant ses meydana gelmesi yani reverberasyon süresinin düşük olması
- Büyüklüğü oranında salonun ana bölümündeki dinleyiciye ulaşan reverberant enerjiyi keserek ve erken sönümlenme süresini (EDT) kısaltması
- Dinleyicilerin kuşatılması hissini daha düşük olması gibi akustik problemlere de yol açabilmektedir (Şekil 2.32).



Şekil 2.32. Balkon tasarımında dikkat edilmesi gereken konular [7]

Bu sebeple balkon tasarımında şu kriterlere uyulmalıdır:

- Balkon derinliği balkon altı yüksekliğinin iki katından az olmalıdır. İdeali, derinliğin yükseklikten fazla olmamasıdır (Şekil 2.33).
- Altında bulunan oturma alanı olabildiğince sık ve ön açıklığı yüksek olmalıdır.
- Balkon altı, dolaysız sesi kuvvetlendirmek için yansıtıcı olmalıdır.
- Parapetin ön kısmı istenmeyen yansımaları engellemelidir.
- Doğrudan görüş açısı sağlamak için, en arkadaki dinleyici ve yukarıda asılı yansıtıcı yüzeyler ve dinleyici arasındaki açının konser salonlarında 45° den, opera salonlarında 25° den az olmaması gerekmektedir [3, 7, 13].



Şekil 2.33. Balkon tasarımında boyutlar [3]

Knudsen (1965), reverberant enerjinin üst balkonların arkalarından geçip altında oturanlara ulaşabildiği, arka koltuklardaki dinleyicilerin oturma alanındakilerle aynı kuşatılma hissini algıladığı bir uçan balkon tasarlamıştır. Ayrıca balkon altlarında yapılan yarı silindirik girintiler, bazı lokal reverberant odaklanmalar yaratarak reverberant ses kaybını telafi etmeye, balkonun ön tarafındaki parapet de ses enerjisi elde etmede ve onu arkaya yansıtmada da yardımcı olabilmektedir [3]. Balkon önü parapeti, oturma alanlarındaki ses kalitesini etkileyecek yansımalarından kaçınacak şekilde tasarlanmalıdır, bu özellikle balkonun planı konkav biçimdeyse doğrudur. İç yüzey malzemelerinin düzenlenmesinde ek olarak, tavan ve yan duvarlardaki yansıtıcı yüzeyler, balkonun altındakiler kadar iyi olmalıdır, balkondaki ve altındaki oturma alanlarına, sahneden gelen dolaysız sesi destekleyip kuvvetlendirmesi için olabildiğince yansımış enerji katacak şekilde tasarlanmalıdır [7].

2.4. Hacim Akustiği Parametrelerinin Birbirleri ve Mimari Tasarım

Parametreleri ile İlişkilerinin Analizi

Müzisyen, mimar ve akustikçilerin salon tasarım ve değerlendirme aşamalarında birbiri ile doğru iletişim kurabilmeleri son derece önemlidir. Konser salonları konusundaki terim karmaşası öncelikle müziğin ifade edilişinde başlamaktadır, bu alanda farklı gruplar oluşmuştur. Tutarlı ve anlaşılır, ortak bir dil edinme girişimiyle, akustikçiler, müzikal terim ve öznel parametrelerin, performans alanının özellikleri ve nesnel parametreler ile bağlantılarını gösteren tanımlamalar önermişlerdir, bu ilişkiler Çizelge 2.6 üzerinde açıklanmaktadır [3].

Çizelge 2.6. Özne parametrelerin, performans alanının özellikleri ve nesnel parametreler ile ilişkisini açıklayan çizelge [2, 8, 7,13]

Müzikal terim ve özne parametre	Sesin berraklığı ve netliği (Clarity)	Sesin yakınlığı (Intimacy)	Dinleyicilerin kuşatılması (Listener envelopment)	Mekansal algılama (Spaciousness)
Açıklaması	Ard arda gelen tekil seslerin ayırt edilebilme derecesidir.	Müziğin küçük bir hacimde çalıştığı hissidir. Kısa ITDG'dir.	Sesin tüm yönlerden geldiği ve dinleyiciyi çevrelediği hissidir.	Kaynağın görünen sınırlarının ötesinde algılanan genişliğidir. Algılanan kaynak genişliği olarak da tanımlanmaktadır.
Etkilendiği mimari tasarım faktörleri	1.Ses yansıtıcı tavan 2.Sahne üstünde ve ilerisinde kanopi 3. Salon biçim ve oranları 4.Derin balkon altından kaçınılmalıdır.	1. Salon biçim ve oranları (örneğin, boyun ene oranı <2) 2.Asılı yansıtıcı paneller 3.Derin balkon altlarından kaçınmak gerekir 4.Orkestra ve dinleyiciler aynı salonda olmalıdır 5.Dinleyiciler müzisyene yakın olmalıdır	1. Salon biçim ve oranları (örneğin, boyun ene oranı <2) 2.Dinleyicilerin yakınında yansıtıcı yüzeyler 3. Asılı ses yansıtıcı paneller 4.Derin balkon altlarından kaçınmak gerekir 5.Salonun dar olması faydalıdır	1.Yansıtıcı yüzeylere ve yan duvarlara olan yakınlık 2. Yansıtıcı yüzey dokusu ve yüzeylerin homojen dağılımları 3. Büyük salon hacmi 4.Duvarlardan gelen yansımaların yolu 5.tavandakilere göre kısa olmalıdır.
Meydana gelen akustik olay ve etkili olan akustik faktör	1.Dolaysız sesin yüksekliği 2. Erken yansımalar 2.Reverberasyon süresi 3.Erken ses enerjisinin gecikmiş ses enerjisine oranı 4.Müziğin hızı	1- ilk yansımaların gecikme süresi(<20ms, salon ortasında <15ms)	1-erken (ilk 80ms içinde) yan yansımaların bolluğu 2-reverberant ses 3-ilk yansımaların gecikme süresi(<20ms) 4-gecikmiş yanal yansımalar(db)	1.Erken sesin algılanan kaynak genişliği 2.Reverberant ses in dinleyicilere farklı yönlerden ulaşması 3. Yanlardan gelen gecikmiş ses enerjisi (80-100ms arasında)
İlişkili olduğu nesnel parametre	C80, D50, RT, EDT, ELR	ITDG, G, C80	IACC, IACF, LF, LEV	IACC, IACF, LF, LEV, ASW, BQI

Çizelge 2.6. (Devam) Öznel parametrelerin, performans alanının özellikleri ve nesnel parametreler ile ilişkisini açıklayan çizelge [2, 8, 7,13]

Müzikal terim ve öznel parametre	Sesin sıcaklığı (Warmth)	Sesin algılanan yüksekliği (Loudness)	Parlaklık (Brilliance)	Sesin varlığı (Presence)
Açıklaması	Düşük frekanslı reverberasyondur, (75-350 Hz arasında)	Kişinin kulağına gelen sesi algıladığı yüksekliktir.	Yüksek frekanslı reverberasyondur Parlak, berrak, çınlayan ses, yüksek frekanslı bileşenlerin yavaş sönümlenmesiyle zengin armonilerdir.	Kaynağa yakın olduğumuz hissidir
Etkilendiği mimari tasarım faktörü	1-Masif ağır yapı elemanları ve malzemeleri 2-Kalın ve ağır kaplanmış yüzeyler 3-Hacmin emi(yüksekliğin ene oranı>0.7) 4-Ses yansıtıcı yan duvarların boyutu ve biçimi 5-Birleşik alanlar(sahne alanı, sahne altı boşluk gibi)	1-Hacim boyutu: çok büyük olmamalıdır 2-Ses yutucu bitişlerin oran ve dağılımı- az yutucu kullanılmıdır 3.-Sahneyi çevreleyen ve hacmin başından sonuna ses yansıtıcı yüzeyler 4-Görüş açıları	1-Masif ağır yapı elemanları ve malzemeleri	Kaynak-alıcı arasında mesafe (m) ve açık ses ve görüş açıları, yolları olması önemlidir.
Meydana gelen akustik olay ve etkili olan akustik faktör	1-Düşük frekanslı seslerin salonda sürekliliğidir. 2-Düşük frekanslardan orta frekanslara yutma ilişkisi(bas oranı>1.2) etkilidir.	1-Dolaysız sesin yüksekliği 2- Dolaysız sesin ardından kısa süre içinde gelen tavan ve duvar yansımaları 3-Reverberasyon 4-Arka plan gürültü düzeyi	1-Yüksek frekansdaki t değerinin alçak frekanslardakinden büyük olması 2-Yüksek frekanslı seslerin salonda sürekliliğidir.	1.Dolaysız sesin reverberant sese oranının yüksek olmasına dayanır.
İlişkili olduğu nesnel parametre	BR, G	G, NC G _{midb} SPL	RT ₃₀ , RT ₆₀	ITDG, STearly, STlate

Çizelge 2.6. (Devam) Öznel parametrelerin, performans alanının özellikleri ve nesnel parametreler ile ilişkisini açıklayan çizelge [2, 8, 7,13]

Müzikal terim ve öznel parametre	Sesin canlılığı (Liveness)	Yankı (Echo)	Kuru veya ölü (Dry Or Dead)	Sesin parlaması (Glare)	Birliklilik (Ensemble)
Açıklaması	Reverberasyon ile aynıdır.	Dinleyiciye dönen, yeterli yükseklikteki uzun gecikmiş yansımadır.	Reverberasyon olmamasıdır.	Yüksek frekansların düz yüzey yansımaları sebebiyle şiddetli, sert olmasıdır.	Müzisyenlerin ahenkli ve uyumlu çaldıklarının algılanmasıdır.
Etkilendiği mimari tasarım faktörleri	1-Hacim 90cm ³ /kişi dikdörtgen salonlarda 2-Biçim ve oran 3.Mobilyalar ve bitişlerin yansıtıcılık değeri (ses yansıtıcı duvarlar ve tavanlar) 4-Dinleyici kapasitesi ve oturma alanı(<2.7cm ² /koridorlar dahil, her kişi için)	Yüksek tavanlar ve salon boyunun uzun olması etkilidir.	Balkon altı ve engel arkası	1-kaynak- alıcı uzaklığı 2-yansıtıcı yüzeylerin boyut ve biçimleri etkilidir.	1.Sahne kafesinin-çerçevesinin boyutu(müzisyenler için kademe – riser-kullanma) 2.Orkestranın yanındaki ses yansıtıcı panellerin biçimi(sahne kafesinin tasarımı) 3.Ses yutucu bitişlerin dağılımı(ve salonun kapsadığı dinleyici koltukları) 4.Yukarıdaki yansıtıcı panellerin ayarlanabilirliği. 5. Performans alanı yukarısında ve yanlarında yansıtıcılar
Meydana gelen akustik olay ve etkili olan akustik faktör	Yeterli reverberasyonu sağlamak (1.6 - 2.4ms orta frekanslarda)	Uzun gecikmiş yansımadır.	Yetersiz reverberant ve erken ses	Sesin çok yüksek ve sert olması	Müzisyenlerin birbirlerini duyabilmesi için sahnedeki uygun nitelikte yansımaların sağlanması
İlişkili olduğu nesnel parametre	RT ₃₀ , RT ₆₀ , EDT	ELR	RT ₃₀ , RT ₆₀ , EDT	SDI	ST

2.5. Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilme Yöntemleri

Bir konser salonunun akustiği birçok farklı yolla yorumlanabilmektedir. Günümüzde en yaygın yöntemlerden biri, kullanıcıların, salon akustiğini öznel olarak değerlendirdiği anket yöntemidir. Bu yöntemde, salonda gerçekleşen canlı performans sırasında ya da ondan kısa bir süre sonra, müzisyen, eleştirmen ve akustik danışman veya sıradan bir dinleyicinin hazırlanan soruları cevaplandırmasıyla elde edilen verilerle, salondaki öznel akustik parametreler değerlendirilmektedir. Ancak bu yöntemin, nesnel parametre değerlerinin saptanamaması başta olmak üzere, dinleme deneyiminin tekrarlanamaz olmasıyla beraber, dinleyicinin salonun akustiği dışındaki faktörlerden etkilenmiş olma ihtimali gibi kısıtlar başta olmak üzere, akustik danışmanlar gibi uzman grupların canlı performans sırasında kritik yapabilmeleri için ne zaman, nerede, hangi müziği baz alarak ve diğer durumların karşısında, uzmanların aynı salonda farklı yerlerde olabilmelerinin zamansal ve coğrafik zorlukları gibi birçok kısıtı vardır. Bu yöntem, salonun akustik durumunun gerçekçi olarak değerlendiremediği düşüncesi ile çalışma kapsamına alınmamıştır. Dinleyicilerin öznel parametreleri ve salonun akustik etkisini değerlendirmesine yönelik hazırlanmış olan bir kullanıcı anketi örneği EK-2’de verilmiştir.

İkincisi, anekoik olarak kaydedilmiş müzik parçalarında, ölçülen veya hesaplanan hacmin uyarı yanıtı (room impulse response) fonksiyonlarına dayanan, sayısal laboratuvar değerlendirmeleridir (Schröder ve Ando gibi). Bu metodun sorunu, dinleyici pozisyonu ve müziğin üzerinden değerlendirme yapılacaksa, çok büyük ses kaynakları gerektirmesidir.

Üçüncü yöntem, müzisyen ve müzik eleştirmenlerinin salonun akustik kalitesi üzerinde yaptıkları kantitatif (sayısal) hesaplamalardır (Fricke, Haas 1995 gibi). Bu yöntemde, sonra sesin anekoik odada tekrar üretilmesi ve sesin yan duvarlardan gelen yansımalar gibi bazı özelliklerini tekrarlayamaması sorun olmaktadır [16].

Dördüncü yöntem, yapım öncesinde salonun belli ölçekte bir maketinin yapılarak içine kaynak ve alıcılar yerleştirilmesi ile ses kalitesinin birebir analiz edilebildiği maket yöntemidir. Günümüzde bu modellemeler bilgisayar ortamında yapılabildiğinden, zahmetli ve uzun süren bir yöntem olduğundan, bilgisayar modellerinde olduğu kadar çok sayıda alternatifin değerlendirilmesi zor olduğundan kullanımı azalmıştır.

Bir diğer yöntem, akustik ölçüm cihazları kullanılarak, salonda üretilen sesin belirli alıcı noktalarındaki değerlerinin ölçülmesine dayanan, alan ölçümü yöntemidir. Gerekli düzeneğin sağlanması durumunda, gerçeğe en yakın nesnel parametre değerlerinin elde edilebileceği yöntemlerden biridir. Ancak bu yöntemle, öznel parametreler analiz edilememektedir.

Günümüzde akustik alanındaki araştırma ve tasarımlarda en yaygın kullanılan yöntem, bilgisayar ortamında salonun modellenerek ortamda meydana gelebilecek ses olaylarının simüle edilmesiyle tanımlanan alıcı noktalarındaki akustik verileri elde etmeyi sağlayan bilgisayar ortamında simülasyon yöntemidir. Akustik tasarım ve değerlendirmeye yönelik bilgisayar programları sayesinde, alternatif durum sonuçları, uygulama öncesinde görülebildiği için günümüzde sıkça tercih edilen yöntemdir.

Bu çalışmada örnek konser salonunun akustik konfor düzeyi, ODEON Version 10 yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında simülasyon ve salon yerinde alan ölçümü yöntemleri ile analiz edilmiştir.

3. ÖRNEK ÇALIŞMA: ANKARA DEVLET RESİM ve HEYKEL MÜZESİ KONSER SALONU

Mevcut bir salonun akustik performansının değerlendirilmesine yönelik hazırlanan bu tez kapsamında örnek çalışma olarak Ankara Devlet Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu seçilmiştir.

Bu bölümde, örneklemin seçilme nedeni, önemi ve özellikleri açıklanmakta, ardından salona ait genel ve akustik tasarım kararları analiz edilmektedir.

3.1. Örnekleme İlişkin Genel Bilgiler

Ankara Devlet Resim ve Heykel Müzesi, Ankara Opera Senti'nde, şehre hakim durumdaki Namazgah Tepesi'nin üzerinde, Ankara Etnografya Müzesi ile birlikte yer almaktadır. Eski Türk Ocağı Binası olarak da bilinen ve şehrin en görkemli yapılarından olan eser, günümüzde Hazine mülkiyetinde ve Kültür ve Turizm Bakanlığı Güzel Sanatlar Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğu altındadır [26].



Resim 3.1. Resim ve Heykel Müzesi'nin uydu görünümü

1. Ulusal Mimarlık Akımı'nın son örneklerinden olan bina, 1910-1930 yılları arasındaki dönemin mimarlık anlayışı içinde değerlendirilebilir. İçerdeki çift taraflı merdiveni ve tiyatro salonu ile 19. Yüzyıl Avrupa saraylarını da anımsatsa da bütün

görünüşü ile Türk kültürünü yansıtan ve eski Türk güzel sanatlarının birçok unsurunu bünyesinde toplamaktadır [26].



Resim 3.2. Resim ve Heykel Müzesi'nin görünüşü

Türk Ocağı Merkez Binası, Milli Eğitim Bakanlığı tarafından, 1926 yılında düzenlenen bir yarışma sonucu Mimar Arif Hikmet İsmet Koyunoğlu'na yaptırılmıştır. Yarışma şartnamesinde özellikle, eski Türk güzel sanatlarının örneklerini sergilemesinin yanında, modern ihtiyaçları karşılaması istenen binanın ihtiyaç listesindeki birimler, (son sistem bir tiyatro salonu, modern bir sahne, bir toplanma salonu, müze ve kitaplık, şeref holü ve misafırhane gibi) binanın tam bir kültür ve sanat merkezi olarak düşünüldüğünü göstermektedir. Nitekim yapı, bu özelliğini uzun yıllar boyunca korumuştur [26].

1930 yılında yapımı tamamlanan Eski Türk Ocakları Merkez Binası'nın, iç ve dış biçimlenişinde milli kültürü temel alınırken, inşaat sisteminde döneminin ileri teknolojilerinden yararlanılmıştır. 1. Ulusal Mimarlık Akımı'nın en güzel örneklerinden olması sebebiyle mimarlık ve cumhuriyet tarihimiz açısından “tarihi değer”, “bilimsel değer” ve “eskilik değeri” taşımaktadır. Tiyatro salonu ve diğer mekanlarıyla ilgi çeken bu yapı, Cumhuriyet'in kuruluş dönemlerinde milli birliği

temsilen, milli duyguları birleştirdiği düşüncesiyle ve Atatürk'ün direktifleriyle yapılması ve uygulama sürecinde tarafından şahsen ilgilenilmesi sebebiyle “simgesel” ve “anıtsal” değere, ayrıca her noktasında ayrı özenle yapılmış bezeme ve süslemeleriyle, oran ve mimari özellikleri ve içinde bulunan eserleri ile yüksek “sanatsal” değere sahiptir.

Tüm bunlara ek olarak, yeniden işlev kazandırılarak müzeye dönüştürülen tarihi yapılardan olan binanın, günümüz Ankara'sında gerek şehir içindeki konumu, gerekse ev sahipliği yaptığı sanatsal faaliyetler sayesinde, “kullanım değeri” oldukça yüksektir. Bu tür yapıların kendine yüklenen işlevleri taşıyabilmesi veya yeniden işlevlendirilmesi kararı, kullanım değerinin ölçülmesiyle alınabilir. A.g.e. günümüzde, yapıldığı dönemde amaçlandığı gibi Ankara'nın sosyal, siyasal ve kültürel yönden gelişmesinde rol oynasa da o zamandan bu zamana farklı işlevlere hizmet vermiştir. Tarihçesi şu şekilde özetlenebilir [26]:

1926 – 1930: Türk Ocağı Merkez Heyeti'nin yeni bir merkez binası yapılması kararı ile yarışma düzenlenerek binanın projelendirilmesi ve hizmetine açılması

1931 – 1932: Türk Ocakları'nın kapatılması ile Halk Fırkası'na geçerek kültürel amaçlı kullanılması ve ‘Ankara Halkevi’ ne çevrilmesi

1952: Halkevlerinin kapatılmasının ardından hazineye devredilerek kullanım hakkının yeniden Türk Ocakları'na verilmesi (Bu arada binanın bir kısmı belediye nikâh salonu olarak kullanılmıştır ve bir bölümünde ise Devlet Tiyatroları'na bağlı 3. Tiyatro açılarak hizmet vermiştir)

1961: Milli Eğitim Bakanlığı'na devredilmesi (Kendilerine devredildiğine dair 1952 yılındaki kararın iptaline rağmen Türk Ocakları binayı boşaltmamıştır ve bu karar durdurulmuştur)

1965: Halk Eğitim Merkezi olarak Köy İşleri Bakanlığı'na tahsisi

1971: Kullanım hakkının Milli Savunma Bakanlığı'na verilmesi ve Ankara Sıkıyönetim Komutanlığı'na karargah olarak tahsisi (Binanın yapılış amacını ve içerisinde dinleyici salonu, müze ve kütüphane bulunmasını dikkate alan askeri kesim, yapının harap olmuş durumunu ve karargah olarak kullanımının uygun olmayacağını bildirmiş ve binayı kullanmamıştır)

1972: Tekrar Milli Eğitim Bakanlığı'na devredilmesi ve bir bölümünün Ankara Halk Eğitim Merkezi ve Akşam Sanat Okulu haline getirilmesi (Bina ve içerisinde bulunan salon en ciddi tahribatı bu dönemde görmüştür)

1975: Yapının harap durumunun Güzel Sanatlar Genel Md. tarafından Kültür Bakanlığı ve Cumhurbaşkanlığı Genel Sekreterliği'ne sunulması ve Cumhurbaşkanı emri ile Ankara Resim ve Heykel Müzesi yapılmak üzere Kültür Bakanlığı'na devredilerek Güzel Sanatlar Genel Müdürlüğü'ne bağlanması

1976 – 1980: Halk Eğitim ve Akşam Sanat Okulu'nun binayı boşaltması ve kurulan komisyonca içerideki eksikliklerin tespit edilmesi ve Mimar Abdurrahman Hancı tarafından hazırlanan restorasyon projesi ile binanın müzeye dönüştürülmesi (Bu raporda tiyatro salonunun çatısı yıkıldığı için koltuklarının da sökülerek alt kata istiflendiği belirtilmiştir. Binanın restorasyonu Resim ve Heykel Müzesi olarak hazırlansa da diğer kısımlar kullanıma açıldığında 'bir kültür ve sanat merkezi' niteliği kazanması düşünülmüştür).

2001: Y. Mimar Sait Kozacıoğlu tarafından rölöve ve restorasyon projelerinin hazırlanması ve Resim Heykel Müzesi (Eski Türk Ocağı Binası) Restorasyonu ve Çevre Düzenlemesi Projesi adıyla eskiyen sergi salonları ve binanın yıpranan cephesinin onarılması.

2011: Kültür Bakanlığınca gerçekleştirilen kapsamlı onarım ve bakım çalışması ile ziyarete açılması.

Konser salonunun tarihi özellikleri, günümüzde kullanımı ve işletilmesi

12065m² alanda betonarme olarak inşa edilmiş yapı, girişte büyük bir şeref salonu, büyük bir konser salonu, sahne ve sahne arkası, kütüphane, Türk odası, misafir odaları ve idari birimlerden oluşmaktadır. Simetri eksenini oluşturan ve kat planında en baskın birim olan konser salonu, Atatürk'ün toplantılarının yanı sıra ilk opera, ilk tiyatro ve ilk sergiye de ev sahipliği yapmıştır.

Salon, sahne düzeneği ve tesisatında döneminin ileri teknolojileri ile donatılmıştır. Örneğin sahnesi büyük bir asansör gibi elektrikle aşağı yukarı hareket ettirilerek, perde değiştiğinde diğer sahnenin onun yerini alması sağlanacak, istenen dekorlar

renkli olarak sahne arkasındaki rundorizon denilen ham ipek perde üzerine projeksiyonla yansıtılarak oluşturulabilecek ve ses efektleri verilebilecek şekilde yapılmıştır. Yangın güvenliği için sahnenin önündeki çelik bir yangın perdesi ile yangın anında perde üzerinde yer alan borudaki su düzeneğinin çalışacağı otomatik sistem kurulmuştur. Ayrıca ısıtma için ani toplantılarda kaloriferler faaliyete geçene kadar salona sıcak hava gelip kaloriferler işini görmeye başladığında kesilecek şekilde, kaloriferlerin yanında sıcak ve soğuk hava tesisatı düzenlenmiştir. Yapının havalandırılması da içinde açılan geniş hava kanalları ile sağlanmaktadır [26].

Salonda, sahnenin tam karşısında üst katta Atatürk'ün özel locası bulunmaktadır. Bu loca ve salonun tavanı son derece sanatkarane süslemelerle bezenmiştir. Şeref salonundan içeri girildiğinde, hemen sağ ve solda üst kattaki localara çıkan merdiven bulunmaktadır. Koyunoğlu, salonun akustiğine ayrıca özen göstermiş, içeride enstrümanlar çaldırılmış, denemeler yaparak kulağa hoş gelmeyen ses ve uğultu gelip gelmediğini kontrol etmiştir. Koyunoğlu “ Küçük bir vızıltı veren bir nesne için tam bir ay çalıştım” der. Çalışmanın sonucunda çelik perdenin vidalarından birinin iyi sıkışmadığı için titreşim sonucu vızıltı çıkardığını bulmuş ve kusuru gidermiştir. Sonunda sahnedeki sesin her tarafta aynı tonda duyulabilmesini sağlamıştır. Salonun akustik başarısı, yapının açılışından sonra konser vermeye gelen dünyaca meşhur sanatkârlar tarafından da övülmüştür ve salon, gerek sahne, gerek salondaki ses yansımaları itibari ile o dönem için dünyada ikincilik almıştır. Çok işlevi bir yapı olan Türk Ocakları Merkez Binası Konser Salonu, uzun yıllar kültür ve sanat merkezi olma niteliğini korumuştur [26].

Konser salonu, zaman zaman idareye bağlı olarak şekil ve fonksiyon yönünden değiştirildiği, farklı işler için kullanıldığı dönemlerde locaların ve koltukların sökülmesi, sahnenin kullanılmaz duruma gelmesi, süslemelerin üstlerinin siyah boyalarla boyanması gibi ciddi tahribatlar geçirmiştir. Ayrıca binlerce liraya getirtilen ham ipek projeksiyon perdesi ve projeksiyon sistemi ile yangın perdesi günümüzde mevcut değildir. Salon ancak 1985 yılında yapılan onarımın ardından kullanıma açılabilmiştir. Son olarak T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı'na 2000 yılında yenilenmiştir [26].

Günümüzde, Operet Sahnesi olarak da bilinen, 426 dinleyici kapasiteli salon, kuruma bağlı sanat birimlerinin (CSO, Opera gibi) periyodik konser ve gösterilerinde kullanılmakta ve ayrıca kamu kurum ve kuruluşları, dernek, vakıf, sivil toplum kuruluşları ve özel kurumlara talepleri doğrultusunda tahsis edilmektedir.

3.2. Salonun Mimari Tasarımının Akustik Açıdan Analizi

Yer seçimi ve planlama

Konser salonları, gürültüye karşı hassas kullanım alanları sınıfına girmesi sebebiyle yer seçimi ve mekan organizasyonu yapılırken gürültüden uzak olmasına veya önlenmesine dikkat edilmelidir.

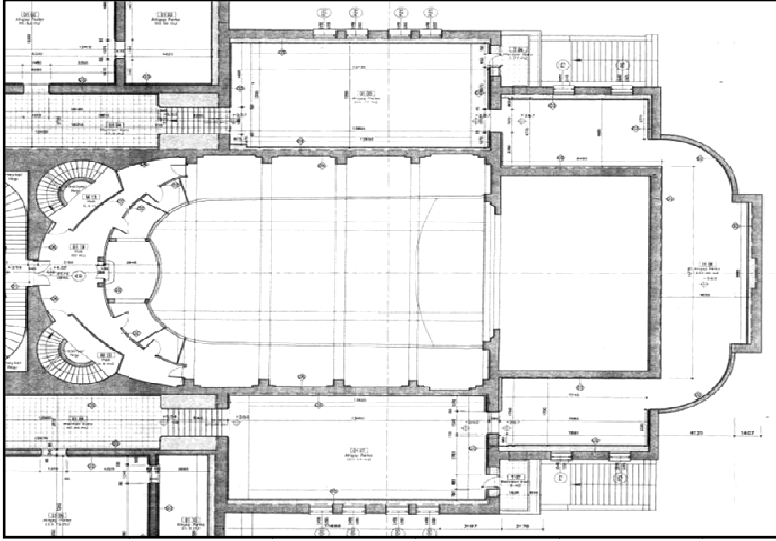
Salon içindeki ve çevresindeki gürültü düzeyinin analizi ve yer seçimi ve planlama kararlarının değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen ölçümlerde, salonun cadde üzerindeki cephesinde 67 dB, Etnografya Müzesi yanındaki cephesinde 54 dB, cadde yönündeki fuayesinde 47 dB, Etnografya Müzesi yönündeki fuayesinde 39 dB, içinde ise 33 dB olduğu görülmüştür. Cadde cephesindeki gürültünün Müze cephesinde düşmesi, salon için yer seçiminin önemini vurgulamaktadır. Bu veriler ışığında yapılan değerlendirme aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 3.1. Salonun yer seçimi ve planlamasına ilişkin değerlendirme

Kriter	Mevcut durum	Değerlendirme
Konser salonları, şehir ve trafik gürültüsünden uzak bir yerde yapılmalıdır.	Ankara hastaneler bölgesinde ve oldukça işlek bir bulvar üzerinde yer alan salon, gün boyunca trafik ve siren sesine maruz kalmaktadır.	Olumsuz
Çevresinde peyzaj gibi gürültü parapeti olmalıdır.	Caddeye göre yüksekte konumlanan bina, geniş bir bahçe içinde yer almaktadır, çevresi ağaçlandırılmıştır.	Olumlu
Salon bitişiğinde gürültülü mekanlar olmamalıdır, çevreden ve bu mekanlardan gelebilecek gürültüye karşı tampon alan planlanmalıdır.	Salonun bulunduğu bina Resin Heykel Müzesi olarak kullanılmaktadır, konser saatlerinde kapalı tutulmaktadır. Salonun iki yanında fuayeler, çevresel gürültüye karşı tampon görevi görmektedir.	Olumlu

Salonun biçimi, boyutları, hacim ve kapasitesi

Salon, arka duvarı yarım daire olan, dikdörtgene yakın biçimi ile klasik ayakkabı kutusu yaklaşımı ve opera salonu formunun özelliklerini taşımaktadır. Bu biçimin, arka duvarın içbükey olmasından dolayı odaklanmaya sebep olması beklense de balkonların derinliği sebebiyle bu yansımaların kesildiği düşünülmektedir. Ayrıca bu içbükey formun diğer dezavantajı olan balkon parapetlerinden gelecek yansımalar, parapetler üzerindeki süslemelerin saçıcı-dağıtıcı özelliği ile bertaraf edilebilmektedir. Yan duvarların paralel olması durumunda beklenen vurgusal yankı kusurunun da yan localar ve duvar süslemeler ile aynı şekilde ortadan kaldırılmış olduğu ve dikdörtgene yakın plan şemasının, yan yansımaları ve sağladığı öznel etkileri kuvvetlendirdiği gerçeği ile olumlu bir karar olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu 1.kat planı

Salonun hacim ve boyut kararları, Çizelge 3.2’de verilen başlıca teknik özellikleri üzerinden değerlendirilmektedir.

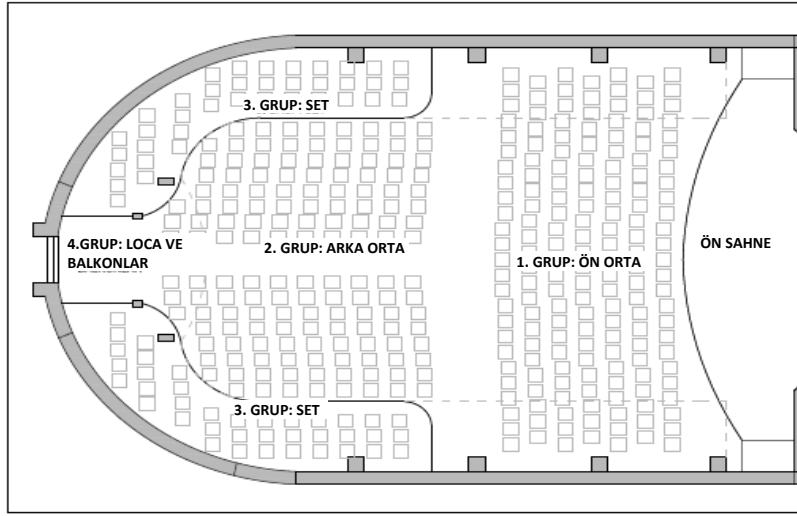
Çizelge 3.2. Salonun boyutlandırılmasına ilişkin değerlendirme

Özellik	Salon	Optimum	Değerlendirme
Toplam Salon hacmi (Salon + Sahne) (V)	8200m ³	$N = \frac{0,2 V_{top} m^3}{RT_{mid}} \text{adet}$ → (N=426, RT _{mid} =1,6sn) → V= 2800 m ³	Olumsuz
Kapasite (N)	426 kişi	Klasik salonlar için 1700-2600 kişi	Olumlu (<500 kişi=küçük salon)
Toplam zemin alanı (salon)	370	0,7Nm ² → Top. zem.al.=0,7x426=298 m ²	Olumsuz
V/N	19 m ³	6,2-10,8 m ³ [3] 5,6 – 11 m ³ [7]	Olumsuz
Döşeme eğimi	%2,65	%7	Olumsuz

Salon boyutlarının optimum değerlere göre genellikle olumsuz olmasının başlıca sebepleri, salonun tiyatro olarak tasarlandığından salon hacmini ciddi derecede artıran sofita kulesinin bulunması ve salonun tasarlandığı dinleyici kapasitesinin düşürülmüş olmasıdır. Günümüzde balkon ve localarda bulunan yaklaşık 150 kişilik oturma alanının statik açıdan yetersiz olması sebebi ile ve koruma amaçlı olarak kullanılmaması, dinleyicilerin akustik ortama etkisini azaltmakta, genel tasarım kararları açısından salon akustiğini olumsuz etkilemektedir.

Dinleyici alanı

Salonda ana giriş ekseninin iki yanında iki arka orta grupta 154, yine iki arka yanda iki locada 78 ve sahne tarafında önde bir grupta 194 adet olmak üzere toplam 426 adet ahşap dinleyici koltuğu bulunmaktadır (Bkz: Şekil 3.4)



Şekil 3.2. Dinleyici koltukları yerleşim şeması



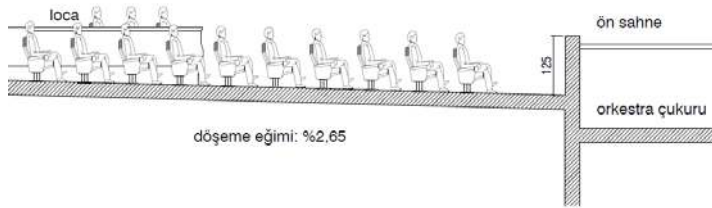
Resim 3.3. Salonun locadan görünümü

Onarılarak bugün de kullanılmakta olan orijinal koltuklar gül ağacından yapılmıştır (Bkz: Resim 3.3). Koltuklar sert kolçaklı, oturma yeri ince minderli, sırt kısmının ön ve arkası sert ve döşemesizdir, geçişleri rahatlamak amacıyla kendiliğinden kapanan bir mekanizmaya sahiptir. Yansıtıcı özellikteki bu koltuklar, salonun doluluk oranı değiştiğinde veya prova ve performans sırasında akustik farklılıklara sebep olduğundan tercih edilmemektedir. Koltukta bir dinleyici olup olmamasına göre koltuğun yutuculuğu belirgin şekilde değişecektir, bu, salon akustiği için olumsuz bir durumdur.



Resim 3.4. Gül ağacından yapılmış, orijinal dinleyici koltukları

Oturma alanına göre sahnenin yükseltilmiş olması ve döşemenin en düşük seviyesindeki ön koltukların üst seviyesinin ön sahne yüksekliğinden az olmaması doğru bir yaklaşımdır (Bkz: Şekil 3.3)



Şekil 3.3. Ana salon katı şematik bölümsel kesiti

İç yüzey elemanları

Salon kabuğunun iç yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve akustik özellikleri şöyledir:

Yan ve arka duvarlarda alçı sıva üzerine boya yapılmıştır. Yansıtıcı nitelikte bu yüzeyler üzerinde, locaların gövdelerinde ve balkon parapetleri ile kolonların üzerinde daha yoğun olmak üzere renkli, bitkisel ve geometrik motiflerde alçı süslemeler mevcuttur [26]. Süslemelerin yanında salon duvarlarını yatayda ikiye bölen loca ve düşeyde hareketler veren kolonlar, kapılar üzerindeki ağır kumaş perdeler, salonun duvar yüzeylerindeki tekdüzeliği kırmaktadır. Böylece bu farklı

elemanlar ve üzerlerindeki kabartmalar, akustik açıdan ses saçıcı- dağıtıcı görevi görerek ve duvarlardan yansıyan sesin salon içinde daha homojen yayılmasının sağladığı, olası vurgusal yankı ve odaklanma kusurlarını önlediği düşünülmektedir.



Resim 3.5. Salon süslemeleri, yan duvardan görünüm

Salonun tavanı tonoz biçimindedir, binanın diğer kısımları gibi burası da Atatürk'ün talimatları doğrultusunda, Türk sanatçılar tarafından Türk süslemeleri ile bezenmiştir. Ayrıca sahne çevresi süslemeleri ile sahne üzerindeki kurt motifi dikkat çekicidir (Bkz: Resim 3.6). Tüm bu süslemeler de salondaki ses saçıcılık- dağıtıcılık değerini artırmaktadır.

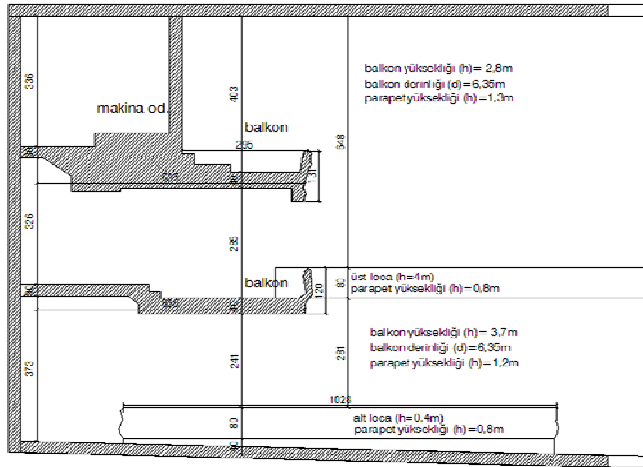


Resim 3.6. Tavan süslemeleri, sahne üstünden görünüm

Döşeme kaplaması granittir, üzerinde koltuklar olan zeminin yansıtıcılığı akustik ortamı fazla etkilememektedir, nitekim simülasyonla analiz yapılırken döşemede dinleyicilerin bulunduğu alan yutucu kabul edilmektedir. Ayrıca koltukların dışında kalan sirkülasyon alanında halı kullanılması döşemenin yansıtıcılığını düşürdüğünden ve salonda ayak seslerinden kaynaklanacak arka plan gürültüsünü engellediğinden olumlu bir karardır.

Balkon ve localar

Ana salonun arka kısmında, salon zemininden yaklaşık 40cm yüksekte iki adet loca ve üst katta cumhurbaşkanlığı locası ve onun üstünde de ikinci bir loca katı ile arkasında makine dairesi bulunmaktadır. Günümüzde bu üst loca ve balkonlar, statik ve tarihi özelliklerinden dolayı kullanıma kapalı tutulmaktadır (Bkz: Resim 3.7)



Şekil 3.4. Balkon ve loca şematik kesiti

Şekil 3.4’ de verilen şematik kesitte balkon ve locaların ölçülerini gösterilmektedir. Konser salonlarında balkon derinlikleri yüksekliklerine eşit veya daha küçük olması gerekirken örnekte daha büyük olduğu görülmektedir ($d > h$). Bu durumda, balkon altlarında yeterli düzeyde reverberant enerji sağlanamadığından sesin canlılığı ve kuşatılma parametreleri yetersiz olduğu ve buradaki koltuklarda akustik gölge oluştuğu düşünülmektedir.

Çizelge 3.3. Balkon boyutlandırılmasına ilişkin değerlendirme

Salon		Optimum	Değerlendirme
Üst loca için	$6,35 > 2 \times 2,8$	$d > 2 \times h$	olumsuz
Balkon için	$6,35 > 2 \times 3,7$	$d > 2 \times h$	olumsuz



Resim 3.7. Salondan balkon ve loca görünümü

Sahne özellikleri

Salonun giriş ekseninde bulunan sahne, ön sahne ve sahne arkası olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır, ön sahne kapakları açılarak orkestra çukuruna dönüştürülmektedir. Sahnenin üzerinde yüksek bir sofita kulesi bulunmaktadır. Konser salonlarında temel birim olmayan sofita kulesi ve orkestra çukuru, salonun orijinal kullanımının tiyatro olmasından dolayı yapılmıştır, günümüzde operanın haftanın iki günü periyodik performanslarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, konser salonunda kullanılmadığından, orkestra çukuru değerlendirmeye alınmamıştır. Sahne bölümünün şematik kesiti ve ortalama kullanıcı sayıları aşağıda verilmektedir.



Resim 3.8. Sahnenin salondan görünümü

Sahnenin salon tarafı alçı süslemelerle bezenmiştir, ses yansıtıcı, saçıcı ve dağıtıcı biçimdedir. Sahne döşemesi ahşap parke, duvarları alçı sıva üzeri boyadır, arkasında bulunan kadife fon perdesi ses yutucu niteliktedir ve sahne akustiğini olumsuz etkilemektedir. Sahne içinde arkada, yan duvarlarda ve sofitada sahne dekorları ve mekanik sistemi yer almaktadır.

3.3. Salonun Akustik Performansının Simülasyon Yöntemi ile Analizi

Son yıllarda yaşanan dijital devrim sayesinde sesin kapalı alanlardaki davranışı konusundaki bilgi toplama, işleme sokma ve uygulama, büyük oranda sadeleşerek hızlanmaya ve aynı şekilde önemli ilerlemeler kaydeden teorik bilgiden destek almaya devam etmektedir.

Günümüzde, yaygın olarak bilgisayar ortamında, basit bir modelde hacmin saçıcı olduğunu ve bir RT değeri ile karakterize edilmiş reverberant ses alanı olduğunu varsayarak hesaplamalar yapılmaktadır. Bir hacimde tanımlanan alıcı noktasındaki ses iletim ve yansımalarını, kısaca akustik durumu ölçmek ve ifade etmek için uygun bir yol sağlayan, sistemin özelliklerini tanımlayan uyarı yanıtı, sadeleştirilmiş simülasyonlarla ön görülebilmektedir. Manüel yapılan model ve ışın gönderme

yöntemiyle ya da formül ve kuramsal yöntemlerle uyarı yanıtı hesaplarının kullanımı ise yankı, vurgusal yankı ve odaklanma gibi akustik kusurları ve reverberant sesin yayılış sürecini göz ardı ettiğinden git gide azalmaktadır [3].

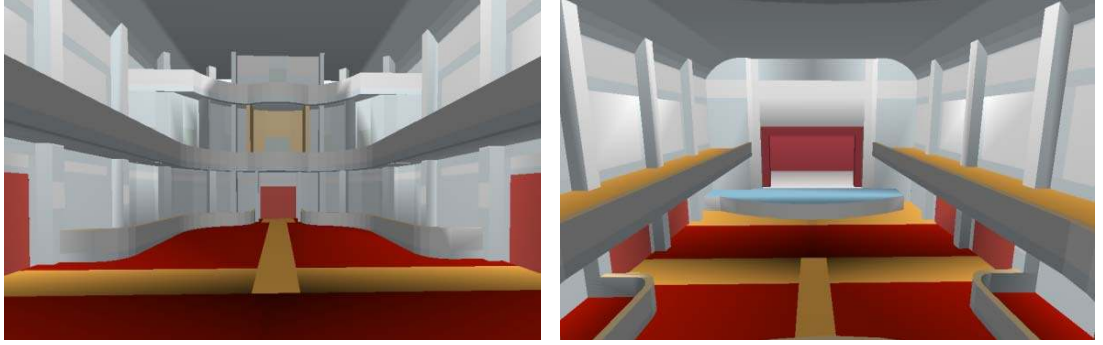
Simülasyon yöntemi, bilgisayar ortamında modellenen hacimde meydana gelebilecek ses olaylarını simüle ederek, tanımlanan alıcı noktalarındaki akustik verileri elde etmeyi, böylece yapım öncesinde birçok alternatif tasarımın akustik sonuçlarını görmeyi sağladığı için günümüzde sıkça tercih edilen yöntemdir.

Bu çalışmada örnek olarak seçilen konser salonunun akustik performansı, ODEON 10.02 Combined versiyonu kullanılarak bilgisayar ortamında simülasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Salonun tam dolu durumundaki akustik koşullarını değerlendirmede ve gerekirse iyileştirme önerileri sunmada oldukça pratik ve hassasiyeti de kabul görmüş olan yazılım mevcut koşullar ve imkanlar dahilinde, gerçek yerinde ölçülemeyecek parametre değerleri elde edilmiş ve değerlendirilebilmiştir.

3.3.1. Salonun modellenmesi ve simülasyon sırasındaki kabuller

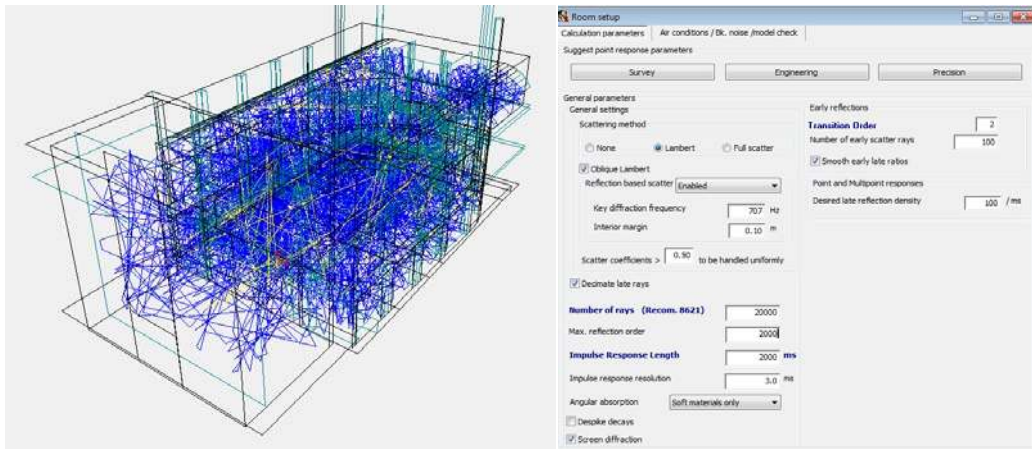
Çalışmanın konusu olan konser salonu, bir CAD programı yardımı ile 3D yüzeylerle modellenerek dxf. dosyası olarak Odeon programına yüklenmiştir.

Modelleme, programda önerildiği üzere, salon içindeki süsleme gibi ayrıntılar göz ardı edilerek, genel hatları ile yapılmıştır. Ayrıca program düzlemsel yüzeyler üzerinden çalıştığından ve yüzey sayısı simülasyon süresini etkilediğinden, eğrisel yüzeyler kırık yüzeylerden oluşturulmuş, farklı malzeme ve dokulara sahip yüzeyler ayrı ayrı modellenerek farklı katmanlarla tanımlanmıştır.



Şekil 3.6. Salon modelinden perspektifler

ODEON programında modelin kapalılığı, yüzeylere %20 yutuculuk verilerek kontrol edilmiş, ardından salon koşulları ve simülasyona ilişkin ayarlar yapılmıştır. Salondaki nem oranı, mevcut ve dinleyicisiz koşullarda %46.2 olarak ölçülmüş olduğundan dolu koşullar için yapılan simülasyonda %50 olarak, ortam sıcaklığı ise aynı şekilde mevcut ve dinleyicisiz koşullarda 21,4°C olarak ölçülmüş olduğundan dolu koşullar için yapılan simülasyonda 20°C alınmıştır. Arka plan gürültüsü basamağında, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre konser salonları için gereken iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri baz alınmış ve ANSI'ye göre NC 15 grafiği uygulanmıştır. Hesaplama parametreleri mühendislik (engineering) seçeneğinde, taramada kullanılacak ışın sayısı 20.000 ve saçıcılık yöntemi 'Lambert' olarak belirlenmiştir. Işının maksimum yansıma sayısı 2000, süresi ise 1500, sanal kaynakların yansıma derecesi 2 kabul edilmiştir.



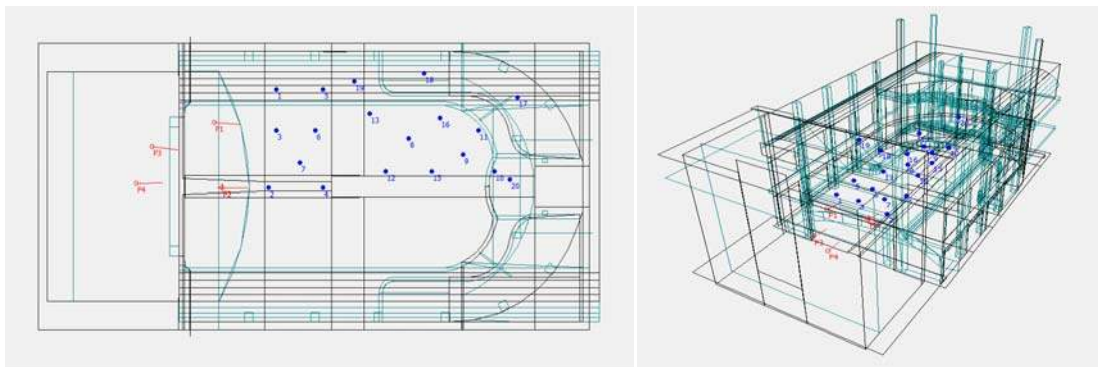
Şekil 3.7. Salon modelinde sızdırmazlık testi sonucu ve hesaplama parametreleri

3.3.2. Kaynak ve alıcıların yerleştirilmesi, yüzey özelliklerinin tanımlanması

Yapılan simülasyonda, kaynak ve alıcılar, salonun orta aksa göre simetrik olduğu göz önünde bulundurularak yalnızca sağ ve orta bölümde yerleştirilmiştir.

Ana sahnedeki sofita kulesinin salon akustiğine etkisinin görülmesi de hedeflendiğinden, ikisi ön sahnede ve ikisi ana sahnede, orta aksta ve bir yanında, sahne zemininden 1,50 cm yüksekliğinde olmak üzere 4 adet çok yönlü (omnidirectional) kaynak yerleştirilmiştir. Bu noktalar, doğal koşullarda ses kaynaklarının bulunduğu yerler esas alınarak seçilmiş ve salonda tanımlanan uygun alıcılara yönlendirilmiştir. Kaynaklara 90 dB ses gücü tanımlanmıştır.

19 adet alıcı noktası, bulundukları yerden 1,20 cm yükseklikte olmak üzere yine salonun orta aksında ve salonun yarısında homojen ve bölümlerdeki koltuk sayısı ile orantılı olarak dağıtılmıştır. Alıcı noktalarındaki sonuçların gerçeğe yakın olmasını sağlamak için TS EN ISO 3382-1 standardında da belirtildiği üzere, alıcıların birbirine, yansıtıcı yüzeylere ve ses kaynaklarına çok yakın olmamasına dikkat edilmiş, ayrıca sahne önü, balkon, balkon altı, loca gibi özel noktalardaki durumun da görülebilmesi için bu noktalara da alıcı yerleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Salon modelinde tanımlanan kaynak ve alıcı noktaları

Salonun iç yüzeylerine, ODEON yazılımının kütüphanesinde 63 ile 8000 Hz arasında yutuculuk değerleri verilen uygun malzemeler atanmıştır. Lambert dağıtıcılık yöntemi kullanıldığından programda önerilen değerlere göre ve Long'un yüzeydeki

pürüzlülüğün derinliğine bağlı olarak tanımladığı düşük, orta ve yüksek dağıtıcılık oranları dikkate alınarak yüzeylere 0,7 ile 0,05 arasında dağıtıcılık-saçıcılık katsayısı tanımlanmıştır. Yazılımda 700 Hz için önerilen dağıtıcılık katsayıları aşağıdaki çizelgede verilmektedir:

Çizelge 3.5. Yüzeylerin orta frekanslarda dağıtıcılık katsayıları [24]

Malzeme	Orta frekanslarda dağıtıcılık katsayısı
Dinleyici alanı	0,6-0,7
0,3-0,5m derinlikte masif yapı strüktürleri	0,4-0,5
Kitap dolu kitaplık	0,3
Açık derzli duvar örgüsü	0,1-0,2
Kapalı derzli, sıvasız duvar örgüsü	0,005-0,1
Genel, düz yüzeyler	0,02-0,05
Düz boyalı beton	0,005-0,02

Reverberasyon süresinin (RT Parametresinin) değerlendirilmesi

Hacimlerin akustik performansının saptanmasında en çok yararlanılan parametre olan reverberasyon süresi, hacim içerisindeki ses seviyesinin 60 dB düşmesi için gerekli olan süredir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen simülasyonlarda RT parametresinin hesapları 30 dB düşüş baz alınarak yapıldığından, erken reverberasyonun dikkate alındığı reverberasyon süresi (RT), RT_{30} ile simgelenmektedir. RT_{30mid} ise, orta frekanslardaki RT_{30} değerlerinin ortalamasıdır.

Özellikle müzisyen ve şefin kullanacağı müzikal etkiyi sağlayan birçok öznel parametrenin belirlenmesinde de kullanılan reverberasyon süresi, müzik işlevli ‘sesin sıcaklığı’ ‘sesin canlılığı’ ve ‘mekansal algılama’ öznel parametrelerini etkilemektedir.

Birinci analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda ortalama RT değeri):

Yapılan analizlerde TS EN ISO 3382-1’e göre hesaplanan RT_{30} parametresi için 8 oktav bant, merkez frekanslar, düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.7. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki RT_{30} değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları

BAND (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT_{30}	2,82	2,87	2,50	1,82	1,38	1,30	1,14	0,72

Çizelge 3.8. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki RT_{30} değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları
(* ile işaretliler değerlendirme sırasında kullanılan değerlerdir)

Frekans Aralığı (Hz)	Merkez Frekanslar (125-2000)	Düşük Frekanslar (125-250)	Orta Frekanslar (500-1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)
RT_{30} (sn)	1,84	2,69	1,60*	1,22

Ülkemizde hacimlerin akustik performansının ölçülmesine yönelik yayınlanan TS EN ISO 3382-1 standardına göre reverberasyon süresi (RT), farklı frekanslarda tanımlanmaktadır. RT değeri düşük frekanslar için 125 ve 250 Hz ortalaması, orta frekanslar için 500 ve 1000 Hz ortalaması ve yüksek frekanslar için 2000 ve 4000 Hz ortalaması alınarak belirlenmektedir. Dinleyici salonları için EDT ve RT değerleri benzer şekilde hesaplanabilmektedir ve RT, salonun fiziksel özelliklerinden daha çok etkilenen bir parametre olduğundan EDT akustik değerlendirmede daha önemlidir. Bu bilgilere göre TS EN ISO 3382-1’de RT parametresi için ayrı bir optimum değer tanımlanmamış, EDT parametresi optimum aralığına (1 ile 3 sn) işaret edilmiştir[TS 25]. Bu değerlere göre salonun reverberasyon süresi uygun görünse de standartta net bir ifade yer almadığından gerekli değerlendirmenin yapılması için çeşitli kaynaklardan yardım alınmıştır.

Egan’a göre reverberasyon süresi orta frekanslarda (500 ve 1000 Hz) senfonik klasik ve romantik müzik için 1,7 ile 2,3 sn arasında olmalıdır. Boş salonlarda ise reverberasyon süresi daha uzundur. Ayrıca göre genelde büyük hacimlerde reverberasyon süreleri, küçük hacimlere nazaran optimum aralığın üst sınırına yakın olmalıdır [13].

Çalışmada değerlendirilen salon, 500 kişinin altında dinleyici sayısına sahip olduğundan küçük salonlar kategorisine girmektedir ve parametre değerlerinin alt sınırlara yakın olması beklenebilmektedir. Ancak Bu salon için $RT_{mid}=1,60$ değeri, salonda olması gerekenden düşük reverberasyon olduğunu göstermektedir.

Long’a göre konser salonlarında optimum RT 1.5 - 2.2 sn aralığında değişmektedir. Tercih edilen değerler 1.8 ile 2.0 sn arasındadır. Net seçimler müzik türüne ve mekanın hacmine bağlı olarak değişmektedir. Barok müzik en az süreye ihtiyaç duyarken (1.5 - 1.7 sn), klasik orta (1.6 - 1.9 sn) ve romantik en uzun (1.8 - 2.2 sn) aralıktadır [3]. Bu sınırlara göre klasik müzik için salonun $RT_{mid}=1,60$ değeri alt sınırdadır ve yeterlidir.

Salonun hava hacmine göre sahip olması gereken RT değeri (8200 m^3 için) Mehta'ya göre 1,7 ile 1,9 aralığında, Long'a göre ise 1,8 ile 2,0 aralığındadır [3, 20]. Bu sınırlara göre salonun $RT_{\text{mid}}=1,60$ değeri yetersizdir.

Mehta'ya göre salonlarda sesin sönümlenme eğrisi, EDT ve RT değerleri son derece önemlidir. RT frekanslara bağlı olduğundan genellikle merkez frekanslarda değerlendirilmektedir. Yerinde alan ölçümleri yapılırken ise orta frekanslardaki RT değerlerine bakılmaktadır [20].

Beranek'in yaptığı incelemelerde, akustiğini değerlendirdiği 40 salonun RT_{mid} değerleri en iyi akustik koşullara sahip olanların 1,8 ile 2,0 arasında, daha kötü akustiğe sahip olanlar için ise 1,5 ile 1,7 arasındadır. Bu salonlardan 10 tanesi 1,6 sn RT değerine sahiptir. Bunun yanında Beranek'in konser salonları için tanımlamış olduğu optimum RT aralığı 1.60 - 1.80 sn' dir [8]. Bu sınırlara göre de salonun $RT_{\text{mid}}=1,60$ değeri alt sınırdadır ve yeterlidir.

ODEON yazılımının önerdiği optimum RT ve EDT aralığı da birbiri ile aynıdır ve 1,7 ile 2,3 sn arasındadır [24, 25]. Bu değerlere göre salonun orta frekanslarda RT değeri düşüktür.

Sonuç olarak, aşağıdaki çizelgede özetlendiği gibi salonun analizinde orta frekanslar için elde edilen 1,6 sn reverberasyon süresi çeşitli araştırmacıların ve standartların saptadığı optimum RT_{mid} aralıklarına göre düşüktür, ancak merkez frekanslarda uygun aralıktadır. Salonda, diğer parametrelerle ilişkisi de göz önünde bulundurularak orta frekanslarda reverberasyon süresi için önlem gerekmektedir.

RT değerinin uygun aralıkta olduğu salonlarda ses doygun, (full tones), canlı (live) ve iyi harmanlanmıştır (blended). Ancak RT' nin bu aralığa göre yüksek olduğu durumlarda ses bulanık ve uzak algılanmaktadır [13]. Değerlendirilen salon için merkez frekanslarda reverberasyon süresi optimum aralığın altında olduğundan bu salon için bu parametrelerin uygun olmadığı söylenebilir.

Çizelge 3.9. Çeşitli kaynaklarda belirtilen salon hacmine ve kullanımına göre sağlanması gereken optimum RT_{30} aralıkları ve sonucun değerlendirmesi

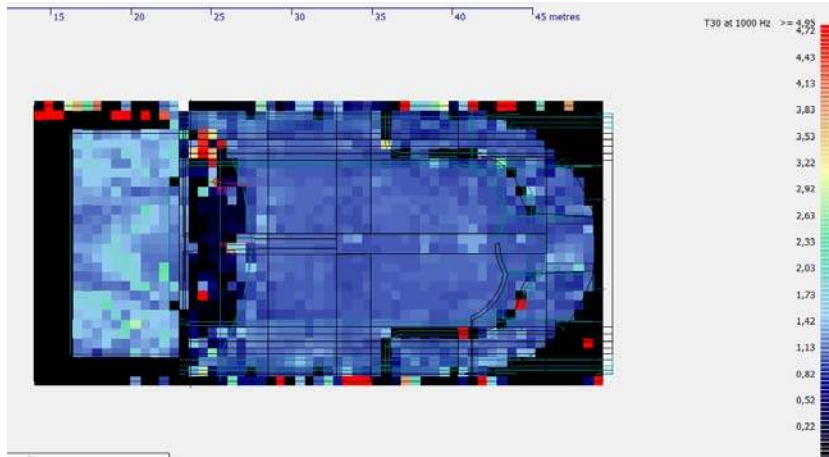
Referans	Egan	Beranek	Long	Mehta	ODEON
Optimum RT_{30} (sn)	1,7 - 2,3	1.60- 1.80 (RT_{mid})	1,7 - 1,9	1,8-2,0 (merkez frekanslarda)	1,7 ile 2,3
Değerlendirme ($RT_{30mid}=1,6$ sn için)	Olumsuz (Düşük)	Yeterli (Düşük)	Olumsuz (Düşük)	--	Olumsuz (Düşük)
Değerlendirme (merkez frek. $RT_{30}=1,84$ sn için)	--	--	Olumlu	Olumlu	Olumlu

İkinci analiz üzerinden değerlendirme (Ön ve Ana Sahnedeki kaynaklar aktif iken salonda ortalama RT değeri):

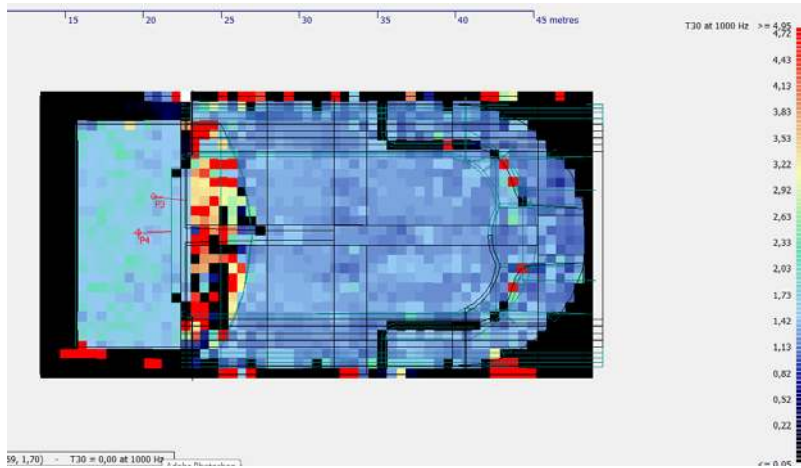
Sahne kullanımının RT parametresine etkisini incelemek amacıyla yapılan, ön ve ana sahnedeki kaynakların ayrı ayrı aktif oldukları ikinci analizde sırasıyla 1,51 sn ve 1,73 sn sonuçlarına ulaşılmıştır. Buradan müzisyenler ön sahneye yerleştirildiğinde yakın çevresini kuşatan ses yansıtıcı yüzeyler bulunmadığından salondaki reverberasyon süresinin daha da düştüğü görülmektedir.

Çizelge 3.10. Farklı kaynak yerlerine göre RT_{30mid} değerleri

Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken RT_{30mid}	1,51
Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken RT_{30mid}	1,73



Şekil 3.9.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken RT_{30} parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)



Şekil 3.9. (b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken RT_{30} parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)

Üçüncü Analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda belirlenen dinleyici gruplarındaki ortalama RT değerleri):

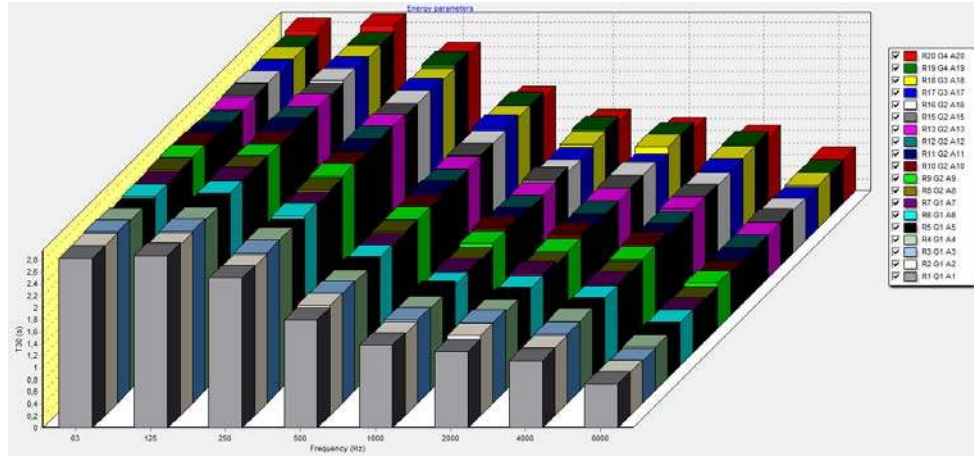
Sahnedeki dört kaynak aktif durumda iken ön orta, arka orta, balon altı setler ve balkon-loca olmak üzere dört dinleyici grubundaki RT_{30mid} parametresi incelenmiş ve bölgeler arasındaki reverberasyon süresi farklılıkları yorumlanmıştır. Bu analizde elde edilen RT_{30mid} değerleri sırasıyla 1,59 – 1,60, 1,62 ve 1,60 sn' dir. Bu sonuçlara göre salonda bulunan dinleyici bölgelerindeki RT_{30mid} değerlerinin birbirine oldukça yakın ve %5 sapma payının içinde olduğu görülmektedir. Ön orta gruptaki

reverberasyon süresinin nispeten düşük olmasının, çevresinde yansıtıcı yüzeyler bulunmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

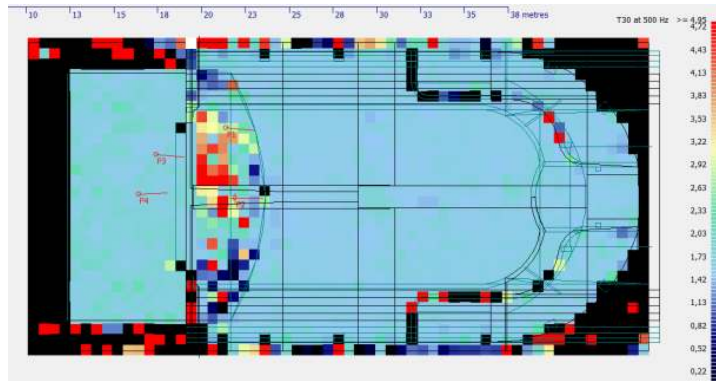
Çizelge 3.11. Farklı dinleyici gruplarında RT_{30mid} değerleri

1.	Grup – ön orta için RT_{30mid}	1,59
2.	Grup – arka orta için RT_{30mid}	1,60
3.	Grup – setler için RT_{30mid}	1,62
4.	Grup – balkon ve loca için RT_{30mid}	1,60

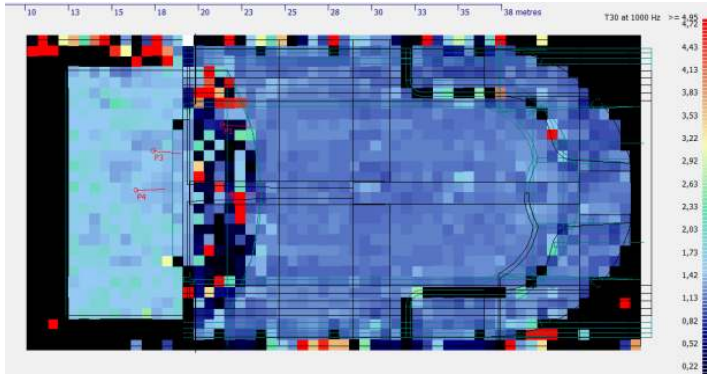
Ayrıca ODEON yazılımında tüm alıcı noktalarında hesaplanan RT_{30} değerlerinin grafik gösteriminde (Şekil 3.10) ve salonda dağılımını gösteren ızgara yönteminde (Şekil 3.11 a - b) parametrenin salonda dağılımının homojen olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.10. Alıcı noktalarında RT_{30} - Frekans grafiği



Şekil 3.11.(a) RT_{30} parametresinin 500 Hz dağılımları



Şekil 3.11.(b) RT_{30} parametresinin 1000 Hz dağılımları

Dördüncü analiz üzerinden değerlendirme (Ön ve Ana Sahnede birer kaynak ayrı ayrı aktif iken ölçüm yapılan noktalardaki RT değerlerinin ortalamaları):

Çalışmada, alan ölçümü yöntemi ile reverberasyon süresi ölçümü yapılmıştır. Ancak ölçüm sırasında salonun boş ve koltukların mindersiz ahşap olmasından dolayı, bu ölçüm sonuçları aynı noktalarda benzer koşullarda yapılan ODEON analizi ile karşılaştırılması amaçlansa da yazılımın mevcut kütüphanesinde koltuk türünün boş durumda yutuculuk değerleri bulunmadığından ölçüm koşulları simüle edilememiş ve bu analiz de salonun dolu durumu için yapılmıştır. Elde edilen RT_{30} değerleri aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.12. Ana sahnedeki kaynak aktif iken 7 ölçüm noktasında RT_{30mid} değerleri

K1 Aktif	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R1 A2 K1	2,88	2,88	2,54	1,90	1,71	1,64	1,36	0,82
R2 A1 K1	2,80	2,86	2,53	1,94	1,61	1,55	1,33	0,83
R3 A5 K1	2,83	2,90	2,48	1,91	1,55	1,51	1,30	0,83
R4 A4 K1	2,97	2,98	2,59	1,91	1,56	1,51	1,26	0,79
R5 A15 K1	2,82	2,86	2,51	1,91	1,51	1,47	1,22	0,80
R6 A10 K1	2,88	2,92	2,57	2,01	1,52	1,43	1,22	0,74
R7 A18 K1	2,87	2,88	2,50	2,01	1,52	1,48	1,26	0,78
ortalama	2,86	2,90	2,53	1,94	1,57	1,51	1,28	0,80

Çizelge 3.13. Ön sahnedeki kaynak aktif iken 7 ölçüm noktasında RT_{30mid} değerleri

K2 Aktif	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R1 A2 K1	2,78	2,85	2,44	1,69	1,20	1,12	1,00	0,66
R2 A1 K1	2,83	2,86	2,44	1,70	1,26	1,14	1,01	0,70
R3 A5 K1	2,78	2,81	2,44	1,73	1,25	1,14	1,01	0,68
R4 A4 K1	2,78	2,83	2,43	1,74	1,19	1,11	0,96	0,67
R5 A15 K1	2,80	2,88	2,45	1,71	1,25	1,15	1,00	0,68
R6 A10 K1	2,87	2,88	2,43	1,73	1,20	1,16	1,00	0,68
R7 A18 K1	2,72	2,73	2,41	1,78	1,14	1,06	0,96	0,68
ortalama	2,79	2,83	2,43	1,73	1,21	1,13	0,99	0,68

Çizelge 3.14. İki ölçüm koşulunda RT_{30mid} değerleri karşılaştırması

Kaynak	Her alıcı için RT_{30mid} ortalaması
K1 Aktif (ana sahnede)	1,76
K2 Aktif (ön sahnede)	1,47

Salonda iki kaynak ve yedi alıcı noktasında yapılan bu analizlerde, ana sahne ve orta aksta bulunan kaynağın aktif olduğu durumda RT_{30mid} değerinin optimum aralıkta, alt sınıra yakın ve yeterli, ön sahne ve orta aksta bulunan kaynağın aktif olduğu durumda ise RT_{30mid} değerinin optimum aralık dışında ve oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun ön sahnenin çevresinde ses yutucu yüzeylerin yetersiz olması sebebiyle ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Erken sönümlenme süresinin (EDT Parametresinin) değerlendirilmesi

Erken sönümlenme süresi (EDT), hacmin sönümlenme eğrisinin ilk kısmından (0 dB - 10 dB) hesaplanan erken reverberasyon süresidir. EDT değerinde öncelikle, orkestranın çevresinde yer alan yansıtıcı yüzeylere çarpan ışınlar etkilidir, TS EN ISO 3382-1'e göre EDT parametresi, öznel olarak algılanan reverberasyonda daha etkilidir. EDT değeri salon geometrisinden etkilenmektedir. Kısa EDT canlılık sağlarken uzun RT değerleri salonda müziğe canlılık katmaktadır [25, 20].

Birinci analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda ortalama EDT değeri):

Yapılan analizlerde hesaplanan EDT parametresi için 8oktav bant, merkez frekanslar, düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.15. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki EDT değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları

BAND (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	3,00	3,03	2,55	1,72	1,21	1,08	1,00	0,62

Çizelge 3.16. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki EDT değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları (* ile işaretliler değerlendirme sırasında kullanılan değerlerdir)

Frekans Aralığı (Hz)	Merkez Frekanslar (125-2000)	Düşük Frekanslar (125-250)	Orta Frekanslar (500-1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)
EDT (sn)	1,77	2,79	1,47*	1,04

Beranek'e göre dinleyicisiz koşullarda değerlendirdiği salonların EDT değerleri, iyi akustiğe sahip olanlarda 2,25 – 2,75 sn arasındadır ve bu salonların koltukları kalın kaplanmıştır. Kötü akustiğe sahip olanlarda ise 1,4 – 2,0 sn arasındadır ve bu salonların koltukları ince kaplanmıştır.

Standartlara göre EDT için optimum değer aralığı 1,0 ile 3,0 sn'dir. ODEON yazılımının önerdiği optimum EDT aralığı 1,7 ile 2,3 sn arasındadır [24, 25]. Bu değerlere göre salonda orta frekanslarda hesaplanan 1,47 sn EDT değeri standartlara göre uygun, yazılımın önerdiği aralığa göre düşüktür.

Çizelge 3.17. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum EDT aralıkları ve sonucun değerlendirilmesi

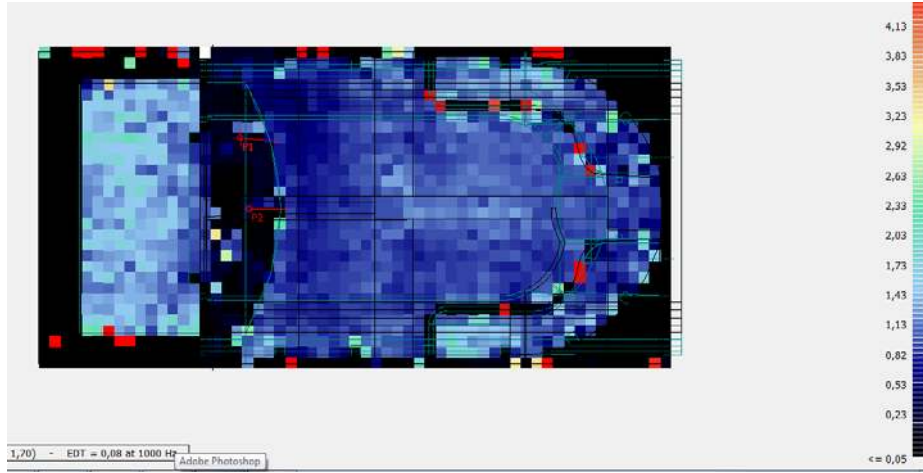
Referans	TS EN ISO 3382-1	ODEON
Optimum EDT	1 – 3	1,7 - 2,3
Değerlendirme (EDT _{mid} =1,47 sn için)	Olumlu	Düşük Olumsuz
Değerlendirme (merkez frek. EDT=1,77 sn için)	--	Olumlu

İkinci analiz üzerinden değerlendirme (Ön ve Ana Sahnedeki kaynaklar aktif iken salonda ortalama EDT değeri):

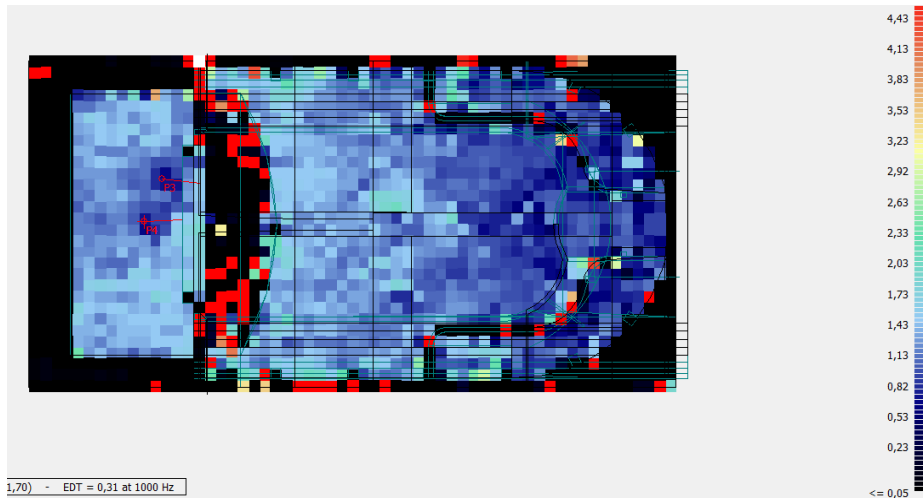
Sahne kullanımının EDT parametresine etkisini incelemek amacıyla yapılan, ön ve ana sahnedeki kaynakların ayrı ayrı aktif oldukları ikinci analizde sırasıyla 1,37 sn ve 1,64 sn sonuçlarına ulaşılmıştır. Buradan RT parametresinde olduğu gibi müzisyenler ön sahneye yerleştirildiğinde yakın çevresini kuşatan ses yansıtıcı yüzeyler bulunmadığından salondaki erken sönümlenme süresinin daha da düştüğü görülmektedir. İki durumda da parametre değerleri standartlara göre optimum aralıkta, işlev için uygundur.

Çizelge 3.18. Farklı kaynak yerlerine göre orta frekanslarda EDT değerleri

Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken EDT (sn)	1,37
Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken EDT (sn)	1,64



Şekil 3.12.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken EDT parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)



Şekil 3.12.(b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken EDT parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)

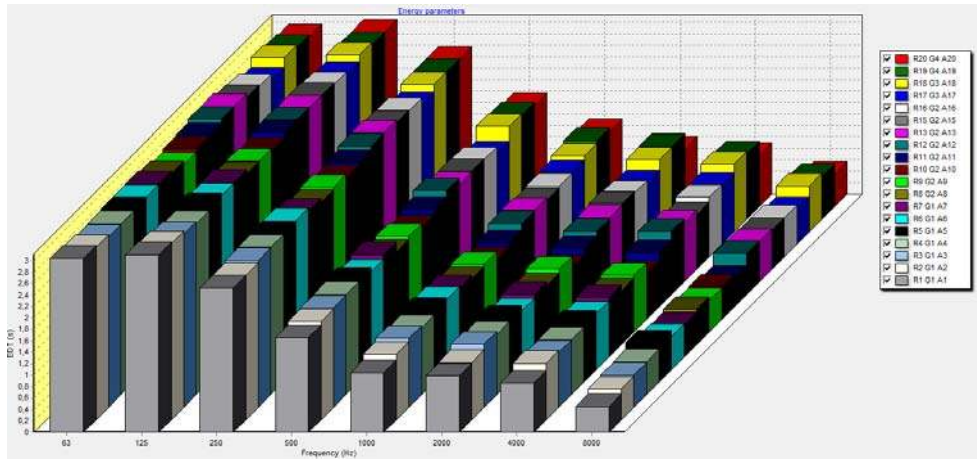
Üçüncü analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda belirlenen dinleyici gruplarındaki ortalama EDT değerleri):

Sahnedeki dört kaynak aktif durumda iken dört dinleyici grubundaki EDT parametresi incelenmiş ve bölgeler arasındaki farklılıklar yorumlanmıştır. Bu analizde elde edilen EDT değerleri sırasıyla 1,46_1,43_1,50 ve 1,57 sn' dir. Bu sonuçlara göre salonda bulunan dinleyici gruplarından balkon ve localar en iyi, arka orta grup ise en kötü EDT değerine sahiptir.

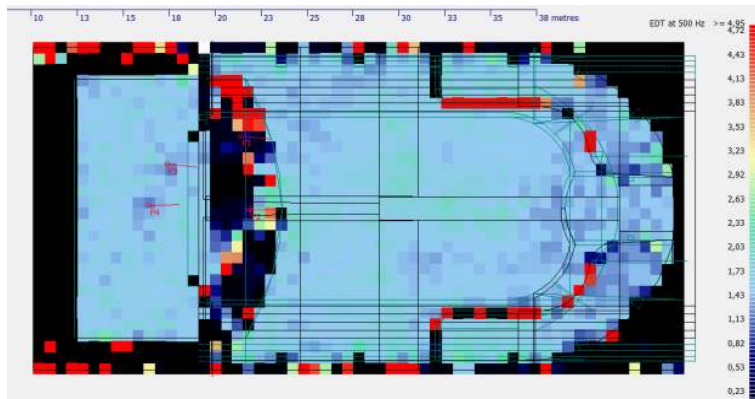
Çizelge 3.19. Farklı dinleyici gruplarında EDT değerleri

1.	Grup – ön orta için EDT	1,46
2.	Grup – arka orta için EDT	1,43
3.	Grup – setler için EDT	1,50
4.	Grup – balkon ve loca için EDT	1,57

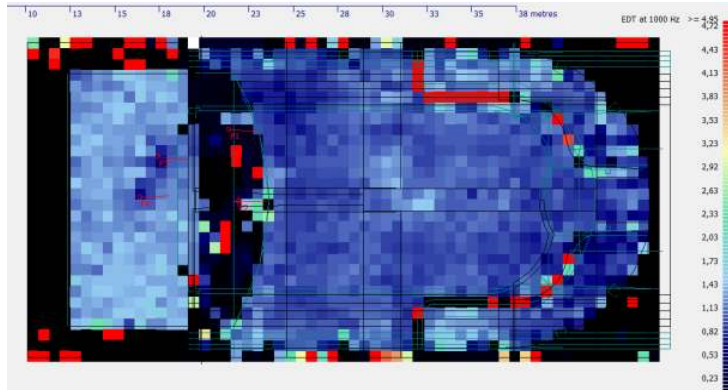
Ayrıca ODEON yazılımında değerlendirilen EDT parametresinin grafik gösteriminde (Şekil 3.13) ve salonda dağılımını gösteren ızgara yönteminde (Şekil 3.14 a-b) parametrenin salonda dağılımının homojen olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.13. Alıcı noktalarında EDT-Frekans grafiği



Şekil 3.14.(a) EDT parametresinin 500 Hz dağılımı



Şekil 3.14.(b) EDT parametresinin 1000 Hz dağılımı

Sesin berraklığı ve netliği' nin (C80 Parametresinin) değerlendirilmesi

C80, alıcıya ilk 80 ms içinde gelen ses enerjisi ile ilk 80 ms' nin ardından gelen gecikmiş reverberant ses arasındaki farkın dB cinsinden ifadesidir. $C_{80}(3)$ öznel berraklığın ifadesinde kullanılmaktadır, (3) sembolü 500, 1000 ve 2000 Hz bantlarındaki C_{80} değerlerinin ortalamasıdır. Sesin canlılığı ile berraklık ve netliği parametreleri birbirleri ile aynı oranda ters orantılıdır, salonda sesin berraklığını erken reverberasyon etkilemektedir [7, 8, 21].

Birinci analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda ortalama C80 değeri):

Yapılan analizlerde hesaplanan C80 parametresi için 8 oktav bant, merkez frekanslar, düşük, orta ve yüksek frekanslar ve 500 – 1000 – 2000 Hz için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.20. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki C80 değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları

BAND (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 (dB)	-2,90	-3,00	-1,80	0,70	3,10	3,70	4,20	7,40

Çizelge 3.21. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki C80 değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları (* ile işaretliler değerlendirme sırasında kullanılan değerlerdir)

Frekans Aralığı (Hz)	Merkez Frekanslar (125-2000)	Düşük Frekanslar (125-250)	Orta Frekanslar (500-1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)	500 – 1000- 2000 Hz
C80 (dB)	1,15	-2,40	1,90*	3,95	2,5*

Beranek'e göre üç frekansta hesaplanan C80 (3) değeri, büyük salonlarda yeterli berraklık için değeri -4 dB ila +1 dB arasında olmalıdır [8].

TS EN ISO 3382-1'e göre konser salonlarında C80 parametresi, orta frekanslarda -5 dB ile +5 dB aralığında olmalıdır. ODEON yazılımının önerdiği optimum C80 aralığı -1 ile +3 dB arasındadır [24, 25].

Bu değerlere göre salonda orta frekanslarda hesaplanan 1,90 dB C80 değeri standartlara ve yazılımın önerdiği aralığa göre uygundur. Beranek'in daha çok öznel berraklığı değerlendirmeye yönelik olan yöntemine göre hesaplanan C80(3) değeri ise 2,5 dB' dir ve yüksektir. Bu değerlendirme, reverberasyon süresinin düşük olmasından kaynaklanan canlılık parametresinin yetersiz olduğu ve bununla ters orantılı olan berraklık öznel parametresinin yüksek olduğu bilgisini desteklemektedir.

Çizelge 3.22. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum C80 aralıkları ve sonucun değerlendirmesi

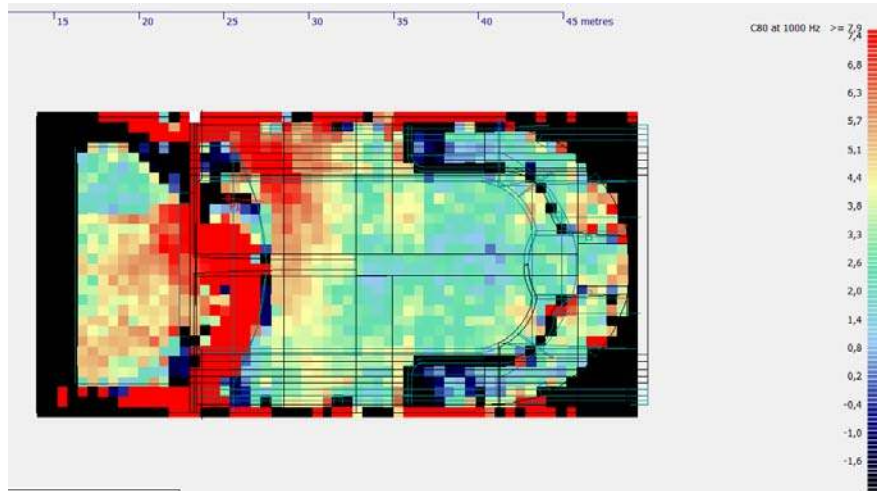
Referans	Beranek	TS EN ISO 3382-1	ODEON
Optimum C80	-4 _ +1	-5 _ +5	-1 _ +3
Değerlendirme (C80mid=1,90 dB için)	--	Olumlu	Olumlu
Değerlendirme (C80 (3) = 2,5 dB için)	Yüksek	--	--

İkinci analiz üzerinden değerlendirme (Ön ve Ana Sahnedeki kaynaklar aktif iken salonda ortalama C80 değeri):

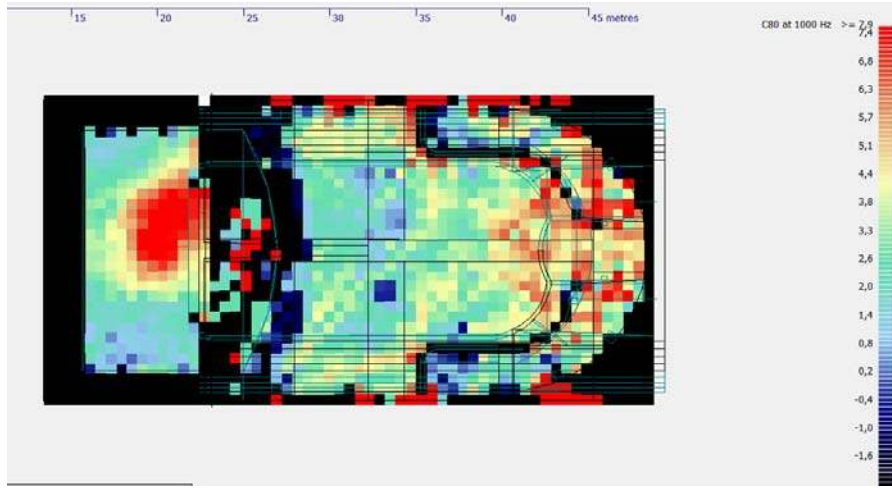
Sahne kullanımının C80 parametresine etkisini incelemek amacıyla yapılan, ön ve ana sahnedeki kaynakların ayrı ayrı aktif oldukları ikinci analizde sırasıyla 2,40 dB ve 1,45 dB sonuçlarına ulaşılmıştır. Buradan müzisyenler arka sahneye yerleştirildiğinde salondaki C80 parametresinin belirgin şekilde düştüğü görülmektedir (RT ve EDT parametreleri ile ters orantılı olarak). İki durumda da parametre değerleri standartlara göre optimum aralıkta, işlev için uygundur.

Çizelge 3.23. Farklı kaynak yerlerine göre orta frekanslarda C80 değerleri

Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken C80 (dB)	2,40
Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken C80 (dB)	1,45



Şekil 3.15.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken C80 parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)



Şekil 3.15.(b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken C80 parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)

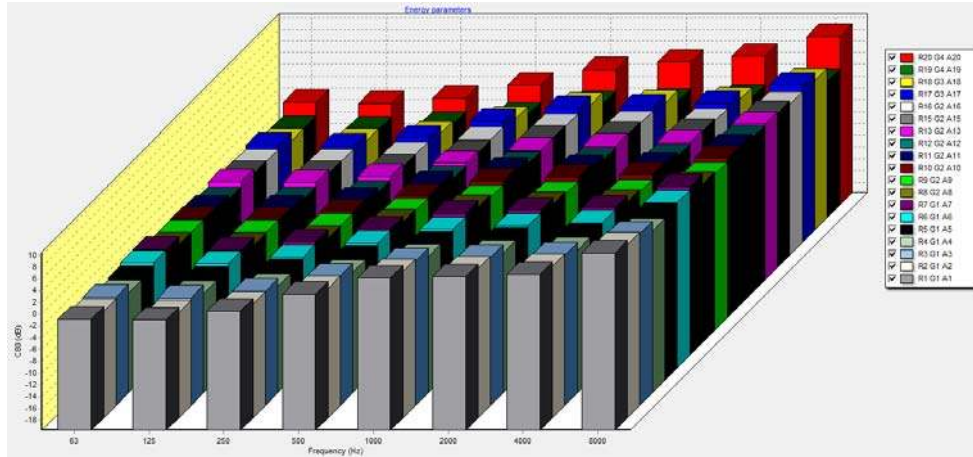
Üçüncü analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda belirlenen dinleyici gruplarındaki ortalama C80):

Sahnede bulunan dört kaynak aktif durumda iken dört dinleyici grubundaki C80 parametresi incelenmiş ve bölgeler arasındaki farklılıklar yorumlanmıştır. Bu analizde elde edilen C80 değerleri sırasıyla 3,11 – 1,48 – 1,10 – 0,28 dB’ dir. Bu sonuçlara göre salonda bulunan dinleyici gruplarından arka orta ve setler iyi, ön orta grup ve balkon ve localar kötü C80’e sahiptir. Gruplar arasında belirgin değişimler vardır ve iki grupta parametre değerleri optimum aralıkların dışına çıkmaktadır.

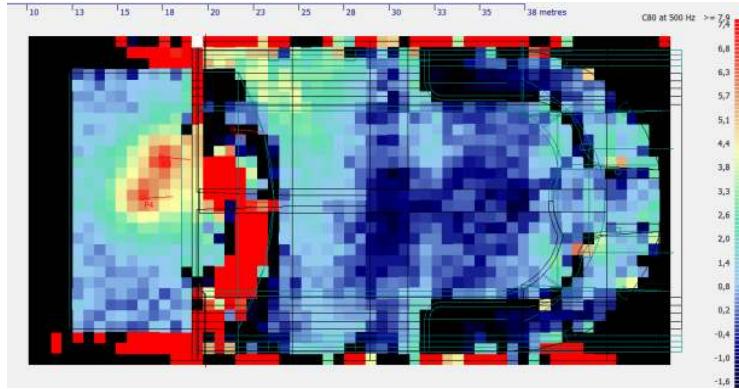
Çizelge 3.24. Farklı dinleyici gruplarında C80 değerleri

1.	Grup – ön orta için C80	3,11
2.	Grup – arka orta için C80	1,48
3.	Grup – setler için C80	1,10
4.	Grup – balkon ve loca için C80	0,28

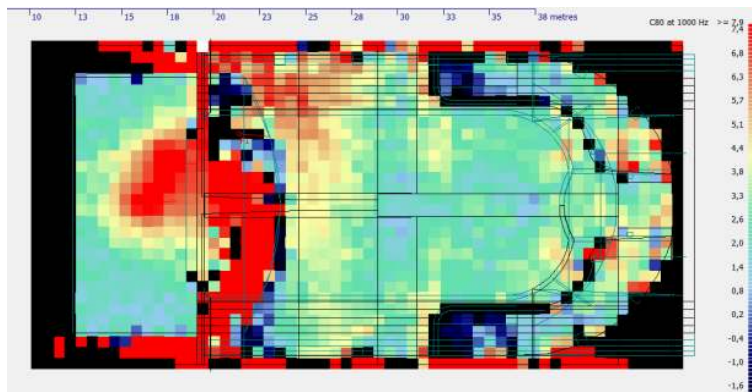
Ayrıca ODEON yazılımında değerlendirilen C80 parametresinin grafik gösteriminde (Şekil 3.16) ve salonda dağılımını gösteren ızgara yönteminde (Şekil 3.17 a-b) parametrenin salonda dağılımının düzensiz olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.16. Alıcı noktalarında C80-Frekans grafiği



Şekil 3.17.(a) C80 parametresinin 500 Hz dağılımı



Şekil 3.17.(b) C80 parametresinin 1000 Hz dağılımı

Yan yansıma oranının (LF Parametresinin) değerlendirilmesi

LF kavramı, salonların akustik kalitesinde yanal yansımaların önemini vurgulamak için ortaya atılmış bir parametredir, hacmin yan yüzeylerinden gelen erken ses enerjisinin toplam ses enerjisine oranı olarak da ifade edilebilir, salonun genişliği ile ters orantılıdır, yan duvarlar arasındaki mesafe arttıkça parametre değerleri azalmaktadır [22].

Beranek'e göre LF_{80} erken yan yansıma oranı, 0-80 ms arasındaki periyotta düşük ve orta frekanslardaki (125-250-500-1000) LF değerlerinin ortalamasıdır. Standartlara göre de LF'nin 4000Hz oktav bandında değeri diğerlerine nispeten önemsizdir ve LF 125-1000 arası oktav bandında ortalama alınarak değerlendirilmektedir [8, 25].

Birinci analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda ortalama LF değeri):

Yapılan analizlerde hesaplanan LF parametresi için 8 oktav bant, merkez frekanslar, düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.25. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki LF değerlerinin 8 oktav bant için ortalamaları

BAND (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LF	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25	0,24	0,24	0,23

Çizelge 3.26. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki LF değerlerinin belirli frekans bantlarında ortalamaları (* ile işaretliler değerlendirme sırasında kullanılan değerlerdir)

Frekans Aralığı (Hz)	Merkez Frekanslar (125-2000)	Düşük Frekanslar (125-250)	Orta Frekanslar (500-1000)	Yüksek Frekanslar (2000-4000)	Düşük ve orta frekans ortalaması(125-1000)
LF	0,26	0,27	0,26	0,24	0,26*

TS EN ISO 3382-1'e göre konser salonlarında LF parametresi, 0,05 ile 0,35 aralığında olmalıdır. ODEON yazılımı LF değerini >0,25 olarak önermektedir. [24,25].

Bu değerlere göre salonda orta ve düşük frekansların ortalaması olarak hesaplanan 0,26 değeri standartlara ve yazılımın önerdiği aralığa göre uygundur.

Çizelge 3.27. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum LF aralıkları ve sonucun değerlendirilmesi

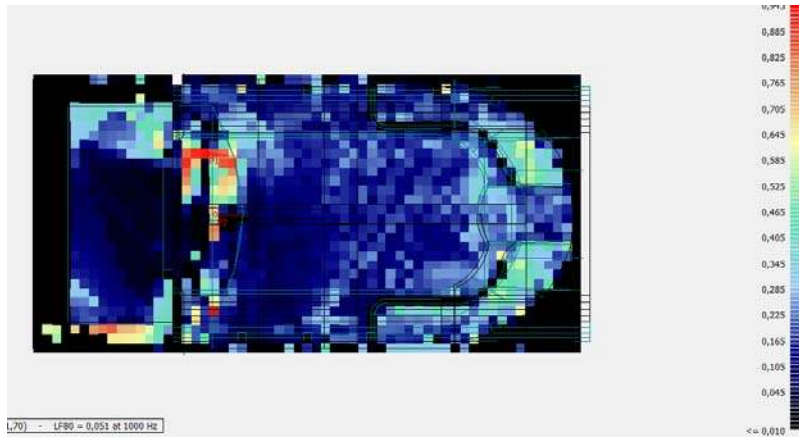
Referans	TS EN ISO 3382-1	ODEON
Optimum LF (125-1000Hz için)	0,05-0,35	>0,25
Değerlendirme (LF=0,26 için)	Olumlu	Olumlu

İkinci analiz üzerinden değerlendirme (Ön ve Ana Sahnedeki kaynaklar aktif iken salonda ortalama LF değeri):

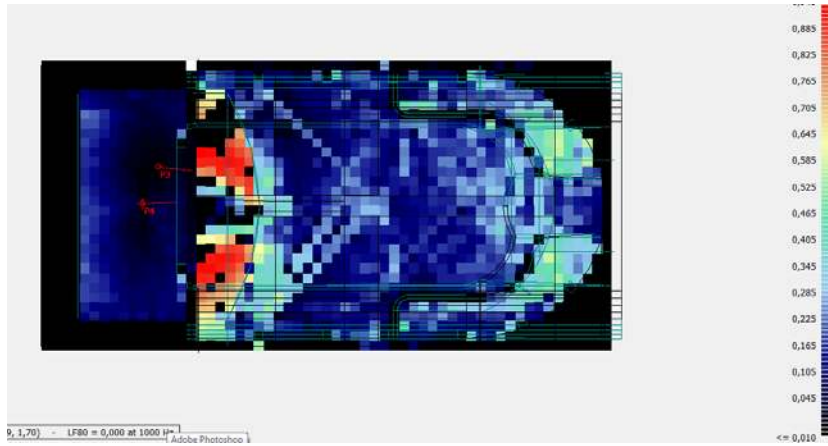
Sahne kullanımının LF parametresine etkisini incelemek amacıyla yapılan, ön ve ana sahnedeki kaynakların ayrı ayrı aktif oldukları ikinci analizde iki durum için de 125 - 1000 Hz frekans aralığında 0,23 sonucuna ulaşılmıştır. Bu değer parametrenin olması gereken değer aralığındadır.

Çizelge 3.28. Farklı kaynak yerlerine göre orta frekanslarda LF değerleri

Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken LF	0,23
Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken LF	0,23



Şekil 3.18.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken LF parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)



Şekil 3.18.(b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken LF parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)

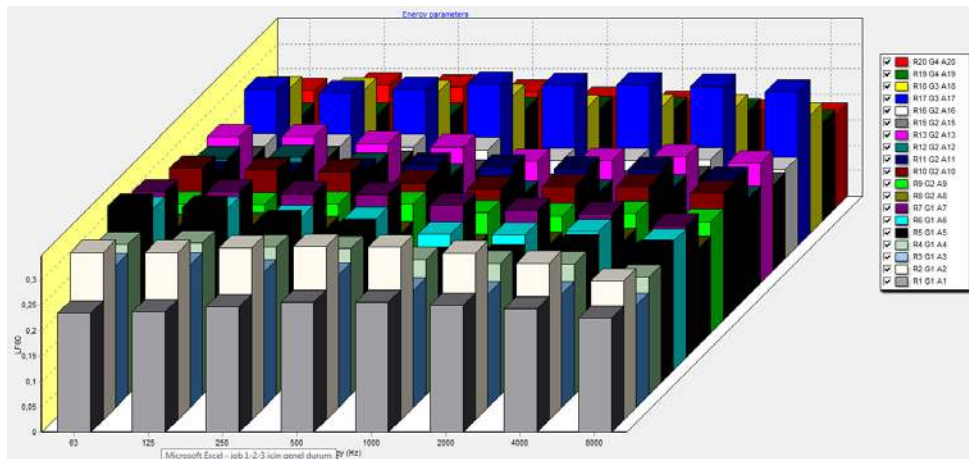
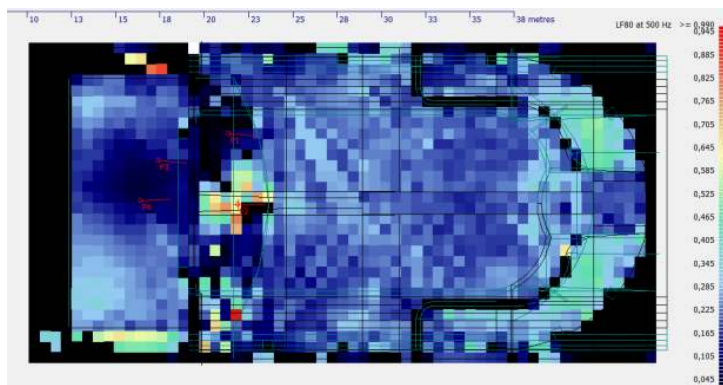
Üçüncü analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda belirlenen dinleyici grubundaki ortalama LF):

Sahne de bulunan dört kaynak aktif durumda iken dört dinleyici grubundaki LF parametresi incelenmiş ve bölgeler arasındaki farklılıklar yorumlanmıştır. Bu analizde elde edilen LF değerleri sırasıyla 0,29 – 0,24 – 0,29 ve 0,27' dir. Bu sonuçlara göre salonda bulunan dinleyici gruplarından tümü iyi, ancak düzensiz dağılmış LF değerine sahiptir.

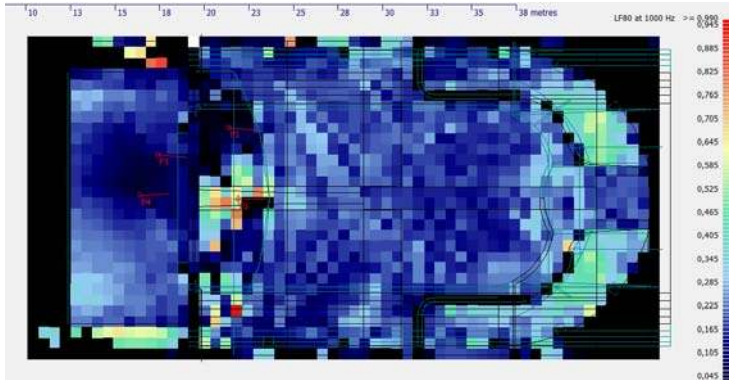
Çizelge 3.29. Farklı dinleyici gruplarında LF değerleri

1.	Grup – ön orta için LF	0,29
2.	Grup – arka orta için LF	0,24
3.	Grup – setler için LF	0,29
4.	Grup – balkon ve loca için LF	0,27

Ayrıca ODEON yazılımında değerlendirilen LF parametresinin grafik gösteriminde (Şekil 3.19) ve salonda dağılımını gösteren ızgara yönteminde (Şekil 3.20 a-b) parametrenin salonda dağılımının düzensiz olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 3.19. Alıcı noktalarında LF₈₀ - Frekans grafiği

Şekil 3.20.(a) LF parametresinin 500 Hz dağılımı



Şekil 3.20. (b) LF parametresinin 1000 Hz dağılımı

Ses yüksekliği (G Parametresinin) değerlendirilmesi

Akustikte sesin algılanan yüksekliği yargısı, ‘ses yüksekliği’ (strength factor) olarak adlandırılan nesnel parametre ile ölçülmekte ve ‘G’ ile simgelenmektedir. G, standart bir ses kaynağı için, salondaki toplam ses düzeyinin dB türünden ifadesidir [8, 2].

Beranek’e göre G genellikle 6 oktav frekans bandında, standartlara göre de orta frekanslarda ortalama alınarak değerlendirilmektedir [8, 25].

Birinci analiz üzerinden değerlendirme (Sahnedeki tüm kaynaklar aktif iken salonda ortalama G değeri):

Yapılan analizlerde hesaplanan G parametresi için 8 oktav bant, merkez frekanslar, düşük, orta ve yüksek frekanslar için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir (Burada belirtilen G parametresine, ODEON programında elde edilen SPL(A) parametresi karşılık gelmektedir, değerlendirmelerde SPL(A) sonuçları kullanılmaktadır).

Çizelge 3.30. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki G değerlerinin ortalaması

G (dB)	77,39
--------	-------

Çizelge 3.31. Dört kaynağın aktif olduğu durumda tüm alıcı noktalarındaki G değerleri

Alıcı noktaları	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19
G	79,9	81	80,2	78,7	77,7	78,7	79,3	77,1	75,9	75,8	75,9	77,2	77,4	76,5	75,9	74,2	75,1	77,2	76,7

TS EN ISO 3382-1'e göre konser salonlarında G parametresi için tipik aralık -2 ile +10 dB olarak verilmiştir. ODEON yazılımı G değerini >3 dB olarak önermektedir. [24, 25].

Bu değerlere göre salonda alıcı noktalarında hesaplanan en yüksek G değeri 81 dB, en düşük G değeri 74,2 dB' dir, bu değerler arasındaki fark 10dB' den küçük olduğundan standartlara ve yazılımın önerdiği aralığa göre uygundur.

Çizelge 3.32. Çeşitli kaynaklarda belirtilen sağlanması gereken optimum G değerleri farkı

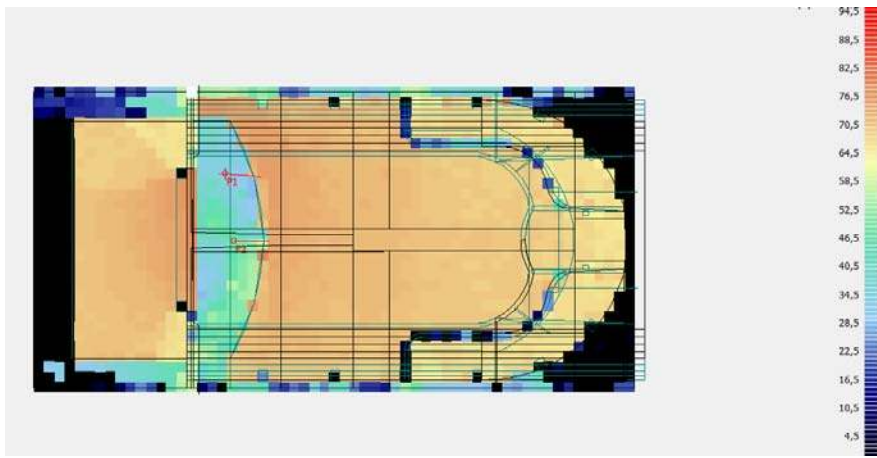
Referans	TS EN ISO 3382-1	ODEON
Optimum G (orta frekanslarda)	-2 - +10	>3
Değerlendirme (6,8dB fark için)	Olumlu	Olumlu

İkinci analiz üzerinden değerlendirme (Ön ve Ana Sahnedeki kaynaklar aktif iken salonda ortalama G değeri):

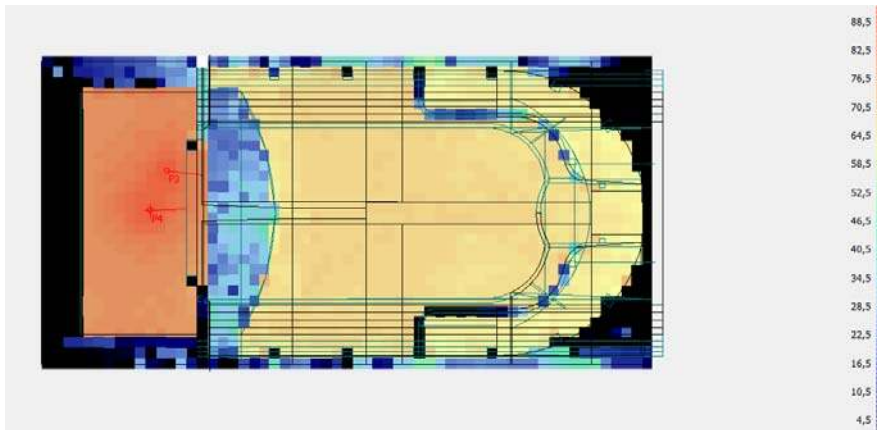
Sahne kullanımının LF parametresine etkisini incelemek amacıyla yapılan, ön ve ana sahnedeki kaynakların ayrı ayrı aktif oldukları ikinci analizde en yüksek ve en düşük SPL(A) değerleri sırasıyla 79,98 - 72,21 ve 74,19 - 69,71 dB' dir. Bu değerler arasındaki farklar 7,77 ve 4,48 dB' dir ve parametrenin olması gereken değer aralığındadır.

Çizelge 3.33. Alıcı noktalarına göre en yüksek, en düşük ve ortalama G değerleri

Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken G	En düşük	72,21
	En yüksek	79,98
	Ortalama	75,77
Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken G	En düşük	69,71
	En yüksek	74,19
	Ortalama	72,24

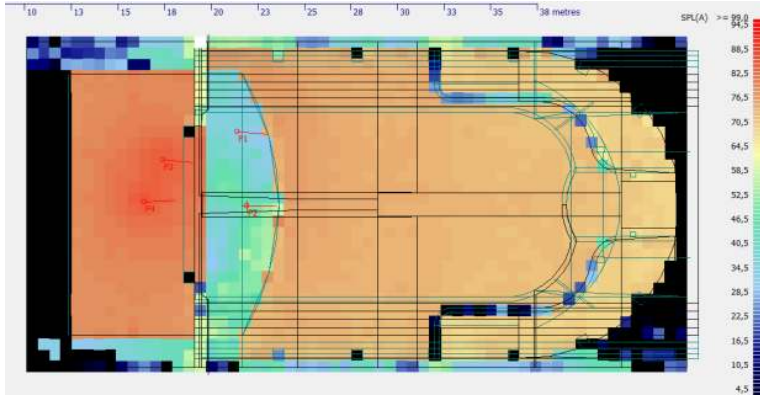


Şekil 3.21.(a) Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken G parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)



Şekil 3.21.(b) Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken G parametresinin salon içindeki dağılımı (500 Hz)

Ayrıca ODEON yazılımında değerlendirilen G parametresinin salonda dağılımını gösteren ızgara yönteminde (Şekil 3.22) parametrenin salonda dağılımının düzensiz olduğu, değerin arka sıralara doğru düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.22. SPL(A) dağılımı

3.4. Salonun Akustik Performansının Alan Ölçümü Yöntemi ile Analizi

Salonun akustik performansının analizinde kullanılan ikinci yöntem, yerinde alan ölçümüdür. Çalışma kapsamında, salonun boş durumda RT parametresi ölçülmüş ve simülasyon sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir.

Beranek'e göre reverberasyon süresi ölçümü, oktav veya 1/3 oktav bantlarda, çok yönlü bir ses kaynağından verilen pembe gürültü veya darbe sesi ile yapılmaktadır. Ölçüm sırasında salonun dolu veya boş olması, dinleyicilerin hacimde meydana gelen ses olaylarında aktif rol oynamasından dolayı önemlidir. Yeterli zaman var ise, ölçümler birden fazla kaynak noktasında (örneğin varsa orkestra çukurunda da) ve 16 ila 24 alıcı noktasında yapılmalıdır. Salon simetrik ise, bu nokta sayısı yarıya indirilebilir ve ölçümler salonun yalnızca yarısında gerçekleştirilebilir. Salonun ortalama reverberasyon süresini saptamak için, belirlenen çeşitli alıcı noktalarındaki verilerin her frekans için ortalaması alınmaktadır [8].

TS EN ISO 3382-1 Standardında, alan ölçümü koşullarına ilişkin yer alan bir takım kurallar verilmektedir.

1. Hoparlör, ses yükseltici, ses analizörü ve mikrofondan oluşan bir düzenek kurulmalıdır.
2. Ölçüm yapılacak kaynak omnidirectional (çok yönlü) ses kaynağı olmalıdır.
3. En az iki kaynak noktası belirlenmeli ve ses kaynağı ile alıcılar doğal yerlerine konulmalıdır.
4. Kaynak ve alıcı arasındaki mesafe en az 1,5m olmalıdır.
5. Kaynak zeminden 1,5m yüksekte olmalıdır.
6. Reverberasyon süresi ölçümleri için tüm salonu ifade edecek alıcı noktaları seçilmelidir ve özellikle salondaki farklı akustik koşullara sahip olması muhtemel yerlere alıcı yerleştirilmelidir.
7. Mikrofonlar aralarında en az 2m mesafe olacak ve çevresindeki yansıtıcı yüzeylerden ve zeminden en az 1m uzak olacak şekilde yerleştirilmelidir.
8. Salonlardaki dinleyici sayılarına göre yerleştirilmesi gereken minimum alıcı sayıları şöyledir:
500 Kişi – en az 6 nokta
1000Kişi – en az 8 nokta
1001 2000 Kişi – en az 10 nokta
9. Ölçümler, tüm ölçüm koşullarını ve sonuçlarını belirtecek şekilde raporlanmalıdır.

Alan ölçümü koşulları

Çalışma kapsamında, TS EN ISO 3382-1 Standardına uygun olarak, salonun reverberasyon süresinin belirlenmesine yönelik yapılan alan ölçümünde sağlanan koşullar ve genel kabuller aşağıda verilmektedir.

Ölçümler, salon boş ve kullanıcıları (müzisyen ve dinleyiciler) için hazır durumda iken yapılmıştır.

Düzenek aşağıda verilen brüel&kjaer marka cihazlar kullanılarak ve standartlara uygun şekilde kurulmuştur.

Ses Kaynağı (122dB-re:1pW)

2734-A : Güç yükselticisi (500W)

4192 1/2 inç Mikrofon

2669-B Mikrofon önyükselticisi



Resim 3.9. Ölçüm sırasında salonda kurulan ölçüm düzeneği



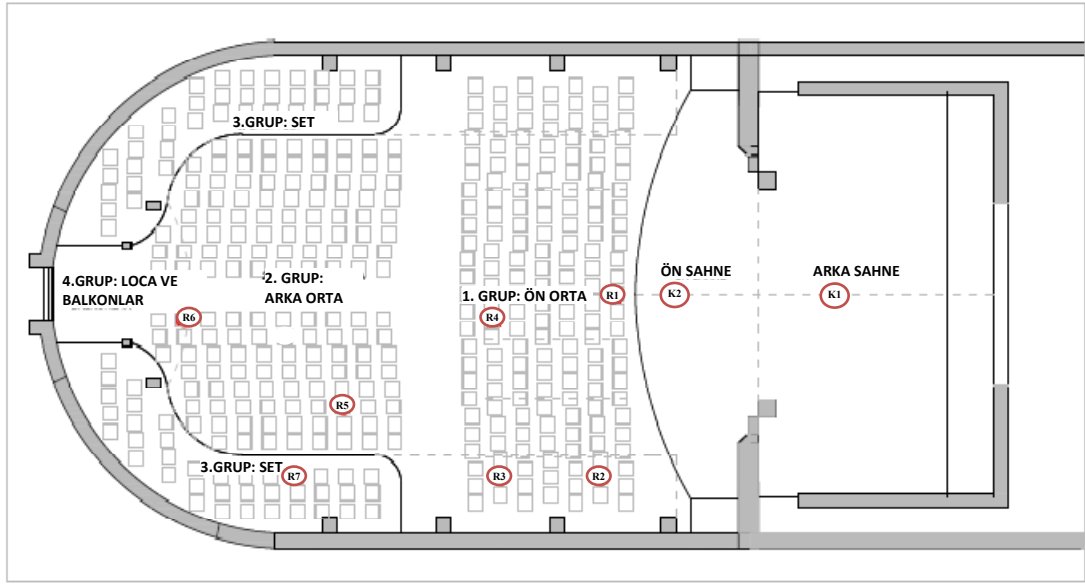
Resim 3.10. Ölçümün yapıldığı bir alıcı noktasına yerleştirilmiş mikrofon

- Omnidirectional ses kaynağı, sahnenin konser işlevi sırasında kullanım şekline göre, müzisyenlerin doğal pozisyonlarında, ön ve arka sahnede olmak üzere iki noktada, sahne zemininden 1,5m yükseklikte konumlandırılmıştır.



Resim 3.11.(a-b) Çok yönlü ses kaynağının sahnede yerleştirildiği K1 ve K2 konumu

- Mikrofonlar, salon kapasitesi 500 kişinin altında olduğundan, mikrofon sayısı kriterine uygun olarak, homojen dağıtılmış 7 noktada konumlandırılmıştır. Mikrofon yerleri, salondaki doğal dinleyici yerlerine, aralarında en az 2m mesafe bırakılarak, zeminden 1.1m yükseklikte, çevresindeki yansıtıcı yüzeylerden en az 1m mesafede ve kaynağa uzak olacak şekilde seçilmiştir.
- Mikrofon yerleri seçilirken farklı akustik özelliklere sahip olması muhtemel noktalara dikkat edilmiş, sahne önü, balkon altı, setler ve duvar yanı gibi bu noktalara akustik koşullarının incelenmesi amacı ile mikrofon yerleştirilmiştir (Bkz. Şekil 3.23)
- Salon tam kapalı hacimdir, arka duvarı yarım daire biçimli olan dikdörtgen plana sahiptir.
- Salonun zemin katında, ahşap, oturma yeri ince döşemeli olan ve boş iken kapanan, dolu ahşap sırtlı 426 adet kullanımda olan koltuk bulunmaktadır.
- Salondaki ses güçlendirme sistemleri bu ölçümde kullanılmamış ve hesaba katılmamıştır.
- Ölçüm, prova gününde gerçekleştirildiğinden sahnede piyano ve koltuklar gibi sahne mobilyaları bulunmaktadır.
- Ölçüm esnasında salondaki bağıl nem %46,2 ve ortam sıcaklığı 21,4 derecedir.
- 100Hz ile 80kHz arasındaki frekanslar için, 90 dB pembe gürültü sinyalleri verilerek RT_{30} ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.23. Salon şemasında ölçüm noktaları

Reverberasyon Süresi (RT) Ölçümü Sonuçlarının Analizi

Salonda, ana sahne orta aksında yerleştirilen K1 ve ön sahne orta aksında yerleştirilen K2 kaynak noktalarında, R1-..R7 alıcı noktalarında elde edilen 100-8000Hz arasındaki RT_{30} değerleri aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.34. K1 için 7 alıcı noktasında ölçülen RT_{30} değerleri (sn)

K1	100	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R1 K1	3	3,1	2,36	1,87	1,68	1,26	1,02	0,57
R2 K1	3,48	3,11	2,32	1,86	1,68	1,42	1,04	0,67
R3 K1	3,56	3,12	2,58	1,98	1,75	1,34	1,11	0,68
R4 K1	3,47	3,13	2,36	1,93	1,62	1,32	1,03	0,7
R5 K1	3,85	3,14	2,43	2,18	1,71	1,38	1,04	0,63
R6 K1	4,58	3,15	2,75	1,86	1,76	1,35	1,11	0,67
R7 K1	3,72	3,16	2,74	2,02	1,48	1,43	1,1	0,68
ortalama	3,67	3,13	2,51	1,96	1,67	1,36	1,06	0,66

Çizelge 3.35. K1 için 7 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için ölçülen RT_{30} değerleri (sn)

K1	Düşük Frekanslar	Orta Frekanslar	Yüksek Frekanslar
R1 A2 K1	2,73	1,78	1,14
R2 A1 K1	2,72	1,77	1,23
R3 A5 K1	2,85	1,87	1,23
R4 A4 K1	2,75	1,78	1,18
R5 A15 K1	2,79	1,95	1,21
R6 A10 K1	2,95	1,81	1,23
R7 A18 K1	2,95	1,75	1,27
ortalama	2,82	1,81	1,21

Çizelge 3.36. K2 için 7 alıcı noktasında ölçülen RT_{30} değerleri (sn)

K2	100	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R1 K2	3,37	2,87	2,49	1,88	1,56	1,34	1,00	0,60
R2 K2	3,26	3,50	2,47	1,93	1,60	1,47	1,00	0,61
R3 K2	3,14	3,18	2,43	2,12	1,61	1,28	1,11	0,67
R4 K2	3,43	3,38	2,09	2,21	1,65	1,36	1,04	0,64
R5 K2	3,68	3,33	2,24	1,91	1,61	1,49	1,06	0,65
R6 K2	3,56	3,40	2,31	1,97	1,56	1,39	1,12	0,64
R7 K2	3,39	3,18	2,42	2,14	1,56	1,34	1,02	0,64
ortalama	3,40	3,26	2,35	2,02	1,59	1,38	1,05	0,64

Çizelge 3.37. K1 için 7 alıcı noktasında düşük, orta ve yüksek frekanslar için ölçülen RT_{30} değerleri (sn)

K1	Düşük Frekanslar	Orta Frekanslar	Yüksek Frekanslar
R1 A2 K1	2,68	1,72	1,17
R2 A1 K1	2,99	1,77	1,24
R3 A5 K1	2,81	1,87	1,20
R4 A4 K1	2,74	1,93	1,20
R5 A15 K1	2,79	1,76	1,28
R6 A10 K1	2,86	1,77	1,26
R7 A18 K1	2,80	1,85	1,18
ortalama	2,81	1,81	1,22

Ölçümlerde iki kaynak noktasında da alınan ortalama RT_{30mid} değeri eşit ve 1,81 sn'dir ve salon işlevi ve hacmi için uygundur (Bkz: Çizelge 3.38).

Çizelge 3.38. Çeşitli kaynaklarda belirtilen salon hacmine ve kullanımına göre sağlanması gereken optimum RT_{30} aralıkları ve ölçüm sonucunun değerlendirmesi

Referans	Egan	Beranek	Long	ODEON
Optimum RT_{30} (sn)	1,7 - 2,3	1.60- 1.80 (RT_{mid})	1,7 - 1,9	1,7 ile 2,3
Değerlendirme ($RT_{30mid}=1,81$ sn için)	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, özellikle konser salonlarının ihtiyaç duyduğu akustik konfor koşulları ve bu koşulların oluşmasında temel teşkil eden etkenler ortaya konulmuş, bu parametrelerin optimum değerleri tanımlanarak (Çizelge 2.3) örneklem olarak seçilen Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu'nun, müzik işlevi için akustik performansı, literatür bilgileri, ODEON simülasyon programı ve alan ölçümleri aracılığı ile analiz edilmiştir.

Simülasyon ve ölçüm sonucunda elde edilen RT, EDT, C80, LF ve G nesnel parametreleri ve bunlarla bağlantılı olan öznel parametreler, TS EN ISO 3382-1 standardında ve temel referans kaynaklarda belirtilen optimum değer aralıklarına göre değerlendirilerek yorumlanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Salonun akustik performansının değerlendirilmesi [24, 25]

Kullanılan Parametre	Sonuç	Kabul Edilen Optimum Aralık	Kullanılan Yöntem	Değerlendirme
RT₃₀ (s)	1,81sn	1,7 - 2,3 sn [24]	Alan ölçümü	OLUMLU
	1,60 sn	1,7 - 2,3 sn [24]	Simülasyon ile Analiz	YETERSİZ
EDT (s)	1,47 sn	1 – 3 sn [25]	Simülasyon ile Analiz	OLUMLU
C80 (dB)	1,90 dB	-5 dB-+5 dB [25]	Simülasyon ile Analiz	OLUMLU
LF80	0,26	0,005 – 0,35 [25]	Simülasyon ile Analiz	OLUMLU
G	6,8	-2 _ +10 [25]	Simülasyon ile Analiz	OLUMLU

Simülasyon aracılığıyla, salonun genel kullanım koşullarında, farklı kaynak konumlarında ve farklı dinleyici gruplarında akustik parametreler incelendiğinde, reverberasyon süresi parametresinin yetersizliği ve ölçüm ile simülasyon sonuçlarında farklılığı değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Salonda müziğin istenen nitelikte dinleyiciye ulaşmasının ölçütü olan temel parametrelerden EDT, C80, LF ve G parametreleri, işlevine uygun ve standartlarda belirtilen aralıklardadır. RT_{30} değerinin ise ölçümler sonucunda yeterli, simülasyon sonucunda yetersiz olduğu görülmüştür (Bkz: Çizelge 4.1).

2. Hacimlerin akustik açısından değerlendirilmesinde temel parametre olarak kabul edilen RT parametresinin simülasyon hesaplamaları sonucunda düşük bulunması, salonda müzikal performanslar için yeterli reverberasyonun sağlanamadığını, böylece sesin canlılığı, parlaklığı ve dinleyicilerin kuşatılması hissinin de zayıf olduğunu göstermektedir. Bu durumun, sahne çevresinde yer alan fon perdelerinden ve ön sahnenin yakın çevresinde ses yansıtıcı yüzeylerin olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. EDT, C80, LF ve G parametrelerinin uygun aralıklarda olmasına ve salonun mimari özelliklerine göre, genel olarak salonda sesin berraklık ve netliği, yakınlığı, mekansal algılama, sesin algılanan yüksekliği öznel parametrelerinin yeterli düzeyde olduğu sonucuna varılabilmektedir.

3. Salon için yapılan reverberasyon süresi simülasyon ve ölçümlerinde elde edilen 0,2sn fark, ölçümün salonun boş olduğu, simülasyonun ise salonun dolu olduğu koşullarda gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Ölçüm ve analizde alınan RT_{30} sonuçlarının değerlendirilmesi

Yöntem	2 kaynak ve her alıcı için RT_{30mid} ortalaması
Simülasyonla Analiz	1,62
Alan Ölçümü	1,81

RT_{30} parametresinin, salon boş iken yapılan ölçümlerin sonucunda, simülasyon sonuçlarına göre yüksek olması, dinleyicilerin salon akustiğine etkisini gösteren ve yutuculuğun artırılmasıyla reverberasyon süresinin düştüğü bilgisi ile örtüşen bir sonuçtur ve kaplamasız ahşap dinleyici koltuklarının, özellikle salonun tam dolu olmadığı koşullarda veya provalarda farklı akustiğe sebep olarak akustik konfor düzeyini olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Bu parametre iki farklı yöntemle değerlendirilirken eşit koşulların sağlanamamasının nedeni, dinleyicilerin salonda bulunduğu sırada ölçümlerin gerçekleştirilmesinin mümkün olmaması ve ODEON simülasyon programının kütüphanesinde, ahşap boş dinleyici koltuğuna eş malzeme bulunmaması, mevcut koltukların akustik özelliklerinin de imkanlar dahilinde belirlenememiş olmasıdır.

4. Sahnenin müzisyenler tarafından farklı kullanımına göre, kaynağın yalnızca arka sahne veya ön sahnede bulunduğu koşullarda salonun akustik yanıtının değişiminin izlendiği ikinci bir simülasyonda, kaynağın arka sahnede bulunması durumunda tüm parametreler uygun aralıklarda iken ön sahnede bulunması durumunda RT_{30} parametresinin düşük kaldığı görülmüştür (Bkz: Çizelge 4.3). Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif olduğunda EDT ve RT parametrelerinin yüksek olmasının, üzerindeki sofita kulesinin ayrı bir reverberant alan oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Bkz: EK-1)

Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif olduğunda, C80 ve G parametrelerinde belirgin iyileşmenin, dolaysız sesin dinleyicilere daha hızlı ulaşmasının ve ses enerjisinin sofita kulesinde hapsedilmeyerek salona dağıtılmasının sonucu olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.3. Parametrelerin sahnedeki kaynağın konumuna göre değerlendirilmesi

Kaynak konumu	Kullanılan Parametre	Sonuç	Kabul Edilen Optimum Aralık	Değerlendirme
Ön sahnede bulunan kaynaklar aktif iken	RT_{30}	1,51	1,7 ile 2,3 [24]	Yetersiz
	EDT	1,37	1 – 3 [25]	Olumlu
	C80	2,40	-5 _ +5 [25]	Olumlu
	LF	0,23	0,05-0,35 [25]	Olumlu
	G (SPLA)	7,77	-2 - +10 [25]	Olumlu
Arka sahnede bulunan kaynaklar aktif iken	RT_{30}	1,73	1,7 ile 2,3 [24]	Olumlu
	EDT	1,64	1 – 3 [25]	Olumlu
	C80	1,45	-5 _ +5 [25]	Olumlu
	LF	0,23	0,05-0,35 [25]	Olumlu
	G	4,48	-2 - +10 [25]	Olumlu

5. Bir diğ er simülasyonda, dinleme koş ullarının farklı olabileceğ i ö ngörölerek belirlenen dört ayrı gruptaki (Ş ekil 3.2) akustik parametreler incelenmiş ve salonun genel durumu ile aynı oldukları, ancak parametre değ erleri birbirleri ile karşı laştırıldığında en iyi dinleme koş ullarının birinci (ön orta) grupta, en kötü koş ulların ise ikinci (arka orta) grupta oluş tuğ u görölmüş tür (Ç izelge 4.4). Bu durumun, ön orta grubun dolaysız sest en ve ilk yansılardan en iyi şekilde yararlanmasından, arka orta grubun ise loca ve balkonların altında akustik gö lge alanında, yan duvarlara uzak ve yan yansılardan yoksun kalmasından kaynaklandığ ı düşünölmektedir.

Ç izelge 4.4. Parametrelerin dinleyici gruplarına göre değ erlendirilmesi

Grup	Kullanılan Parametre	Sonuç	Kabul Edilen Optimum Aralık [24, 25]	Değ erlendirme
Grup 1	RT ₃₀	1,59	1,7 ile 2,3	Düş ük Olumsuz
	EDT	1,46	1 – 3	Olumlu
	C80	3,11	-5 _ +5	Olumlu
	LF	0,29	0,05-0,35	Olumlu
Grup 2	RT ₃₀	1,60	1,7 ile 2,3	Düş ük Olumsuz
	EDT	1,43	1 – 3	Olumlu
	C80	1,48	-5 _ +5	Olumlu
	LF	0,24	0,05-0,35	Olumlu
Grup 3	RT ₃₀	1,62	1,7 ile 2,3	Düş ük Olumsuz
	EDT	1,50	1 – 3	Olumlu
	C80	1,10	-5 _ +5	Olumlu
	LF	0,29	0,05-0,35	Olumlu
Grup 4	RT ₃₀	1,60	1,7 ile 2,3	Düş ük Olumsuz
	EDT	1,57	1 – 3	Olumlu
	C80	0,28	-5 _ +5	Olumlu
	LF	0,27	0,05-0,35	Olumlu

Bu sonuçlar ışığında, Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu'nun akustik konfor düzeyinin genel anlamda iyi olduğu görülmektedir (Bkz: Çizelge 4.1). Ancak ileride yapılması muhtemel akustik düzenleme veya yenilemelerde, sahne çevresinde sesi yutarak zayıflatan fon perdelerinin kaldırılması, ön ve arka sahnenin ses yansıtıcı özellikte elemanlarla düzenlenmesi ve salondaki dinleyici sayısına bağlı olarak akustik koşulların değişimini en aza indirmek için dinleyici koltuklarının ses yutuculuk özelliğinin artırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Cowan, J., “Architectural Acoustics Design Guide”, **Mc Graw Hill**, (2000).
2. Cavanaugh, W., Wilkes, J., “Architectural Acoustics”, **Wiley**, (1999).
3. Long, M., “Architectural Acoustics”, **Elsevier Academy Press**, (2006).
4. Kowaltowski, D.C.C.K., Pina, S.A.M.G., Bertoli, S.R., Soler, C., “Design evaluation and strategies: the case of university auditoriums”, **PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Switzerland, 1-6, (2006).
5. Irvine, L.K. and Richards, R.L., “Acoustics and Noise Control Handbook For Architects and Builders”, **Krieger Publishing Company**, (1998).
6. Sirel, Ş., “Yapı Akustiği Temel Bilgiler 1”, **İnkılap ve Aka Basımevi**, İstanbul, (1974).
7. Everest, F.A., Pohlmann, K.C., “Master Handbook of Acoustics”, **McGraw Hill**, (2009).
8. Beranek, L., “Concert Halls and Opera Houses” **Cambridge**, (1993).
9. Cox, T.J., D’antonio, P., “Engineering art:the science of concert hall acoustics”, **Interdisciplinary Science Reviews**, 28 (2): 119-129, (2003).
10. Kuttruff, H., “Room Acoustics”, **Spon Press**, (2001). Toole, F., “Sound Reproduction, Loudspeakers and Rooms”, **Focal Press**, (2008).
11. Kurra, S., “Oditoryumlarda Doğal Akustik Tasarımı, Uygulama Örnekleri ve Sorunlar”, Yapı Fiziği Ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, 4-5 Mart 2010.
12. Dammerud, J.J., “Stage acoustics”, **Literature review-University of Bath**, 1-14, (2006).
13. Egan, D., “Architectural Acoustics”, **Mc Graw Hill**, New York, (2007).
14. Siebein, G.W., Gold, M.A., Siebein, G.W., Ermann, M.G., “Ten ways to provide a high-quality acoustical environment in schools”, **Language, Speech, and Hearing Services in Schools**, 31: 376-384, (2000).
15. Karabiber, Z., “Mimari Akustikle İlgili Başlıca Tanım, Terim, Formül ve Büyüklükler”, **Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fak. Baskı İşliğı**, İstanbul, (1991).

16. Fricke, F., Nannariello, J., Cabrera, D., “A statistical approach to concert hall acoustical design”, *Proceedings of ACOUSTICS 2006*, New Zealand, 399-404, (2006).
17. Yılmaz Demirkale, S., “Çevre ve Yapı Akustiği”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (2007).
18. Barron, M., “Auditorium Acoustics and Architectural Design”, *Spon Press*, (2010).
19. Riberio, M.R.S., “Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall: A Case Study”, *Centro de Estudos do Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*.
20. Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J. “Architectural Acoustics Principles and Design 1st ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey, 207-307, (1999).
21. Iazzetta, F., Kon, F., Gomes de Qoeiroz, M., Soares Correa da Silva, F., Gomes, M.A., “AcMus: Computational tools for measurement, analysis and simulation of room acoustics”, *Acustica 2004*, Portugal, 82-90, (2004).
22. Ateş, E.G., “Kültürel Mirasımız Olan Yerebatan Sarnıcı’nın Akustik Sorunlarının İncelenmesi ”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007). (Danışman: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ DEMİRKALE)
23. Çevre ve Orman Bakanlığı, “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”, *Çevre ve Orman Bakanlığı Raporu, 2002/49/EC, Resmi Gazete*, Ankara, 1-27 (2002).
24. Odeon Room Acoustic Program Version 10, “*User Manual*”, Denmark, (2009).
25. TS EN ISO 3382-1, “Akustik-Odaların Akustik Parametrelerinin Ölçülmesi- Bölüm 1: Performans Boşlukları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Türkiye, 1-38 (2010).
26. Fırat, N.İ., “Ankara’da Cumhuriyet Dönemi Mimarisinden İki Örnek: Etnoğrafya Müzesi ve Eski Türk Ocağı Merkez Binası”, *Kültür Bakanlığı Cumhuriyet Dizisi*, Ankara
27. Smitthakorn, P., “Effects of Temporal Distribution of Specular and Diffuse Reflections on Perceived Music Quality”, *University of Florida*, (2006).
28. Noxon, A., “Auditorium acoustics 104”, *September 2002*, 1-4, (2002).
29. Bruneau, M., “Fundamentals of Acoustics”, *ISTE Ltd*, (2006).

30. Meyer, J., "Acoustics and the Performance of Music", *Springer Science-Business Media*, (2009).
31. Rindel, J.H., Shiokawa, H., "Comparisons between Computer Simulations of Room Acoustical Parameters and Those Measured in Concert Halls" *Report of the Research Institute of Industrial Technology, Nihon University*, Number: 89, (2007).
32. Sabine, P.E., "Acoustics and Architecture", *Mc Graw Hill Book Company*, (1932).
33. Beranek, L.L., "Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption", *J. Acoust. Soc. Am.*, 120 (3): 1399-1410, (2006).
34. Beranek, L.L., "Acoustics", *Cambridge*, (1993).
35. Beranek, L.L., "Concert Hall Acoustics-2008", *J. Audio Eng. Soc.*, 56 (7/8): 1-13, (2008).
36. Barron, M., "Auditorium acoustics and Architectural Design", *Ipswich Book Co.*, Great Britain, (2000).
37. Demirel, F., "Fiziksel Çevre Denetimi-4 Ders Notları" *Gazi Üniversitesi*, Ankara, (2011)
38. Demirel, F., İşlek, G., "Dinleyici Salonlarında Akustik Konforun Araştırılması ve Bir Örnek Çalışma" ,*Gazi Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projesi*, No: 06/2009-43, Ankara, (2011)
39. Elorza, D.O., "Room acoustics modeling using the raytracin method: implementation andevaluation",*University of Turku*, , (2005).
40. Valmot, E., "Variable Reverberation in Performance Spaces: Passive and Active Acoustic Systems" ,*Faculty of The School of Architecture University of Southern California*, (2006).
41. Tamer, N., "Bilgisayar Yardımıyla Hacim Akustiği Tasarımı", *Akustik Derneği Eğitim Semineri* , İstanbul, (1994).
42. Balcı, H., "Antalya Cam Piramiti'nin Hacim Aksutiğinin Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).
43. Raichel, D.R., "The Science and Applications of Acoustics", *Springer Science – Business Media*, (2006).

44. Howard, D.M., Angus, J.A.S., “Acoustics and Psychoacoustics”, **Focal Press**, (2006).
45. Lacatis, R., Gimenez, A., Barba Sevillano, A., Cerda, S., Romero, J., Cibrian, R., “Historical and chronological evolution of the concert hall acoustics parameters”, **Acoustics 08 Paris**, Paris, 2151-2156, (2008).
46. TS EN ISO 3382-2, “Akustik-Odanın Akustiğinin Parametrelerinin Ölçümü-Bölüm 2: Sıradan Odalarda Çınlama Zamanı”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Türkiye, (2009).
47. Sözen, M., “Cumhuriyet Dönemi Türk Mimarlığı”, **Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları**, Ankara, (1984).
48. Hyde, J.R., “Acoustical intimacy in concert halls: Does visual input affect the aural experience?”, **Proceedings of the Institute of Acoustics**, 24 (4): 1-13, (2002).
49. Ouis, D., “Acoustical parameters used for the subjective assessment of musical performance spaces”, **Journal of New Music Research**, 35 (4): 333-345, (2006).
50. Long, M., “What is so special about shoebox halls? Envelopment, Envelopment, Envelopment”, **Acoustics Today**, 21-25, (2009).
51. Bradley, J.S., “Comparison of a multi-purpose hall with three well-known concert halls”, **Canadian Acoustics/Acoustique Canadienne**, 19 (2): 3-10, (1991).
52. Vondrasek, M., “The design and implementation of room acoustics-The hall filharmonie hradek kralove, FHK”, **Musical Acoustics Research Centre**, 1-10.
53. Barron, M., “Objective assessment of concert hall acoustics”, **Proceedings of the Institute of Acoustics**, 28 (2), (2006).
54. Barron, M., “The current state of acoustic design of concert halls and opera houses”, **TecniAcustica**, England, 1-9, (2000).
55. Barron, M., “Measured early lateral energy fractions in concert halls and opera houses”, **Journal of Sound and Vibration**, 232 (1): 79-100, (2000).
56. Farina, A., “Acoustic quality of theatres: correlations between experimental measures and subjective evaluations”, **Applied Acoustics**, 62: 889-916, (2001).
57. Siltanen, S., “Geometry Reduction in Room Acoustics Modeling”, **Helsinki University of Technology**, Espoo, (2005). (Professor Lauri Savioja)
58. Oguchi, K., Toyota, Y., “Acoustical design of Shenzhen Concert Hall, Shenzhen China” **Acoustics 08**, Paris, (2008).

59. Tamer, N.B., Vural, A., “A Comparative study of four concert halls in İstanbul: Correlation of subjective evaluation with Objective Acoustics Parameters” *Acoustics 08*, Paris, (2008).
60. Karabiber, Z., “Mimari Akustikte Ses Ölçmeleri”, *Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fak. Baskı İşliğı*, İstanbul, (1992).
61. **TS EN ISO 3382-2**, “Acoustics-measurement of acoustics parameters - part 2: reverberation time in ordinary rooms.”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-17 (2009).
62. Fog, C.L., Ballinger, R.M., “A New Symphonic Hall, Musikhuset Aarhus, Denmark”, *Acoustics 08, Paris*, Paris, (2008).
63. Klosak, A.K., Gade, A.C., “Relationship Between Room Shape and Acoustics of Rectangular Concert Halls”, *Acoustics 08, Paris*, Paris, (2008).
64. Rindel, J.H., Jordan, N.V., “The Alberta Jubilee Halls Reborn with Up-To-Date Acoustics” *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 28 (2): 297–304, (2008).
65. Rindel, J.H., Christensen, C.L., “Room Acoustic Simulation and Auralization – How Close Can We Get to the Real Room? ”, (Keynote lecture) *WESPAC 8, The Eighth Western Pacific Acoustics Conference*, Melbourne, (2003).
66. Rindel, J.H., Christensen, C.L., “A new scattering method that combines roughness and diffraction effects” *Forum Acusticum 2005* , Budapest (2005).
67. Rindel, J.H., Christensen, C.L., “Auralisation of Concert Halls Using Multi-Source Representation of a Symphony Orchestra” *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 30 (3): 333–338, (2008).
68. Rindel, J.H., “Evaluation of room acoustic qualities and defects by use of auralization” *148th Meeting of the Acoustical Society of America*, San Diego, CA, (2004).
69. Rindel, J.,H., “Modelling in auditorium acoustics from ripple tank and scale models to computer simulations”, *Ørsted-DTU, Revista de Acústica*, (33): 31-35.
70. Shu,Y., Chiang, W., “Acoustical design of stages with large planesurfaces in rectangular recital halls”, *Applied Acoustics*, 64: 863–884, (2003).
71. Vorlander, M., “International Round Robin on Room Acoustical Computer Simulations”, *15th International Congress on Acoustics*, Trondheim, Norway ,(1995).

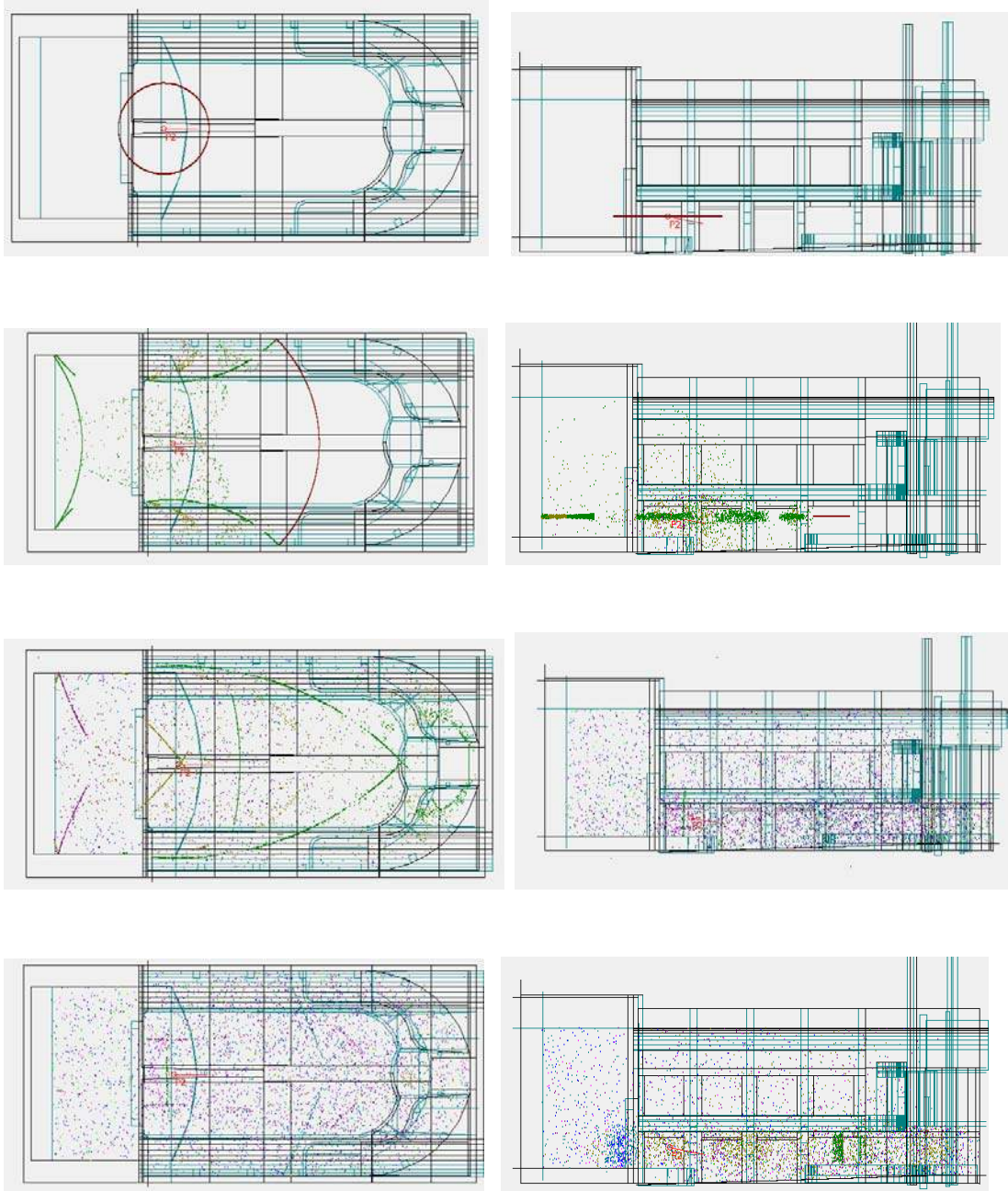
72. Öziş, F., Vergili, S., “Müzik Dinleme Perspektifinde Mekan - İnsan İlişkisi: Kritik Dinleme Odalarının Akustik Parametre İlişkilerinin Değerlendirilmesi” **Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi**, (2008).
73. Karabulut, S., Çalışkan, M., “Mimari Akustik Eğitiminde bilgisayar benzetimi yoluyla akustik tasarım denemesi: 100 kişilik konser salonu örneği”, **9. Ulusal Akustik Kongresi**, Ankara, (2011).
74. Farina, A., Commins, D.E., Prodi, N., “Experimental analysis of the acoustical behaviour of musikverein in concert and ballet configurations”, **Acoustics 08 Paris**, Paris, 1-6, (2008).
75. Kurtay, C., İrklı Eryıldız, D., Ulukavak Harputlugil, G., “Mimar Kemaleddin Salonu akustik performans değerlendirmesi ve performans iyileştirme önerileri”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 23 (3): 557-568, Ankara, (2008).
76. Morimoto, M., Jinya, M., Nakagawa, K., “Effects of frequency characteristics of reverberation time on listener envelopment”, **J. Acoust. Soc. Am.**, 122 (3): 1611-1615, (2007).
77. Cabrera, D., Nguyen, A., Choi, Y.J., “Auditory versus visual spatial impression: A study of two auditoria”, **Proceedings of ICAD 04-Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display**, Australia, 1-8, (2004).
78. Morimoto, M., “Auditory spatial impression in concert halls”, **International Symposium on Room Acoustics ISRA 2007 SEVILLA**, Sevilla, (2007).
79. Beranek, L.L., “Subjective rank-orderings and acoustical measurements for fifty-eight concert halls”, **Acta Acustica United with Acustica**, 89: 494-508, (2003).
80. Figueiredo, F.L., Iazzetta, F., “Comparative study of measured acoustic parameters in concert halls in the city of Sao Paulo”, **RIO 2005 Inter-Noise Environmental Noise Control**, Brazil, 1-10, (2005).
81. Adelman-Larsen, N.W., Thompson, E.R., Gade, A.C., “Suitable reverberation times for halls for rock and pop music”, **J.Acoust.Soc.Am.**, 127 (1): 247-255, (2010).
82. D’Antonio, P., Cox, T., “Technical bulletin on the design of overhead canopies for music and speech using the waveform System, **RPG Diffusor Systems Inc. Upper Marlboro MD**, 1-18, (2004).
83. Farina, A., Tronchin, L., “Measurements and reproduction of spatial sound characteristics of auditoria”, **Acoustics Sci. & Tech.**, 26 (2), (2005).

84. Cabrera, D., Azzali, A., Capra, A., Farina, A., Martignon, P., “Perceived room size and source distance in five simulated concert auditoria”, ***Twelfth International Congress on Sound and Vibration***, Lisbon, 1-8, (2005).
85. Farina, A., Fontana, S., Campanini, S., “New method for auralizing the results of room acoustics simulations”, ***19th International Congress on Acoustics-ICAMADRID***, Madrid, 1-6, (2007).
86. Edwards N., “Considering concert acoustics and the shape of rooms”, ***Architectural Record***, 133-137, (1984).
87. Metkemeijer, R.A., “The acoustics of the auditorium of the royal albert hall before and after redevelopment”, ***RT 128 paper***, 1-9, (2002).
88. Pancharatnam, S., Ramachandraiah, A., “A study on the computer aided acoustic analysis of an auditorium”, ***IE (I) Journal - AR***, 84: 10-16, (2003).
89. Brüel & Kjaer, “Measurements in building acoustics”, ***K. Lørsen& Son A/S***, Denmark, (1988).
90. Brüel & Kjaer, “Dictionary”, ***K. Lørsen& Son A/S***, Denmark, (2010).
91. Kaminski, M., “Acoustics and a sound system of a university auditorium hall in Wyzsza Szkola Menedzrska in Warsaw-design and results”, ***Proceedings of Acoustics 2006***, New Zealand, 405-411, (2006).
92. Kurra, S., “Oditoryumlarda Doğal Akustik Tasarımı, Uygulama Örnekleri ve Sorunlar”, ***Yapı Fiziki Ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi***, (2010).
93. Kara, E., Aknesil, A. E., “Valensiya Santa Anna Şapeli’nin Akustik Koşullarını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar”, ***Yapı Fiziki Ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi***, (2010).
94. Kurtulan, Z., Aknesil, A. E., “M.S.G.S.Ü. Sedat Hakkı Eldem Oditoryumu’nun Hacim Akustiği Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi”, ***Yapı Fiziki Ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi***, (2010).

EKLER

EK-1: Kaynağın sahnedeki konumunun salonda sesin davranışına etkilerini gösteren bilardo topu yöntemi ile değerlendirme aşamaları

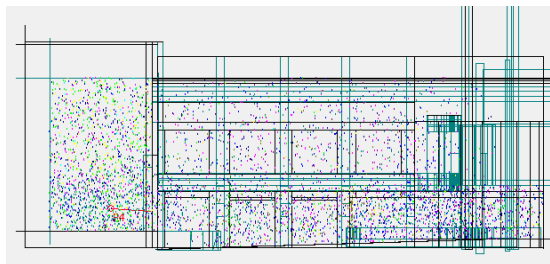
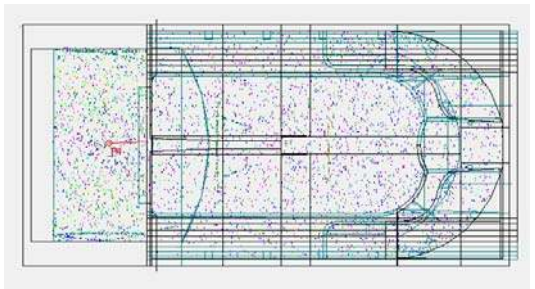
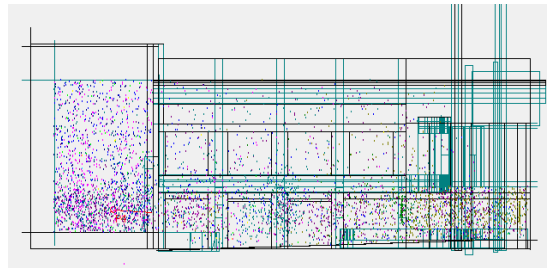
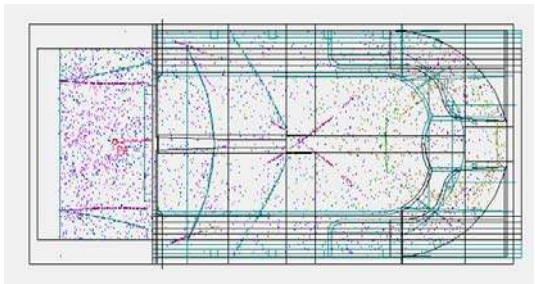
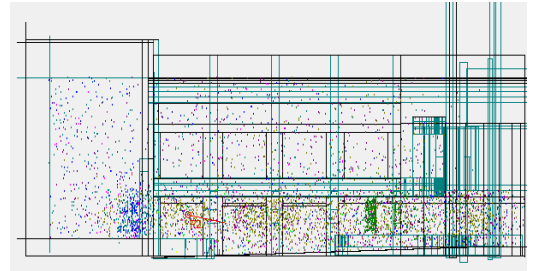
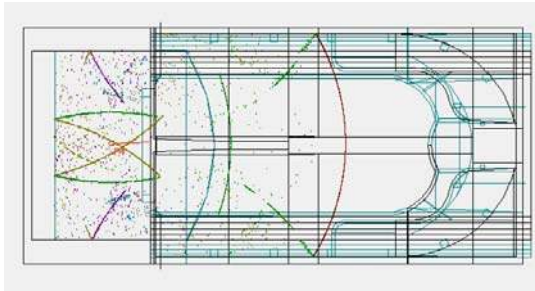
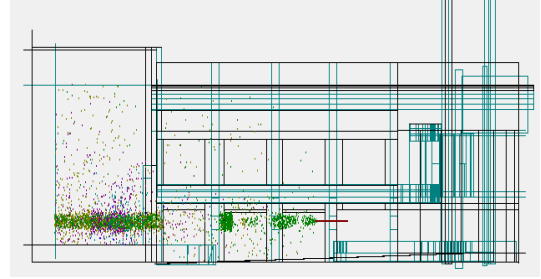
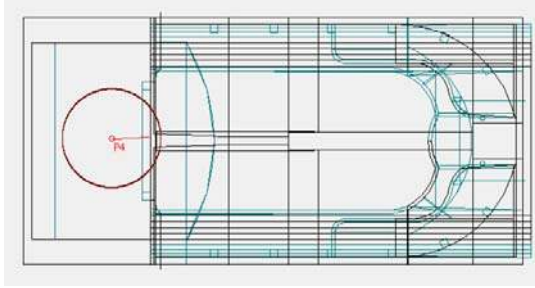
(Kaynak ön sahnede iken sesin salonda dağılımını gösteren kesit ve plan şemaları)



EK-1: (Devam)

Kaynağın sahnedeki konumunun salonda sesin davranışına etkilerini gösteren bilardo topu yöntemi ile değerlendirme aşamaları

(Kaynak arka sahnede iken sesin salonda dağılımını gösteren kesit ve plan şemaları)



EK-2: Akustik değerlendirme anketi [2,13,27]

Bu anket çalışması, canlı müzik performansı sırasında salonun akustik performansını ortaya koymayı ve salon içerisinde sunulan müzik performanslarının dinleme koşullarını geliştirmek amacıyla, mimarların yararlanabileceği şekilde hazırlanmıştır. Bu değerlendirmelerde kişilerin öznel izlenimleri esas olduğundan tam kesin bir yargı olmayacağı unutulmamalıdır.

Dinleyicilerden yapması istenen değerlendirmeler ve dikkate alınacak hususlar aşağıda anlatılmaktadır:

DEĞERLENDİRME CETVELİ

Bu cetvel üzerinde, bulunduğunuz koltuk için algıladığınız sesi ve mimari kriteri en iyi tanımlayan noktayı işaretleyiniz.

ÖRNEK:

Değerlendirme kriteri: Berraklık ve Netlik

5		3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Tam Berrak Ses	Yeterli	Orta	Düşük	Bulanık Ses	

DEĞERLENDİRME KRİTERLERİNİN AÇIKLAMALARI

1. AKUSTİK KRİTERLER

Berraklık ve netlik: Nota ve kelimelerin belirgin şekilde ayrı ayrı anlaşılması ve net olarak işitilmesidir.

Reverberans ve canlılık: Ardışık seslerin mekan içinde sürekliliği sayesinde canlı algılanmasıdır. **Sesin sıcaklığı:**

Bas - Düşük frekanslı (kalın) seslerin salonda sürekliliği, baskınlığıdır.

Sesin kuşatma ve yakınlık etkisi: Orkestranın ne kadar yakında hissedildiğidir.

Sesin yüksekliği: Duyduğunuz sesin yüksekliğidir.

Sesin homojen dağılması: Sesin salonda homojen yayılarak kaynağın olduğundan geniş algılanmasıdır. (Kaynağın bir nokta değil, bir alan olduğu hissi gibi)

Arka plan gürültüsü: Performans sırasında istenmeyen, havalandırmadan, dışarıdan ve bitişik mekanlardan gelen veya salon içindeki yabancı, rahatsız edici seslerdir.

Yankı: Açıkça duyulabilen uzun gecikmiş yansımalar. Aynı ses ardı ardına iki ayrı ses olarak duyulur.

EK-2: (Devam)

Akustik değerlendirme anketi[2,13,27]

2. MİMARİ KRİTERLER

Salona Ulaşım Kolaylığı: Salonun şehir içindeki yerini, toplu taşıma ve özel araçla ulaşım kolaylığını ve otopark yeterliliğini değerlendiriniz.

Salonun Fiziksel Konfor Koşulları: Salona giriş-çıkışların rahatlığı, koltukların rahatlığı, havalandırma, iklimlendirme ve aydınlatmasının yeterliliğini değerlendiriniz.

Salonun Tarihi ve Estetik Özelliklerinin Etkisi: Salonun mimari oran ve süslemeleri ile, anıtsal ve tarihi özelliğinin salonda konser dinleme zevkiniz üzerindeki etkisini değerlendiriniz.

GENEL BİLGİLER ve GENEL İZLENİM NOTU (AÇIKLAMALI ÖRNEKTİR)

Kişisel bilgileriniz ve anketin yapıldığı yer, zaman ve müzik özellikleri bilgileri için ayrılan yerleri doldurunuz ve koltuk yerinizi şema üzerinde işaretleyiniz veya tanımlayınız. Genel izlenim notunuzu, müzikal performans boyunca edindiğiniz genel izleniminizi klasik akademik not sistemini (A-F) kullanarak veriniz.

Genel izlenim: İşitilen müziğin genel akustik kalitesini ve salonun estetiğinin ve fiziksel konfor koşullarının etkisini ifade eder

ÖRNEK:

Mekan: Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu	Koltuk No: C 7	Zaman: 15/05/2011 20:15	Yerinizi işaretleyiniz:
Orkestra-Orkestra Şefi: Ankara Türk Dünyası Müzik Topluluğu	Müzik Türü: Türk Sanat Müziği		
Müzişyen misiniz -----Evet - ☒ - Hayır	İşitme sorunu -----Var - ☒ - Yok		
Kişisel Müzik Tercihiniz: Klasik Batı Müziği ☒ - Türk Halk M. ☒ - Sanat M. ☒ - Pop M. ☒ - Rock M. ☒			
Genel İzlenim Notunuz:			
B			

EK-2: (Devam)

Akustik değerlendirme anketi[2,13,27]

AKUSTİK KRİTERLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (DİNLEYİCİ TARAFINDAN DOLDURULACAKTIR)

BERRAKLIK VE NETLİK

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Tam Berrak Ses	Yeterli	Orta	Düşük	Bulanık Ses	

REVERBERANS ve CANLILIK

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Çok Canlı Ses	Yeterli	Orta	Düşük	Ölü Ses	

SESİN SICAKLIĞI

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Çok Sıcak Ses	Yeterli	Orta	Düşük	Çok Soğuk Ses	

SESİN KUŞATMA ve YAKINLIK ETKİSİ

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Çok Yakın Ses	Yeterli	Orta	Düşük	Çok Uzak Ses	

SESİN YÜKSEKLİĞİ

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Çok Yüksek Ses	Yeterli	Orta	Düşük	Çok Alçak Ses	

SESİN HOMOJEN DAĞILMASI

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Çok İyi Dağılım	Yeterli	Orta	Düşük	Çok Zayıf dağılım	

ARKA PLAN GÜRÜLTÜSÜ

1	2	3	4	5	0 - değerlendirilemedi
Çok Yüksek	İşitilebilir	Orta	Düşük	Çok Sessiz	

YANKI

0 - değerlendirilemedi

Evet	Hayır	Yönü:	Sağ	Sol	Tavan	Arka	Ön
------	-------	-------	-----	-----	-------	------	----

YORUM:

EK-2: (Devam)

Akustik değerlendirme anketi[2,13,27]

MİMARİ KRİTERLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (DİNLEYİCİ TARAFINDAN DOLDURULACAKTIR)

SALONA ULAŞIM KOLAYLIĞI VE FİZİKSEL KOŞULLAR

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Kolay	Yeterli	Orta	Yetersiz	Zor	

GELİRKEN KULLANILAN ARAÇ:

Toplu Taşıma	Özel Araç
--------------	-----------

OTOPARK SORUNU:

Yok	Var
-----	-----

GİRİŞ- ÇIKIŞLARIN RAHATLIĞI

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
İyi	Yeterli	Orta	Yetersiz	Kötü	

KOLTUKLARIN RAHATLIĞI

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
İyi	Yeterli	Orta	Yetersiz	Kötü	

AYDINLATMA

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
İyi	Yeterli	Orta	Yetersiz	Kötü	

HAVALANDIRMA

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
Yeterli	Yeterli	Orta	Yetersiz	Yetersiz	

ORTAM SICAKLIĞI

5	4	3	2	1	0 - değerlendirilemedi
İyi	Yeterli	Orta	Yetersiz	Kötü	

EK-2: (Devam)

Akustik değerlendirme anketi[2,13,27]

SALONUN TARİHİ VE ESTETİK ÖZELLİKLERİ

SALONUN BİÇİM, ORAN ve SÜSLEMELERİNİN ESTETİK AÇIDAN ETKİSİ

Olumlu	Etkilenmedim	Olumsuz
--------	--------------	---------

SALONUN TARİHİ ve ANITSAL ÖZELLİĞİNİN ETKİSİ

Olumlu	Etkilenmedim	Olumsuz
--------	--------------	---------

GENEL BİLGİLER ve GENEL İZLENİM NOTU (DİNLEYİCİ TARAFINDAN DOLDURULACAKTIR)

Mekan: Ankara Resim ve Heykel Müzesi Konser Salonu

Koltuk No:

Zaman: 24/06/2011

Yerinizi işaretleyiniz:

Orkestra-Orkestra Şefi:

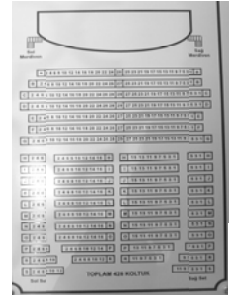
Müzik Türü: Türk Halk Müziği

Müzişyen misiniz -----Evet ----- Hayır

İşitme sorunu -----Var -----Yok

Kişisel Müzik Tercihiniz: Klasik Batı Müziği --- Türk Halk M. ---- Sanat M.---- Pop M.---- Rock M.----

Genel İzlenim Notunuz:



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZKARTAL, Naciye Esra
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 13.08.1983 Afyon
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 939 7972
 e-mail : esrabohur@gmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi/Mimarlık Bölümü	2008
Lise	Kılıçarslan Lisesi / Kütahya	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2009	Ütopya Mimarlık	Mimar
2009-2010	Gazi Üniversitesi Mimarlık Fak.	Öğrenci Asistan
2010-2011	T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı	Mimar
2011- ..	T.C. Sağlık Bakanlığı	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce (İleri), Fransızca (Orta)

Hobiler

Gezi, Fotoğraf