



**ÇOK AMAÇLI SALONLARDA KUBBE
ÖRTÜNÜN AKUSTİK PERFORMANSA
ETKİSİ VE ÖRNEK ALAN ÇALIŞMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Esra SELVİ

Eskişehir 2023

**ÇOK AMAÇLI SALONLARDA KUBBE ÖRTÜNÜN AKUSTİK
PERFORMANSA ETKİSİ VE ÖRNEK ALAN ÇALIŞMASI**

Esra SELVİ

Yüksek Lisans Tezi

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilgisi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Aşlı ÖZÇEVİK BİLEN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Nisan 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Esra SELVİ'nin ÇOK AMAÇLI SALONLARDA KUBBE ÖRTÜNÜN AKUSTİK PERFORMANSA ETKİSİ VE ÖRNEK ALAN ÇALIŞMASI başlıklı çalışması 17/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Mimarlık Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Aslı ÖZÇEVİK BİLEN

Üye

: Prof. Dr. Özgül YILMAZ KARAMAN

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Gülşen AKIN GÜLER

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

17/04/2023

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Esra SELVİ, ÇOK AMAÇLI SALONLARDA KUBBE ÖRTÜNÜN AKUSTİK PERFORMANSA ETKİSİ VE ÖRNEK ALAN ALIşMASI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Aslı ÖZÇEVİK BİLEN

ÖZET

ÇOK AMAÇLI SALONLARDA KUBBE ÖRTÜNÜN AKUSTİK PERFORMANSA ETKİSİ VE ÖRNEK ALAN ÇALIŞMASI

Esra SELVİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilgisi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Nisan 2023

Danışman: Prof. Dr. Aslı ÖZÇEVİK BİLEN

Konuşma ve müzik işlevinin akustik anlamda farklı optimum koşulları gerektirmesi sebebiyle çok amaçlı salonlarda akustik tasarım güçleşmektedir. Ayrıca hacimdeki yüzeylerin formları, boyutları vs. akustik açıdan önemlidir. Çünkü yüzeylerin sesi seyirci alanına planlı ve etkin biçimde yönlendirmesi, akustik kusurlara sebep olmaması gerekmektedir. İçbükey yüzeylerin akustik açıdan değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar; kubbe örtünün, sesin hacmin belirli kısımlarında odaklanması, hacme eşit yayılmaması gibi kusurlara yol açtığını göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, kubbe örtülü çok amaçlı bir salonda akustik performansın iyileştirilmesi ve akustik kusurların giderilmesi için iyileştirme önerileri geliştirmek ve bu önerilerin, farklı akustik tasarım yaklaşımları (doğal akustik, elektroakustik, bütünleşik akustik) için etkinliğini sorgulayarak, salonlarda içbükey yüzeylerin kullanımı açısından tasarımcılara akustik anlamda katkı sağlayıcı tasarım girdileri sunmaktır. İleracıların, dinleyicilerin yüksek yansıma süresi ve akustik kusurlardan odaklanma sebebiyle duydukları rahatsızlık ve salonun kubbe örtülü olması sebebiyle örnek alan olarak Eskişehir Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, mevcut akustik durumun analizi için alanda akustik ölçüm yapılmış, ODEON Auditorium(14) akustik simülasyon yazılımıyla kalibrasyon modeli oluşturulmuştur. Mevcut akustik durumun iyileştirilmesi için 2 senaryo (üstü yarı kapalı-tam kapalı) geliştirilmiştir. Bu senaryolar; doğal akustik, elektroakustik ve bütünleşik

akustik tasarım yaklaşımları üzerinden çeşitlendirilmiş, 8 farklı salon tasarımından elde edilen nesnel akustik veriler değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmelerle, kubbe örtülü çok amaçlı salonlarda işitsel konforu sağlayabilmek amacıyla akustik iyileştirmelerin yapılması gerekliliği yeniden ortaya konmuştur. Belirlenen hacmin seyirci sayısına göre fazla büyük olması sebebiyle, geliştirilen senaryolardan yarı kapalı model, akustik kusurların önlenmesi yönünden destekleyiciyken, akustik parametreler açısından bazı konularda yetersizdir. Ancak salonu tamamen örten modelde akustik kusurlar ve parametreler açısından uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Çok Amaçlı Salonlar, Akustik Performans, İçbükey Yüzey, Kubbe Örtü, Eskişehir Bilim Kültür ve Sanat Merkezi

ABSTRACT

THE EFFECT OF DOME COVER ON ACOUSTIC PERFORMANCE IN MULTI-PURPOSE HALLS AND CASE STUDY

Esra SELVİ

Department of Architecture

Programme in Building Science

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, April 2023

Supervisor: Prof. Dr. Aşlı ÖZÇEVİK BİLEN

Acoustic design becomes difficult in multipurpose halls as speech and music functions require different optimum condition. Additionally, the forms, dimensions etc. of the surfaces in the volume are acoustically important. Because the surfaces should direct the sound to the audience area in a planned and effective manner and shouldn't cause acoustic defects. Studies on acoustic evaluation of concave surfaces; shows that the dome cover causes defects such as focusing the sound in certain parts of the volume and not spreading it evenly.

The aim of this study is to develop suggestions for improvement of acoustic performance and elimination of acoustic defects in a multipurpose hall with a dome cover and to question the effectiveness of these suggestions for different acoustic design approaches(natural acoustics, electroacoustics, integrated acoustics) and to provide designers acoustically in terms of the use of concave surfaces halls to provide additive design inputs. Eskişehir Bilim, Sanat ve Kültür Merkezi was determined as the case study due to the discomfort experienced by the performers and the audience because of the dome cover.

Within the scope of the study, acoustic measurements were made in the field for the analysis of the current acoustic situation and a calibration model was created with ODEON Auditorium(14) software. 2 scenarios developed to improve the current situation of the hall are objective acoustic data obtained from 8 different hall designs, diversified over natural acoustic, electroacoustic and integrated acoustic design approaches were evaluated.

With the evaluations made, the necessity of making acoustic improvements to provide auditory comfort in multipurpose halls with dome cover has been reiterated. Due to the fact that the determined volume is too large for the number of spectators, the half-open model from the 2 scenarios developed is supportive in terms of preventing acoustic defects, but insufficient in some aspects in terms of acoustic parameters. However, suitable results were obtained in terms of acoustic defects and parameters in the model that completely covers the hall.

Keywords: Multi-purpose Halls, Acoustic Performance, Concave Surface, Dome Cover, Eskişehir Bilim, Sanat ve Kültür Merkezi. .



TEŞEKKÜR

Öncelikle tez sürecim boyunca bilgi ve tecrübesiyle bana yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Aslı ÖZÇEVİK BİLEN'e teşekkürlerimi sunarım. Yapıcı eleştirileri ve değerli katkıları için sayın jüri üyeleri Prof. Dr. Özgül YILMAZ KARAMAN ve Dr. Öğr. Üyesi Gülşen AKIN GÜLER'e teşekkür ederim.

Ayrıca taşıyıcı sistemle ilgili desteğinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç Taşkın hocama teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, her zaman sabır ve hoşgörüyle karşılayan anneme ve babama, ayrıca ilgi, sevgi ve her türlü yardımları için abim ve kardeşime, bana bu süreçte manevi destek olan başta canım arkadaşım Ayşenur olmak üzere tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca Odeon yazılımını öğrenmem konusunda ve süreç boyunca tüm yardım ve destekleri için Araştırma Görevlisi Okan Şimşek'e teşekkür ederim.

Esra SELVİ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Esra SELVİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	VI
TEŞEKKÜR	VIII
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	IX
İÇİNDEKİLER	X
TABLolar DİZİNİ	XIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVI
GÖRSELLER DİZİNİ	XXI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XXII
1. GİRİŞ	1
2. ÇOK AMAÇLI SALONLARDA AKUSTİK TASARIM VE KONFOR KOŞULLARI	3
2.1. Sesin Kapalı Ortamlardaki Davranışı.....	3
2.2. Çok Amaçlı Salonlarda Temel İşlevler	7
2.3. Akustik Konfor Koşulları.....	8
2.3.1. Kabul edilebilir gürültü seviyesi	9
2.3.2. Hacim Akustiği Parametreleri-Nesnel parametreler	10
2.3.2.1. Yansıma süresi(<i>RT</i>)(<i>T60</i>)(<i>T30</i>)(<i>T20</i>)	10
2.3.2.2. Erken düşme süresi (<i>EDT</i>).....	15
2.3.2.3. Bass Oranı (<i>BR</i>).....	17
2.3.2.4. Netlik (<i>C80</i>).....	17
2.3.2.5. Ayırtedilebilirlik (<i>D50</i>).....	18
2.3.2.6. Sesin yüksekliği (<i>SPL</i>) (<i>G</i>)	19
2.3.3. Hacim Akustiği Parametreleri - Özne parametreler	19

2.3.3.1. Yansışım (Reverberation)	19
2.3.3.2. Sıcaklık (Warmth).....	20
2.3.3.3. Belirginlik-Açıklık (Definition-Clarity)	20
2.4. Akustik Kusurlar	21
2.4.1. Odaklanma (Focalisation)	21
2.4.2. Yankı (Echo)	22
2.4.3. Maskeleye (Masking Effect)	24
2.4.4. Renklendirme/Rezonans (Coloration/Rezonance)	24
2.4.5. Distorsiyon (Distortion)	25
2.4.6. Bileşik hacim etkisi (Coupled Spaces)	26
2.5. Çok Amaçlı Salonlarda Akustik Tasarım.....	27
2.5.1. Doğal akustik tasarım	27
2.5.1.1. Doğal akustik tasarımda temel prensipler	27
2.5.1.2. Konuşma amaçlı salonlar için doğal akustik tasarım	33
2.5.1.3. Müzik amaçlı salonlar için doğal akustik tasarım	35
2.5.1.4. Çok amaçlı kullanım için doğal akustik tasarım	37
2.5.2. Değiştirilebilir akustik tasarım	39
2.5.3. Elektroakustik tasarım	41
2.5.4. Bütünleşik akustik tasarım.....	43
2.6. Yüzey Biçimlerinin Akustik Önemi ve Kubbe Örtü	44
3. ALAN ÇALIŞMASI- ESKİŞEHİR TÜRK DÜNYASI BİLİM, SANAT VE KÜLTÜR MERKEZİ	52
3.1. Salona Ait Bilgiler	52
3.2. Salonun Mevcut Akustik Durumu ve Akustik Ölçümler	54
3.2.1. Arka Plan Gürültüsü Ölçümü	55
3.2.1.1. Yapı dışı gürültü düzey ölçümleri	55
3.2.1.2. Yapı içi gürültü düzey ölçümleri	56
3.2.2. Hacim akustiği nesnel parametrelerinin ölçümü	57
3.2.2.1. Yansışım süresi	57
3.2.2.2. Erken düşme süresi (EDT)	60
3.2.2.3. Bass oranı (BR).....	62
3.2.2.4. Netlik (Clarity) C80.....	63

3.2.2.5. Ayırtedilebilirlik (<i>Distinctness</i>) <i>D50</i>	65
3.2.2.6. Sesin yüksekliği (<i>SPL</i>) (<i>G</i>)	66
3.3. Salonun Modellenmesi ve Akustik Simülasyonu.....	69
3.3.1. Odeon simülasyon yönteminin açıklanması.....	69
3.3.2. Salon modeli ve simülasyon çalışması	69
3.3.3. Simülasyon sonuçları ve akustik ölçümlerle karşılaştırılması	72
3.4. Salonun Akustik Durumunun Genel Değerlendirilmesi	73
3.5. Salonun Akustik İyileştirilmesi İçin Geliştirilen Tasarım Önerileri ve Değerlendirilmesi	77
3.5.1. Senaryo modellerinin oluşturulması, akustik simülasyon verileri ve verilerin değerlendirilmesi.....	77
3.5.1.1. Doğal akustik tasarım senaryoları	83
3.5.1.2. Elektroakustik tasarım senaryoları.....	98
3.5.1.3. Bütünleşik akustik tasarım senaryoları	106
3.5.2. Simülasyon sonuçlarının senaryolar arasında karşılaştırılarak değerlendirilmesi	119
3.5.2.1. Yanışım süresi	119
3.5.2.2. Erken düşme süresi.....	120
3.5.2.3. Bass oranı.....	121
3.5.2.4. Ayırtedilebilirlik	122
3.5.2.5. Netlik	124
3.6. Alan Çalışması Genel Değerlendirme	125
3.7. Kubbe Örtülü ve Çok Amaçlı Salonlarda Akustik Performansın İyileştirilebilmesine Yönelik Öneriler	126
4. SONUÇ	129
KAYNAKÇA	131
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. NR eğrileri değerleri (BGKKHY, 2017)	10
Tablo 2.2. Çevresel gürültü düzeyi sınır değerleri (ÇGKY, 2022)	10
Tablo 2.3. Çok amaçlı salonlarda işlevler ve bütünleşik tasarımda tercih edilen yöntemler (Kul, 2018)	44
Tablo 3.1. Yapı dışı gürültü düzey ölçme değerleri	56
Tablo 3.2. Yapı içi gürültü düzey ölçme değerleri	56
Tablo 3.3. Alanda alıcı noktalarında ölçülen yansım süresi (T30) değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	57
Tablo 3.3.(Devam) Alanda alıcı noktalarında ölçülen yansım süresi (T30) değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	58
Tablo 3.4. T30 optimum değerlerinin ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (Long, 2006) (Moore, 1978)	59
Tablo 3.5. Alanda alıcı noktalarında ölçülen erken düşme süresi (EDT) değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	60
Tablo 3.5.(Devam) Alanda alıcı noktalarında ölçülen erken düşme süresi (EDT) değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	61
Tablo 3.6. Ölçülen BR değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	62
Tablo 3.7. C80 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	63
Tablo 3.7.(Devam) C80 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	64
Tablo 3.8. D50 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	65
Tablo 3.8.(Devam) D50 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	66
Tablo 3.9. G ölçüm sonuçları(A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	66
Tablo 3.9.(Devam) G ölçüm sonuçları(A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	67
Tablo 3.10. Salon içerisindeki malzemeler ve yutma çarpanları	71

Tablo 3.10.(Devam) Salon içerisindeki malzemeler ve yutma çarpanları.....	72
Tablo 3.11. Senaryo 1 ve Senaryo 2’de tasarım yaklaşımına bağlı çeşitlendirmede benzerlikler ve akustik tasarım yönünden farklılıklar	83
Tablo 3.12. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri	85
Tablo 3.12.(Devam) Senaryo 1 doğal akustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri	86
Tablo 3.13. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan ortalama nesnel akustik parametre değerleri.....	87
Tablo 3.14. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri	93
Tablo 3.15. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan nesnel akustik parametre değerleri	94
Tablo 3.16. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri	98
Tablo 3.17. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan akustik nesnel parametre değerleri	100
Tablo 3.18. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri	1082
Tablo 3.18.(Devam) Senaryo 2 elektroakustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri	1103
Tablo 3.19. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan nesnel akustik parametre değerleri	11104
Tablo 3.20. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri(konuşma)	11307
Tablo 3.21. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan nesnel akustik parametrelerin sonuçları.....	11408
Tablo 3.22. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri ve yutuculuk katsayıları (müzik)	1160
Tablo 3.23. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan nesnel akustik parametre değerleri	1171
Tablo 3.24. Senaryo 2 bütünleşik akustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri(konuşma)	12013
Tablo 3.25. Senaryo 2 bütünleşik akustik tasarımda hesaplanan ortalama nesnel akustik parametre değerleri.....	120

Tablo 3.26. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda belirlenen malzemeleri özellikleri ve yutuculuk katsayıları(müzik)	121
Tablo 3.27. Senaryo 2 bütünleşik akustik tasarımda hesaplanan ortalama nesnel akustik parametre değerleri.....	12118
Tablo 3.28. Senaryo 1 için hesaplanan yansıtım süresi değerleri ve optimum değerler	122
Tablo 3.29. Senaryo 2 için hesaplanan yansıtım süresi değerleri ve optimum değerler	122
Tablo 3.30. Senaryo 1 EDT değerlerinin karşılaştırılması ve optimum değerler	1231
Tablo 3.31. Senaryo 2 EDT değerlerinin karşılaştırılması ve optimum değerler	12321
Tablo 3.32. Senaryo 1’de elde edilen BR değerleri ve optimum değerler	1242
Tablo 3.33. Senaryo 2’de elde edilen BR değerleri ve minimum değerler	1252
Tablo 3.34. Senaryo 1’de elde edilen D50 değerleri ve minimum değerler	1253
Tablo 3.35. Senaryo 2’de elde edilen D50 değerleri ve minimum değerler	12523
Tablo 3.36. Senaryo 1’de elde edilen C80 değerleri ve minimum değerler	1254
Tablo 3.37. Senaryo 2’de elde edilen C80 değerleri ve minimum değerler	1255
Tablo 3.38. Tasarım yaklaşımları üzerinden öneriler	1256

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sesin düzgün yansıtıcı yüzey karşısındaki davranışı. (Ginn, 1978).....	4
Şekil 2.2. Sesin içbükey ve dış bükey yüzeylerdeki davranışı. (Ginn, 1978)	5
Şekil 2.3. Farklı seslerin frekans aralıkları (Mehta, Johnson, & Rocafort, 1999).	6
Şekil 2.4. Müzik ve konuşma sesi işitilebilir frekans ve ses basınç düzeyi seviyeleri (Ginn, 1978)	6
Şekil 2.5. NR eğrileri (Barron, 2010)	9
Şekil 2.6. T60 ve T30 değerlerinin ses düzeyi ve zaman grafiği (Adelman-Larsen, 2014)	11
Şekil 2.7. İşlev, frekans ve hacime göre değişen optimum yansıma süresi değerleri (Moore, 1978)	13
Şekil 2.8. İşlev ve hacime göre değişen optimum yansıma süresi değerleri (Long, 2006)	13
Şekil 2.9. Farklı frekanslarda T60 yüzde değerlerinin karşılaştırılması (Doelle L. , 1972)	14
Şekil 2.10. Yansıma süreleri ve konuşma hızının farklı olduğu odalarda maskleme etkisi	15
Şekil 2.11. Bir salonda doğrusal ve doğrusal olmayan ses bozulması (Barron, 2010).	16
Şekil 2.12. Odaklanma oluşumu (Ermann, 2015)	21
Şekil 2.13. Odaklanma için kaynak, odak mesafesi ilişkisi.....	22
Şekil 2.14. Yankı oluşumu (Ermann, 2015)	23
Şekil 2.15. Rezonans Oluşumu (Ermann, 2015)	25
Şekil 2.16. Bileşik hacim etkisi (Ermann, 2015)	26
Şekil 2.17. Seyirci alanının kademelendirilmesi. (Moore, 1978)	28
Şekil 2.18. Tavandaki yansıtıcı panellerin boyutlarının belirlenmesi (Moore, 1978).	30
Şekil 2.19. İçbükey sınırları olan farklı plan tiplerinde seyirci ve icracı arasındaki ilişki.....	30
Şekil 2.20. Tiyatroda sahne tipleri (Doelle L. , 1964)	32
Şekil 2.21. İnsan sesinin eşit anlaşılabilirlik sınırı (Moore, 1978)	33

Şekil 2.22. Tiyatro’da eşit anlaşılabilirlik sınırı üzerinden geliştirilen örnekler (Moore, 1978)	34
Şekil 2.23. Farklı plan tiplerinde ses enerjisinin yayılması (Everest F. A., 2001)	35
Şekil 2.24. Farklı plan tipleri için erken yanal yansıma seviyelerinin hesaplanmış dağılımı; fan, heksagon, dikdörtgen, ters fan. (Gade , 2014).....	36
Şekil 2.25. NHK Hall - Tokyo, Syphony Hall – Boston Concert Hall of the Sydney Opera House, and Teatro Alla Scala - Milan (Hand, 2004).....	37
Şekil 2.26. Taşınabilir emici paneller (Everest & Pohlmann, 2009).....	40
Şekil 2.27. Merkezi hoparlör sistemi şematik gösterimi (Kuttruff, 2000).	42
Şekil 2.28. Kaynak yerine göre iç bükey yüzeylerde sesin yansıması (Kuttruff, 2000)	46
Şekil 2.29. Elips ve elipsoit yüzeylerde sesin odaklanması (Kuttruff, 2000).....	46
Şekil 2.30. Annelise Brost Music Forum (Wulfrank, Green, Kahle, & Garcia Gomes, 2017).....	47
Şekil 2.31. Royal Albert Hall’de meydana gelen yankı sorunu (Vercammen, 2013).	48
Şekil 2.32. Royal Albert Hall’de tavanda kullanılan dışbükey reflektörler (Vercammen, 2013)	48
Şekil 2.33. . Royal Exchange Tiyatrosu plan ve kesit görselleri (Barron, 2010)	49
Şekil 2.34. War Memorial Opera House plan ve kesit görselleri (Beranek L. , 2004)	49
Şekil 2.35. Beethovenhalle plan ve kesit görselleri (Beranek L. , 2004)	50
Şekil 3.1. Kaynak ve alıcı konumları	55
Şekil 3.2. Ölçülen ortalama T30 değerleri ve farklı işlevler için optimum değerler.....	59
Şekil 3.3. Ölçülen ve optimum EDT değerlerinin karşılaştırılması	61
Şekil 3.4. Ölçülen EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	62
Şekil 3.5. BR optimum ve salonda ölçülen değerlerin karşılaştırılması (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	63
Şekil 3.6. C80 ölçülen ve optimum değerlerin karşılaştırılması(A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)	65
Şekil 3.7. D50 ölçülen ve optimum değerlerin karşılaştırılması	66
Şekil 3.8. G ölçülen ve optimum değerlerin karşılaştırılması	68

Şekil 3.9. Room Setup değerleri	70
Şekil 3.10. Kaynak ve alıcı noktalarının yerleşimi	72
Şekil 3.11. Alanda ölçülen ve Odeon'da hesaplanan T30 değerlerinin karşılaştırılması	73
Şekil 3.12. Hacimde odaklanma oluşumu(plan).....	74
Şekil 3.13. Hacimde odaklanma oluşumu(kesit)	74
Şekil 3.14. Hacimde yankı oluşumu	75
Şekil 3.15. Taşıyıcı sistem tasarımı	78
Şekil 3.16. Sahne kabuğu tasarımı.....	80
Şekil 3.17. Senaryo 1 tavan yansıtıcı panel tasarımı	81
Şekil 3.18. Senaryo 2 tavan yansıtıcı panel tasarımı	82
Şekil 3.19. Plan üzerinden tespit edilen odaklanmaya sebep olan yüzeyler.....	84
Şekil 3.20. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan yansışım süresi ve optimum değerler	87
Şekil 3.21. T30 ve EDT sonuç değerleri karşılaştırılması.....	88
Şekil 3.22. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan C80 ve C80 minimum- maksimum değerler.....	88
Şekil 3.23. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan D50 sonuçların ve D50 optimum değerler	89
Şekil 3.24. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda akustik kusurların önlenmesi.....	90
Şekil 3.25. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan yansışım süresi ve optimum değerlerin karşılaştırılması	93
Şekil 3.26. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 3.27. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan D50 değerleri	95
Şekil 3.28. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan C80 değerleri ve optimum değerlerin karşılaştırılması	96
Şekil 3.29. Senaryo 2'de yankı ve odaklanma oluşumunun önlenmesi	97
Şekil 3.30. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan yansışım süresi ve optimum değerlerin karşılaştırılması	99
Şekil 3.31. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması.....	100

Şekil 3.32. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan D50 değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması.....	101
Şekil 3.33. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan C80 değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması.....	101
Şekil 3.34. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan yansıma süresi sonuçları ve optimum değerlerin karşılaştırılması.....	103
Şekil 3.35. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması.....	104
Şekil 3.36. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan D50 değerleri.....	105
Şekil 3.37. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan C80 değerleri	105
Şekil 3.38. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan yansıma süresi sonuçları ve optimum değerlerin karşılaştırılması.....	108
Şekil 3.39. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması	108
Şekil 3.40. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan D50 değerleri ve optimum değerler	109
Şekil 3.41. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan yansıma süresi sonuçları ve optimum değerlerin karşılaştırılması.....	111
Şekil 3.42. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması	111
Şekil 3.43. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan C80 değerleri ve optimum değerler	112
Şekil 3.44. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan yansıma süresi değerleri ve optimum değerlerin karşılaştırılması.....	114
Şekil 3.45. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması	115
Şekil 3.46. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan D50 değerlerinin optimum değerler	115
Şekil 3.47. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan yansıma süresi değerleri ve optimum değerlerle karşılaştırılması.....	117
Şekil 3.48. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması	118

Şekil 3.49. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan C80 değerleri ve optimum değerlerin karşılaştırılması..... 119



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Eskişehir Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi uydu görüntüsü.....	52
Görsel 3.2. Eskişehir Türk Dünyası Bilim Kültür ve Sanat Merkezi.....	53
Görsel 3.3. Eskişehir Türk Dünyası Bilim Kültür ve Sanat Merkezi iç mekan görselleri	53
Görsel 3.4. Akustik model ve yüzey kodları.....	71
Görsel 3.5. Senaryo 1 için malzeme kodları	85
Görsel 3.6. Senaryo 2 için malzeme kodları	92

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

dB	: Desibel
dB(A)	: A ağırlıklı ses düzeyi
BR	: Bass Oranı
C80	: Netlik
D50	: Ayırtedilebilirlik
EDT	: Erken Düşme Süresi
Hz	: Hertz
kHz	: Kilo-Hertz
L_{Aeq}	: Eşdeğer sürekli ses basınç düzeyi
NR	: Gürültü Değerlendirme(Noise Rating)
RT, T60, T30, T20	: Yansıma Süresi (Reverberation Time)
sn	: Saniye
SPL/G	: Ses Yüksekliği

1. GİRİŞ

Dinlemeye yönelik salon tasarımı icracıların performanslarının seyirciye hem işitsel hem görsel açıdan eşit koşullarda iletilmesi gerekmektedir. Hacim akustiği, icracının performansını işitsel olarak salon içindeki yüzeyler yardımıyla seyircilere nitelikli ve eşit biçimde ulaştırmasını kapsamaktadır. Yüzeylerin açıları, formları ve malzemeleri işitsel olarak sesi seyirciye ulaştırma konusunda icracıları destekleyebilir ya da dezavantaj oluşturabilmektedir. İç bükey yüzeyler kullanıldıkları yere ve amaca göre bir takım akustik sorunlara (odaklanma, yankı vb) neden olabilmektedir. Bu da hacim içerisinde akustik konforun eş koşullarda icracı ve izleyiciler için sağlanmasını engellemektedir. Bu sebeple salonlardaki yüzeylerin hacim akustiği açısından tüm özellikleri (yüzey biçimi, ses yansıtma ve yutma özellikleri, boyutları, kaynak ve alıcıya göre konumları, açıları vb) ile değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Literatürel değerlendirme doğrultusunda, akustik anlamda tasarım aşamasında değerlendirilmemiş olan salonlardaki içbükey yüzeylerin kaynaktan çıkan sesi herhangi bir noktada toplayıp (odaklayıp) sesin hacim içerisinde eşit bir şekilde dağılmasını önlediği görülmektedir. Bu durumda, içbükey yüzey akustik tasarım prensiplerine göre tasarlanmadıysa hacim akustiği açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Hacmin akustik anlamda iyileştirilmesini gerektirmektedir. Sabine, Barron, Ermann, Kutruff içbükey yüzeylerin salonlarda sebep olduğu kusurları tasarım aşamasında ya da sonrasında akustik açıdan özellikle düşünülmesi gereken yüzey biçimleri olarak değerlendirmektedir. İçbükey yüzeyler üzerine yapılan örnek iyileştirme çalışmalarında (Annelise Brost Music Forum, Royal Albert Hall, Royal Exchange Tiyatrosu gibi) ise odaklanmanın ve buna bağlı olarak gelişen diğer akustik kusurların tespit edildiği ve önlenmesine yönelik tasarımların geliştirildiği görülmektedir. Bu çalışmalarda içbükey yüzeye saçıcı ya da yutucu özellikteki malzemelerle yapılan müdahale dikkat çekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, kubbe örtülü ve çok amaçlı yapılarda akustik ölçüm ve değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar ışığında, salonun hem akustik performansının iyileştirilmesine hem de akustik kusurların önlenmesine yönelik tasarım önerileri geliştirmektir. Bununla birlikte bu senaryoların akustik anlamda farklı tasarım yaklaşımları(doğal akustik tasarım, elektroakustik tasarım ve bütünleşik akustik tasarım) için etkinliğini tartışmaktır. Bu nedenle çalışma alanı olarak Eskişehir Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi seçilmiştir. Bu merkez; müze, fuar alanı, kütüphane ve

sosyal alanlarla birlikte çok amaçlı kullanıma yönelik yaklaşık 340 kişilik bir salona ve kubbe şeklinde bir örtüye sahiptir. Böylelikle bu salonda yapılan çalışma ile birlikte içbükey yüzeylerin mevcut benzer yapılarda ya da yeni tasarlanacak binalar için tasarım aşamasında akustik performansa etkisini vurgulamak ve akustik anlamda katkı sağlayıcı tasarım girdileri sunmak hedeflenmektedir.

Bu çalışma, Eskişehir Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi'nin mevcut durumunun nesnel akustik değerlendirmesini ve yapılan iyileştirme senaryolarının farklı tasarım yaklaşımları üzerinden tartışılmasını kapsamaktadır.

Yöntem olarak, öncelikle salonda akustik parametreleri elde etmeye yönelik ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler alanda ölçme yöntemiyle nesnel olarak elde edilmiştir. Sonrasında Sketchup 2020 programı üzerinden salon modellenmiş ve ODEON Auditorium 14 yazılımı yardımıyla salonun akustik kalibrasyon modeli oluşturulmuştur. Bu kalibrasyon modeli senaryo önerileri ile birlikte modellenerek elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Çalışma 4 ana bölüm ve eklerden oluşmaktadır. Bu bölümlerde;

Birinci bölümde tezin amacı, konusu, kapsamı ve yöntemi ile ilgili bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde ise tezin alan çalışmasına ilişkin yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen temel bilgiler yer almaktadır. Bu nedenle öncelikle sesin kapalı ortamlardaki davranışı ile ilgili ve çok amaçlı salonlardaki temel işlevlerle ilgili bilgi verilmektedir. Ayrıca çok amaçlı salonlarda farklı akustik tasarım yaklaşımları açıklanmaktadır. Bu tasarım yaklaşımlarının tasarım prensipleri ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir. Nesnel, öznel parametreler ve akustik kusurlarla ilgili detaylı açıklama yapılmaktadır. Bununla birlikte bu bölümde yüzey biçimleri ve kubbe örtü açıklanmaktadır ve bu konuya özellikle vurgu yapılmaktadır.

Üçüncü bölümde; alan çalışması kapsamında belirlenen salona ait genel bilgiler, arka plan gürültüsü ve hacim akustiği nesnel parametrelerinin ölçüm sonuçları, kalibrasyon modeli ve iyileştirme senaryo önerilerinin akustik simülasyon verileri ve bu verilerin değerlendirilmesi ile ilgili detaylar bulunmaktadır. Ayrıca kubbe örtülü ve çok amaçlı salonlarda akustik performansın iyileştirilebilmesine yönelik öneriler bu bölümde sunulmuştur.

Dördüncü bölümde tez ile ilgili sonuç değerlendirmesi ve gelecekte teze ilgili yapılacak olan çalışmalar yer almaktadır.

2. ÇOK AMAÇLI SALONLARDA AKUSTİK TASARIM VE KONFOR KOŞULLARI

Artan nüfus ve sosyal çevrenin farklılaşması ve finansal sebeplerden dolayı hem konuşma hem de müzik işlevi için kullanılabilen çok amaçlı salonların kullanımı ve tasarımına önem verilmiştir. Ancak akustik anlamda müzik işlevi ve konuşma işlevi için farklı değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. Örneğin; konuşma işlevi için anlaşılabilirliğin ön planda tutularak akustik tasarım yapılması gerekirken, müzik işlevi için anlaşılabilirlik ön planda değildir. Bu sebeple çok amaçlı salonlarda müzik ve konuşma işlevi için ortak bir çözüm gerekmektedir (Yücel, 1987).

Salonlarda akustik tasarım yapılırken öncelikle sesin davranışı, hacim akustiği tasarım prensipleri gibi temel akustik bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca çok amaçlı salonlarda hangi işlevlerin kullanıldığı ve bu işlevlerin gereklilikleri konusu da önem taşımaktadır. Bu nedenle bu bölümde sesin kapalı ortamlarda nasıl davranış sergilediği, çok amaçlı salonlardaki temel işlevler ve bu işlevlerin gerekliliklerine göre çok amaçlı salonlarda akustik tasarım, akustik konfor koşulları, akustik kusurlar konuları hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında özellikle yüzey biçimleri ve içbükey yüzeyler üzerinde değerlendirme yapılmaktadır ve yüzey biçimlerinin akustik önemi ve kubbe örtü üzerine bilgi verilmektedir.

2.1. Sesin Kapalı Ortamlardaki Davranışı

Ses, çoğunlukla titreşen bir nesne vasıtasıyla üretilen ve ortamdaki alçak ve yüksek basınç seviyesine ve kaynağa göre farklı özellik gösteren dalgalardan oluşur. Bir ortam içerisinde partiküllerin hareketi ve yoğunluğu yardımıyla sesin yayılması sağlanmaktadır. Böylelikle ses sadece maddesel ortamda yayılabilmektedir (Barron, 2010).

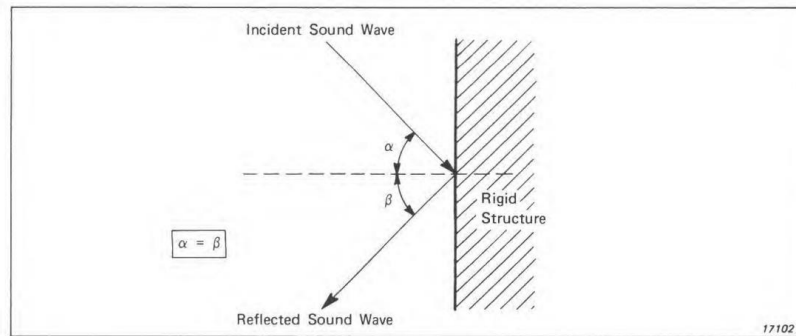
Kapalı bir ortamda sesle ilgili çalışmalar yapılırken öncelikle kapalı ortamdaki ses türleri ile ilgili temel kavramların bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca optimum akustik etkiyi elde edebilmek, sesin kapalı ortamda nasıl davranış sergilediği ile ilişkilidir. Bununla birlikte ortamdaki malzemelerin özellikleri de sesin davranışı üzerinde etkilidir. Ayrıca sesin konuşma sesi ya da müzik sesi olması sesin farklı özelliklerde olmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple sesin ortamdaki davranışı sesin özelliği ile de ilişkilidir (Smith, Peters, & Owen, 1996).

Sesler kaynaktan çıktıktan sonra ortamda yayılırken herhangi bir yüzeyden yansıyıp yansımama durumuna göre farklı isimlendirilmektedir. Ses kaynaktan çıktıktan

sonra hiçbir yüzeye çarpmadan doğrudan dinleyiciye ulaşıyorsa *doğrudan ses* olarak adlandırılmaktadır. Doğrudan ses, mesafenin her iki katına çıktığında kapalı ortamlarda ya da açık alanlarda 6 desibel kaybederek sönümlenmektedir (Ermann, 2015). Kaynaktan çıkan ses herhangi bir yüzeyden yansımada dinleyiciye ulaştıktan kısa bir süre sonra duvarlardan ya da tavandan yansiyarak dinleyiciye ulaşan sesler ise *erken yansımalar* ya da *ilk yansımalar* olarak bilinmektedir. Ardından ses dalgası birçok yöne yayılarak ve odadaki sayısız yüzeye çarparak çok geçmeden yüzlerce yansıma dönüşmektedir. Bu ses dalgaları *yansımış ses* olarak adlandırılmaktadır (Adelman-Larsen, 2014).

Sesin çarptığı yüzey sesin dalga boyundan büyükse ve yüzey yutucu özelliğe sahip değilse dalga yansır. Eğer yüzey yansıtıcı ve pürüzlü ise yüzeyin pürüzlülüğü ve sesin dalga boyu arasındaki ilişki ile bağlantılı olacak şekilde ses dalgası saçılabilir. Yüzey yutucu özellikte ise büyük oranda yutulur ve enerjisini kaybeder. Enerjisini kaybeden sesin düzeyi azalır. Bu durum malzemenin özelliği ile ilişkilidir. Malzemenin frekansa göre değişen yutma çarpanı değeri 0.5'in altındaysa ses yüzeyden yansiyarak geri döner, 0.5'in üzerinde ise yutulur. (Ballou, 2008).

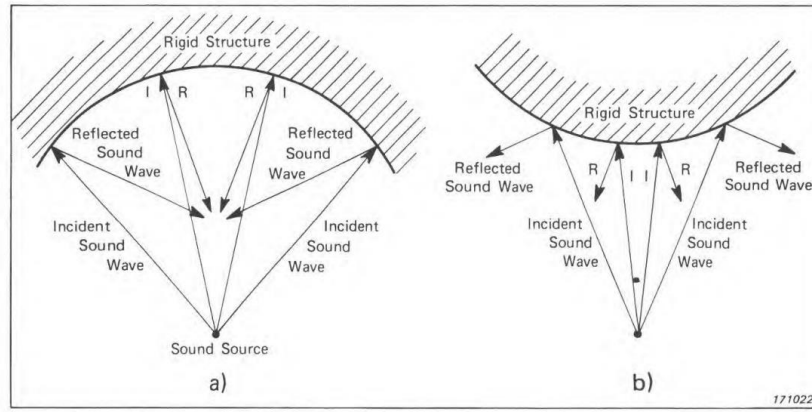
Sesin çarptığı yüzey yansıtıcı özellikte ve sesin dalga boyundan büyük olduğu durumlarda ses davranışı optik geometri üzerinden ele alınabilir. Yani bu durumda ses ışınları ışık ışınlarına benzer şekilde, bir yüzeye çarptığında gelen ışın, yansıyan ışın ve gelme noktasındaki yüzeyin normali aynı düzlemde ve gelme açısı yansıma açısına eşittir (Ginn, 1978). Şekil 2.1'de sesin düzgün ve yansıtıcı özellikteki yüzey üzerinden yansıması görülmektedir.



Şekil 2.1. Sesin düzgün yansıtıcı yüzey karşısındaki davranışı. (Ginn, 1978)

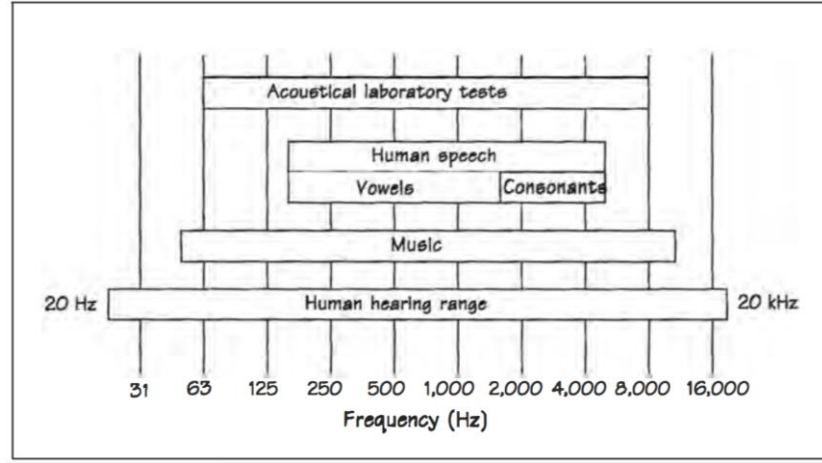
İçbükey yüzeye çarpan ses, belirli bir noktada odaklanırken dışbükey yüzeye çarpan ses dağılacaktır. Böylelikle içbükey yüzey akustik kusurlardan odaklanamaya

sebeptir. Dışbükey yüzey ise saçıcı(dağıtıcı) özellik göstermektedir. Ancak bu durumda yüzeyin yansıtıcı özellikte olması gerekmektedir. Bu etki düşük frekanslı uzun dalga boylu seslerde, kısa dalga boylu yüksek frekanslı seslere göre daha belirgin bir şekilde gerçekleşmektedir (Ginn, 1978). Bununla birlikte yüzeye çarpan sesin dalga boyu pürüzsüz ve yansıtıcı özellikteki içbükey yada dışbükey yüzeyin doğrusal boyutlarından küçükse Şekil 2.2'deki gibi optik geometri üzerinden değerlendirilmektedir (Ballou, 2008).



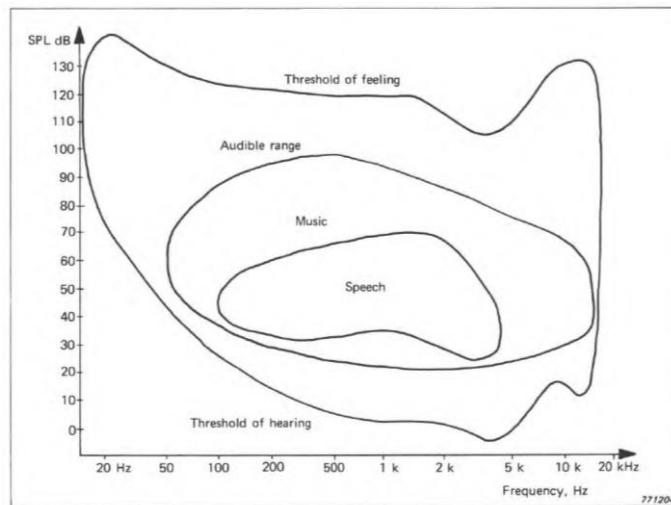
Şekil 2.2. Sesin içbükey ve dışbükey yüzeylerdeki davranışı. (Ginn, 1978)

Müzik ve konuşma sesi, kısa ses olaylarından oluşmaktadır. Her ikisini de duyulabilir ses frekans aralığındaki sesler oluşturmaktadır. Müzik için seslerin frekans aralığı kullanılan enstrümana göre farklılık göstermektedir. Böylelikle piyano 30 ile 4000 Hz aralığında ses üretirken, keman 200 ile 3000 Hz arasında ses üretebilmektedir. Böylelikle üretilen seslerin bass ya da tiz olması enstrümana göre değişmektedir. Konuşma için 100 Hz in altında çok az enerji vardır (Barron, 2010). Konuşma sesinin frekans aralığı, 100 Hz'den 5 kHz'e kadar ve yaklaşık 5 oktavı kapsayan frekans aralığından oluşmaktadır. Konuşmadaki yüksek frekanslı sesler ünsüz seslerdir. Bu sebeple ünsüz sesler enerji olarak düşüktür. Müzik ve konuşmanın frekans aralıkları Şekil 2.3'te görülmektedir (Mehta, Johnson, & Rocafort, 1999).



Şekil 2.3. Farklı seslerin frekans aralıkları (Mehta, Johnson, & Rocafort, 1999).

Herhangi bir müzik sesini ya da konuşma kayıtlarını incelediğimizde sesin dalga hareketinin periyodik olduğu fakat basit harmonik bir hareket yerine daha karmaşık bir eğriden oluştuğu görülür. Müzik tonları, tellerin ya da havanın titreşimiyle üretilmektedir. Aynı perdede ton üreten iki farklı müzik aletinin arasındaki fark *tını* olarak adlandırılan söz konusu müzik aletine özgü ton ile ilgilidir. Ayrıca bu durumun fiziksel temeli iki aletin çıkardığı sesin genliklerinin farklı olması ile de ilgilidir. Konuşma sesi ise müzikal sesleri de içeren karmaşık sestir. (Sabine, 1932). Kulağa gelen sesler belirli bir frekanstan sonra algılanabilir olmaktan çıkar. Algılanabilen sesler müzik ve konuşma için de frekans ve ses basınç seviyesi açısından kıyaslanabilmektedir. Müzik sesi ses basınç seviyesi açısından 30 ve 100 dB arasında iken, konuşma 30 ve 70 dB aralığında değişmektedir. Şekil 2.4'te bu değerlerin yaklaşık seviyeleri görülmektedir (Ginn, 1978).



Şekil 2.4. Müzik ve konuşma sesi işitilebilir frekans ve ses basınç düzeyi seviyeleri (Ginn, 1978)

2.2. Çok Amaçlı Salonlarda Temel İşlevler

Tarihsel süreçte akustik anlamda düşünülmüş ve tasarlanan en eski yapı örnekleri Roma ve Yunan amfi tiyatrolardır. Orta çağda ise geliştirilmekte olan müzik ve tasarlanan gotik katedrallerle birlikte özel bir resital geleneği ortaya çıkmıştır. Rönesans ile birlikte opera binaları geliştirilip klasik amfi tiyatrolar üst örtü yardımıyla kapalı bir hacim haline getirilmiştir. Bununla birlikte oda akustiğinin karmaşık ilkeleri ile ilgili çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur (Hand, 2004).

Modern çağda çok amaçlı olarak kullanılan performans mekanlarında ise klasik müzik, pop/rock müzik, tiyatro, opera, bale, konferans, resmi davetler, müzikaller, sinema, sergiler ya da sportif faaliyetler gibi birçok alanda faaliyetler gerçekleştirilmektedir (Aktı, 2014). Bu faaliyetlerin tümü aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Ergin, 2014):

- Müzik
- Müzik ve dans gösterileri
- Konuşma
- Müzik, dans ve konuşmanın birlikte sergilendiği gösteriler

Müzik faaliyetleri daha çok klasik batı müziği, caz ve pop/rock gibi müzikleri içermektedir. Bu faaliyetlerin doğru bir şekilde icra edilebilmesi için bazı prensipler bulunmaktadır (Ergin, 2014). Klasik batı müziğinde en arkada koro ve koronun önünde orkestra yer alır. Senfoni orkestrası 90 ile 120 kişi arasında değişen grup ile birlikte en önde orkestra şefi ve yanında solistlerden oluşmaktadır. Piyano konçertosunda ise piyanist orkestra şefinin önünde yer almaktadır. Caz için icracılar ve dinleyiciler arasındaki samimiyet ön plandadır. İlk olarak ortaya çıktığı günden bu yana kulüp gibi performansın ön planda olduğu mekanlarda sergilenmiştir. Caz orkestraları 30 kişilik gruplar halinde ya da daha az sayıda solodan oluşabilir. Pop ya da rock konserleri çok kalabalık dinleyici kitlelerine ışıklandırma ve performansın ön planda olduğu gösterileri de içeren konserlerdir. Pop müzik konserlerinde orkestra genellikle şarkıcı ve dansçıların arkasında yer almaktadır. Şarkıcı ve dansçılar sahne odağındadır. Rock müzik konserlerinde ise odak şarkıcı grubu da enstrümantalistlerdir (Appleton, 2008).

Müzik ve dans gösterileri klasik bale ve modern dans gibi gösterileri kapsamaktadır. Klasik bale gösterilerinde şef merkezde olacak şekilde kurgu yapılmaktadır ve gösteri ön plandadır. Bale gösterilerinde oyuncu kadrosu, solist ve bale

topluluğu ile birlikte 100 kişiye kadar çıkabilmektedir. Gösteriye paralel olarak müziğin kalitesi de önem taşımaktadır. Bale gösterilerinde orkestra 50 kişilik bir gruptan oluşabilmektedir. Modern dans ise gösteri ile birlikte müzik ya da müzik olmadan kurgulanmaktadır (Appleton, 2008).

Konuşma amaçlı faaliyetler konferanslar, seminerler, tiyatro vb. üzerinden değerlendirilebilir. Konferans ve seminer gibi faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için konuşmanın anlaşılabilirliğinin salon tarafından desteklenmesi gerekmektedir. Onun dışında tiyatro için konuşmanın anlaşılabilirliği ile birlikte performansın görsel olarak algılanabilmesi de önem taşımaktadır (Ergin, 2014).

Müzik, dans ve konuşmanın birlikte icra edildiği gösteriler ise opera, drama ve müzikaller üzerinden değerlendirilebilir. Opera; orkestra şefi, orkestra, opera sanatçıları, koro ve bazı durumlarda dansçılar tarafından icra edilmektedir. Opera, genellikle klasik müzikle birlikte gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple, salon tasarımında konuşma ve müzik bir arada düşünülmelidir. Ayrıca teatral faaliyetler sebebiyle sahnenin seyirciler tarafından görsel açıdan algılanabilmesi gerekmektedir. Drama gösterileri, 20 ye kadar oyuncu kadrosundan oluşan orta veya normal ölçekli ya da 10'un altında küçük ölçekli oyuncularından oluşan gösterilerdir. Müzikaller de operaya benzer bir şekilde müzik, dans ve konuşma içeren gösterilerdendir. Müzik seyirciye seslendirme vasıtasıyla ulaştırılmaktadır (Appleton, 2008).

Çok amaçlı olarak tasarlanan salonların akustik kalitesinin işlev açısından iyileştirilmesi adına çeşitli çalışmalar yapılması gerekmektedir. En iyi sonuçların elde edilmesi için bir salon özel amacına göre uyarlanmalıdır. Bu yüzden öncelikli faaliyetlerin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen işleve göre yapılan akustik kurgunun salon içerisinde gerçekleştirilecek olan diğer faaliyetlere göre yeniden kurgulanabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir (Everest & Pohlmann, 2009).

2.3. Akustik Konfor Koşulları

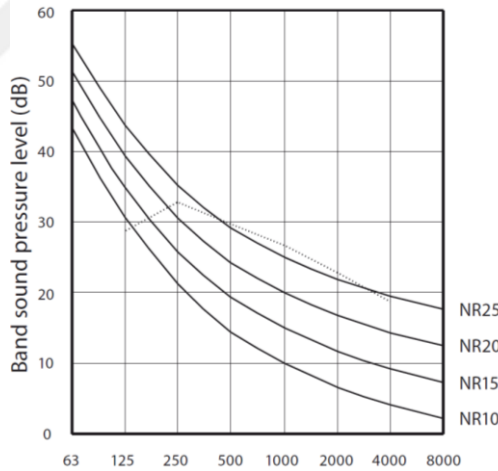
Çok amaçlı salonlarda akustik konfor koşullarının sağlanmasına yönelik akustik değerlendirmeler esas olarak seyircilerin ve icracıların öznel algılarına dayanır. Bu öznel yargıları nesnelleştirmek için çok sayıda öznel ve nesnel akustik parametre tanımlanmaktadır. Bu öznel ve nesnel parametreler birbiriyle ilişkili olacak şekilde değişmektedir (Ballou, 2008).

Bu bölümde salonların akustik anlamda değerlendirilebilmesi için önemli olan ve alan çalışmasında kullanılan akustik parametreler ve ülkemizde geçerli olan kabul edilebilir gürültü seviyesi tanımlanmaktadır.

2.3.1. Kabul edilebilir gürültü seviyesi

Hacimlerde uygulanan performanslara göre değişen ve akustik kaliteyi önemli oranda etkileyen gürültü seviyesinin belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu nedenle hacim içinde ve dışında gürültü ölçümleri yapılarak optimum seviyelerin veya koşulların sağlanıp sağlanmadığı irdelenmelidir (Türk, 2011).

Arka plan gürültüsünün sınır değerleri çeşitli gösterge ve kriterlere göre belirlenmiştir ve en yaygın uluslararası kriteri NR eğrileridir. Ülkemizde yapı için arka plan gürültüsünün sınır değerleri için Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği kullanılmaktadır. İlgili yönetmelikte NR eğrilerinden yararlanılmaktadır. Şekil 2.5'te NR eğrileri değerleri görülmektedir. (BGKKHY, 2017).



Şekil 2.5. NR eğrileri (Barron, 2010)

NR eğrileri frekansa göre değişen ses basınç düzeyi sınır değerlerini (dB) ve A ağırlıklı ses basınç düzeyi (dBA) sınır değerlerini içermektedir. Büyük konser salonları için NR 15, opera salonları ve tiyatrolar için NR 20, 500 kişiden daha az seyircili küçük salonlar için ise NR 25 kullanılmaktadır (Barron, 2010). Tablo 2.1'de NR 25, NR 20, NR 15 ve NR 10'un frekansa göre değerleri görülmektedir.

Tablo 2.1. NR eğrileri değerleri (BGKKHY, 2017)

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	dB(A)
NR 25 (dB)	44	35	29	25	22	20	31
NR 20 (dB)	40	31	24	20	17	14	26
NR 15 (dB)	35	26	19	15	12	9	21
NR 10 (dB)	31	21	15	10	7	4	16

Ülkemizde 2022 yılında ‘Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği’ yayımlanmıştır. Yönetmeliğe göre çevresel gürültü düzeylerine yönelik sınır değerler Tablo 2.2’ de verilmiştir (ÇGKY, 2022).

Tablo 2.2. Çevresel gürültü düzeyi sınır değerleri (ÇGKY, 2022)

Gürültü Kaynağı	Ölçülen Parametre	Çevresel Gürültü Düzeyi		
		Gündüz	Akşam	Gece
Endüstri tesisleri, ulaşım kaynakları	$L_{Aeq,5min}$	65dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)
Müzik yayını yapan işyerleri	$L_{Aeq,63-250Hz}$	60 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)
İşyerleri	$L_{Aeq,5min}$	Arka Plan + 5 dB(A)		Arka Plan + 3 dB(A)
Birden çok işyeri olması halinde	$L_{Aeq,5min}$	Arka Plan + 7 dB(A)		Arka Plan +5 dB(A)
Tüm kaynaklar	L_{Cmax}	100dB(C)		

2.3.2. Hacim Akustiği Parametreleri-Nesnel parametreler

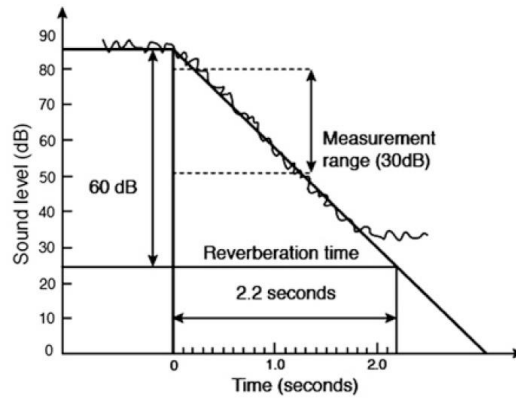
Akustik alan içerisinde insanın ses algısını tanımlayabilmek için ‘kuru’ ya da ‘berrak’ gibi öznel tanımlamalar alanın akustik değerlendirmesi için tek başına yeterli bilgi vermemektedir. Bu nedenle akustik analiz için nesnel parametreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçüm metodları ve nesnel parametreler ISO 3382’de standartlaştırılmıştır (Foteinou, 2013) . Bu başlık altında alan çalışmasında kullanılacak olan nesnel parametreler tanımlanmış, literatürel araştırma sonucunda belirlenen optimum değerler belirtilmiştir.

2.3.2.1. Yansıma süresi(RT)($T60$)($T30$)($T20$)

Akustik uzmanlarının çok amaçlı ya da tek bir amaç için kullanılan salonlarda yaptıkları çalışmalarda “yansıma süresi”, hacmin akustik kalitesi hakkında en temel bilgiyi vermesi sebebiyle önemli bir yer tutmaktadır. Yansıma süresi, kaynaktan çıkan ses düzeyinin kaynak durdurulduktan sonra 60 dB azalması için geçen süre olarak ifade edilmektedir. Yansıma süresinin birimi sn’dir. Doğrudan sesin dinleyiciye ulaştıktan sonra yansıyan sesin ulaşmasına kadar geçen süre “ilk ulaşım gecikmesi” olarak ifade edilmektedir. Yansıtıcı özellikteki iç yüzeylere sahip olan ve sesi yutucu özellikteki

malzemelerin nispeten daha az olduğu boş bir salonda yaratılan ses durduktan sonra belirli bir süre daha yayılmaya devam edecektir. Yansışım icracının müzikal bir etki yaratması açısından istenen bir durumdur. Yansışım, notalar arasındaki boşlukları doldurduğu için icracıların ihtiyaç duyduğu ses dolgunluğunu (fullness of tone) sağlamaktadır. (Beranek L. , 2004).

Kaynaktan çıkan sesin salon içerisinde 60 dB düşmesi RT ya da T60 olarak ifade edilmektedir. Bir salonun yansışım süresini ölçerken genellikle -5 ile -35 dB veya -25 dB arasındaki süre hesaplanabilmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri arka plan gürültüsünün kaynaktan çıkan sesin 60 dB düşmesi için geçen sürenin ölçülmesini zorlaştırmasıdır (Adelman-Larsen, 2014). 30 dB’lik düşüş için geçen süre 2 faktörü ile çarpıldığında T30, 20 dB’lik düşüş 3 faktörü ile çarpıldığında ise T20 elde edilmektedir (Balcı, 2007). Aşağıda T60 ve T30 değerleri ses düzeyi zaman grafiği gösterilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. T60 ve T30 değerlerinin ses düzeyi ve zaman grafiği (Adelman-Larsen, 2014)

Şekil 2.6’da görüldüğü üzere, yansışım süresinin zaman içinde ses düzeyindeki bozulma grafiği doğrusal bir çizgi üzerinde ifade edilmiştir. Ancak bu bozunma gerçekte rastgele modülasyonlar içerir ve her zaman doğrusal bir şekilde azalmayabilir. Bunun en yaygın nedeni farklı yansışım süresine sahip iki hacmin bir arada tasarlanmış olmasıdır (Barron, 2010).

Bir hacmin yansışım süresi o hacimdeki yutucu malzemelere ve hacmin sınırlarına bağlı olarak değişmektedir. 1900 lü yıllarda Sabine tarafından geliştirilen ve Sabine formülü olarak ifade edilen aşağıdaki formül bu iki faktörün karşılıklı etkileşimi üzerinden geliştirilmiştir (Beranek L. , 1992):

$$T60 = 0,163 \frac{V}{A} \quad (2.1)$$

Bu denklemde, T60 sn cinsinden yansıma süresini ifade ederken, V m³ cinsinden salonun hacmini, A ise insanlar, yüzeyler, nesneler ve havanın toplam yutuculuğunu ifade eder (Beranek L. , 1992).

$$A = A_y + A_b + A_h \quad (2.2)$$

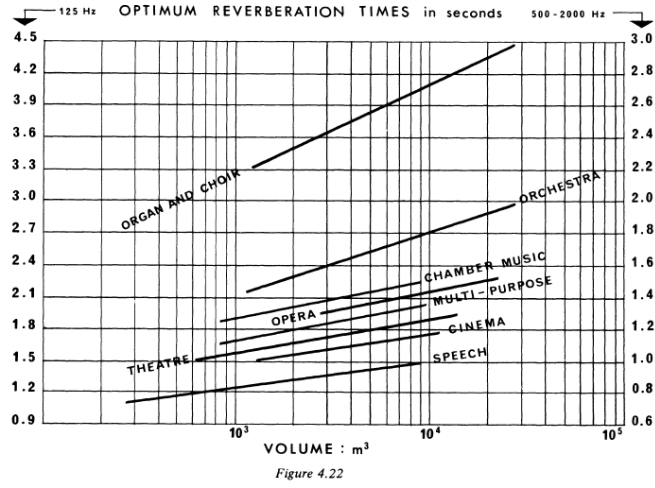
$$A_y = (S_1 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3 + \dots + S_n \cdot a_n) \quad (2.3)$$

$$A_b = (a_1 \cdot n_1 + a_2 \cdot n_2 + a_3 \cdot n_3 + \dots + a_n \cdot n_n) \quad (2.4)$$

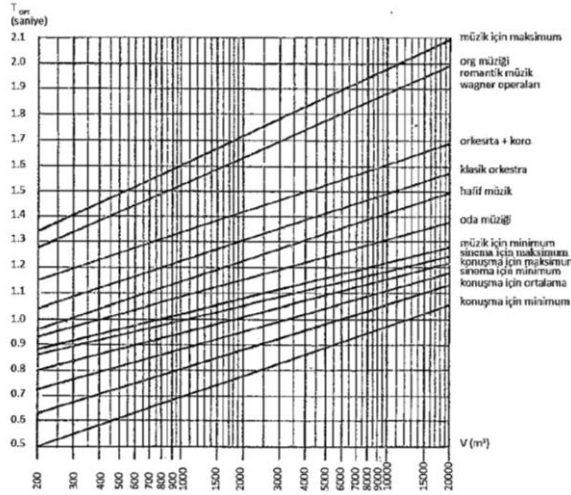
$$A_h = 4mv \quad (2.5)$$

A_y hacimdeki tüm yüzeylerin toplam yutuculuğudur. S_n n malzemesi ile kaplı yüzeyin m² cinsinden alanıdır. a_n , n malzemesi ile kaplı yüzeyin yutma çarpanıdır. A_b hacimdeki birimlerin toplam yutuculuğudur. Bu denklemde n_n , n nesnesinin adedini ifade eder. A_h ise havanın yutuculuğudur. m sıcaklığa ve bağıl neme bağlı olarak değişen çarpanıdır. V ise ortamdaki havanın m³ cinsinden hacmini ifade eder (Kul, 2018)

Konuşma ve müzik sesinin kendine özgü doğası nedeniyle, salon içerisinde farklı yansıma sürelerinin optimum değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Konuşma için gereken optimum yansıma süresi değeri müzik işlevi için kullanılan salonlara göre daha kısadır. Bununla birlikte konuşma için erken yansımaların daha güçlü olması gerekmektedir. Böylelikle uygun yansıma süresi işlev bazında belirlenmelidir. Ayrıca optimum yansıma süresinin salon hacminin de bir fonksiyonu olduğu söylenilebilir. Bu yüzden optimum yansıma süresi hacimle ve işlevle ilişkili olarak değişmektedir. Çok amaçlı kullanılan salonlar ise yansıma süresi üzerinden değerlendirildiğinde hem konuşma hem de müziğin optimum değerlerinin makul seviyede olması tercih edilmektedir. (Barron, 2010). Şekil 2.7 ve 2.8’de birden fazla işlev için önerilen ve bu çalışmada kullanılan optimum yansıma süreleri gösterilmektedir (Moore, 1978).



Şekil 2.7. İşlev, frekans ve hacime göre değişen optimum yansıma süresi değerleri (Moore, 1978)



Şekil 2.8. İşlev ve hacime göre değişen optimum yansıma süresi değerleri (Long, 2006)

Alçak frekanslarda (125 Hz-250 Hz) insan kulağının bu frekanslara yeterince hassas olmaması sebebiyle yansıma süresinin diğer frekanslara göre daha yüksek olması gerekmektedir. 500 Hz'deki optimum değer üzerinden hesaplanabilen bu oran aşağıdaki gibidir (Aktı, 2014):

$$OptimumT_{125} = (1,5) \times OptimumT_{500}$$

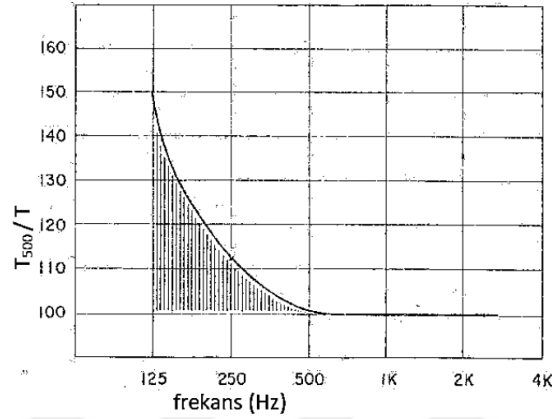
$$OptimumT_{250} = (1,15) \times OptimumT_{500} \quad (2.6)$$

T_{125} = 125 Hz'deki optimum yansıma süresi

T_{250} = 250 Hz'deki optimum yansıma süresi

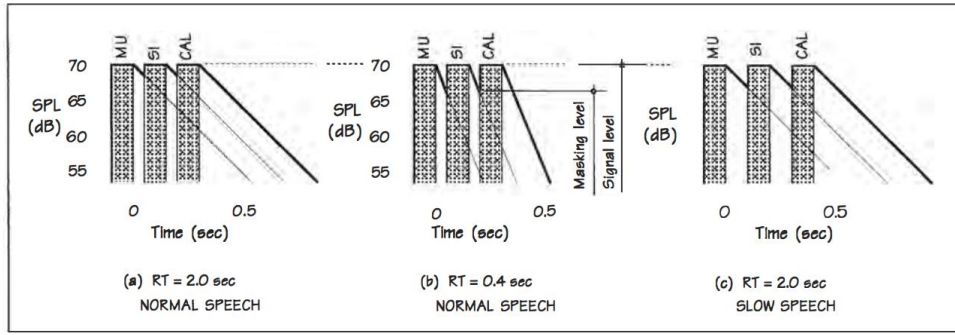
T_{500} = 500 Hz'deki optimum yansıma süresi

Bu oran özellikle müzik işlevi için istenen bir durumdur. Bu oran üzerinden elde edilen değerlerin 500 Hz'deki yansışım süresi değeri ile oranı şekil 2.9'da gösterilmektedir (Kul, 2018).



şekil 2.9. Farklı frekanslarda T60 yüzde değerlerinin karşılaştırılması (Doelle L. , 1972)

Aşırı uzun yansışım süresine sahip olan ortamlar konuşma anlaşılabilirliği açısından olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Doğrudan sesi g  lendirmeyen ses enerjisi aslında konuşma için maskelemeye sebep olur ve bu durum konuşma anlaşıl rl ğını azaltmaktadır. şekil 2.10'da, maskeleme etkisi, biri 2.0 sn diğeri 0.4 sn yansışım süresine sahip iki oda için üç heceli 'musical' kelimesi  rneği üzerinden gösterilmektedir. Her hecenin eşit düzeyde (70 dB) s ylenildiğini varsayarsak, şekil 2.10-a'da 'si' hecesi söylenmeden önce 'mu' hecesinin yaklaşık 69 dB düzeyine düştüğünü gözlemliyoruz. Bu durumda maskeleme seviyesi 69 dB şekil 2.21-b için ise yaklaşık 64 dB seviyesinde olduğu söylenebilir. Böylelikle konuşma anlaşıl rl ğı, yansışım süresi 0.4 sn olan odada, yansışım süresi 2.0 sn olan odaya göre daha yüksek olacaktır. Maskeleme etkisi ayrıca, uzun bir yansışım süresine sahip salonda konuşmanın anlaşılabilirliğini artırmak için daha yavaş ve duraklanarak konuşulması gerektiğini göstermektedir. şekil 2.10 a ve c karşılaştırıldığında ise uzun duraklamaların hece sırasının bulanıkl ğını azalttığını göstermektedir (Mehta, Johnson, & Rocafort, 1999).



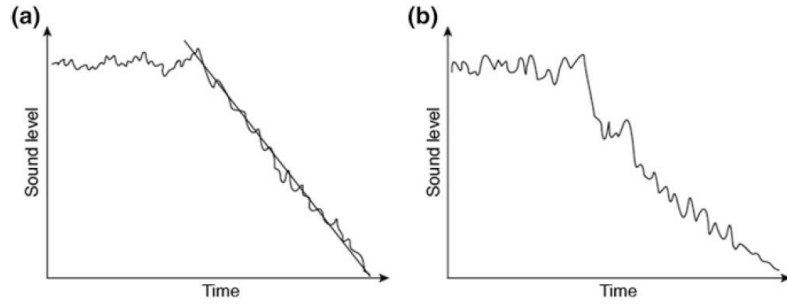
Şekil 2.10. Yansışım süreleri ve konuşma hızının farklı olduğu odalarda maskeleye etkisi (Mehta, Johnson, & Rocafort, 1999)

Yansışım süresinin uzun olması müzikal tonları geliştirmesi ve kusurları maskeleye eğiliminde olması sebebiyle müzik işlevi için istenen bir durumdur. Ancak çok uzun bir yansışım süresi müzikte karmaşaya sebep olmaktadır. Konuşma için uzun yansışım süresi konuşma anlaşılabilirliği üzerinden değerlendirilebilir. Uzun yansışım süresi anlaşılabilirliğin azalmasına neden olmaktadır ve nesneldir. Ancak müzik için bu durum öznel ve canlılık, ton dolgunluğu, sıcaklık gibi birden fazla tanımlayıcı ile ifade edilmektedir (Mehta, Johnson, & Rocafort, 1999).

2.3.2.2. Erken düşme süresi (EDT)

Erken düşme süresi (EDT), ses bozulmasının ya da yansışım süresinin ilk aşamasını belirtmektedir. Kaynak kapandıktan sonra sesin 10 dB azalması için geçen sürenin 6 ile çarpılmasından oluşan değerdir. Bu durum yansışım süresi ile doğrudan karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Birimi 'sn' dir (Beranek L. , 2004).

Bozulma eğimi yansışım süresi için lineer bir eğime sahipse EDT ve RT değerlerinin eşit olacağı söylenebilir fakat bu durum çok nadiren olmaktadır (Şekil 2.11). EDT ölçüldüğü salondaki konumu ile büyük oranda ilişkilidir. Ayrıca EDT dinleyici tarafından fiilen deneyimlenen yankılanmayı tanımlamak için daha uygun bir parametredir. (Adelman-Larsen, 2014). Böylelikle RT ve EDT'nin eşit olması salonun yayınlık olduğunun göstergesidir. Ancak erken yansımaların akustik anlamda daha önemli olması sebebiyle, EDT değerlerinin T30 değerinin %10'undan fazla ya da eşit olması istenen bir durumdur. (Çelebi Şeker, 2013)



Şekil 2.11. Bir salonda doğrusal ve doğrusal olmayan ses bozulması (Barron, 2010).

EDT ilk yansılardan büyük oranda etkilenmektedir. Bu nedenle salon geometrisiyle doğrudan ilişkilidir. Örneğin, yelpaze şeklindeki bir salonda ses, yansıtıcı yüzeyler tarafından salonun ortasına kadar ulaştırılamadığından, dikdörtgen şeklindeki bir salona göre EDT daha düşüktür. Bu yüzden, dinleyicilere erken yansımalar sağlayan yüzeyler(tavan, yan duvarlar gibi) tasarım aşamasında özellikle incelenmelidir (Hand, 2004). T_{60} bir salon boyunca her noktada neredeyse sabit olma eğilimindeyken EDT konuma göre değişebilmektedir. Özellikle düşük EDT değerleri derin balkonların altındaki boşluklarda yapılan ölçümlerde elde edilebilmektedir (Barron, 2010). EDT değeri salonun doluluğu ile birlikte yansıma süresine göre daha az değişmektedir ve seyirci olmadan ölçülür. Beranek'in (1996) verileri incelenen 52 salon için boş T_E ve dolu T_{60} arasında yaklaşık 0,3 sn fark olduğunu göstermektedir (Long, 2006) (Aktı, 2014).

$$T_E \cong T_{60} + 0,3 \text{ sec} \quad (2.7)$$

T_E : Boş salon için yansıma süresi

T_{60} : Dolu salon için yansıma süresi

EDT'nin ISO 3382-1 standardına göre optimum değeri 1.0 ile 3.0 aralığındadır. Ayrıca $\pm 5\%$ 'lik sapma kabuledilebilirdir (ISO 3382-1, 2009). Ayrıca EDT ve T_{30} değerleri birbirine eşit olmalı veya aşağıdaki bağıntıyı sağlamalıdır (Balcı, 2007).

$$EDT = 1.1 \times T \quad (2.8)$$

EDT ve T_{30} değerleri karşılaştırıldığında T_{30} değeri EDT'den daha fazla olduğu durumda dinleyicilerin ilk yansımaları yeterli seviyede alamadığını göstermektedir. Ayrıca bu durum akustik kusurlardan yankı oluşumuna sebep olabilmektedir (Çelebi Şeker, 2021).

2.3.2.3. Bass Oranı (BR)

Alçak frekansların yansıma süresi toplamının orta frekansların yansıma süresi toplamına oranı *bass oranı (BR)* olarak tanımlanmaktadır. Orta ve yüksek frekanslı seslerin dalga boyları insan kulak kanalının çapı ölçeğinde boyut işgal etmektedir. Bu yüzden 500 Hz ve üzerindeki seslere duyarlılığımız fazladır. Bu sebeple düşük frekanslı seslere kapalı hacimlerde dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca bass sesler hacmin sıcaklık hissini artırır. (Ermann, 2015).

Orta frekanslarda yansıma süresinin yanı sıra yansıma süresinin frekans yanıtı, özellikle düşük frekanslarda orta frekanslara kıyasla büyük önem taşımaktadır. 125 Hz ve 250 Hz frekanslarında ve 500 Hz ve 1000 Hz frekanslarında yansıma süreleri arasındaki oran aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanarak bass oranı elde edilir (Ballou, 2008):

$$BR = \frac{T_{125Hz} + T_{250Hz}}{T_{500Hz} + T_{1000Hz}} \quad (2.9)$$

BR : Bass oranı (Bass Ratio)

T_{125Hz} : 125 Hz'deki yansıma süresi

T_{250Hz} : 250 Hz'deki yansıma süresi

T_{500Hz} : 500 Hz'deki yansıma süresi

T_{1000Hz} : 1000 Hz'deki yansıma süresi

Müzik işlevi için gereken bass oranı 1.0-1.3 tür. Konuşma işlevi için ise 0.9-1.0 arasında olması gerekmektedir (Ballou, 2008).

Bass oranının istenen seviyede olması salonların sıcaklık etkisini artırmak için önerilmektedir. Örneğin bir orkestra için bass oranının istenen seviyede olması alçak frekanslar elde eden enstrümanları çalan müzisyenler için yüksek seviyede ses elde etmek zorunda kalmamalarını garanti etmektedir (Adelman-Larsen, 2014). Konuşma için ise alçak ve orta frekanslı seslerin eşit olması tercih edilmektedir (Ballou, 2008).

2.3.2.4. Netlik (C80)

Müziği detayları ile birlikte duyabilmek salonun akustik anlamda sahip olması gereken niteliklerden biridir. Bununla birlikte arka plan gürültüsünün yeterli seviyede olması ve doğrudan sesle birlikte erken yansıyan seslerin ses enerjisinin de belirli oranda olması tercih edilen bir durumdur. Geç yansıyan sesler müzikal anlamda netliği olumsuz

olarak etkilerken erken yansımalar netliği artırmaktadır. Bu yüzden ikisinin arasında bir denge olması gerekmektedir. Erken ve geç sesler arasındaki zaman ayrımı müzik için 80 ms olarak kabul edilmektedir. Nesnel anlamda netlik için tek bir sayı elde etmek adına 500, 1000 ve 2000 Hz'deki değerlerin ortalaması alınmaktadır. (Barron, 2010).

Netlik, doğrudan sesin yayılmasından itibaren ilk 80 ms'den önce gelen ses enerjisinin (dB) sonra gelen ses enerjisine oranı olarak ifade edilmektedir. Boş bir salonda ölçülür ve müzik işlevi için C80 ile gösterilmektedir. Genellikle 4 ve -4 arasında olması tercih edilen bir durumdur (Kul, 2018). Aşağıda C80 parametresi formülü görülmektedir (Gade , 2014).

$$C = 10 \log_{10} \left[\frac{\int_0^{80 \text{ ms}} h^2(t) dt}{\int_{80 \text{ ms}}^{\infty} h^2(t) dt} \right] \quad (2.10)$$

Netlik değeri küçük negatif ve küçük pozitif değerler arasında değişir. Pozitif değerler ölü bir odayı negatif değerler ise yansımanın çok olduğu bir odayı ifade etmektedir (Kul, 2018).

2.3.2.5. Ayırtedilebilirlik (D50)

Erken ve geç gelen seslerle ilgili bir diğer nesnel parametre ise ayırtedilebilirliktir ve D50 olarak ifade edilmektedir. D50 konuşma anlaşılabilirliğin bir ölçüsüdür. Doğrudan sesi takip eden ilk 50 ms'de gelen sesin toplam ses enerjisine olan oranıdır (Everest F. A., 2001).

$$D50 = \left[\frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{50 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt} \right] \quad (2.11)$$

$p(t)$: ölçüm yapılan noktada, anlık ses basınç düzeyi (Kul, 2018)

D50 diğer nesnel parametrelerle ilişkili olarak değişmektedir. Salon içerisinde yansıma süresi arttıkça konuşma anlaşılabilirliğinin azaldığı görülmektedir. Böylelikle hacim içerisindeki yansıtıcı ve yutucu yüzeyler D50 parametresini etkilemektedir (Kul, 2018). D50 oranının salon içerisinde anlaşılabilirlik açısından optimum değerlerinin sağlanabilmesi için %50 ve üzeri olması gerekmektedir (Özçevik, 2005).

Netlik müzik için C80, konuşma için D50 parametresi üzerinden değerlendirilmektedir. Ayrıca bu iki parametre arasında aşağıdaki denklem üzerinden de değerlendirilebilecek bir ilişki vardır (Türk, 2011):

$$C80 = 10 \log \left(\frac{D50}{1-D50} \right) \quad (2.12)$$

2.3.2.6. Sesin yüksekliği (SPL) (G)

Ses kaynağından çıkan sesin salonun sinyal tepkisi ile elde edilen toplam enerjisinin yansımanın olmadığı odada aynı ses kaynağından çıkan sesin 10 m uzaklıktaki enerjisine oranı ses yüksekliği ‘G’ olarak adlandırılmaktadır (Çelebi Şeker, 2013). Ayrıca aşağıdaki bağıntı üzerinden elde edilebilmektedir (Balcı, 2007):

$$G = 10 \log \frac{\int_0^\infty p^2(t)dt}{\int_0^\infty p_A^2(t)dt} \quad (2.13)$$

G (dB) : ses yüksekliği

p^2 (dB) : salonun sinyal tepkisi ile elde edilen ses basıncının karesi

p_A^2 (Pa) : yansımanın olmadığı odada eşdeğer bir ses kaynağından çıkan sesin 10 m uzaklıktaki ses basıncı

Literatüre göre için optimum G değeri -2 ve 10 arasında olması gerekmektedir (Aktı, 2014).

Yayınık alan teorisine göre G’nin oda hacmi (V) ve yansıma süresi (T) üzerinden fonksiyonu aşağıdaki gibidir. G için subjektif ayırım 1 dB olarak belirlenmiştir. (Gade , 2014):

$$G = 10 \log \left(\frac{T}{V} \right) + 45 \text{ dB} \quad (2.14)$$

2.3.3. Hacim Akustiği Parametreleri - Öznel parametreler

Bir salonun akustik anlamda değerlendirilebilmesi yalnızca nesnel parametrelerle değil kişiye özgü olarak değişebilen öznel parametrelerle de yapılmaktadır. Öznel ve nesnel parametreler birbirleriyle ilişkilidir. Ancak öznel parametreler sezgi ve deneyim yoluyla tanımlanmaktadır (Mommertz, 2012). Bu bölümde alan çalışması için kullanılan nesnel parametrelerle ilişkilendirilebilen öznel parametreler yer almaktadır.

2.3.3.1. Yansıma (Reverberation)

Yansıma, kaynaktan çıkan sesin kaynak kapandıktan sonra kapalı bir alanda hala algılanıyor olması olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, sadece kapalı ortamda geçerlidir ve açık alanda yansıma yoktur. Örneğin bir konser salonunda sahnedeki kemancının elde ettiği müzik sesi kemandan her yöne dalgalar halinde yayılır ve çevredeki yüzeylerle karşılaşır. Dinleyici önce doğrudan sesi sonra bir dizi ilk yansımaları duyar. Sonrasında ses büyük oranda yutulmadığı sürece daha fazla yüzeye karşılaşılarak yayılmaya devam eder. Ses her yüzeye karşılaştığında (özellikle seyirci alanında) bir miktar enerji

kaybeder ve zamanla duyulmaz hale gelir. Yansıım bestecinin müzikal bir etki yaratması için istenen bir durumdur. Yankılanan ses ardından gelen notalarla arasındaki boşlukları doldurarak müzisyenlerin ihtiyaçlarının gerektirdiği ölçüde kullanabilecekleri ton doluluğu sağlamaktadır (Beranek L. , 2004).

2.3.3.2. Sıcaklık (Warmth)

Doğal akustikle tasarlanmış olan salonlarda müzik dinleyicileri, akustik sıcaklık olarak adlandırılan düşük frekanslı seslerin güçlü olduğu sesi tercih etmektedir. Bu sebeple müzik amaçlı salonlarda tercih edilen yüzeyler alçak frekanslarda daha az yutucu özellik göstermektedir. Bu sebeple düşük frekanslarda yeterli yansııma sahip olmayan ve düşük frekanslarda diğer frekanslara göre yüksek yansıım süresine sahip olmayan salonların sıcaklıktan yoksun olduğu düşünölmektedir (Ermann, 2015).

Salonların düşük frekanslardaki impuls yanıtı Beranek'in ele aldığı önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu durum ortalama düşük frekanslı yansıım süreleri ile orta frekanslı seslerin arasındaki oran yani bass oranı olarak tanımlanmaktadır. Ahşap, alçıpan ve camın ince yüzeyleri düşük frekanslı enerjiyi yutan özelliktedir. Bu yüzden bitirme yüzeyi olarak kullanıldıklarında doğrudan bir beton ya da ağır sıva yüzeyine monte edilerek tercih edilmelidir (Long, 2006).

2.3.3.3. Belirginlik-Açıklık (Definition-Clarity)

Belirginlik genellikle konuşma sesi için kullanılmaktadır. Seslendirme sistemi bulunan ve bulunmayan odalarda gerçekleştirilen öznel testler belirginlik ile anlaşılabilirlik arasında da bir ilişki olduğunu göstermektedir. Anlaşılabilirlik yankı ile azalabilmektedir ancak anlaşılabilirliği bozan tek faktör yankı değildir. Dolaysız sesin ardından salon içerisinde uzun süre yutulmayan ve yansıyarak birbirini takip eden sesi ayırt etmek için işitme duyumuz sınırlı yeteneğe sahiptir. Bu nedenle geç yansımaların gereğinden fazla uzun olması belirginliğin azalmasına sebep olmaktadır (Kuttruff, 2000).

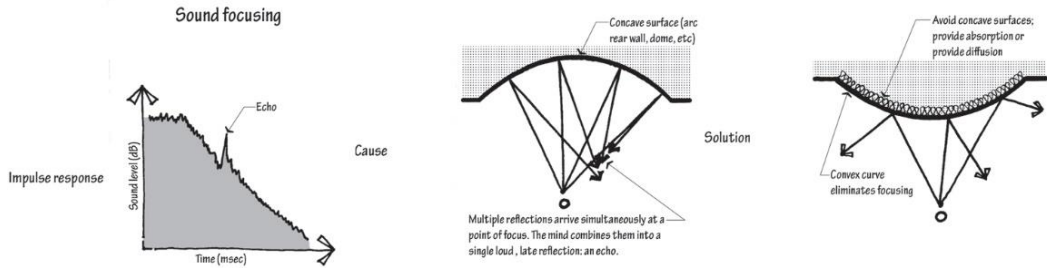
Salonun müzik sesine verdiği tepki ve müzik sesinin detaylarının dinleyiciler tarafından algılanabilmesi akustik konfor açısından önem taşımaktadır. Dinleme deneylerine göre erken yansımaların ve dolaysız sesin açıklığa katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden erken yansıyan ses ve geç yansıyan ses arasında bir denge olması gerekmektedir. Böylelikle müzik işlevi için açıklık parametresi istenen seviyede tutulabilmektedir (Barron, 2010).

2.4. Akustik Kusurlar

Salonlarda akustik konfor koşullarının sağlanabilmesi için akustik kusurların önlenmesi gerekmektedir. Akustik kusurların oluşumu büyük ölçüde kaynak-yol-alıcı geometrisine dayanmaktadır. Genellikle yüzey şekillerinin uygun bir biçimde yapılması, doğru yüzey malzemelerinin kullanılması ile önlenabilmektedir (Ermann, 2015). Bu bölümde özellikle alan çalışmasında tespit edilen akustik kusurlar tanımlanmaktadır.

2.4.1. Odaklanma (Focalisation)

Odaklanma, genellikle geniş içbükey yüzey sebebiyle kaynaktan çıkan sesin yüzeyin merkezinde toplanarak enerjiyi bir nokta ya da alanda yoğunlaştıran ve sesin hacim içerisinde eşit bir şekilde yayılmasını engelleyen akustik bir kusurdur (Mehta, Johnson, & Rocafort, 1999). Özellikle beşik tonoz veya kubbe gibi monotonik olarak kavisli tavanların sebep olduğu odaklanma, odakların yakınındaki dinleyici veya icracıları rahatsız eden bir durumdur (Ballou, 2008). Şekil 2.12’de odaklanma oluşumu grafik ve kesit üzerinden gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Odaklanma oluşumu (Ermann, 2015)

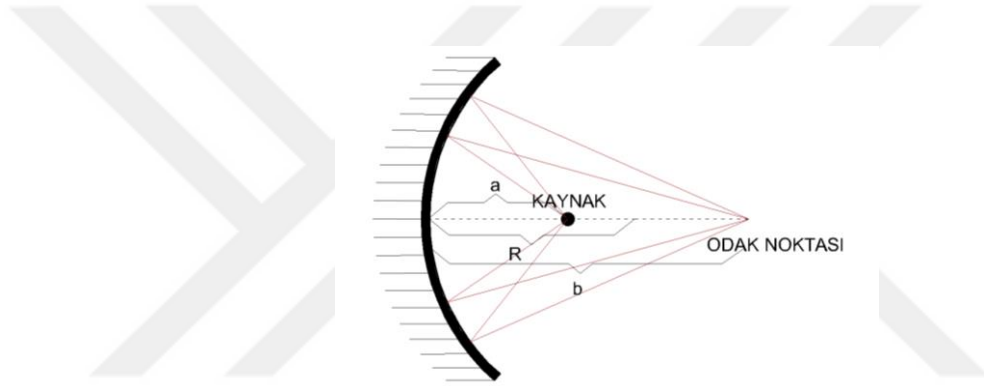
Monotonik(tekdüze) kavisli tavanlarda birden çok yansıma aynı anda odak noktasında doğrudan sesten daha yüksek bir yansıma üretebilir. Bununla birlikte Chicago’daki Albert Theatre’da bu durumun bilinçli olarak kullanıldığı görülmektedir. Çünkü Albert Theatre’da içbükey yüzeyden yansıyan ses orta seyirci alanına yönelmektedir (Ermann, 2015). Ancak bu durum her zaman sağlanamayabilir. Özellikle içbükey yüzeyler odaklandığı bölgede ses enerjisinin artmasına ve dinleyiciler tarafından ikinci bir kaynağın varmış gibi algılanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle iç bükey yüzeylerin sebep olduğu odaklanmanın önlenmesi gerekmektedir (Long, 2006).

Tasarım aşamasında içbükey bir yüzey kullanılması tercih ediliyorsa bu içbükey yüzeyin eğrilik yarı çapı kaynaktan çıkan sesi alıcı bölgesine ulaştıracak şekilde belirlenmelidir. Aksi halde ses belirli bir nokta ya da bölgede odaklanacaktır (Kuttruff, 2000).

R yarıçaplı bir yüzeyde kaynak mesafesi a , odak mesafesi b kabul edildiğinde aşağıdaki formül üzerinden bir ilişki kurulabilir:

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (2.15)$$

Şekil 2.13'te formülde verilen verilen formüldeki kaynak ve odak mesafesi arasındaki ilişki görülmektedir.



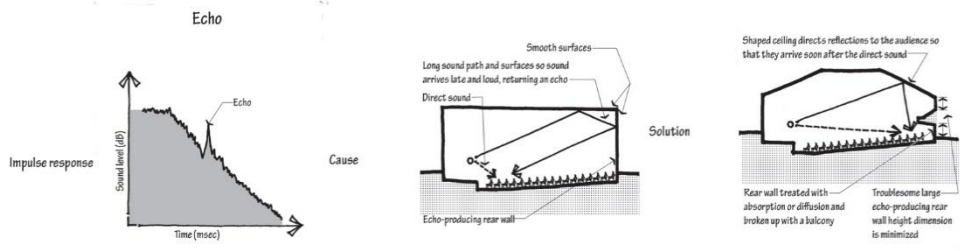
Şekil 2.13. Odaklanma için kaynak, odak mesafesi ilişkisi

Mevcut bir yapıda ise odaklanan sesin dağıtılması ya da enerjisinin azaltılması için ses yutucu ve dağıtıcı özellikteki (dışbükey yüzeyler gibi) malzemelerin kullanılması gerekmektedir (Barron, 2010). Aksi halde odaklanma konuşmacının çok yakınında gerçekleştiğinde konuşmacıya yüksek sesle konuştuğu hissini uyandırabilmektedir (Aktı, 2014).

2.4.2. Yankı (Echo)

Ses kaynağından gelen ses ile salon içerisindeki herhangi bir yüzeyden yansıtılarak gelen ses arasında 1/10 ile 1/25 sn arasında fark oluşması durumunda yankı oluşur. Bu zaman aralıkları doğrudan ve yansıyan ses arasında 45 ile 113 ft'lik (13,7 ile 34,4 m) mesafe farkına karşılık gelmektedir. Bu geciken yansıma dinleyici tarafından rahatsız edicidir ve kaynaktan gelen doğrudan sestten sonra farklı bir sesin algılanmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden ses kaynağı ile yankı üreten yansıtıcı yüzey arasındaki mesafe ile

doğrudan ilişkilidir (Doelle L. , 1964). Şekil 2.14'te bu durum görseller üzerinden açıklanmıştır.



Şekil 2.14. Yankı oluşumu (Ermann, 2015)

Yansıma ve yankı kavramı olarak birbirinden ayrılmaktadır. Yansıma kaynaktan çıkan sesin birçok yüzeyden yansmasıyla oluşmaktadır. Ancak yankı yansımadan farklı olarak maksimum üç yüzeyden yansıyan sesin dolaysız sesten sonra işitilebilir tekrarıdır (Ermann, 2015). Yankı daha düşük yansıma süresine sahip olan hacimlerde daha belirgin olmaktadır. Bunun sebebi yansıyan sesin uzun süreli yansımış ses ile maskelenmemesidir. Böylelikle yankı olarak algılanan ses daha rahatsız edici boyutlardadır. Ayrıca yüksek frekanslı seslerde oluşan yankı da insan kulağının yüksek frekanslı seslerdeki ekoya olan duyarlılığı sebebiyle salon açısından büyük dezavantaj oluşturmaktadır (Aktı, 2014). Ayrıca doğrudan ses üzerine güçlü ve belirgin bir yansımanın binmesi ile birlikte renklendirme ya da rezonans olarak adlandırılan akustik kusur meydana gelmektedir (Kuttruff, 2000).

Yankı oluşumunun önlenmesi için doğrudan ses ve yansıyan ses arasındaki zaman ve mesafe farkına dikkat edilmesi gerekmektedir. Doğrudan ve yansıyan ses arasındaki mesafe farkı 13,7 ile 34,4 m arasında olduğunda yankı oluşacağından yansıtıcı yüzeyler bu fark oluşmayacak şekilde konumlandırılmalıdır. Ayrıca yankı oluşumu, tasarım aşamasında kaynaktan uzak bölgelere (seyirci arkası duvar, tavanın kaynaktan uzak olan bölümleri vb.) yutucu ya da saçıcı özellikteki (dışbükey yüzeyler gibi) malzemelerin yerleştirilmesiyle çözülebilmektedir. Ayrıca yankı oluşturabilecek tavanın kaynaktan uzak olan bölümleri tavan panelleriyle kaynağa yaklaşacak şekilde tasarlandığında yankı oluşumu önlenmektedir (Ermann, 2015).

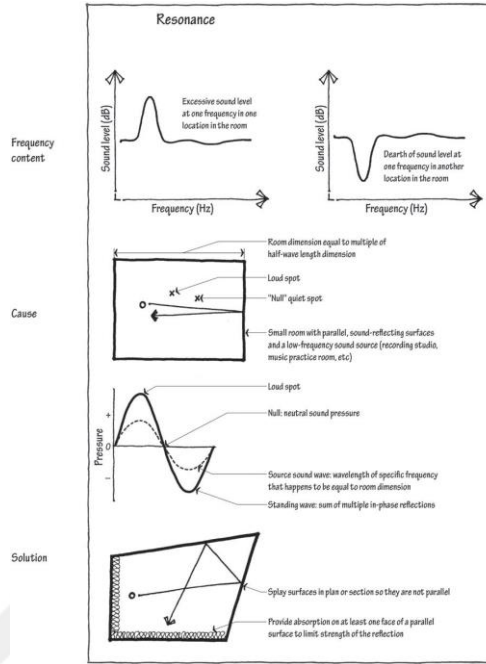
2.4.3. Maskeleye (Masking Effect)

Arka plan gürültüsüne sebep olan sesler performans alanlarında konuşmanın anlaşılabilirliğini ya da müziğin netliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum maskeleye olarak adlandırılmaktadır. (Mommertz, 2012). Maskeleye kulaktaki işitme sinirlerinin tüm impulsları aynı anda beyine taşıyamamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle aynı frekanstaki iki sestten yüksek ses seviyesine sahip olan ses düşük ses seviyesine sahip olan sesi maskeler. Ayrıca düşük frekanslı sesler yüksek frekanslı sesler üzerinde de önemli ölçüde maskeleye etkisine sahiptir. Bu nedenle aşırı düşük frekanslı gürültüler tüm ses frekans aralığındaki sesleri maskeleyeceklerinden konuşma veya müzik dinlemek için büyük sorun teşkil eder (Doelle L. , 1964).

Kabuledilebilir gürültü seviyesi eğrileri tasarım aşamasında işleve göre maskeleye açısından uygun koşulların oluşturulması için göz önünde bulundurulmalıdır. Uygun koşulların elde edilebilmesi için arka plan gürültüsünün kontrol altına alınması gerekmektedir. Örneğin; yapı dışı gürültülerin önlenmesi için ses yalıtımı yapılması, yapı içindeki gürültülerin önlenmesi için ise yutucu özellikte malzemelerle yapılan bölmeler bu önlemlerden bazılarıdır (Moore, 1978). Bununla birlikte anlaşılabilirliğin sağlanabilmesi için mekan içerisindeki ses seviyesinin arka plan gürültüsünden 25 dB daha yüksek olması gerekmektedir (Yılmaz Karaman, 2009).

2.4.4. Renklendirme/Rezonans (Coloration/Rezonance)

Sesin dalga boyu, yüzeyler arasındaki mesafeye ya da bu mesafenin bir katına eşit olduğu durumda paralel yansıtıcı yüzeyler tarafından rezonans oluşmaktadır. Rezonans renklendirme olarak da adlandırılmaktadır. Sonuç olarak belirli bir frekanstaki ya da frekans aralığındaki seslerin diğer frekanslardan daha yüksek enerjide ses elde edilmesine sebep olmaktadır (Doelle L. , 1964). Rezonansın meydana geldiği frekans ise rezonans frekansı olarak adlandırılmaktadır (Smith, Peters, & Owen, 1996). Bir çok enstrümanın ürettiği ses rezonansa bağlıdır. Örneğin bir flütün uzunluğu çapı ya da bir gitarın hacmi belirli bir rezonans frekans elde etmektedir (Adelman-Larsen, 2014). Şekil 2.15'te rezonans görseller üzerinden açıklanmaktadır. Bu şekilde sesin dalga boyunun yarısı kadar uzunluktaki bir odada iki farklı noktada belirli frekanslarda ses seviyesi açısından farklar oluşturduğu görülmektedir. Bu sorunu çözebilmek için paralel yüzeylerin açılarını değiştirmek ya da yutucu özellikteki malzemeler kullanmak uygun olacaktır (Ermann, 2015).



Şekil 2.15. Rezonans Oluşumu (Ermann, 2015)

Müzik icra edilirken özellikle küçük odalarda veya dikdörtgen şeklindeki girintilerde rezonans frekansında vurgulama meydana gelmektedir. Bununla birlikte paralel ve düz yüzeylerden kaçınılması tercih edilmektedir. Bu durum yansıma süresinin hesaplanması ile tespit edilemeyebilir (Moore, 1978).

Renklendirme ya da rezonans kapalı hacimdeki yüzeylerin boyutları ve yapı malzemesi çeşitliliği ile ilişkilidir. Bu sebeple farklı yutuculuk ve yansıtıcılık değerlerine sahip malzemelerin kullanılması rezonansın önlenmesinde etkilidir. Ayrıca panellerin boyutları yansıyan sesin dalga boyu ile ilişkili olduğundan farklı boyutlardaki malzemelerin kullanılması gerekmektedir (Ermann, 2015).

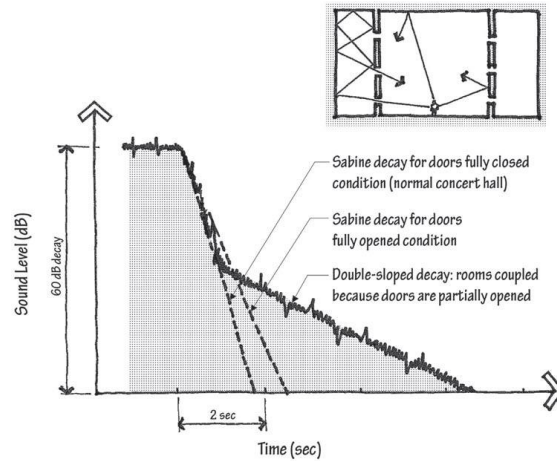
2.4.5. Distorsiyon (Distortion)

Hacmin yüzeylerinde farklı frekanslarda eşit ya da birbirine yakın olmayan ses emilimi nedeniyle müzikal seslerin kalitesinde istenmeyen bir değişiklik oluşturması durumu distorsiyon olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda her frekansta yansıma sürelerinin arasında önemli ölçüde farklar görülmektedir (Doelle L. , 1964). Yansıma süresi ölçümlerinde frekanslarda oluşan büyük farklar yardımıyla distorsiyon tespit edilebilmektedir. Bu durum ses kalitesinde seyirciler tarafından farkedilebilmektedir.

Ayrıca Hİ-Fİ özelliğinin bozulmasına yol açmaktadır (Kul, 2018). Bu durum, yüzey kaplamalarının tüm frekanslarda yutma çarpanı katsayılarının dengeli olacak şekilde seçilmesi ile çözülecektir (Doelle L. , 1964).

2.4.6. Bileşik hacim etkisi (Coupled Spaces)

Bir hacme bitişik başka bir hacim bağlanıyorsa iki hacim bileşik hacim etkisi yaratacaktır. Sahneye ya da seyirci alanına bitişik olarak tasarlanan fuaye, sofita kulesi, merdiven kulesi vb. alanlardan ana salona yankılanan bir ses akışı fark edilebilir olacaktır. Ana salonda yansıma süresi ne kadar kontrol edilmiş olsa da bu ses akışı seyirciler için rahatsız edici olacaktır. Örneğin, fuayeye yakın özellikle açık kapı girişlerinde oturan seyirciler tarafından bu durum farkedilebilmektedir. Bu durum iki hacim arasındaki akışın önlenmesi ile ya da yansıma süresinin yaklaştırılması ile giderilebilmektedir (Doelle L. , 1964). Bileşik hacim etkisi yansıma süresi ve zaman grafiğinde çift eğimli olarak görünmektedir. İki hacimde de kaynaktan çıkan sesin bozulma süresi farklı olacağından ses önce hızlı bir şekilde sonra daha yavaş bozulur. Şekil 2.16'da ana salona bitişik olarak tasarlanmış koridor benzeri hacim ile arasındaki bileşik hacim etkisi görselleştirilmiştir (Ermann, 2015).



Şekil 2.16. Bileşik hacim etkisi (Ermann, 2015)

Bileşik hacim etkisi, iki hacmin birbirinden ayrılması ile çözülebilmektedir. Ayrıca iki hacmin aynı yansıma süresine sahip olması sağlanarak da önlenebilmektedir (Doelle L. , 1964).

2.5. Çok Amaçlı Salonlarda Akustik Tasarım

Çok amaçlı salonlarda akustik gereksinimleri karşılamak için dört seçenek vardır. Birincisi mekanın doğal akustik tasarımını akustik parametreleri mekanın tüm işlevleri için uzlaştıracak ve ortak bir zeminde optimum koşulları sağlayacak şekilde yapmaktır. Bu en ekonomik seçenek olmakla birlikte tasarım ve uygulama süreci tamamlandıktan sonra herhangi bir değişiklik ya da kontrol gerektirmemektedir. İkincisi ise mekana elektroakustik sistemlerin kurulmasıdır. Elektroakustik sistemler için ise iki ana kategori vardır. Uzun ve yüksek yansıma süresine sahip olan mekanlar için ses destek sistemleri ve az yansıma süresine sahip mekanlar için yardımcı rezonans sistemleridir. Üçüncü seçenek; mevcut işlevin isteklerini karşılamak için mekânın kendisini ve doğal özelliklerini değiştirmesine yardımcı olan değiştirilebilir sistemler kurmaktır (Hand, 2004). Dördüncü seçenek olarak bütünleşik akustik tasarım ise doğal ve elektroakustik tasarımın hacim içerisinde birlikte kullanılması olarak ifade edilmektedir (Kul, 2018).

2.5.1. Doğal akustik tasarım

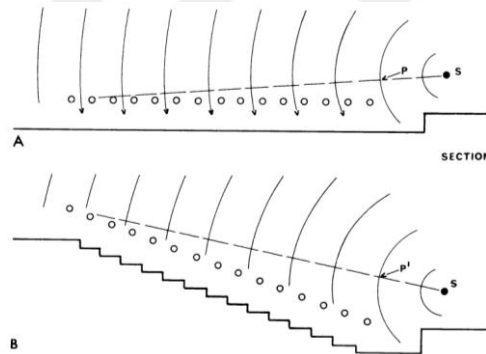
Akustiğin öncelikli kullanım amacı göz önünde bulundurularak, salonun şekli ve boyutu, duvarların ve tavanın biçimi, hem mimari hem de dekoratif tasarımın tüm bileşenleri kullanılarak sesin seyirci alanına yönlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca yine bu bileşenler yardımıyla akustik kusurların önlenmesi doğru sonuçlar verecektir. Herhangi bir ses güçlendirme sistemi kullanılmadan iç mekandaki malzemeler ve bu malzemelerin geometrik biçimleri yardımıyla kaynaktan çıkan sesin seyirci alanına iletilmesi doğal akustik tasarım kapsamında incelenmektedir (Sabine, 1932). Bu başlık altında doğal akustik tasarım için akustik koşulların sağlanmasına yönelik bilgiler verilmektedir.

2.5.1.1. Doğal akustik tasarımda temel prensipler

Doğal akustik tasarımda tüm işlevler için uygulanması gereken bazı temel prensipler bulunmaktadır. Bu prensipler sesin herhangi bir elektronik sistem kullanılmadan seyirciye iletilmesini sağlar. Bu yüzden seyirci alanının, hacimdeki iç yüzey özelliklerinin ve büyüklüklerinin, hacim sınırlarının bu prensiplere uygun olarak geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu prensiplerden bir tanesi seyirci alanının zemininde kademelendirme yapılmasıdır. Bunun sebebi doğrudan sesin seyirciye en kısa mesafe ile iletilmesinin

gerekliliğidir. Doğrudan ses seyirciye iletilirken kaynak seyirci arasındaki mesafe arttıkça ses seyirciler ya da hava molekülleri gibi sebeplerden dolayı yutulmaktadır. Doğrudan ses, Şekil 2.17 A’da arka sıralara ulaşana kadar, kümülatif olarak yutulacağından bu bölgeye geldiğinde enerjisinin büyük bir kısmını kaybetmiş olacaktır. Bu sebeple, seyirci alanında Şekil 2.17 B’deki gibi yapılan eğim arka sıradaki seyircilerin doğrudan sese düz bir zemine göre daha iyi koşullarda ulaştığını göstermektedir (Moore, 1978). Görüş çizgisi seyircinin önünde oturan bir kişinin başının üzerinden sahneyi görebilecek şekilde belirlenip seyirci alanının zemininin eğimi bu açı üzerinden düzenlenmelidir. Teorik olarak bu durum sağlanmak istense de pratikte bazı durumlarda bu zemin eğiminin çok fazla olmasına sebep olmaktadır. Sahne zeminin yükseltilmesi nispeten daha sığ bir eğim oluşturmaktadır. Sahne zemini ön sırada oturan seyircinin oyuncuların ayaklarını görebilecek kadar alçak olması gerekmektedir. Özellikle konuşma işlevi için zemin yüksekliğinin yaklaşık 1 m olması yeterlidir. Seyirci zemin açısına bağlı olarak kaynaktan çıkan sesin yutulma oranı da değişmektedir. Açı ne kadar küçükse etki o kadar büyük olmaktadır. (Long, 2006).



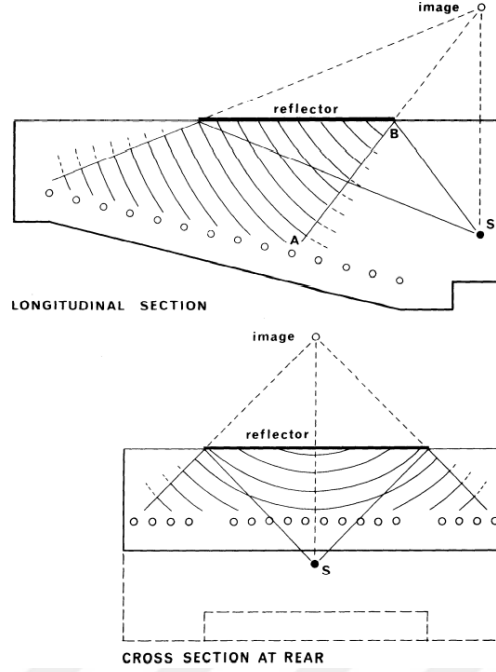
Şekil 2.17. Seyirci alanının kademelendirilmesi. (Moore, 1978)

Salon içerisinde sesin seyircilere ulaştırılması için doğrudan sesin en kısa mesafeyle iletilmesi kadar, sesin yüzeyler vasıtasıyla yansıtılarak iletilmesi de önem taşımaktadır. Bu yüzden doğru yerleştirilmiş yansıtıcı yüzeyler doğrudan sesi destekler ve hatta bazı durumlarda doğrudan sesin ses seviyesinin de üzerinde algılanmasına sebep olur. Bunun sebebi doğrudan sesin seyirciler tarafından az da olsa yutularak arka sıralara iletilmesi ve böylelikle enerjisinin düşmesi fakat yansıyan sesin seyirciler tarafından yutulmamasıdır. Bu yüzden ilk yansımaları seyirciye ileten tavan yansıtıcı panelleri önemli hale gelir ve aşağıdaki kurallara uyulması koşuluyla her durumda avantajlıdır (Moore, 1978):

- Yansıtıcı özellikteki bu paneller tavanın bir parçası olacak şekilde ya da tavana asılarak uygulanabilmektedir.
- Doğrudan ve yansıyan sesin arasındaki zaman aralığını en aza indirmek için olabildiğince alçak yerleştirilmeli ve yankı oluşumu engellenmelidir.
- Arka sıralardaki seyircilerin faydalanabileceği şekilde açılandırılmalıdır.
- Genişliği arka sıradaki seyircilerin tamamına sesin ulaştırılabileceği şekilde genişletilmelidir.
- Minimum boyutu 3 m olmalıdır. Böylelikle kenar kırınımı önlenmektedir.
- Düz ya da düze çok yakın olmalıdır.
- Tüm frekanslarda düşük yutma çarpanı değerine sahip olmalıdır.

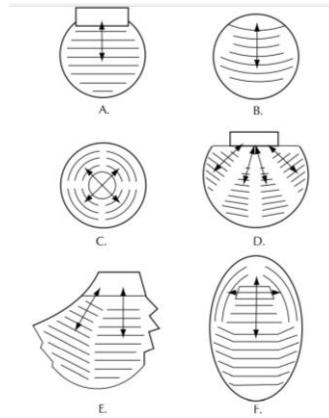
Yansıtıcı yüzeylerin amacı doğrudan sesin ardından hızlı bir şekilde güçlü yansımalar üretmek olması sebebiyle yansıtıcı yüzeylerin ses kaynağına yakın yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca panellerin boyutlarının yansıtılacak ses dalgalarının dalga boylarıyla karşılaştırılabilir boyutlarda olması gerekmektedir. Tavanda kullanılan panellerin tavanın genel mimari, yapısal, mekanik ve elektrik düzenine başarılı bir şekilde entegre edilmesi de önem taşımaktadır (Doelle L. , 1964).

Şekil 2.18’de gösterildiği gibi tavan yansıtıcı panellerin boyutları salona göre belirlenebilmektedir. Ses kaynağı platformun tam ortasında olacak şekilde yerleştirildiğinde arka sıranın genişliğine göre panel genişliği belirlenebilmektedir. Kesitte görüldüğü gibi S noktası kaynağı, B noktası yansıtıcı panelin kaynağa en yakın olan kısmını ve A noktası ise seyirci alanındaki alıcıyı ifade etmektedir. (Moore, 1978).



Şekil 2.18. Tavandaki yansıtıcı panellerin boyutlarının belirlenmesi (Moore, 1978).

Salonun iç yüzeylerinden yansıyan ses seyirciye sesle kuşatılma duygusu kazandırmaktadır. Bu yüzden salon içerisindeki yüzeylerin biçimleri önemlidir. Örneğin; daire, yarım daire gibi monotonik yüzeyler istenmeyen durumlara sebep olmaktadır. Sesin eşit bir şekilde yayılmaması ve içbükey yüzeyin merkezinde bir noktada ses enerjisinin farklı bir kaynak gibi davranması sebebiyle hem konuşma hem müzik işlevi için istenmeyen bir durumdur. Salon kabuğundaki asimetri ise dinleyicinin iki kulağı arasında korelasyon farkı oluşturmaktadır. Eliptik planlarda ise hem performans alanında hem de seyirci alanında odak oluşumuna sebep olacağından önerilmemektedir (Şekil 2.19) (Ballou, 2008).

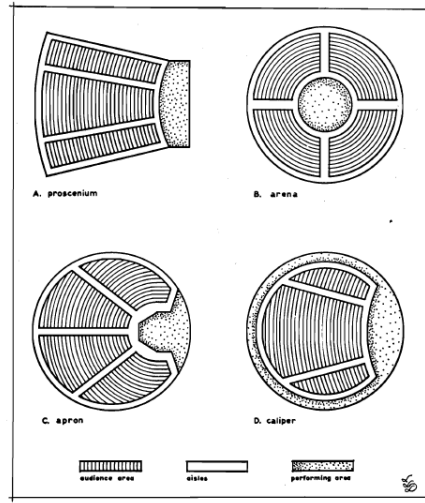


Şekil 2.19. İçbükey sınırları olan farklı plan tiplerinde seyirci ve icracı arasındaki ilişki (Ballou, 2008)

Yan duvarlardan gelen sesin dinleyici çevreleyen ve sarmalayan sese olan etkisi büyük olduğu bilinmektedir. Özellikle dikdörtgen odalarda güçlü yanal yansımalar elde edilir. (Long, 2006). Aslında yanal enerjiyi artırmak için doğrusal olmayan geometriler tercih edilmesi gerekse de doğrusal geometrilerde yanal enerji en yüksek seviyededir. Genişliği 23 m olan salonlar için yanal enerji maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Ancak bu durumda da karşılıklı yansıtıcı duvarlardan kaynaklanan akustik kusurların önlenmesi gerekmektedir. Yansıma süresinin optimuma yaklaştırmak için seyircilerin arkasında kalan duvar ve yan duvarların üst ve arka kısımları yutucu özellikte olmalıdır. Böylelikle yankı oluşumu da önlenebilir (Ermann, 2015).

Sahne kabuğu tasarlanırken bazı detayların gözden geçirilmesi gerekmektedir. Sahne kabuğu doğru bir şekilde tasarlandığında orkestra üyelerinin birbirlerini duyabilmeleri için erken yansımalar sağlar. Bununla birlikte özellikle bas sesleri dinleyicilere yansıtmaya yardımcı olur. Ayrıca sahnenin seyirci seviyesinden yüksek olması müzisyenler tarafından müziğin sıcaklığı için tercih edilen bir durumdur (Long, 2006). Sahne kabuğu için farklı işlevlerin farklı gereksinimleri vardır. Tiyatro işlevi için sahne ve seyirci arasındaki iletişim büyük önem arz eder. Bu ilişki 4 temel sahne biçiminden birine göre belirlenmektedir (Şekil 2.20) (Doelle L. , 1964).

- Proscenium tipi
- Arena tipi
- Apron
- Kaliper



Şekil 2.20. Tiyatroda sahne tipleri (Doelle L. , 1964)

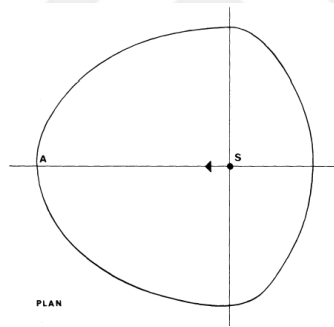
Proscenium tipinde seyirciyi oyuncuların ayıran sahne önü açıklığı seyircilerin sahneyi bir çerçeve içinde görmesini sağlamaktadır. Arena tipinde ise seyirci ve sahne arasında herhangi bir ayırım bulunmamaktadır. Apron tipinde sahne seyirciler tarafından kısmen çevrelenmektedir. Yan sahnelerin dışarı doğru uzadığı sahne tipi ise caliper olarak adlandırılmaktadır. Tüm çağdaş sahne biçimleri bu prototiplerden türetilmektedir (Doelle L. , 1964).

Sahnenin ya da performans platformunun konumu ve nasıl yerleştirildiği performansı hem görsel hem işitsel olarak izleyiciye ulaştırmak için salonun şekliyle birlikte çalışır. Aslında sahne için iki farklı bölüm olduğu görülebilir. Bunlardan biri sahne önü (proscenium) adı verilen bölümle sahne alanını bir duvar ile ayıran bölümdür. Genelde bu iki bölüm arasında perde yer almaktadır. Bu kullanım drama performansları için idealdir. Çünkü sahnenin açılması ile farklı bir kurgu ve dekora geçiş yapılabilir. Bir müzik performansı için sahneden gelen sesi seyirciye iletme önem taşımaktadır. Bu yüzden sahneden gelen sesi duvar ve tavan panelleriyle seyirciye yansıtmak gerekmektedir. Sahne için iki bölümden bir diğeri ise oturma yeri ile aynı oda hacmi içinde olan plan tipleridir. Aslında bu durumda tiyatro performansları sahne perdelerinin yerleştirilmesi ve sahneye dekor taşınması ya da oyuncu giriş çıkışı açısından avantajlı değildir (Hand, 2004).

2.5.1.2. Konuşma amaçlı salonlar için doğal akustik tasarım

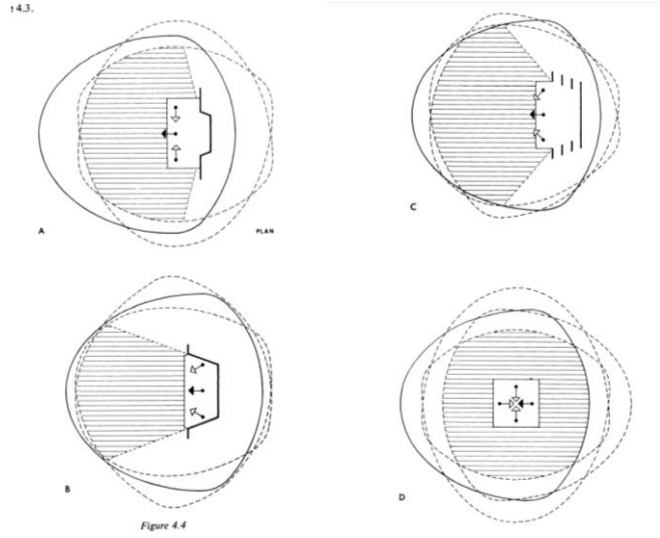
Konuşma amacıyla tasarlanan salonlar için öncelikle anlaşılabilirliğin salon tarafından desteklenmesi gerekmektedir. Salon geometrisinin boyut, yüzey malzemeleri veya biçim olarak anlaşılabilirliğin sağlanması açısından uygun olması gerekmektedir. Çoğu ses gibi insan sesi de yönlüdür. Eşit anlaşılabilirlik için bir sınır çizilmek istendiğinde konuşma yönüne göre Şekil 2.21'deki gibi bir sınır çizilebilir. Buna göre bu sınırın içerisinde herhangi iki noktada sesin eşit koşullarda anlaşılabilirliği söz konusudur. Ayrıca konuşmacıdan uzaklaştıkça ses yaklaşık olarak aşağıdaki gibi ölçeklendirilebilir (Moore, 1978).

- 15 m ye kadar; çok iyi derecede anlaşılabilir
- 15-20 m arasında; iyi anlaşılabilir
- 20-25 m arasında; yeterli seviyede anlaşılabilir
- 30 m ye kadar; elektronik güçlendirme olmadan kabul edilebilirlik sınırı



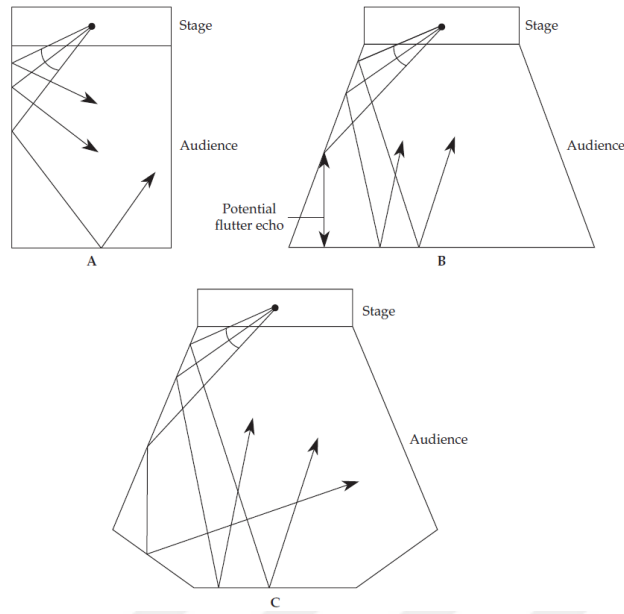
Şekil 2.21. İnsan sesinin eşit anlaşılabilirlik sınırı (Moore, 1978)

İşitme açısından bakıldığında, anlaşılabilirlik sınırı içerisinde kalan fakat konuşmacının arkasında olan seyircinin, sınır dışında kalan konuşmacının önünde olan seyirciye göre daha avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak bu durum görüş hatları sebebiyle avantajlı değildir. Fakat sahnedeki icracının seyircilere göre uygun bir konumda olmadığı durumlar da söz konusu olabilir. Bunun dışında eşit anlaşılabilirlik sınırı, seyircinin makul bir seyirci koltuk düzeni oluşturmak için kullanılabilir. Eşit anlaşılabilirlik sınırı yardımıyla plan üzerinde seyirci sayısına göre ve sahne biçimine göre geliştirilen plan tipleri gösterilmektedir. Bu plan tipleri dikdörtgen planın konuşma işlevi için avantaj sağlamadığının da göstergesidir (Moore, 1978)(Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Tiyatro 'da eşit anlaşılabilirlik sınırı üzerinden geliştirilen örnekler (Moore, 1978)

Konuşma amaçlı salonlarda salon planı, özellikle salon kapasitesi arttıkça odanın yan duvarlarının uzunluğu artmalı ve belirli bir açı verilecek şekilde yerleştirilmelidir (Şekil 2.23). Sahnenin kısa kenara yerleştirildiği dikdörtgen salonlar, küçük bir konuşma salonu için uygun olmaktadır. Daha büyük oturma kapasiteleri için seyirci salondan uzaklaşacağından dolayı sesin arka kısımlara ulaşmasını güçleştirmektedir. Daha fazla oturma kapasitesi için yan duvarlar dışa doğru genişlemelidir. Duvarların bu şekilde açılı olarak yerleştirilmesi, sesin, salonun arka kısımdaki seyircilere yan duvarlardan yansiyarak ulaşmasını sağlamaktadır (Şekil 2.23-b). Bu yan duvarların açıklığı 30° ve 60° arasında değişebilir. Konuşmanın yönlülüğü de göz önüne alındığında 60° maksimum kabul edilebilir. Ayrıca arka duvarların Şekil 2.23-c deki gibi tasarlanması sesin karşılıklı duvarlardan yansiyarak yankı oluşturmasını engellemektedir (Everest & Pohlmann, 2009).



Şekil 2.23. Farklı plan tiplerinde ses enerjisinin yayılması (Everest F. A., 2001)

Konuşma amaçlı salonlarda tavandan güçlü yansımalar istenen bir durumdur. Düz bir tavan çok yüksek olmadığı sürece ve zemin eğimi yeterliyse konuşma işlevi için uygun sonuçlar vermektedir. Sesin salon içerisinde ilk çarptığı yüzeyler sahne önünün üzerindeki paneller ve yan duvarlardır. Bu yüzeylerin dışbükey olması tercih edilmektedir. Bu durum, sesin orta kısımdaki seyirci alanına yansıtılmasına yardımcı olmaktadır (Long, 2006).

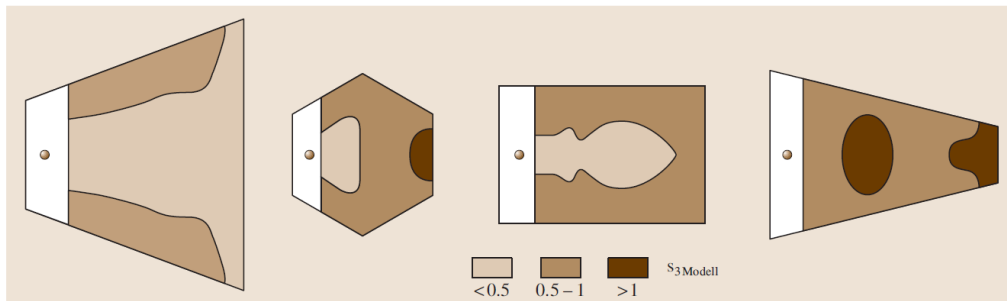
Konferans salonları için koltuk başına ortalama $3,1 \text{ m}^3$ hacim gerekmektedir (Long, 2006). Ayrıca Mommertz'e göre de konferans salonlarında ve amfi tiyatrolarda kişi başına düşen hacim $4-6 \text{ m}^3$ olmalıdır (Mommertz, 2012). Ermann'a göre ise konuşma amaçlı salonlarda kişi başına 180 ile 300 ft^3 (5 ile $8,5 \text{ m}^3$) hacim gerekmektedir (Ermann, 2015).

2.5.1.3. Müzik amaçlı salonlar için doğal akustik tasarım

Konuşmada olduğu gibi, müzik sesi için de salon tasarlanırken müzik sesinin doğasını ve gücünü incelemek gerekmektedir. Bu müzik sesi, tek bir enstrümanın sesi olabileceken, 80 kişilik orkestra veya 100 ya da daha fazla kişiden oluşan bir koronun sesi olabilir. Akustik değerlendirme için her sesi kendi özelliklerine göre incelemek gerekmektedir. Ancak bu noktada özellik olarak kastedilenin sadece sesin gücü olmadığı, çoğunlukla sesin karakteriyle ilgili olduğu unutulmamalıdır. Örneğin; Mozart'ın besteleri Wagner için uygun olandan daha kısa bir yansıma süresine sahip bir ortamda duyulduğu

ve daha iyi algılandığı kabul edilmektedir. Ses gücünün salon içerisinde seyirci alanından kaynaklanan yutuculuktan dolayı azalmasının önüne geçmek amacıyla salon geometrisinde yapılabilecek düzenlemelerden biri salonun planının, dikdörtgen plan yerine kareye yaklaştırılmasıdır. Ayrıca arka koltukları sahneye yaklaştırmak amacıyla balkon tercih edilmesi uygun olabilmektedir (Moore, 1978).

Müzik işlevi için ise salonun plan biçimleri önem taşımaktadır. Klasik müzik için güçlü yanal yansımaları oluşturmaması sebebiyle fan şeklindeki plan tipi istenmemektedir. Şekil 2.24'te farklı plan tiplerinin erken yanal yansıma seviyelerinin dağılımı gösterilmiştir. Fan şeklindeki plan tipinde erken yanal yansımaların salonun orta kısmına neredeyse hiç ulaşmadığı görülmektedir. Ayrıca dikdörtgen planlı, heksagon planlı, ters fan şeklindeki plana sahip 4 farklı plan tipinde ses enerjisinin yoğunlaştığı ve ulaşmadığı kısımlar gösterilmektedir (Gade , 2014). Müzik amaçlı salonlar için, dikdörtgen plan tipi paralel duvarlar arasında oluşan ve sesin bulanıklaşmasına sebep olan tekrarlayan eko(flutter echo) gibi risklere neden olurken aynı zamanda renklendirme (coloration) ve tekrarlayan eko ile artan ton dolgunluğuna (fullness of tone) sebep olmaktadır. Paralel duvarların yansıtıcı olması ve bu yüzeylerden karşılıklı olarak yansıyan ses dalgaları sebebiyle tekrarlayan eko oluşmaktadır. At nalı plan tipi ise orkestra performansı için çok kısa, opera için uygun yansıma süresi sağlamaktadır (Doelle L. , 1964). Yunan ve roma mimarisinde amfi tiyatrolarda drama, koro ve müzik gibi farklı işlevler icra edilmektedir. Amfi tiyatrolar dairesel bir sahne etrafında eş merkezli olarak yükselen seyirci katmanlarından oluşmaktadır. Seyirci alanı sahnenin görsel anlamda algılanması açısından büyük avantaj sağlamaktadır (Fuchs, 2013).



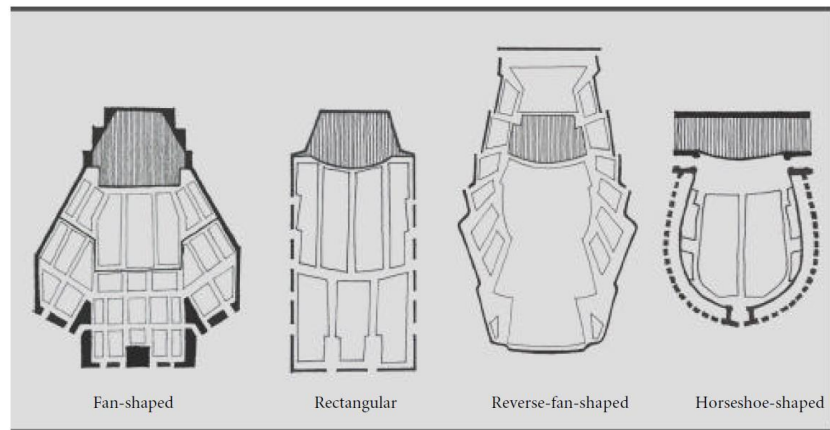
Şekil 2.24. Farklı plan tipleri için erken yanal yansıma seviyelerinin hesaplanmış dağılımı; fan, heksagon, dikdörtgen, ters fan. (Gade , 2014)

Müzik işlevi için sesi yayan ve çevrelenme hissini artıran tasarımlar tercih edilmektedir. Bu sebeple tavan yansımaları ve yan duvarlardan elde edilen yansımaların bu hissi artıracak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Tavan panelleri sesi seyirciye yönlendirecek şekilde açılmalıdır (Long, 2006). Bununla birlikte sahne zemininin esnek ahşap malzemeden yapılması, pin üzerinde duran kontrbas ve çello gibi enstrümanların ses seviyesini artırması açısından avantaj sağlar (Beranek L. , 2004).

Long'a göre konser salonları için kişi başına ortalama 7,8 m³ gerekmektedir (Long, 2006). Mommertz'e göre ise klasik müzik için kullanılan büyük konser salonlarında uygun yansıma süresine ulaşabilmek için kişi başına 10-12 m³ arasında bir alan kullanmak uygun olacaktır (Mommertz, 2012). Ermann'a göre müzik için kişi başına 200 ile 400 ft³ (5,6-11,3 m³) arasında bir hacim düşünülmelidir (Ermann, 2015).

2.5.1.4. Çok amaçlı kullanım için doğal akustik tasarım

Hem müzik hem konuşma işlevinin birlikte icra edildiği kullanımlarda (opera gibi) salon tasarımı müzik amaçlı ya da konuşma amaçlı kullanılan salonlara göre daha karmaşıktır. Opera binasının temel tarihsel biçimi at nalı biçimindeki plan tipidir. 18. Yüzyıldaki soylular ve üst sınıflar için balkon içerisindeki küçük odalar farklı sınıfları birbirinden ayırması açısından uygun bir kullanım sağlamaktadır. Bunun yanı sıra sadece sahnedeki performansı değil diğer konukları da izleme fırsatı sunmaktadır (Mommertz, 2012). Şekil 2.25'te farklı plan tipi örnekleri görülmektedir (Hand, 2004).



Şekil 2.25. NHK Hall - Tokyo, Syphony Hall – Boston Concert Hall of the Sydney Opera House, and Teatro Alla Scala - Milan (Hand, 2004)

Büyük salonlarda ve dini yapılarda en fazla yutuculuk seyircilerden kaynaklanmaktadır. Beranek'e göre belirli sayıda koltuğun yutulma özelliğinin koltuk sayısına değil kapladıkları alana bağlı olduğunu gözlemlemiştir. Bu durumda hem müzik hem konuşma işlevleri için geliştirilmiş olan salonlarda ideal çözüm müziğe uygun yansıma süresine göre doğal akustik tasarım yapmak ve anlaşılabilirliği elektroakustik sistemlerle yönetmektir. Elektroakustik anlamda desteklenmeyen salonlar için ise yutuculuğun değiştirilmesi ile değiştirilebilir akustik tasarım uygulaması iyi bir alternatif olabilmektedir (Long, 2006).

Sahne çok amaçlı olarak kullanıldığında orkestra işlevi için zeminini üzerine gerektiğinde çıkarılabilen orkestra kabuğunun yerleştirilmesi ile yeniden düzenlenebilmelidir. Ayrıca tüm işlevler için sahnede sofita kulesi ve seyirci alanı arasındaki bileşik hacim etkisini önlemek için önlem alınması gerekmektedir (Doelle L. , 1964). Aynı işlev için tasarlanmış olsalar bile farklı salonlardaki orkestralar için sahnelerin boyutları ve düzenleri büyük ölçüde değişebilir. İç mekanın kendine özgü geometrik durumunun yanı sıra orkestra gelenekleri ve deneyimleri de önemli rol oynamaktadır. Örneğin sahnenin büyük olduğu durumlarda orkestra için her müzisyenin bireysel olarak algılandığı sesi yüksekliği azalır. Ancak müzisyenler arasında birlikte çalmak daha zordur ve sonuç olarak ses dengesi bozulabilmektedir. Büyük bir senfoni orkestrası için sahne planlanırken genişliğinin yaklaşık olarak maksimum 18-20 m minimum ise 12-13 m olması gerekmektedir. Korolar için ise bu boyutlara sahnenin arkasında 6-8 m lik bir alan eklenmelidir. Koro olmadığında ise bu alan seyirci alanı olarak da kullanılabilir. Sahnenin, seyircilerin ilk koltuk sırası seviyesinden 0,9-1 m yukarıda olması normaldir (Mommertz, 2012). Opera için sofita kulelerinin sahne önü yüksekliğinin en az 1,5 katı olması ve sahne derinliğinin fazla olması gerekmektedir. En uzak koltukların 100 feet (yaklaşık 30 m) olması tercih edilmektedir. Bununla birlikte sahne önünde oturma alanına yakın merkez noktasından belirlenen 30° lik açıya göre opera işlevi için oturma alanı sınırları belirlenmelidir (Ermann, 2015).

Optimum dinlenme koşullarının sağlanabilmesi kişi başına düşen hacmin minimum ve maksimum değerleri işleve göre farklılık göstermektedir. Çok küçük hacimli bir salonda çalınan müziğin ses dolgunluğundan yoksun olması muhtemeldir. Çok büyük hacimli bir salonda ise konuşmanın net olmayacağı açıktır (Smith, Peters, & Owen, 1996). Çok amaçlı salonlarda kişi başına düşen hacim 6-9 m³ aralığında değişmektedir (Mommertz, 2012).

Beranek'e göre sahne alanı için icracı başına 1,9 m² alan düşmektedir. Barron ise 100 kişilik bir orkestra için 150 m² alan önermektedir. Barron 'a göre küçük yaylı ve nefesliler için 1,25 m² , büyük yaylı ve nefesliler için ise 1,5 m² alan gerekmektedir. Ayrıca kontrbaslar için 1,8 m² , oturan koristler için ise 0,5 m² alan gerekmektedir (Yüksel Can, 2013).

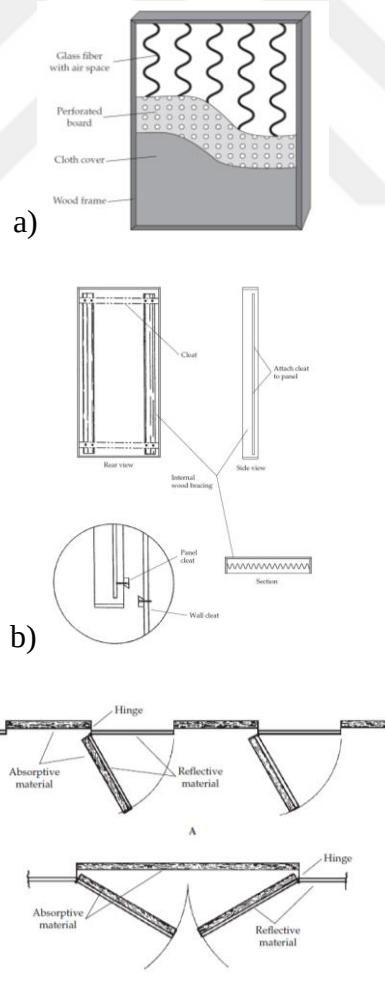
2.5.2. Değiştirilebilir akustik tasarım

Bir ses odası ya da bir salon tek bir amaç için kullanıldığında belirli hassasiyetle ele alınabilir. Ancak bir salonun birden fazla amaca hizmet etmesi gereken durumlarda bazı akustik tavizler kaçınılmaz olmaktadır. Bazı durumlarda, farklı müzik türleri için akustik anlamda iyi koşulların sağlanabilmesi için söz konusu salon ya da odanın akustik karakteri değişken olmalıdır. Örneğin, bir stüdyo sabah rock grubu ve öğleden sonra bir yaylı çalgılar dördlüsü için kayıt yapılabilir (Everest & Pohlmann, 2009).

Değiştirilebilir akustik tasarım fiziksel olarak ayarlanabilen elemanlara bağlıdır. Sabine denklemine göre yansıma süresi hacim ve yutucu malzemelerin miktarı ile ilişkilidir. Bu sebeple hacmin büyüklüğü veya hacimde malzemelerden kaynaklanan yutuculukta yapılacak olan değişiklik yansıma süresini etkilemektedir. Hacmin büyüklüğünde yapılacak değişiklikler pratikte uygulanması zordur. Hacim içerisindeki yutuculukta yapılacak olan değişiklik çok az dezavantaj oluşturmaktadır ve hacim değişikliğine göre uygulanabilir (Barron, 2010).

Hacimde yapılacak değişiklikler iki yöntemle sağlanabilmektedir. Bunlardan birincisi hareketli panel/bölmeler, diğeri ise hareketli örtü sistemidir. Bölme ya da paneller zemin alanını ve oturma kapasitesini değiştirmek için kullanılmaktadır. Bu panellerin yansıma süresi üzerindeki etkisi küçüktür. Ancak hareketli örtü sistemleri yansıma süresindeki etkisi belirgindir. Hareketli tavanların ilk örnekleri 1960 ve 1970'lerde Kuzey Amerikada'da denenmiştir. Genellikle daha büyük oturma alanlarını kapatmak için dönen tavan bölümleri kullanılmıştır. 2000'li yıllarda ise bu kullanım daha yaygındır. Brezilya'nın Sao Paolo kentinde bir tren istasyonundan 1509 koltuk kapasiteli Sala Sao Paolo konser salonunda değişken paneller kullanılmaktadır. Avlunun üzeri örtülerek yüksekliği 12.2 ve 23.7 m arasında değişebilen 15 bağımsız hareketli panelden oluşan örtü sistemiyle kapatılmıştır. Bu durumda hacim 12000 ve 28000 m³ arasında değişebilmektedir. Böylelikle yansıma süresi 1,9 ile 3,0 s arasında değişebilmektedir (Barron, 2010).

Yutuculukta yapılan değişiklikler Kuzey Amerika’da yaygın kullanılmaktadır. Küçük salonlarda açılır kapanır bir perdenin kullanılması akustik anlamda yeterlidir. Bazı durumlarda bu perdeler yankı oluşumunu önlemek için kullanılmaktadır. Yansıma süresinde yapılmak istenen değişiklik ise salonun hacmi değiştirilerek de sağlanabilmektedir. Ayrıca çift taraflı paneller vasıtasıyla hacmin ihtiyacına göre yansıtıcı ve yutucu özellikte yüzeyler elde edilebilmektedir (Barron, 2010). Taşınabilir yutucu paneller basit bir düzenleme ile farklı akustik gereksinimlerin ayarlanması konusunda esneklik sunar. Şekil 2.26-a’da gösterilen ahşap dolap, kumaş kaplama, cam yünü tabakası ve iç kısımda delikli sunta kaplama duvara kolaylıkla monte edilebilmektedir ve gerektiğinde çıkarılabilmektedir. Bu şekilde yansıma işleve göre kontrol edilebilmektedir. Ayrıca Şekil 2.26-b’de bu sistemin duvara monte edilme şekli gösterilmektedir (Everest & Pohlmann, 2009).



Şekil 2.26. Taşınabilir emici paneller (Everest & Pohlmann, 2009)

Hareketli yansıtıcı yüzeylerin kullanımı da değiştirilebilir akustik için bir seçenektir. Tavanda ya da yan duvarlarda bu yansıtıcı yüzeyler kullanılabilir. İngiltere Queen Elizabeth Hall’de tavanda kullanılan yansıtıcı yüzeyler alçaltılmış durumdayken seyircilere erken yansımaları iletirken, yükselttiğinde ise bu yansımalar seyirciye iletilmez. Böylelikle farklı işlevler için akustik anlamda istenilen şartların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Örneğin; orkestra işlevi için tepeden yansımalar istenmeyen bir durumken, piyano solo için tercih edilen bir durumdur (Barron, 2010).

Çok amaçlı salonlara örnek olarak verilebilecek Umea, İsveç’te değişken hacimli çok amaçlı bir salon bulunmaktadır. Bu salonda oditoryumun hacmi, proscenium duvarı olarak adlandırılan kısmı üç farklı şekilde hareket ettirerek ayarlanabilmektedir. Konser formatında kullanılacağı zaman proscenium arka duvara doğru saklanabilmektedir. Böylelikle büyük senfonik orkestralar için kullanılabilir. Bu durumda sahne kulesi tavan seviyesinde yatay paneller ile kapatılabilmektedir. Salon opera işlevi için kullanılacağı zaman tavan panelleri kaldırılarak sahne kulesine erişim sağlanır ve oditoryum küçültülerek sahne önü alanı oluşturulabilmektedir. Üçüncü konumda ise tiyatro işlevi için daha samimi bir ortam oluşturularak hacim azaltılabilmektedir. Değişken elemanlar ayrıca, tiyatro işlevi için hareketli yansıtıcı elemanlar ve değişken yutucu paneller yardımıyla salonun akustik özelliklerinin tiyatroya uyarlanmasını sağlamaktadır (Gade , 2014).

Değiştirilebilir akustik tasarım uygulamalarından elde edilen bilgilere göre hacimde ve yüzey malzemelerinde yapılan değişikliklerle, farklı işlevler için yansıma süresini optimize etmek açısından olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Bu durumda çok amaçlı kullanım için büyük avantaj sağlanabilmektedir.

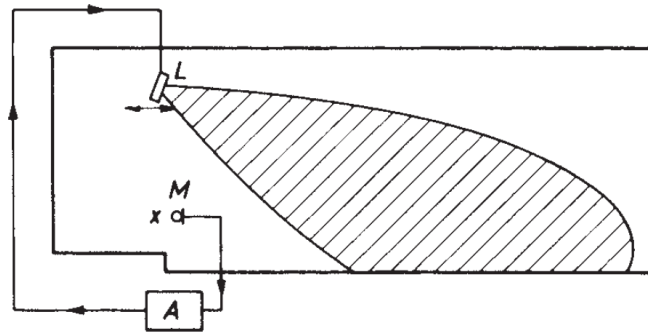
2.5.3. Elektroakustik tasarım

Elektroakustik tasarım sesin mikrofona, amplifikatör ve hoparlörler yardımıyla güçlendirilmesi gereken durumlarda yeterli ses yüksekliğinin elde edilmesinin tek yolu olabilmektedir. Örneğin konuşma sesi kaynaktan 30 m uzaklıkta yeterince algılanamamaktadır. Bu durumda sesin elektroakustik sistemler yardımıyla güçlendirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, elektronik amplifikasyonun sağlanmasının iç mekanın iyi akustik tasarımına olan ihtiyacı ortadan kaldırmadığı vurgulanmalıdır. Sesin elektronik olarak güçlendirilmesi iç mekandaki kusurları ön plana

çıkarabilmektedir. Konuşmanın yeterince iyi algılanamadığı durumlarda hoparlörler yalnızca salonun mesafe olarak ya da dinleyiciler tarafından yutularak sesin kabul edilemez bir düzeye düştüğü bölümlerinde konuşma seviyesini yükseltmek için kullanılmalıdır (Moore, 1978).

Elektroakustik sistemlerde bazı durumlarda birden fazla mikrofon kullanılabilir. Hoparlörler bu sistemin önemli parçalarından biridir. Hoparlörler, uygun bir yönlülük oluşturacak şekilde tasarlanmalı ve distorsiyona neden olmamalıdır (Kuttruff, 2000).

Basit bir seslendirme sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.27’de gösterilmektedir. Kaynaktan çıkan ses amplifikatör yardımıyla yükseltilerek hoparlöre iletilmektedir. Bu noktada hoparlörün konumu, yönlülüğü ve yönü dinleyiciye mümkün olduğunca eşit bir şekilde doğrudan sesin iletilecek şekilde seçilmelidir. Bu durum darbe ölçümleriyle ya da korelasyon teknikleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. Genellikle hoparlör ses kaynağının üzerine monte edilmelidir. Böylelikle kaynaktan gelen ses ile hoparlörden çıkan sesin yatay bir düzleme göre aynı yönden seyirciye ulaştırılması sebebiyle avantaj sağlamaktadır. Sesin dikey yönde sapması insan kulağı tarafından yatay yönde sapması kadar ayırt edilebilir değildir. Hoparlör sesinin dinleyiciye doğal sesle aynı anda iletilmesi veya çok az zaman sonra iletilmesine özen gösterilmesi gerekmektedir. Bu şekilde öznel izlenim daha doğal algılanmaktadır (Kuttruff, 2000).



Şekil 2.27. Merkezi hoparlör sistemi şematik gösterimi (Kuttruff, 2000).

Doğal ses kaynağına yakın olan mikrofondan alınan ses sinyalleri hoparlörler aracılığıyla yayılmaktadır. Eğer mikrofon ve hoparlör aynı salondaysa mikrofon hoparlörden gelen sesi de alacağı için akustik geri bildirim oluşacaktır. Bu ses bir uğultu ya da ısıklık sesine benzer bir ses olarak algılanmaktadır. Mikrofonun ve hoparlörün konumu bu etkiyi en aza indirme noktasında önem taşımaktadır (Kuttruff, 2000).

Amplifikatörler yardımıyla salon içerisindeki sesin farklı frekanslardaki yansıma süreleri ayarlanabilmektedir. Frekanslar arasındaki yansıma sürelerinin farklı olması distorsiyon gibi akustik kusurlara neden olabilmektedir. Ancak müzik işlevi için düşük frekanslarda diğer frekanslarda diğer frekanslara oranla yüksek yansıma süresi tercih edilmektedir. Ancak bu durum doğal akustik tasarım için tercih edilirken özellikle elektroakustik sistemler yardımıyla desteklenen salonlarda istenmeyen bir durumdur (Adelman-Larsen, 2014).

Doğru tasarlanmış bir ses sisteminde ses konuşmacıdan geliyormuş gibi algılanmalıdır. İlk gelen ses konuşmacıdan veya yanına yerleştirilmiş olan hoparlörden geldiğinde bu yansıma engellenebilir. Sahnenin ön kısmına yerleştirilen küçük hoparlörler bakış açısının sahnenin üzerindeki hoparlörlerden aşağı çekilmesine yardımcı olmaktadır (Long, 2006).

Elektroakustik sistemlerin kullanılması gereken salonlarda alanın tasarım tüm frekanslarda kuru bir yansıma süresi elde etmek adına ve yankı gibi istenmeyen durumları gidermek için sabit yutucu elemanların kullanımını gerektirmektedir. Böylelikle yüzeylerden gelebilecek yansımalar engellenmektedir. (Schwenke & Duty, 2010)

Salon içerisindeki elektroakustik sistemlerin tasarımı yapılırken tüm frekanslardaki yansıma süresinin hesaplanması da dahil olmak üzere alanın akustik değerlendirilmesiyle başlamaktadır. İstenen maksimum ses yüksekliği, frekans aralığı, işlev, mikrofonların yaklaşık olarak nereye konumlanacağı bilinmelidir (Long, 2006).

Hoparlörlerden çıkan seslerin salonun arka duvarından yeniden yansarak seyirciye ulaşması yankı oluşumuna sebep olacağı için arka duvarda yutucu özellikte malzeme kullanılması gerekmektedir. Ayrıca yankı sesi tamamen dağıtan yansıtıcı özellikteki malzemelerle de önlenir (Kuttruff, 2000).

2.5.4. Bütünleşik akustik tasarım

Hacim içerisinde işlevin gerekliliğine göre elektroakustik tasarım ile birlikte doğal akustik tasarımın kullanımı optimum koşullar sağlanarak uygulanabilmektedir. Bu noktada özellikle değiştirilebilir akustik tasarım prensiplerinin işlevler üzerinden değerlendirilerek uygulanması önem taşımaktadır. Bu sebeple tasarım aşamasında akustik anlamda değiştirilebilir akustik prensiplerinin işleve uygun bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. (Ergin, 2014).

Çok amaçlı salonlarda bütünleşik tasarımla birlikte akustik anlamda farklı optimum koşullar sağlanması gereken işlevler uygun koşullarda icra edilebilmektedir. Örneğin konuşma işlevi için elektro akustik güçlendirilmesi gerekmektedir. Tablo 2.3'te çok amaçlı salonlarda icra edilen performanslar için bütünleşik tasarımda tercih edilen yöntemler yer almaktadır (Ergin, 2014).

Tablo 2.3. Çok amaçlı salonlarda işlevler ve bütünleşik tasarımda tercih edilen yöntemler (Kul, 2018)

İŞLEV		BÜTÜNLEŞİK AKUSTİK TASARIM
Konuşma/Tiyatro		Elektro akustik
Müzik	Batı müziği, oda müziği	Doğal akustik
	Pop, rock müzik	Elektro akustik
Opera/Bale		Doğal akustik
Modern Dans/Müzikal		Doğal veya Elektro akustik

Doğal akustik ve elektro akustik sistemlerin aynı salon içerisinde tasarlanması özellikle doğal akustik tasarımı açısından yansıma süresi yüksek olan salonlar için alçak frekanslı seslerin maskeleye etkisini azaltmak için elektroakustik sistemin alçak frekanslardaki cevabının sınırlandırılması gerekmektedir. Ayrıca hoparlörlere çok yakın konumda yansıtıcı yüzeyler bulunmaması gerekmektedir. Sahne içi sofita kulesi gibi alanlarda da yutucu özellikteki malzemelerin tercih edilmesi sesin renklendirilmesi gibi kusurlara engel olunması açısından önemlidir (Ergin, 2014).

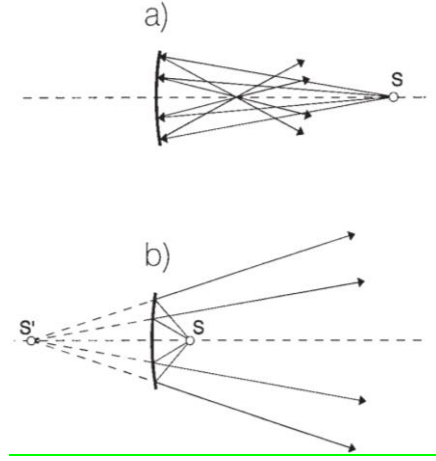
2.6. Yüzey Biçimlerinin Akustik Önemi ve Kubbe Örtü

Yüzey biçimleri mimari akustik tasarımda akustik konfor koşullarının sağlanması ve akustik kusurların önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle iyi akustiğin önemli olduğu konser salonları, prova odaları, kayıt stüdyoları vb. gibi odalarda yüzeyler hem iç tasarım öğeleri hem de akustik anlamda destekleyici olarak kullanılmaktadır. Örneğin; eski konser salonlarında kolonlar, payandalar ve süslemeler akustiğe önemli katkılar sağlamaktadır (Mommertz, 2012). Yüzey biçimlerinin yansıtıcı yüzeylerde nasıl davranış sergilediği ile ilgili detaylı bilgi '2.1. Sesin Kapalı Ortamlardaki Davranışı' başlığı altında detaylı olarak anlatılmaktadır. Çalışma kapsamında içbükey yüzeylerin ve özellikle kubbe örtünün akustik konfor koşullarına ve akustik kusurların oluşumuna etkisine dikkat çekilmektedir. Bu yüzden bu başlık altında bu etkiler üzerinde durulmaktadır.

İçbükey yüzeylerde yapılan hacim akustiği araştırmaları özellikle istenmeyen ses konsantrasyonlarının oluşmasıyla ortaya çıkan odaklanmaya dikkat çekmektedir. Sabine

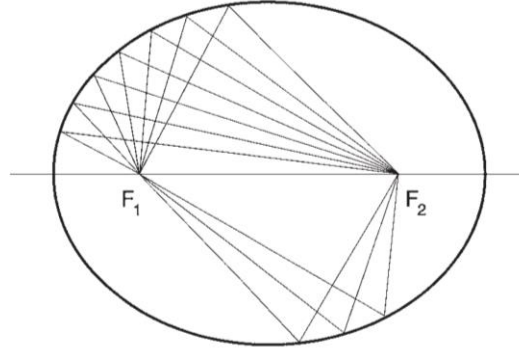
odaklanma üzerine yaptığı deneylerde oditoryumlarda duvar ve tavan yüzeylerinde içbükey yüzeylerde kaçınmayı güvenli bulmuştur. İç bükey yüzeyleri iyi çözümlenmiş ve sesi seyirci alanına iletebilen salonlar da vardır. Fakat bunu elde edebilmek için içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapını salonun boyutları ve kaynağın içbükey yüzeye olan uzaklığı arasındaki mesafeye göre belirlenen denklemler üzerinden belirlemek gerekmektedir. Ayrıca bu denklemlerle yaklaşık sonuçlar elde edilebilmektedir (Sabine, 1932). Bu sebeple içbükey yüzeylerin akustik gereksinimler doğrultusunda uygun eğrilik yarıçapı belirlenerek tasarlanması ya da uygulandığında akustik kusurları önlemeye yönelik önlemler almak uygun olacaktır.

Barron'a göre ise seyirciye yakın olan içbükey yüzeyler iyileştirmesi zordur. Sesi yutma ya da dağıtma gibi çözümler gerektirmektedir. Bu içbükey yüzeyden yansıyan ses seviyesi yüzeyin tamamı yutucu malzeme kaplandığında bile çok yüksek olabilmektedir. Odaklanmayı engellemek zahmetli olabilmektedir (Barron, 2010). Ermann ister müzik performanslarının sergilendiği alanların tavanında ya da ister bir tiyatronun arka duvarında içbükey yüzeylerden kaçınılması gerektiğini vurgulamıştır (Ermann, 2015). Ballou ses güçlendirme açısından sesi odaklamaktansa dağıtmanın genellikle daha uygun olduğunu düşünmektedir. Birçok oditoryum yansıma kontrolü için kapsamlı akustik işlem gerektiren içbükey arka duvarlara ve balkon yüzeylerine sahiptir (Ballou, 2008). Kuttruf'a göre sesin içbükey yüzeylerde yansıması içbükey ve dışbükey aynada yansıyan ışın yasaları üzerinden değerlendirilebilir. Bu değerlendirme sonucunda içbükey bir yüzey ses enerjisini belirli bir alanda yoğunlaştırabileceği ancak aynı zamanda enerjiyi geniş bir açısal aralıkta dağıtan etkili bir saçıcı da olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum tamamen kaynağın ve dinleyicinin konumlarına bağlıdır. Yani içbükey yüzeyin R yarı çaplı tam bir daire olduğu varsayıldığında hem ses kaynağı hem de dinleyici bu dairenin dışındaysa istenmeyen etkilerin oluşması beklenmez. (Kuttruff, 2000). Şekil 2.28'de kaynağın içbükey yüzeye olan uzaklığı ile odaklanma noktası arasındaki ilişki ile ilgili durum gösterilmektedir.



Şekil 2.28. Kaynak yerine göre iç büküye yüzeylerde sesin yansıması (Kuttruff, 2000)

Elips ya da elipsoit gibi iki odağa sahip olan biçimlerde odaklardan birine ses kaynağı yerleştirildiğinde ses diğer odak noktasında toplanacaktır. Bu nedenle bu yüzeylere sahip örtülerde ne ses kaynağı ne de dinleyici odaklardan birinde bulunmadığında bile oldukça eşit olmayan ses dağılımına maruz kalmaktadır. Bu durum Şekil 2.29’da gösterilmektedir. Aynı durum daire şeklindeki örtüler için de geçerlidir (Kuttruff, 2000).

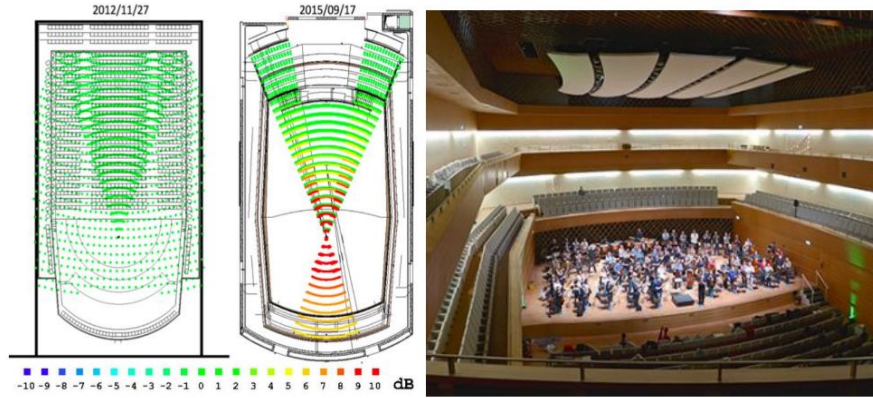


Şekil 2.29. Elips ve elipsoit yüzeylerde sesin odaklanması (Kuttruff, 2000)

21. yüzyılda içbükey yüzeylerin kullanıldığı salonlarda akustik anlamda olumsuz etkiler ortaya çıktığı görülmektedir. Tarihi emsallerdeki içbükey yüzeylerin olumlu ve olumsuz akustik etkileri göz önünde bulundurularak salon tasarımında içbükey ve dışbükey yüzeylerin kullanımında gereken özenin gösterilmesi gerekmektedir (Wulfrank, Green, Kahle, & Garcia Gomes, 2017)İçbükey yüzeyler odaklanmayla birlikte yüksek ses basıncı seviyelerine, rezonans ve yankılanmaya sebep olmaktadır (Vercammen, 2013).

Böylelikle mevcut yapılarda içbükey yüzeylerin akustik anlamda oluşturduğu olumsuz etkiyi azaltmak amacıyla iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Alan çalışması için seçilen çok amaçlı salona benzer nitelikler taşıdığı ve alan çalışması için referans oluşturacağı düşünülerek incelenen örnekler bu başlık altında değerlendirilmektedir. Bu sebeple özellikle tavana müdahale edilen akustik iyileştirme proje örnekleri yer almaktadır.

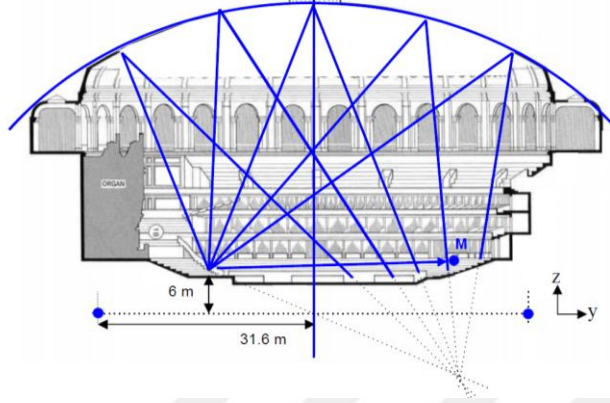
Annelise Brost Music Forum 2016’da kullanıma açılan ve öncelikle dikdörtgen planlı olarak tasarlanan fakat yine tasarım aşamasında orkestra şefinin isteği üzerine plan üzerinden kavisli yüzeyler eklenmiştir. Plan üzerinden incelendiğinde iki farklı merkez noktasına dayanan eğrilerden oluşmaktadır. Böyle bir geometrik düzenleme duvarlardan ve balkon cephelerinden sahneye doğru bir noktada odaklanmaya sebep olan güçlü erken yansımalar oluşturmaktadır (Şekil 2.30). Bu durum, konseptte herhangi bir değişiklik yapılmadan eğrilerin yarıçapını optimize ederek ve eğrileri farklı parçalara bölerek çözülmüştür. Ayrıca sesin bir noktada odaklanması engellemek için balkonda dışbükey yüzeyler kullanılmıştır (Wulfrank, Green, Kahle, & Garcia Gomes, 2017) Böylelikle kullanıcının talebi üzerine tasarım aşamasında plan üzerinde yapılan değişiklikler akustik anlamda oluşacak sorunların engellenmesi için yine tasarım aşamasında çözümlenmiştir.



Şekil 2.30. Annelise Brost Music Forum (Wulfrank, Green, Kahle, & Garcia Gomes, 2017)

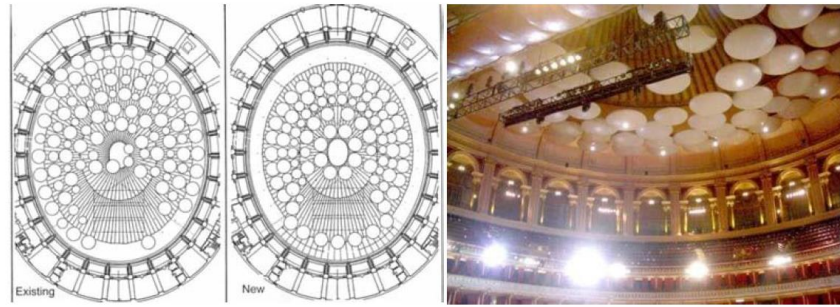
Londra’daki Royal Albert Hall, eliptik bir kat planı ve elipsoid bir örtüye sahiptir. Salon 5.500 kişiyi ağırlayabilecek 80.000 m³’lük bir hacme sahiptir. Salonun açılışından itibaren çatının şeklinden kaynaklanan bir yankı sorunun olduğu farkedilmiştir. Şekil 2.31’de görüldüğü üzere M noktasına ulaşan doğrudan ses ve yansıyan ses arasında 11 m

nin üzerinde mesafe olması M noktasında bulunan dinleyici için rahatsız edicidir (Vercammen, 2013).



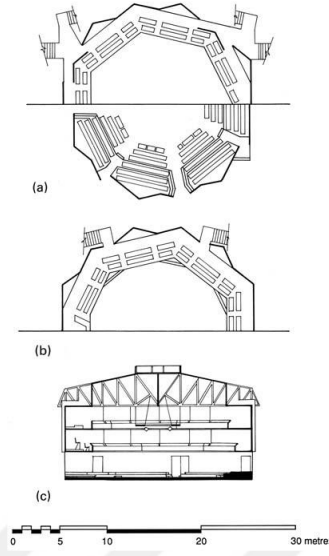
Şekil 2.31. Royal Albert Hall’de meydana gelen yankı sorunu (Vercammen, 2013).

Royal Albert Hall’de yüksek tavanın Royal Albet Hall’daki yankının önüne geçmek amacıyla dışbükey reflektörler kullanılmıştır(Şekil 2.32). Tavanın orta kısmındaki malzeme yutucu özelliktedir (Vercammen, 2013).



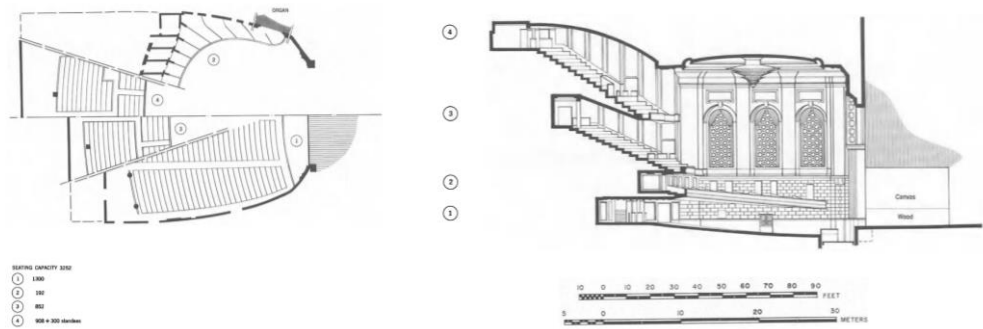
Şekil 2.32. Royal Albert Hall’de tavanda kullanılan dışbükey reflektörler (Vercammen, 2013)

1874 yılında inşaatı tamamlanan Royal Exchange Tiyatrosu dairesel plan tipine sahiptir(Şekil 2.33). Viktorya döneminin bir örneği olan mevcut bina tiyatro için akustik anlamda istenmeyen durumları barındırmaktadır. Seyirciler ve icracı arasında mesafe açısından uzaklık ve yansıma süresinin gereğinden fazla yüksek olması gibi sorunlar söz konusudur. Bu sebeple tavana asılan çelik kubbeli yapı sistemi ile birlikte özellikle düşük frekanslarda yansıma süresi azaltılmıştır. Ayrıca seyirciler ilk yansımaları alacak şekilde tavan ve duvar yüzeylerine yaklaştırılmıştır. Bununla birlikte sahneye yaklaştırılarak tiyatro işlevi için uygun hale getirilmiştir (Barron, 2010).



Şekil 2.33. Royal Exchange Tiyatrosu plan ve kesit görselleri (Barron, 2010)

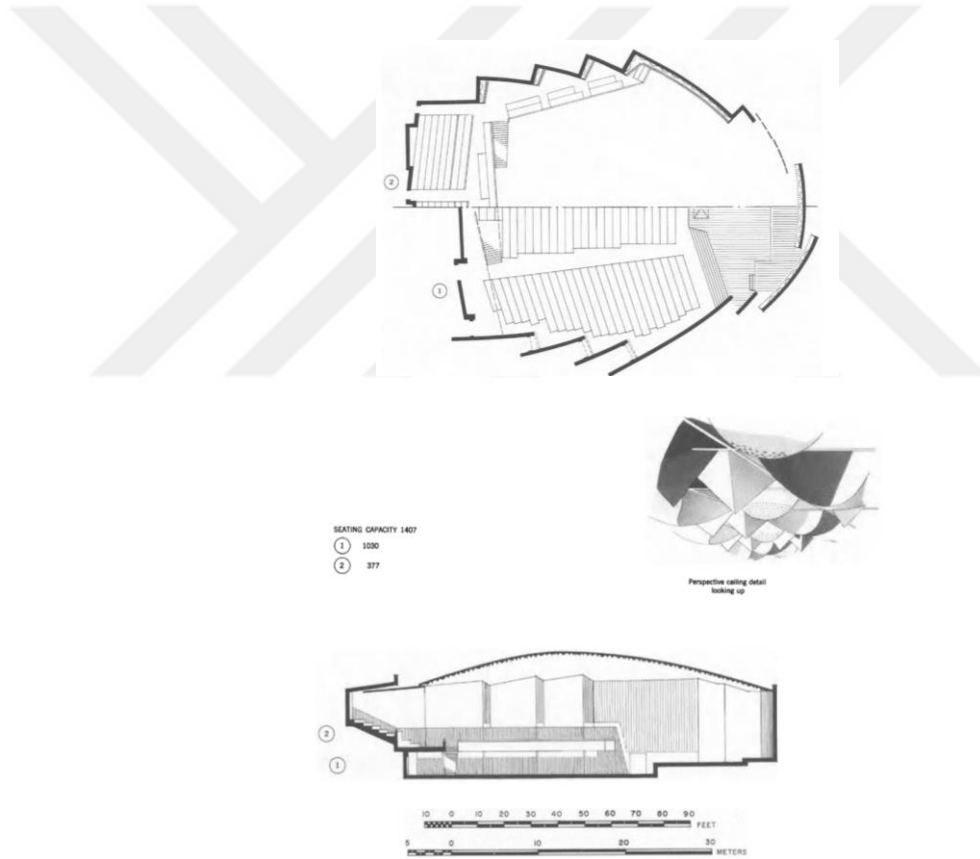
San Francisco'daki War Memorial Opera House 1930'ların başında kullanıma açılmıştır. 3352 kişilik salon kubbe şeklinde bir tavana sahiptir. ç mekandaki sert yüzeyler müziğe sıcaklık vermektedir. Böylelikle müzik için bass sesinlerin dolgunluğundan söz edilebilir. Tasarımcı mimar kubbenin iç yüzeyinde akustik sıva kullanıldığını belirtmiştir. Şekil 2.34'te War Memorial Opera House'un plan ve kesit görselleri yer almaktadır (Beranek L. , 2004).



Şekil 2.34. War Memorial Opera House plan ve kesit görselleri (Beranek L. , 2004)

Kubbenin sebep olacağı herhangi bir olumsuzluk tasarım aşamasında büyük bir avize ile çözülmüştür. Avizenin kubbenin sebep olacağı odaklanmayı saçıcı özellik göstererek engellediği görülmektedir (Beranek L. , 2004).

Almanya Bonn'daki Beethovenhalle 1959'da kullanıma açılmıştır ve 1983'teki yangınla birlikte yeniden inşaa edilmiştir. 1030 kişilik bir salon olan Beethovenhalle, kubbeli bir tavana sahiptir. Tavandaki bu kubbenin olumsuz etkisi tasarımcı tarafından zorlayıcı bir etki oluşturduğu görülmektedir. Bu nedenle tasarımcı bu etkiyi azaltmak için tavana saçıcı özellikteki 1760 adet akustik eleman tasarlamıştır. Bununla birlikte bu elemanlar alçak frekanslarda yutucu özellik göstermektedir. Müzik işlevi için düşük frekanslardaki yansıma süresinin yüksek olması tercih edilmektedir. Bu nedenle koltuklardaki döşemeler alçak frekanslarda daha az yutucu özellikteki dolgu ile değiştirilmiştir. Şekil 2.35'te Beethovenhalle plan ve kesit görselleri görülmektedir (Beranek L. , 2004).



Şekil 2.35. Beethovenhalle plan ve kesit görselleri (Beranek L. , 2004)

Örneklerden elde edilen bilgilere göre iç mekanda içbükey yüzey kullanılmış olan yapılarda odaklanma ve yankı gibi akustik kusurların önlenmesine yönelik yapılan çalışmalar yapı içerisinde tavana asılan paneller ya da saçıcı özellikteki elemanlar ve seyirci alanında kullanılan saçıcı özellikteki malzemeler yardımıyla çözülmüştür. Ayrıca tavan panellerinde öncelikli amacın sesi seyirci alanına yönlendirmek ve kubbe örtünün

sebeþ olduğu odaklanmayı önlemek olduğu görölmektedir. Bu müdahaleler sonucunda yansıım süresinde de olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Alan çalışmasında öneri senaryo tasarımları yapılırken bu örneklerden faydalanılmıştır.



3. ALAN ÇALIŞMASI- ESKİŞEHİR TÜRK DÜNYASI BİLİM, SANAT VE KÜLTÜR MERKEZİ

Alan çalışması için içbükey yüzeyin sebep olduğu yankı ve odaklanmanın belirgin bir şekilde fark edildiği Eskişehir Türk Dünyası Bilim, Sanat ve Kültür Merkezi seçilmiştir. Salon akustik anlamda değerlendirilirken öncelikle alanda arka plan gürültüsü ve hacim akustiği ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümden sonra salon kalibrasyon modeli yapılmış ve ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen literatürel bilgiler ve örnekler doğrultusunda salonun akustik anlamda iyileştirilmesi için 2 farklı senaryo(üstü yarı kapalı ve tam kapalı) geliştirilmiştir. Bu senaryolar doğal akustik, elektroakustik ve bütünleşik akustik tasarım prensipleri gereği yeniden kurgulanmıştır. Elde edilen modeller Odeon Auditorium 14 üzerinden simüle edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu bölümde alan çalışmasına dair süreç ve sonuçların değerlendirilmesine yönelik bilgiler verilmektedir.

3.1. Salona Ait Bilgiler

Eskişehir Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi Eskişehir Tepebaşı ilçesinde Sazova Parkı içerisinde bulunmaktadır. Görsel 3.1’de Eskişehir Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi’nin uydu görüntüsü yer almaktadır. Çevredeki ana karayolları, ve diğer birimler bu görselde görülmektedir. Çevrede özellikle gürültü kaynağı olarak ana kara yolları bulunmaktadır.



Görsel 3.1. Eskişehir Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi uydu görüntüsü

Daire plana sahip ve basık yarım küre biçimindeki Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi’nin orta bölümünde bulunan ve merkez ile arasında herhangi bir kapalılık oluşturacak sınırı bulunmayan amfi planlı salon, 340 kişilik kapasiteye sahiptir. İlgili mekan için akustik açıdan herhangi bir projelendirme bulunmamaktadır (Görsel 3.2).



Görsel 3.2. Eskişehir Türk Dünyası Bilim Kültür ve Sanat Merkezi

Amfi planlı çok amaçlı mekanın kullanımında etkinlik sırasında çoğunlukla izleyici, oturma alanlarında yer almakta; ancak oturma alanlarını çevreleyen holde de izleyicilerin ayakta etkinliği izlediği bilinmektedir. Dolayısıyla güncel kullanımı ile amfideki sahne, tüm yapı içerisindeki izleyiciye/dinleyiciye hizmet vermektedir.

İnceleme ve değerlendirmeler mekanın mevcut kullanım durumu yani konser (batı müziği), Türk müzikleri (halk müziği, sanat müziği), orkestra, koro, tiyatro (küçük ölçekte) ve konferans işlevlerine göre yapılmıştır. Salon için nesnel veriler parametreler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu işlevler konuşma, müzik ve çok amaçlı salonlar için gereken optimum koşullar üzerinden ele alınmıştır. Görsel 3.3'te Eskişehir Türk Dünyası Bilim,Kültür ve Sanat Merkezi'nin iç mekanına ait görsel yer almaktadır.



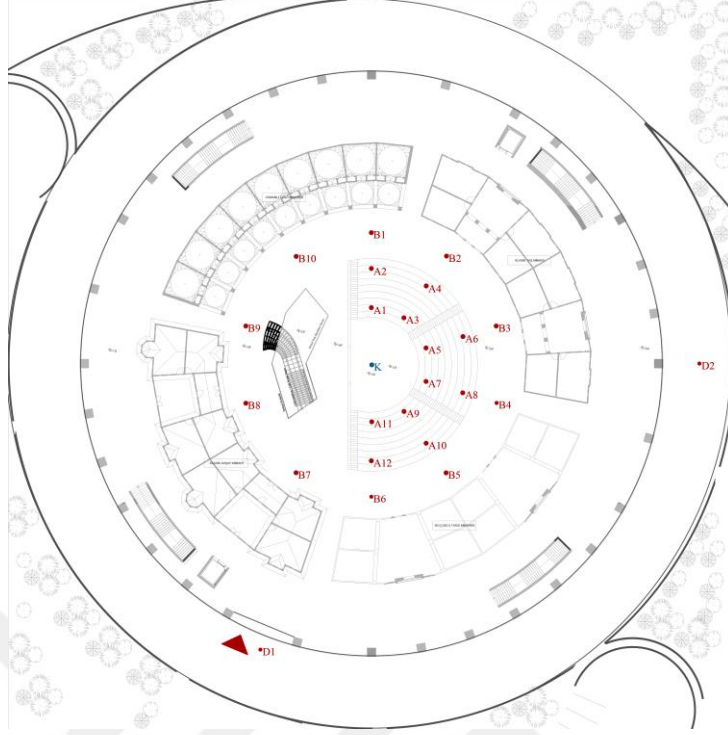
Görsel 3.3. Eskişehir Türk Dünyası Bilim Kültür ve Sanat Merkezi iç mekan görselleri

3.2. Salonun Mevcut Akustik Durumu ve Akustik Ölçümler

Salon mevcut durumda akustik anlamda dinleyiciler ve icracılar tarafından da farkedilen yankı ve odaklanma gibi akustik kusurlara sahiptir. Hacimde herhangi bir akustik tasarım yapılmamıştır ve seslendirme sistemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte salonun hacmi ortalama 340 kişilik bir salon için oldukça büyüktür. Yüzey gereçleri açısından yüksek yansıtıcı özellikteki mermer ve cam yüzeylerin kullanılması sesin salon içerisinde uzun süre sönümlenmediğini göstermektedir. Böylelikle salonda gözleme dayalı yapılan ön değerlendirmeler, hacmin akustik açıdan değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Salonda yapılan ölçümler hem arka plan gürültüsünü hem de mevcut akustik durumu belirlemek üzere akustik parametreleri ölçmeye yöneliktir. Salonun mevcut akustik durumunu tespit etmek amacıyla 6 kişiden oluşan akustik ölçüm ekibi tarafından yapılan ölçümler; 18.00 ile 22.00 saatleri arasında, alan boş durumdayken (yalnızca ölçme ve güvenlik ekibi mevcut) ISO 3382 (Akustik hacimlerin yansıma süresi ve bağlantılı diğer akustik parametreleri ölçmeleri) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Akustik parametre ölçmeleri, sahne orta noktasına yerleştirilen tek kaynak konumu (K) için oturma alanında (amfi/partier) 12 (A_{1-12}) ve oturma alanını çevreleyen holde 10 alıcı noktasında (B_{1-10}) yapılmıştır (Şekil 3.1). A noktaları amfi içinde, B noktaları ise amfi dışındaki holde yer almaktadır. 125-8000 Hz oktav bant frekans aralığında değerler aşağıda verilen sistem konfigürasyonu kullanılarak ölçülmüştür.

- Brüel Kjaer PP-7228 bina ve hacim akustiği ölçüm sistemi
- 2270 el tipi akustik analizör
- 2 adet prepolarized free-field $\frac{1}{2}$ mikrofon type 4189
- Ses kaynağı: on iki yüzeyli küresel hoparlör
- Program: DIRAC (ölçme ve değerlendirme), Qualifier (raporlama)



Şekil 3.1. Kaynak ve alıcı konumları

Arka plan gürültüsü ölçmeleri; yapı içinde 14.15 ile 14.40 saatleri arasında 4 alıcı konumunda (A3-A9-B2-B5); yapı dışında 14.45 ile 17.00 saatleri arasında 2 alıcı konumunda (D1-D2) alan kullanıma kapalıyken, ISO 1996-1 (TS 9315)'e uygun olarak 5'er dk süre ile gerçekleştirilmiştir. Yapı içi arka plan gürültüsü ölçmeleri sırasında havalandırma sistemi çalışır konumdadır. Yapı dışı gürültü ölçümü Brüel Kjaer 2270 El tipi Analizör (Class 1 Sound Level Meter SLM) ve tripot kullanılarak ölçülmüştür.

Amfi planlı çok amaçlı mekanda, “çeşitli müzik türleri için konser, tiyatro, konferans” işlevlerinin (kültürel tesis alanları) işitsel olarak konfor koşullarında gerçekleşmesi için, ilgili mekanın yapı dışı ve yapı içi belirlenen minimum kabul edilebilir gürültü düzeyini sağlayıp sağlamadığını belirlemek amacıyla arka plan gürültüsü ölçülmüştür. Arka plan gürültüsü ölçmeleri sırasında mevcut duruma herhangi bir müdahale yapılmamıştır.

3.2.1. Arka Plan Gürültüsü Ölçümü

3.2.1.1. Yapı dışı gürültü düzey ölçümleri

Ölçme yerleri olarak;

- D1, Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi'nin ana giriş tarafında yapılan ölçme noktasını,

- D2, merkeze erişiminin sağlandığı ana karayoluna bakan cephede yapılan ölçme noktasını, göstermektedir. Ölçme sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. *Yapı dışı gürültü düzey ölçme değerleri*

Ölçme noktası (dB)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
D1	51,21	44,88	43,77	42,66	38,42	32,37
D2	49,19	42,26	40,4	41,08	34,68	26,18
ORTALAMA	50,2	43,57	42,43	41,87	36,55	29,27

Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği’ne göre ulaşım kaynaklarının $L_{gündüz}$ (dBA) değeri 65 dB’dir. Bu sebeple yapı dışında her iki noktanın da sınır değerin altında kaldığı görülmektedir.

3.2.1.2. Yapı içi gürültü düzey ölçümleri

Ölçme yerleri olarak;

- A3-A9, amfi planlı çok amaçlı mekanın oturma alanında yapılan ölçme noktalarını
- B2-B5, oturma alanını çevreleyen holde yapılan ölçme noktalarını göstermektedir. Ölçme sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. *Yapı içi gürültü düzey ölçme değerleri*

Ölçme noktası	Frekans (Hz) dB						Leq [dBA]
	125	250	500	1000	2000	4000	
A3	54,59	53,94	54,2	54,06	50,86	40,63	62,97
A9	47,73	51,43	53,9	54	51,2	41,21	62,90
B2	48,43	51,94	53,98	54,65	51,89	42,44	63,42
B5	51,36	53,32	54,48	55,09	52,3	42,89	63,87
AORT	51,16	52,68	54,05	54,03	51,03	40,92	62,93
BORT	49,89	52,63	54,23	54,87	52,09	42,66	63,65
ORTALAMA	50,52	52,65	54,14	54,45	51,56	41,79	63,29
NR 25	44	35	29	25	22	20	31

Yapı içi gürültü düzey ölçümlerine göre elde edilen değerler NR 25 eğrilerinin frekansa göre değerlerinin üzerinde kalmaktadır. Bu durum hem parterde hem de holdeki dinleyiciler için maskeleyemeye sebep olmaktadır. Bununla birlikte eşdeğer gürültü seviyesi (Leq) istenen seviyenin üzerindedir.

3.2.2. Hacim akustiği nesnel parametrelerinin ölçümü

Hacim akustiği parametrelerinden; yansıma süresi (T30), erken düşme süresi (EDT), netlik (C80) (müzik için) ve anlaşılabilirlik (D50) (konuşma için) parametreleri değerleri ölçülmüştür. Belirlenen 22 noktanın 12'si parterde (A alıcı noktaları) 10'u ise salonun giriş kotunda bulunan parterle de doğrudan ilişkili olan ve oturma alanını çevreleyen holde(B alıcı noktaları) bulunmaktadır.

3.2.2.1. Yansıma süresi

Yansıma süresi (T30) parametresi için ölçme sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.3'te verilmiştir. A ve B noktalarının tamamındaki yansıma süresi değerleri ile birlikte ortalama değerler bu tabloda görülmektedir. Yansıma süresi değerlendirilirken, T30 üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bunun nedeni Odeon yazılımında T60 değerleri elde edilmemesi T30, T20 ve T15 değerlerinin hesaplanmasıdır.

Tablo 3.3. Alanda alıcı noktalarında ölçülen yansıma süresi (T30) değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

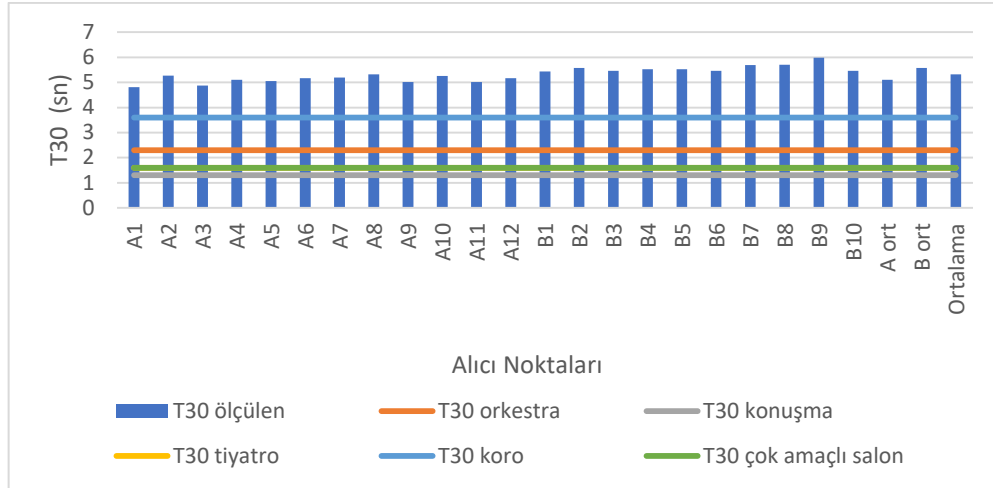
T30(ölçme)	125	250	500	1000	2000	4000	Ortalama
A1	4,37	5,28	6,56	7,1	5,35	3,4	4,81
A2	4,47	5,1	7,35	8,6	5,83	3,67	5,27
A3	3,62	5,37	7,29	7,17	5,63	3,62	4,87
A4	4,47	5,39	7,22	7,72	5,81	3,84	5,11
A5	4,19	5,11	7,83	8,05	5,47	3,59	5,05
A6	4,2	5,08	7,87	7,85	5,86	3,78	5,17
A7	4,39	5,59	7,65	8,09	5,67	3,6	5,19
A8	4,4	5,23	8,13	8,22	5,91	3,84	5,32
A9	3,95	5,63	6,9	7,98	5,75	3,58	5,01
A10	4,23	5,53	7,85	8,53	5,76	3,72	5,26
A11	4,01	4,96	7,97	7,58	5,46	3,46	5,02
A12	4,27	5,32	8,52	7,45	5,6	3,38	5,17
B1	4,88	5,8	7,56	7,5	6,19	4,08	5,43
B2	4,72	5,59	7,98	8,09	6,28	4,14	5,57
B3	4,29	5,67	7,88	8	6,18	4,23	5,46
B4	4,85	5,23	7,2	8,73	6,31	4,26	5,52
B5	4,68	5,88	7,15	8,8	6,25	4,2	5,52
B6	4,86	5,54	7,25	8,36	6,28	4,02	5,46
B7	4,88	5,54	8,19	8,18	6,32	4,26	5,69
B8	5,02	5,65	8,08	8,04	6,48	4,32	5,71

Tablo 3.3.(Devam) Alanda alıcı noktalarında ölçülen yansıma süresi (T30) değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

B9	4,69	5,88	7,72	8,33	6,35	4,32	5,98
B10	4,47	5,78	7,56	7,61	6,34	4,26	5,46
A _{ORT}	4,21	5,30	7,60	7,86	5,68	3,62	5,10
B _{ORT}	4,73	5,66	7,66	8,16	6,30	4,21	5,58
Ortalama	4,45	5,46	7,62	8	5,96	3,89	5,32

Salonda ölçülen yansıma süresi değerlerine göre salon içerisinde ölçüm yapılan noktalarda değerler arasında homojen dağılım olmadığı görülmektedir. Özellikle B noktalarındaki yansıma süresi değerlerinin A noktalarına göre oldukça uzun olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yansıma süresi değerleri, frekansa göre büyük oranda değişiklik göstermektedir. Özellikle orta frekanslarda yansıma süresi değerlerinin diğer frekanslara göre yüksek olması hacimde akustik kusurlardan distorsiyon varlığını göstermektedir. Ayrıca bu durumda, orta frekanslarda yüksek yansıma süresi sebebiyle bu frekans aralığında rezonans etkisinin varlığından söz edilebilir.

Çok amaçlı salonlarda kişi başına düşen ortalama hacim 7 m^3 olması gerekmektedir (Long, 2006). Böylelikle 340 kişilik salonun hacmi ortalama 2380 m^3 olması gerekirken çok amaçlı salon dışındaki diğer bölümlerle birlikte toplam hacim 83394 m^3 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.2’de ölçüm sonuçları ve hacme göre optimum değerler karşılaştırılmıştır. Eskişehir Bilim Kültür ve Sanat Merkezi’nde, yapılan gözlemlere göre; konser müziği(batı müziği ve Türk halk müziği ve Türk sanat müziği), orkestra, koro, küçük ölçekte tiyatrolar ve konferans işlevleri uygulanmaktadır. Literatürden elde edilen bilgilere göre tüm frekanslarda yansıma süresinin ortalaması konuşma amaçlı salonlar için 1,2 sn, orkestra için 2,3 sn, tiyatro için 1,6 sn, koro için 3,6 sn ve çok amaçlı salonlar için ise 1,6 sn olarak saptanmıştır (Moore, 1978).



Şekil 3.2. Ölçülen ortalama T30 değerleri ve farklı işlevler için optimum değerler

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi literatürden elde edilen farklı işlevler için optimum yansım süresi değerlerine göre alanda yapılan yansım süresi ölçümleri tüm işlevlerde optimum değerlerin üzerindedir. Özellikle oturma alanının üzerindeki holde ölçüm yapılan noktalardaki değerlerin (B₁-B₁₀) parterdeki ölçümlerin de üzerinde olduğu görülmektedir.

Optimum yansım süresi belirlenirken alçak frekanslarda insan kulağının yeterince hassas olmaması nedeniyle yansım süresinin bu frekanslarda belirli oranda daha yüksek olması gerektiği belirlenmiştir (Doelle L. , 1972). Bu sebeple alçak frekanslarda belirlenen optimum değerler üzerinden salonun ortalama yansım süreleri Tablo 3.4’te karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.4. T30 optimum değerlerinin ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (Long, 2006) (Moore, 1978)

T30(sn)	Frekans(Hz)							
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	T _{ort}
Parter(ölçüm)	4,2	5,3	7,5	7,8	5,6	3,6	1,4	5,1
Hol(ölçüm)	4,7	5,6	7,6	8,1	6,3	4,2	2,3	5,5
Konuşma amaçlı salonlar	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1,2
Opera	2.5	2.0	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1,8
Tiyatro	2.2	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1,6
Koro	4.8	3,9	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3,6
Orkestra	3.2	2,5	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2,3
Çok amaçlı salonlar	2.3	1,7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1,6

Ölçüm sonuçları frekansa bağlı olarak değerlendirildiğinde parterde özellikle orta frekanslarda (500-1000-2000 Hz) diğer frekanslara göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle alçak frekanslarda (125-250 Hz) diğer frekanslara göre belirli oranda yüksek

olma koşulunu sağlamamaktadır. Ayrıca holde bu durum daha belirgin olarak gözlemlenmektedir. Bu nedenle salon içerisinde yansıma süresinin optimum değerlerden yüksek olması konuşmanın anlaşılabilirliğin azalmasına, müzik işlevi için ise ayrıntıların algılanmamasına ve bulanıklaşmasına sebep olmaktadır. Yansıma süresinde frekanslar arasında büyük farklar oluşması salonda distorsiyon varlığının söz konusu olduğunu göstermektedir. Ayrıca hol ve parterde ölçülen yansıma süreleri arasındaki fark hacimde bileşik hacim etkisinin olduğunu göstermektedir. Alıcı noktaları arasındaki yansıma süresi farkları hacim içerisinde sesin homojen dağılmadığının göstergesidir. Bununla birlikte orta frekanslardaki yüksek yansıma süresi sebebiyle salonda mevcut durumda renklendirme(rezonans) varlığından söz edilebilir.

3.2.2.2. Erken düşme süresi (EDT)

Erken düşme süresi ‘2.4.1.2. Erken Düşme Süresi (EDT)’ başlığı altında anlatıldığı gibi sesin 10 dB’lik düşmesi için geçen süredir. Erken yansımalar, hacmin yayınlılığı ve hacim geometrisi açısından önemlidir. Salon içerisinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen EDT değerleri Tablo 3.5’te gösterilmektedir.

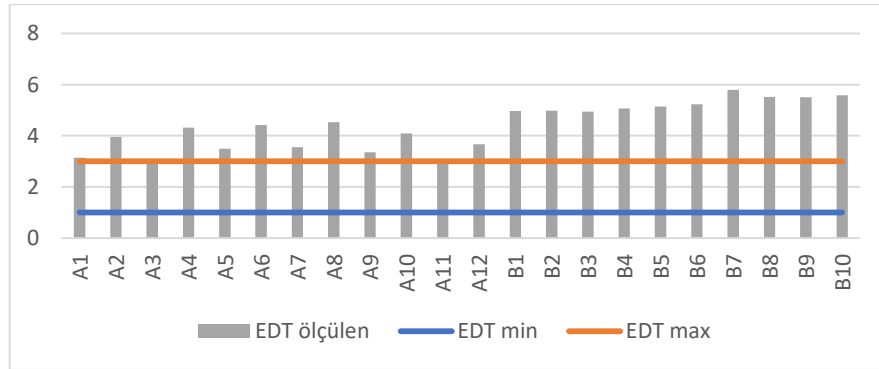
Tablo 3.5. Alanda alıcı noktalarında ölçülen erken düşme süresi (EDT) değerleri (*A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde*)

EDT (ölçme)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Ortalama
A1	2,86	4,75	5,23	4,32	3,25	1,28	0,31	3,14
A2	3,00	5,27	6,38	5,69	4,32	2,54	0,43	3,95
A3	1,29	3,47	4,96	5,21	3,24	2,34	0,79	3,04
A4	3,28	4,82	6,99	7,09	4,7	2,6	0,77	4,32
A5	2,79	4,43	5,97	5,62	3,53	1,72	0,39	3,49
A6	3,46	5,32	7,1	6,34	4,63	3,07	1,05	4,42
A7	2,2	4,2	6,00	6,04	3,52	2,04	0,87	3,55
A8	3,01	5,1	6,75	7,23	5,23	3,03	1,39	4,53
A9	1,66	4,36	5,8	5,85	3,62	1,78	0,43	3,36
A10	3,78	5,3	6,7	6,24	3,92	2,38	0,34	4,09
A11	2,48	3,91	5,34	4,77	3,14	1,49	0,38	3,07
A12	2,95	5,19	5,36	5,97	3,78	1,88	0,57	3,67
B1	4,4	5,35	7,6	7,65	5,50	3,13	1,14	4,97
B2	3,77	5,99	7,34	7,76	5,76	3,14	1,13	4,98
B3	3,36	5,57	7,66	7,8	5,89	3,2	1,09	4,94

Tablo 3.5.(Devam) Alanda alıcı noktalarında ölçülen erken düşme süresi (EDT) değerleri (*A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde*)

B4	3,75	6,09	7,48	7,52	5,88	3,58	1,2	5,07
B5	4,01	5,6	8,66	7,67	5,75	3,21	1,08	5,14
B6	4,61	5,92	8,06	7,59	6,05	3,36	1,05	5,23
B7	5,23	6,6	8,08	7,98	6,29	4,03	2,38	5,80
B8	4,44	5,94	7,58	7,93	6,52	4,02	2,23	5,52
B9	4,28	6,05	7,77	7,96	6,14	4,05	2,31	5,51
B10	4,63	5,58	7,96	7,87	6,34	4,29	2,4	5,58
A_{ort}	2,73	4,67	6,04	5,86	3,90	2,17	0,64	3,71
B_{ort}	4,24	5,86	7,81	7,77	6,01	3,60	1,60	5,27
Ortalama	3,42	5,22	6,85	6,73	4,86	2,83	1,08	4,43

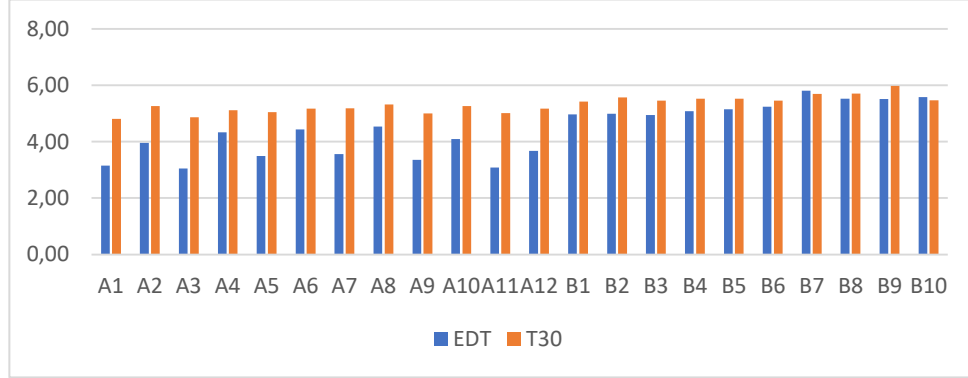
ISO 3382'ye göre EDT değerleri 1-3 arasında olmalıdır (ISO 3382-1, 2009). Şekil 3.3'te tüm noktalardaki ölçülen EDT değerlerinin tüm frekanslardaki ortalaması ile optimum EDT değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu sonuçlar üzerinden bir değerlendirme yapıldığında parterde bazı noktalarda bu değerlerin optimum değerlere yaklaştığı görülmektedir. Ancak holdeki bir dinleyici için erken düşme süresi optimum koşulların üzerindedir.



Şekil 3.3. Ölçülen ve optimum EDT değerlerinin karşılaştırılması

EDT ve T30 nin karşılaştırılması hacmin ses alanının yayınlığı açısından önem taşımaktadır. T30 ve EDT'nin eşit olması salonun yayınlık olduğunu gösterir. Bu özellikle konuşma için istenen bir durumdur. Bununla birlikte konser salonlarında EDT değerlerinin T30'nin %10 'undan yüksek olması tercih edilmektedir (Çelebi Şeker, 2013). Şekil 3.4'te bu değerler karşılaştırılmıştır ve salonda ölçüm yapılan neredeyse tüm noktalarda T30 değerlerinin EDT nin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum salonun

yayınık olmadığının bir göstergesidir. Bu durumda hacimde bileşik hacim etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 3.4. Ölçülen EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

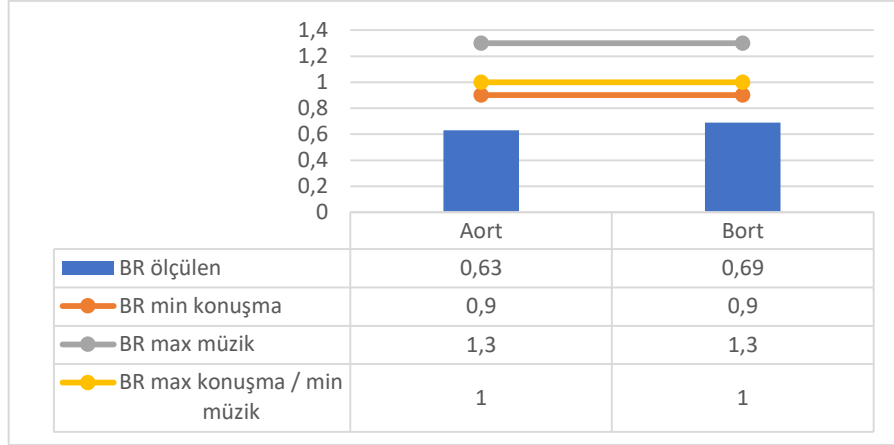
3.2.2.3. Bass oranı (BR)

Alçak frekanslardaki seslerin yansıma sürelerinin orta ve yüksek frekanslardaki seslere göre müzik işlevi için belirli bir oranda daha büyük olması tercih edilen bir durumdur. Konuşma işlevi için ise yansıma süresinin frekanslara göre çok fazla değişmemesi tercih edilir. Bu konuyla ilgili ‘2.4.1.3. Bass Oranı (Bass Ratio) BR’ bölümünde optimum değerler ve bass oranı formülü ile ilgili bilgi verilmiştir. Salonda ölçülen değerler Tablo 3.6’da gösterilmektedir.

Tablo 3.6. Ölçülen BR değerleri (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

Alıcı noktası	BR	Alıcı noktası	BR	Alıcı noktası	BR
A1	0,7	A9	0,6	B5	0,7
A2	0,6	A10	0,6	B6	0,7
A3	0,6	A11	0,6	B7	0,7
A4	0,7	A12	0,6	B8	0,7
A5	0,7	B1	0,7	B9	0,7
A6	0,6	B2	0,7	B10	0,7
A7	0,6	B3	0,7	A _{ort}	0,63
A8	0,6	B4	0,6	B _{ort}	0,69
ORTALAMA	0,62				

Salonda sağlanması gereken BR minimum ve maksimum değerleri müzik ve konuşma işlevi için farklılık göstermektedir. Şekil 3.5’te minimum ve maksimum değerlerin ölçülen değerlerle karşılaştırılması ile ilgili grafik yer almaktadır.



Şekil 3.5. BR optimum ve salonda ölçülen değerlerin karşılaştırılması (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

Salonda yapılan ölçüm ile elde edilen sonuçlara göre BR değerleri konuşma ve müzik için belirlenen minimum değerlerinde altında kalmaktadır. Bu durum salon içinde orta ve yüksek frekansların alçak frekanslara göre daha uzun sürede sönümlendiğini göstermektedir. Frekanslar arasındaki bu farklar salon içerisinde distorsiyon oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca orta ve yüksek frekansların salon içerisinde alçak frekanslara göre daha uzun süre algılanıyor olması özellikle müzik işlevi için insan kulağının alçak frekanslara olan duyarlılığı sebebiyle rahatsız edici olmaktadır. BR değerlerinin optimum seviyenin altında kalması salondaki performansın öznel parametrelerden sıcaklık parametresinin yetersiz olduğunun göstergesidir.

3.2.2.4. Netlik (Clarity) C80

C80 değeri 4 ve -4 arasında olması tercih edilir. Negatif değerler yansımanın çok olduğu odaları ifade etmektedir. Netlik ile ilgili '2.4.1.4. Netlik (Clarity) C80' bölümünde detaylı açıklama yapılmıştır. Netlik parametresi için pozitif değerler ölü bir odayı negatif değerler ise yansımanın yüksek olduğu odaları ifade etmektedir. Tablo 3.7'de alanda ölçülerek elde edilen C80 sonuçları görülmektedir.

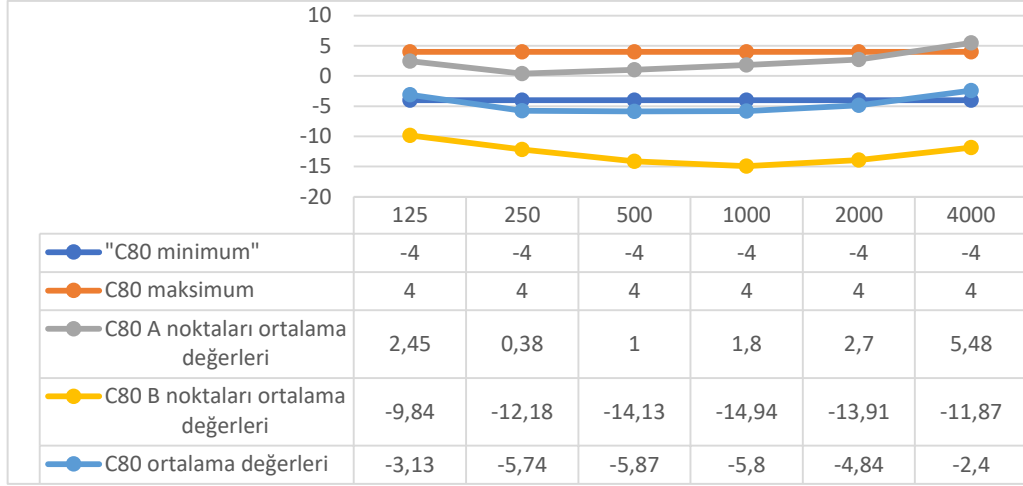
Tablo 3.7. C80 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

C80	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A1	1,88	1,79	2,15	4,2	2,78	6,98	13,68
A2	4,85	0,72	1,28	0,9	1,54	4,7	11,15
A3	4,74	-1,3	3,27	2,65	3,13	4,18	7,34
A4	0,25	-1,15	0,34	0,27	2,08	4,16	7,06

Tablo 3.7.(Devam) C80 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

A5	3,9	0,22	1,15	4,63	5,5	7,43	12,09
A6	1,68	-0,98	-0,87	0,76	4,1	5,68	10,32
A7	4,26	-1,52	2,37	1,83	1,79	6,01	9,51
A8	1,17	-2,98	-0,75	-0,92	2,22	6,08	5,96
A9	3,83	0,47	1,85	2,92	1,51	4,88	10,66
A10	-0,83	-1,61	-0,34	-0,37	1,04	4,02	10,32
A11	2,2	1,97	0,95	3,32	4,13	6,08	10,47
A12	1,56	-0,2	0,65	1,49	2,67	5,63	8,35
B1	-4,94	-10,56	-8,69	-11,04	-7,97	-6,76	-4,64
B2	-6,56	-7,5	-10,67	-12,16	-9,69	-8,49	-6,77
B3	-8,93	-8,49	-10,72	-11,16	-9,94	-9,58	-5,38
B4	-9,14	-10,44	-10,87	-12,25	-9,8	-7,66	-5,28
B5	-7,56	-9,63	-9,76	-10,05	-8,9	-6,1	-4,54
B6	-3,88	-7,24	-7,35	-8,28	-7,55	-5,18	-2,45
B7	-11,66	-13,27	-18,02	-19,29	-19,58	-17,59	-14,88
B8	-14,55	-20,32	-23,38	-21,95	-22,26	-19,42	-16,32
B9	-16,87	-20,04	-22,27	-23,98	-26,04	-22,64	-17,46
B10	-14,31	-14,31	-19,65	-19,25	-17,42	-15,37	-14,24
ORT A	2,45	-0,38	1,00	1,80	2,70	5,48	9,74
ORT B	-9,84	-12,18	-14,13	-14,94	-13,91	-11,87	-9,19
ORTALAMA	-3,13	-5,74	-5,87	-5,80	-4,84	-2,40	1,13

A noktasındaki alıcıların 4000 Hz dışında tüm frekanslarda optimum koşulları sağladığı görülmektedir (Şekil 3.6). B noktaları için ise negatif değerlerin optimum seviyenin oldukça altında kaldığı ve yansımanın gereğinden fazla yüksek olduğu ve sesin hacim içerisinde çok uzun süre sönümlenmediği anlaşılmaktadır. Salonda müziğin detayları ile birlikte algılanabilmesi için yeterli koşulların sağlanamadığı görülmektedir.



Şekil 3.6. C80 ölçülen ve optimum değerlerin karşılaştırılması (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

3.2.2.5. Ayırtedilebilirlik (Distinctness) D50

D50 optimum %50 nin üzerinde olmalıdır. Bu konuyla ilgili '2.4.1.5. Ayırt Edilebilirlik (Distinctness) (D50)' bölümünde detaylı bilgi verilmiştir. Tablo 3.8'de elde edilen D50 sonuçları görülmektedir.

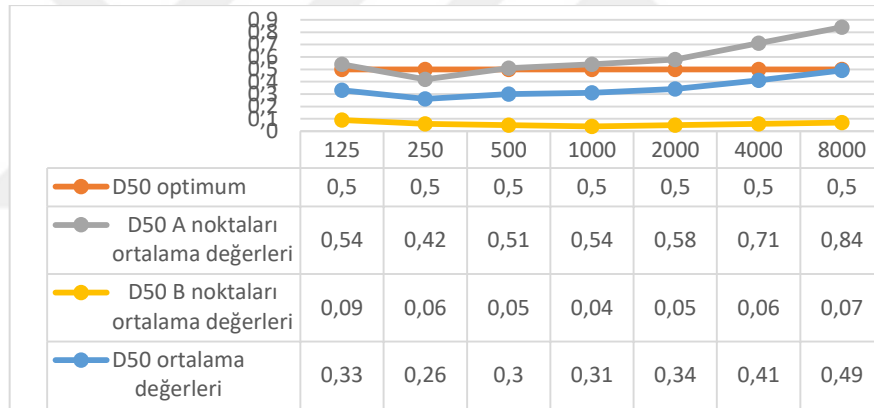
Tablo 3.8. D50 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

D50	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A1	0,52	0,5	0,56	0,67	0,56	0,77	0,94
A2	0,66	0,5	0,53	0,49	0,49	0,64	0,88
A3	0,64	0,37	0,65	0,61	0,62	0,66	0,77
A4	0,4	0,41	0,49	0,48	0,57	0,67	0,76
A5	0,68	0,49	0,54	0,71	0,75	0,81	0,91
A6	0,52	0,42	0,43	0,51	0,7	0,76	0,89
A7	0,6	0,33	0,61	0,56	0,54	0,75	0,85
A8	0,39	0,32	0,43	0,42	0,6	0,78	0,74
A9	0,63	0,44	0,5	0,61	0,49	0,69	0,89
A10	0,37	0,35	0,44	0,42	0,5	0,64	0,87
A11	0,5	0,46	0,48	0,55	0,63	0,69	0,82
A12	0,52	0,44	0,48	0,45	0,53	0,68	0,77
B1	0,19	0,06	0,1	0,06	0,08	0,08	0,11
B2	0,11	0,1	0,07	0,05	0,07	0,09	0,11
B3	0,08	0,11	0,07	0,06	0,08	0,07	0,12
B4	0,07	0,07	0,07	0,04	0,06	0,07	0,08
B5	0,08	0,07	0,08	0,06	0,08	0,1	0,15
B6	0,25	0,13	0,12	0,09	0,09	0,14	0,12
B7	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01	0	0,01

Tablo 3.8.(Devam) D50 ölçüm sonuçları (A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

B8	0,03	0,01	0	0	0	0	0
B9	0,01	0	0	0	0	0	0
B10	0,04	0,03	0	0,01	0,01	0,01	0,01
ORT A	0,54	0,42	0,51	0,54	0,58	0,71	0,84
ORT B	0,09	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07
ORTALAMA	0,33	0,26	0,30	0,31	0,34	0,41	0,49

A noktalarının büyük bir çoğunluğunda optimum koşullar sağlanırken yüksek yansımam süresinden dolayı B noktalarında optimum koşulların altında kaldığı görülmektedir(Şekil 3.7). Alanda ölçülen değerlerin D50 optimum seviyesinin üzerinde olması gerekmektedir. Yüksek yansımam süresi konuşma işlevi için anlaşılabilirliğin azalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple B noktalarında D50 parametresinin istenen aralıkta olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.7. D50 ölçülen ve optimum değerlerin karşılaştırılması

3.2.2.6. Sesin yüksekliği (SPL) (G)

G değerinin -2 ve 10 arasında olması tercih edilen bir durumdur. Bu konuyla ilgili '2.4.1.6. Sesin Yüksekliği (Loudness) (G)' bölümünde detaylı bilgi verilmiştir. Tablo 3.9'da alanda ölçülerek elde edilen G değerleri görülmektedir.

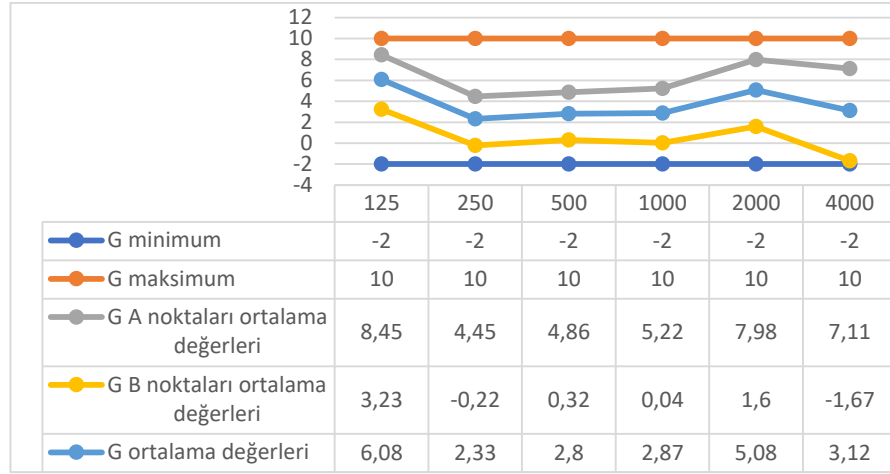
Tablo 3.9. G ölçüm sonuçları(A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)

G	125	250	500	1000	2000	4000
A1	4,31	1,2	1,59	3,34	2,65	4,9
A2	4,1	-0,38	0,63	0,61	0,26	1,59
A3	14,88	10,52	11,22	10,66	15,24	11,31
A4	10,12	8,34	8,76	7,99	13,1	9,55

Tablo 3.9.(Devam) *G ölçüm sonuçları(A alıcı noktaları amfide/parterde; B alıcı noktaları holde)*

A5	5,53	-0,22	0,12	2,67	3,9	4,77
A6	2,25	-1,95	-1,35	-0,07	1,31	1,41
A7	13,15	9,46	9,99	9,51	14,29	12,18
A8	10,35	7,52	7,96	7,27	12,86	10,28
A9	7,62	0,52	1,09	1,7	1,34	3,25
A10	1,7	-1,41	-0,98	-0,51	0,19	1
A11	14,57	11,31	10,01	10,44	16,39	13,07
A12	12,81	8,54	9,25	9,03	14,19	12,04
B1	0,17	-4,25	-3,81	-3,39	-3,58	-3,96
B2	9,03	4,55	5,79	4,67	8,95	4,15
B3	1,15	-3,74	-3,47	-3,89	-3,62	-4,78
B4	8,62	4,49	5,69	5,17	8,91	3,7
B5	-0,05	-3,94	-4,32	-3,4	-3,23	-4,19
B6	7,59	4,83	5,56	5,2	8,49	4,54
B7	-3,58	-5,91	-5,27	-5,16	-6,08	-8,09
B8	5,83	3,47	4,03	3,13	5,98	0,03
B9	-2,78	-5,72	-5,2	-5,44	-6,26	-8,61
B10	6,31	4,02	4,23	3,55	6,45	0,51
ORT A	8,45	4,45	4,86	5,22	7,98	7,11
ORT B	3,23	-0,22	0,32	0,04	1,60	-1,67
ORTALAMA	6,08	2,33	2,80	2,87	5,08	3,12

Salonda amfi içerisindeki A noktaları, holdeki B noktaları ve tüm alıcı noktalarının ortalaması için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır. Öneri tasarımları yarı açık ve kapalı olacak şekilde geliştirildiği için üçünün ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. G değeri için subjektif ayırım ± 1 dB olarak kabul edilmektedir. Bu durumda salonda ölçülen G değerlerinin optimum koşulları sağladığı görülmektedir(Şekil 3.8).



Şekil 3.8. *G ölçülen ve optimum değerlerin karşılaştırılması*

Salonun mevcut durumu nesnel akustik parametreler üzerinden değerlendirildiğinde hacmin yansıma süresinin optimum değerlerin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak T30 değerleri EDT değerleriyle karşılaştırıldığında ise T30 değerlerinin EDT değerlerinin üzerinde olduğu ve hacimde yayınlılığın sağlanamadığı görülmektedir. Bu durum hacmin kesit ve planı üzerinden incelendiğinde hacim biçiminden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (EK-1). Bu nedenle salon iki farklı hacmin birleşmesinden oluştuğu için hacimde bileşik hacim etkisinden söz edilebilir. Ayrıca EDT değerlerinin düşük olması hacmin ilk yansımalar yönünden yeterli olmadığı düşünülebilir. Hacmin BR değerleri yeterli seviyede değildir. Alçak ve orta frekanslardaki yansıma süreleri karşılaştırıldığında alçak frekansların orta frekanslara göre düşük olması BR değerlerinin istenen seviyenin altında kalmasına sebep olmaktadır. Müzik işlevi için netlik(C80) değerlerinin tüm alıcı noktalarındaki ortalamaları 4000 Hz dışında istenen seviyededir. Ancak parter ve holdeki alıcı noktaları ayrı ayrı değerlendirildiğinde müzik işlevi için netliğin optimum koşulları sağlamadığı görülmektedir. Konuşma işlevi için anlaşılabilirliğin yansıma süresinin gereğinden fazla yüksek olması sebebiyle istenen seviyenin altında olduğu görülmektedir. G değeri literatürden elde edilen minimum ve maksimum değerlerle karşılaştırıldığında ise gerekli koşulları sağladığı görülmektedir. Bu nesnel parametrelerin optimum seviyeye yaklaştırılabilmesi ve akustik kusurların tespit edilebilmesi için hacmin akustik simülasyonunun yapılması gerekmektedir.

3.3. Salonun Modellenmesi ve Akustik Simülasyonu

3.3.1. Odeon simülasyon yönteminin açıklanması

Hacim akustiği çalışmalarının yapılması ve mekanların akustik anlamda iyileştirilmesi konusunda Odeon Auditorium 14 simülasyon programı sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür hacim akustiği simülasyon programları hacimde gerekli koşulların sağlanması için mimari uygulama yapılmadan önce hem ekonomik olarak hem de zaman konusunda büyük avantaj sağlamaktadır.

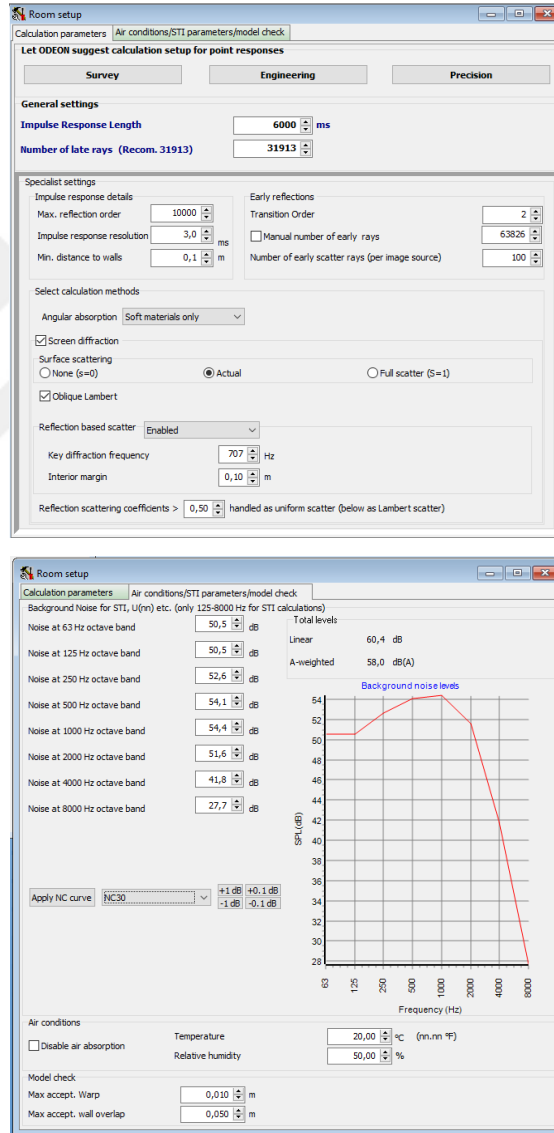
Odeon'da simüle edilecek olan hacmin öncelikle üç boyutlu modellemesi yapılmalıdır. Modelleme yapılırken tüm detaylar göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak hacim içerisinde bulunan fazla girinti çıkıntıya sahip olan yüzeylerin detaylandırılması ölçüm sürecini uzatmaktadır. Bu sebeple yüzeylerin basit bir geometri ile modellenmesi gerekmektedir. Modelleme yapıldıktan sonra Odeon üzerinden herhangi bir kaynak noktası belirlenerek hacmin herhangi bir noktasında açıklık olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için '3D Billard' ya da '3D Investigate Rays' komutları kullanılmalıdır. Bu komutlar kaynaktan gönderilen ışınların ya da daire şeklinde yayılan ışınların kapalı hacim içerisinde yayılmasını sağlar. Daha sonrasında arka plan gürültüsünün 'Room Setup' üzerinden eklenmesi gerekmektedir. Konuşma anlaşılabilirliği ile ilgili parametrelerin doğru elde edilmesi için arka plan gürültüsünün eklenmesi önemlidir. Kaynak ve alıcı noktaları belirlenerek tüm yüzeylere uygulanmış ya da uygulanacak olan malzemeler, akustik özellikleri ile birlikte atanmalıdır.

Bu çalışmada üç boyutlu modelleme için Sketchup 2020, alanda yapılan ölçümlerin kalibre edilmesi ve iyileştirme önerilerinin bilgisayar ortamında simüle edilmesi için Odeon Auditorium 14.00 kullanılmıştır. Ayrıca bununla birlikte simülasyon yöntemiyle akustik kusurların tespit edilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

3.3.2. Salon modeli ve simülasyon çalışması

Salonun akustik anlamda iyileştirilmesi için geliştirilecek olan alternatiflerin avantajlarının tespit edilebilmesi için öncelikle salonun kalibrasyon modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu sebeple öncelikle salonun plan ve kesitleri Anadolu Üniversitesi arşivlerinden elde edilmiş ve Sketchup 2020 programı üzerinden modellenmesi yapılmıştır. Modelin Odeon Auditorium 14'e aktarılarak kalibrasyon modeli için salon akustik simülasyon programında oluşturulmuştur.

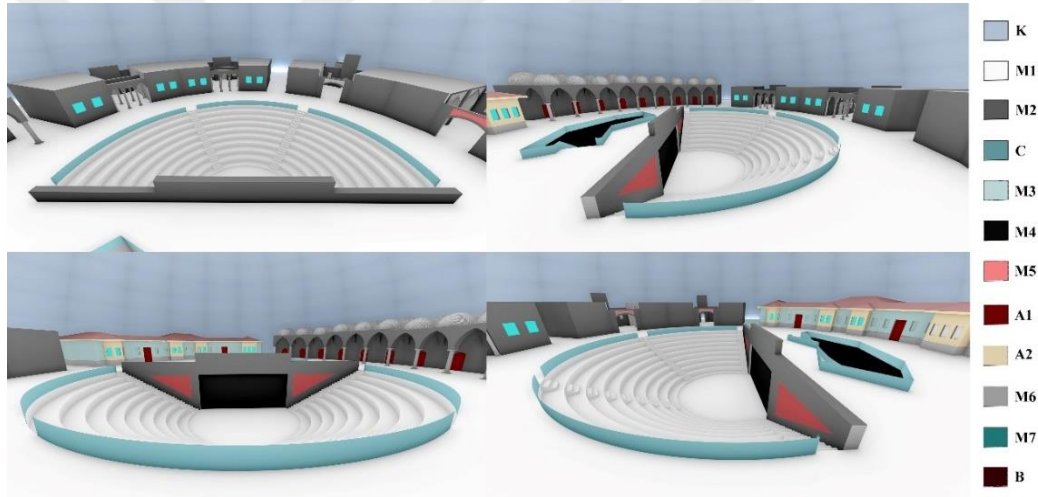
Kapalı salonlarda yansışım süresinin Odeon üzerinden elde edilebilmesi için yansışım süresinin uzunluğunun uygun bir aralıkta tutulması gerekmektedir. *Room setup* üzerinden *Impulse response length* darbe yanıtı uzunluğunu ifade etmektedir. Yansışım süresinin hesaplanması için *impulse response length* yansışım süresinin 2/3 ü kadar olması gerekmektedir. Alanda yapılan ölçümlerde elde edilen sonuçlara dayanarak bu değer 6000 ms olarak belirlenmiştir. Ayrıca salonun arka plan gürültüsü değerleri girilmiştir. Room setup değerleri Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9. Room Setup değerleri

Model kalibre edilirken yansışım süresinin ölçüm sonuçlarıyla $\pm$ %5 aralığında örtüşmesi gerekmektedir (ISO 3382-1, 2009). Öncelikle salon içerisindeki her bir yüzey

için yerinde tespit edilerek belirlenen yüzeylerin özellikleri ve ses yutma katsayıları Tablo 3.10’da gösterilmiştir. Yüzeylerin özellikleri belirlenirken alanda değerlendirme yönteminden yararlanılmış ve elde edilen mimari çizimlerden faydalanılmıştır. Malzemelerin özelliğine göre literatürden ya da Odeon’daki mevcut malzemelerden elde edilen bilgilere göre malzemelerin ses yutma katsayıları tespit edilmiştir. Modelleme yapılırken yüzeylerin basit geometrilerle modellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple kubbe örtü tek bir yüzey olarak modellenmiştir. Kubbe örtü çelik taşıyıcı sistem ve cam malzemeden oluşmaktadır. Yutma çarpanı bu iki malzeme üzerinden belirlenmiştir. Ayrıca yüzeydeki girinti ve çıkıntılar sebebiyle saçıcılık değeri artırılmıştır. Görsel 3.4’te salonun akustik modeli ve modeldeki malzemelerin yüzey kodları yer almaktadır. Her renk ayrı bir malzemeyi göstermektedir.



Görsel 3.4. Akustik model ve yüzey kodları

Tablo 3.10. Salon içerisindeki malzemeler ve yutma çarpanları

Yüzey	Yüzey kodu	Malzeme adı	Alan (m ²)	Yutuculuk katsayısı					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Kubbe Örtü	K	Çelik Taşıyıcı ve Çift Cam	7254	0,32	0,25	0,14	0,09	0,08	0,02
Oturma Alanı	M1	Mermer Kaplama	4812	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Sahne Duvarı	M2	Taş Duvar	133	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Cam Korkuluk	C	Cam	33	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Hol Çevresi Yapılar	M2	Taş Duvar	5872	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Hol Çevresi Yapılar	M3	Alçı Üzeri Boya	282	0,14	0,1	0,06	0,04	0,04	0,03

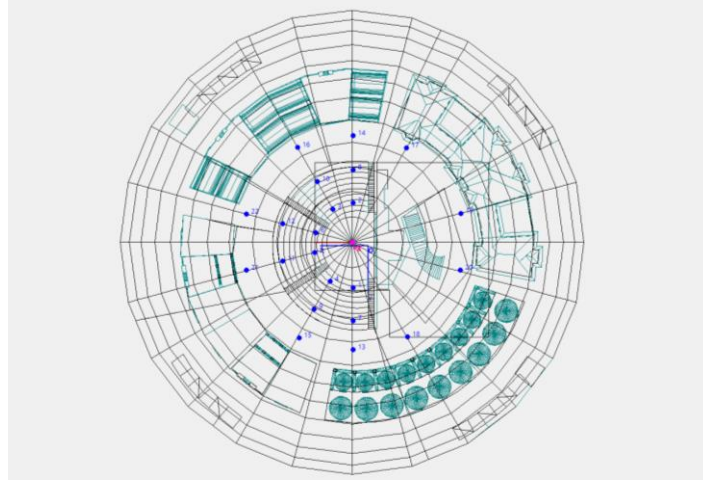
Tablo 3.10.(Devam) Salon içerisindeki malzemeler ve yutma çarpanları

Sahne Perdesi	M4	Kumaş Perde	49	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54
Seramik Dekor	M5	Seramik	93	0,21	0,54	0,74	0,34	0,28	0,42
Zemin Kaplama	M1	Mermer	4517	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Ahşap Kapı	A	Ahşap	43	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1
Duvar Ahşap Kaplama	A2	Ahşap Kaplama	117	0,2	0,28	0,26	0,09	0,12	0,11
Metal Kubbe	M6	Metal	358	0,06	0,21	0,44	0,79	0,8	0,57
Pencere	M7	Pencere Camı	33	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02
Merdiven boşluğu	B	%100 yutucu	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

3.3.3. Simülasyon sonuçları ve akustik ölçümlerle karşılaştırılması

Akustik model, alanda yapılan ölçümlerin Odeon programı yardımıyla dijital ortamda kalibre edilebilmesi için gereklidir. Salon içerisindeki yüzeylere atanan malzemelerin doğruluğunun tespit edilebilmesi için de Odeon programında elde edilen değerlerin alanda ölçülen sonuçlarla belirli bir aralıkta çakışması gerekmektedir.

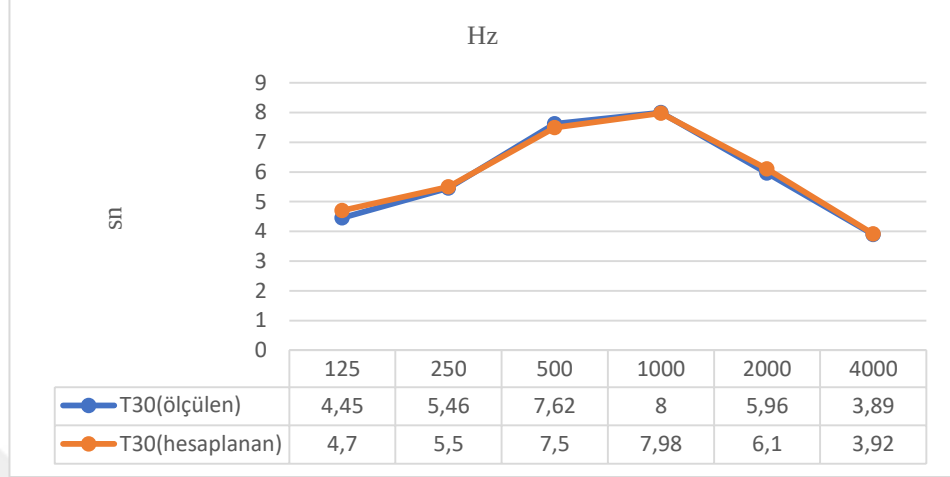
Alanda ölçüm yapılırken belirlenen noktalara kaynak ve alıcı noktaları yerleştirilmiştir(Şekil 3.10). Kaynağın yerden yüksekliği 1,5 m olarak belirlenmiştir. Bu durumda alanda ölçüm esnasında yerleştirilen alıcı ve kaynak noktalarının konumları aynı noktada olacak şekilde kalibrasyon modelinde konumlandırılmıştır.



Şekil 3.10. Kaynak ve alıcı noktalarının yerleşimi

Kaynak alıcı noktaları belirlendikten ve her yüzey için malzeme atamaları yapıldıktan sonra Odeon Auditorium 14 üzerinden akustik model oluşturulmuştur. Böylelikle Şekil 3.11’de gösterilen ortalama yansıma süresi değerleri elde edilmiştir. Bu durumda her frekansta değerlerin $\pm$ %0,05 aralığında olduğu görülmektedir. Ölçülen ve

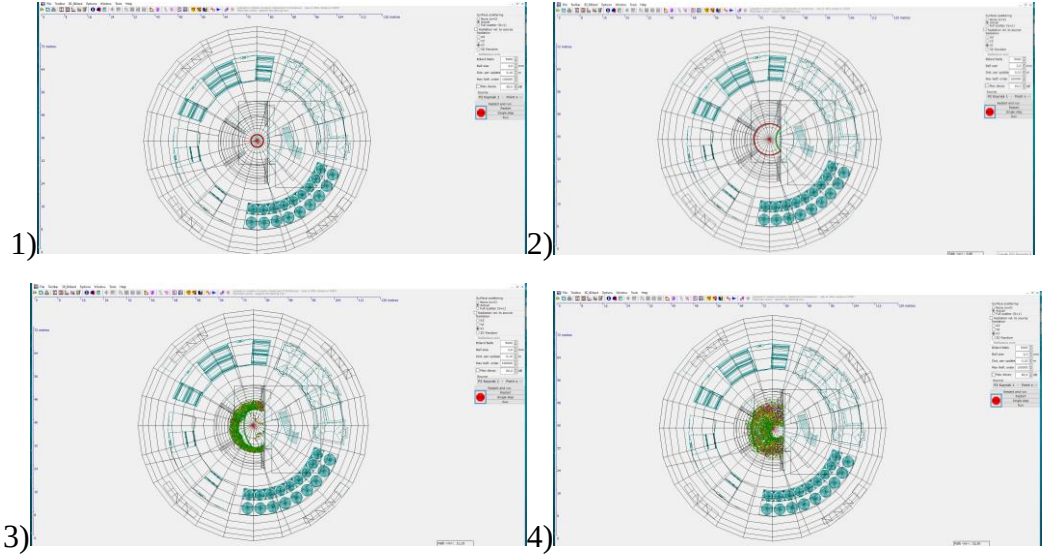
hesaplanan frekans değerleri arasındaki farkların ISO 3382-1'e göre $\pm\%5$ aralığında olması gerekmektedir.



Şekil 3.11. Alanda ölçülen ve Odeon'da hesaplanan T30 değerlerinin karşılaştırılması

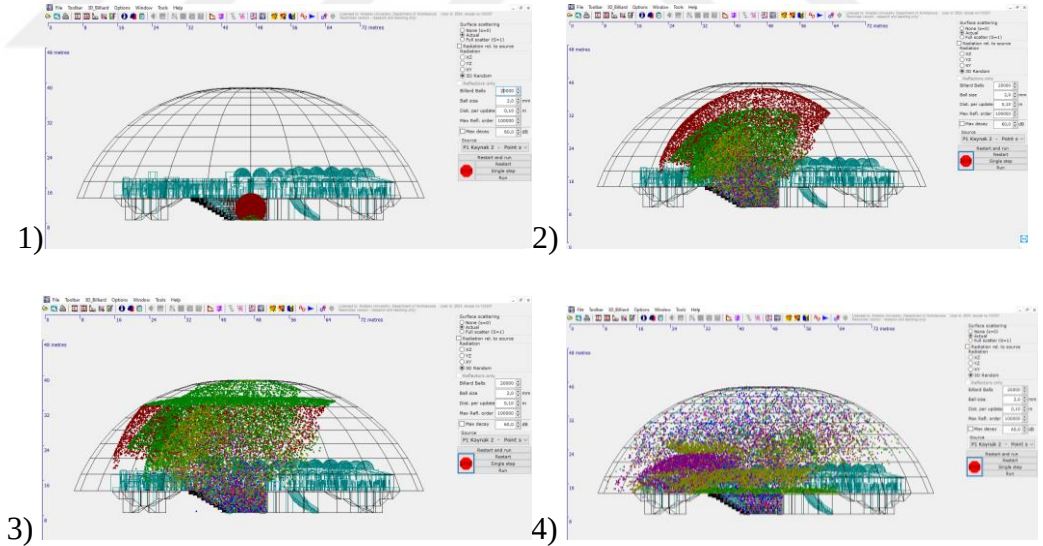
3.4. Salonun Akustik Durumunun Genel Değerlendirilmesi

Bu bölümde; alan çalışması kapsamında yapılan literatür taraması yardımıyla akustik anlamda değerlendirme yapılmaktadır. Kalibrasyon modeli yapıldıktan sonra elde edilen simülasyon verileri üzerinden salonda odaklanma, yankı, distorsiyon, bileşik hacim etkisi gibi akustik kusurlar tespit edilmiştir. Tespit edilen bu akustik kusurlar da bu başlık altında açıklanmaktadır. Şekil 3.12'de sahnenin merkezinde bulunan kaynaktan çıkan sesin seyirci alanındaki rıht yüzeylerinden yansiyarak sahnenin merkezinde planda odaklanmaya sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 3.12. Hacimde odaklanma oluşumu(plan)

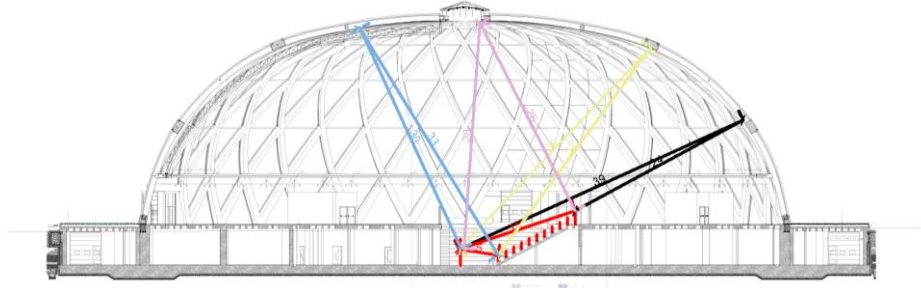
Tespit edilen bu odaklanma sorununun öneri tasarımında kontrol altına alınması gerektiği görülmektedir. Ayrıca hacmin örtüsünün içbükey olması sebebiyle hacmin orta noktasında belirli bir bölgede kesitte odaklanma olduğu Şekil 3.13’te görülmektedir.



Şekil 3.13. Hacimde odaklanma oluşumu(kesit)

Kaynaktan çıkan dolaysız sesin seyirciye ulaşması ve kubbe örtüden yansıyan ilk yansımaların dolaysız sesle arasındaki mesafe ve zaman farkı sebebiyle yankıya neden olduğu görülmektedir.Şekil 3.14’te kaynaktan çıkan sesin kaynağa en uzak yüzeyden yansiyarak dinleyiciye ulaştığı mesafe ve dolaysız sesin uzaklığı arasındaki fark

gösterilmektedir. Bir kez yansıyan ses ve dolaysız ses arasında yaklaşık 63 ile 39 m arasında fark bulunmaktadır. Bu durumda yankı oluşumu kaçınılmazdır.



Şekil 3.14. Hacimde yankı oluşumu

Salonda kalibrasyon modeli ve yapılan ölçümlerden elde edilen nesnel sonuçlar vasıtasıyla akustik anlamda iyileştirme tasarımına referans olacak tespitler şu şekilde sıralanabilir:

Salonlarda akustik tasarım prensipleri açısından;

- İşleve göre kişi başına düşen optimum hacim değişiklik göstermektedir. Hacmin seyirci sayısına göre optimum hacimden büyük olduğu görülmektedir. Bu durum uygun yansımın süresinin elde edilmesini güçleştirmektedir.
- Hacimde yansıtıcı yüzeyler ile birlikte yutucu yüzeylerinde belirli oranda ve belirli bölgelerde bulunması gerekmektedir. Yapılan ölçümler ve literatürden elde edilen malzemelerin yutma çarpanı değerlerinden elde edilen bilgilere göre hacmin genelinde yutucu özellikteki yüzey alanı yetersizdir. Özellikle hacimdeki yüzeyler orta frekansları yansıtma eğilimindedir.
- Sahne kabuğu sesi seyircilere doğru açılarla yönlendirmeli ve yeterli yansıtıcı özelliklere sahip olmalıdır. Ancak sahnenin yeterli yutuculuğa sahip olmadığı ve sesi seyirci alanına doğru açıyla yönlendirilmediği görülmektedir.
- Kaynaktan çıkan ses, yanal yansımalar ve tavadaki yansıtıcı yüzeyler vasıtasıyla seyirci alanına yönlendirilmelidir. Hacim sesin seyirciye yönlendirilmesi noktasında yanal ve başüstü yansıtıcı yüzeylere sahip değildir. Bu sebeple mevcut geometri kaynaktan çıkan sesi yansıtıcı yüzeyler vasıtasıyla desteklemek ve seyirci alanına iletmek konusunda yeterli olamamaktadır ve erken yansımaların seyirciye ulaşması güçleşmektedir.

Nesnel ve öznel parametreler açısından;

- Optimum yansıma süresi(RT, T60, T30, T20) hacmin büyüklüğüne, frekansa ve işleve göre değişmektedir. Yansıma süresinin hem konuşma hem müzik işlevi için optimum seviyenin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Böylelikle öznel parametreler açısından da yansıma oldukça fazladır.
- Düşük frekanslarda yansıma süresinin orta frekanslara göre düşük olması bas oranını (BR) düşürmektedir. Böylelikle salonda öznel parametreler açısından sıcaklık etkisi kaybolmaktadır.
- Netlik (C80) parametresi müziğin detaylarının algılanabilmesi için önemlidir. Ancak amfi içindeki alıcı noktalarında optimum değerler 4000 Hz dışında sağlanabiliyorken holdeki alıcı noktalarında yansıma süresinin fazla uzun olması sebebiyle sağlanamamaktadır. Öznel anlamda müzik işlevi açısından açıklık parametresinin de istenen seviyede olmadığı söylenebilir.
- Ayırt edilebilirlik (D50) konuşmanın anlaşılabilirliği için önem taşımaktadır. A noktalarında 250 Hz dışında optimum koşullar sağlanabiliyorken hacmin genel ortalamasında ve B noktalarında anlaşılabilirlik konusunda yeterli koşul sağlanamamaktadır. Bu durumda öznel anlamda belirginlik parametresinin de istenen seviyede olmadığı söylenebilir.
- Sesin yüksekliği (G) parametresinin erken yansımaların ve dolaysız sesin dinleyiciye büyük kayıplar yaşanmadan iletilebilmesi açısından önemlidir. Bu parametre için sübjektif ayırımı ± 1 dB olduğu düşünüldüğünde optimum koşulları sağladığı görülmektedir.

Akustik kusurlar açısından;

- Arka plan gürültüsünün özellikle alıcı noktalarında belirli aralıkta olması gerekmektedir. Ancak hacimde arka plan gürültüsünün yapı içinde olması gereken düzeyin üzerinde olması maskeleye etkisine sebep olmaktadır.
- Hacmin kaynaktan çıkıp doğrudan seyirciye ulaşan ses ve maksimum üç kez yansyarak ulaşan ses arasındaki zaman ve mesafe farkı belirli aralıkta olması gerekmektedir. Ancak bu farkın belirlenen aralığı aşması nedeniyle yankı oluşumuna sebep olan bir geometriye sahip olduğu görülmektedir.
- Hacim içerisinde içbükey yüzeylerin bulunması akustik kusurlara sebep olmaktadır. Hacmin plan düzleminde incelendiğinde sahne bölgesinde odaklanmaya sebep olan içbükey yüzeylerden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca

kesit üzerinden incelendiğinde de kubbe örtüden yansıyıp gelen sesin sahne bölgesinde toplanma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

- Farklı frekanslar arasında yansıma süresi açısından büyük farkların oluşması distorsiyona sebep olmaktadır. Bu nedenle hacimde distorsiyon etkisi görülmektedir.
- Hacimde ölçümler sonucunda özellikle orta frekanslarda yüksek yansıma süresinin elde edilmiştir. Bu durumda bu frekans aralığında rezonans(renkendirme) etkisinden söz edilebilir.
- Çok amaçlı salonlarda seyirci arkasında kalan duvar yankı oluşumunu önlemek konusunda önemlidir. Ancak seyirci alanını diğer bölümlerden ayıran yüzey olmaması ve mevcut korkulukların da yansıtıcı özellikte olması yankı oluşumuna sebep olmaktadır.
- Hacimde iki farklı yansıma süresine sahip olan hacmi birbirine bağlanmış olması bileşik hacim etkisi yaratacağı için istenmeyen bir durumdur. EDT ve T30 değerleri arasında oluşan farklardan dolayı hacimde bileşik hacim etkisi görülmektedir.

3.5. Salonun Akustik İyileştirilmesi İçin Geliştirilen Tasarım Önerileri ve Değerlendirilmesi

Salonda yapılan ölçümler ve sonrasında yapılan kalibrasyon modeli yardımıyla akustik anlamda tespitler yapılmıştır. Daha önceki bölümlerde bu durum detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Yapılan tespitler yardımıyla akustik iyileştirme için geliştirilen öneri tasarımlarında dikkat edilmesi gereken noktalar belirlenmiştir. Bu başlık altında bu tasarım önerileri ile ilgili bilgi verilmiş ve bu tasarımdan ODEON Auditorium 14 yardımıyla elde edilen akustik veriler değerlendirilmiştir.

3.5.1. Senaryo modellerinin oluşturulması, akustik simülasyon verileri ve verilerin değerlendirilmesi

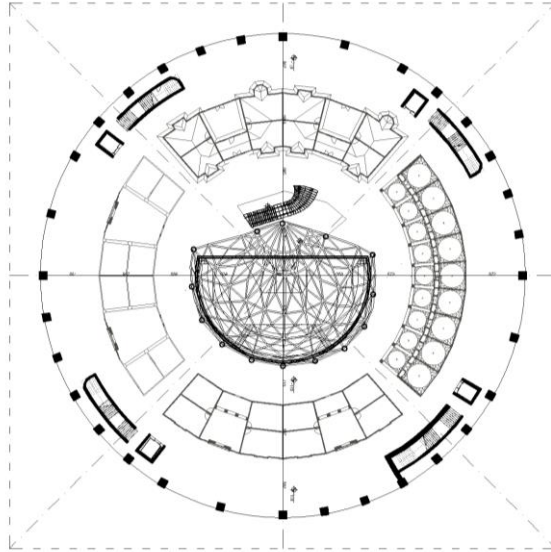
Salonda yapılan akustik ölçümler ve simülasyon programında elde edilen sonuçlar yardımıyla tespit edilen akustik kusurları önlemek ve akustik parametreleri optimum seviyeye ulaştırmak amacıyla 2 senaryo modeli (Senaryo 1- üstü yarı kapalı ve Senaryo 2 - üstü tam kapalı) geliştirilmiştir. Bu senaryoların tasarımı yapılırken mevcut hacimde müdahale edilmemesi istenen alanlar için salon idarecileriyle görüşülerek kısıtlılıklar belirlenmiştir. Bu kısıtlılıklar;

- Çelik taşıyıcı ve cam malzemeden oluşan kubbe örtü,
- Hacim içindeki taş yapılar,
- Sahne arkasındaki duvarda bulunan çiniler,
- Sahne önündeki zemin işlemesine

müdahale edilmemesi şeklindedir.

Ayrıca tasarlanan senaryolardan ikisi de bu kısıtlılıklar göz önünde bulundurularak tasarlanmış, ilk senaryo için sahnenin seyirci alanı dışındaki holden izlenebileceği şekilde düşünülmüştür. Diğer senaryo için ise amfi tamamen kapatılacak şekilde tasarlanmıştır.

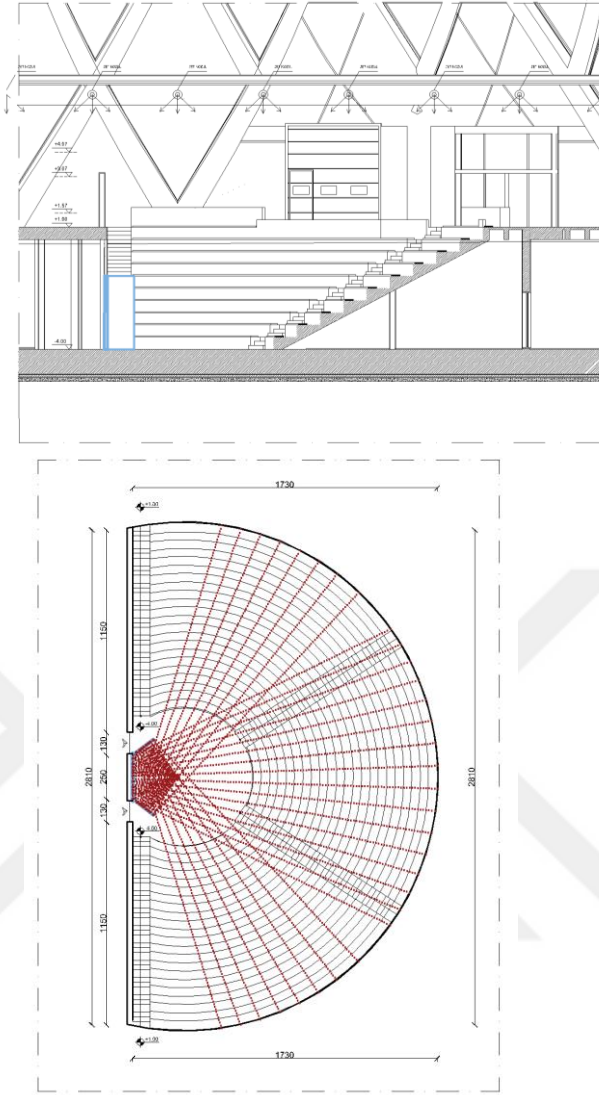
Senaryo 1 ve Senaryo 2 için üst örtü olarak yansıtıcı ve yutucu özellikteki paneller salona sonradan eklenen çelik taşıyıcı sisteme asılacak şekilde düşünülmüştür. Taşıyıcı sistemdeki kolonlar bodrum kattaki taşıyıcı sistemle ilişkili olacak şekilde düşünülmüştür. Şekil 3.15'te taşıyıcı sistem ile ilgili plan görseli yer almaktadır.



Şekil 3.15. *Taşıyıcı sistem tasarımı*

Mevcut hacimdeki amfi yarım daire şeklindedir ve bu biçim kaynaktan çıkan ses enerjisini seyirci alanındaki her alıcıya ulaştırırken yanal yansımalar yönünden desteklememektedir. Ayrıca sahne arka duvarı bulunmamaktadır. Sahnenin arkasındaki perde erken yansımaların seyirci alanına iletilmesini engellemektedir. Bu sebeple sahne tasarımında öncelikle ses enerjisini seyirci alanına yönlendirecek şekilde belirli bir açıyla yerleştirilen yansıtıcı paneller önerilmiştir. Kaynaktan çıkan sesin ilk yansımalarla

desteklenmesi için arka duvardaki perdenin bir kısmında yansıtıcı duvar önerilmiştir. Ayrıca sahne arkasından icracıların giriş çıkışı sağlanmaktadır. Düşey yansıtıcı panellerin hangi açıyla konumlanacağını belirlemek için öncelikle kaynağın yerini belirlemek gerekmektedir. Kaynak noktası belirlenirken icracıların sahnede Beranek'e göre optimum 1,9 m² alan kaplaması gerektiği koşuluna göre 10 kişinin performansını icra edebileceği bir alan düşünülmüştür. Ayrıca sahne çevresindeki 1 m sirkülasyon alanı olarak kabul edilmiştir. Konuşma işlevi için kaynağın seyircilere olabildiğince yakın mesafede olması gerekmektedir. Müzik işlevi için ise dolaysız sesin ilk yansımalarla desteklenebilmesi gerekmektedir. Bu durumda belirlenen iki kaynak konumu farklı olsa da panel açılarının belirlenmesi noktasında mevcut sahne için büyük farklar oluşmamaktadır. Bu sebeple hem müzik hem konuşma işlevi için kabul edilebilir optimum koşullar çerçevesinde tek bir kaynak yeri belirlenerek yansıtıcı panellerin açıları bu kaynak yeri üzerinden belirlenmiştir. Şekil 3.16'da tasarlanan sahne kabuğuna ait plan ve kesit görselleri yer almaktadır.



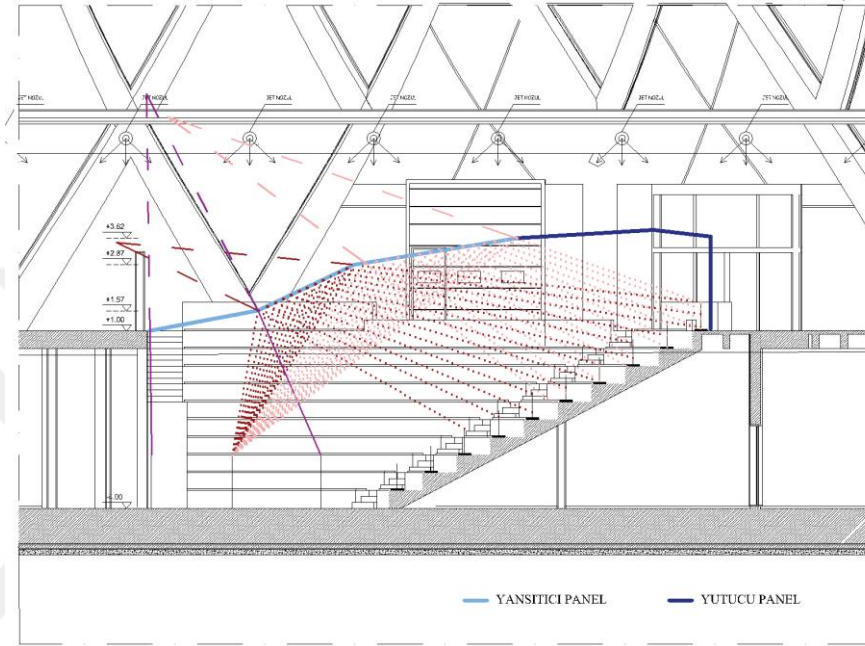
Şekil 3.16. *Sahne kabuğu tasarımı*

İki senaryo modeli doğal akustik, seslendirme sistemi ve bütünleşik akustik tasarım yaklaşımları üzerinden değerlendirilerek çeşitlendirilmiş ve 8 farklı öneri salon tasarımı geliştirilmiştir. Bu konuyla ilgili ‘2.3. Çok Amaçlı Salonlarda Akustik Tasarım’ başlığı altında detaylı bilgi verilmiştir. Doğal akustik tasarım prensipleri göz önünde bulundurularak tavan yansıtıcı panellerin açıları belirlenmiştir. Doğal akustik, seslendirme ve bütünleşik tasarım prensipleri gereğince malzeme yutucu yansıtıcı özellikleri değiştirilmiştir. Bütünleşik akustik tasarım için tavan yansıtıcı panelleri değiştirilebilir olarak düşünülmüştür. Değiştirilebilir özellikteki tavan yansıtıcı panellerin açık ve kapalı durumları Senaryo 1 (üstü yarı kapalı) ve Senaryo 2 (üstü tam kapalı) için hem konuşma hem müzik işlevi üzerinden düşünülmüştür.

Senaryo 1 (üstü yarı kapalı) amfinin dışındaki holden geçen izleyicilerin sesi ve ışık performansı izleyebilmesi amacıyla yarı açık olacak şekilde düşünülmüştür. Tavan yansıtıcı panellerin açılı belirlenirken kaynaktan çıkan sesi arka plan olarak kullanacak şekilde tasarım yapılmıştır. Tavan yansıtıcı paneller kulakla duyulan ses olarak gelen ilk yansımaların oluşturduğu yankı ve odaklanmanın önüne geçmektedir. Ayrıca tavan yansıtıcı panellerin yankı oluşumuna sebep olmaması için yutucu olarak düşünülmüştür. Bununla birlikte salonlarda seyirci arkasından gelen sesin oluşumuna sebep olmasından dolayı seyirci arkasına belirli aralıklarla malzeme yerleştirilmiştir. Doğal akustik, seslendirme ve bütünleşik ses için malzeme özellikleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Şekil 3.17’ de Senaryo 1 görseli bulunmaktadır.



gelen seslerin oluşturduğu odaklanmayı önlemektedir. Malzeme özellikleri senaryo 2 için doğal akustik, seslendirme ve bütünleşik akustik tasarım için optimum koşullara göre farklılık göstermektedir. Şekil 3.18’de Senaryo 2’nin tavan akustik panelleri tasarımı görsel üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Senaryo 2 tavan yansıtıcı panel tasarımı

Akustik iyileştirme için tasarlanan senaryoların üstü yarı kapalı ve tam kapalı olmasından dolayı akustik anlamda farklılıklar ve benzerlikler bulunmaktadır. Öncelikle iki senaryo için hacim büyüklüklerinin farklı olması sebebiyle, hacim büyüklüğüne bağlı olarak değişen nesnel akustik parametrelerin(yansıma süresi gibi) optimum değerleri de değişiklik göstermektedir. Bu sebeple iki senaryo için de yansıtıcı ve yutucu özellikteki yüzeylerin alanları da değişmektedir. Ancak iki senaryo için de sahne tasarımında herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Bununla birlikte odaklanmanın önlenmesi için rıht yüzeylerindeki kaplama malzemesinin özellikleri de iki senaryo için tasarım yaklaşımlarına göre farklılık göstermektedir. Tüm tasarım yaklaşımlarındaki bu farklılıklar ve benzerlikler Tablo 3.11’de gösterilmektedir.

Tablo 3.11. *Senaryo 1 ve Senaryo 2’de tasarım yaklaşımına bağlı çeşitlendirmede benzerlikler ve akustik tasarım yönünden farklılıklar*

Tasarım Türü Senaryolar		Kısıtlılıklar	Hacim Büyükliği (m3)	Malzeme Özellikleri			
				Sahne Kabuğu	Parter	Seyirci Arkası Duvar/ Parapet	Parter rıht kaplama
Doğal Akustik Tasarım	Senaryo 1	Uygulandı	83394	Yansıtıcı	Yansıtıcı -yutucu	Yutucu	Yutucu
	Senaryo 2	Uygulandı	2460	Yansıtıcı	Yansıtıcı -yutucu	Yutucu	Yansıtıcı / Saçıcı
Elektro- Akustik Tasarım	Senaryo 1	Uygulanmadı	83394	Yutucu	Yansıtıcı -yutucu	Yutucu	Yutucu
	Senaryo 2	Uygulanmadı	2460	Yutucu	Yansıtıcı -yutucu	Yutucu	Yansıtıcı / Saçıcı
Bütünleşik Tasarım	Senaryo 1 (Konuşma)	Uygulandı	83394	Yansıtıcı -yutucu	Yansıtıcı -yutucu	Yutucu	Yutucu
	Senaryo 1 (Müzik)	Uygulandı	83394	Yansıtıcı	Yansıtıcı -yutucu	Yutucu	Yutucu
	Senaryo 2 (Konuşma)	Uygulandı	2460	Yansıtıcı -yutucu	Yansıtıcı	Yutucu	Yansıtıcı / Saçıcı
	Senaryo 2 (Müzik)	Uygulandı	2460	Yansıtıcı	yansıtıcı	Yutucu	Yansıtıcı / Saçıcı

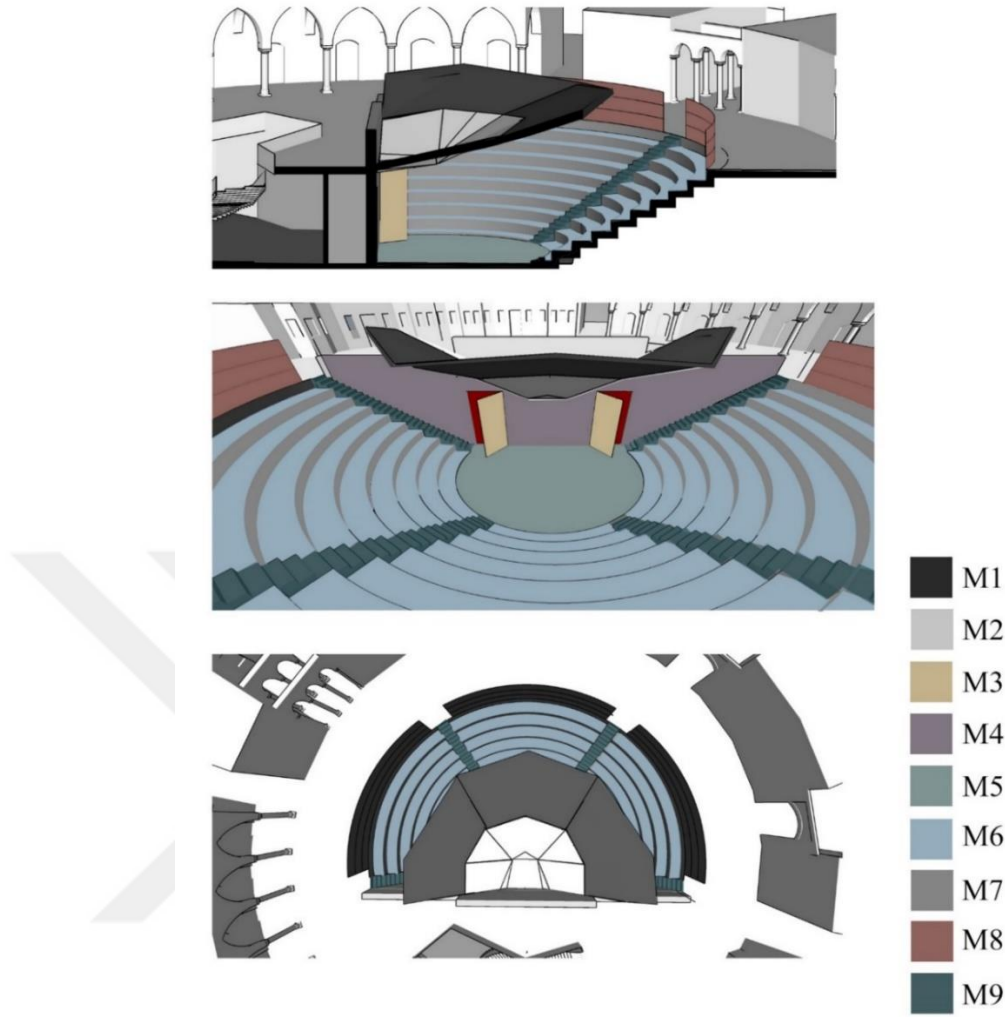
3.5.1.1. Doğal akustik tasarım senaryoları

Bu bölümde, doğal akustik tasarım kuralları gereğince belirlenen öneri salon tasarımları, çok amaçlı salonların optimum değerleri ve koşulları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Geliştirilen senaryolarla birlikte mevcut durumdaki akustik kusurların engellenmesi ve optimum akustik koşulların elde edilebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca belirlenen kısıtlılıklar da göz önünde bulundurularak iki farklı senaryo için değerlendirme yapılmıştır.

Senaryo 1 için doğal akustik tasarım

Yarı açık olarak belirlenen hacmin tasarımı ile ilgili detaylı bilgi ‘3.5.1. Senaryo Modellerinin Oluşturulması ve Akustik Simülasyon Verileri’ bölümünde yer almaktadır. Malzeme özellikleri belirlenirken öncelikle doğal akustik tasarım prensipleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca çok amaçlı salonların optimum yansıma süresi değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu sebeple mümkün olduğunca yüksek yutuculukta malzemeler tercih edilmiştir. Bunun sebebi oluşturulan tasarımın yarı açık olması ve mevcut hacmin yansıma süresinin optimum değerlere göre çok yüksek olmasıdır. Bununla birlikte hacimdeki akustik kusurların önlenmesine yönelik önlemler alınmıştır. Bu sebeple seyirci

Senaryo 1 için belirlenen malzemeler Görsel 3.5’te gösterilen malzeme kodlarına göre isimlendirilmektedir.



Görsel 3.5. Senaryo 1 için malzeme kodları

Doğal akustik tasarım prensiplerinin gerektirdiği şekilde Senaryo 1 için belirlenen malzemeler Tablo 3.12’de görülmektedir. Seçilen malzemelerin yutma çarpanı değerleri ve malzeme kodları bu tablo üzerinde yer almaktadır. Kırmızı renkle gösterilen malzemeler, Senaryo 1 ve Senaryo 2 doğal akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında iki senaryo için de değişen malzemeleri ifade etmektedir.

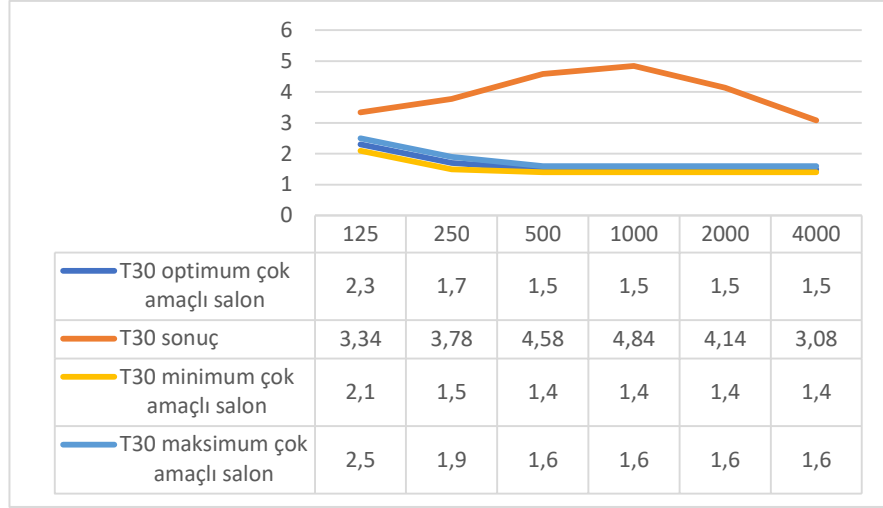
Tablo 3.12. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri

Kullanıldığı Alan	Yüzey Kodu	Alan (m2)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayısı					
				125	250	500	1000	2000	4000
Tavan panel (yutucu)	M1	82	2 cm akustik yutucu panel	0,90	0,90	0,90	0,95	1,00	1,00
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	49	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sahne yansıtıcı panel	M3	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Tablo 3.12.(Devam) *Senaryo 1 doğal akustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri*

Sahne arka duvarı	M4	133	Taş duvar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Sahne zemini	M5	48	Mermer	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Seyirci alanı	M6	290	Kumaş kaplı derin, dolgulu sırtsız boş koltuk	0,28	0,28	0,28	0,28	0,34	0,34
Seyirci alanı rıht kaplama	M7	190	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Seyirci alanı arka duvar	M8	98	Akustik yutucu panel	0,9	0,9	0,9	0,95	1,00	1,00
Merdiven	M9	85	5 mm kalınlıkta keçe altlık ile 5 mm kalınlıkta halı	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72

Belirlenen malzemeler sonucunda hem holden hem seyirci alanından elde edilen ortalama yansım süresi değerlerinin çok amaçlı salonlar için optimum yansım süresi değerleriyle karşılaştırılması grafiği Şekil 3.20’de görülmektedir. Hacimde kullanılan malzemelerin yutuculuk katsayılarının artırılmasıyla yansım süresi azalmaktadır. Doğal akustik tasarım prensiplerine göre yutucu özellikte olması gereken alanlarda, yüksek yutuculukta malzeme kullanılmasına rağmen elde edilen sonuçlar, optimum değerlerin oldukça üzerindedir. Optimum yansım süresi değerleri belirlenirken özellikle alçak frekanslarda belirli bir oranda değerlerin yüksek olması gerekliliği göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre hacmin yarı açık olduğu durumda doğal akustik tasarım için yüksek yutuculukta bile optimum T30 değerlerini sağlayamadığı görülmektedir. Bununla birlikte orta frekanslarda diğer frekanslara göre yüksek yansım süresinin elde edilmesi bu frekans aralığında rezonans(renglendirme) etkisinin olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte farklı frekanslarda yansım süresi açısından farkların oluşması hacimde yapılan iyileştirme modelinin yarı açık olması durumunda distorsiyon etkisinin devam ettiğini göstermektedir. Odeon yazılımı üzerinden T30 değeri elde edilebildiği için bu değerler üzerinden karşılaştırma yapılmaktadır.



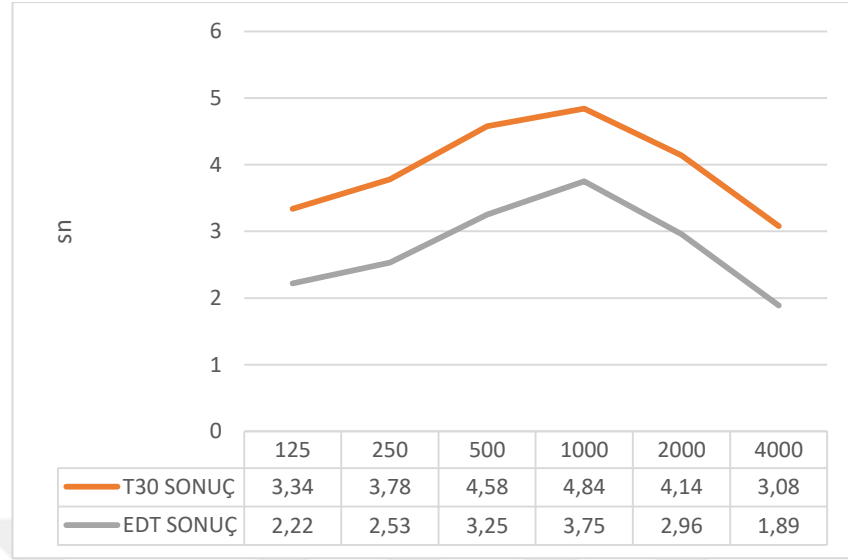
Şekil 3.20. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan yansım süresi ve optimum değerler

Yarı açık olarak tasarlanan Senaryo 1 modelinde doğal akustik tasarım için elde edilen diğer nesnel akustik parametrelerin sonuçları Tablo 3.13'te görülmektedir. BR değerleri konuşma için 0.9-1.0 arasında müzik için ise 1.0-1.3 arasında olmalıdır. Ancak salonun BR değerleri için optimum koşulları sağlamadığı görülmektedir. Bu durumda hacmin öznel anlamda sıcaklık etkisinin uygun koşullarda olmadığı görülmektedir.

Tablo 3.13. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan ortalama nesnel akustik parametre değerleri

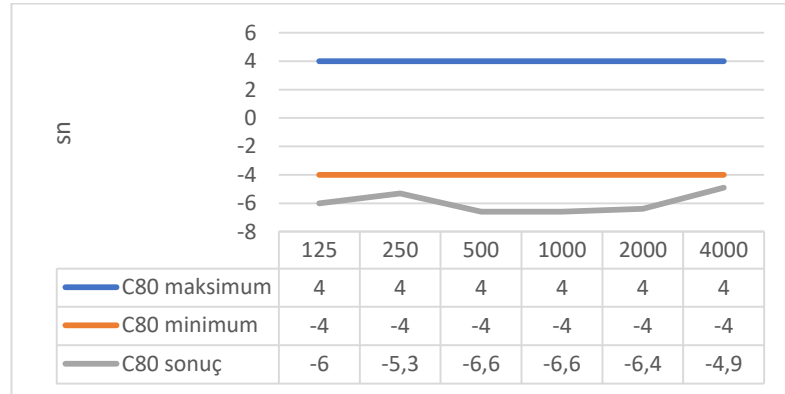
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	3,34	3,78	4,58	4,84	4,14	3,08
EDT	2,22	2,53	3,25	3,75	2,96	1,89
BR	0,76					
D50	0,41	0,47	0,46	0,45	0,46	0,48
C80	-6	-5,3	-6,6	-6,6	-6,4	-4,9

Şekil 3.21'de EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. EDT ve T30 değerleri karşılaştırıldığında birbirlerine eşit ya da EDT değerlerinin T30'un %10 undan fazla olması gerekmektedir. Ancak EDT değerleri T30 değerlerinden oldukça azdır. Optimum yansım süresi elde edebilmek amacıyla kullanılan yutucu özellikte malzemelere rağmen hacmin yansım süresi optimum koşulların üzerinde kalmıştır. Bununla birlikte EDT değerlerinin de düşmesine sebep olmuştur. Hacmin yarı açık olması yansım süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Amfi içindeki malzemelerin yüksek yutuculukta olması sebebiyle EDT değerleri azalmıştır. Bu durumda hacimde doğal akustik için geliştirilen Senaryo 1 modelinde, bileşik hacim etkisinin devam ettiğini görülmektedir.

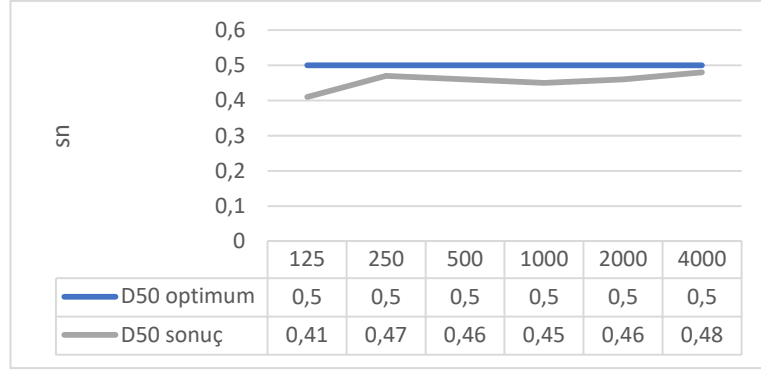


Şekil 3.21. T30 ve EDT sonuç değerleri karşılaştırılması

T30 değerlerinin optimum değerlerin üzerinde olması anlaşılabilirliği ve netliği düşürecektir. Böylelikle D50 ve C80 değerlerinin optimum değerlerin altında olması beklenen bir durumdur. Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te simüle edilen modelin C80 ve D50 değerlerinin optimum değerleri ile karşılaştırıldığı grafikler görülmektedir. Müzik için netliğin(C80), konuşma için anlaşılabilirliğin (D50) optimum koşullarının sağlanamadığı görülmektedir.

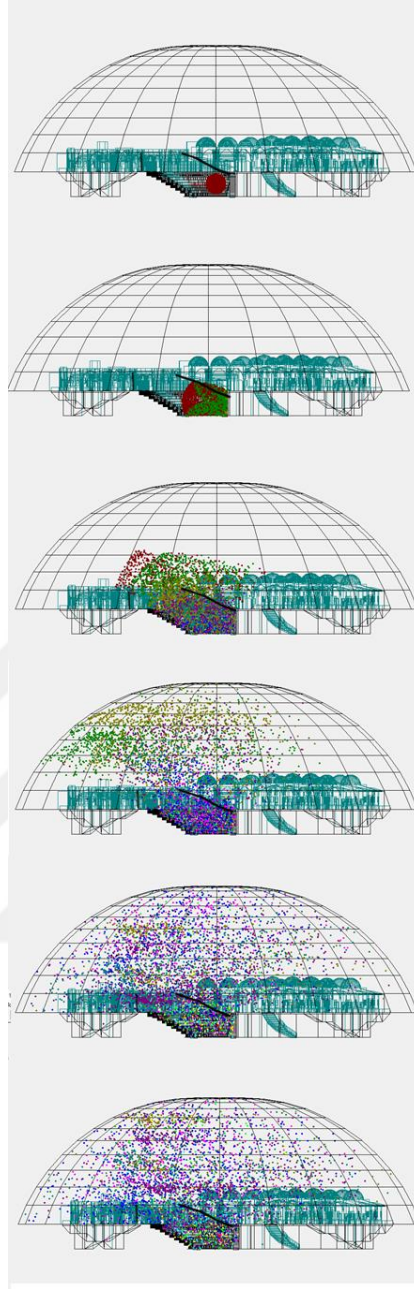


Şekil 3.22. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan C80 ve C80 minimum-maksimum değerler



Şekil 3.23. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda hesaplanan D50 sonuçların ve D50 optimum değerler

Akustik kusurların önlenmesine yönelik alınan tedbirlerden biri yankı ve odaklanmanın önlenmesi için kubbe örtüden yansıyarak gelen ilk yansımaların engellenmesidir. Bunun için geliştirilen tavan panelleri Şekil 3.24'te görüldüğü gibi ilk yansımaları seyirci alanına yönlendirmektedir. Bununla birlikte ses enerjisinin büyük bir kısmının kubbe örtüden yansıyıp sahne ve seyirci alanına geri dönerek odaklanma oluşturmasını büyük bir oranda engellemektedir. Yankı oluşumunu ise belirli bir oranda azaltmaktadır. Bu sebeple kullanılan akustik panellerin akustik kusurların önlenmesi açısından olumlu olduğu görülmektedir.



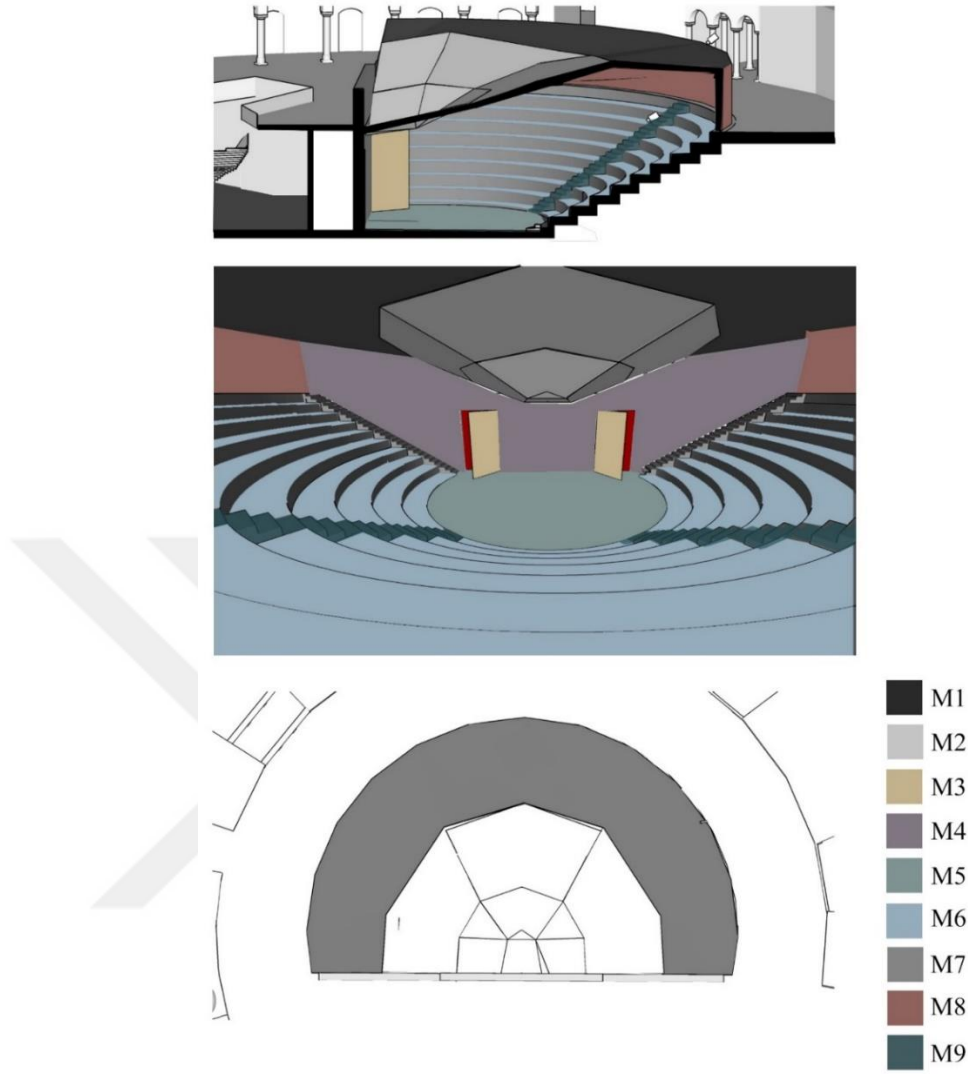
Şekil 3.24. Senaryo 1 doğal akustik tasarımda akustik kusurların önlenmesi

Senaryo 1 doğal akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında hacmin yarı açık olması sebebiyle mekandaki sesin uzun sürede sönümlendiği görülmektedir. Böylelikle yansıma süresinin optimum koşulların üzerinde olduğu görülmektedir. Ancak yansıma süresi mevcut duruma kıyasla azalmıştır. Bununla birlikte anlaşılabilirlik optimum koşulları sağlamamaktadır. Müzik için netlik istenen seviyede değildir. Fakat yansıtıcı paneller yardımıyla kubbe örtüden kaynaklanan odaklanmanın mevcut duruma göre büyük oranda engellendiği görülmektedir. Ayrıca seyirci arkasındaki yutucu

paneller ve tavan yansıtıcı panellerin kaynaktan çıkan sesi büyük oranda amfide tutması sebebiyle yankının az da olsa engellendiği düşünülebilir. Ancak yankının önlenmesi için tam kapalılık gerekmektedir. Hacimde, arka plan gürültüsü yarı açık durumda alıcılar tarafından algılanabiliyor olduğu için maskeleme etkisinin devam ettiği söylenebilir. Bu durumda tam kapalı olarak geliştirilen modelin maskeleme açısından avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir.

Senaryo 2 için doğal akustik tasarım

Senaryo 1’de olduğu gibi Senaryo 2’de de doğal akustik tasarım kuralları gereğince yüzeylere gereken özellikteki malzemeler atanmıştır. Ancak Senaryo 2 tam kapalı olması sebebiyle, Senaryo 1’de belirlenen malzemeler kadar yüksek yutucu özellikteki malzemelerin kullanılmaması gerekmektedir. Bu sebeple seçilen malzemeler çok yüksek yutuculukta değildir. Seyirci alanının içbükey olması sebebiyle rıhtlardan yansıyarak gelen sesin oluşturduğu odaklanmanın önlenmesi için yansıtıcı özellikteki malzemenin saçıcı olacak şekilde tasarlanması önerilmektedir. Seçilen bu malzemeler Görsel 3.6’da gösterilen kodlara göre isimlendirilmiştir.



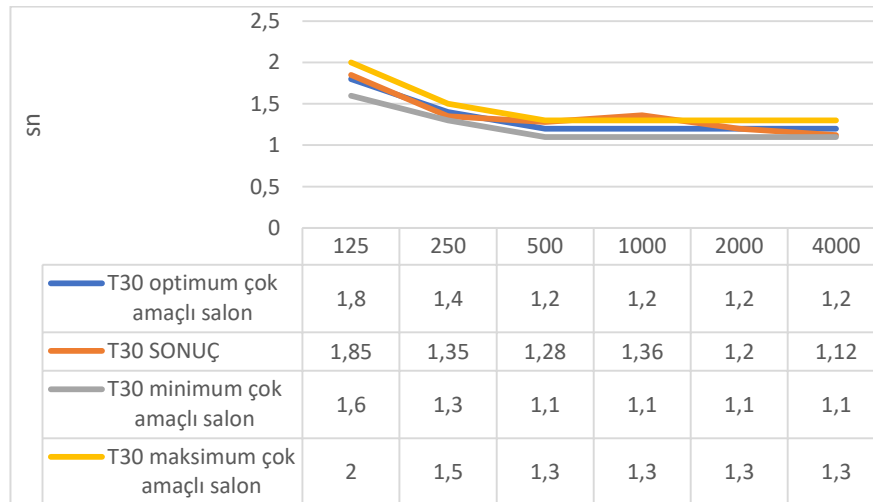
Görsel 3.6. Senaryo 2 için malzeme kodları

Tablo 3.14’ te seçilen malzemeleri özellikleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Kırmızı renkle gösterilen malzemeler, Senaryo 1 ve Senaryo 2 doğal akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında iki senaryo için de değişen malzemeleri ifade etmektedir.

Tablo 3.14. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri

Kullanıldığı Alan	Yüzey Kodu	Alan (m ²)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayıları					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tavan panel (yutucu)	M1	302	Asma akustik panel	0,35	0,2	0,4	0,36	0,36	0,38
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	188	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sahne yansıtıcı panel	M3	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sahne arka duvarı	M4	133	Taş duvar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Sahne zemini	M5	48	Mermer	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Seyirci alanı	M6	290	Köpüklü lastik üstüne kumaş kaplı dolgulu (kapitone) boş koltuk	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,26
Seyirci alanı rıht kaplama	M3	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Seyirci alanı arka duvar	M8	158	Yutucu kaplama malzemesi	0,23	0,61	0,58	0,39	0,45	0,41
Merdiven	M9	85	Beton üzerine 3 mm keçe ince halı	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,37

Belirlenen bu malzemeler salon içerisindeki yüzeylere atandığında ODEON’da hesaplanan yansıma süresi değerlerinin ortalaması ve işleve göre yansıma süresinin optimum değerleri Şekil 3.25’de karşılaştırılmıştır. Optimum değerler belirlenirken yeni tasarımın hacmine göre belirlenmiştir.



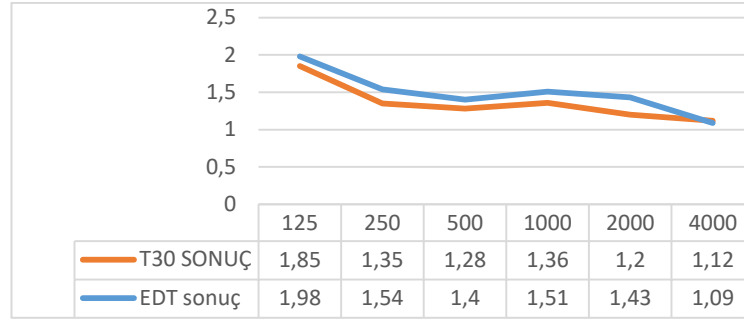
Şekil 3.25. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan yansıma süresi ve optimum değerlerin karşılaştırılması

Tam kapalılıkla birlikte optimum çok amaçlı kullanım için optimum yansıma süresi değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Elde edilen T30 değerleri çok amaçlı salonlar için maksimum ve minimum değerler arasında kalmaktadır. Ayrıca yansıma süresi arasında büyük farkların olmaması ile distorsiyonun nispeten önleendiği söylenebilir. Ayrıca tam kapalılık durumunda belirli frekanslarda ya da frekans aralığında diğer frekanslara oranla büyük farklar olmadığı için rezonans(renkendirme) etkisinin azaldığı görülmektedir. Tablo 3.15'te ortalama nesnel akustik parametre değerleri görülmektedir. Hacmin BR sonuçları müzik işlevi için daha uygun sonuçlar elde edileceğini göstermektedir.

Tablo 3.15. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan nesnel akustik parametre değerleri

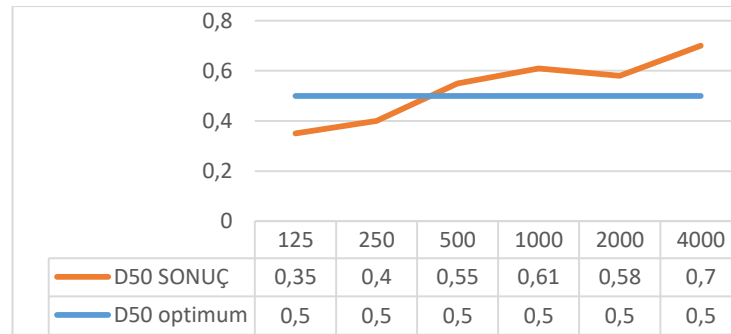
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	1,85	1,35	1,28	1,36	1,2	1,12
EDT	1,98	1,54	1,40	1,51	1,43	1,09
BR	1,2					
D50	0,35	0,4	0,55	0,5	0,59	0,4
C80	-2,1	0,5	3,1	0,9	1,2	2

T30 ve EDT değerleri birbirine eşit olmalıdır ya da EDT, T30'un %10 undan büyük olmalıdır. Şekil 3.26'da 4000 Hz dışında tüm değerlerde %10'undan büyük olduğu görülmektedir. 4000 Hz'de ise neredeyse eşit olduğu söylenebilir. Bu durum hacmin tam kişi sayısı ile orantılı olacak şekilde optimum koşullarda seçilmiş olmasının ve hacim içerisindeki malzemelerin uygun olacak şekilde belirlendiğinin göstergesidir. Bununla birlikte EDT ve T30 değerleri karşılaştırıldığında istenen koşulları sağladığı için hacimde bileşik hacim etkisinin olmayacağı söylenebilir. Ancak bileşik hacim etkisinin tespit edilebilmesi için tek koşul bu değildir. Hacime bitişik herhangi bir başka hacim bulunmaması gerekmektedir. Senaryo 2 için geliştirilen model bu koşulu sağlamaktadır.



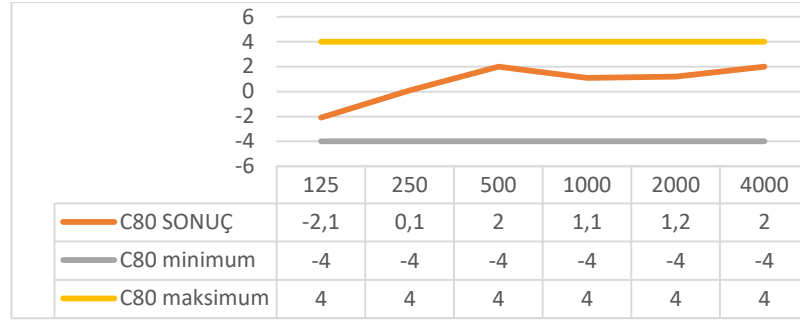
Şekil 3.26. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması

Hacmin yansıma süresi çok amaçlı salonların optimum değerlerine yaklaşmaktadır. Ancak bu optimum değerler konuşma işlevi için belirlenen optimum değerlerin üzerindedir. Konuşma işlevi için tüm frekanslardaki yansıma süresinin eşit olması gerekmektedir. Ancak bu durum müzik işlevi için, böylelikle çok amaçlı salonlar için geçerli değildir. Bu nedenle alçak frekanslarda anlaşılabilirlik açısından istenen seviye sağlanamadığı için D50 parametresi alçak frekanslarda minimum değerlerin altında kalmaktadır. Ancak orta ve yüksek frekanslarda değerlerin konuşma işlevi için de uygun olduğunu göstermektedir. Konuşma işlevinde anlaşılabilirlik ile ilişkili olan D50 parametresinin optimum değerlerle karşılaştırılmasına ilişkin grafik Şekil 3.27’de görülmektedir.



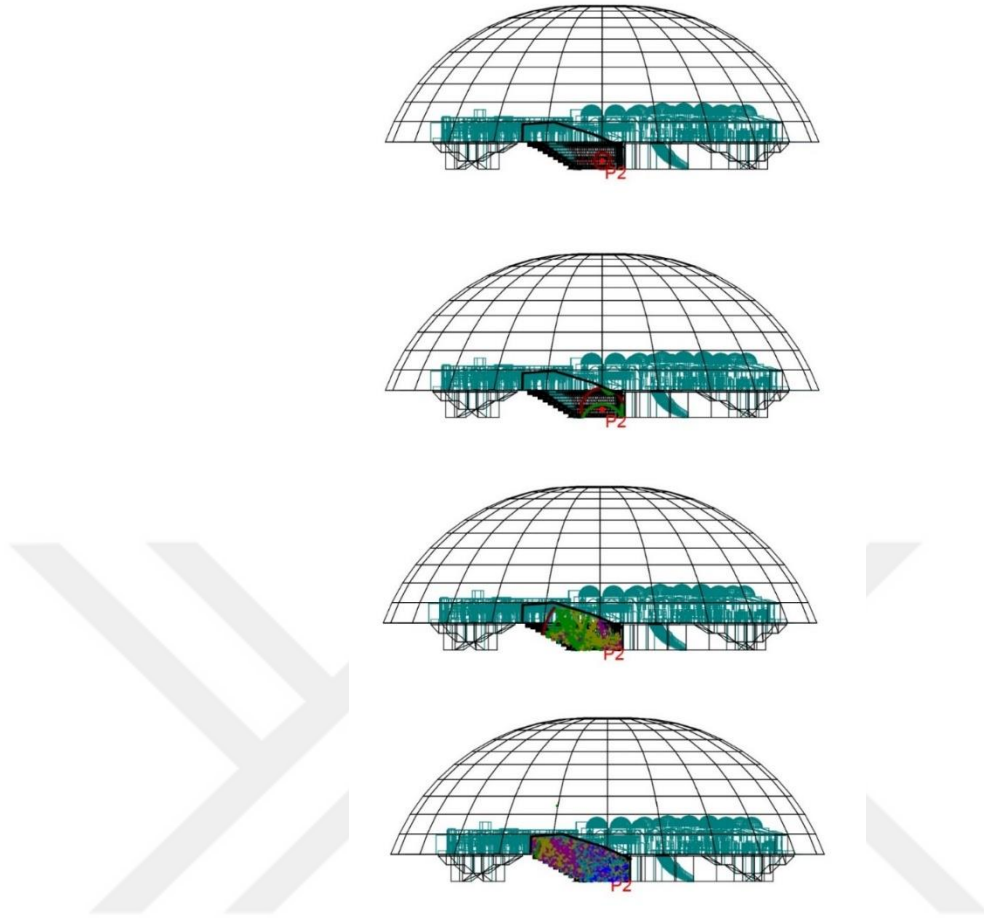
Şekil 3.27. Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan D50 değerleri

Şekil 3.28’de tüm frekanslarda optimum C80 parametresi değerlerinin elde edilebildiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre müzik icra edildiğinde netliğin yeterli seviyede olabileceği görülmektedir. Bu sebeple Senaryo 2’nin doğal akustik tasarım için seçilen malzemelerle tasarlandığında müzik işlevi için konuşma işlevine göre daha uygun olabileceği görülmektedir.



Şekil 3.28. *Senaryo 2 doğal akustik tasarımda hesaplanan C80 değerleri ve optimum değerlerin karşılaştırılması*

Akustik kusurlara yönelik salonun mevcut durumunda içbükey örtüden yansiyarak gelen sesin amfide belirli bölgede odaklanmaya sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca bu örtüden yansıyan ilk yansımalar dolaysız ses ile arasındaki mesafe ve zaman farkından dolayı yankı oluşumuna sebep olmaktadır. Senaryo 2’de geliştirilen iç örtü ile birlikte, kubbe örtüden yansiyarak oluşan bu akustik kusurların(odaklanma ve yankı gibi) önlendiği Şekil 3.29’da görülmektedir. Ayrıca plan üzerinden amfideki içbükey yüzeylerden kaynaklanan odaklanmanın oluşumu ile ilgili ‘3.5.1.1. Doğal Akustik Tasarım Senaryoları’ Senaryo 1 doğal akustik tasarım bölümünde detaylı bilgi verilmiştir. Bunun önlenmesi için ise rıht üzerindeki kaplamaların saçıcı özellikte olması önerilmektedir.



Şekil 3.29. Senaryo 2’de yankı ve odaklanma oluşumunun önlenmesi

Senaryo 2 doğal tasarım prensiplerine göre tasarlandığında hacmin hem nesnel parametrelerin optimum şartları sağlaması hem de akustik kusurların önlenmesi açısından uygun olabildiği görülmektedir. Yansıma süresi çok amaçlı salonların minimum ve maksimum değerlerini sağlamaktadır. Ayrıca konuşma için orta ve yüksek frekanslarda anlaşılabilirliğin istenen seviyede olması ve müzik için netliğin sağlanmış olması Senaryo 2’nin seçilen malzemelerle birlikte doğal akustik açısından uygun koşulları sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte frekanslar arasında yansıma süresi açısından büyük farkların olmaması distorsiyonu önlemektedir. Hacmin tamamen kapalı olması kubbe örtüden kaynaklanan odaklanmanın önlemektedir. Ayrıca yankı oluşumu da tam kapalılıkla ve seyirci arkasına yutucu yüzeyler eklenmesi ile birlikte engellenmektedir.

3.5.1.2. Elektroakustik tasarım senaryoları

Elektroakustik tasarım prensipleri ‘2.3.3.Elektroakustik Tasarım’ başlığı altında detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu prensipler gereği tasarım yapılacak hacmin yüksek yutuculukta olması gerekmektedir. Bunun sebebi hacme entegre edilecek olan seslendirme sisteminin hoparlörlerinden çıkacak olan sesin herhangi bir yansıma sebebinin istenmemesi ve buna dayalı sesin mekanın akustiğinden etkilenmeden direk seslendirme sisteminden gelmesinin sağlanmasıdır.

Senaryo 1 için elektroakustik tasarım

Bu öneri için malzemeler belirlenirken literatürden ve Odeon’daki mevcut malzemelerden yüzey için kullanılabilecek özellikteki ve özellikle yutuculuk katsayısı yüksek olan malzemeler seçilmiştir. Seçilen bu malzemelerin yutuculuk katsayıları Tablo 3.16’da görülmektedir. Elektroakustik tasarım için yüksek yutuculuk gerektiğinden dolayı tüm yüzeylere yutucu malzeme atanmıştır. Kısıtlılıklar göz önünde bulundurulduğunda, müdahale edilemeyen malzemelerin yüksek yansıtıcılıkta olması sebebiyle nesnel akustik parametreler açısından istenen değerler elde edilememiştir. Böylelikle belirlenen kısıtlılıklar gözardı edilmektedir. Kırmızı renkle gösterilen malzemeler, Senaryo 1 ve Senaryo 2 elektroakustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında iki senaryo için de değişen malzemeleri ifade etmektedir.

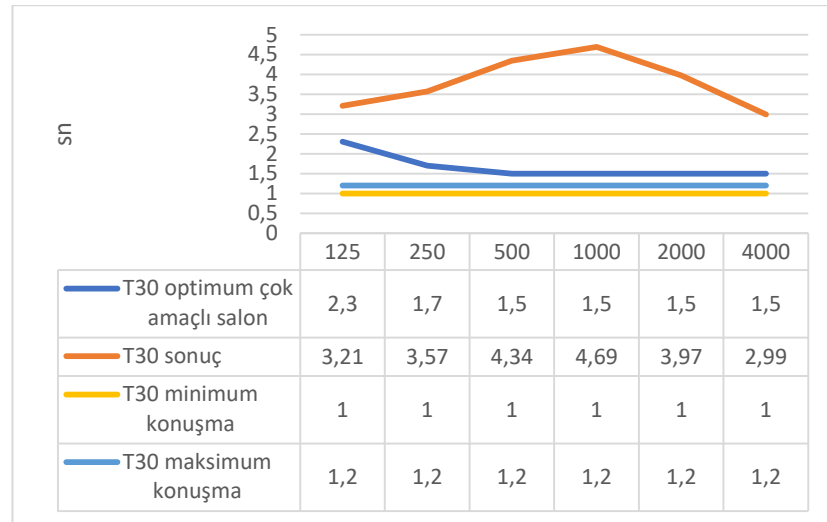
Tablo 3.16. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri

Kullanıldığı Alan	Yüzey Kodu	Alan (m ²)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayıları					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tavan panel (yutucu)	M1	82	2 cm akustik yutucu panel	0,90	0,90	0,90	0,95	1,00	1,00
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	49	2 cm derinlikli akustik yutucu panel	0,90	0,90	0,90	0,95	1,00	1,00
Sahne yansıtıcı panel	M3	38	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Sahne arka duvarı	M4	133	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Sahne zemini	M5	48	5 mm kalınlıkta keçe altlık ile 5 mm kalınlıkta halı	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72

Tablo 3.16. (Devam) Senaryo 1 elektroakustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri

Seyirci alanı	M6	290	Kumaş kaplı derin dolgulu kapitone boş koltuk	0,23	0,23	0,23	0,23	0,3	0,3
Seyirci alanı rıht kaplama	M7	190	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Seyirci alanı arka duvar	M8	98	2 cm derinlikli akustik yutucu panel	0,90	0,90	0,90	0,95	1,00	1,00
Merdiven	M9	85	5 mm kalınlıkta keçe altlık ile 5 mm kalınlıkta halı	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72

Belirlenen malzemeler sonucunda elde edilen yansıma süresinin tüm frekanslarda minimum değerlerde olması tercih edilen bir durumdur. Ancak yansıma süresinin minimum değerlerde olmadığı durumlarda seslendirme sisteminde farklı nitelikteki ürünler kullanılması gerekmektedir. Bu durumda kullanılan seslendirme sistemi yüksek maliyet gerektirebilir. Elde edilen yansıma süresi değerleri ve çok amaçlı salonlara göre optimum değerlerin karşılaştırılması Şekil 3.30’da görülmektedir. Elektroakustik sistem konuşma işlevi için tasarlanmaktadır. Bu sebeple çok amaçlı salonların optimum yansıma süresi değerleri ile birlikte konuşma işlevi için optimum yansıma süresi değerleri verilmiştir. Hesaplanan T30 değerleri için optimum koşulların elde edilmediği görülmektedir.

**Şekil 3.30.** Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan yansıma süresi ve optimum değerlerin karşılaştırılması

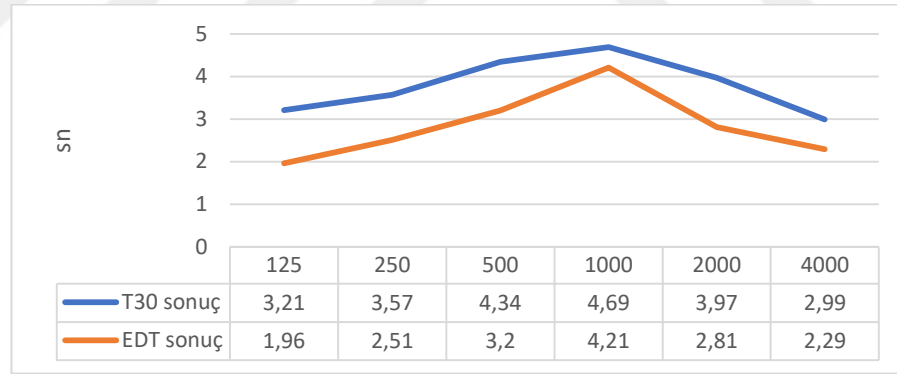
Yansıma süresinin optimum değerlerden yüksek olması diğer nesnel parametrelerin de büyük oranda optimum koşulları sağlayamayacağının göstergesidir. T30 değerlerinin frekanslara göre büyük farklılık göstermesi hacimde distorsiyon

etkisinin ve orta frekanslarda yansıma süresinin daha yüksek olması ise rezonans(renkendirme) etkisinin devam ettiğini göstermektedir. Tablo 3.17’de holdeki ve seyirci alanındaki tüm noktalarda hesaplanan nesnel akustik parametrelerin değeri görülmektedir. Hacmin BR değeri istenen seviyenin altındadır.

Tablo 3.17. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan akustik nesnel parametre değeri

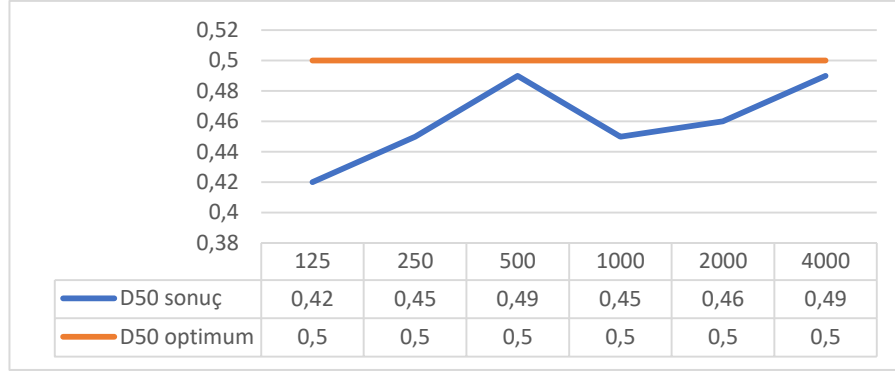
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	3,21	3,57	4,34	4,69	3,97	2,99
EDT	1,96	2,51	3,2	4,21	2,81	2,29
BR	0,75					
D50	0,42	0,45	0,49	0,45	0,46	0,49
C80	-5,2	-6,2	-7,9	-8,7	-10,2	-7,8

Amfi içindeki A noktaları ve holdeki B noktalarındaki ortalama EDT ve T30 değeri karşılaştırıldığında yüksek yutuculuktan dolayı EDT değeri düşük olduğu görülmektedir. Ancak Senaryo 1’in yarı açık olması sebebiyle sesin 30 dB sönümlenmesi için geçen süre daha uzundur. Şekil 3.31’de hesaplanan EDT ve T30 değeri karşılaştırılması görülmektedir.

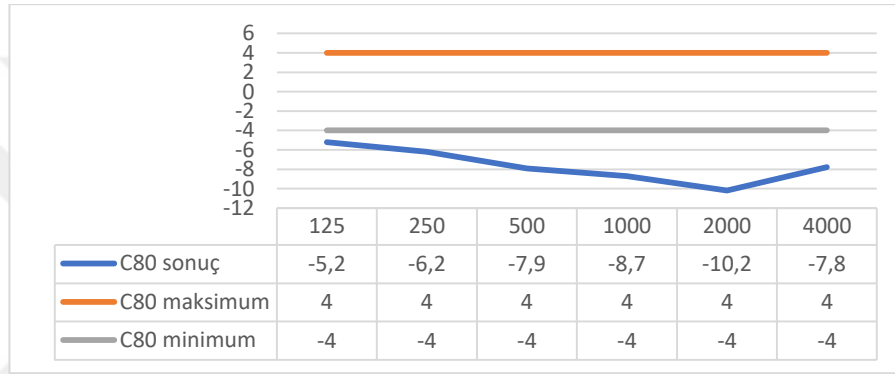


Şekil 3.31. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değeri karşılaştırılması

Yansıma süresinin optimum seviyeden yüksek olması netliğin ve anlaşılabilirliğin de istenen seviyede olmayacağını göstermektedir. Şekil 3.32 ve Şekil 3.33’te elektroakustik tasarım prensiplerine göre malzemeleri belirlenen Senaryo 1 tasarımının Odeon simülasyon programında hesaplanan C80 ve D50 değeri göstermektedir. Bu değeri optimum koşulları sağlamamaktadır. Ayrıca yüksek yansıma süresi sebebiyle seslendirme sisteminde uygun nitelikte elemanlar kullanılması gerekmektedir.



Şekil 3.32. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan D50 değ erlerinin optimum değ erlerle karşılaştıırılması



Şekil 3.33. Senaryo 1 elektroakustik tasarımda hesaplanan C80 değ erlerinin optimum değ erlerle karşılaştıırılması

Senaryo 1’de örtünün tasarım aşamasında alınan tedbirlerle akustik kusurlardan yankı ve odaklanmanın önlenmesi amaçlanmaktadır. Tüm tasarım yaklaşımlarında olduğu gibi elektroakustik tasarımda da üst örtünün odaklanma ve yankı oluşumunu büyük oranda önlediği 3.5.2.1.Doğal akustik tasarım senaryoları başlığı altında görseller üzerinden açıklanmaktadır.

Senaryo 1 elektroakustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında, yüksek oranda yutucu özellikte malzeme kullanılmasına rağmen, hacmin nesnel parametreler açısından uygun koşulları sağlamadığı görülmektedir. Ayrıca bu durum EDT ve T30 değ erleri arasında büyük farklar oluşmasına ve EDT’nin T30’a göre daha düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu durum hacimde yayınlıklığın olmadığını göstermektedir. Frekansa göre T30 değ erleri arasında büyük farkların oluşması hacimde distorsiyon olduğunu göstermektedir. Ayrıca orta frekanslarda diğer frekanslara oranla yüksek yansışım süresinin elde edilmesi sebebiyle hacimde rezonans etkisinin varlığından söz edilebilir. Bununla birlikte kubbeden kaynaklanan odaklanma yansıtıcı paneller ve seyirci

arkasındaki yutucu paneller yardımıyla büyük oranda engellenmektedir. Üst örtüden dolayı yankının, seyirci arkasındaki yutucu paneller sayesinde de maskelemenin büyük oranda önlendiği düşünülmektedir.

Senaryo 2 için elektroakustik tasarım

Senaryo 2 için malzemeler belirlenirken malzeme özelliklerinin istenmeyen yansımaları önleyecek şekilde yutucu olması ve hacmin tamamının olabildiğince minimum yansıma süresi değerlerinin altında kalmayacak şekilde tasarlanması prensibi göz önünde bulundurulmuştur. Kısıtlılık olarak belirlenen malzemelerin yüksek yansıtıcı özellikte olması sebebiyle bu tasarımda kısıtlılıklar göz ardı edilmiştir. Böylelikle Tablo 3.18’de gösterilen malzemeler belirlenen yüzeylere tanımlanmıştır. Yüksek yutuculuk gerektiği için tüm yüzeylere müdahale edilmiştir ve yutucu malzeme atanmıştır. Kırmızı renkle gösterilen malzemeler, Senaryo 1 ve Senaryo 2 elektroakustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında iki senaryo için de değişen malzemeleri ifade etmektedir.

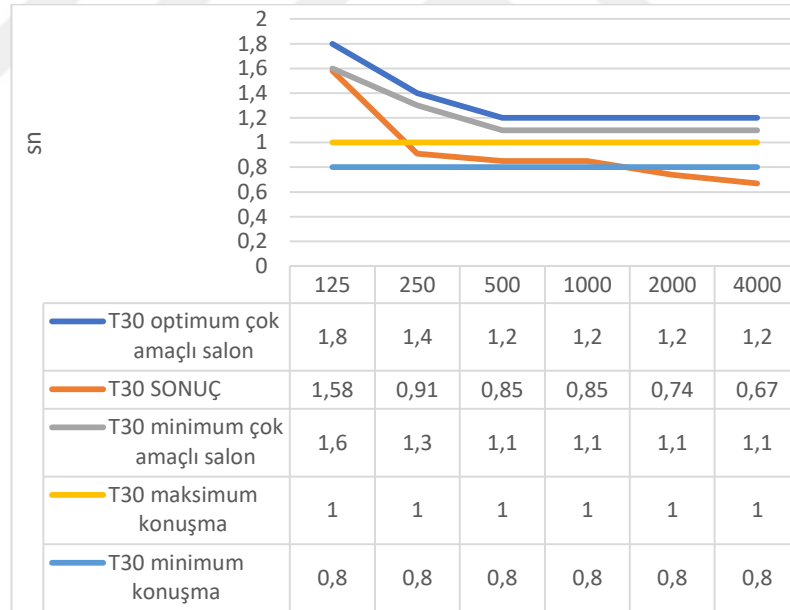
Tablo 3.18. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri

Kullanıldığı Alan	Yüzey Kodu	Alan (m ²)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayıları					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tavan panel (yutucu)	M1	302	Asma akustik panel	0,08	0,24	0,29	0,35	0,4	0,51
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	188	Asma akustik panel	0,08	0,24	0,29	0,35	0,4	0,51
Sahne yansıtıcı panel	M3	38	RPG Diffusors Inc.- “Clearsorber Panel”	0,23	0,59	0,35	0,2	0,1	0,08
Sahne arka duvarı	M4	133	RPG Diffusors Inc.- “Clearsorber Panel”	0,23	0,59	0,35	0,2	0,1	0,08
Sahne zemini	M5	48	Döşeme üzerine yapıştırılmış ince bükümlü halı	0,03	0,03	0,04	0,1	0,18	0,3
Seyirci alanı	M6	290	Kumaş kaplı derin dolgulu kapitone boş koltuk	0,23	0,23	0,23	0,23	0,3	0,3
Seyirci alanı rıht kaplama	M7	190	Çoklu ahşap saçıcı panel	0,23	0,51	0,36	0,37	0,31	0,23

Tablo 3.18.(Devam) Senaryo 2 elektroakustik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri

Seyirci alanı arkası duvar	M8	158	Çoklu ahşap saçıcı panel	0,23	0,51	0,36	0,37	0,31	0,23
Merdiven	M9	85	Döşeme üzerine yapıştırılmış ince bükümlü halı	0,03	0,03	0,04	0,1	0,18	0,3

Odeon’da hesaplanan T30 değerlerin optimum yansıma süresi değerleri ile karşılaştırılması Şekil 3.34’teki grafikte gösterilmektedir. Salonun yansıma süresi özellikle konuşma optimum yansıma süresi seviyesine yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Bunun sebebi hacme seslendirme sistemi eklendiğinde konuşma işlevi için uygun koşulların sağlanabilmesidir. Daha yüksek değerlerdeki optimum değerlerin baz alınması durumunda salon içerisindeki yansımalar konuşma işlevi için istenmeyen yansılara sebep olacaktır. Salonun özellikle düşük ve orta frekanslarda minimum konuşma seviyesine yaklaştığı görülmektedir. Bu sebeple seslendirme sisteminin entegre edilebilmesi için gereken yutuculuk seviyesinin büyük oranda sağlandığı görülmektedir.

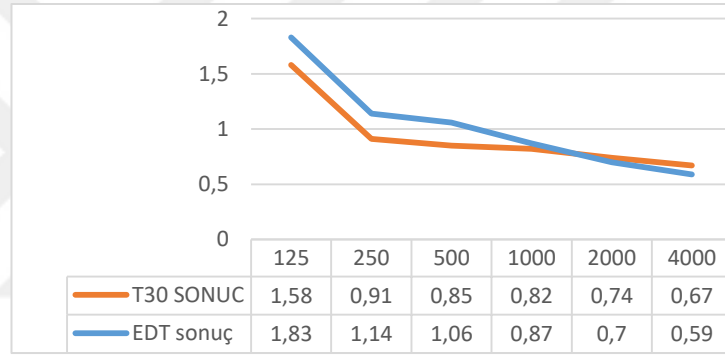
**Şekil 3.34.** Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan yansıma süresi sonuçları ve optimum değerlerin karşılaştırılması

Elde edilen yansıma süresi değerlerine göre hacimde distorsiyon etkisinin ve rezonansın engellendiği görülmektedir. Tablo 3.19’da hesaplanan ortalama akustik parametre değerleri yer almaktadır.

Tablo 3.19. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan nesnel akustik parametre değerleri

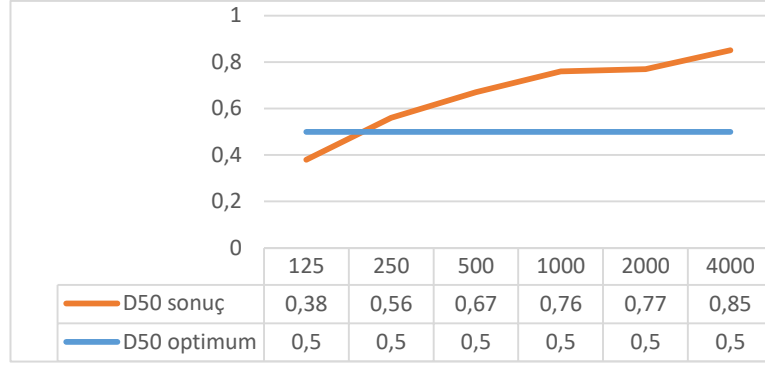
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	1,58	0,91	0,85	0,85	0,74	0,67
EDT	1,83	1,14	1,06	0,87	0,7	0,59
BR	1,46					
D50	0,38	0,56	0,67	0,76	0,77	0,85
C80	-0,55	3,53	4,6	6,75	8,19	9,74

Şekil 3.35'te T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması ile ilgili grafik yer almaktadır. T30 ve EDT değerleri karşılaştırıldığında 4000 Hz dışında istenen değerlerde olduğu görülmektedir. 4000 Hz'deki bu farklılığın sebebi ise özellikle tavan panellerinin 4000 Hz de yüksek yutuculukta olmasıdır.

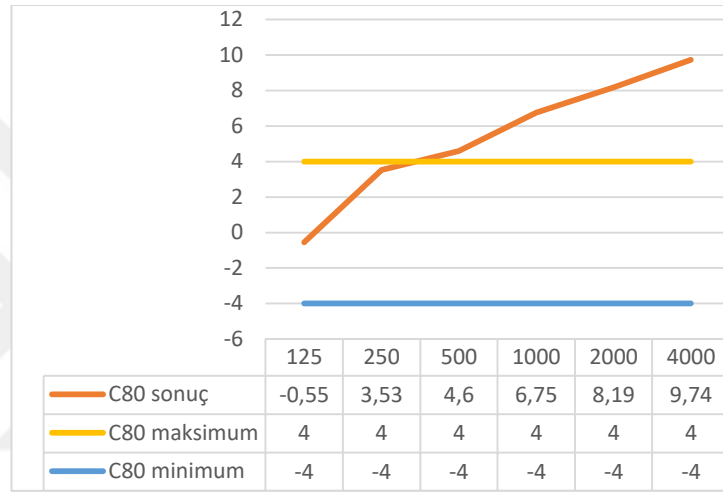


Şekil 3.35. Senaryo 2 elektroakustik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de C80 ve D50 değerlerinin optimum değerlerler karşılaştırılması görülmektedir. Salonun elektroakustik tasarım için tasarlandığı koşullarda D50 için 125 Hz dışında, C80 için ise 125 Hz ve 250 Hz tüm frekanslarda optimum koşulları sağladığı görülmektedir. C80 parametresi ise müzik işlevi için netliğin sağlanmasına yönelik, D50 ise konuşma işlevi açısından anlaşılabilirliğin sağlanabilmesine yönelik bir parametredir. Bu sonuçlara göre özellikle müzik işlevi için salonda bu şartlarda elektroakustik sistemin kullanılabileceği görülmektedir.



Şekil 3.36. Senaryo 2 elektroakustik tasarımıda hesaplanan D50 değerleri



Şekil 3.37. Senaryo 2 elektroakustik tasarımıda hesaplanan C80 değerleri

Senaryo 2’de akustik kusurlar açısından değerlendirildiğinde, tam kapalılıktan dolayı odaklanma ve yankı açısından olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Bununla birlikte riht kaplamasında kullanılan yutucu özellikte malzeme amfinin yarım daire şeklinden kaynaklanan ve sahnenin ortasında odaklanan ses enerjisinin odaklanma akustik kusuruna neden olmasına engel olmaktadır. Ayrıca kullanılan malzemelerin frekanslar arasında yutuculuk çarpanı açısından makul farklara sahip olması distorsiyon ve rezonans oluşumu üzerinde etkili olmaktadır.

Senaryo 2 elektroakustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında, elektroakustik tasarımıda yansışımın minimum seviyede olduğu bir mekan tercih edilmektedir. Odeonda hesaplanan yansışım süresi değerlerinin konuşma için minimum seviyelere kadar düşürüldüğü görülmektedir. En yüksek yansışım süresi değerleri ise çok amaçlı salonlar için istenen optimum koşulları aşmamaktadır. Değerlerin özellikle orta ve yüksek frekanslarda konuşma işlevinin ses sistemi kullanılmadan da gerçekleştirilebileceği

görülmektedir. Özellikle anlaşılabilirliğin orta ve yüksek frekanslarda optimum koşulları sağlaması mekanın konuşma için bu frekanslarda uygun olduğunu göstermektedir. Müzik için netliğin sağlanmaması sebebiyle müzik işlevi için ses sisteminin kullanılabileceği görülmektedir. Bununla birlikte Senaryo 2’de tüm tasarım yaklaşımlarında (doğal akustik, elektroakustik ve bütünleşik akustik) tam kapalılık sebebiyle maskelemenin, uygun yüzeylerde yutucu ve saçıcı özellikteki malzemelerin kullanılmasıyla ise yankı ve odaklanmanın engellendiği söylenebilir. Ayrıca Senaryo 2’de elektroakustik tasarımda EDT ve T30 değerleri karşı elde edildiği görülmektedir laştırıldığında bileşik hacim etkisi açısından olumlu sonuçlar.

3.5.1.3. Bütünleşik akustik tasarım senaryoları

Bütünleşik akustik tasarım prensipleriyle tasarlanan hacimler, hem seslendirme hem de doğal akustik tasarımın birlikte kullanılabildiği hacimlerdir. Bu konuyla ilgili detaylı bilgi ‘2.3.4. Bütünleşik Akustik Tasarımı’ başlığı altında anlatılmıştır. Bütünleşik akustik tasarım için senaryoların farklı işlevler için kullanılabileceği değiştirilebilir özellikte malzemeler düşünülmüştür. Senaryo 1 ve Senaryo 2 bu bölümde bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre tasarlanmış ve değiştirilebilir özellikte seçilen bir malzeme yardımıyla hem konuşma işlevi hem de müzik işlevi üzerinden ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

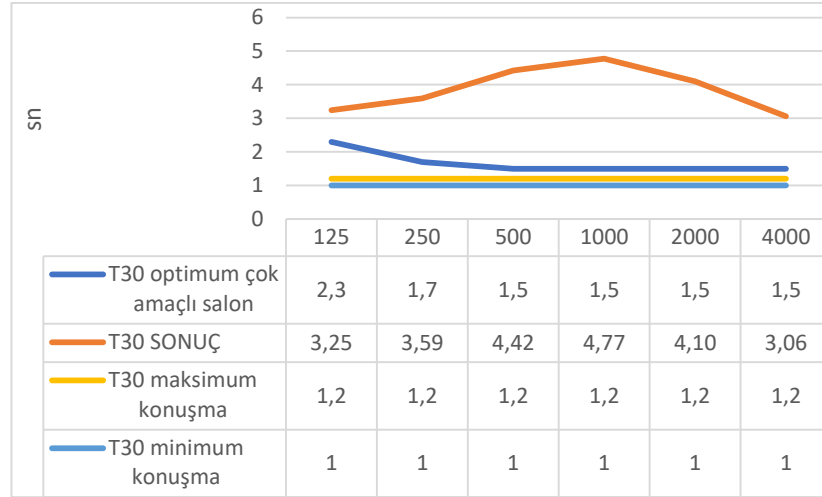
Senaryo 1 için bütünleşik akustik tasarım/konuşma

Hacimde hem doğal akustik tasarım koşullarının sağlanması hem de seslendirme sisteminin entegre edilebilmesi için farklı işlevlerde kullanılabilecek açılır kapanır özellikte açıkken yutucu kapalı iken yansıtıcı olacak şekilde değiştirilebilir akustik malzeme önerilmiştir. Belirlenen bu malzeme tavan panelinde kullanılmıştır. Tablo 3.20’de kullanılan malzemelerin özellikleri görülmektedir. Konuşma işlevinde yansıma süresinin müzik işlevine göre daha düşük olması anlaşılabilirlik açısından tercih edilen bir durumdur. Bu sebeple M2 kodlu tavan panelinin açık durumda (yutucu) kullanılması gerekmektedir. Böylelikle daha düşük bir yansıma süresi elde edilebilir. Senaryo 1’de konuşma ve müzik işlevine göre değiştirilebilir özellikteki tavan paneli kırmızı ile gösterilmektedir.

Tablo 3.20. Senaryo 1 bütünleşik tasarımı belirlenen malzemelerin özellikleri(konuşma)

Kullanıldığı Alan	Yüzey Kodu	Alan (m2)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayıları					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tavan panel (yutucu)	M1	82	2 cm derinlikli akustik yutucu panel	0,90	0,90	0,90	0,95	1,00	1,00
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	49	Değiştirilebilir akustik panel AÇIK durumda YUTUCU	0,8	0,82	0,81	0,65	0,59	0,39
Sahne yansıtıcı panel	M3	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sahne arka duvarı	M4	133	Taş duvar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Sahne zemini	M5	48	Mermer	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Seyirci alanı	M6	290	Kumaş kaplı derin dolgulu kapitone boş koltuk	0,23	0,23	0,23	0,23	0,3	0,3
Seyirci alanı rıht kaplama	M7	190	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Seyirci alanı arkası duvar	M8	98	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Merdiven	M9	85	5 mm kalınlıkta keçe altlık ile 5 mm kalınlıkta halı	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72

Şekil 3.38’de elde edilen sonuçlara göre optimum yansıma süresi değerlerinin karşılaştırılmasına ait grafik yer almaktadır. Ancak yüksek yutuculuk katsayısına sahip malzemelere rağmen Senaryo 1’de yansıma süresi açısından optimum koşullar elde edilememiştir. Ancak Senaryo 1 odaklanma ve yankının büyük oranda önlemektedir. Bununla birlikte distorsiyon ve rezonans(renglendirme) için istenen koşullar sağlanamamaktadır.



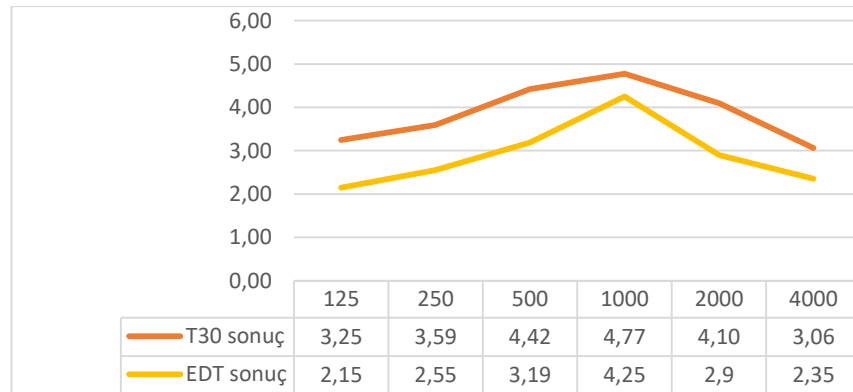
Şekil 3.38. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan yansım süresi sonuçları ve optimum değerlerin karşılaştırılması

Tablo 3.21’de bütünleşik akustik tasarım Senaryo 1 konuşma işlevi için simülasyon çalışması sonucunda elde edilen nesnel parametre değerleri yer almaktadır.

Tablo 3.21. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan nesnel akustik parametrelerin sonuçları

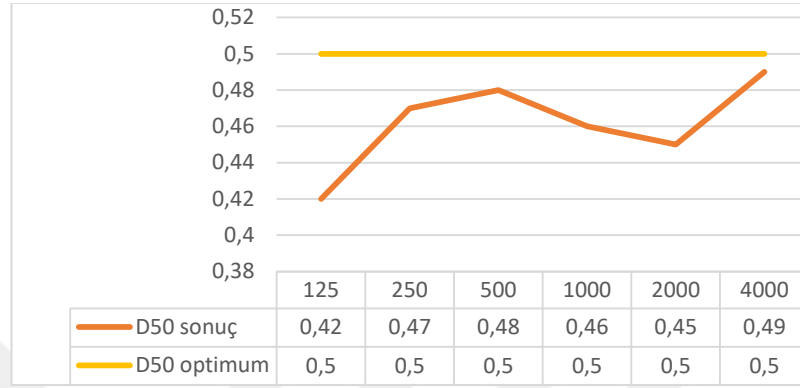
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	3,25	3,59	4,42	4,77	4,10	3,06
EDT	1,16	0,9	1,05	1,33	1,4	1,16
BR	0,74					
D50	0,42	0,47	0,48	0,46	0,45	0,49

Şekil 3.39 elde edilen T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması ile ilgili grafik bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre T30 değerleri EDT’den büyüktür. Bu durum EDT’nin istenen seviyede olmadığını göstergesidir. Ayrıca hacimde yayınlığının olmadığını göstermektedir.



Şekil 3.39. Senaryo 1 bütünleşik tasarımda hesaplanan T30 ve EDT değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.40 elde edilen D50 değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması ile ilgili grafik görülmektedir.



Şekil 3.40. Senaryo 1 bütünleşik tasarımıda hesaplanan D50 değerleri ve optimum değerler

Senaryo 1 akustik kusurlardan yankı ve kubbe örtünün sebep olduğu odaklanma açısından büyük oranda avantaj sağlamaktadır. Ancak bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre konuşma için kurgulandığında elde edilen sonuçların distorsiyon ve rezonans açısından yeterli değildir. Bununla birlikte EDT ve T30 arasındaki farklar sebebiyle bileşik hacim etkisinin varlığından söz edilebilir.

Senaryo 1 konuşma için bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında Odeon'dan elde edilen yansım süresi değerlerine göre Senaryo 1'de yansıtıcı ve yutucu özellikteki yüzeylerin bütünleşik akustik tasarım prensiplerine uygun koşullarda uygulanmasına rağmen istenen seviyede olmadığı görülmektedir. Bu durumda Senaryo 1'de gerekli yüzeylerde kullanılan yüksek yutuculuktaki malzemelere rağmen konuşma için uygun koşullar elde edilememektedir. Ayrıca anlaşılabilirliğin yüksek yansım süresi sebebiyle optimum koşulların altında kalması da bu durumun göstergesidir.

Senaryo 1 için bütünleşik akustik tasarım/müzik

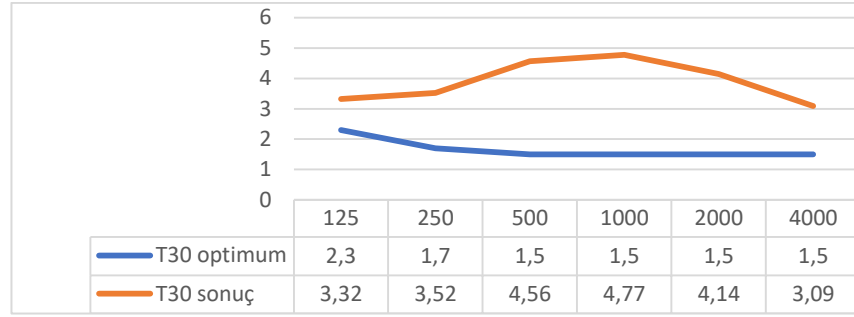
Belirlenen değiştirilebilir akustik malzeme Senaryo 1'de kapalı durumda kullanıldığında müzik işlevi için uygulanabilirlik durumu Tablo 3.22'de gösterilen malzemeler uygulanarak test edilmiştir. Belirlenen malzemenin kapalı durumdayken yüksek oranda yansıtıcı olması müzik işlevi için istenen bir durumdur. Bu yüzden tasarımıda yansıtıcı olarak belirlenen tavan paneller için uygulanmıştır ve kapalı

durumdaki paneller müzik işlevi açısından değerlendirilmiştir. Senaryo 1’de konuşma ve müzik işlevine göre değiştirilebilir özellikteki tavan paneli kırmızı ile gösterilmektedir.

Tablo 3.22. Senaryo 1 bütünleşik tasarımı belirlenen malzemelerin özellikleri(müzik)

Kullanıldığı Alan	Yüzey Kodu	Alan (m ²)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayıları					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tavan panel (yutucu)	M1	82	2 cm derinlikli akustik yutucu panel	0,90	0,90	0,90	0,95	1,00	1,00
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	49	Değiştirilebilir akustik panel KAPALI durumda (YANSITICI)	0,18	0,09	0,05	0,04	0,05	0,04
Sahne yansıtıcı panel	M3	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sahne arka duvarı	M4	133	Taş duvar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Sahne zemini	M5	48	Mermer	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Seyirci alanı	M6	290	Kumaş kaplı derin dolgulu kapitone boş koltuk	0,23	0,23	0,23	0,23	0,3	0,3
Seyirci alanı rıht kaplama	M7	190	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Seyirci alanı arkası duvar	M8	98	Poliüretan köpük ve kumaş akustik panel	0,4	0,84	1,00	0,96	1,00	0,9
Merdiven	M9	85	5 mm kalınlıkta keçe altlık ile 5 mm kalınlıkta halı	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72

Yukarıdaki malzemeler simülasyon programında uygulandıktan sonra Şekil 3.41’deki yansıma süresi sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre hacimde distorsiyon ve rezonans etkisi devam etmektedir.



Şekil 3.41. Senaryo 1 bütünleşik tasarımı hesaplanan yansıma süresi sonuçları ve optimum değerlerin karşılaştırılması

Tablo 3.23'te A ve B noktalarının ortalama nesnel akustik parametre değerleri bulunmaktadır. Ancak Senaryo 1'de bütünleşik akustik tasarım açısından tüm nesnel parametreler için optimum koşulların sağlanamadığı görülmektedir.

Tablo 3.23. Senaryo 1 bütünleşik tasarımı hesaplanan nesnel akustik parametre değerleri

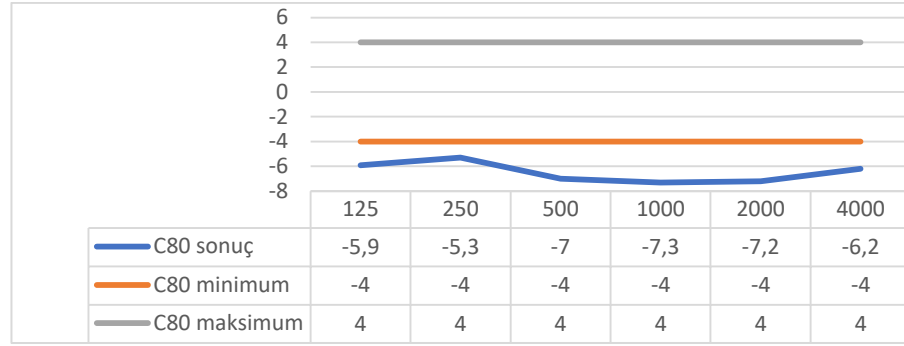
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	3,32	3,52	4,56	4,77	4,14	3,09
EDT	2,19	2,51	3,16	3,49	2,99	1,95
BR	0,81					
C80	-5,9	-5,3	-7	-7,3	-7,2	-6,2

Şekil 3.42'de Senaryo 1 bütünleşik tasarım müzik işlevi için EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması ile ilgili grafik görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre hacimde yayınlılığın olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.42. Senaryo 1 bütünleşik tasarımı hesaplanan EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.43'te elde edilen C80 değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması ile ilgili grafikler görülmektedir.



Şekil 3.43. Senaryo 1 bütünleşik tasarımıda hesaplanan C80 değerleri ve optimum değerler

Senaryo 1 bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre müzik için tasarlandığında, akustik kusurlar açısından konuşma için tasarlanan durumla benzer sonuçlar elde edilmektedir. Rezonans ve distorsiyon etkisi devam etmektedir. EDT ve T30 değerleri arasındaki fark sebebiyle bileşik hacim etkisi vardır. Seyirci alanındaki rıht yüzeylerindeki kaplama malzemesinin yutucu özellikte olması sebebiyle sahne alanında oluşan odaklanma büyük oranda önlenmektedir. Senaryo 1’de geliştirilen model yarı açık olması sebebiyle maskeleme etkisinin devam ettiği söylenebilir. Ancak seyirci arkasındaki yutucu paneller salonun mevcut durumuna göre büyük avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca seyirci arkasındaki yutucu özellikteki panellerin yankı açısından mevcut duruma göre avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak yankı yarı açık durumda tamamen önlenememektedir.

Senaryo 1 müzik için bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında Senaryo 1’de yüksek yansıma süresi elde edilmiştir. Bu değerler optimum koşulların üzerindedir. Bu sebeple Odeon’da hesaplanan değerlere göre müzik için netliğin azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte yankı, odaklanma ve maskeleme açısından mevcut duruma göre avantaj sağlanmaktadır. Ancak distorsiyon, rezonans ve bileşik hacim etkisi devam etmektedir.

Senaryo 2 için bütünleşik akustik tasarım/konuşma

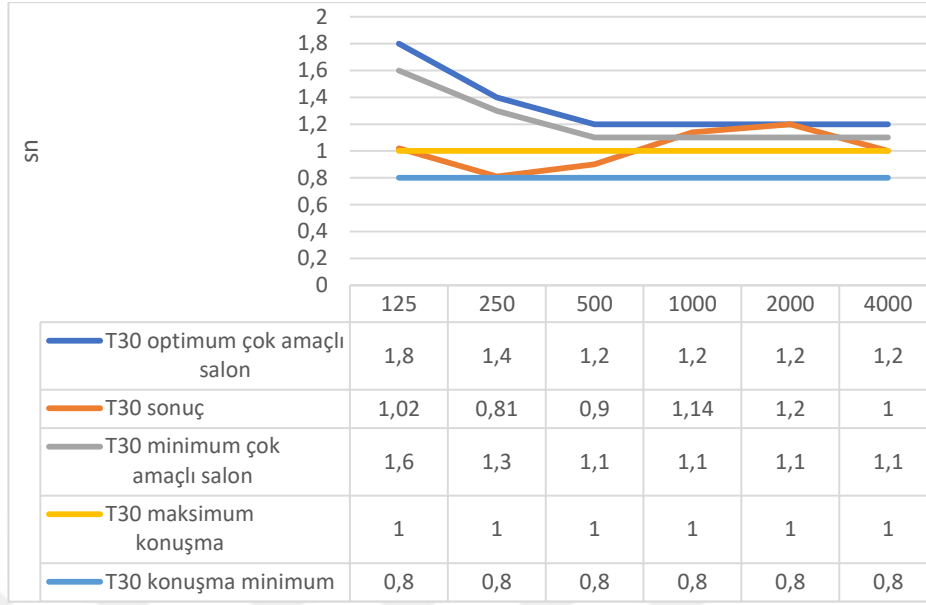
Senaryo 2 için bütünleşik akustik tasarım prensipleri gereğince malzemeler belirlenmiştir. Belirlenen bu malzemeler konuşma işlevi için optimum koşulları elde etmeye yöneliktir. Salonun yarı daire olması sebebiyle rıht yüzeylerin sebep olduğu odaklanmanın önlenmesi için bu yüzeylerde kullanılan malzemenin saçıcı özellikte olması önerilmektedir. Ayrıca bütünleşik akustik tasarım prensiplerini sağlayabilmek amacıyla değiştirilebilir özellikteki tavan malzemesi önerilmiştir. Böylelikle konuşma

işlevi için seslendirme sistemi kullanılabilir. Bu durumda tavan panel açıkken (yutucu) konuşma işlevi gerçekleştirilecek ve seslendirme sistemi kullanılacaktır. Paneller kapandığında (yansıtıcı) ise gerekli yansıma süresi elde edilerek müzik işlevi gerçekleştirilecektir. Bu malzemelerin belirlenen işlevler için optimum koşulları sağlayıp sağlamadığı test edilmiştir. Tablo 3.24’ te Senaryo 2 konuşma işlevi için simülasyon programında uygulanan malzemeler ve bu malzemelerin yutuculuk katsayısı görülmektedir. Senaryo 2’de konuşma ve müzik işlevine göre değiştirilebilir özellikteki tavan paneli kırmızı ile gösterilmektedir.

Tablo 3.24. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda belirlenen malzemelerin özellikleri(konuşma)

Kullanıldığı Alan	Yüzey Kodu	Alan (m2)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayıları					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tavan panel (yutucu)	M1	82	RPG Diffusors Inc.- “Clearsorber Panel”	0,23	0,59	0,35	0,2	0,1	0,08
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	49	Değiştirilebilir akustik panel AÇIK durumda (YUTUCU)	0,8	0,82	0,81	0,65	0,59	0,39
Sahne yansıtıcı panel	M3	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sahne arka duvarı	M4	133	Taş duvar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Sahne zemini	M5	48	Mermer	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Seyirci alanı	M6	290	Köpüklü lastik üstüne kumaş kaplı dolgulu (kapitone) boş koltuk	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,26
Seyirci alanı rıht kaplama	M7	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Seyirci alanı arkası duvar	M8	98	Çoklu ahşap saçıcı panel	0,23	0,51	0,36	0,37	0,31	0,23
Merdiven	M9	85	Beton üzeri 5 mm kalınlığında halı	0,04	0,04	0,08	0,12	0,1	0,1

Model simüle edildikten sonra Şekil 3.44’teki yansıma süresi değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin işlevi için ve çok amaçlı kullanım için istenilen değerlerde olduğu görülmektedir. Konuşma sesinin frekans aralığı 100 Hz ve 5000 Hz aralığında değişmektedir. Tüm bu frekanslarda yapılan değerlendirmeye göre tiz sesler dışında istenen yansıma süresi değerleri elde edilmiştir. Yansıma süresi değerleri minimum seviyenin altına düşmemektedir. Tiz sesler ise çok amaçlı kullanım için yeterli seviyededir.



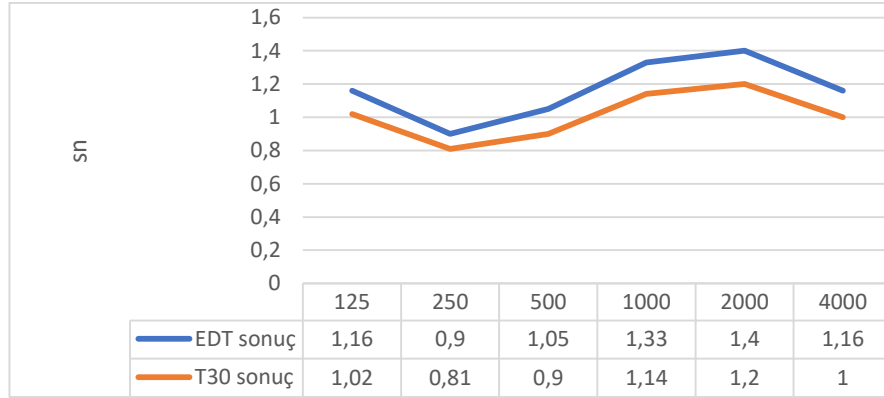
Şekil 3.44. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan yansıma süresi değerleri ve optimum değerlerin karşılaştırılması

Simülasyon programı yardımıyla Senaryo 2 için bütünleşik akustik tasarımda elde edilen diğer nesnel parametre değerleri Tablo 3.25'te görülmektedir. BR değerleri konuşma işlevi için gereken değerleri sağlamaktadır. Bu durum doğal akustik açısından da olumlu bir gelişmedir. Ancak T30 değerleri konuşma için minimum seviyelere yaklaşmasından dolayı hacimde ölü bir etki yaratacağı için müzik işlevi seslendirme sistemi ile desteklenebilir.

Tablo 3.25. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan ortalama nesnel akustik parametre değerleri

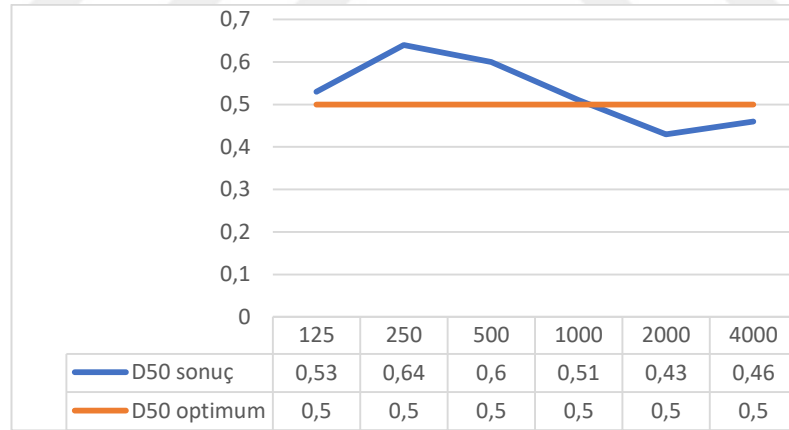
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	1,02	0,81	0,9	1,14	1,2	1,0
EDT	1,16	0,9	1,05	1,33	1,4	1,16
BR	0,9					
D50	0,53	0,64	0,6	0,51	0,43	0,46

Şekil 3.45'te EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik grafik görülmektedir. Bu grafiğe göre T30 değerlerinin %10 u üzerindedir ve EDT değerleri istenilen seviyededir.



Şekil 3.45. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması

Yansıma süresinde elde edilen değerler özellikle yüksek frekanslarda konuşma işlevinin maksimum değerlerinin üzerinde kalmaktadır. Ancak çok amaçlı kullanım için uygun seviyelerdedir. D50 parametresi ve optimum değerleri ile karşılaştırılması ile ilgili grafik Şekil 3.46’da görülmektedir. Yansımanın çok yüksek olduğu frekanslarda 0.5 in maksimum 0.07 kadar altında kalmıştır. Orta ve yüksek frekanslarda ise istenen koşulların sağlandığı görülmektedir. Bu durumda 2000 ve 4000 Hz dışında istenen koşulların sağlanmaktadır.



Şekil 3.46. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan D50 değerlerinin optimum değerler

Senaryo 2 konuşma için bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında, akustik kusurlar açısından olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Öncelikle hacmin tam kapalı olması maskeleye açısından avantajlıdır. Bununla birlikte odaklanma ve yankı önlenmektedir. Kubbe örtüden kaynaklanan odaklanma üst örtü yardımıyla, rıht yüzeylerinden kaynaklanan odaklanma ise rıht yüzeylerinde saçıcı özellikte malzeme kullanılarak engellenmektedir. Yankı, seyirci arkası yüzeylerde ve arka seyirci

bölgesindeki tavan yüzeylerinde yutucu özellikte malzeme kullanılarak engellenmektedir. Hacim bileşik hacim etkisine sebep olacak geometride değildir. Ayrıca EDT ve T30 değerleri karşılaştırıldığında istenen seviyede olduğu görülmektedir. Yansıma süresi değerleri rezonans ve distorsiyonun önlendiğini göstermektedir.

Senaryo 2 konuşma için bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında elde edilen nesnel akustik parametre değerlerinin konuşma ve çok amaçlı salon için istenen koşulları büyük oranda sağladığı görülmektedir. Ayrıca Senaryo 2 maskeleme ve bileşik hacim etkisi açısından avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte salon içerisindeki yüzeylere uygun yutuculuk katsayısı ve saçıcılık değerlerine sahip malzemeler seçildiğinde odaklanma, yankı, distorsiyon ve rezonans açısından iyi sonuçlar elde edilebilmektedir.

Senaryo 2 için bütünleşik akustik tasarım/müzik

Senaryo 2 konuşma işlevi için belirlenen malzemeler aynı şekilde müzik işlevi için de uygulanmıştır. Ancak belirlenen değiştirilebilir özellikteki tavan paneli kapalı durumda kabul edilmiştir. Belirlenen panelin kapalı durumda yansıtıcı özellikte olması müzik işlevi için tercih edilen bir durumdur. Senaryo 2 müzik işlevi için belirlenen malzemelerin yutuculuk çarpanları ve özellikleri Tablo 3.26’da görülmektedir. Senaryo 2’de konuşma ve müzik işlevine göre değiştirilebilir özellikteki tavan paneli kırmızı ile gösterilmektedir.

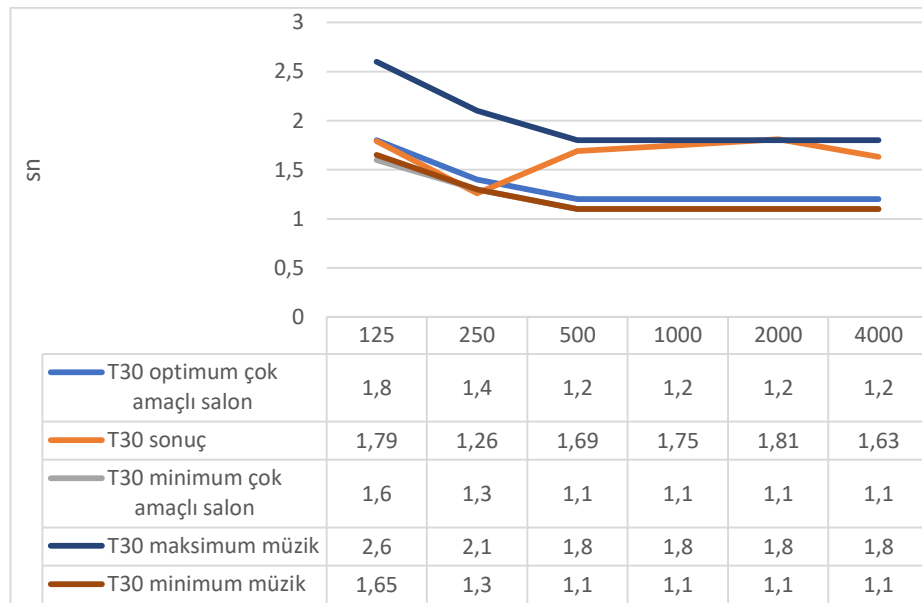
Tablo 3.26. *Senaryo 2 bütünleşik tasarımda belirlenen malzemeleri özellikleri ve yutuculuk katsayıları (müzik)*

Kullanıldığı Alan	Yüze y Kodu	Alan (m ²)	Malzeme Adı	Yutuculuk Katsayıları					
				125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Tavan panel (yutucu)	M1	302	RPG Diffusors Inc.- “Clearsorber Panel”	0,23	0,59	0,35	0,2	0,1	0,08
Tavan panel (yansıtıcı)	M2	188	Değiştirilebilir akustik panel KAPALI durumda (YANSITICI)	0,18	0,09	0,05	0,04	0,05	0,04
Sahne yansıtıcı panel	M7	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Sahne arka duvarı	M4	133	Taş duvar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05

Tablo 3.26.(Devam) Senaryo 2 bütünleşik tasarımda belirlenen malzemeleri özellikleri ve yutuculuk katsayıları (müzik)

Sahne zemini	M5	48	Mermer	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Seyirci alanı	M6	290	Köpüklü lastik üstüne kumaş kaplı dolgulu (kapitone) boş koltuk	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,26
Seyirci alanı rıht kaplama	M3	38	Yansıtıcı ahşap panel	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Seyirci alanı arkası duvar	M8	158	Çoklu ahşap saçıcı panel	0,23	0,51	0,36	0,37	0,31	0,23
Merdiven	M9	85	Beton üzeri 5 mm kalınlığında halı	0,04	0,04	0,08	0,12	0,1	0,1

Model üzerinde belirlenen malzemeler uygulanarak simüle edildikten sonra Şekil 47’deki yansıma süresi değerleri elde edilmiştir. Senaryo 2 için belirlenen malzemelerle doğal akustik müzik işlevinin sağlanabilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 3.52’deki yansıma süresi değerlerine göre salonun bu şekilde çok amaçlı kullanım minimum ve müzik için maksimum değerleri arasında kaldığı görülmektedir. Düşük frekanslarda yüksek yutuculuktaki malzemeler sebebiyle yansıma süresi değerleri minimum çok amaçlı salon yansıma süresi değerlerine yaklaşmaktadır. Diğer frekanslarda ise müzik için optimum koşulların sağlandığı görülmektedir.



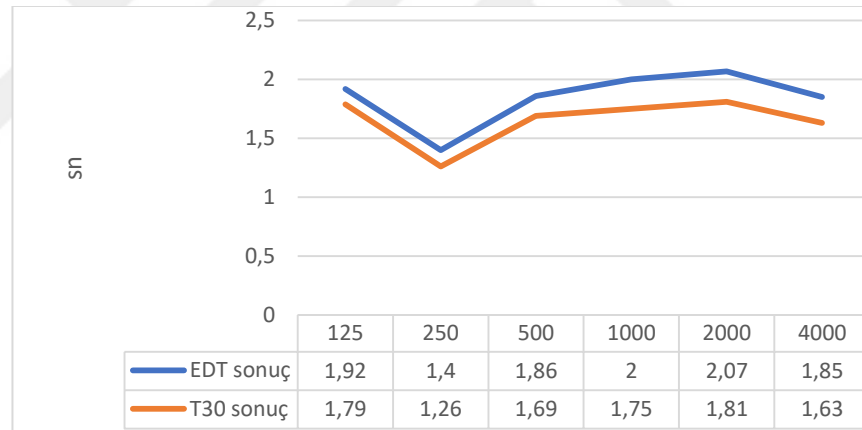
Şekil 3.47. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan yansıma süresi değerleri ve optimum değerlerle karşılaştırılması

Tablo 3.27’de Senaryo 2’nin bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre müzik için simüle edilerek elde edilen diğer nesnel akustik parametre değerleri görülmektedir. Yansıma süresinin alçak frekanslarda orta frekanslardan düşük olması sebebiyle BR değerlerinde istenen değerler elde edilememiştir. Bunun sebebi hacim içerisinde özellikle düşük frekanslarda diğer frekanslara göre yüksek yutuculukta malzemelerin kullanılmış olmasıdır.

Tablo 3.27. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan ortalama nesnel akustik parametre değerleri

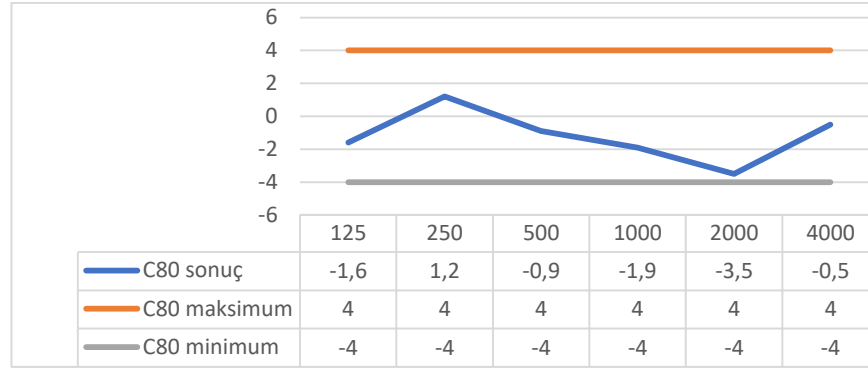
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
T30	1,79	1,26	1,69	1,75	1,81	1,63
EDT	1,92	1,4	1,86	2,00	2,07	1,85
BR	0,84					
C80	-1,6	1,2	-0,9	-1,9	-3,5	-0,5

Şekil 3.48’de EDT ve T30 değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu sonuçlara göre EDT değerleri istenen seviyededir.



Şekil 3.48. Senaryo 2 bütünleşik tasarımda hesaplanan EDT ve T30 değerlerinin karşılaştırılması

Elde edilen yansıma süresi değerlerine göre hacim doğal akustik tasarım anlamında müzik işlevi için gerekli yansıma süresi açısından optimum koşulları sağlamaktadır. Bununla birlikte müzik netliği açısından C80 parametresi -4 ve +4 değerleri arasında kalan sonuçlar elde edilmiştir. Böylelikle hacimde tavan akustik panel için seçilen değiştirilebilir özellikte malzeme kapalı durumdayken müzik için netliğin istenilen seviyede olduğu görülmektedir. Şekil 3.49’da elde edilen C80 değerlerinin optimum değerlerle karşılaştırılması ile ilgili görsel yer almaktadır.



Şekil 3.49. Senaryo 2 bütünleşik tasarımıda hesaplanan C80 değerleri ve optimum değerlerin karşılaştırılması

Senaryo 2 müzik için bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre tasarlandığında yansıma süresi açısından müzik için istenen değerlerin elde edilebildiği görülmektedir. Böylelikle müzik için netlik değerleri optimum seviyede elde edilmiştir. Ancak alçak frekanslarda orta frekanslara oranla düşük yansıma süresi elde edilmesi sebebiyle BR değerleri istenen seviyede değildir.

3.5.2. Simülasyon sonuçlarının senaryolar arasında karşılaştırılarak değerlendirilmesi

Bu bölümde elde edilen iyileştirme modellerinin nesnel akustik verileri karşılaştırılmalı bir şekilde tartışılmıştır.

3.5.2.1. Yansıma süresi

Salonun mevcut durumunun yansıma süresi çok amaçlı olarak kullanılan bir salon için hacim büyüklüğü üzerinden değerlendirildiğinde optimum değerlerin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca değerler arasındaki farkın fazla olması distorsiyon oluşumuna sebep olmaktadır. Tablo 3.28’de Senaryo 1’in tüm tasarım yaklaşımlarının değerlendirilmesi sonucunda elde edilen yansıma süresi değerleri görülmektedir. Yüksek yansıma süresi Senaryo 1’deki tüm tasarım yaklaşımlarında mevcut durumun altında kalmaktadır. Böylelikle elde edilen yansıma süreleri müzik için maksimum değerlere yaklaşmaktadır. Tüm tasarım yaklaşımlarında 1000 Hz dışında diğer frekanslarda müzik için maksimum ve minimum değerlerin arasında kalmaktadır. Ancak müzik için netliğin sağlanabilmesi gerekmektedir. Ayrıca konuşma için elde edilen yansıma süresinin optimum koşulların üzerinde olması konuşma için anlaşılabilirliğin azalmasına sebep

olmaktadır. Çok amaçlı kullanım için değerlendirildiğinde Senaryo 1 için elde edilen yansışım süreleri istenen değerlerin üzerindedir.

Tablo 3.28. Senaryo 1 için hesaplanan yansışım süresi değerleri ve optimum değerler

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 1 doğal akustik tasarım	3,34	3,78	4,58	4,84	4,14	3,08
Senaryo 1 elektroakustik tasarım	3,21	3,57	4,34	4,69	3,97	2,99
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/konuşma	3,25	3,59	4,42	4,77	4,10	3,06
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/müzik	3,32	3,52	4,56	4,77	4,14	3,09
Çok amaçlı salon optimum	2,3	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5
Konuşma optimum	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Müzik maksimum	6,75	5,18	4,5	4,5	4,5	4,5
Müzik minimum	3,45	2,6	2,3	2,3	2,3	2,3

Senaryo 2’de tam kapalılık durumunda da yine doğal akustik, elektroakustik ve bütünleşik akustik sistemlerin gerekliliklerine göre kurgu yapılmıştır. Bu tasarım yaklaşımlarında elde edilen yansışım süresi sonuçları Senaryo 1’e göre daha uygun olduğu söylenebilir. Tablo 3.29’da mevcut durum ve Senaryo 2 için elde edilen yansışım süresi değerleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. Böylelikle Senaryo 2’de uygun koşullarda malzeme seçimi yapıldığında yansışım süresi açısından optimum değerlerin sağlanabildiği görülmektedir.

Tablo 3.29. Senaryo 2 için hesaplanan yansışım süresi değerleri ve optimum değerler

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 2 doğal akustik tasarım	1,85	1,35	1,28	1,36	1,2	1,12
Senaryo 2 elektro akustik tasarım	1,58	0,91	0,85	0,85	0,74	0,67
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/konuşma	1,02	0,81	0,9	1,14	1,2	1,00
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/müzik	1,79	1,26	1,69	1,75	1,81	1,63
Çok amaçlı salon optimum	1,8	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2
Konuşma optimum	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Müzik minimum	1,65	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1
Müzik maksimum	2,6	2,1	1,8	1,8	1,8	1,8

3.5.2.2. Erken düşme süresi

Mevcut durumda özellikle orta frekanslarda EDT değerlerinin diğer frekanslara göre yüksek olduğu görülmektedir. Tüm frekanslarda ise EDT değerleri optimum koşulların üzerindedir. Senaryo 1’de EDT değerleri farklı kurgularda elde edilen sonuçlara göre mevcut durumun altında kalsa da müzik işlevi dışında optimum koşulları sağlamamaktadır. Bu durumda çok amaçlı kullanım için özellikle konuşma işlevi için

yüksek EDT değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.30'da tüm değerlerin karşılaştırılması görülmektedir. Senaryo 1 için tüm tasarım yaklaşımlarında EDT değerlerinin optimum koşulları sağlamadığı görülmektedir.

Tablo 3.4. Senaryo 1 EDT değerlerinin karşılaştırılması ve optimum değerler

(sn)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 1 doğal akustik tasarım	2,22	2,53	3,25	3,75	2,96	1,89
Senaryo 1 elektro akustik tasarım	1,96	2,56	3,2	4,21	2,81	2,29
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/konuşma	2,15	2,55	3,19	4,25	2,9	2,35
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/müzik	2,19	2,51	3,16	3,49	2,99	1,95
Çok amaçlı salon optimum	2,3	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5
Konuşma optimum	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Müzik maksimum	6,75	5,18	4,5	4,5	4,5	4,5
Müzik minimum	3,45	2,6	2,3	2,3	2,3	2,3

EDT değerleri T30 ile karşılaştırıldığında T30 ile eşit ya da 1.1'inden daha yüksek olmalıdır. Buna göre EDT değerlerinde Senaryo 2'de Senaryo 1'e göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3.31'de bu değerler karşılaştırılmalı olarak görülmektedir. Senaryo 2'de doğru malzeme seçimi yapıldığında EDT değerlerinin istenen seviyeye yaklaştığı görülmektedir.

Tablo 3.31. Senaryo 2 EDT değerlerinin karşılaştırılması ve optimum değerler

(sn)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 2 doğal akustik tasarım	1,98	1,54	1,4	1,51	1,43	1,09
Senaryo 2 elektro akustik tasarım	1,83	1,14	1,06	0,87	0,7	0,59
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/konuşma	1,16	0,9	1,05	1,33	1,4	1,16
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/müzik	1,92	1,4	1,86	2,00	2,07	1,85
Çok amaçlı salon optimum	1,8	1,4	1,2	1,2	1,2	1,8
Konuşma optimum	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Müzik minimum	1,65	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1
Müzik maksimum	2,6	2,1	1,8	1,8	1,8	1,8

3.5.2.3. Bass oranı

Bass oranı salonun sıcaklık anlamında ne kadar iyi olduğunun bir göstergesidir. Bu durumda elde edilen değerler özellikle alçak frekansların ve orta frekanslara oranı ile ilgili ipuçları vermektedir. Salonun mevcut durumunda orta frekansların fazla yüksek olması BR değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Senaryo 1 ile elde edilen BR değerleri mevcut durumun üzerindedir. Ancak hem konuşma hem de müzik işlevinin gerçekleştirildiği çok amaçlı salon için ne konuşma ne de müzik için istenen koşulları

sağlamamaktadır. Tablo 3.32’de Senaryo 1’de elde edilen BR değerleri elde edilmesi gereken maksimum ve minimum BR değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Senaryo 1’de hem müzik hem konuşma açısından BR değerleri istenen seviyede değildir. Bu nedenle yarı açık tasarımda sıcaklık açısından istenen koşullar sağlanamamaktadır.

Tablo 3.32. Senaryo 1’de elde edilen BR değerleri ve optimum değerler

Senaryo 1 doğal akustik	0,76
Senaryo 1 elektro akustik tasarım	0,75
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/konuşma	0,74
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/müzik	0,81
Müzik için minimum	1,0
Müzik için maksimum	1,3
Konuşma için minimum	0.9
Konuşma için maksimum	1,0

Senaryo 2 için elde edilen BR değerleri ise Tablo 3.33’te görülmektedir. Bu değerlere göre alçak frekanslarda yansıma süresindeki değerlerin yüksek olması sebebiyle en yüksek değerler elektroakustik tasarım için yapılan kurguda elde edilmiştir. Ayrıca doğal akustikte müzik için uygun koşullar elde edilmiştir. Bütünleşik tasarım konuşma için geliştirilen kurgu da BR değerleri açısından uygundur. Ayrıca hacim işleve göre öznel parametrelerden sıcaklık parametresini sağlayabilmektedir.

Tablo 3.33. Senaryo 2’de elde edilen BR değerleri ve optimum değerler

Senaryo 2 doğal akustik	1,2
Senaryo 2 elektroakustik	1,46
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/konuşma	0,9
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/müzik	0.84
Müzik için minimum	1,0
Müzik için maksimum	1,3
Konuşma için minimum	0.9
Konuşma için maksimum	1,0

3.5.2.4. Ayırtedilebilirlik

Ayırtedilebilirlik konuşma amacı için kullanılan salonlarda 0,5 in üzerinde olması istenen nesnel akustik parametredir. Yüksek yansıma süresi elde edildiğinde bu değer düşer ve konuşma için anlaşılabilirlik azalır. Tablo 3.34’te düşük D50 değerleri Senaryo 1’deki farklı kurgularda bu değerlerin üzerindedir ve 0,5’e yaklaşmaktadır. Buna göre

anlaşılabilirliğin mevcut durumdan daha iyi olduğu söylenebilir. Ancak istenen değerler sağlanamamaktadır. Bu yüzden konuşma için belirginlik sağlanamamaktadır.

Tablo 3.34. Senaryo 1’de elde edilen D50 değerleri ve minimum değerler

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 1 doğal akustik tasarım	0,41	0,47	0,46	0,45	0,46	0,48
Senaryo 1 elektroakustik tasarım	0,42	0,45	0,49	0,45	0,46	0,49
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/ konuşma	0,42	0,47	0,48	0,46	0,45	0,49
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/müzik	0,42	0,47	0,46	0,47	0,48	0,5
D50 minimum	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tablo 3.35’te ise Senaryo 2’nin farklı kurgularında elde edilen D50 değerleri görülmektedir. Bu durumda konuşma işlevi açısından Senaryo 2’nin Senaryo 1’e göre daha olumlu olduğu söylenebilir. Bütünleşik akustik tasarımda müzik işlevi için kurgulanan modelde elde edilen değerler dışında diğer kurgularda 0,5 in üzerinde değerler elde edilmiştir. Müzik işlevi için ise yüksek yansım istenen bir durumdur. Böylelikle D50 değerleri düşmektedir. Konuşma için tasarlanan tasarım yaklaşımlarında Senaryo 2’de D50 değerlerinin optimum koşullarda sağlanabildiği görülmektedir. Böylelikle belirginlik de sağlanabilmektedir.

Tablo 3.35. Senaryo 2’de elde edilen D50 değerleri ve minimum değerler

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 2 doğal akustik tasarım	0,35	0,4	0,55	0,5	0,59	0,4
Senaryo 2 elektroakustik tasarım	0,38	0,56	0,67	0,76	0,77	0,85
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/ konuşma	0,53	0,64	0,6	0,51	0,43	0,46
Senaryo 2 bütünleşik tasarım/müzik	0,34	0,45	0,35	0,3	0,26	0,36
D50 minimum	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

3.5.2.5. Netlik

Netlik müzik işlevinin uygun koşullarda icra edilebilmesi için istenen bir parametredir. Değerlerin -4 ve +4 aralığında olması gerekmektedir. Senaryo 1’de yüksek yansıma süresi sebebiyle netlik için tüm kurgularda istenen değerler elde edilememektedir. Tablo 3.36’da mevcut durum ve Senaryo 1’de elde edilen C80 değerlerinin maksimum ve minimum değerlerle kıyaslanmaktadır. Senaryo 1’de tüm tasarım yaklaşımlarında netlik açısından optimum koşulların sağlanamadığı görülmektedir. Ayrıca müzik için açıklık parametresinin de sağlanamadığı görülmektedir.

Tablo 3.36. Senaryo 1’de elde edilen C80 değerleri ve minimum değerler

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 1 doğal akustik tasarım	-6	-5,3	-6,6	-6,6	-6,4	-4,9
Senaryo 1 elektroakustik tasarım	-5,2	-6,2	-7,9	-8,7	-10,2	-7,8
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/ konuşma	-5,2	-6,2	-7,9	-8,7	-10,2	-7,8
Senaryo 1 bütünleşik tasarım/müzik	-5,9	-5,3	-7	-7,3	-7,2	-6,2
C80 minimum	-4	-4	-4	-4	-4	-4
C80 maksimum	+4	+4	+4	+4	+4	+4

Senaryo 2’de ise doğal akustik tasarım çok amaçlı kullanım için tasarlanmıştır ve müzik için netlik elde edilebilmektedir. Elektroakustik tasarımda ise salona seslendirme sisteminin uygulanabilmesi için ölü bir hacim istenmektedir. Değerlerin +4 ün üzerinde kalması sebebiyle özellikle 500-1000-2000-4000 Hz’de bu değerlerin elde edilebildiği görülmektedir. Bütünleşik tasarımdaki 2 farklı kurgu için ise netlik açısından istenen değerlerin sağlandığı görülmektedir. Tablo 3.37’de elde edilen değerler ve maksimum minimum değerler yer almaktadır. Bu sonuçlara göre müzik için tasarlanan tasarım yaklaşımlarında netlik açısından optimum koşulların sağlanabildiği görülmektedir. Buna bağlı olarak açıklık parametresinin de sağlanabildiği görülmektedir.

Tablo 3.37. Senaryo 2’de elde edilen C80 değerleri ve minimum değerler

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Senaryo 2 doğal akustik tasarım	-2,1	0,5	3,1	0,9	1,2	2
Senaryo 2 elektroakustik tasarım	-0,55	3,53	4,6	6,75	8,19	9,74
Senaryo 2 bütünselik tasarım/ konuşma	3,2	6	4,2	2,1	0,3	1,6
Senaryo 2 bütünselik tasarım/müzik	-1,6	1,2	-0,9	-1,9	-3,5	-0,5
C80 minimum	-4	-4	-4	-4	-4	-4
C80 maksimum	+4	+4	+4	+4	+4	+4

3.6. Alan Çalışması Genel Değerlendirme

Tez kapsamında alanda yapılan ölçümler ve kalibrasyon modelinden elde edilen veriler sonucunda Eskişehir Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezinde yer alan amfinin çok uzun yansıma süresi değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum konuşma anlaşılabilirliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca netlik açısından da istenen koşulların sağlanamadığı görülmektedir. Bu durumda nesnel açıdan akustik konfor koşulları sağlanamamaktadır. Bununla birlikte salonda odaklanma, yankı, maskeleme, rezonans, distorsiyon ve bileşik hacim etkisi gibi akustik kusurların olduğu görülmektedir.

Salonda akustik iyileştirme için geliştirilen 2 farklı senaryodan özellikle Senaryo 1’in nesnel parametreler açısından uygun sonuçlar vermediği görülmektedir. Senaryo 1 yarı açık olması sebebiyle yansıma süresi uzundur ve amfi içindeki yüzeyler yutucu özellikte bile olsa yansıma süresi açısından optimum koşullar sağlanamamaktadır. Ancak Senaryo 1’de tasarlanan tavan panelleri hacimde kubbe örtüden yansıyarak gelen ses enerjisinin amfideki sahnede odaklanmasını engellemektedir. Bununla birlikte yankı oluşumunu önemli oranda engellediği görülmektedir. Ancak distorsiyon, bileşik hacim etkisi, rezonans ve maskeleme gibi akustik kusurlar bu senaryoda engellenememektedir. Senaryo 2 için tam kapalıktan dolayı daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Doğal akustik, elektroakustik ve bütünselik akustik tasarım yaklaşımları için geliştirilen farklı öneri salon tasarımlarında, nesnel parametreler ve akustik kusurlar açısından çok amaçlı kullanım için uygun koşullar sağlanmıştır.

3.7. Kubbe Örtülü ve Çok Amaçlı Salonlarda Akustik Performansın İyileştirilebilmesine Yönelik Öneriler

Alan çalışmasında elde edilen veriler, kubbe örtülü yapılarda akustik performansın iyileştirilebilmesi için hem tasarım aşamasında, hem de mevcut binalarda akustik tasarım ya da akustik iyileştirme yapılırken dikkat edilmesi gerekenler konusunda tasarımcılara ön bilgi sunmaktadır. Bu nedenle bu başlık altında hem tasarımcılar hem de araştırmacılar için kubbe örtülü ve çok amaçlı olarak kullanılan salonlarda akustik performansın sağlanabilmesine yönelik öneriler kaynaklardan da elde edilen bilgilerle tartışılmaktadır.

Çok amaçlı salonlarda kubbe örtü gibi içbükey yüzeyler tasarlanırken ya da iyileştirme çalışmaları yapılırken dikkat edilmesi gerekenler şu şekilde sıralanabilir:

- Öncelikle hacmin tasarım aşamasında hangi tasarım yaklaşımına göre tasarlanacağı belirlenmelidir. Hacimde seslendirme sistemi kullanılacaksa elektroakustik tasarım prensiplerine göre kullanılmayacaksa hacim doğal akustik ya da bütünleşik akustik tasarım prensiplerine göre tasarlanmalıdır(Tablo 3.38).

Tablo 3.38. *Tasarım yaklaşımları üzerinden öneriler*

	Hacim büyüklüğü	Yansıtıcı paneller	Yansıma süresi	Maskeleme	Distorsiyon/ Rezonans	Bileşik hacim	Yankı
Doğal Akustik	Kişi sayısına göre optimum seviyede olmalı	Sahne ve kaynağa yakın tavan ve yan duvarlarda kullanılmalı	Çok amaçlı salonlara göre optimum olmalı	Arka plan gürültüsü uygun seviyeye çekilmeli	Çok amaçlı kullanıma ve frekansa göre uygun malzeme seçilmeli	Bileşik hacimler ana hacimden ayrılmalı	Seyirci arkası ve arka seyirci bölgesi tavan yutucu olmalı
Elektroakustik	Kişi sayısına göre optimum seviyede olmalı ya da uygun seslendirme sistemi çözülmeli	Tüm yüzeyler yutucu olmalı	Çok amaçlı salonlara göre minimum olmalı	Arka plan gürültüsü uygun seviyeye çekilmeli	Tüm frekanslarda yutucu özellikte malzeme seçilmeli	Bileşik hacimler ana hacimden ayrılmalı	Tüm yüzeyler yutucu olmalı
Bütünleşik Akustik	Kişi sayısına göre optimum seviyede olmalı	Sahne ve kaynağa yakın tavan ve yan duvarlarda kullanılmalı	Çok amaçlı salonlara göre optimum olmalı	Arka plan gürültüsü uygun seviyeye çekilmeli	Çok amaçlı kullanıma ve frekansa göre değiştirilebilir özellikte malzeme seçilmeli	Bileşik hacimler ana hacimden ayrılmalı	Seyirci arkası ve arka seyirci bölgesi tavan yutucu olmalı

- Alomari, Gandah ve Khraisat kubbe örtülü yapılarda akustik performansa yönelik yaptığı bir çalışmada kubbenin hacim büyüklüğünün akustik performans ve konuşma anlaşılabilirliği üzerinde büyük etkisi olduğunu savunmaktadır (Alomari, Gandah, & Khraisat, 2019). Alan çalışmasında elde edilen nesnel veriler bu bilgiyi doğrular niteliktedir. Hacmin kişi sayısına göre gereğinden fazla büyük olması yansıma süresinin uzamasına böylelikle de konuşma için anlaşılabilirliğin ve belirginliğin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yansıma süresinin gereğinden fazla uzun olması müzik işlevi için netliğin ve açıklığın da azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle hacmin kişi sayısına oranla yeterli büyüklükte olması gerekmektedir.
- Kubbe örtülü salonlarda sesin etkin bir biçimde seyirci alanına yönlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kaynaktan çıkan sesi seyirci alanına yönlendirecek yansıtıcı paneller tercih edilmelidir ya da kubbe örtü geometrisi sesi seyirci alanına yönlendirecek şekilde tasarlanmalıdır (Kuttruff, 2000). Bunun tasarım aşamasında yapılması büyük avantaj sağlamaktadır. Mevcut yapılarda ise iç bükey yüzey, sesi seyirci alanına yönlendirmek konusunda uygun koşulları sağlamıyorsa hacme yapılan müdahale sesi seyirci alanına yönlendirecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Çok amaçlı salonlarda müzik ve konuşma için ayrı ayrı değerlendirme yapılmalıdır. Her iki işlev için de öncelikle yansıma süresi olmak üzere akustik parametreler (bass oranı, netlik, ayırtedilebilirlik vb.) açısından optimum sonuçlar elde edilebilmelidir.
- Maskeleye etkisinin oluşmaması için arka plan gürültüsü kabul edilebilir seviyede olmalıdır. Bu nedenle yapı içi ve yapı dışı gürültü kaynaklarından gelen sesin engellenmesi ve ses yalıtımı yapılması gerekmektedir.
- Yansıma süresi değerleri frekansa göre karşılaştırılarak akustik kusurların(distorsiyon ve rezonans gibi) olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu nedenle, frekansa göre uygun yansıma süresi değerleri elde edilebilecek ses yutuculuk özelliğine sahip malzemeler seçilmelidir. Bu konuyla ilgili 2.4. *Akustik Kusurlar* başlığı altında detaylı bilgi verilmektedir.
- Hacmin bileşik hacim etkisi oluşturmayacak şekilde bir geometride tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle sofita kulesi vb. alanların oluşturacağı bileşik hacim etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hacimler iki hacim arasında yansıma

süresi açısından oluşan farklar sebebiyle seyirciler açısından rahatsız edicidir. Bu nedenle bu hacimleri salonda ayıracak iyileştirmeler yapılmalıdır.

- Kaynaktan uzak olan yüzeylerin yankı oluşumuna sebep olup olmadığı kontrol edilmeli gerekirse bu yüzeyler yutucu ya da saçıcı özellikteki malzemelerle kaplanmalıdır.
- Kubbe örtünün oluşturacağı akustik kusurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kusurlardan biri odaklanmadır. Odaklanmayı önlemek adına üst örtü geliştirmek doğru bir çözüm olabilir. Bununla birlikte odaklanmanın önlenmesi için yeterli oranda yutucu ve saçıcı özellikte malzeme kullanılması da önerilmektedir. Vercammen, kubbe örtülü yapılarda kullanılan malzemeler yardımıyla yeterli saçıcılık ve yutuculuk sağlanamadığında, tasarımcılara ya yansımaları yeniden yönlendirmeyi ya da geometriyi yeniden değerlendirmeyi önermektedir (Vercammen, 2013).
- Tasarım aşamasında iç bükey yüzey tercih ediliyorsa odaklanmanın hangi bölgede ya da hangi noktada olduğu önemlidir ve bu hesaplanmalıdır. Bu konuyla ilgili 2.4. *Akustik Kusurlar* başlığı altında detaylı bilgi verilmektedir. Hacmin içerisinde belirli bir bölgede sesin odaklanması sesin seyircilere eşit bir şekilde yayılmasına engel olmaktadır.

Kubbe örtülü bir salonun akustik açıdan sebep olacağı olumsuzluklar (akustik kusurlar ve akustik parametreler açısından) tasarım aşamasında düşünülerek tasarlanması büyük avantaj sağlayacaktır. Aksi takdirde yapılan iyileştirme çalışmaları akustik açıdan karmaşık bir sürecin yönetilmesini gerektirmektedir ve buna rağmen elde edilen sonuçlar her anlamda (akustik kusurlar, nesnel ve öznel parametreler) uygun koşulları sağlayamayabilir.

4. SONUÇ

Çok amaçlı salon kullanımı konuşma ve müzik için farklı koşulların sağlanmasını ya da bu koşulların optimize edilmesini gerektirmektedir. Ayrıca sesin seyircilere eşit koşullarda iletilebilmesi için hacmin boyutları yanısıra içindeki yüzeylerin formları, boyutları, malzemeleri vs. akustik tasarım açısından önem taşımaktadır. Hacim içerisindeki yüzeyler yardımıyla sesin seyircilere planlı ve etkin bir şekilde ve eşit koşullarda yönlendirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, salonlarda içbükey yüzeyler kullanılıyorsa bu yüzeyler akustik kusurlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle içbükey yüzeye sahip olan salonlarda içbükey yüzeyin akustik performansa olan etkisini vurgulayan bir çalışmanın hem literatürel anlamda hem de mimari uygulama açısından kapsamlı veriler ortaya çıkaracağı düşünülmüştür.

Tez çalışmasının amacı, kubbe örtülü ve çok amaçlı salonlarda akustik performansın iyileştirilmesine yönelik öneriler geliştirmek ve farklı akustik tasarım yaklaşımları (doğal akustik, elektroakustik ve bütünleşik akustik) üzerinden çeşitlendirilerek tasarlanan öneri çalışmalarının etkinliğini sorgulamaktır. Bununla birlikte çok amaçlı salon tasarımında, tasarımcılara iç bükey yüzeylerin kullanımı açısından ön bilgi sunmak amaçlanmıştır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda hem kubbe örtülü hem de çok amaçlı olarak kullanılan Eskişehir Türk Dünyası Bilim, Kültür ve Sanat Merkezi örnek alan olarak seçilmiştir. Bu yapıda iç bükey yüzeyin akustik performansa olan etkisi nesnel açıdan değerlendirmek amacıyla ölçümler yapılmış ve akustik simülasyon yazılımı aracılığıyla kalibrasyon modeli oluşturulmuştur. Mevcut yapıda tespit edilen akustik kusurların giderilmesi ve akustik parametrelerin optimize edilmesi için üstü yarı kapalı ve tam kapalı olmak üzere 2 senaryo geliştirilmiştir. Geliştirilen 2 senaryo farklı akustik tasarım yaklaşımları (doğal akustik, elektroakustik ve bütünleşik akustik) üzerinden çeşitlendirilmiş ve 8 farklı öneri salon tasarımı geliştirilmiştir. Tasarlanan salon tasarımları akustik açıdan ele alınmıştır.

İyileştirme önerisi için geliştirilen ve yarı kapalı olan senaryoda yansım süresinin istenen seviyelerde olmadığı görülmektedir. Böylelikle anlaşılabilirlik ve netlik de optimum koşulları sağlamamaktadır. Ancak akustik kusurlar büyük oranda önlenebilmektedir. Elde edilen verilere göre tam kapalı olarak geliştirilen senaryo için tüm tasarım yaklaşımlarında hem nesnel akustik parametreler hem de akustik kusurlar açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen verilere göre tasarımcıların kubbe örtülü ve çok amaçlı yapılarda akustik anlamda öncelikli olarak dikkat etmesi gereken detaylar bulunmaktadır. Bu konuyla alakalı 3.7. *Kubbe Örtülü ve Çok Amaçlı Salonlarda Akustik Performansın İyileştirilebilmesine Yönelik Öneriler* başlığı altında detaylı açıklama yapılmaktadır. Tasarım aşamasında hacmin hangi tasarım yaklaşımına (doğal akustik, elektroakustik, bütünleşik akustik) göre tasarlanacağı belirlenmelidir. Elektroakustik tasarım için yutucu özellikte malzemeler kullanılmalıdır. Aksi takdirde seslendirme sistemi yüksek maliyet gerektirmektedir. Doğal akustik tasarım için hacim, büyüklük açısından kişi sayısına göre optimum büyüklükte olmalı, akustik parametreler açısından optimum koşulları sağlamalıdır. Bütünleşik akustik tasarım için ise hem doğal akustik hem de elektroakustik tasarım prensipleri uygun koşullarda sağlanabilmelidir. Bununla birlikte kubbe örtülü çok amaçlı salonlarda kubbe örtünün sebep olduğu akustik kusurlar kullanılan malzemelerin yutuculuk özellikleri, formları vb. yardımıyla önlenmelidir. Akustik tasarım süreci, detaylı ölçümler yapılması ve uygulama ile ilgili önemli prensiplerin göz önünde bulundurulması gibi karmaşık bir süreci yönetmeyi gerektirmektedir.

Çalışmanın tez kapsamı dışında sonraki süreçlerde ulaşmak istediği hedefler bulunmaktadır. İlk olarak, mevcut durumda elde edilen nesnel verilerin dinleyiciler tarafından öznel açıdan nasıl değerlendirildiği ile ilgili kapsamlı çalışmalar yapıp, sonrasında öneri tasarımlar uygulandığı takdirde tasarımların akustik başarısı dinleyiciler ve icracılar tarafından öznel anlamda değerlendirilecektir.

KAYNAKÇA

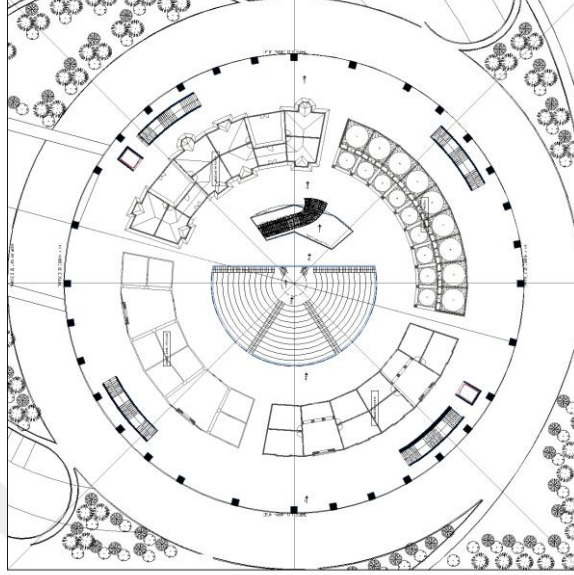
- Adelman-Larsen, N. W. (2014). *Rock and Pop Venues Acoustic and Architecture Design*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Aktı, B. (2014). *Daire Planlı ve Kubbe Bitişli Çok Amaçlı Salonlarda Akustik Performansın Tasarım Değişkenleri Aracılığıyla Simülasyon Programında İrdelenmesi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alomari, O. M., Gandah, F., & Khraisat, D. (2019). The Impact of Geometrical Structure of Domes on the Acoustic Performance within Mosques. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, s. (13) 244-250.
- Appleton, I. (2008). *Building for the Performing Arts* (Second Edition b.). Routledge: Elsevier Limited.
- Balcı, H. (2007). *Antalya Cam Piramiti'nin Hacim Aksutiğinin Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ballou, G. (2008). *Handbook for Sound Engineers*. Amsterdam: Focal Press.
- Barron, M. (2010). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. New York: Spon Press.
- Beranek, L. (1992). Music, Acoustics, and Architecture. *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, s. 45 (8), 25-46.
- Beranek, L. (2004). *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture*. New York: Springer.
- BGKKHY. (2017). *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Çelebi Şeker, N. (2013). *Salonların Mimari Tasarımının Akustik Performansa Etkileri: Dikdörtgen, Fan, Elmas Salon Örnekleri*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÇGKY. (2022). *Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği*. Ankara: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

- Doelle, L. (1964). *Acoustics in Architectural Design*. Canada: McGill University.
- Doelle, L. (1972). *Environmental Acoustics*. Canada: McGraw Hill, Inc.
- Ergin, D. (2014). *Gelişen Teknoloji Işığında Performans Mekanlarında İşitsel Konfor Gereksinimleri ve Akustik Tasarım Yaklaşımları*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ermann, M. (2015). *Architectural Acoustics Illustrated*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Everest, F. A. (2001). *Master Handbook of Acoustics* (Fourth Edition b.). McGraw-Hill Companies.
- Everest, F., & Pohlmann, K. (2009). *Master Handbook and Acoustics*. McGraw-Hill Companies.
- Foteinou, A. (2013). *Perception of Objective Parameter Variation in Virtual Acoustic Spaces*. York, İngiltere: Doctoral dissertation University of York.
- Fuchs, H. V. (2013). *Applied Acoustics: Concepts, Absorbers, and Silencers for Acoustical Comfort and Noise Control*. Berlin: Springer.
- Gade , A. C. (2014). Acoustics in Halls for Music and Speech. T. D. Rossing içinde, *Springer handbook of acoustics* (s. 317-366). New York: Springer.
- Ginn, K. B. (1978). *Architectural Acoustics*. Nærum, Denmark: Brüel & Kjaer.
- Hand, S. A. (2004). *Adaptable Acoustics in Multi-Use Music Performance Spaces*. Doctoral dissertation. Ohio: School of Architecture and Interior Design College of Design, Architecture, Art, and Planning University of Cincinnati.
- ISO 3382-1. (2009). Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters Part 1: Performance Spaces.
- Kul, H. (2018). Eskişehir'deki Salonların Akustik Envanter Çalışması ve A.Ü. AKM Opera ve Bale Salonunun Akustik Konfor Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuttruff, H. (2000). *Room Acoustics*. Germany: Spon Press.
- Long, M. (2006). *Architectural Acoustics*. Elsevier Academic Press.

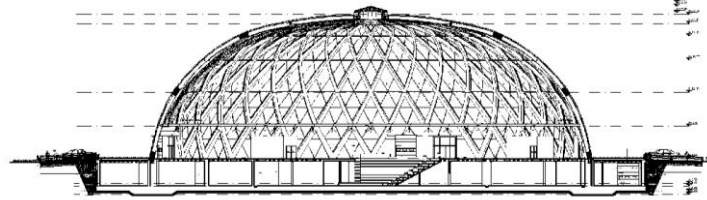
- Mehta, M., Johnson, J., & Rocafort, J. (1999). *Architectural Acoustics Principle and Design*. New Jersey: Prentice Hall.
- Mommertz, E. (2012). *Acoustics and Sound Insulation*. Basel, Switzerland: Birkhauser.
- Moore, J. E. (1978). *Design for a Good Acoustics and Noise Control*. London and Basingstoke: Macmillan International Higher Education.
- Özçevik, A. (2005). *Mimari Tasarım Stüdyolarında İşitsel Konfor Gereksinimleri ve Bir Örnek*. İstanbul: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sabine, P. E. (1932). *Acoustics and Architecture*. New York : McGraw-Hill Book Company.
- Schwenke, R., & Duty, J. (2010). Electroacoustic Architecture: Is it Green? *Journal of the Acoustical Society of America*, s. 127(3), 1724.
- Smith, B. J., Peters, R., & Owen, S. (1996). *Acoustics and Noise Control*. (Second Edition). Harlow: Pearson Education Limited.
- Türk, E. (2011). *İstanbul'daki Salonların Akustik Kalitesinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vercammen, M. L. (2013). Sound Concentration Caused by Curved Surfaces. *The Journal of the Acoustical Society of America*, s. 133(5), 3348.
- Wulfrank, T., Green, E., Kahle, E., & Garcia Gomes, J. O. (2017). *Creative Possibilities and Limitations of Curved Surfaces in the Acoustic Design of Contemporary Auditoria*. Londra, İngiltere: ICSV24.
- Yılmaz Karaman, Ö. (2009). *A Modeling Method for Optimising the Seating Arrangement at the Acoustical Design Stage of Halls*. Doktora Tezi. İzmir: DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yüksel Can, Z. (2013). *Oditoryum Akustiği Ders Notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği Bilim Dalı.

EKLER

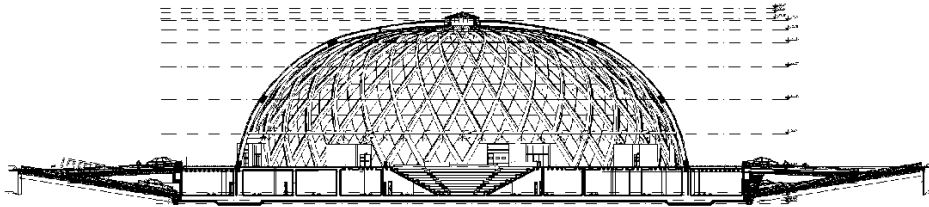
EK 1: Eskişehir Bilim, Sanat ve Kültür Merkezi Plan ve Kesit Görselleri



Şekil E.1.1. Eskişehir Bilim, Sanat ve Kültür Merkezi Zemin Kat Planı



Şekil E.1.2. Eskişehir Bilim, Sanat ve Kültür Merkezi I-I Kesiti



Şekil E.1.3. Eskişehir Bilim, Sanat ve Kültür Merkezi II-II Kesiti

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-2731-366X

Ad Soyad : Esra SELVİ

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim:

- 2019, Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü (3,01/4,00)
- 2012, Kayseri Kadir Has Anadolu Lisesi

İş Deneyimi:

- 2016, İstanbul, Buda Mimarlık -Stajyer
- 2018, Kayseri, KZA Mimarlık –Stajyer
- 2019, Eskişehir, ESTÜ IF projesi – Mimar, Yarı Zamanlı

Kurs ve Çalıştaylar:

- 2015, Kayseri, Ross Smith Ink and Imagination Workshop
- 2017, İstanbul, 2. Arge ve İnovasyon Sergisi
- 2017, Nevşehir, Argos Bezirhane The Enigma of Anatolia

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2020, Eskişehir Kent Merkezindeki Yaya Yollarının Yeterliliği ve Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi / 3. Erasmus Uluslararası Akademik Araştırmalar Sempozyumu / Doç.Dr. Güler Koca – Esra Selvi, Ankara.