

**TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL
BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ BEYOĞLU SAHNESİ**

Sebahat Gül İLİSULU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2010
ANKARA**

**TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL
BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ BEYOĞLU SAHNESİ**

Sebahat Gül İLİSULU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2010
ANKARA**

Sebahat Gül İLİSULU tarafından hazırlanan “TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ BEYOĞLU SAHNESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Füsun DEMİREL

.....

Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nizami AKTÜRK

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Füsun DEMİREL

.....

Mimarlık Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. Semiha Yılmaz

.....

İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Sanat Dalı, Bilkent Ü.

Tarih: 30 / 09 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Sebahat Gül İLİSULU

**TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
VE BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
BEYOĞLU SAHNESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Sebahat Gül İLİSULU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2010**

ÖZET

Bu tez çalışmasında, özellikle işitsel açıdan önemli olan mekanların tasarımıyla ilgilenenlere konu hakkında bilgiler sunulmuş, bir tiyatro salonunun hacim akustiği açısından incelenmesinde kullanılabilecek performans kriterleri geliştirilerek, seçilen bir salon, akustik konfor koşulları açısından değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, araştırma için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin açtığı Beyoğlu Sahnesi yarışmasında birincilik ödülünü alan, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Füsün Demirel'in de projede akustik danışman olarak görev aldığı proje, örnek olarak seçilmiştir. Projede yer alan üç salondan büyük salonun akustik konforunu ortaya koyan çınlama süresi (RT), erken sönümlenme süresi (EDT), berraklık (C80), belirginlik (D50), erken yanal yansıma oranı (LF80), konuşma iletim indisi (STI) gibi performans kriterleri, ODEON bilgisayar yazılımı aracılığı ile analiz edilerek ortaya konmuştur.

Bilim Kodu : 804. 1. 040
Anahtar Kelimeler : Akustik, hacim akustiği, tiyatro salonları
Sayfa Adedi : 187
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Füsün DEMİREL

**ACOUSTICAL ANALYSIS OF A THEATRE: İSTANBUL METROPOLITAN
MUNICIPALITY BEYOĞLU THEATRE AS A CASE STUDY
(M.Sc.Thesis)**

Sebahat Gül İLİSULU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2010

ABSTRACT

This thesis aims to uncover the performance criteria regarding acoustic comfort of theatre halls and the effects of these criteria on sound quality in these halls. As the case, the project, which recieved the first prize from İstanbul Metropolitan Municipality at Beyoğlu Scene quest and to which my thesis supervisor Prof. Dr. Füsun Demirel contributed as the acoustics advisor, is depicted. Among the three halls of the Project, the Grand hall is analyzed using ODEON software in terms of performance criteria regarding reverberation time (RT), early decay time (EDT), clarity (C80), definition (D50), early lateral fraction (LF80), speech transmission index (STI).

Science Code : 804. 1. 040

Key Words : Acoustics, room acoustics, theatres

Page Number: 187

Adviser : Prof. Dr. Füsun DEMİREL

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sűresince; tezimin űkillenmesinde ve geliőiminde deęerli katkılarını ve desteklerini esirgemeyen, danıőmanım Sayın Prof. Dr. Fűsun Demirel'e; deęerli katkılarından dolayı jűri űyelerim Sayın Prof. Dr. Nizami Aktűrk ve Doç. Dr. Semiha Yılmazer'e; projelerini benimle paylaőarak űrnek çalıőmamın oluőmasını saęlayan Sayın Mimar Iőıl Gűke, Mimar Duygu Demirtűrk, Mimar Mehmet Emre Tuncel ve dięer proje űyelerine; BAP projesi kapsamında ODEON yazılımını almamızı saęlayan Gazi Ŭniversitesi'ne, gerekli desteęi veren sorumluluklarımı paylaőan iő arkadaşlarıma ve yaőantım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen dedem Mustafa Iőlek'e ve AİLEME teőekkűrű bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. HACİM AKUSTİĞİ VE GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Sesin Davranışı.....	4
2.1.1. Sesin yansıması	5
2.1.2. Sesin yutulması	7
2.1.3. Sesin yayılması – saçılması	8
2.1.4. Sesin kırılması	9
2.1.5. Sesin geçişi	10
2.2. Konuşmanın Anlaşılabilirliğini Sağlayan Özellikler	11
2.3. Müziğin Nitelikli Duyumlanmasını Sağlayan Özellikler.....	13
2.4. Akustik Tasarım Kriterleri	17
2.4.1. İlk yansımanın gecikme süresi	18
2.4.2. Çınlama süresi	20
2.4.3. Erken sönümlenme süresi	22
2.4.4. Belirginlik	24

	Sayfa
2.4.5. Berraklık	25
2.4.6. Erken yanal yansıma oranı	26
2.4.7. Bas oranı	27
2.4.8. Sesin yüksekliği	28
2.4.9. Konuşma iletim indisi	30
3. TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİNDE ETKİLİ OLAN TASARIM KRİTERLERİ	33
3.1. Salonun Geometrisi	33
3.1.1. Dikdörtgen biçimli salonlar	34
3.1.2. At nalı biçimli salonlar	35
3.1.3. Yelpaze biçimli salonlar	35
3.1.4. Arena biçimli salonlar	40
3.1.5. Amorf biçimli salonlar	41
3.2. Salonun Yüzey Karakteristiği	42
3.2.1. Döşemeler	42
3.2.2. Tavanlar	43
3.2.3. Arka ve yan duvarlar	45
3.3. Salonun İç Yapısı	46
3.3.1. Sahne	46
3.3.2. Orkestra çukuru	51
3.3.3. Balkonlar	52
3.4. Arka Plan Gürültüsü	54
3.5. Ses Güçlendirici Sistemler	54

Sayfa

4. ULUSAL AKUSTİK MEVZUATLARININ TİYATRO AMAÇLI KULLANILAN SALONLAR AÇISINDAN İRDELENMESİ VE PERFORMANS KRİTERLERİNİN OLUŞTURULMASI.....	58
4.1. Mevzuatların Tiyatro Amaçlı Kullanılan Salonlar Açısından Değerlendirilmesi.....	58
4.2. Tiyatro Amaçlı Kullanılan Salonların Performans Kriterlerinin Oluşturulması.....	60
5. TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE İLİŞKİN BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ BEYOĞLU SAHNESİ'NİN BİLGİSAYAR BENZETİM YÖNTEMİ İLE ANALİZİ	72
5.1. Örnekleme İlişkin Genel Bilgiler.....	72
5.2. Konuya İlişkin Bilgisayar Benzetim Yöntemleri.....	74
5.3. Odeon Bilgisayar Yazılımı.....	76
5.4. Odeon Bilgisayar Yazılımı İle İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin Modellenmesi.....	77
5.4.1. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin mevcut durumunun analizi.....	80
5.4.2. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin iyileştirilmiş durumunun analizi.....	96
5.4.3. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	110
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	118
EKLER.....	122
EK-1 ODEON 10.02 combined versiyonunun analizi ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	123
EK-2 ODEON 10.02 combined versiyonunda analiz yapabilmek için girilmesi gereken veriler.....	125

Sayfa

EK-3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler.....	126
EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları.....	132
EK-5 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler.....	148
EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları.....	154
ÖZGEÇMİŞ.....	170

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çeşitli işlevler için ideal çınlama süreleri	22
Çizelge 2.2. Kabul edilebilir berraklık değerleri	26
Çizelge 2.3. AI ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişki	30
Çizelge 2.4. RASTI ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişki	31
Çizelge 2.5. Nesnel tasarım kriterlerinin, öznel tasarım kriter karşılıkları	32
Çizelge 4.1. Tiyatro salonları için gereken iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri	58
Çizelge 4.2. EN ISO 3382-1; akustik parametrelerin ölçüm sonuçları için değer aralıkları	60
Çizelge 4.3. Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri	61
Çizelge 5.1. Hacim yüzeylerine atanan malzemeler, 63-8000 Hz frekanslarındaki ses yutma katsayıları	83
Çizelge 5.2. 21Alicının ses kaynağı ve çevreleriyle ilişkileri	88
Çizelge 5.3. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki çınlama süresi değerleri	90
Çizelge 5.4. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki erken sönümlenme süresi değerleri	92
Çizelge 5.5. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki berraklık değerleri	93
Çizelge 5.6. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki belirginlik değerleri	94
Çizelge 5.7. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki yanal yansıma oranı değerleri	95
Çizelge 5.8. Hacim yüzeylerine atanan malzemeler, 63-8000 Hz frekanslarındaki ses yutma katsayıları	98

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.9. Hacim yüzeylerine atanan malzemelerde yapılan değişikliklerin bir arada verilmesi	100
Çizelge 5.10. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki çınılama süresi değerleri	106
Çizelge 5.11. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki erken sönümlenme süresi değerleri	107
Çizelge 5.12. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki berraklık değerleri	108
Çizelge 5.13. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki belirginlik değerleri	108
Çizelge 5.14. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki yanıl yansıma oranı değerleri	109
Çizelge 5.15. İ.B.B.Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun mevcut ve iyileştirilmiş durum akustik değerlendirme sonuçları	111

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1.	Sesin davranışı (1) gelen ses, (2) yansıyan ses, (3) yüzeye uygulanan ses yutucu tarafından yutulan ses, (4) saçılan ses, (5) kırılan ses, (6) geçen ses, (7) strüktür tarafından yutulan ses, (8) strüktür tarafından iletilen ses	4
Şekil 2.2.	Sesin düz, iç bükey, dış bükey yüzeylerde yansıması	5
Şekil 2.3.	Ses dalgasının yansıması	6
Şekil 2.4.	Ses enerjisinin durumu	7
Şekil 2.5.	Ses yutma katsayısı	8
Şekil 2.6.	Sesin saçılması	8
Şekil 2.7.	Sesin kırılması	10
Şekil 2.8.	Mekandaki ses ışınları ve yansıma örgüsü	18
Şekil 2.9.	Direkt ses ve yansıyan seslerin izlediği yollar	19
Şekil 2.10.	Çınlama süresi	20
Şekil 2.11.	Erken sönümlenme süresi	23
Şekil 2.12.	Belirginlik-anlaşılabilirlik ilişkisi	24
Şekil 3.1.	Salon geometrileri	33
Şekil 3.2.	Dikdörtgen biçimli salon örneği, Grosser Musikverensaal, Viyana . . .	34
Şekil 3.3.	At nalı biçimli salon örneği, Teatro Alla Scala, Milano	35
Şekil 3.4.	Geometriye bağlı olarak duvardan gelen yansımaların doğrultusu . . .	36
Şekil 3.5.	İnsan sesinin doğrultululuk özelliği	37
Şekil 3.6.	Salon yan duvar açılımı	37
Şekil 3.7.	Salon geometrisi ve yanal yansıma	38
Şekil 3.8.	Salon geometrisi ve yanal yansıma	39

Şekil	Sayfa
Şekil 3.9. Yelpeze biçimli salon örneği, Karakas Üniversitesi Oditoryumu, Aula Manga	40
Şekil 3.10. Arena biçimli salon örneği	41
Şekil 3.11. Amorf biçimli salon örneği, Sydney Opera Binası Konser Salonu . . .	41
Şekil 3.12. Döşeme eğimi ve sesin yayılması	42
Şekil 3.13. Tavan yansıtıcılarının yerleştirilmesi	44
Şekil 3.14. Arka duvarlara delikli ses yutucu malzemeler ile kaplanması	46
Şekil 3.15. Arka duvar ve tavan arasındaki köşenin pahlanması ve saçıcılık sağlamak amaçlı duvar yüzeyine farklı çaplarda silindirler kaplanması	46
Şekil 3.16. Çerçeve sahne örnekleri	48
Şekil 3.17. Çevreli sahne örnekleri	49
Şekil 3.18. Arena sahne örneği	50
Şekil 3.19. Değişken sahne olarak kullanılma durumları	50
Şekil 3.20. Orkestra çukuru derinliği	51
Şekil 3.21. Orkestra çukurunun kesiti	51
Şekil 3.22. Mekan tavan kesitlerinin ses yansımalarına etkisi	52
Şekil 3.23. Balkon derinliği ve yüksekliği arasındaki ilişki	52
Şekil 3.24. Uçan balkon	53
Şekil 3.25. Balkon parapetleri için iyileştirme alternatifleri	54
Şekil 3.26. Merkezi olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistem	56
Şekil 3.27. Dağıtılmış olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistem	56
Şekil 3.28. Oturma gruplarına entegre edilmiş ses güçlendirici sistem	57
Şekil 5.1. Proje alanı	72

Şekil	Sayfa
Şekil 5.2. Yarışma projesi için önerilen kütle tasarımı	74
Şekil 5.3. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonu için yapılan sızdırmazlık testi	77
Şekil 5.4. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun akustik konfor koşullarının analizi için alınan kararlar	79
Şekil 5.5. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun akustik konfor koşullarının analizi için alınan arka plan gürültüsü	79
Şekil 5.6. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun basit plan şeması ve yan duvar açılımı	80
Şekil 5.7. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun plan ve kesit şeması	81
Şekil 5.8. Kaynak ve alıcıların modeldeki konumları	85
Şekil 5.9. Ses yutma alanının malzemelere göre dağılımı	89
Şekil 5.10. T30 diyagramı	90
Şekil 5.11. Alıcı noktalarında STI değerleri	96
Şekil 5.12. Ses yutma alanının malzemelere göre dağılımı	105
Şekil 5.13. T30 diyagramı	106
Şekil 5.14. Alıcı noktalarında STI değerleri	109

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

ρ	Ses yansıtma katsayısı
α	Ses yutma katsayısı
λ	Sesin dalga boyu
τ	Ses iletim katsayısı

Kısaltmalar

Açıklama

ITDG	İlk yansımanın gecikme süresi
RT	Çınlama süresi
EDT	Erken sönümlenme süresi
D50	Belirginlik
C80	Berraklık
LF80	Yanal yansıma oranı
BR	Bas oranı
G	Yükseklik
STI	Konuşma iletim indisi
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar çeşitli etkinlikler düzenlemek için çeşitli toplanma mekanları inşa etmişlerdir. Bu toplanma mekanları Eski Yunan ve Roma amfi tiyatrolarına kadar uzanmaktadır.

Tiyatro, Yunanca “*theatron*” kelimesinden türetilmiş “*seyirlik yeri*” anlamına gelmektedir. Tiyatro; bir öyküyü, sahne olarak ayrılmış bir yerde, oyuncuların söz ve hareketleriyle canlandırma sanatıdır [1].

Tiyatro, dinsel törenlerden doğmuş sonradan dinden bağımsızlaşarak sanatlaşmıştır. Kökeninde ilkel insanın doğa olaylarını kendi bedensel hareketleriyle simgesel olarak temsil etme çabası yatmaktadır. Tiyatrolar, Antik Çağ ve Modern Çağ olmak üzere iki dönemden oluşmaktadır. Antik Çağ dönemi MÖ 400’de Yunanistan’da başlamış Roma İmparatorluğu’nun MS 400’de yıkılmasına kadar devam etmiştir. Modern Çağ dönemi ise, MS 1600’den beri devam etmektedir [2].

Günümüzde teknolojik ilerlemeler ile çevremizde gürültü kaynakları artmış ve insanın gerek fizyolojik gerekse psikolojik yan etkileri ile konforunu olumsuz yönde etkileyen bir hal almıştır. Bu tip toplanma mekanlarının tasarlanmasında mimari işlevsellik ve görsellik yanında mimari akustikte göz ardı edilmemesi gereken tasarım ölçütlerindedir.

Akustik, sesi inceleyen bilim dalıdır. Sesin meydana gelişi, yayılması, duyulması, duyulma anındaki etkenliği ve diğer özellikleri ile uğraşan bilim dalıdır [3]. Akustik; birbirinden çok farklı olan, sessel ve işitsel olaylarla aynı derecede ilgilenmektedir. Sessel olaylar, bu olayların oluş ve özellikleri akustiğin fizik ile ilgili yönünü; fizik olaylarının işitme organı aracılığıyla insanlarda yaptığı etki ise akustiğin fizyolojik yönünü göstermektedir [4]. Akustiğin; fizik, mühendislik, psikoloji, odoloji, müzik, mimarlık, fizyoloji gibi birçok akademik alanda çalışılan bir bilim dalı olmasından dolayı çalışmaların disiplinler arası olduğu söylenebilir.

Mimari akustik, kapalı hacimlerde ve yapılarda ses ortamını anlamak, sesi en iyi şekilde kullanmak için araştırmalar yapan akustiğin dallarından birisidir [5]. Genelde mimari akustik; yapı içi ve yapı dışında oluşan gürültülerin incelenmesi ve denetlenmesiyle ilişkili olarak yapı ve hacim akustiği olmak üzere iki bölümde ele alınmaktadır. Bu çalışmanın kapsamı dışında kalan yapı akustiği; sesin ya da gürültünün kapalı hacim sınırlarından içeri ya da dışarı iletimi ile ilgili konuları incelemekte ve oda duvarlarının biçimlendirilmesi, boyutlandırılması ve uygun malzeme seçimi türünde konuları kapsamaktadır [6].

Hacim akustiği ise; kapalı hacimlerde sesin üretimi ve yayılmasını konu alan mimari akustik dalıdır. İşitsel etkinliğin birinci derecede önemli olduğu kongre, konferans, konser salonları ile; işitsel ve görsel etkinliğin bir arada olduğu tiyatro, opera ve sinema salonları gibi mekanlarda, ses kaynağından çıkan seslerin hacimdeki dinleyicilere en uygun biçimde ulaşmasını hedeflemektedir. Oda geometrisinin seçimi ve boyutlandırılması, yansıtıcı ve ses yutucu yüzeyleri belirlenmesi ve düzenlenmesi gibi konuları içermektedir [6]. Kapalı mekanda, ses dalgaları dinleyiciye bir ya da birden fazla yüzeyden yansiyarak ulaşmaktadır. Bu yüzden mekanın akustik özellikleri, dinleyiciye kararlı bir ses ortamı oluşturmak için önemli rol oynamaktadır.

Bir mekanda, işlevine uygun ideal fiziki ortamı oluşturmak için pek çok gerekli düzenlemeler yapılmaktadır. İşitsel konforun önemli olduğu tiyatro salonları da ideal fiziki ortamın oluşturulabilmesi için üzerinde çalışılan konulardan biridir. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler arttıkça, akustik konforun tasarım üzerindeki etkileri de artmaya başladığı söylenebilir. Salonlar üzerinde yapılan ilk çalışmalarda, yalnızca çınlama süresi göz önüne alınırken, son yıllarda yapılan çalışmalarda farklı kriterler de araştırılmaktadır. Salonların ve açık hava mekanlarının akustik tasarımları 2000 yıldır bilinmektedir. Buna karşın bilimsel olarak 200 yıldır tartışılmaktadır. Kapalı mekan üzerine incelemeler yirminci yüzyılın başından itibaren deneysel modeller üzerinden yapılmaya başlanmış, yirminci yüzyılın sonlarından itibaren ise, salonların mekansal ve akustik tasarımları bilgi ve teknoloji gelişimiyle ivme kazanmıştır [7].

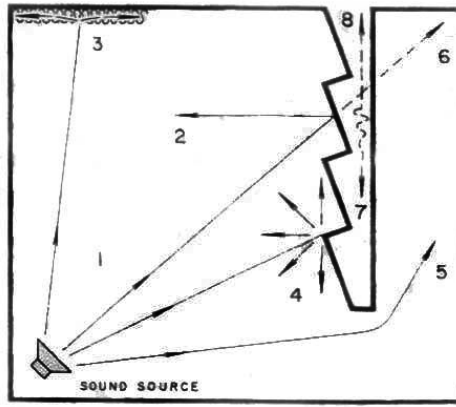
Bu çalışmanın amacı; tiyatro salonlarında akustik konfor açısından günümüzde önem kazanmaya başlayan performans kriterlerini ortaya koymak ve bu kriterlerin tiyatro salonlarındaki ses kalitesine olan etkilerini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin açtığı Beyoğlu Sahnesi yarışmasında birincilik ödülünü alan, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Füsun Demirel'in projede akustik danışman olarak görev aldığı proje, örnek olarak seçilmiştir. Projede yer alan üç salondan büyük salonun akustik konforunu ortaya koyan performans kriterleri, ODEON bilgisayar yazılımı ile analiz edilecek ve olumsuz akustik koşulların oluşturduğu etkiler ortaya konularak yeni öneriler geliştirilecektir.

2. HACİM AKUSTİĞİ VE GENEL BİLGİLER

2.1. Sesin Davranışı

Akustik olaylar, sesin fiziksel olayları sonucu meydana gelmektedir. Ses; elastik bir ortamda işitme duyusunun algılayabildiği küçük basınç dalgalanmalarının ya da değişimlerinin oluşturduğu duyumdur [6]. Farklı amaçlara yönelik mekanlar tasarlarken, sesin kapalı mekanlardaki davranışlarının açık havadaki davranışına göre daha karmaşık yapıda olduğu unutulmaması gereken bir durumdur.

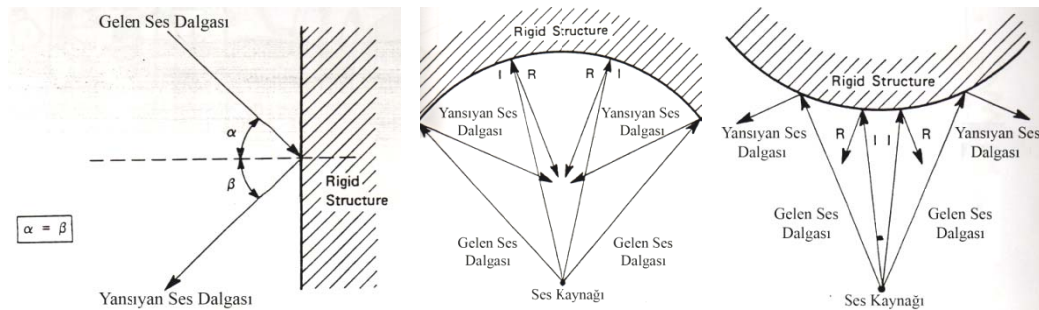
Mimari akustikte, ses dalgaları; optikte ışığın yayılması gibi davranmaktadır. Bu yaklaşıma geometrik akustik adı verilmektedir. Bu yaklaşımla, kapalı mekanlarda karmaşık halde olan ses dalgalarının yayılma hareketleri basitleştirilerek izlenebilmektedir [8]. Kapalı mekanlarda ki ses dalgalarının, küresel yayılım hareketi, her yönde yayılan dalga boyuna dik ses ışınları olarak sembolize edilmektedir. Hacmin akustik karakteristiğine bağlı olarak bu ses dalgaları; yansır, yutulur, saçılır, kırılır ya da geçirilir.



Şekil 2.1. Sesin davranışı (1) gelen ses, (2) yansıyan ses, (3) yüzeye uygulanan ses yutucu tarafından yutulan ses, (4) saçılan ses, (5) kırılan ses, (6) geçen ses, (7) strüktür tarafından yutulan ses, (8) strüktür tarafından iletilen ses [8]

2.1.1. Sesin yansması (sound reflection)

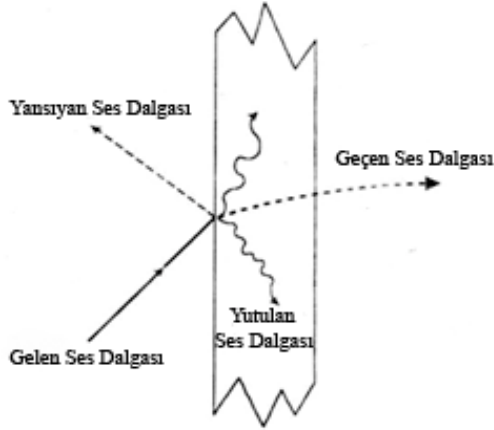
Ses ışınlarının yayılma yolu üzerinde dalga boyundan daha küçük boyutlu eleman bulunduğunda ses ışınları eğilme ile elemanın arkasına geçerler. Ses yansması; boyutları $\lambda/4$ 'den büyük olan düzgün ve gözenekli olmayan bir sert yüzeye çarpan ses dalgasının geometrik yansıma kuralına göre geri dönmesidir. Yansıyan ses dalgası, Snell optik yasasına uymaktadır. Gelen ve yansıyan ses ışınları, yüzeyin normali ile eşit açı yapacak şekilde yansımaktadır [9].



Şekil 2.2. Sesin düz, iç bükümlü, dış bükümlü yüzeylerde yansması [6]

Bir odadaki yansımaların davranışları gözlemlenerek, direkt sestten sonra ulaşan erken yansımalarla ilgili öznel bir özellik olan yakınlık, reverberant alanlarda gerçekleşen difüzyon ve reverberant alan oluşup ışın yollarını maskeleymeden önce birincil ve muhtemel ikincil yansımaların mekan içinde kat ettikleri yollar tahmin edilerek eko kontrol altına alınabilir [10].

Bir ortamda yayılan ses, karşısına herhangi bir madde çıktığı zaman bu maddeye çarpar, çarpan ses enerjisinin bir kısmı maddeyi geçer, bir kısmı madde tarafından yutulur ve geri kalanı da yansıma kurallarına göre yansır.



Şekil 2.3. Ses dalgasının yansıması [11]

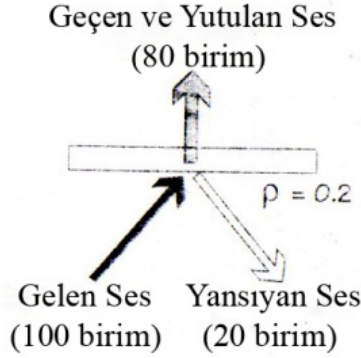
Ses yansımasının, insanda duyulanması; yankı (eko) ve ses uzaması (çınlama) şeklinde belirtilir. Ses yansımaları;

- Bir ses kaynağından doğrudan doğruya kulağımıza gelen sesle, aynı ses kaynağından yansıtıcı bir yüzeye çarparak yansıyan ve kulağımıza gelen sesin geçtikleri yollar arası 22 m'den az ise duyulan ses, ses uzaması (çınlama) şeklinde,
- Bu uzaklık 34 m'den fazla ise duyulan ses, yankı (eko) şeklinde,
- Uzaklık farkı 22 m ve 34 m arasında ise duyulan ses, sesin şekline göre ses uzaması veya yankı şeklinde olmaktadır [3].

Ses yansıtma katsayısı; yüzey tarafından yansıtılan ses enerjisinin yüzeye çarpan ses enerjisine oranıdır ve ρ ile gösterilmektedir.

$$\rho = \frac{\text{yansıtılan ses enerjisi}}{\text{gelen ses enerjisi}} \quad (2.1)$$

Yansıyan ses enerjisi, her zaman gelen ses enerjisinden daha azdır. ρ , her zaman 1.0'den küçük bir değerdir. Örneğin, bir malzemeye gelen ses enerjisi 100 birim ve bu ses enerjisinin 20 birimi yansiyorsa; yansıyan ses enerjisi $\rho=20\%$ ya da $\rho=0.2$ olarak gösterilir [12].



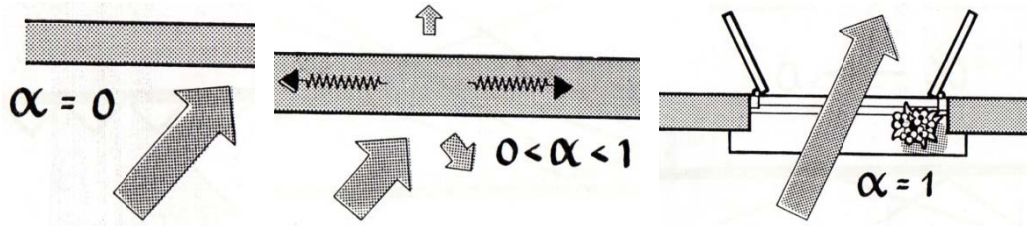
Şekil 2.4. Ses enerjisinin durumu [12]

2.1.2. Sesin yutulması (sound absorption)

Yumuşak ve gözenekli maddeler hatta insanlar, çevrelerini saran ve kendilerine çarpan ses dalgalarından önemli bir kısmının yutulmasına neden olmaktadır. Sesin, bir malzeme içinden geçerken ya da bir yüzeye çarptığı zaman ses enerjisinin bir başka forma girmesi, sesin yutuculuğu olarak tanımlanmaktadır. Sesin enerjisi çok düşük olduğundan, ses yutucu malzemedeki sıcaklık artışı çok düşük düzeylerde farkına varılmayacak derecede gerçekleşmektedir. Ses dalgasının hızı, yutuculuk tarafından etkilenmez. Ortamda yayılma sırasında oluşan ses yutumu akışkan (hava) içinde ısı iletimi ve akışkan viskozitesi ile ilgilidir. Örneğin, havadaki ses yutumu sıcaklık, nem ve frekansa bağlı olarak değişmektedir [6, 8].

Tüm yapı malzemeleri, sesi belli bir ölçüde yutmaktadır. Bir malzemenin ses yutuculukta, belli bir frekans içinde, ne kadar ses yutucu olduğu ses yutma katsayısı ile değerlendirilmektedir. Ses yutma katsayısı; yüzey tarafından yutulan ses enerjisinin yüzeye çarpan ses enerjisine oranıdır ve α ile gösterilmektedir.

$$\alpha = \frac{\text{yutulan ses enerjisi}}{\text{gelen ses enerjisi}} \quad (2.2)$$



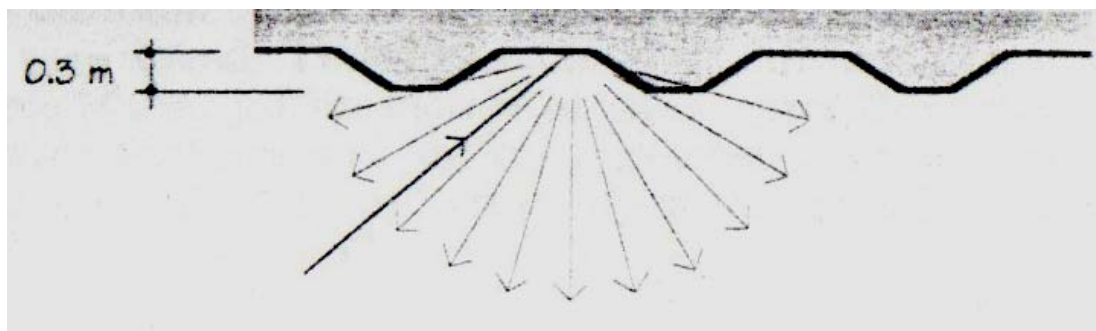
Şekil 2.5. Ses yutma katsayısı [6]

Ses yutma katsayısı; frekansa, malzeme özelliklerine, malzemenin montaj şekline, oda geometrisi ve boyutlarına, malzemenin konumuna, sesin düşme (gelme) açısına göre değişim göstermektedir [6].

Ses yutucu malzemeler, başta çınlama sürelerinin kontrolünü sağlamak üzere hacimlerde gürültü azaltımı ve eko kontrolünde; müzik için kullanılan mekanlarda sıcaklık özelliğinin, konuşma için kullanılan mekanlarda ise berraklık özelliğinin ayarlanmasında kullanılmaktadır [8, 10].

2.1.3. Sesin yayılması – saçılması (sound diffusion)

Ses dalgalarının çarptıkları yüzeyin boyutları dalga boyuna göre küçük ise, yüzey girintili çıkıntılı, köşeli veya dalgalı ise, düz bir yüzey üzerinde boyutu dalga boyundan çok küçük engeller ile boyutları eşit ve az farklı yüzeyler ve sivrilikler bulunuyorsa ses ışınları geometrik yansıma kurallarına göre her yöne eşit olarak saçılmaktadır. Bu olaya sesin yayılması denilmektedir [9].



Şekil 2.6. Sesin saçılması [12]

Bir oditoryumun her yerinde ses basıncı eşit ise, ses dalgalarının tüm yönlere hareket ettiği ve ses alanının homojen olduğu başka bir deyişle hacimde sesin yayılmasının hakim olduğu söylenebilir. Sesin yayılmasını sağlamak için;

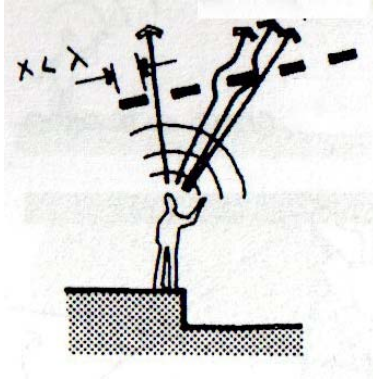
- Yüzeylerde, girinti ve çıkıntı veya malzeme farklılıkları gibi düzensizlikler ya da ses saçıcı elemanlar kullanılmalıdır.
- Ses yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin ardışık düzenlenmeleri sağlanmalıdır.
- Ses yutucu malzemeler gelişi güzel ya da düzensiz dağıtılmalıdır.

Yüzeylerdeki girinti çıkıntılarının konumlandırılmaları, uzunlukları ya da derinlikleri bu oluşumun gözlemlendiği frekansı belirlemektedir. Geniş bir frekans aralığında etkin saçılım elde edebilmek için yüzey düzensizliklerinin boyutları saçılacak sesin dalga boyunun $1/7$ 'si kadar olmalıdır [6, 8].

Bir mekanda; yüzey düzensizlikleri sağlanamamış yansıtıcı yüzeyler, müzik için olumsuz ortam yaratan sert yansımalara, akustik parlamalara neden olmaktadır. Aşırı saçılım da konuşmanın anlaşılabilirliğini azaltmaktadır. Bunun yanında, yeterli saçılımı sağlamış sesin oluşturduğu dağınık ses alanı ile sesin derinliği geliştirilmekte, düzgün sönümlenmeyi ve ses yükselişini sağlayarak müziğin nitelikli duyulanması sağlanmaktadır [12].

2.1.4. Sesin kırılması (sound diffraction)

Sesin kırılması, sonlu büyüklükte bir cisme çarpan ses dalgalarının, eğer dalga boyları cisim boyutlarından daha uzunsa, cismin etrafından dolaşarak herhangi bir yansımaya uğramadan yollarına devam etmeleridir. Özellikle uzun dalga boyuna sahip düşük frekanslı seslerde gözlemlenirler [6].



Şekil 2.7. Sesin kırılması [13]

Kırınmanın şartı, bir aralıktan geçme veya bir yüzeyde oluşan yansımanın ışınım dalgasının rastladığı; aralık, kenar, köşe ya da engellerin boyutlarının gelen ışının dalga boyundan küçük olması durumudur. Kırınmanın şekli, engelin boyutları ve dalga boyuna bağlıdır. Yapılan çalışmalar, sesin yansıması için; dalga boyu λ ise yüzey boyutlarının 5λ olması gerektiğini göstermektedir. Örneğin; dalga boyu 0.6 m olan 500 Hz'lik bir ses için yansıtıcı yüzeyin boyutlarının 3m x 3m olması gerekmektedir [3, 12].

2.1.5. Sesin geçişi (sound transmission)

Oda yüzeylerine çarpan ses dalgalarının bir kısmı yansımaya, bir kısmı yutulmaya, bir kısmı duvar içinde sönümlenmeye uğrarken geri kalan kısım duvarın diğer tarafına iletilmektedir.

Ses iletim katsayısı; diğer tarafa geçen ses enerjisinin, duvara çarpan ses enerjisine oranıdır ve τ ile gösterilmektedir [6].

$$\tau = \frac{\text{geçen ses enerjisi}}{\text{gelen ses enerjisi}} \quad (2.3)$$

2.2. Konuşmanın Anlaşılabilirliğini Sağlayan Özellikler

Temel işlevi konuşma olan mekanlarda, hacmin başarılı sayılmasının, büyük oranda konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili olduğu söylenebilir. Tüm dinleyicilerin, zorlanmadan, yorulmadan, konuşmayı eksiksiz ve doğru bir biçimde algılayabilmeleri, o hacimde yeterli anlaşılabilirlik koşullarının sağlandığına işaret etmektedir.

Konuşma hızlı tempolu bir ses biçimidir. Konuşmada sesler;

- Düzenli sesler
- Düzensiz sesler olarak ikiye ayrılmaktadır.

Düzenli sesler, notası belirlenebilen başka bir deyişle belli temel bir frekansı ve uyumları olan seslerden oluşmaktadır. Bu tür seslerde, tayftaki enerji dağılımı ve devirsellik belli kuralları izlemektedir. Düzensiz sesler ise, notası belirlenemeyen, akustik enerji dağılımı gelişigüzel olan, daha çok gürültü niteliğindeki seslerdir. Genelde bu tür bir seste, en inceden en kalına kadar tüm frekanslar yer alabilmekte ve devirsellik bulunmamaktadır. Konuşmada alçak frekanslı sesli harfler düzenli, yüksek frekanslı sessiz harfler düzensiz sesler çıkarmakta ve konuşma süresince bunlar birbirini izlemektedir [14].

Konuşmanın anlaşılabilirliği büyük oranda yüksek frekanslı sessiz harflerin yeterli nicelik ve nitelikte algılanabilmesine bağlı olduğu düşünülebilir. Yüksek frekanslı sesler, alçak frekanslı sesler tarafından kolayca maskelenme özelliğine sahiptirler. Hacimde var olan arka plan gürültüsü genelde alçak frekanslı ses özelliği gösterdiğinden, yüksek frekansları rahatlıkla maskeleyerek, anlaşılabilirliğin azalmasına yol açmaktadır. Bu durum, konuşma amaçlı hacimlerde, anlaşılabilirliğin sağlanması için temel gereksinimin yüksek frekanslı (1000 Hz ve üzeri) seslerin tüm dinleyicilere yeterli ses düzeyinde ulaştırılabilmesine bağlı olduğunu göstermektedir [4, 14].

Anlaşılabilirlik aynı zamanda maskeleyici bir gürültünün olmaması, konuşma sesinin kulağa yeterli güçte gelmesi, çınlama süresinin, heceler birbirini maskeleymesine neden olmayacak kısalıkta olması gibi akustik etkenlere ve konuşmacının belli bir hızda ve belirgin konuşması gibi kişisel özelliklere de bağlıdır [4].

Kısacası anlaşılabilirlik;

Anlaşılabilirlik = Sesin Gücü + Berraklık olarak ifade edilebilir [15].

Konuşmanın anlaşılabilirliği; sınıf, tiyatro, konferans salonları, oditoryumlar gibi mekanlarda en önemli tasarım kriteri olmaktadır.

Konuşmanın anlaşılabilirliği, mekanın aşağıda belirtilen özelliklerine bağlıdır:

- Şekline
- Boyutlarına
- Hacmine
- Mekanı sınırlandıran yüzeylerin durumuna
- Oturma düzenine
- Dinleyici kapasitesine
- Akustik açıdan yüzey iyileştirmelerine
- İç mekan düzenlenmesinde kullanılan malzemelere.

Konuşmanın anlaşılabilirliğinin, birincil çözülmesi gereken problem olduğu mekanlardan beklenen özellikler aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Mekanın her noktasında, özellikle sahneden uzak olan kısımlarda yeterli ses yüksekliği sağlanmalıdır. Bunu sağlayabilmek için döşeme kademelendirilmeli, konuşmacının bulunduğu platform yükseltilmeli ve mekanın içinde ses dalgasının ulaşmasını engelleyecek kolon, derin balkon gibi yapı elemanları tasarlanmamalıdır.
- Ses dalgasının, dinleyiciye ulaşmak için kat ettiği mesafe, ses enerjisinin kaybedilmeyecek uzaklıkta tasarlanmalıdır.
- Mekanın her noktasına ses enerjisi homojen olarak dağıtılmalıdır.

- Oturma grupları; konuşmacının konumlanışına göre 140°'den fazla açıldırılmamalıdır. Yüksek frekansa sahip konuşma seslerinin yönlülüğünden dolayı açıldırmanın 140°'yi aşması durumunda sesin gücünde düşme meydana gelmektedir.
- İdeal çınlama süresi sağlanmalıdır.
- Ortamdaki arka plan gürültüsü, konuşmanın anlaşılabilirliğini engellemeyecek seviyede tutulmalıdır.
- Mekan içinde oluşabilecek akustik kusurlar (eko, titreşimli ekolar, odaklanma, ses gölgesi, oda rezonansı) önlenmelidir.
- Sinyal-gürültü oranı¹ yüksek olmalıdır [8, 16, 17].

2.3. Müziğin Nitelikli Duyumlanmasını Sağlayan Özellikler

Konuşmanın anlaşılabilirliği, belirleyici ve ölçülebilir bir değerdir. Buna rağmen müzik için yapılan yapılarda akustik tasarımı sağlamanın ve ölçmenin daha karmaşık bir durum olduğu söylenebilir. Akustik konfor değerlendirmeleri, bu konudaki eğitimli kişilerin (müzisyenlerin, şeflerin, müzik öğretmenlerini, vb.) duygusal hislerine başka bir ifade ile öznel değerlendirmelerine bağlıdır.

Konuşmanın anlaşılabilirliğinin bağlı olduğu özellikler gibi müziğin nitelikli duyumlanması da mekanın;

- Şekline
- Hacmine
- Dinleyici kapasitesine
- Akustik açıdan yüzey iyileştirmelerine bağlıdır.

¹ Sinyal-gürültü oranı; ses kaynağının gücü yani konuşmanın gücü ile dinleyicinin duyduğu arka plan gürültüsü arasındaki ilişkidir. S/N, mekandaki anlaşılabilen konuşmanın hesaplanabilmesi için kullanılan basit bir karşılaştırma değeridir. İyi anlaşılabilirlik için, ortalama konuşma düzeyinin, ortalama arka plan gürültüsü düzeyinden en az 15 dB fazla olması istenmektedir [17,18].

Mekanın özelliklerinin, müziğin kalitesi üzerindeki etkileri ise;

- Yakınlık
- Seslerin canlı ya da ölü duyulanması
- Sıcaklık
- Sesin dolgunluğu
- Yükseklik
- Berraklık
- Parlaklık
- Sesin yayılımı-Dağınık ses alanı
- Denge
- Karışım
- Birliktelik
- Çıkış – Salonun bir ses tonuna cevap vermesi
- Doku
- Dinamik aralık olarak algılanmaktadır [6, 8, 12, 16].

Performansın gerçekleştiği mekan, küçük bir salondaymış gibi müzik tarafından sarmalanma hissini veriyorsa salon için *yakınlıktan* söz edilebilmektedir. Yakınlık, müzik çalınan hacmin büyüklüğünün, dinleyici tarafından nasıl algılandığının değerlendirilmesidir. Yakınlık, sadece salonun boyutlarıyla ilgili bir durum değildir. Dinleyiciye ulaşan direkt ses ile ilk yansıyan ses arasındaki zaman farkı olan ilk yansımanın gecikme süresi (ITDG) ile ölçülmektedir. ITDG'nin 20 ms'den kısa olması ve direkt sesin zayıf olmaması durumunda da salonun yakınlığından bahsedilebilmektedir [19].

Dinleyici kapasitesi ile ilişkili büyük hacimli salonlarda ses yansıtıcı elemanların baskın olarak kullanılmasıyla uzun çınlama süreleri sağlanmakta ve bu durumda, orta ve yüksek frekanslı seslerin *canlılığından* söz edilebilmektedir. Tam tersine dinleyici kapasitesi ile ilişkili küçük hacimli salonlarda ise ses yutucu elemanların baskın olarak kullanılmasıyla da çınlama süreleri kısaltılmakta ve seslerin canlılıktan yoksun *ölü* duyulanmasından söz edilmektedir. Canlılık, çınlamanın öznel bir etkisidir [19].

Düşük frekanslı seslerin (250 Hz ve altı), uzun çınlama sürelerine sahip olması mekanda bas seslerin canlılığı olarak hissedilmektedir. Bu duruma *sıcaklık* denilmektedir [19].

Mekan iç yüzeylerinin şekline ve özel yansıtıcı elemanların uygulanmasıyla çınlama süresinin kontrol altına alınmasına bağlı olarak *ses dolgunluğunun* oluşturulması sağlanmaktadır. Ses dolgunluğunun aşırı sağlanması sesin bulanık olarak algılanmasına neden olmaktadır [19].

Çok büyük olmayan, doğru bir şekilde kademelendirilmiş ya da rampaya sahip bir salonda direkt ve yansıyan sesler dinleyiciye tatmin edici şekilde ulaşmakta ve çınlama süresi kontrol altına alınarak mekandaki *sesin yüksekliği* sağlanmaktadır [19].

Orkestrada, aynı anda çalınan farklı müzikal enstrümanların seslerinin kolaylıkla ayırt edilebiliyor olması ve müzikteki çok kısa pasajların bile ayrı olarak duyulabiliyor olması ile *berraklıktan* söz edilebilmektedir. Kısacası berraklık, bir müzikal performansın içindeki farklı tonların dinleyici tarafından öznel olarak algılanıp algılanmaması ile ilişkilidir. Çınlama süresinin kısa tutulması ve dinleyicinin kaynağa yakın olması berraklığı artırmaktadır [19].

Yüksek frekanslı sesler diğer frekanslı seslere oranla uzun çınlama süreleri, yüksek enerji ve yavaş sönümlenme özelliğine sahiptirler. Bu durumda *parlaklıktan* söz edilebilmektedir. İlk yansımanın gecikme süresinin kısa olması, canlılık derecesinin yüksek olması yani 500 Hz ve üzeri seslerin çınlama sürelerinin optimum olması ve direkt sesin yüksek olması parlaklığı sağlamaktadır [19].

Mekandaki yansıyan sesin her yönden dinleyiciye eşit olarak gelmesi durumunda *sesin yayınlığından* ya da mekanın *dağınmık ses alanına* sahip olmasından bahsedilebilmektedir. Çınlama süresinin yeterince uzun olması, salonun tavan ve duvarlarının, ses dalgalarının yüzeylere çarparak saçılmasını sağlayacak şekilde düzensiz olması ses dağılımını sağlamaktadır [19].

Orkestra üyeleri, çalgı grupları ve solistler arasındaki *denge*, uygun sahne ve orkestra çukuru tasarımı ile sağlanmaktadır. Sahne yakınında ses saçıcı ve yansıtıcı elemanların bulunması, sahne boyutları dengenin oluşması için önemli etkenlerdir [19].

Orkestrada bulunan değişik çalgıların çıkardığı sesin, dinleyiciye armoni hissi verecek şekilde ulaştırılması durumunda mekandaki *karişimden* bahsedilmektedir. Orkestra üyelerinin sahne içindeki konumları, sahne yakınındaki saçıcı ve yansıtıcı elemanlar; karişımı etkilemektedir [19].

Orkestra üyelerinin uyumlu ve birlikte icra edebilme yeteneği *birliktelik* olarak tanımlanmaktadır. Sahne boyutları, tasarımı ve sahneyi çevreleyen yüzeylerdeki düzensizlik birlikteliği etkilemektedir [19].

Sahneye salondan yansıtılan sesin eko niteliğinde olmaması durumunda *çıkıştan* söz edilebilmektedir. Çınlama süresinin kontrolü, sesin iyi yayılması, eko ve gecikmiş yansımaların önlemesiyle bu durum sağlanmaktadır [19].

Yansıma örgüsünün, dinleyici tarafından öznel olarak algılanması *doku* olarak ifade edilmektedir. Yansımaların paketler halinde değil zamanda düzgün yayılımı ile duyulması bu algılamayı geliştirmektedir [19].

Bir salonda oluşturulan en düşük ve en yüksek şiddetteki ses düzeylerinin aralığına *dinamik aralık* adı verilmekte; ortamın arka plan gürültüsü ve salonun akustik özellikleri tarafından belirlenmektedir [19].

Müzik için tasarlanan mekanda, müziğin nitelikli duyulanmasını sağlamak için mekandan beklenen özellikler aşağıdaki gibi olmalıdır:

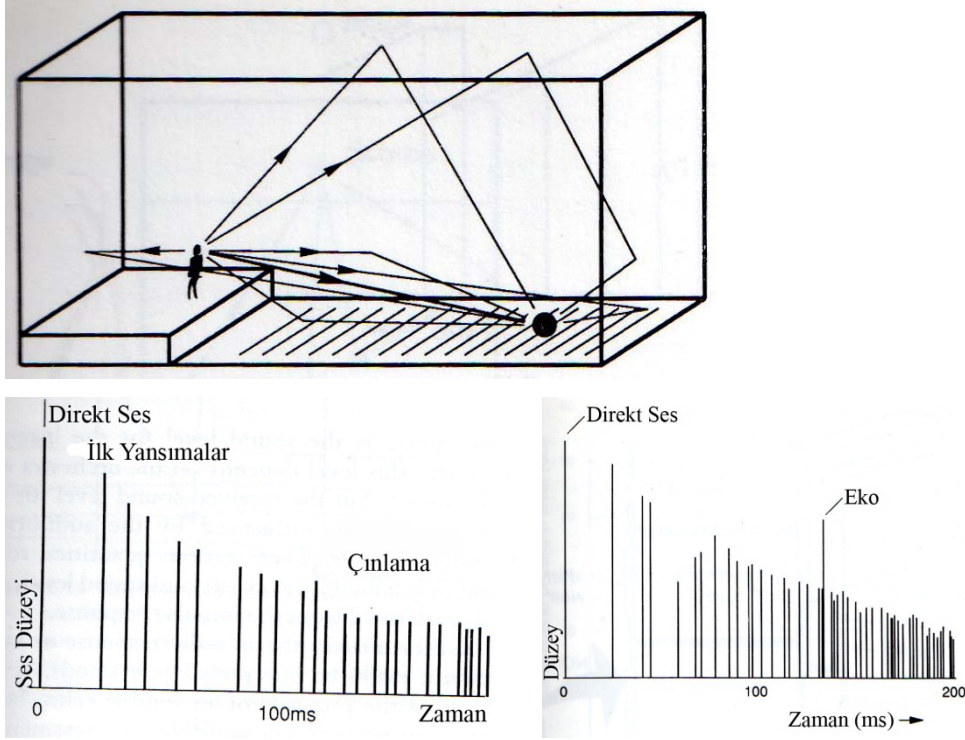
- Sadece tek bir müzik türüne göre mekan tasarlanamayacağı için ideal bir çınlama süresi sağlanmalıdır. İdeal çınlama süresi, ses dolgunluğunu artırırken sesin yüksekliğini, berraklığını ve sesin saçılmasını etkilemektedir.

- Birçok temel müzik enstrümanının sesleri zayıf ve bazılarının ise sadece harmonileri duyulmaktadır. Bu yüzden mekan içindeki yeterli bas seslerin yüksekliği sağlanmalıdır.
- Sesin homojen yayılmasını sağlayabilmek için; mekanda yapılan balkonlar çok derin çıkmalar olmamalıdır.
- Ses yayılımının yetersiz, çınlama süresinin kısa olması durumunda ekolar oluşmaktadır. Uzun çınlama süreleri sağlanarak ekolara neden olan yansımalar örtülebilmelidir.
- ITDG'nin 20 ms'i aşmaması, ekonun önlenmesi, direkt gelen sesin yüksekliğinin çınlayan ses kadar yeterli yükseklikte olması sağlanarak berraklık sağlanmalıdır.
- Ortamdaki arka plan gürültüsü azaltılmalıdır [6, 8, 12, 15, 16, 19].

2.4. Akustik Tasarım Kriterleri

Bir ses kaynağından dinleyiciye öncelikle direkt ses ulaşacaktır. Bu sesi, öncelikle yakın yüzeylerden gelen birincil yansımalar, daha sonra oda boyutlarına bağlı olarak uzak yüzeylerden gelen birincil yansımalar ve yakın yüzeylerden gelen ikincil yansımalar izleyecektir.

Ulaşan direkt ses ve yansımalar zaman ekseninde sıralandığında, mekana ve seçilen belirli bir ses kaynağı-dinleyici konumuna ait yansıma örgüsü-darbe yanıtı elde edilmektedir. Yansıma örgüsü ya da darbe yanıtı, mekanın içinde bulunan akustik sistemin dinamik özellikleri ile ilgili bilgiler sağlarken yansımaların oluşturabileceği ekolar hakkında ipuçları taşımaktadır [5, 6, 12].



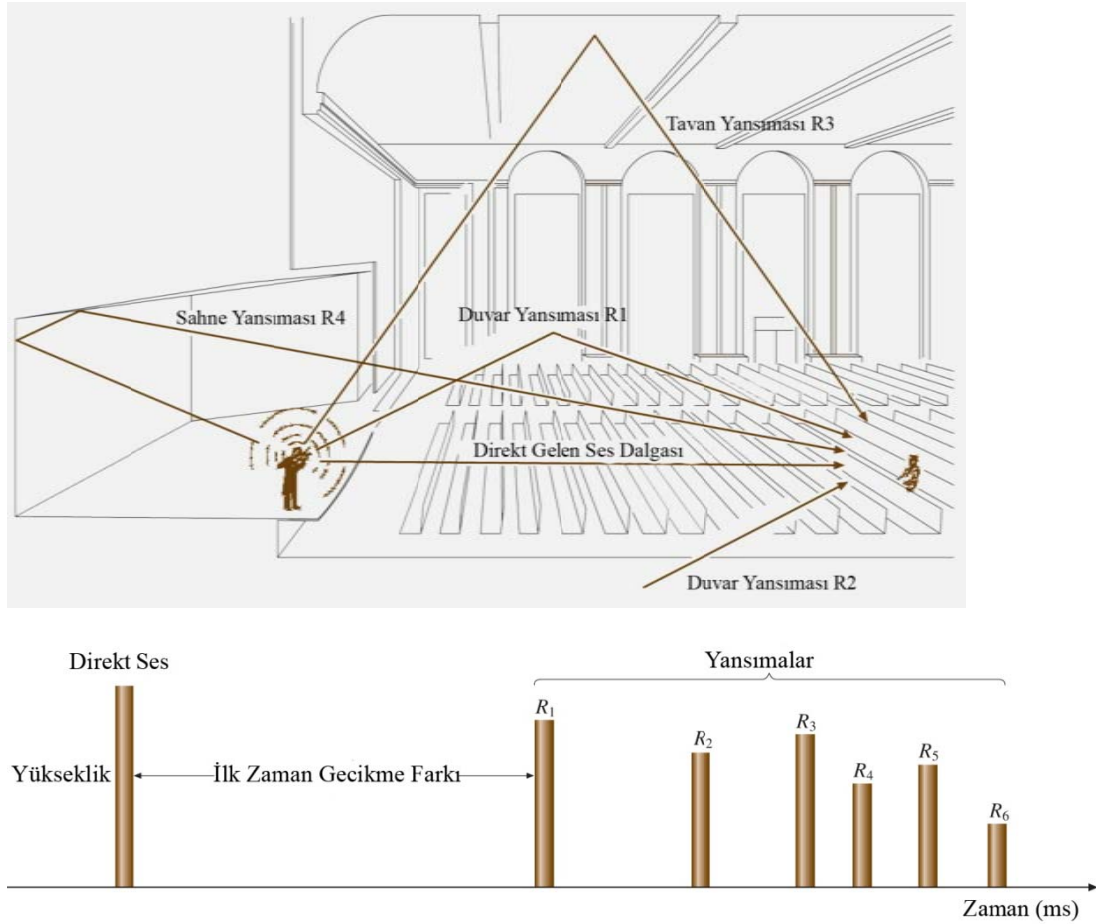
Şekil 2.8. Mekandaki ses ışınları ve yansıma örgüsü [20]

Bir mekanda, işlevine uygun ideal fiziki ortamı oluşturmak için bir çok gerekli düzenlemeler yapılmaktadır. Hacim akustiği ile ilgili araştırmalar Wallace Clement Sabine'nin 1895'te geliştirdiği deneysel çınlama denklemi üzerine kurulmuş olup Boston Senfoni Salonu'nun yapılmasıyla da literatürde belirmeye başlamıştır. Sabine'nin çınlama süresi kriteri, günümüze kadar gelen en önemli hacim akustiği kriteri olduğu söylenebilir. II. Dünya Savaşı'na kadar da bu konuda çok az gelişme yaşanmasına karşın; sonrasında radyo-televizyon yayın stüdyolarının gelişmesi, bilgisayar sistemlerinin ilerlemesi, yeni akustik malzemelerin geliştirilmesiyle günümüzde en az çınlama süresi kadar önemli başka kriterler de ortaya konmuştur [21].

2.4.1. İlk yansımanın gecikme süresi (initial time delay gap – ITDG)

Direkt gelen sesin dinleyiciye ulaşması ile ilk yansıma arasındaki gecikme farkıdır ve ITDG olarak ifade edilmektedir. Mekanın yakınlığının, akustik olarak ölçüsüdür ve

bu sürenin kısa olması durumunda, mekandaki akustik yakınlıktan söz edilebilmektedir.



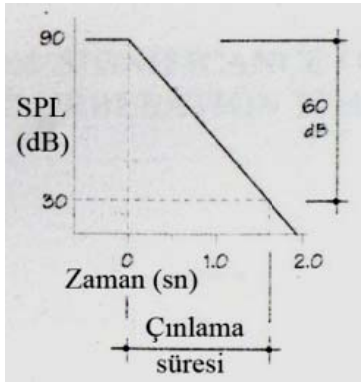
Şekil 2.9. Direkt ses ve yansıyan seslerin izlediği yollar [5]

ITDG, mekânın hacminin bir fonksiyonudur. Kulaklarımız ve beynimiz, bu zaman farklarını algılamakta oldukça hassastır. ITDG'nin varlığı ile kör bir insan bile mekânın boyutları ile ilgili bir yargıya varabilmektedir.

ITDG yeterince kısa ise, erken yansımalar, ses düzeyinin rahatsızlık vermeden yükselmesine ve konuşmanın anlaşılabilirliğine katkıda bulunurken ITDG'nin uzaması anlaşılabilirliğin azalmasına neden olmaktadır [5, 12].

2.4.2. Çınlama süresi (reverberation time – RT)

Çınlama süresi, Wallace Clement Sabine tarafından nesnel bir temele oturtulduğu söylenebilir. Sabine, ses üretmek için organ tüplerini, sesin tamamen sönmesinin ölçmek için kulaklarıyla bir kronometre kullanmıştır [12].



Şekil 2.10. Çınlama süresi [12]

Ses kaynağı susturulduktan sonra hacim içindeki sesin süre giden yansımalarla sönümlemesi olayına çınlama denilmektedir. Ses şiddeti ya da havadaki ses basıncı düzeylerinin 60 dB düşmesi için gereken süre ise çınlama süresi olarak tanımlanmaktadır [6].

Buna göre:

$$RT = 0.16 \frac{V}{\Sigma A} \quad (2.4)$$

Formülde;

RT: çınlama süresi, (sn)

V: hacim, (m³)

A: hacmin toplam yutuculuğu, (sabin); olarak verilmektedir.

Çınlama süresi, formülde gösterildiği şekliyle hacme ve hacmin yutuculuğuna bağlıdır.

Pratikte ise çınlama süresi, ses kaynağının susmasından sonraki -5 dB ile -35 dB arasındaki düşüş için geçen sürenin 2 faktörü ile çarpımı ile ölçülmekte ve T30 olarak ifade edilmektedir [21].

Buna göre:

$$RT = T30 \times 2 \quad (2.5)$$

Formülde;

RT: çınlama süresi, (sn)

T30: sesin 30 dB'lik azalması için geçen süre, (sn); olarak verilmektedir.

Sabine formülü; dağınık alan koşulları için geçerlidir. Bu koşul için ses yutma katsayısının 0.3 ün altında olması gerekmektedir. Hacmin, ses yutma katsayısı 0.3'ün üzerinde ve oda yüzeylerinin ses yutma katsayıları birbirine eşit ise Eyring; yüzeylerin ses yutma katsayıları birbirinden farklı ise Millington-Sette formülleri kullanılmaktadır [6, 21].

Buna göre;

Sabine Formülü:

$$RT = 0.163 \frac{V}{\sum \alpha_i S_i + n A_p + 4mV} \quad (2.6)$$

Millington-Sette Formülü:

$$RT = 0.163 \frac{V}{\sum -S_i \ln(1 - \alpha_i) + n A_p + 4mV} \quad (2.7)$$

Formülde;

RT: çınlama süresi, (sn)

V: hacim, (m³)

S_i: yüzey alanı, (m²)

ln (1-α_i): i indeksli malzemenin etkin ses yutma katsayısı

n: kişi sayısı

A_p : kişinin ses yutma katsayısı

m: nem, sıcaklık ve frekansa bağımlı enerji azaltma katsayısı; olarak verilmektedir.

Çınlama süresi; müzik için kullanılan mekanlarda ses yüksekliği, ses dolgunluğu, canlılık, bas seslerin sıcaklığı, dinleyicinin hacim tarafından sarmalanma hissi gibi kriterlerini etkilerken; konuşma için kullanılan mekanlarda konuşmanın anlaşılabilirliğini, berraklık ve belirginlik gibi kriterleri etkilemektedir. Dolayısıyla konuşma ve müzik için yapılan mekanlarda yüksek çınlama süresi nedeniyle konuşmanın anlaşılabilirliğinin kaybolmamasını ve düşük çınlama süresi nedeniyle sesin kaybolmasını engellemek için ideal çınlama sürelerinin yakalanması önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

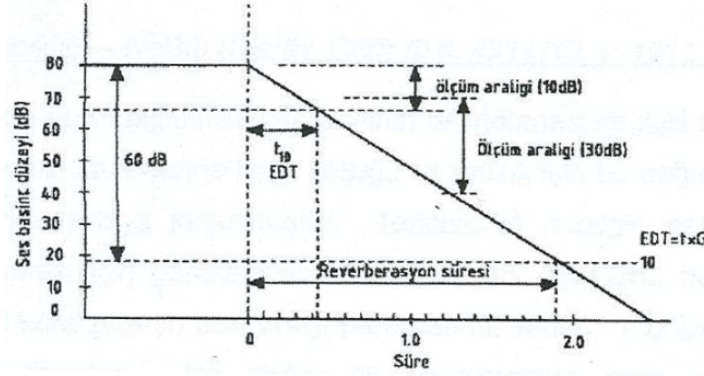
Çizelge 2.1. Çeşitli işlevler için ideal çınlama süreleri [11]

İşlevin Çeşidi	Çınlama Süresi (orta frekanslar için)
Yayın Stüdyoları	0.5
Sınıf	1.0
Konferans Salonu	1.0
Film/Drama Tiyatroları	1.0
Çok Amaçlı Salon	1.3-1.5
Çağdaş Kiliseler	1.4-1.6
Rock Konseri Salonları	1.5
Opera	1.4-1.6
Senfoni Salonu	1.8-2.0
Katedral	3.0 ve üzeri

2.4.3. Erken sönümlenme süresi (early decay time – EDT)

Ses kaynağı kapatıldıktan sonra ses basınç düzeylerinde 10 dB düşme için geçen sürenin 6 katına eşit süre olarak tanımlanmaktadır [6]. Sonuç olarak erken sönümlenme süresi; ses kaynağının susmasından sonraki 0 dB ile -10 dB arasındaki

düşüş için geçen sürenin 6 faktörü ile çarpımı olarak ölçülmekte ve EDT olarak ifade edilmektedir [21].



Şekil 2.11. Erken sönüleme süresi [21]

EDT, erken yansılardan meydana gelirken; RT, çok sayıda yansımadan meydana gelmektedir. RT, tüm hacim yüzeylerinden gelen yansılardan oluştuğu için hacim geometrisinden bağımsızdır. EDT'yi oluşturan erken yansılar hacmin tanımlanabilir yüzeylerinden geldikleri için hacim geometrisine bağlıdır. Bu nedenle; hacim geometrisinin hacim akustiği üzerindeki etkilerinin araştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu durum düşüşün son kısmının yani çınlayan kısmının önemsiz olduğu anlamına getirmez. Tam tersine son kısım müziğe canlılığını katan kısım [12].

Kısa EDT süresi berraklığı sağlarken; uzun RT süresi müziğe canlılığını kazandırmaktadır [12].

Genelde hacimde çift eğrili düşüş söz konusu değilse, tam dağınık alan koşulları sağlanmışsa, RT ve EDT süreleri aynı olacaktır. Eğer hacim içindeki ses alanı, dağınık alan koşullarına yakın ise EDT süresi RT süresinden daha uzun olacaktır. Kısacası RT ve EDT süreleri arasındaki uyum tasarımın dağınık mı yöneltilmiş mi ses dağılımı sağladığını göstermektedir [12, 22].

2.4.4. Belirginlik (definition – D50)

Belirginlik; 1953 yılında Thiele'nin koyduğu konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili kullanılan parametredir ve bir hacimdeki kaynak ile alıcının sinyal tepkisinden ölçülen erken enerji oranıdır. İlk 50 ms'lik zaman dilimi içerisinde alıcıya ulaşan erken ses enerjisinin toplam ses enerjisine oranıdır ve D50 olarak ifade edilmektedir [20].

Buna göre;

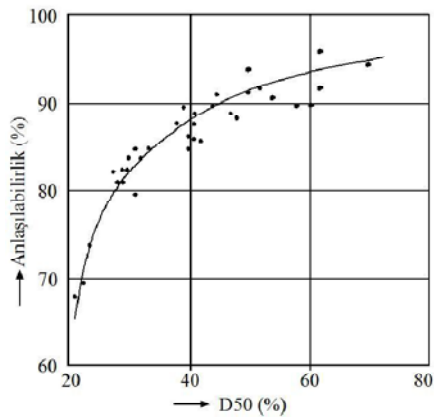
$$D50 = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.8)$$

Formülde;

D50: belirginlik

$p^2(t)$: ses basıncı, (pa); olarak verilmektedir.

Boré'un yapmış olduğu çalışmanın sonucu olan D50 parametresinin konuşmanın anlaşılabilirliği ile olan ilişkisi şekil 2.12'de görülmektedir. Bu duruma göre, D50 değerinin artmasıyla, konuşmanın anlaşılabilirliği artmaktadır; % 50 üzerindeki D50 değeri % 90 konuşmanın anlaşılabilirliğini sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı D50 parametresinin % 50 üzerinde aldığı değerler kabul edilebilir olarak görülmektedir [23].



Şekil 2.12. Belirginlik-anlaşılabilirlik ilişkisi [23]

2.4.5. Berraklık (clarity – C80)

Bir hacimde sesin algılanabilirlik limitinin belirlenmesi sinyalin karakterine bağlı olduğu kabul edilmektedir. Thiele'nin konuşmanın anlaşılabilirliği için önerdiği süre 50 ms iken, Reichardt's müziğin net ve açık bir şekilde algılanabilmesi için bu sürenin konuşmadan daha uzun olduğunu ortaya koymuş ve sesin belirginliği olan D50 parametresini kullanarak sesin berraklığı parametresini türetmiştir. Berraklık; ilk 80 ms içinde ulaşan erken ses enerjisinin, bu süreden sonra ulaşan geç ses enerjisine oranıdır ve C80 olarak ifade edilmektedir [12, 20].

Buna göre;

$$C80 = 10 \log \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (2.9)$$

Formülde;

C80: berraklık

$p^2(t)$: ses basıncı, (pa); olarak verilmektedir.

C80 parametresi ve RT süresi arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Örneğin; RT süresi uzadıkça, erken ses enerjisi azalır ve çınlayan ses enerjisi artmaktadır. Bu durumda müzik berraklığını kaybedecek ve C80 parametresi dB cinsinden negatif değerlerle ifade edilecektir. Eğer erken ses enerjisi, çınlayan ses enerjisine eşit olursa C80 parametresi 0 (sıfır) olacaktır. Tam tersine RT süresi azaldıkça başka bir deyişle ölü bir hacimde, erken ses enerjisi artacak; müzik oldukça net ve açık algılanacaktır. Bu durumda C80 parametresi dB cinsinden pozitif değerlerle ifade edilecektir [12].

Çizelge 2.2. Kabul edilebilir berraklık değerleri [24]

Kalite Değerleri	C80 Değerleri, dB	
	Ön Sıralar	Arka Sıralar
İyi	+3 ile +8	0 ile +5
Kabul Edilebilir	>+8 ve -2 ile +3	+5 ile +9
Kabul Edilemez	< -2	>+9 ve <-5

Başka bir deyişle ses enerjisi, frekansın bir fonksiyonudur. C80 parametresi de sesin 500, 1000 ve 2000 Hz'deki ortalamasıdır [12].

2.4.6. Erken yanal yansıma oranı (early lateral fraction – LF80)

Yanal yansımaların önemini vurgulamak için çıkan bu kavram; hacmin yan yüzeylerinden, direkt sestten sonraki ilk 80 ms içinde ulaşan erken ses enerjisinin, direkt sestten sonraki ilk 80 ms içinde ulaşan toplam ses enerjisine oranıdır ve LF80 olarak ifade edilmektedir [6].

Buna göre;

$$LF80 = \frac{\int_5^{80} p^2 yy(t) dt}{\int_0^{80} p^2 (t) dt} \quad (2.10)$$

Formülde;

LF80: erken yanal yansıma oranı

$p^2 yy(t)$: darbe türü bir ses kaynağından oluşan ve yan yüzeylerden gelen yansımalarla ilgili ses basıncı değişimi, (pa)

$p^2 (t)$: toplam ses basıncı değişimi, (pa); olarak verilmektedir.

Marshall, 1967'de yanal yansımayı ilk ortaya koyan kişidir. Marshall, müziğin çalındığı hacmin özelliğini mekansal tepkiyi anlatmaya çalışırken, erken yanal yansımaların etkisi mekansal algılama olarak tanımlanmaya başlanmıştır.

1989 yılında Marimoto ve Maekawa hacim içinde en az iki mekansal etki olduğunu belirtmişlerdir. Hacimce sarmalanma hissini; mekansal algılamadan bağımsız olduğunu, çınlayan sesin tutarsızlığına bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Bradley ve Soulodre, çalışmalarında Marimoto ve Maekawa'nın tezine katılarak hacim içinde en az iki mekansal etkiden söz etmişlerdir. Bu iki etkiyi: kaynağın genişlemesi ve dinleyicinin hacim tarafından sarmalanması (LEV) olarak tanımlamışlardır. Kaynağın genişlemesi, algılanan kaynak genişliği (ASW) ile ölçülmektedir. Deneyleri; ASW'yi erken seslerin, hacimce sarmalanma ise geç seslerin etkilediği göstermektedir [21, 25-27].

Yanal yansımaları;

- Salon içinde konsol olarak oluşturulan balkonlar,
- Teras şeklinde salona bakan mekanlar oluşturmaktadır.

Teraslı tasarımlar her ne kadar salonu genişleten bir tasarım biçimi olsa da; terasların yarattığı yan duvarlar, merkezdeki dinleyiciyi sararak hacimce sarmalanma hissini ve yakınlığı artırmaktadır [12].

2.4.7. Bas oranı (bass ratio – BR)

Düşük frekanslardaki seslerin (125 ve 250 Hz) çınlama ve erken sönümlenme süresinin, orta frekanslardaki seslere (500 ve 1000 Hz) oranıdır ve BR olarak ifade edilmektedir [6].

Buna göre;

$$BR = \frac{RT_{125 \text{ Hz}} + RT_{250 \text{ Hz}}}{RT_{500 \text{ Hz}} + RT_{1000 \text{ Hz}}} \quad (2.11)$$

Formülde;

BR: bas oranı, olarak verilmektedir.

Bas seslerin canlılığı, sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Düşük frekanslardaki seslerin çınlama ve erken sönümlenme sürelerinin, orta frekanslardaki seslerin çınlama ve erken sönümlenme sürelerinden uzun olduğu durumlarda hissedilmektedir. Düşük frekanstaki seslerin çınlama sürelerinin de fazla uzun olması düşük frekanstaki seslerin baskınlığından dolayı rahatsız edici olarak hissedilebilirler [6, 12].

BR değerinin 1.0'den büyük olması durumunda sesin sıcaklığından bahsedilebilir. Hacmin yüzeylerinin, hava boşluklu hafif malzemelerden yapılması, düşük frekanslardaki seslerin yutulmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, müzik salonlarında duvarların kagir olması (beton, taş, vb.) sağlanmalıdır. Eğer hafif taşıyıcı malzemelerden oluşturulacaksa da bu tür malzemeler hava boşluğu bırakılmadan direkt kagir yüzeye monte edilmelidir [12].

Bir salonda RT süresi 1.8 sn'den büyük ise tercih edilen BR değeri 1.1 ile 1.25 arasındadır. RT süresinin 1.8 sn'nin altına düşmesi durumunda ise BR değeri 1.1 ile 1.45 arasında olmalıdır [35].

2.4.8. Sesin yüksekliği (loudness-strength – G)

Akustik olarak yükseklik, salonun orta noktasında ölçülen ses basınç düzeyi² ile aynı kaynağın yansısız odada kaynaktan 10 m uzaklıkta ölçülen ses basınç düzeyi arasındaki farktır ve G olarak ifade edilmektedir [12].

Buna göre;

$$G = SPL_{\text{salon}} - SPL_{\text{yansısız oda}} \quad (2.12)$$

² Ses dalgalarından ötürü hava moleküllerinin titreşimi ile atmosferik basınçta oluşan değişime ses basıncı denir. Ses basıncı, kulakta ses duyumu oluşturur. İnsan kulağı tek bir sesin basıncını değerlendiremez. Bir başka ses ile karşılaştırarak hangisinin daha yüksek olduğuna dair karar verebilir. Kullanılan birime göre ölçülen ses basınçları çok geniş bir aralığı kapsadığından ve kulağın bunları ayırt etmedeki duyarlılığı fazla olmadığından, söz konusu değerlerin ifadesi için logaritmik bir ölçek kullanılmaktadır ve ses basınç düzeyi olarak adlandırılmakta ve SPL olarak ifade edilmektedir. Birimi dB'dir [29].

Formülde;

G: sesin yüksekliği, (dB)

SPL: ses basınç düzeyi, (dB), olarak verilmektedir.

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

Formülde;

G: sesin yüksekliği, (dB)

p^2 : mekanın sinyal tepkisinden elde edilen ses basıncının karesi, (dB)

$p^2 A(t)$: yansımaz bir odada mekan içerisindeki ses kaynağına eşdeğer bir kaynağın 10 m uzağında ölçülen ses basıncı (pa), olarak verilmektedir.

SPL, frekansa bağlıdır; G ise frekansın fonksiyonudur ve oktav bantlarla ölçülmektedir. Salonları karşılaştırırken 500 ve 1000 Hz'de ki seslerin ortama ses yüksekliği değerleri kullanılmakta ve bu değer G_{mid} olarak ifade edilmektedir. G_{mid} , direkt gelen ses gücünden ve çınlayan ses gücünden oluşmaktadır. Direkt gelen ses, mekan hacminin bir fonksiyonu iken; çınlayan ses, RT süresine yani EDT süresine bağlıdır. Bu duruma göre G_{mid} , salon hacmiyle ters; EDT süresiyle doğru orantılıdır. Örneğin, mekan hacmi küçüldükçe ses yüksekliği artmaktadır. Aynı şekilde EDT süresi arttıkça, çınlayan ses gücü artmakta bu da G_{mid} değerini arttırmaktadır [12, 21].

Buna göre;

$$G_{mid} = 10 \log \frac{EDT_{mid}}{V} + 44 \quad (2.14)$$

Formülde;

G_{mid} : orta frekanslardaki ses yüksekliğinin ortalaması, (dB)

EDT_{mid} : orta frekanslardaki seslerin erken sönümlenme sürelerinin ortalaması, (sn)

V: mekanın hacmi, (m^3) olarak verilmektedir.

2.4.9. Konuşma iletim indisi (sound transmission index – STI)

Konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili çalışmalar on dokuzuncu yüzyılda başlamıştır. Fakat bu çalışmalar, nitel ölçümlere dayanmamaktadır. Fletcher ve Steinberg, 1924'te konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili ilk nicel ölçümleri yapmışlardır. Bu ölçümler, söylenen harfin, kelimenin ve cümlenin yüzde kaç doğru anlaşıldığını gösteren çalışmalardır. French ve Steinberg, 1947'de konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili en kapsamlı çalışmayı yaparak AI'yı (articulation index) geliştirmişlerdir. Bundan sonraki dönemlerde araştırmalarda konuşmanın anlaşılabilirliği ve AI üzerinde etkili olan nedenler araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, ortamın arka plan gürültüsünün, mekan içinde konumlanmanın, uzaklığın ve çınlama süresinin konuşmanın anlaşılabilirliğini etkiledikleri öne sürülmüştür [12, 30].

Konuşmanın anlaşılabilirliği, geleneksel olarak bir salonda dinleyiciler ve çeşitli kelime listeleri ile yürütülen testler aracılığıyla yürütülmektedir. Bu testler aracılığıyla ölçülen yöntem AI (articulation index) adı verilmektedir. AI, 0 ile 1.0 arasında değer alır ve değer 1'e yaklaştıkça konuşmanın anlaşılabilirliği artmaktadır.

Çizelge 2.3. AI ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişki [12]

AI	Konuşmanın Anlaşılabilirliği
>0.7	Çok İyi
0.5 – 0.7	İyi
0.3 – 0.5	Ortalama
<0.3	Zayıf

Konuşmanın iletim indisi ise günümüzde geçerliliği kanıtlanmış ve standartlara geçmiş bir ölçme yöntemidir ve STI olarak ifade edilmektedir. STI, 1973 yılında Houtgast ve Steeneken'in çalışmalarını AI üzerine kurarak geliştirdikleri bir yöntemdir.

Houtgast ve Steeneken, STI'yı insan sesini taklit eden modülasyon transfer fonksiyonu – MTF isimli sistem üzerinden geliştirilmiştir. Bu fonksiyonun temelini konuşmanın akort edilmiş gürültü bantlarından meydana gelmesi oluşturmaktadır. Ses telleri titreşerek bir gürültü bandı oluştururken, ağız bu gürültüyü çeşitli frekanslarda akort ederek kelimelere dönüştürmektedir. MTF sistemi, ses teli gibi ağız ile yapılan sesleri taklit etmektedir. Tüm çalışmalar elektronik ortamda gerçekleştirildiği için AI gibi sonuçları kişisel değerlendirmelere, yorumlara ve çalışma sırasındaki kişilerin psikolojik durumlarından etkilenmemektedir. STI'da AI gibi 0 ile 1.0 arasında değer alır ve değer 1'e yaklaştıkça konuşmanın anlaşılabilirliği artmaktadır [6, 31].

Çizelge 2.4. RASTI ve konuşmanın anlaşılabilirliği arasındaki ilişki [32]

RASTI	Konuşmanın Anlaşılabilirliği
0 – 0.32	Kötü
0.32 – 0.45	Zayıf
0.45 – 0.60	Ortalama
0.60 – 0.75	İyi
0.75 – 1.0	Mükemmel

Kısaca tüm nesnel tasarım kriterlerinin, öznel tasarım kriter karşılıkları Çizelge 2.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.5. Nesnel tasarım kriterlerinin, öznel tasarım kriter karşılıkları






Nesnel Tasarım Kriterleri	Öznel Tasarım Kriter Karşılıkları
İlk Yansımanın Gecikme Süresi (ITDG)	Yakınlık
Çınlama Süresi (RT)	Çınlama Ses Dolgunluğu Canlılık Sıcaklık Parlaklık
Erken Sönümlenme Süresi (EDT)	Çınlama Canlılık
Belirginlik (D50)	Konuşmanın Anlaşılabilirliği
Berraklık (C80)	Ses Dolgunluğu
Erken Yanal Yansıma Oranı (LF80)	Hacimce Sarmalanma Sesin Varlığı Ton Zenginliği
Bas Oranı (BR)	Sıcaklık Ton rengi Ton Dengesi
Sesin Yüksekliği (G)	Yükseklik Hacimce Sarmalanma Yakınlık

3. TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİNDE ETKİLİ OLAN TASARIM KRİTERLERİ

3.1. Salonun Geometrisi

Salonun geometrisi, akustik özellikleri etkileyen en önemli kriterlerden biridir. “İdeal salon geometrisi nedir?” geometri ile ilgili en önemli sorudur. Haan ve Fricke’nin 1992’de yaptıkları çalışmada salonları,

1. Dikdörtgen Biçimli Salonlar-Kutu Formlu Salonlar (Rectangular-Shoebox shaped halls)
2. At Nalı Biçimli Salonlar (Horseshoe-shaped halls)
3. Yelpaze Biçimli Salonlar (Fan-shaped halls)
4. Arena Biçimli Salonlar (Arena-shaped halls)
5. Amorf Biçimli Salonlar (Geometric-Irregular style halls) olarak 5 farklı sınıfa ayırmışlardır [33].

Kategori	Genel Ana Hattı
Dikdörtgen Geometrilili	
At nalı Geometrilili	
Fan-Yelpaze Geometrilili	
Arena Geometrilili	Arena 
	Yarı Arena 
Amorf Geometrilili	

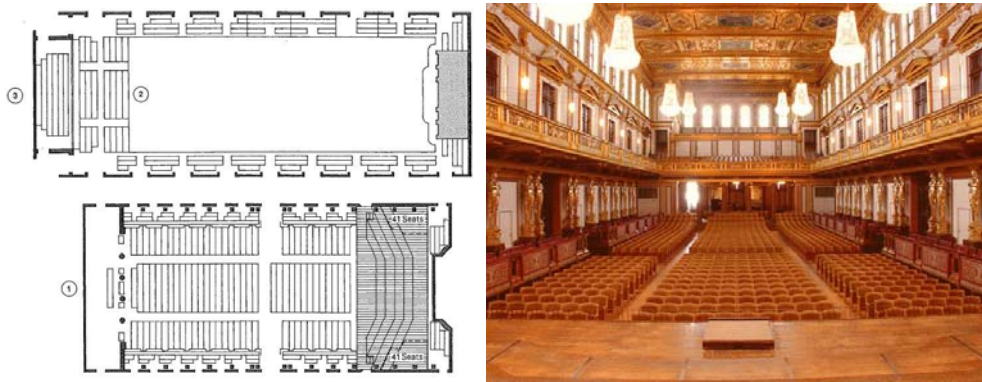
Şekil 3.1. Salon geometrileri [33]

3.1.1. Dikdörtgen biçimli salonlar

On dokuzuncu yüzyıl ve yirminci yüzyılın erken dönemlerinde yapılmış salonlar, geleneksel olarak en yaygın şekilde kullanılan geometriye sahiptir. Karakteristik olarak uzun ve dar bir geometriye sahip, yüksek tavanlı, kalın taşıyıcı yan duvarları olan, genişliği ahşabın geçme mesafesine göre değişen salonlardır.

Kuvvetli yanal yansımaların varlığı nedeniyle algılanan kaynak genişliği ve dinleyici kuşatılmışlığı izlenimini en iyi veren salonlardır. Paralel yüzeyler arasında oluşan çapraz yansımalar sesin dolgunluğunu arttırmada önemli unsurlardır. En önemli avantajları; yansıyan sesin geldiği yön ve her dinleyiciye ulaşan güçlü erken yansımalarıdır [8].

Ancak bu salonlar belirli bir dinleyici sayısına kadar akustik açıdan etkin özellikler göstermektedirler. Dinleyici sayısının artmasıyla birlikte salon arkaya doğru uzamaya ve arkada oturan dinleyicilerin sahneden uzaklaşmaları ile ses düzeyi düşmektedir. Bu durum, salonun her yerinde eşit ses düzeyinin sağlanamaması durumunu ortaya çıkarmaktadır. Salonda eşit ses düzeyi sağlayıp dinleyici sayısının arttırmak için yelpaze biçimli plan formu türetilmiştir. [33-35].



Şekil 3.2. Dikdörtgen biçimli salon örneği, Grosser Musikvereinsaal, Viyana [35]

3.1.2. At nalı biçimli salonlar

At nalı biçimli salonlar, opera salonlarının geleneksel plan şemasıdır. Karakteristik olarak zemin plan şemasının paralelinde balkon plan şemasını oluşturmaktadır. Salon yüzeylerinde herhangi bir iyileştirilme yapılmasa bile bu balkonlar yutuculuk ve yeterli çınlama süresini sağlamaktadırlar. Avrupa operalarının hızlı pasajları için kısa çınlama süresini sağlarken orkestral performanslar için bu çınlama süresi beklenen optimum sürenin altında kalmaktadır [8].

Eğrisel arka duvarlar yansımaların odaklanmasına neden olmaktadır. Son yıllarda bu formun duvarları salonun içine doğru meyillendirilerek, yüzeylere yan yansımaları güçlendirici yansıtıcılar ve salonun sahne bağlantısındaki yüzeylerine ise dış bükey yansıtıcılar konularak akustik konfor koşulları iyileştirilebilmektedir [6, 33].



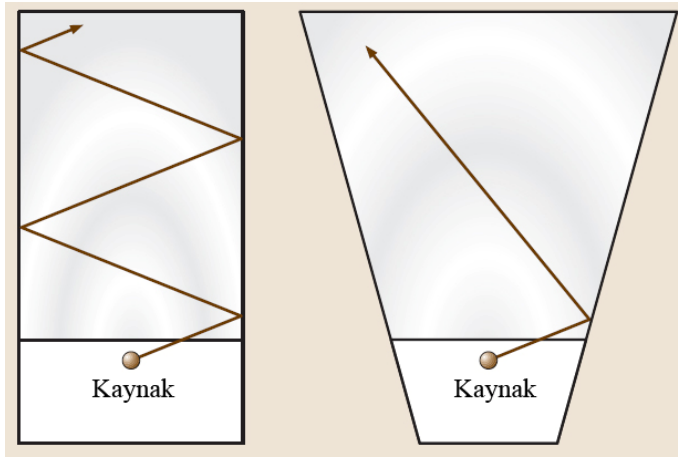
Şekil 3.3. At nalı biçimli salon örneği, Teatro Alla Scala, Milano [35]

3.1.3. Yelpeze biçimli salonlar

Yirminci yüzyılda yapılan salonlar kalabalık dinleyici kitlesine hizmet etmek için tasarlanmaya başlanmışlardır. Ticari açıdan ve dinleyiciyi ses kaynağına yakınlaştırdığı için ağırlıklı olarak tercih edilen salon geometrisidir.

Yan yansımaların büyük çoğunluğu arka orta tarafa düşmektedir. Arka duvarların çoğunlukla ses yutucu olarak tasarlanması bu yararlı yansımaların yutularak yitirilmesine sebep olmaktadır. Salonun orta kısmı yan yansımalarından yeterli güç alamamaktadır. Bu yüzden tavan baskın bir yansıtıcı haline gelmiştir [6].

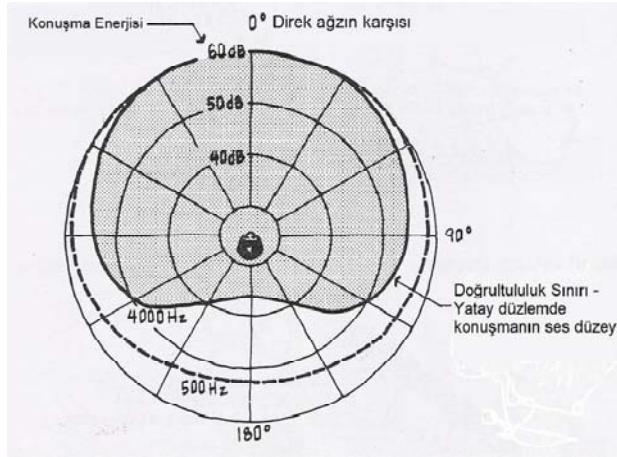
Bu geometriye sahip salonlar güçlü yanal yansımaları sağlayamamaktadırlar. Çünkü kaynaktan çıkıp yan duvarlara çarparak oluşan yansımalar direkt sesle yaklaşık olarak aynı paralellikte dinleyiciye ulaşmaktadır [5].



Şekil 3.4. Geometriye bağlı olarak duvardan gelen yansımaların doğrultusu [5]

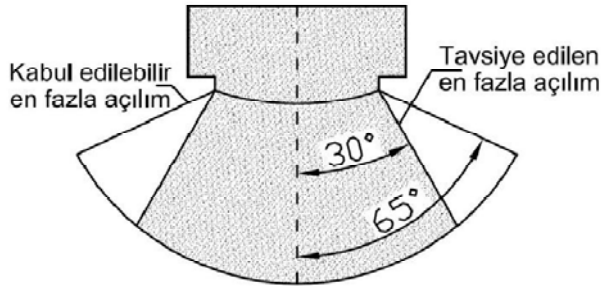
Bu geometriye sahip salonlarda, arka duvarların ve balkonların ön kısımları eğrisel olarak tasarlanırsa eko ve odaklanma gibi akustik kusurlara neden olan ses yayılmaları ortaya çıkmaktadır [8].

Yan duvarların açılımı, konuşmanın doğrultululuk özelliği göz önüne alınarak belli limitler içinde yapılmalıdır. Konuşmacının kafası akustik gölge oluşturacağı için konuşma bütün yönlere eşit dağılamamaktadır. Şekil 3.5'te plan düzleminde konuşmacının ağzı merkez alınarak 125-250 Hz ve 1400-2000 Hz frekans aralığı için konuşmanın ses basınç düzeyleri gösterilmiştir. Ses basıncı konuşmacının önünde en yüksek düzeydeyken yanlara doğru azalmaya başlamaktadır. En büyük azalma konuşmanın anlaşılabilirliğin frekansı olan 1400-2000 Hz arasında gerçekleşmektedir.



Şekil 3.5. İnsan sesinin doğrultululuk özelliği [13]

Bu nedenle konuşmanın yön faktörü dikkate alınarak yelpaze biçime sahip salonlarda yan duvar açılımları 30° ile 65° arasında olmalıdır.



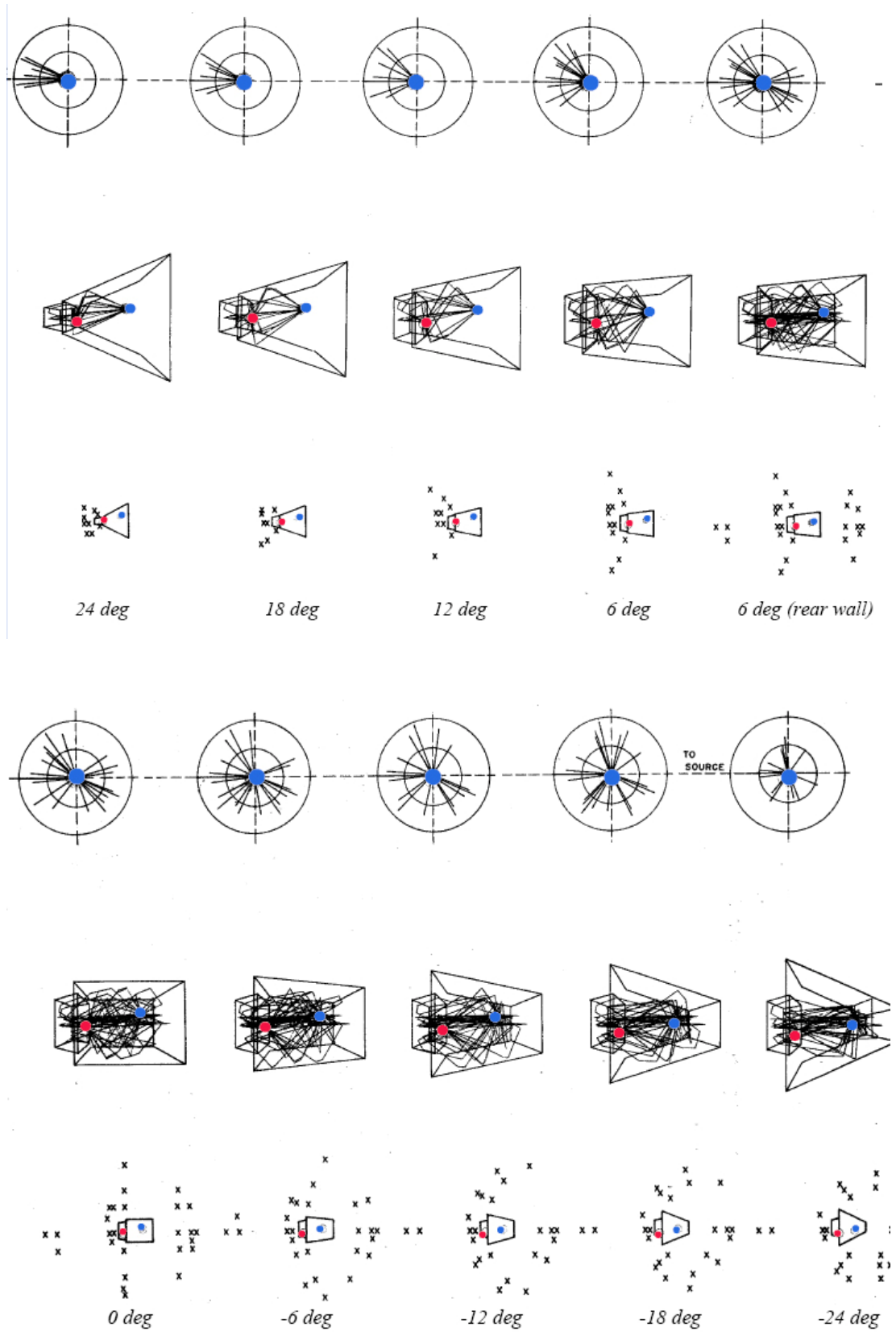
Şekil 3.6. Salon yan duvar açılımı [12]

Bu formun çevrilip kullanılmasıyla elde edilen ters yelpaze biçimine sahip salonlar, tüm formlar arasındaki en güçlü yan yansımalara sahip olmalarına karşı dinleyici kapasitesinin az olması nedeniyle tercih edilmemektedirler.



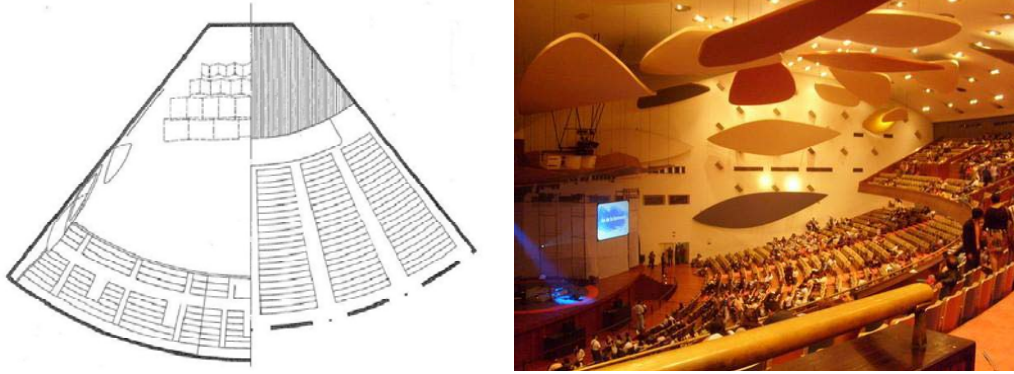
Şekil 3.7. Salon geometrisi ve yanal yansıma [12]

Edwards'ın 1984 yılında yaptığı çalışma, 3 farklı gösterim şekliyle yanal yansımaların salonun duvarlarının açılarının değişmesiyle nasıl değiştiğini göstermektedir. Birinci gösterim şekli ses demeti, ikinci gösterim şekli ışın izleme yöntemi ve üçüncü gösterim şekli ise noktalamadır. Şekil 3.8'den görüldüğü gibi salonun geometrisi yelpaze formundan dikdörtgen formuna yaklaştıkça yani duvar arasındaki açı 0° 'a yakınlıklaştıkça dinleyicilere daha fazla yanal yansımalar ulaşmaktadır. En geniş yelpaze formulu salonda dinleyici neredeyse hiç yanal yansıma alamamaktadır. Ters yelpaze formuna döndükçe dinleyici daha fazla yanal yansıma aldığı gibi arka duvarlardan da gelen yansımalarla dinleyici ses tarafından kuşatılmaya başlamaktadır.



Şekil 3.8. Salon geometrisi ve yanal yansıma [36]

Bu formun neden olduğu kapasite dezavantajı, bir yelpaze formu ile taban tabana eşleştirilip altıgen geometriye sahip bir salon formuyla ortadan kaldırılabilir [6, 34].

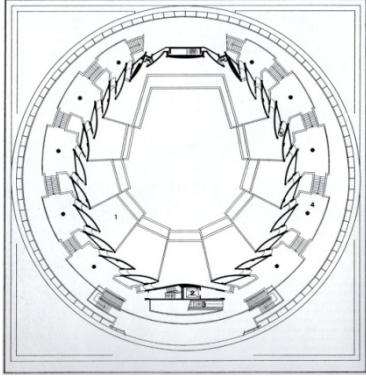


Şekil 3.9. Yelpaze biçimli salon örneği, Karakas Üniversitesi Oditoryumu, "Aula Manga" [35]

3.1.4. Arena biçimli salonlar

Arena biçimli salonlar, karakteristik olarak yüksek tavanlı ve kubbeyle tamamlanmış salonlardır. Yüksek tavanla birlikte mekanın hacmi artmakta böylece uzun çınlama süreleri sağlanabilmektedir. Uzun çınlama süresi ekolara, geç yansımalara ve odaklanma gibi akustik kusurlara yol açmaktadır. Ayrıca yüzeyin eğrisel olması nedeniyle hacim iç yüzeylerinde oluşan ses ya da dalga sürünmeleri fisıldayan galeri adı verilen başka bir akustik kusura neden olmaktadır.

Bu formun sorunları; iç yüzeylere dalgalı, büyük dış bükey çıkıntılar, petek şeklinde panolar ve asılı panolar kullanılarak çözümlenebilmektedir [6, 8, 33].



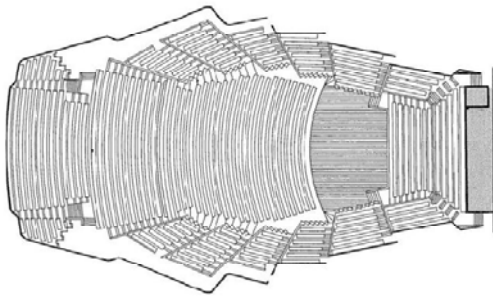
Şekil 3.10. Arena biçimli salon örneği [34]

3.1.5. Amorf biçimli salonlar

Dinleyiciyi kaynağa en çok yaklaştıran geometriye sahip salonlardır. Düzensiz geometri, yutucu ve saçıcıların rastgele dağılımı için uygun yüzeyler oluşturmaktadır. Bu durum, yüzeylerin kısa gecikmiş yansımalar üretmesi ile hacmin akustik yakınlığını ve belirginliğini sağlamaktadır.

Düzensiz altıgen geometriye sahip salonlar dikkatli açıldırılır, saçıcı yüzeyler düzgün yerleştirilirse dikdörtgen geometrili forma sahip salonlardan daha başarılı çapraz yansımalar oluşturmaktadırlar.

Bu forma sahip salonlar şimdiye kadar yapılmış diğer geometrili formlara sahip salonlardan daha başarılı akustik konfor koşulları oluşturmaktadırlar [8, 33].



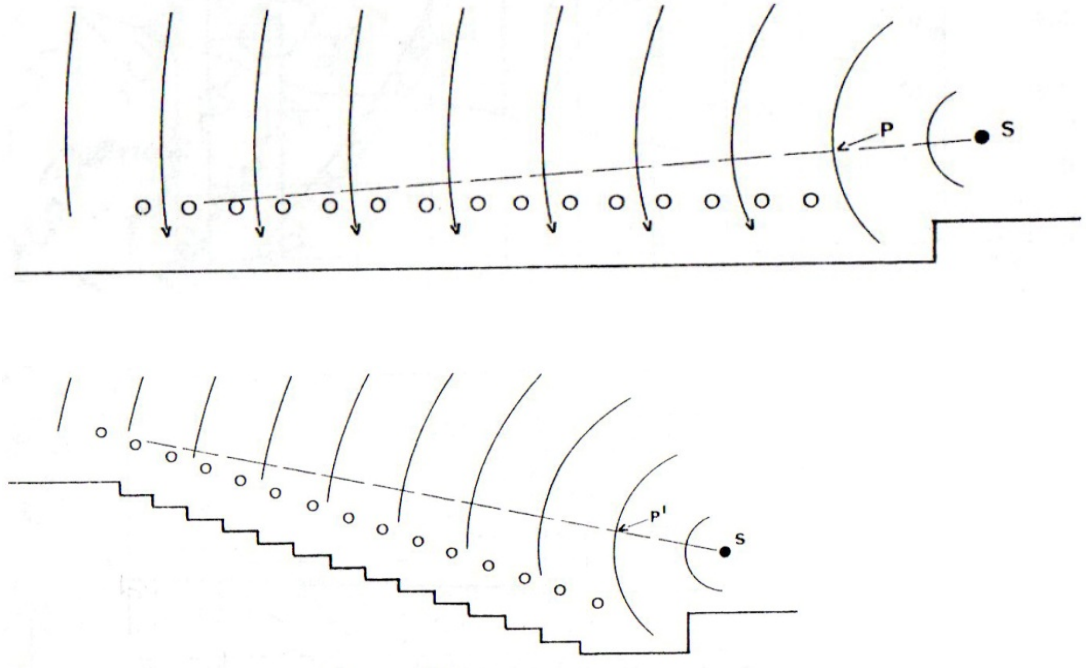
Şekil 3.11. Amorf biçimli salon örneği, Sydney Opera Binası Konser Salonu [35]

3.2. Salonun Yüzey Karakteristiği

Salon içindeki yüzeylerde kullanılacak yansıtıcı ve yutucu malzeme seçimleri, konumları ve formları hacim içinde oluşabilecek eko, odaklanma gibi akustik kusurların önlenmesi açısından önemlidir.

3.2.1. Döşemeler

Döşeme eğimi, sadece görsel değil akustik konfor koşullarını sağlamak açısından da önemlidir. Sesin dinleyiciye ulaştırılırken dinleyici tarafından yutulması döşemenin eğimlendirilmesi ile önlenmektedir. Döşeme eğim açısının % 8'in altına düşmemesi gerekmektedir. Buna karşın fazla verilmiş eğim, salonun tavan yüksekliğini artırarak kişi başına düşen hacmin artmasına neden olmaktadır [12, 14, 15, 17].



Şekil 3.12. Döşeme eğimi ve sesin yayılması [15]

3.2.2. Tavanlar

Yanal yansımaların varlığı, akustik konfor koşullarını oluşturmakta oldukça önemlidir. Fakat sadece yan duvarlardan gelen yansımalar yeterli olmamaktadır. Yanal yansımalara destek olarak tavanlarda yansıtıcı, saçıcı ve kırıcı yüzeyler tasarlanmaktadır. Oditoryum ya da tiyatro tasarımları için yani konuşma ağırlıklı kullanılacak mekanlarda dinleyici başının üstünden gelen güçlü yansımalar istenirken; müzik ağırlıklı kullanılacak mekanlarda sesin saçılarak her yönden gelmesi, mekanın dinleyiciyi sarmalaması istenmektedir.

Tavan yansıtıcıları salonun bir tarafına giden ses enerjisini yükseltmek için kullanılmaktadır. Tavan yansıtıcıları şekil 3.13'te görüldüğü gibi yerleştirilmelidir.

Yansıtıcılar yerleştirilirken direkt ses ile yansıyan sesin aldığı yollar arasındaki mesafenin 20 m'yi geçmemesi gerekmektedir [12].

Eğer mekan fazla yüksek değil ve salon zemini yeteri kadar eğimlendirilmiş ise düz bir tavan gerekli yansımaları oluşturmak için yeterli olacaktır. Eğer mimari tasarım açısından gerekli ise eğrisel yüzeylere sahip tavan yansıtıcıları kullanılabilir. Bu tür yansıtıcıların çapı, eko ve odaklanma gibi akustik kusurlara yol açmamak için tavan yüksekliğinin iki katı ya da yarısından daha az olmamalıdır [14].

Tavanda kullanılan yansıtıcı yüzeylerin herhangi bir yöndeki boyutu 2,5 m'den kısa olmamalıdır. Yüksek dereceli yansımalar sağlanabilmesi için yüzey kütlesinin ağır olması gerekmektedir [12].

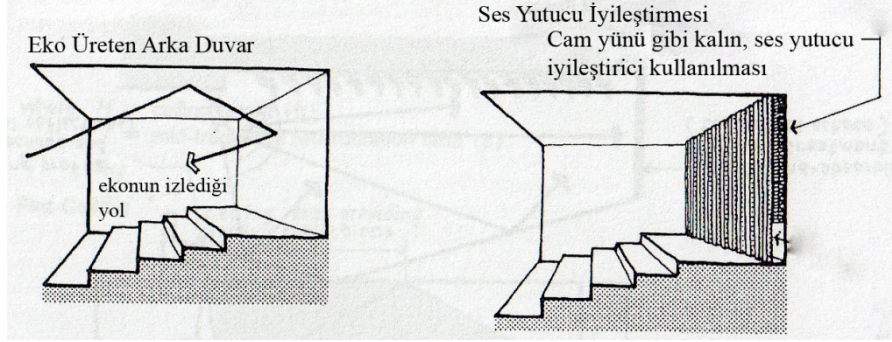
3.2.3. Arka ve yan duvarlar

Yan duvarlar, yararlı yansımalar oluşturarak salonun arka tarafına ulaşan sesi güçlendirirken yanal yansımalar ile akustik yakınlığı sağlamaktadırlar. Buna karşın büyük salonlarda bazı duvarlar eko ve geç yansıma gibi akustik kusurlara neden olmaktadır. Bu duruma neden olabilecek duvarlar pürüzsüz ve yansıtıcı yüzeyler olarak değil, saçıcı ya da yüksek yutma katsayısına sahip malzemeler ile kaplanarak tasarlanmalıdır.

Düz yansıtıcı arka duvarlar orta ve geniş salonlarda eko, istenmeyen ve gecikmiş yansımalar ve kaynak yakınında odaklanma gibi akustik kusurlara neden olmaktadır.

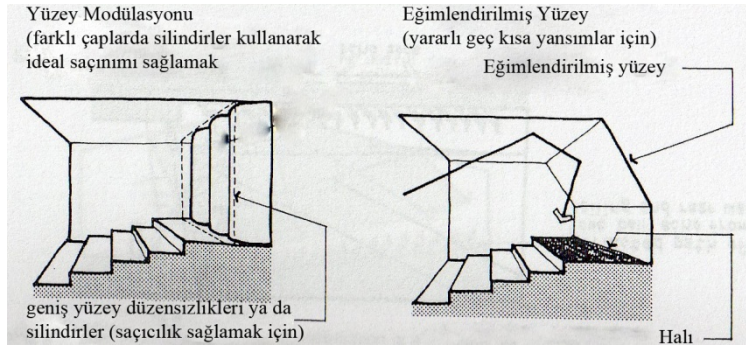
Bu durum:

1. Arka duvarlara delikli ses yutucu malzemeler ile kaplayarak,



Şekil 3.14. Arka duvarlara delikli ses yutucu malzemeler ile kaplanması [13]

2. Arka duvar ve tavan arasındaki köşeyi pahlayarak,
3. Saçıcılık sağlamak amaçlı duvar yüzeyine farklı çaplarda silindirler kaplayarak düzeltilebilmektedir [12-14].



Şekil 3.15. Arka duvar ve tavan arasındaki köşenin pahlanması ve saçıcılık sağlamak amaçlı duvar yüzeyine farklı çaplarda silindirler kaplanması [13]

3.3. Salonun İç Yapısı

3.3.1. Sahne

Seyirci-oyuncu arasındaki ilişkinin nitelikli kurulabilmesi için sahnenin tasarımı oldukça önemlidir. Sahnedeki akustik konfor koşullarının salonun geri kalan kısmıyla aynı nitelikte olması beklenmektedir. Kimi sahne türlerinde bulunan sofita,

sahnedeki akustik konfor koşullarını olumsuz etkilemekte oyuncunun daha fazla efor harcamasına neden olmaktadır. Doğru tasarlanmış sahne dekorlarıyla bu olumsuz koşullar ortadan kaldırılabilmektedir.

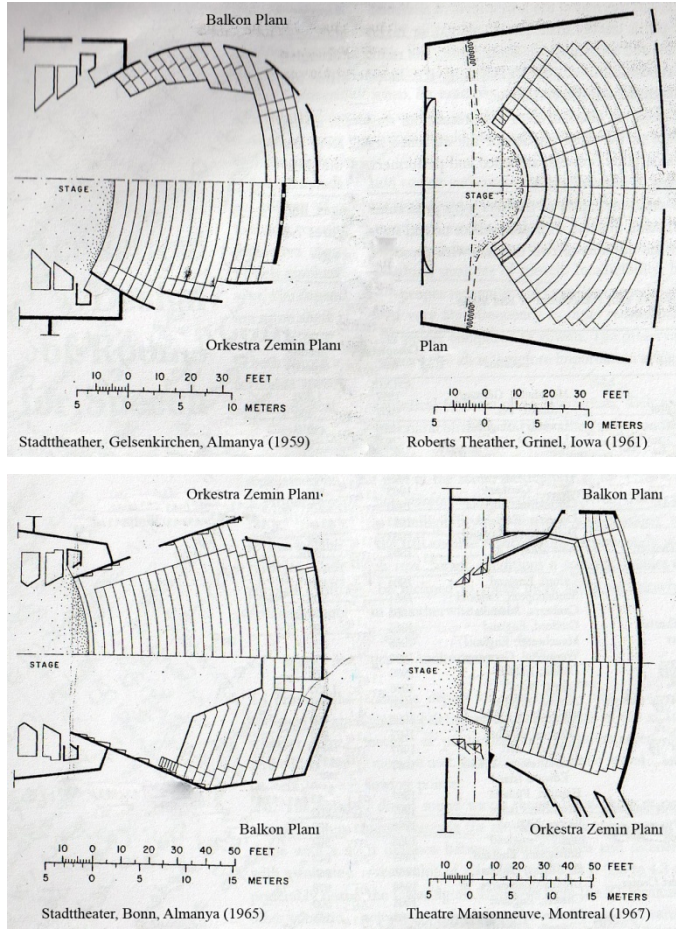
Sahne yüzeyleri sesi direkt seyirciye ulaştırılabilecek şekilde yansıtıcı olarak tasarlanmalıdır. Sahne döşemesi en az 3 cm hava boşluklu ahşap kaplama olarak seçilerek istenmeyen sahne yansımalarını engellemek amacıyla koyu renge boyanmalıdır [8, 12, 37].

Çerçeve (Proscenium) Sahne

Aynı zamanda *picture-frame* sahne ve *enclosed* sahne olarak adlandırılmaktadır. Performansın sergilendiği alan oditoryumun bir tarafındadır. Sahnenin kapalı bir kutu içinde olduğu ve seyircinin performansı çerçeve boşluğundan izlediği sahne türüdür. Eski Yunan ve Roma açık hava tiyatrolarındaki sahneden etkilenerek geliştirilmiştir.

Bu tür salonlardaki akustik kusurlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Sahnenin tek bir açıdan izlenebiliyor olması, sahne açıklığına çok fazla oturma olanağı sağlayamamaktadır. Bu durum oyuncular ile seyircilerin arasındaki mesafeyi artırmakta, ses güçlendirici sistemler kullanılmadığı durumda arka oturma sıralarında yeterli ses yüksekliği sağlanamamaktadır.
- Sahne dekorları ve aydınlatma armatürleri, sesi yükseltmek için kullanılacak ses yansıtıcı yüzeyler için performans alanı yakınında yeterli yüzeyi bulmayı zorlaştırmaktadır.
- Seyirci kapasitesi sahneden çok uzaklaşmadan balkonlu tasarımlarla artırılabilir. Zemin kademelendirilmesinin doğru yapılması iyi görüş açısı sağlayamayacağı için salon yüksekliğini artırarak istenmeyen uzun çınlama süresine ve derin balkonlu tasarımlarla da akustik gölgeye neden olabilmektedir [8].



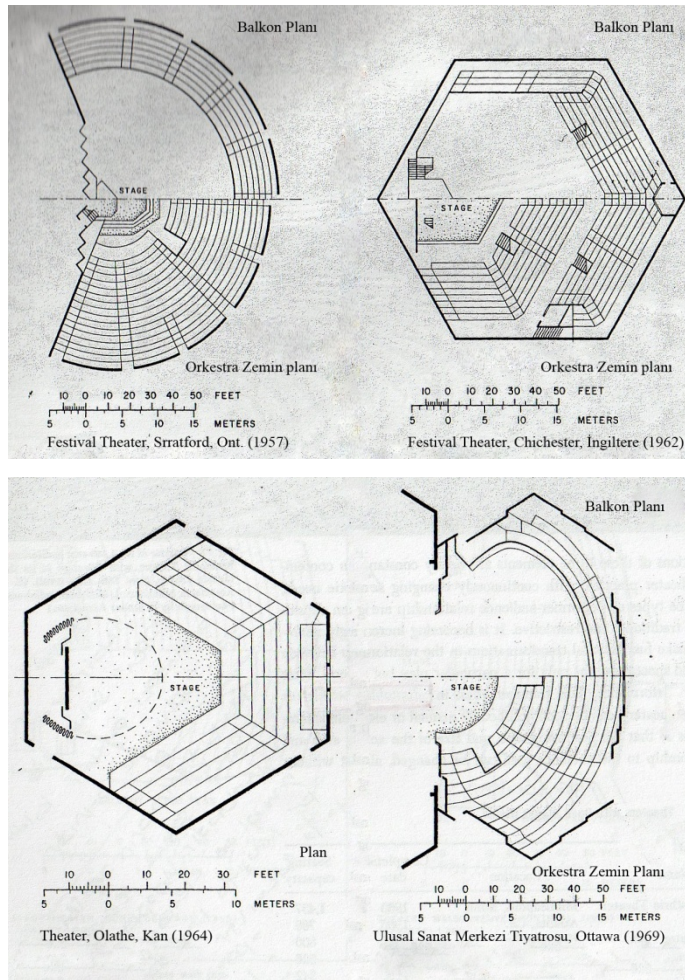
Şekil 3.16. Çerçeve sahne örnekleri [8]

Çevreli (Open) Sahne

Aynı zamanda *thrust* sahne ve *Elizabethan* sahne olarak adlandırılmaktadır. Bir çok taraftan dinleyici tarafından çevrelenmiş sahne türüdür. Performans, çoğu zaman seyirci ile aynı mekanda gerçekleştirilse de kimi zaman sahnenin arkasındaki duvar açıklığında da gerçekleşebilmektedir. Bu sahne türü akustik yakınlığı ve oyuncu-seyirci arasındaki ilişkiyi güçlendirmekte, 17-19 m uzaklık içinde 1000-2000 kişilik oturma kapasitesini sağlayabilmektedir. Aynı oturma kapasitesi çerçeve sahnede 30-37 m uzaklık gerektirmektedir [8].

Bu tür salonlardaki akustik kusurlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Seyircinin sahneyi çevrelemesi performansın bir kısmında oyuncunun seyirciye arkasını dönmesine neden olmaktadır. Bu durum konuşmanın anlaşılabilirliğini etkilemektedir.
- Aydınlatma armatürlerinin sahne çevresinde konumlandırılması ses yansıtıcı yüzeylerin sahneye yakın konumlandırılmasını zorlaştırmaktadır [8].

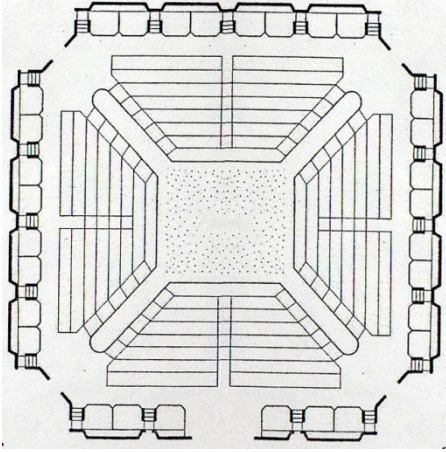


Şekil 3.17. Çevreli sahne örnekleri [8]

Arena Sahne

Aynı zamanda *central* sahne ve *theater in the round* olarak adlandırılmaktadır. Klasik amfi tiyatro plan şemasının geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Çevreli sahnedeki

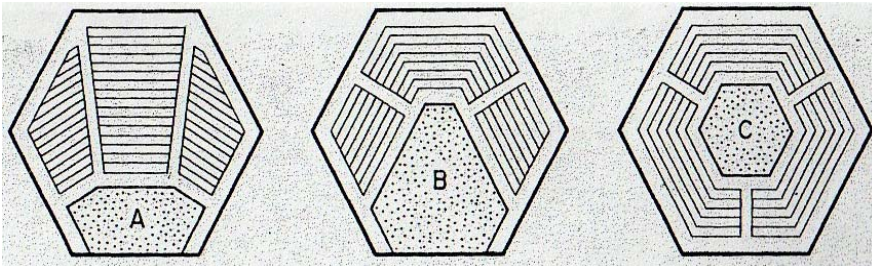
gibi oyuncu-seyirci arasındaki ayırımı ortadan kaldırmaktadır. Bu tür salonlardaki akustik kusurlar çevreli sahne türünün sorunları ile aynıdır [8].



Şekil 3.18. Arena sahne örneği [8]

Değişken (Adaptable) Sahne

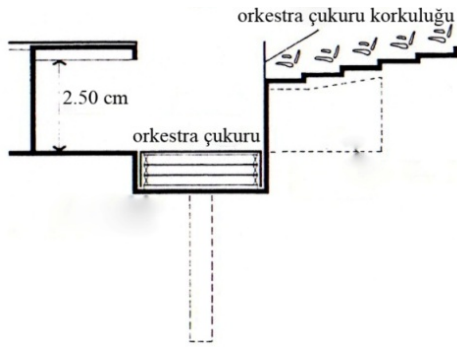
Modern tiyatroların gelişmesi ve değişen estetik değerleri yukarıda açıklanan sahne türlerini geleneksel ve sınırlayıcı kılmaktadır. Aynı zamanda *multiform theatres* olarak adlandırılan değişken sahneler manüel ve elektromekanik ayarlanarak limitsiz mekanlar ortaya çıkarmaktadır. Bu sayede oyun alanının pozisyonu, şekli, boyutu, seyirci ile olan ilişkisi ayarlanabilmektedir [8].



Şekil 3.19. Değişken sahne olarak kullanılma durumları [8]

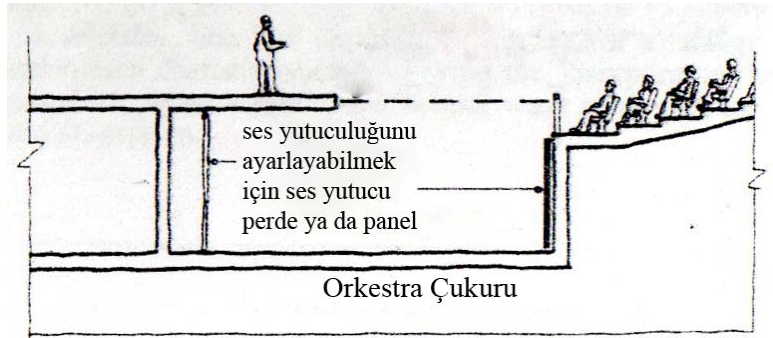
3.3.2. Orkestra çukuru

Orkestralar; boyutları ve gereksinim duydukları alanlar açısından farklılık göstermektedirler. Genel olarak müzisyen başına 1 m² yere ihtiyaç duyulmaktadır. Orkestra çukuru içinde yer alacak orkestra elemanları sayısı arttıkça orkestra çukuru sahne altına girmeye başlamakta ve sahnenin dinleyiciden uzaklaşması söz konusu olmaktadır. Orkestra çukuru, sahnenin döşeme yüzeyinden en fazla 2,5 m aşağıda olmalıdır.



Şekil 3.20. Orkestra çukuru derinliği [37]

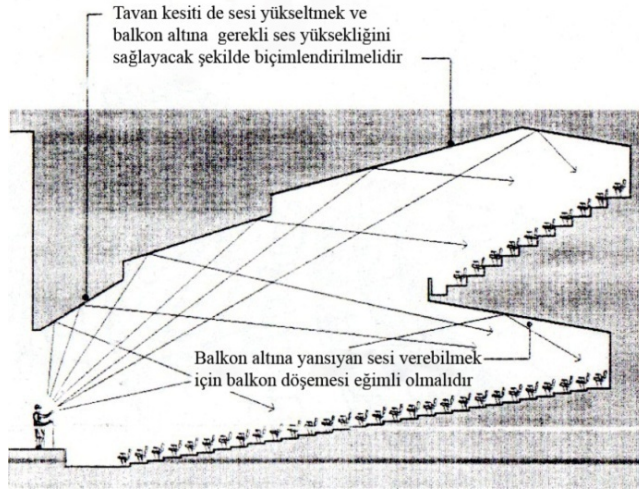
Orkestra ile oyuncu arasındaki dengenin korunması içinde sahnenin orkestra çukurunun 1/3'ünden daha fazlasını örtmemesi gerekmektedir. Orkestra çukuru yüzeyleri, çukurdaki sesin ayarlanabilmesi için hareketli yutucu panellerle kaplanmalıdır. Korkulukları, ön sırada bulunan oturma gruplarına aşırı yüksek sesin ulaşmasını önlemek amacıyla içi dolu malzemelerden seçilmelidir [8, 12, 37].



Şekil 3.21. Orkestra çukurunun kesiti [12]

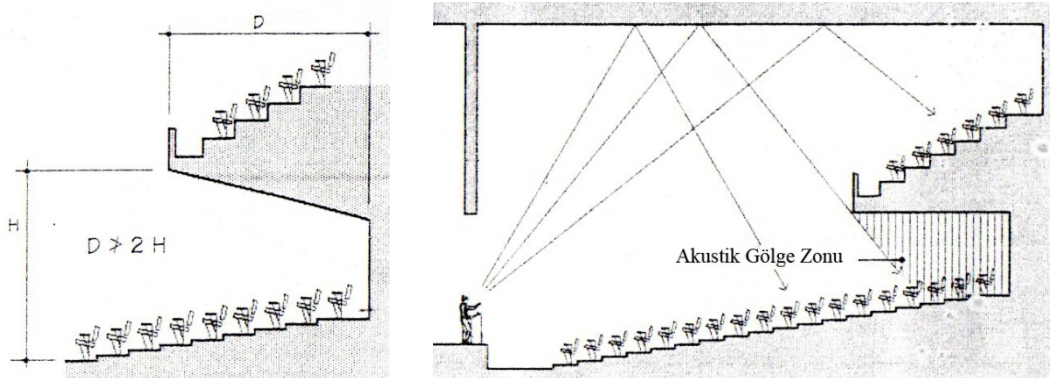
3.3.3. Balkonlar

Geniş salonlarda dinleyici-konuşmacı arasındaki mesafeyi kontrol etmek için balkonlar, tasarım elemanı olarak kullanılmaktadır. Mekan tavanlarının kesitleri balkon altlarında, yansıyan sesin akışı sağlanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.



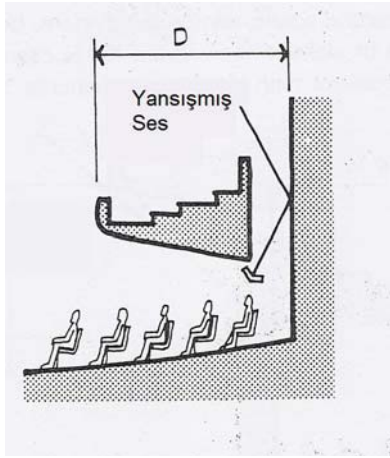
Şekil 3.22. Mekan tavanı kesitlerinin ses yansımalarına etkisi [12]

Derin balkona sahip salonlarda akustik bir kusur olan akustik gölge etkisi oluşmaktadır. Bu etkinin oluşmaması için balkon derinliği, balkon yüksekliğinin 2 katından fazla olmamalıdır [12].



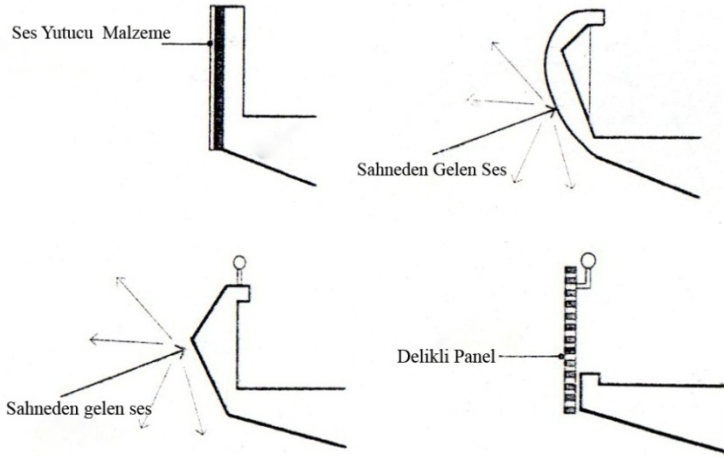
Şekil 3.23. Balkon derinliği ve yüksekliği arasındaki ilişki [12]

Akustik gölgeden korunmanın bir başka yolu ise; balkonun bağımsız çalışmasıdır. Buna “uçan balkon” uygulaması denilmektedir. Bu sistemde balkon arka duvardan kopartılmakta, balkona ulaşım bir veya birkaç noktadan köprü ile sağlanmaktadır. Bu sayede balkonun arkası açık kalmakta ve balkon altında oturan dinleyicilere arka taraftan da yansıyan ses ulaşabilmektedir. Burada amaç, oturan dinleyicilerin akustik konforunu yükseltmektedir. Uçan balkon uygulamasında balkon derinliği balkon altı yüksekliğinden bağımsızdır [13].



Şekil 3.24. Uçan balkon [13]

Balkon korkulukları doğru tasarlanmalıdır. Yanlış tasarlanan balkon korkulukları öndeki oturma grupları üzerinde akustik bir kusur olan ekoya neden olmaktadır. Parapet yüksekliği, konuşma frekansının dalga boyundan uzun olmalıdır. Korkulukların iç bükey yüzey olması ise odaklanmaya neden olmaktadır. Tasarımdaki bu seçim, korkulukların cam elyafı gibi yutucu malzemelerle kaplanması ile giderilebilmektedir [12, 14].



Şekil 3.25. Balkon parapetleri için iyileştirme alternatifleri [12]

3.4. Arka Plan Gürültüsü

Her hacmin kullanımına, yani işlevine bağlı olarak oluşan kabul edilebilir bir gürültü düzeyi vardır. Bu gürültü düzeyine arka plan gürültüsü ya da fon gürültüsü adı verilmektedir [38]. Gürültü denetiminde arka plan gürültü düzeyi göz önünde bulundurulmazsa yapılan denetim yetersiz kalmakta fazladan iş gücü, detaylandırma zorlukları getirdiği için yapıda gereç, yer, para israfına yol açmaktadır.

Arka plan gürültüsünü kontrol etmek için uygun tavan ve duvar strüktürü, uygun kapı ve pencereler seçilmelidir. Salonla gürültü oluşturan mekanlar arasına koridor, lobi, vestiyer gibi tampon oluşturacak mekanlar yerleştirilmelidir. Sadece gürültüyü engellemek için değil bitişik hacim etkisini ortadan kaldırmak için bu tür mekanların en az bir duvar ve tavan yüzeylerinin yarısı yüksek katsayılı yutucu malzemelerle; tabanı ise keçe ile kaplanmalıdır [12, 14].

3.5. Ses Güçlendirici Sistemler

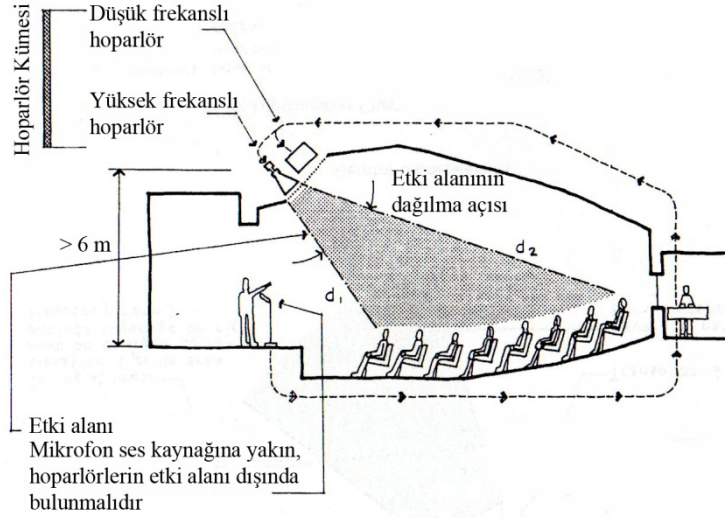
Elektronik ses güçlendirici sistemlerinin kullanılma amacı, ortamdaki ses düzeyinin yeterli düzeyde ulaşmadığı alanlara gerekli ortamı yaratmaktır. Çok büyük salonlarda, yeterli ses yüksekliğini sağlamak için konuşma, elektronik olarak mikrofon ve hoparlörle yükseltilebilmektedir. Elektronik yükselticiler sesi

yükseltmeler bile mekan içinde nitelikli bir akustik konfor koşullarının oluşmasını sağlayamamaktadırlar. Konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanabilmesi için hoparlörden dinleyiciye ulaşan direkt sesin ortama karışan diğer seslerden daha yüksek olması ve tiz, uğultu oluşturacak bozulmalardan uzak olması gerekmektedir. Çok yüksek çınlama süresine sahip mekanlarda ses güçlendirici sistemler, direkt ses alanını güçlendirmeye yardımcı olmalıdır. İdeal olarak konuşmacıdan daha üst bir seviyede, uzaklık ve dinleyici yutuculuğu göz önüne alınarak ses yüksekliğinin düştüğü yerlerde konumlandırılmalıdırlar [13].

Ses güçlendirici sistemler;

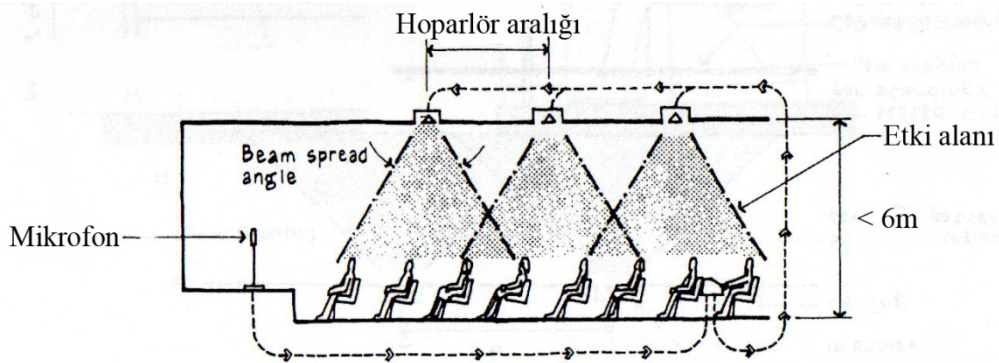
- Merkezi olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistemler
- Dağıtılmış olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistemler
- Oturma gruplarına entegre edilmiş ses güçlendirici sistemler
- Bu sistemlerin, kullanıcı ve mekanın doğal akustik konfor koşulları gereksinimlerine göre bir araya getirilerek kullanılan bileşik ses güçlendirici sistemler olarak sınıflandırılmaktadır [13].

Merkezi olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistemler, asıl ses kaynağının 6-12 m üstüne ve önüne yerleştirilmelidir. Dinleyici, ses kaynağıyla aynı yönden gelen yükseltilmiş sesi duyduğu için bu sistem en yüksek performansı sağlamaktadır. Bu sistemde yönsel hoparlörler kullanılmalıdır. Konuşmanın anlaşılabilirliğini artırmak için dinleyiciler tarafından sesin yutulması sağlanmalı, yansıtıcı olarak kullanılan döşeme, duvar ve tavan yüzeylerine yöneltilmemelidir.



Şekil 3.26. Merkezi olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistem [13]

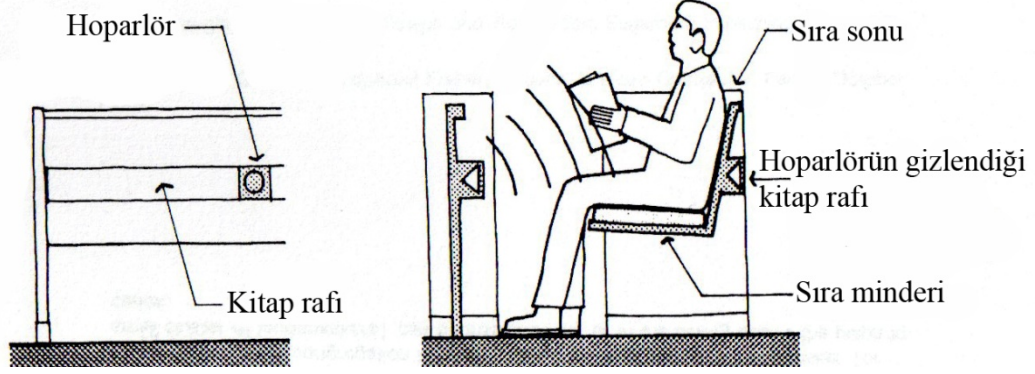
Dağıtılmış olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistemler, sıralı hoparlörler ile tavana ya da asma tavana konumlandırılmaktadırlar. Her bir hoparlör, küçük bir alana az düzeyde yükseltilmiş ses sağlamaktadır. Bu sistem, merkezi olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistemin yeterli tavan yüksekliği olmadığı için yerleştirilemediği, yönlülüğün önemli olmadığı ya da ses kaynağı yerleşiminin çeşitlilik gösterdiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu sistem; tavan, zemin ya da her ikisinin yutucu olduğu durumda daha etkili olmaktadır.



Şekil 3.27. Dağıtılmış olarak konumlandırılmış ses güçlendirici sistem [13]

Oturma gruplarına entegre edilmiş ses güçlendirici sistemler, dinleyiciye çok yakın yerleştirildiği için düşük seviyeli güçlendiricilerle kullanılmaktadır. Orta

frekanslarda 2-5 sn arasında uzun çınlama sürelerine sahip mekanlarda kullanılmaktadır [12, 13, 15].



Şekil 3.28. Oturma gruplarına entegre edilmiş ses güçlendirici sistem [13]

4. ULUSAL AKUSTİK MEVZUATLARININ TİYATRO AMAÇLI KULLANILAN SALONLAR AÇISINDAN İRDELENMESİ VE PERFORMANS KRİTERLERİNİN OLUŞTURULMASI

4.1.Mevzuatların Tiyatro Amaçlı Kullanılan Salonlar Açısından Değerlendirilmesi

Türkiye için iç gürültü göstergeleri, Çevre ve Orman Bakanlığı Yönetmelikleri'nin Avrupa Birliği uyum sürecinde ortaya çıkan ortak tutum belgesi uyarınca “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” oluşturulmaya başlamıştır.

7 Mart 2008 tarihinde 26809 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, çevresel gürültüye maruz kalınması sonucu kişilerin huzur ve sükununun, beden ve ruh sağlığının bozulmaması için gerekli tedbirlerin alınması sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Bu yönetmelik uyarınca tiyatro salonları için gereken iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir:

Çizelge 4.1. Tiyatro salonları için gereken iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri [39]

Kullanım Alanı		Kapalı Pencere L_{eq} (dBA)	AçıkPencere L_{eq} (dBA)
		Kullanım alanlarında herhangi bir faaliyet olmadığı durumlardaki değerler:	
Kültürel Tesis Alanları	Tiyatro Salonları	30	40
	Sinema Salonları	30	40
	Konser Salonları	25	35
	Konferans Salonları	30	40

Bu sınır değerleri; salon içindeki ısıtma, havalandırma ve klima sistemleri, aydınlatma armatürleri ve diğer mekanik donanımın çalışmasından kaynaklanan gürültü ile dışarıdan çevresel gürültü kaynaklarından salona iletilen gürültüyü kapsamaktadır [39].

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği dışında ülkemizde hacim akustiği ile ilgili çeşitli standartlarda bulunmaktadır. Bu standartlar;

- TS EN ISO 3382-1; Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 1: Performans boşlukları (*EN ISO 3382-1; Acoustics- Measurement of Room Acoustic Parameters-Part 1: Performance Spaces*)
- TS EN ISO 3382-2/AC; Akustik - Oda akustiğinin parametrelerinin ölçümü - Bölüm 2: Odalarda çınlama süresi (*EN ISO 3382-2:2008/AC; Acoustics- Measurement of Room Acoustic Parameters-Part 2: Reverberation Time in Ordinary Rooms*)
- TS EN ISO 3382-2; Akustik - Odanın akustik parametrelerinin ölçümü - Bölüm 2: Sıradan odalarda çınlama zamanı (*EN ISO 3382-2; Acoustics- Measurement of Room Acoustic Parameters-Part 2: Reverberation Time in Ordinary Rooms*)
- TS EN ISO 18233; Akustik - Bina ve oda akustiğinde yeni ölçme metodlarının uygulanması (*ISO 18233; Acoustics- Application of New Measurement Methods in Building and Room Acoustics*)
- TS 2726; Akustik-Konuşmanın Anlaşılabilirliği Yönünden Gürültünün Değerlendirilmesi (*Acoustics-Assesment of Noise With Respect To Its Effect on The Intelligibility of Speech*)'dir.

EN ISO 3382-1 kapsamında akustik parametrelerin ölçüm sonuçları için değer aralıkları Çizelge 4.2'de verilmiştir:

Çizelge 4.2. EN ISO 3382-1; akustik parametrelerin ölçüm sonuçları için değer aralıkları

Öznel Dinleyici Görüşü	Akustik Parametre	Sembol	Frekans Aralığı (Hz)	Değerler	Hissedilebilir Fark
Sesin öznel yüksekliği	Ses Yüksekliği	G	500-1000	-2 ile 10 dB arası	1 dB
Algılanan çınlama	Erken Sönümlenme Süresi	EDT	500-1000	1.0 ile 3.0 sn arası	%5
Sesin algılanan berraklığı	Berraklık	C80	500-1000	-5 ile +5 dB arası	1 dB
	Belirginlik	D50	500-1000	0.3 ile 0.7 arası	0.05
Hacimce sarmalanma	Erken Yanal Yansıma Oranı	LF80	125-1000	0.05 ile 0.35 arası	0.05

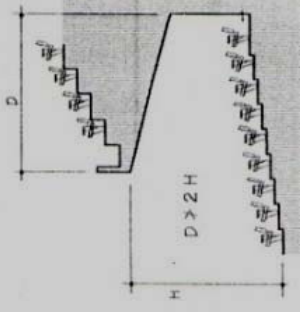
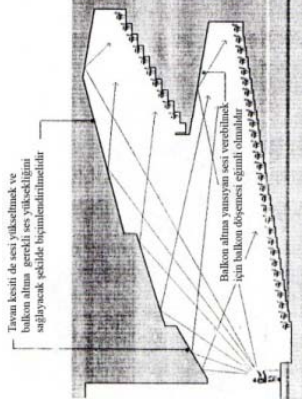
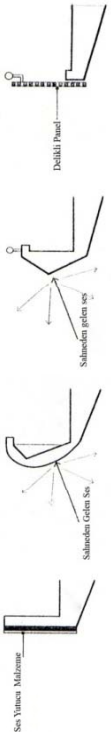
4.2.Tiyatro Amaçlı Kullanılan Salonların Performans Kriterlerinin Oluşturulması

Tiyatro amaçlı kullanılan salonlarda; konuşma olduğu kadar müzik de tasarım girdilerinden biridir. Bu sebepten dolayı tiyatro salonlarında akustik konfor koşulları sağlanırken konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanması kadar, müziğin nitelikli duyulmasının da sağlanması önemlidir. Ancak, konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanması daha baskın bir tasarım girdisidir. Tiyatro amaçlı kullanılacak salon tasarımlarında akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri Çizelge 4.3’de açıklanmıştır:

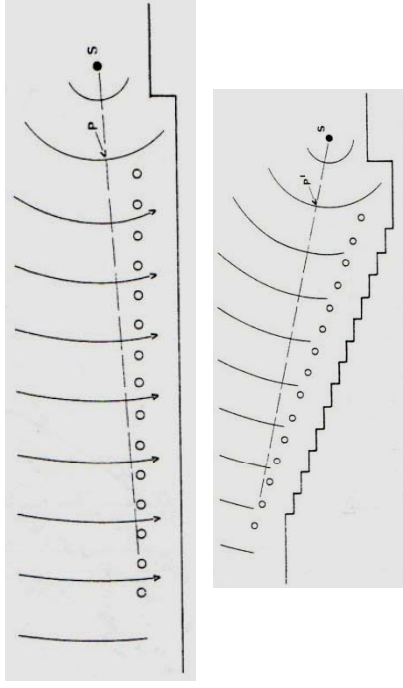
Çizelge 4.3. Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

Alan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiyatrolar, gürültü üretecek aktivitelerden –gürültülü bir sokaktan, tren yolundan, endüstri alanlarından- olabildiğince uzak olarak konumlandırılmalıdır [12]. 								
Yakınlık	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiyatrolarda, oyuncu ve seyirci arasındaki yakınlık çok önemlidir. Seyirci, oyuncunun her türlü mimik ve vücut hareketlerini görmelidir. Sahne ile en uzak oturma grubu arasındaki mesafe 20 m'yi geçmemelidir. ▪ Daha küçük salonlar tercih edilmelidir. Fakat ekonomik nedenlerden dolayı salonun büyümesi söz konusu ise yelpaze plan şemasına sahip veya balkonlu tasarımlar tercih edilmelidir [12]. 								
Hacim/kişi; m³	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="970 1108 1166 1805">Balkonlu tasarımlar mekanın yüksekliğini artırmaktadır. Bu durum, kişi başına düşen hacmi, çınlama süresini ve kullanılması gereken ses yutucu malzeme miktarını artırmaktadır [12, 40].</th> <th data-bbox="970 846 1166 1108">Konuşma Amaçlı Salonlar</th> <th data-bbox="970 584 1166 846">Müzik Amaçlı Salonlar</th> <th data-bbox="970 300 1166 584">Çok Amaçlı Salonlar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td data-bbox="1166 1108 1366 1805">(min) 2,3 m³ (ort) 3,1 m³ (max) 4,3 m³</td> <td data-bbox="1166 846 1366 1108">6,2 m³ 7,8 m³ 10,8 m³</td> <td data-bbox="1166 300 1366 846">5,1 m³ 7,1 m³ 10,8 m³</td> </tr> </tbody> </table>	Balkonlu tasarımlar mekanın yüksekliğini artırmaktadır. Bu durum, kişi başına düşen hacmi, çınlama süresini ve kullanılması gereken ses yutucu malzeme miktarını artırmaktadır [12, 40].	Konuşma Amaçlı Salonlar	Müzik Amaçlı Salonlar	Çok Amaçlı Salonlar		(min) 2,3 m ³ (ort) 3,1 m ³ (max) 4,3 m ³	6,2 m ³ 7,8 m ³ 10,8 m ³	5,1 m ³ 7,1 m ³ 10,8 m ³
Balkonlu tasarımlar mekanın yüksekliğini artırmaktadır. Bu durum, kişi başına düşen hacmi, çınlama süresini ve kullanılması gereken ses yutucu malzeme miktarını artırmaktadır [12, 40].	Konuşma Amaçlı Salonlar	Müzik Amaçlı Salonlar	Çok Amaçlı Salonlar						
	(min) 2,3 m ³ (ort) 3,1 m ³ (max) 4,3 m ³	6,2 m ³ 7,8 m ³ 10,8 m ³	5,1 m ³ 7,1 m ³ 10,8 m ³						

Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Akustik gölgenin önlenmesi açısından balkon derinliği, balkon yüksekliğinin iki katından fazla olmamalıdır [12]. ▪ Yakınlığın ve saçılmanın sağlanabilmesi tiyatronun atmosferinin iyileştirilmesi açısından derin olmayan balkon tasarımları seçilmelidir [12]. ▪ Mekan tavanının kesiti balkon altlarında, yansıyan sesin akışını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır [12]. ▪ Korkulukların iç bükümlü yüzey olması odaklanmaya neden olmaktadır. Tasarımdaki bu seçim, korkulukların cam elyafı gibi yutucu malzemelerle kaplanması ile giderilebilmektedir [12, 14]. 	 <p>Balkon derinliği ve yüksekliği arasındaki ilişki</p>
<p>Balkon</p>		 <p>Mekan tavan kesitlerinin ses yansımalarına etkisi</p>
		 <p>Balkon parapetleri için iyileştirme alternatifleri</p>

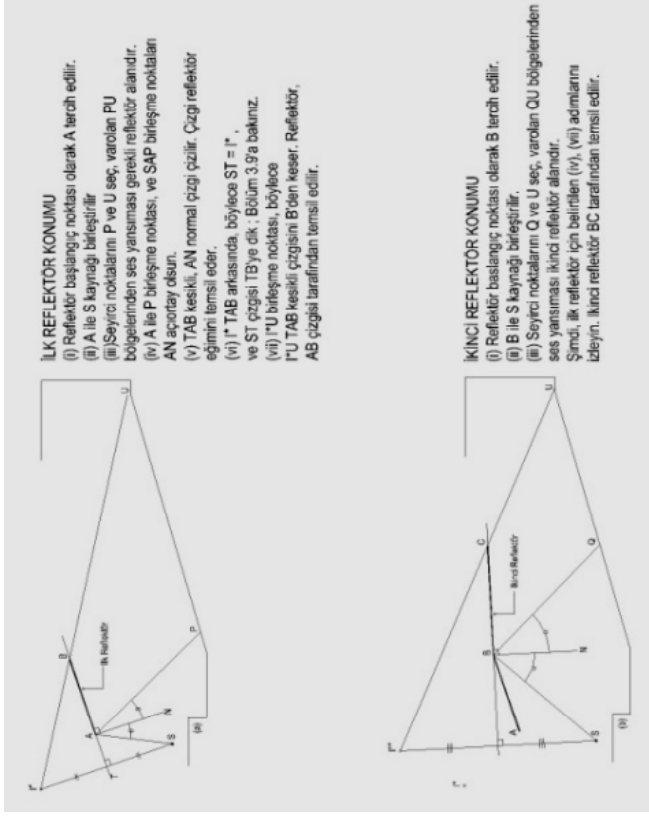
Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

<p>Döşeme Eğimi ve Yüzeyi</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Yeterli döşeme eğimi sağlanarak seyircinin görüşü mümkün olduğunca iyileştirilmelidir. ▪ Eğim açısının %8'in altına düşmemesi gerekmektedir. Aynı şekilde fazla eğimlendirilmiş döşeme, salonun tavan yüksekliğini artırarak kişi başına düşen hacmin artmasına neden olmaktadır [12, 14, 15, 17]. 	 <p style="text-align: center;">Döşeme eğimi ve sesin yayılması [17]</p>
<p>Oturma Grupları</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salonun, seyircili ve seyircisiz olarak aynı ses yutma özelliğini gösterilebilmesi için kumaş kaplama koltuk tercih edilmelidir. ▪ Plastik ve deri kaplama malzemedен kaçınılmalıdır [12]. 	
<p>Sahne</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sahnedeki akustik konfor koşulları salon ile aynı nitelikte olmalıdır. ▪ Sahne yüzeyleri sesi direkt seyirciye yansıtmak üzere tasarlanmalıdır. ▪ Sahne döşemesi en az 3 cm hava boşluklu ahşap kaplama olarak seçilerek istenmeyen sahne yansımalarını engellemek amacıyla koyu renge boyanmalıdır [12]. 	

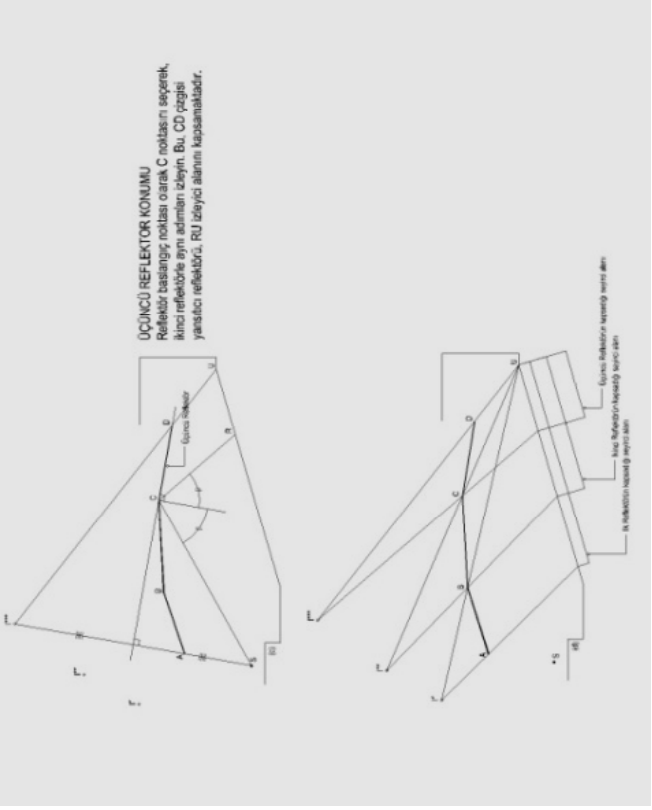
Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

- Sesin arka oturma gruplarına ulaşabilmesi için tavanlar yansıtıcı olarak tasarlanmalıdır.
- Yansıtıcılar yerleştirilirken direkt ses ile yansıyan sesin aldığı yollar arasındaki mesafenin 20 m'yi geçmemesi gerekmektedir [12].
- Mekan fazla yüksek değil ve salon zemini yeteri kadar eğimlendirilmiş ise düz bir tavan gerekli yansımaları oluşturmak için yeterli olacaktır [14].
- Mimari tasarım açısından eğrisel yüzeylere sahip tavan yansıtıcıları kullanılabilir. Bu tür yansıtıcıların çapı, eko ve odaklanma gibi akustik kusurlara yol açmamak için tavan yüksekliğinin iki katı ya da yarısından daha az olmamalıdır [14].

Tavan



Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

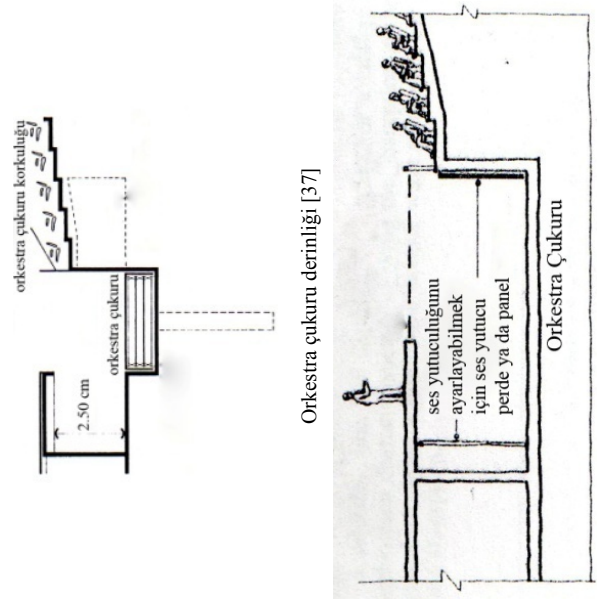
<p>Tavan</p>	<ul style="list-style-type: none">▪ Tavanda kullanılan yansıtıcı yüzeylerin herhangi bir yöndeki boyutu 2,5 m'den kısa olmamalıdır [12].▪ Yüksek dereceli yansımalar sağlanabilmesi için seçilen malzemenin yüzey kütlelerinin ağır olması gerekmektedir [12].	 <p>UCUNCU REFLEKTÖR KONUMU Reflektör başlangıç noktaları olarak C noktasını seçerek, Mikroreflektörle aynı adımıyla diğerleri Bu, CD yaygısı yansıtıcı reflektörler, RD düzeyi alınır kapatılabilir.</p> <p>UCUNCU REFLEKTÖR KONUMU Reflektör başlangıç noktaları olarak A, B, C, D, E, F noktalarını seçerek, Mikroreflektörle aynı adımıyla diğerleri Bu, CD yaygısı yansıtıcı reflektörler, RD düzeyi alınır kapatılabilir.</p>
---------------------	---	--

Tavan yansıtıcılarının yerleştirilmesi

Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

<p>Arka ve Yan Duvar</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geç yansımalara neden olacak pürüzsüz ve yansıtıcı yüzeyler, yüksek yutma katsayısına sahip malzemeler ile kaplanmalıdır. ▪ Ses yutucu malzemelerin kullanılmadığı durumlarda saçıcılık sağlayacak yüzeyler tasarlanmalıdır [12-14]. 	<p>Arka duvar ve tavan arasındaki köşenin pahlanması ve saçıcılık sağlamak amaçlı duvar yüzeyinin farklı çaplarda silindirler ile kaplanması [13]</p>
<p>Ses Güçlendirici Sistemler</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sahnenin üstünde bir araya toplanmış ses güçlendirici sistemler kullanılmalıdır. ▪ Yüksek frekanslı hoparlörler direkt dinleyiciye yönlendirilmelidir. ▪ Büyük tiyatrolarda sahne üstüne yerleştirilmiş ses güçlendirici sistemlere, balkon altlarındaki sesi güçlendirmek amacıyla ek önlemler alınmalıdır [12, 13, 15]. 	

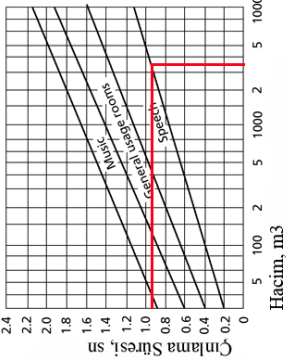
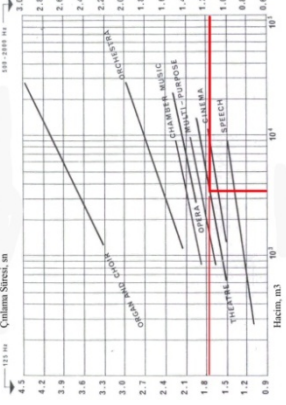
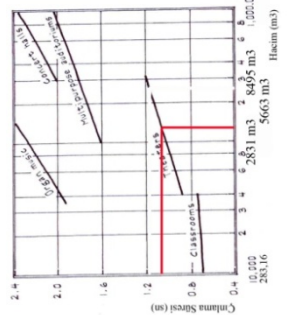
Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Müzisyen başına 1 m² yere ihtiyaç duyulmaktadır. ▪ Orkestra çukuru, sahnenin döşeme yüzeyinden en fazla 2,5 m aşağıda olmalıdır. ▪ Orkestra ile oyuncu arasındaki dengenin korunması içinde sahnenin orkestra çukurunun 1/3'ünden daha fazlasını örtmemesi gerekmektedir. ▪ Orkestra çukuru yüzeyleri, çukurdaki sesin ayarlanabilmesi için hareketli yutucu panellerle kaplanmalıdır. ▪ Orkestra çukurunun korkulukları, ön sırada bulunan oturma gruplarına aşırı yüksek sesin ulaşmasını önlemek amacıyla içi dolu malzemelerden seçilmelidir [8, 12, 37]. 	
<p>Arka Plan Gürültüsü</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Her hacmin kullanımına, işlevine bağlı olarak oluşan kabul edilebilir bir gürültü düzeyi bulunmaktadır [13]. 	<p>Tiyatro salonları için gereken iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre 30 dBA olmalıdır. Bu değer ANSI'ye göre NC 20'dir [41].</p>

Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

			Konuşma için	Müzik için
Çınlama Süresi (RT)		Odeon [42]	-	1.7 sn ile 2.3 sn arası
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salonun çınlama süresi oditoryum ve opera salonu için gereken çınlama süresi değerleri arasında olmalıdır [12]. ▪ RT_{mid} (500-1000 Hz ort.) 	Barron [20]	0.7 sn ile 1.00 sn arası	-
		Maekawa [43]	0.88 sn ile 1.18 sn arası	1.46 sn ile 1.66 sn arası
		Bistafa ve Granado [44, 45]	0.7 sn ile 1.00 sn arası	-
		Luykx ve ark. [46]	0.8 sn ile 0.9 sn arası	2.00 sn ile 2.3 sn arası

Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

			Konuşma İçin	Müzik İçin
Çınlama Süresi (RT)		Brüel&Kjaer [47] (3509 m ³ için)	0.80 sn ile 1.00 sn arası	1.6 sn ile 1.8 sn arası
		Moore [15] (3509 m ³ için)	1.00 sn ile 1.2 sn arası (500 ve 2000 Hz için) 1.5 sn ile 1.8 sn arası (250 Hz için)	1.6 sn ile 1.8 sn arası
		Egan [13] (3509 m ³ için)	0.8 ile 1.2 sn arası	1.6 sn ile 2.0 sn arası

Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

			Konuşma İçin	Müzik İçin
Erken Sönümlenme Süresi (EDT)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EDT_{mid} (500-1000 Hz ort.) 	EN ISO 3382-1[48]	-	1.00 sn ile 3.00 sn arası
		Odeon [42]	-	1.7 sn ile 2.3 sn arası
		Bistafa ve Granado [44, 45]	<1.00 sn	-
Berraklık (C80)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ C80 (500-1000 Hz ort.) 	Mehta ve ark. [12]	EDT<RT	EDT>RT
		EN ISO 3382-1[48]	-	-5 dB ile +5 dB arası
		Odeon [42]	-	-1 dB ile +3 dB arası
		Beraneck [32]	-	-4 dB ile +4 dB arası
		Luykx ve ark. [46]	+7 dB	0 dB
Belirginlik (D50)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ D50 (500-1000 Hz ort.) 	Bistafa ve Granado [44, 45]	>+ 2 dB	-
		EN ISO 3382-1[48]	0.3 ile 0.7 arası	-
		Kuttruff [23]	>0.5	-

Çizelge 4.3. (Devam) Akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken performans kriterleri

			Konuşma İçin	Müzik İçin
Yanal Yansıma Oranı (LF80)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ LF80 (125-1000 Hz ort.) 	EN ISO 3382-1[48]	-	0.05 ile 0.35 arası
		Odeon [42]	-	>0.25
Konuşma İletim İndisi (STI)		Odeon [42]	0.00-0.30 Kötü	-
			0.30-0.45 Zayıf	
			0.45-0.60 Orta	
			0.60-0.75 İyi	
			0.75-1.00 Çok iyi	
Bas Oranı (BR)		Beranek [35]	-	RT>1.8 sn ise 1.1. ile 1.25 arasında RT<1.8 sn ise 1.1 ile 1.45 arasında

5. TİYATRO SALONLARININ AKUSTİK AÇIDAN

DEĞERLENDİRİLMESİNE İLİŞKİN BİR ÖRNEK ÇALIŞMA: İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ BEYOĞLU SAHNESİ'NİN BİLGİSAYAR BENZETİM YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

5.1. Örnekleme İlişkin Genel Bilgiler

Araştırma için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin açtığı Beyoğlu Sahnesi yarışmasında birincilik ödülünü alan, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fusun Demirel'in de projede akustik danışman olarak görev aldığı Beyoğlu Sahnesi örnek proje olarak seçilmiştir.

Proje alanı, İstanbul'un en eski tarihsel merkezlerinden olan Beyoğlu-Pera bölgesinde, Galata Kulesi yakınında; tarihi Beyoğlu Belediye binasıyla aynı meydana bakan ve çevresi çok sayıda tescilli yapıyla kuşatılmış, özellikle Haliç'ten bakıldığında ise Pera-Galata'ya ait özgün peyzajda yer alan Şişhane Meydanı'ndadır.



Şekil 5.1. Proje alanı

Söz konusu olan mekanda her bir yeni yapının, tarihsel çevrenin değerine uygun özende tasarlanması; bölgenin İstanbul'un geçmişten geleceğe kültür ve sanat merkezi olması; tiyatro işlevinin sanatsal özelliği dikkate alınarak, yeni yapıya ait mimarinin de sanatsal özünün öne çıkması; tarihsel dokuyu oluşturan mimarideki estetik sorumluluğun ve dikkatin bu bölgedeki günümüz mimarisinde de gözetilmesi gerektiği önemsenerek; söz konusu alanda yapımına karar verilen tiyatro binasının tüm bu değerlerle buluşabilmesini hedefleyen bir mimari proje yarışmasıyla elde edilecek tasarımın İstanbul'a kazandırılması uygun görülmüştür.

Açılan yarışmanın amacı İstanbul'un kültürel açıdan en yoğun bölgelerinden biri olan Beyoğlu'nda; 94 yıllık tarihi ile Türkiye'nin en eski tiyatro kurumu olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Şehir Tiyatroları için bir tiyatro yapısının projesini, yaratıcı fikirler ile elde etmektir. Müelliflerinin,

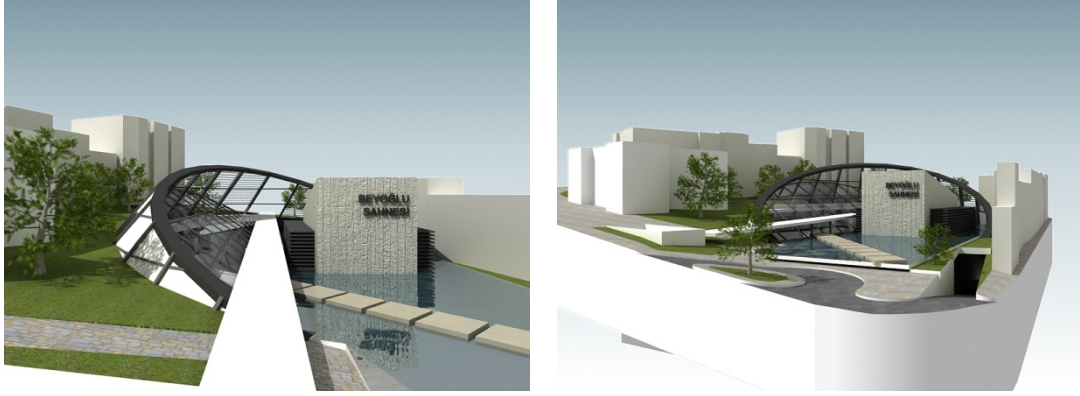
- Işıl Gökçe (Mimar, Gazi Üniversitesi)
- Duygu Demirtürk (Mimar, Gazi Üniversitesi)
- Mehmet Emre Tuncel (Mimar, Gazi Üniversitesi)
- Murat Çanakçı (Peyzaj Mimarı, İstanbul Üniversitesi)
- Mükerrerem Babaoğlu (Şehir Plancı, Selçuk Üniversitesi)
- Ahmet Hayri Dönmez (İnşaat Mühendisi, Gaziantep Üniversitesi)

Danışmanlarının ise,

- Prof. Dr. Füsün Demirel (Akustik - Gazi Üniversitesi)
- Sabri Kutlay (Elektrik Mühendisi, EDMMA)
- Musa Dağ (Makine Mühendisi, Yıldız Üniversitesi) olduğu ekibin hazırladığı proje; bu amaca en uygun proje olarak birincilik ödülüne layık görülmüştür.

Tasarım ekibine göre projenin ana fikri, Beyoğlu'nda gerçekleşeceği öngörülen kültürel oluşumun da desteğiyle böyle bir boşluğu tanımlamaktır. Bu sebeple, yapının zeminde kullandığı alan minimize edilerek, mümkün olduğunca kente/kentliye bırakılmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşımın, aynı zamanda alanı çevreleyen tescilli yapılardan geri çekilerek, baskın olmayan, daha mütevazı bir duruş sergileyeceği düşünülmüştür. Bu noktada, programın yoğunluğu ve buna

karşın alanın sıkışıklığı göz önüne alınarak, fonksiyonu gereği dış dünyadan koparılması gereken salonların toprak altında yapılması üzerinde durulmuştur.



Şekil 5.2. Yarışma projesi için önerilen kütle tasarımı

Sadece dış lobi ve giriş mekanları, rekreasyon alanı olarak düşünülen dış mekanla ilişki kuracak şekilde zemin üzerinde kurgulanmıştır. Bu yolla, tiyatro yapısının ağır kütleli formuna neden olan fonksiyon ile cephe birbirinden ayrılarak bağımsızlaştırılmıştır [49].

5.2. Konuya İlişkin Bilgisayar Benzetim Yöntemleri

Günümüze kadar akustik konfor koşullarının analizi için teorik çalışmalar yanında bilgisayar destekli çeşitli yazılım programlarının kullanımı ile deneysel çalışmalar yapılarak gerçeğe en yakın sonuçlar alınmaktadır.

Teorik yöntemler; istatistiksel, geometrik ve dalga teorisi analizlerini içermektedir. *İstatistiksel analizler*; bağıntılar ve tablolar yardımı ile kapalı hacim içerisindeki çınlama süresi ile ilgili bilgiler sağlamaktadır. *Geometrik analizler*; kaynaktan çıkan sesin, optikteki ışık ışınları şeklinde yayılmalarını çizimlerle kavranmasını sağlamaktadır. *Dalga teorisi analizleri ise*; radyo, televizyon stüdyoları gibi küçük hacimli mekanlarda, hacmin boyutları ve sesin dalga boyu arasındaki sorunları incelemektedir. Buna karşın teorik yöntemler, çınlama süresinin ölçüm sonuçları

sırasında karşılaşılan olumsuz koşullarda gereksiz masraf ve iş gücüne neden olmaktadır.

Bilgisayar yazılımları ile hacim içerisinde çeşitli noktalarda oluşacak akustik konfor koşullarını henüz tasarım aşamasında belirlemekte, gerekli değişikliklerin yapılarak zaman ve maliyet zararlarının en aza indirgenmesini sağlanmaktadır. Bu duruma karşın, bilgisayar benzetim yönteminin getirdiği bazı sınırlamalar nedeniyle ölçekli model yöntemiyle beraber kullanılması ile kesin sonuçlar alınabilmektedir. Çünkü bilgisayar benzetim yönteminin getirdiği bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Bunlar;

- Saçıcılık etkisinin doğru verilememesi
- Dağıtıcılık davranışı için çözümsüz sonuçlar
- Bilgisayar modeli sonuçlarının sınırlı kalması olarak karşımıza çıkmaktadır [7].

Dünyada akustik benzetim yazılımları üniversite ve şirketler tarafından sürdürülmektedir. Yüksek ticari verimli bir dizi yazılıma örnek olarak;

- CATT-Acoustic, Dalenbeck / İsveç, 1988
- ODEON, Naylor & Rindel / Danimarka, 1991
- RAMSETE, Faria / İtalya, 1994
- CAESAR, Vorländer, Schmitz, Aachen / Almanya, 1998
- 2001EASE, Ahnert, Feistel / Berlin, Almanya, 1990 verilebilmektedir.

Bu yazılımların gelişme süreci paralelinde elektro akustik için de çeşitli yazılım paketleri de geliştirilmiştir. Bunlara;

- CADP1, 1983
- CADP1, 1984
- BOSE-Modeler, K. Jacob, T. Birkle / Bose, ABD, 1986
- Acousta-CADD, A. Muchimaru Altec Lansing / ABD, 1987
- Nexo-CADD, Nexo / Fransa, 1988
- EASE, ADA / Almanya, 1990
- CADP2, JBL / ABD, 1991
- Acousta-CADD, 1992
- BOSE-Modeler, 1993

- EASE, 1993
- Acousta-CADD, 1996
- ULYSSES, IFB / Almanya, 1996
- CADP2, 1997
- EASE, W. Ahnert, R. Feistel, S. Feistel, 1999
- EASE, W. Ahnert, R. Feistel, S. Feistel, 2002 örnek olarak verilebilmektedir [7].

5.3. Odeon Bilgisayar Yazılımı

Bu çalışmada Danimarka Teknik Üniversitesi Akustik Bölümü uzmanları tarafından hazırlanan, doğruluğu, geçerliliği ve hassasiyeti bilimsel olarak kanıtlanmış bir program olan ODEON 10.02 Combined versiyonu kullanılmıştır.

ODEON akustik yazılım programı ile ilgili temel kabuller ve geçerliliğinin saptanmasına yönelik olarak yapılan çalışmalar aşağıda açıklanmış; yazılım programının hesap yöntemleri ve çalıştırılma aşamalarına ilişkin bilgiler EK-1 ve EK-3'de detaylı olarak anlatılmıştır. ODEON akustik yazılım programı, özel ışın izleme yöntemiyle çalışan görüntü kaynak ve ışın izleme yöntemlerini bir arada kullanan bileşik hesap yöntemiyle çalışmaktadır.

Yukarıda sözü edilen *ışın izleme yöntemi*; kavisli yüzeyler tarafından belirlenmiş cami, kilise gibi mekanların akustik konfor koşullarının değerlendirilmesi için uygun bir yöntemdir. Kapalı hacim içinde bir kaynak-alıcı konumu için yapılan izleme, kaynağın yönelme özelliklerine göre çıkarılan ses ışınlarının duvarlardan yansımalarından sonra alıcı konumuna kadar izlenmesidir. Karmaşık geometrilere, yüzey ve eşyanın ses yutma özelliklerine uygunluğu, saçınımın modellenmesine olanak sağlaması nedeniyle bilgisayar uygulamalarında kullanılan en çağdaş ve güncel yöntemlerden biridir.

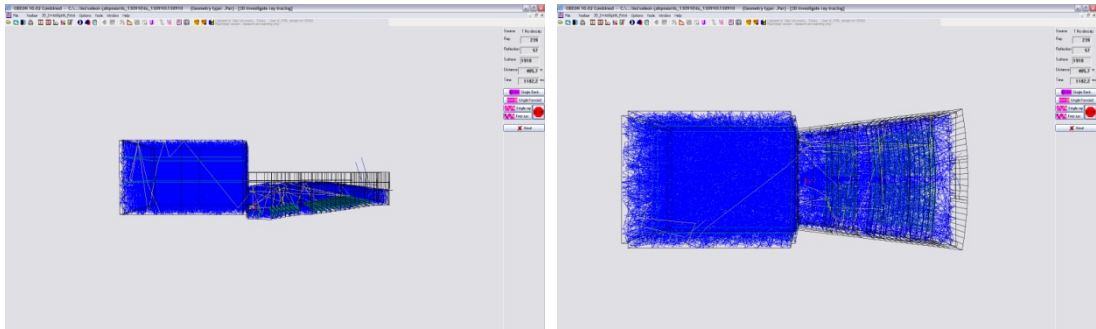
Görüntü kaynak yöntemi ise; kavisli yüzeylerin belirlemediği oditoryum gibi mekanların akustik konfor koşullarının değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, yüzeylerden gelen yansımalar belli bir kaynak-alıcı

konumu için ayna görüntüsü yöntemiyle elde edilen sanal kaynaklarla ifade edilmektedir. Yansıyan ses ışınlarının enerjisinde yüzeylerin ses yutumu nedeniyle oluşacak azalma görüntü ses kaynaklarına uygulanarak ses yutumunun etkisi incelenmektedir. Hesaplamalar sırasında kırınım, saçınım türü etkiler ile karmaşık geometri hacimlerde sorunlar yaşanması nedeniyle çoğunlukla eğitim alanında ve diğer yöntemlerle beraber kullanılmaktadır [6, 50-52].

5.4. Odeon Bilgisayar Yazılımı İle İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin Modellenmesi

Akustik benzetim amaçlı ODEON 10.02 Combined versiyonu kullanılmak üzere mimari proje; geometri ve boyutlarında değişiklik yapılmadan AutoCAD.dxf dosyası olarak 3D yüzey elemanları kullanılarak modellenmiştir.

ODEON programına yüklenen modelde, 3D Geometry Debugger komutuyla modelin doğruluğu test edilmiştir. 3D yüzey elemanları ile tanımlanmış yüzeylere %20 emicilik verilip modelin ışın sızdırmazlık testi yapılmıştır.



Şekil 5.3. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonu için yapılan sızdırmazlık testi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin büyük salonunun akustik konfor koşullarının analizi için alınan kararlar aşağıda verilmiştir;

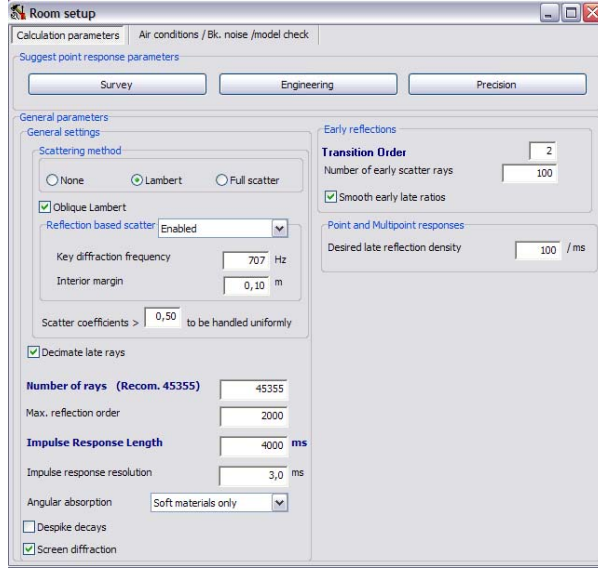
Taramada kullanılacak ışın sayısı (number of rays); Seçilen nokta sinyal parametresine göre ODEON, ışın sayısına göre bir öneride bulunmaktadır. Bu sayı

hacmin en boy oranı ile geometrisindeki yüzey sayısına göre türetilmiştir. Çalışma, önerilen 45.355 ışın sayısı ile taranmış; ‘engineering’ nokta sinyal parametresi ve ‘lambert’ saçıcılık yöntemine dayalı olarak yapılmıştır.

Bir ışının maksimum yansımaya sayısı (maximum reflection order); Bir yüzeye çarptıktan sonra ışınların yansımaya sayılarını belirten parametredir. Çalışmada ODEON’un önerdiği maksimum 2000 yansımaya sayısı kullanılmıştır.

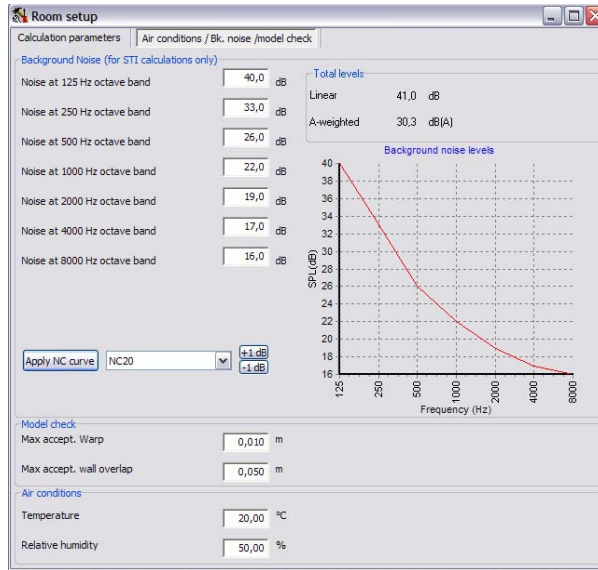
Bir ışının maksimum yansımaya süresi (impulse response length); Işınların kaynaktan yayıldıktan sonra tamamen yutulmasına kadar geçen süredir. Sağlıklı sonuçların elde edilmesi için ya çınlama süresi kadar ya da en az 2/3’ü kadar alınmalıdır. Çalışmada maksimum yansımaya süresi 4000 ms olarak kabul edilmiştir.

Sanal kaynakların yansımaya derecesi (transition order); İlk yansımaların hesaplanması için kullanılacak sanal kaynakların derecesini belirtmekte olup, bu derecenin üzerinde gerçekleşen yansımaların enerjileri gecikmiş yansımalara katılmaktadır. Model düzgün yüzeylerden oluşan sade bir forma sahip olduğu için ilk yansımaların enerjisinin hesaplanmasında 2. dereceye kadar olan sanal kaynakların kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 5.4. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun akustik konfor koşullarının analizi için alınan kararlar

Arka plan gürültüsü; Konuşmanın anlaşılabilirliği parametresi olan konuşma anlaşılabilirlik indeksinin hesaplanabilmesi için ortam gürültüsü değerleri belirtilmelidir. Tiyatro salonları için gereken iç ortam gürültü seviyesi sınır değerleri Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre 30 dBA olmalıdır. Bu değerde ANSI'ye göre NC 20'dir.

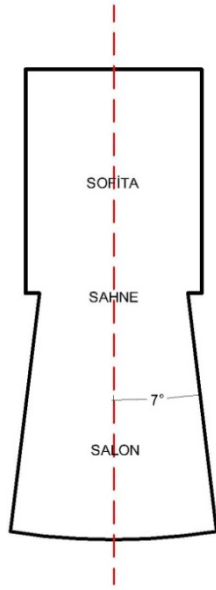


Şekil 5.5. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun akustik konfor koşullarının analizi için alınan arka plan gürültüsü

5.4.1. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin mevcut durumunun analizi

Salonun Geometrisi:

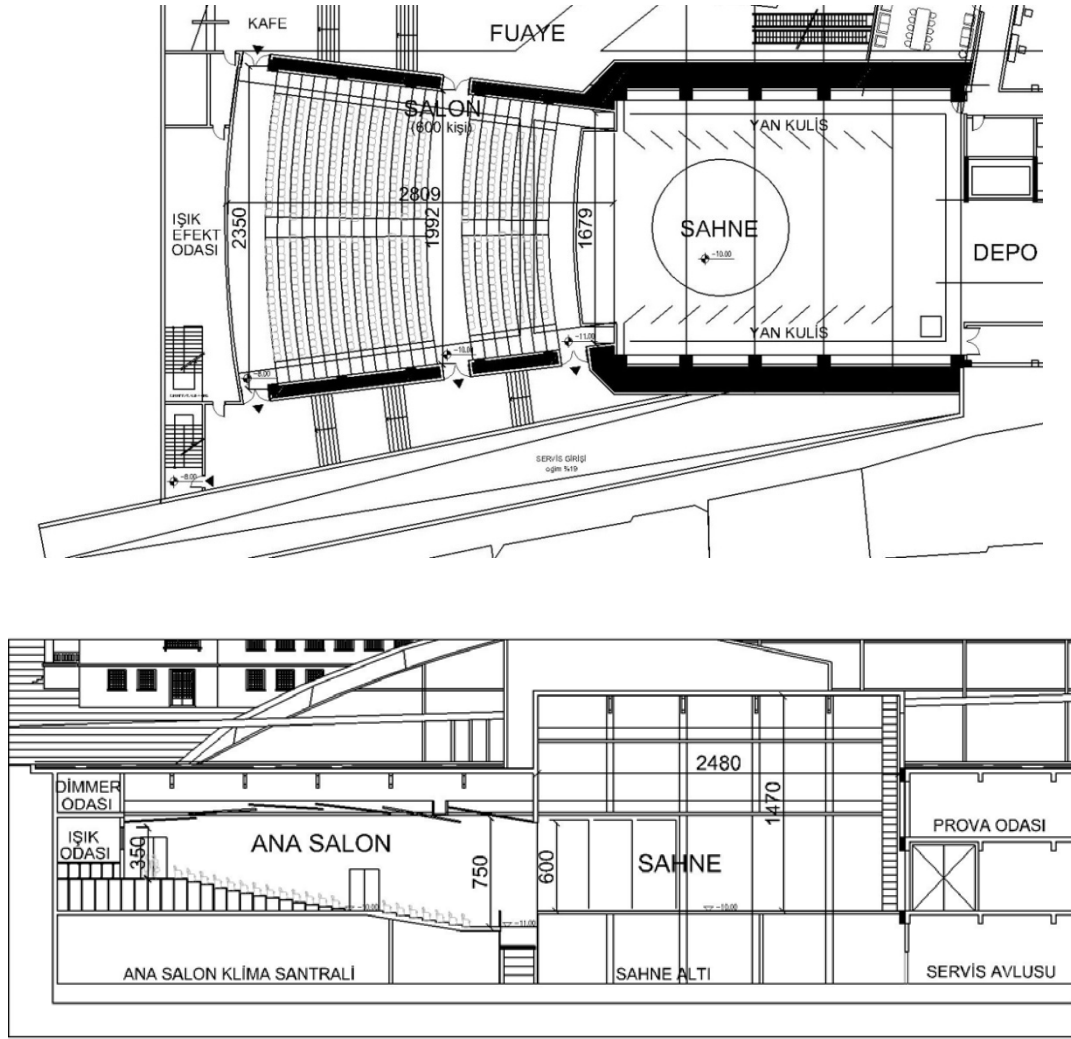
İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun formu yelpaze geometrili salonlara örnek olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu form, ticari açıdan ve dinleyiciyi ses kaynağına yaklaştırdığı için tasarıma başlama kararı için olumlu bir durum olarak görülebilir. Bu geometriye sahip salonlar güçlü yanıl yansımaları sağlayamamaktadırlar. Yan yansımaların büyük çoğunluğu arka orta tarafa düşmektedir. Yan duvarların açılımı, konuşmanın doğrultusu göz önüne alınarak 30° ile 60° arasında olması beklenirken şekil 5.6'da şemasal olarak gösterildiği gibi salonun yan duvar açılımı 7° 'dir.



Şekil 5.6. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun basit plan şeması ve yan duvar açılımı

Salonun Hacmi ve Kişi Sayısı:

Salon, şekil 5.7'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 28 x 19 m; uzun kenarda 23 m, kısa kenarda 16 m olacak şekilde yelpaze geometrili plan şemasına sahiptir. Salonun yüksekliği; en yüksek yerde 7.8 m, en alçak yerde ise 3,5 m'dir.



Şekil 5.7. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun plan ve kesit şeması

Salonun hacmi 3509 m^3 ve 600 seyirciye izleme imkanı sağlamaktadır. Yapılan hesaplamalarda kişi başına yaklaşık 5.8 m^3 hacim düşmektedir. Tiyatro işlevi için istenen kişi başı değer $5.1-10.8 \text{ m}^3$ olduğu göz önüne alınırsa; yapılacak etkinliklerde hacmin etkisinin olumlu yönde olacağı söylenebilir. Sofita boşluğunun hacmi ise 7290 m^3 olup tüm hacmi 10.799 m^3 'e çıkarmaktadır.

Yüzeylerin Malzeme Kararları:

Bir hacmin ses alanındaki erken yansımaların enerjisi doğrudan hacmin geometrisine ve o geometriyi tanımlayan yüzeylerin yutuculuk ve saçıcılık özelliklerine bağlıdır.

Yüzeylerin yutuculuk derecesi erken yansıma, saçıcılık özellikleri ise gecikmiş yansıma enerjilerinin hesaplanmasında önemlidir. Yansıma derecesinin üzerinde gerçekleşecek yansımaların gecikmiş yansımalar olarak hesaplanması sırasında kullanılacak yüzeylere verilen saçıcılık katsayılarının doğru tanımlanması gerekmektedir. Aşağıdaki Çizelge 5.1’de hacim yüzeylerine ODEON 10.02 Combined versiyonu içinde bulunan malzeme listesinden orijinaline en uygun olanları seçilerek atanan malzemelerin yutuculuk ve saçıcılık özellikleri verilmiştir:

Çizelge 5.1. Hacim yüzeylerine atanan malzemeler, 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki ses yutma katsayıları

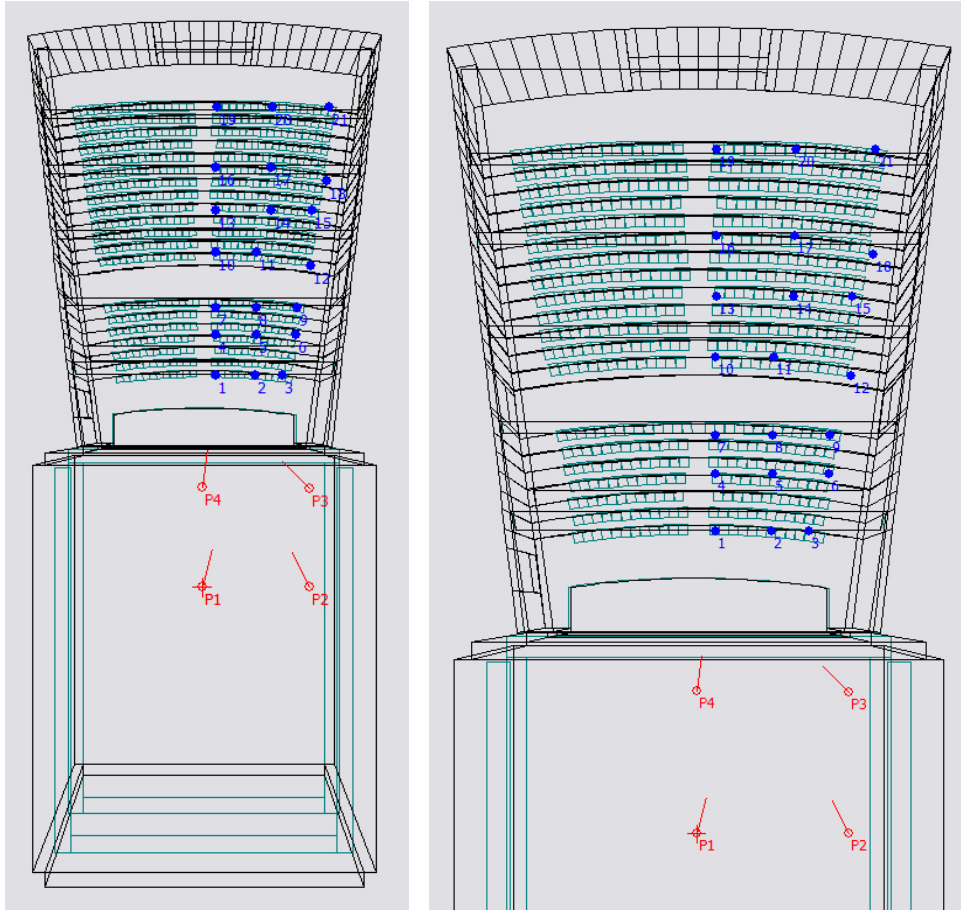
Malzemenin Konulacağı Alan	Malzemenin Adı	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Salon Yan Duvarları	5 cm cam yünlü ızgara üzerine 1.6-2.2 cm ahşap kaplama	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
Salon Arka Duvarı	Yutucu ahşap duvar 18mm	0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	0.00
Salon Döşemesi	Beton üzerine kalın halı kaplama	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.65
Salon Tavanı	5 cm ızgara üstüne 0.8 cm ahşap kaplama	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11
Kapılar	Masif ahşap kapı	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
Cam	Ağır cam yüzey	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
Koltuk (Saçıcılık: 0.07)	Ağır döşeme kaplı kolçaklı koltuk	0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90
Kediyolu	Çelik profil	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15
Sahne İç Duvarları	Boyalı beton	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Sahne Döşemesi	Beton üzerine ahşap parke	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07
Sofita Tavanı	Boyalı beton	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02

Çizelge 5.1. (Devam) Hacim yüzeylerine atanan malzemeler, 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki ses yutma katsayıları

Malzemenin Konulacağı Alan	Malzemenin Adı	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Orkestra Çukuru Korkuluğu	1cm kalınlığında kontra plak	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11

Ses Kaynağı ve Alıcı Kararları:

Söz konusu hacmin simülasyon çalışması ile yapılacak hesaplamalar sonucunda hacim akustiğinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve değerlendirilmesi için hacim genelinde toplam 21 alıcı ile sahne üzerinde 4 ses kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Kaynak ve alıcı noktalarının modeldeki konumları

Ses kaynağı; frekanslara göre değişim göstermeyen (omni), beyaz gürültü yayımlayan 4 tane nokta kaynak seçilmiştir. Bu kaynaklara 70 dB ses gücü tanımlanmıştır.

1.Kaynak ile ilgili yapılan kabuller:

- Kaynağın sahneden yüksekliği : 1.50 m
- Kaynak- sahne önü uzaklığı : 7.70 m

- Kaynak-arka duvar uzaklığı : 17.50 m
- Kaynak- 1. yan duvar uzaklığı : 9.95 m
- Kaynak- 2. yan duvar uzaklığı : 9.95 m
- Kaynak- tavan uzaklığı : 13.50 m
- Kaynak- ilk dinleyici uzaklığı : 13.00 m

2. Kaynak ile ilgili yapılan kabuller:

- Kaynağın sahneden yüksekliği : 1.50 m
- Kaynak- sahne önü uzaklığı : 7.70 m
- Kaynak-arka duvar uzaklığı : 17.50 m
- Kaynak- 1. yan duvar uzaklığı : 4.75 m
- Kaynak- 2. yan duvar uzaklığı : 15.15 m
- Kaynak- tavan uzaklığı : 13.50 m
- Kaynak- ilk dinleyici uzaklığı : 13.80 m

3. Kaynak ile ilgili yapılan kabuller aşağıdaki gibidir:

- Kaynağın sahneden yüksekliği : 1.50 m
- Kaynak- sahne önü uzaklığı : 2.80 m
- Kaynak-arka duvar uzaklığı : 22.40 m
- Kaynak- 1. yan duvar uzaklığı : 4.75 m
- Kaynak- 2. yan duvar uzaklığı : 15.15 m
- Kaynak- tavan uzaklığı : 13.50 m
- Kaynak- ilk dinleyici uzaklığı : 9.40 m

4. Kaynak ile ilgili yapılan kabuller aşağıdaki gibidir:

- Kaynağın sahneden yüksekliği : 1.50 m
- Kaynak- sahne önü uzaklığı : 2.80 m
- Kaynak-arka duvar uzaklığı : 22.40 m
- Kaynak- 1. yan duvar uzaklığı : 9.95 m
- Kaynak- 2. yan duvar uzaklığı : 9.95 m
- Kaynak- tavan uzaklığı : 13.50 m
- Kaynak- ilk dinleyici uzaklığı : 8.20 m

21 adet alıcı, hacmin büyük ve simetrik olmasından dolayı salonun bir yarısına konumlandırılmışlardır.

Alıcı noktalarında hesaplanan akustik parametrelerinin gerçeğe yakın olmasını sağlamak için, gerçek durumun tespiti için kullanılan ölçüm yöntemlerinde izlenen TS EN ISO 3382-1 standardındaki alıcılarla ilgili belirtilen tanımlara uyulmuştur. Bu tanıma göre, hiçbir alıcının konumu, doğrudan gelen sesin kuvvetli etkisinden sakınmak için bir ses kaynağına çok yakın olmamalıdır. Bu duruma göre:

$$d = \sqrt[2]{V/cT} \quad (5.1)$$

Formülde;

d: ses kaynağı ve ilk alıcı arasındaki mesafe (m)

V: hacim, (m³)

c: ses hızı, (m/sn)

T: beklenen çınlama süresinin bir tahmini (sn); olarak verilmektedir.

Bu formüle dayanarak; ses hızı 340 m/sn, salon hacmi 3506 m³, beklenen çınlama süresinin yaklaşık 1 sn olarak alınarak yapılan hesaplamalarda ses kaynağı ve ilk alıcı arasındaki mesafenin yaklaşık 10.3 m olması gerekmektedir. Fakat alıcı noktasına en yakın olan dördüncü ses kaynağı ile ilk alıcı arasındaki mesafe yaklaşık 8.20 m'dir. Mekanın bir tiyatro sahnesi olduğu göz önüne alınırsa ses kaynağı olan oyuncuların sürekli yer değiştirmeleri alıcı-kaynak arasındaki mesafeyi sürekli değiştirmektedir. Bu yüzden söz konusu durum ihmal edilebilmektedir.

Buna göre hacim içinde tanımlanan 21 alıcının ses kaynağı ve çevreleriyle ilişkileri Çizelge 5.2'de verilmiştir:

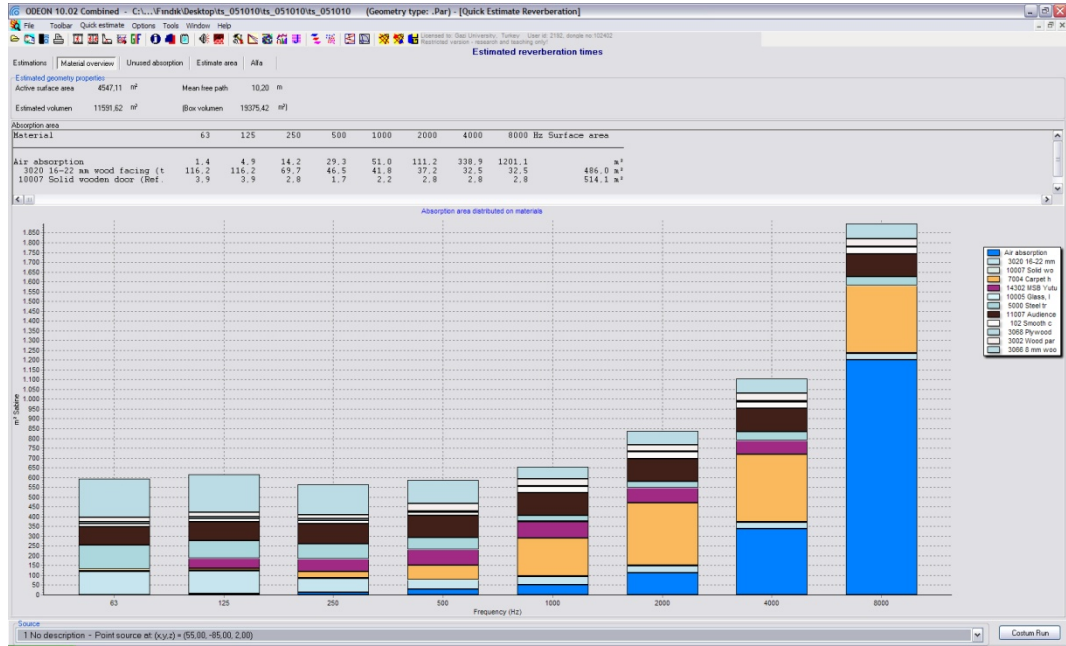
Çizelge 5.2. 21 Alıcının ses kaynağı ve çevreleriyle ilişkileri

Alıcı	Alıcı Yüksekliği (m)	Alıcı-1.Kaynak Uzaklığı (m)	Alıcı-1.Yan Duvar Uzaklığı (m)	Alıcı-2.Yan Duvar Uzaklığı (m)
1	1.20	7.30	8.19	9.81
2	1.20	7.90	5.33	12.67
3	1.20	9.43	2.42	15.58
4	1.20	9.92	8.32	10.40
5	1.20	10.41	5.76	12.36
6	1.20	11.60	2.66	16.06
7	1.20	12.62	8.99	10.36
8	1.20	13.04	5.93	13.42
9	1.20	14.18	2.25	17.10
10	1.20	16.22	9.05	11.09
11	1.20	16.49	6.02	14.12
12	1.20	17.44	2.28	17.86
13	1.20	18.92	9.38	11.35
14	1.20	19.21	5.64	15.09
15	1.20	20.00	2.10	18.63
16	1.20	21.61	9.94	11.39
17	1.20	21.80	6.24	15.09
18	1.20	22.69	2.13	19.20
19	1.20	26.97	10.24	12.42
20	1.20	27.21	6.53	16.13
21	1.20	27.98	1.88	20.78

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun mevcut durumunun analizi:

Çınlama süresinin (T30) hacim içindeki dağılımı:

Çınlama süresi, bir mekanın akustik özelliklerini belirlemek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Birçok parametrenin tanımlanmasında çınlama süresinden yararlanılmaktadır. Konuşma eyleminin önemli olduğu mekanlarda orta frekanslardaki (500-1000 Hz) çınlama sürelerine bakılırken; müzik eyleminin önemli olduğu mekanlarda daha geniş bir frekans aralığına bakılmaktadır. Hacmin toplam yutuculuğu artırıldığında T30 süresi kısalmakta; toplam yutuculuk azaltılıp yansıtıcılık artırıldığında T30 süresi uzamaktadır. Mevcut durum için ses yutma alanının malzemelere göre dağılımı şekil 5.9’da verilmiştir.



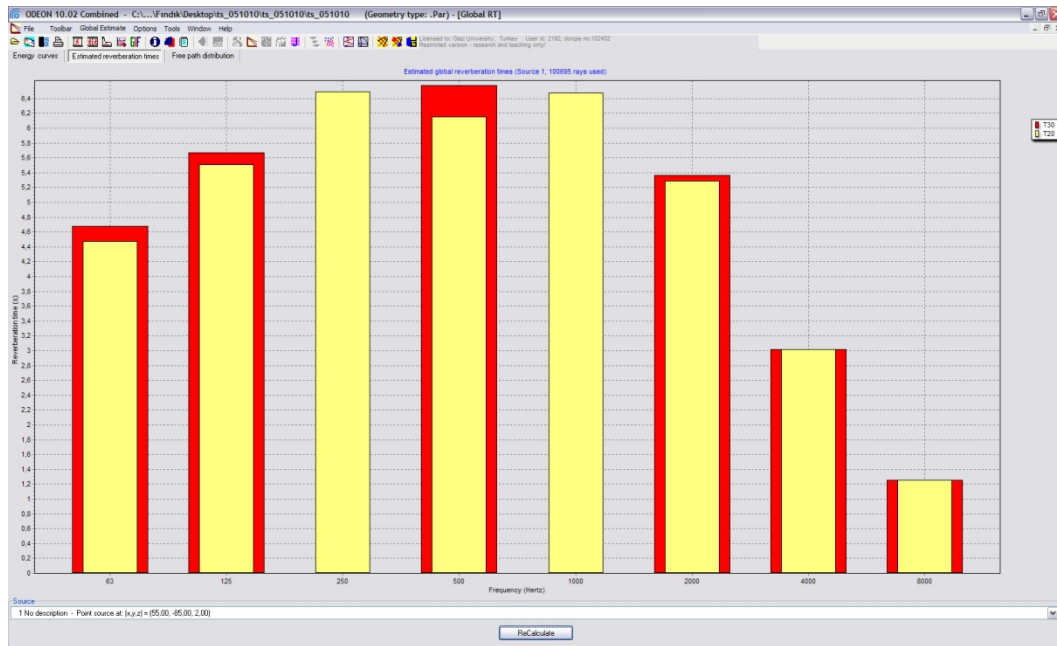
Şekil 5.9. Ses yutma alanının malzemelere göre dağılımı

Mevcut durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki çınlama süresi değerleri Çizelge 5.3’te, T30 diyagramı şekil 5.10’da, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen T30 süresi EK-3’te verilmiştir. T30 değeri 500 Hz için

6.07 sn; 1000 Hz için 6.33 sn'dir. Böylece orta frekanslar (500 Hz ve 1000 Hz) için ortalama T30 süresi 6.20 sn olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki çınlama süresi değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
T30 (sn)	5.57	6.39	6.07	6.33	5.27



Şekil 5.10. T30 diyagramı

Yapılan araştırmalar sonucunda mekan hacmi ile ilişkili olarak T30 süresinin 125 Hz frekansında 1.5-1.8 sn arasında; 500-2000 Hz frekans aralığında 0.8-1.2 sn arasında olması beklenmektedir. Fakat hesaplanan ortalama T30 süresi tiyatro salonlarında olması gereken sürenin çok üzerinde çıkmaktadır. Yüksek frekanslarda havanın yutuculuğu fazla olduğu için T30 süresi azalmaktadır. T30 süresinin genel olarak salon genelinde yüksek çıkması salonda kullanılan toplam yansıtıcılığın fazla olmasından kaynaklanmaktadır. EK-3 ve EK-4'te ki sonuç ve grafiklere bakıldığında alıcı noktalarının kaynaktan uzaklaşmasına karşı T30 süresi bir değişim göstermemektedir. Salon içinde homojen bir dağılımdan söz edilmektedir.

Çınlama süresi (T30); erken sönümlenme süresi (EDT) ve berraklık (C80) gibi nesnel parametreler; canlılık ve ton dolgunluğu gibi öznel parametreler ile ilişkilidir.

Genellikle, hacim içerisindeki ses alanı dağınık alan koşullarına yakın ise EDT süresi T30 süresinden daha uzun olacaktır. Tam dağınık alan koşullarında ise EDT süresi ile T30 süresi aynı olacaktır. Analiz sonuçlarına göre EDT süresi (Bkz. Çizelge 5.4, s.92), T30 süresine bağlı olarak istenen koşulların üstünde olmasına karşı yapılan araştırmalar sonucunda tiyatro salonlarında olması gereken $EDT < RT$ ilişkisini sağlamaktadır.

T30 süresi arttıkça; erken enerji azalmakta çınlayan enerji artmaktadır. Uzun T30 süresi, C80 parametresinin azalmasına neden olmaktadır. İ.B.B.Beyoğlu Sahnesi büyük salonunda ki alıcı noktalarının hiç birinde tiyatro salonları için tavsiye edilen T30 süresi aralığı yakalanamamıştır. T30 süresinin çok yüksek olması berraklığı azaltmaktadır. Yapılan analiz sonucunda C80 parametresinin (Bkz. Çizelge 5.5, s.94) tiyatro salonları için tavsiye edilen değerlerin çok altında kalmış, daha çok müziğin nitelikli duyulanması için istenilen değerleri yakalamıştır. Bu durum, salonda kullanılan yansıtıcı yüzeylerin fazlalığını işaret etmektedir.

Canlılık, çınlamanın öznel etkilerinden biridir. Uzun T30 süresi mekanın canlılığını artırırken sesin dolgunluğunu da artırmaktadır. Bu durumda İ.B.B.Beyoğlu Sahnesi büyük salonunu canlı olarak nitelendirilmektedir. Katedrallerde bile beklenen çınlama süresi 3sn. ve üzerindedir. Elde edilen analiz sonuçları katedrallerde bile beklenen sürenin çok üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu durumda canlılığın da bozulduğu söylenebilir.

Erken sönümlenme süresinin (EDT) hacim içindeki dağılımı:

Ses kaynağı kapatıldıktan sonra sönümlenme ilk 10 dB düşme hızıyla devam ederse 60 dB' e eşit düşme için geçen süre olarak adlandırılan erken sönümlenme süresi, insanların çınlamayı daha iyi tarif ettikleri süredir. Mevcut durum için yapılan

analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki erken sönümlenme süresi değerleri Çizelge 5.4'te, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen EDT süresi EK-3'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki erken sönümlenme süresi değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
EDT (sn)	5.01	5.92	5.67	5.83	4.71

EK-3'te verilen tüm alıcı noktalarına bakıldığında 8000 Hz frekansı hariç tüm frekanslarda istenilen sürenin (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. 8000 Hz'deki frekansta istenilen değerlerin yakalanması bu frekanstaki hacmin toplam yutuculuğunun yüksek olduğunu göstermektedir (Bkz. Şekil 5.9, s.89). Ayrıca, arka oturma gruplarındaki alıcı noktalarında da EDT süresi değerleri azalmaktadır (Bkz. EK-3). Bu durum ise alıcı noktalarının, salonun arka duvar yüzeyinin 18 mm yutucu ahşap duvar kaplamasına yakın olması olarak yorumlanabilir. EK-3'te verilen sonuçlara bakıldığında EDT süresi, 63 Hz-8000 Hz frekanslarında kaynaktan uzaklaşıldıkça azalmakta, bazı alıcı noktalarında ise T30 süresine göre daha fazla sapma göstermektedir. Bu durum, çınlayan sesle ilişkili olarak T30 süresinden farklı olarak EDT süresinin hacim geometrisinden yani erken yansımalarından daha fazla etkilenmesiyle açıklanmaktadır. Yine bazı alıcı noktalarında EDT süresi, alçak frekanslarda dalga boyunun uzun olmasından ve düzgün dağılmamasından dolayı yüksek frekanslı seslere göre daha fazla sapma göstermiştir.

Erken sönümlenme süresi (EDT); çınlama süresi (T30) ve berraklık (C80) gibi nesnel parametrelerle ve mekan geometrisi ile ilişkilidir.

T30 süresi arttıkça EDT süresi de artmaktadır. Mevcut durumun müzik amaçlı kullanılması durumunda çınlama süresi ile;

$$EDT_{mid} = 1.1 RT_{mid} \quad (5.1)$$

şeklinde bir bağıntı bulunmaktadır. Mevcut durum için yapılan hesaplamalar sonucu RT_{mid} süresi 6.2 sn iken EDT_{mid} 5.7 sn'dir. EDT değerlerinin istenilen 1.0 sn'den küçük olma durumu yakalanamasa da $EDT < RT$ ilişkisi sağlanarak tiyatro işlevi için gerekli olan ilişkinin sağlandığı görülmektedir.

Yüksek EDT süresi, çınlayan bir ortamın varlığını gösterirken düşük bir C80 ortamı göstermektedir. Yapılan analiz sonucunda EDT süresinin yüksek olması C80 parametre değerlerinin negatif değerlerle ifade edilmesini sağlarken müziğin nitelikli duyulanması için önerilen sınır değerleri (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) arasında kalmıştır.

Berraklığın (C80) hacim içindeki dağılımı:

İlk 80 ms içinde ulaşan sesin enerjisinin bu süreden sonra ulaşan sesin enerjisine göre değeri olan C80 parametresi berraklık ile çınlama arasındaki dengeyi ifade etmektedir. Mevcut durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki berraklık değerleri Çizelge 5.5'te, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen C80 değeri EK-3'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki berraklık değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
C80	-3.2	-3.7	-3.5	-3.3	-2.2

EK-4'te verilen grafiklere bakıldığında, salon genelinde C80 parametresi homojen bir dağılım göstermektedir.

Berraklık (C80); çınlama süresi (T30) ve ses yüksekliği (G) gibi nesnel parametreleri; frekans, mekan hacmi ve mekan yüksekliği ile ilişkilidir.

C80 parametresi ve T30 süresi arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Örneğin; T30 süresi uzadıkça, erken ses enerjisi azalır ve çınlayan ses enerjisi

artmaktadır. Bu durumda müzik berraklığını kaybedecek ve C80 parametresi dB cinsinden negatif değerlerle ifade edilecektir. Eğer erken ses enerjisi, çınlayan ses enerjisine eşit olursa C80 parametresi 0 (sıfır) olacaktır. Tam tersine T30 süresi azaldıkça başka bir deyişle ölü bir hacimde, erken ses enerjisi artmaktadır. Bu durumda müzik oldukça net ve açık algılanacaktır. C80 parametresi dB cinsinden pozitif değerlerle ifade edilebilir. Mevcut durum analiz sonuçlarına göre T30 süresinin yüksek olması ile C80 parametresi negatif değerler almıştır. Çınlayan ses enerjisi ile ilişkili olan T30 süresinin istenilen sürenin üstünde olması bu durumu açıklamaktadır. Salon genelindeki analiz sonuçları müziğin nitelikli duyulanması için gereken koşulları sağlarken tiyatro salonları için istenen değerlerin (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) altında kalmasına neden olmaktadır.

Belirginliğin (D50) hacim içindeki dağılımı:

İlk 50 ms'lik zaman dilimi içerisinde alıcıya ulaşan erken ses enerjisinin toplam ses enerjisine oranıdır. Mevcut durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki belirginlik değerleri Çizelge 5.6'da, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen D50 parametresi EK-3'te verilmiştir.

Çizelge 5.6. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki belirginlik değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
D50	0.26	0.24	0.25	0.25	0.30

%50 üzerindeki D50 parametresi, sesin belirginliğinin yeterli olduğunu göstermektedir. Çünkü bu oran %90'lık anlaşılabilirliğe denk gelmektedir. Salon genelinde D50 parametresi, yapılan araştırmalar sonucunda önerilen sınır değerlerin (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) altında kalmaktadır. Bu durum, salon genelindeki T30 süresinin çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek frekanslarda D50 parametresi, T30 süresinin düşmesi ve erken yansımaların artması ile artarak istenilen sınır değerleri arasında kalmıştır.

Belirginlik (D50); erken sönümlenme süresi (EDT) ve kaynak-alıcı uzaklığı ile ilişkilidir.

EK-4'te verilen grafiklere bakıldığında salon genelinde homojen bir dağılım görülmektedir. EK-3'te ki sonuçlara bakıldığında D50 parametresi, arka oturma gruplarına yerleştirilen alıcı noktalarında kaynak-alıcı uzaklığı çerçevesinde düşüş gösterirken; salonun formundan kaynaklanan yansıyan sesin arka orta tafraya düşmesinden kaynaklı olarak bu oturma gruplarına yerleştirilen alıcı noktalarında artış göstermektedir.

Yanal yansımaya oranının (LF80) hacim içindeki dağılımı:

Mekansal izlenim olarak adlandırılan erken yanal yansımaya oranı, dinleyicinin ses tarafından sarmalanmasıdır. Mevcut durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki yanal yansımaya oranı değerleri Çizelge 5.7'de, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen LF80 oranı EK-3'te verilmiştir.

Çizelge 5.7. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki yanal yansımaya oranı değerleri

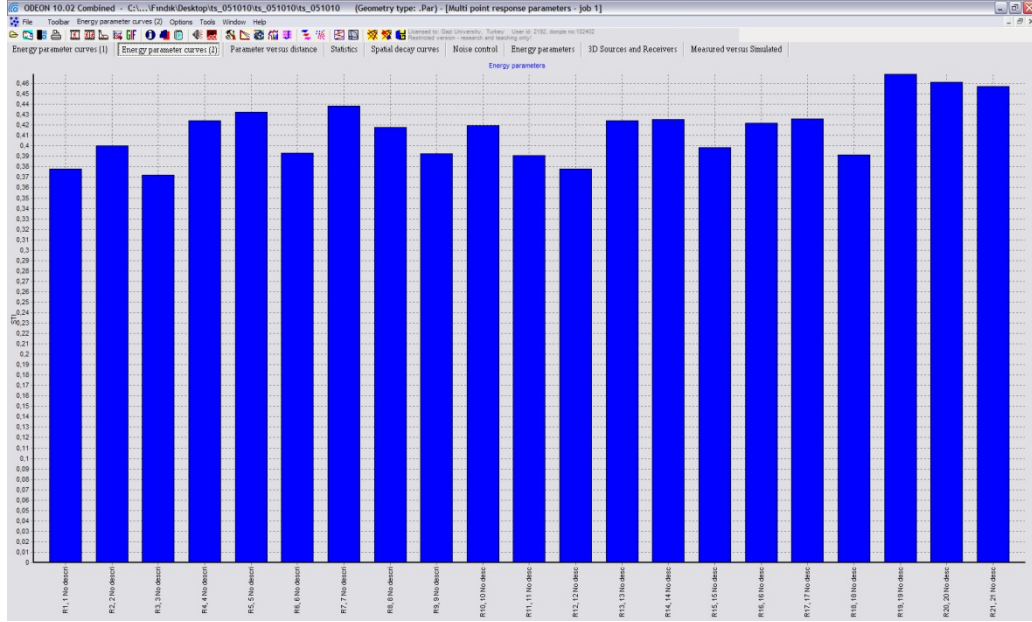
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
LF80	0.185	0.192	0.198	0.201	0.203

Yanal yansımaya oranı mekansal algılama ve mekansal sarmalanma hissi ile ilişkilidir. Mekanın yelpaze biçiminde salon olmasından kaynaklı olarak ses, orta arka tarafa düşmektedir. Bu durumda bu kısımlarda yanal yansımaya oranları artmaktadır. Salonun genelinde erken yanal yansımaya oranları istenilen sınır değer aralığında (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) kalmıştır.

Konuşma İletim İndisinin (STI) hacim içindeki dağılımı:

Houtgast ve Steeneken, STI'yi insan sesini taklit eden modülasyon transfer fonksiyonu-MTF isimli sistem üzerinden geliştirmiştir. Mevcut durum için yapılan

analizde konuşma iletim indisi ortalaması 0.41'dir ve istenilen sınır değer aralıkları içinde (Bkz. Çizelge 4.3, s.71) kalmıştır. Salon genelinde konuşmanın anlaşılabilirliği zayıf seviyededir. Hacim genelinde STI parametresi değerleri alıcı noktaları göre şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Alıcı noktalarındaki STI değerleri

Konuşma iletim indisi (STI); arka plan gürültüsü ve çınlama süresi (T30) ile ilişkilidir.

5.4.2. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin iyileştirilmiş durumunun analizi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi büyük salonu için yapılan iyileştirilmiş durum analizi için salonun geometrisi, hacmi, kişi sayısı ve kaynak-alıcı noktalarında bir değişiklik söz konusu olmamıştır. Salonun akustik konfor koşullarını iyileştirmek için alınan kararlar yüzeylerin malzeme değişimiyle sınırlandırılmıştır.

Yüzeylerin Malzeme Kararları:

Aşağıdaki Çizelge 5.8'de hacim yüzeylerine ODEON 10.02 Combined versiyonu içinde bulunan malzeme listesinden akustik konfor koşullarını iyileştiren malzemelerin yutuculuk ve saçıcılık özellikleri verilmiştir:

Çizelge 5.8. Hacim yüzeylerine atanan malzemeler, 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki ses yutma katsayıları

Malzemenin Konulacağı Alan	Malzemenin Adı	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Salon Yan Duvarları	5 cm cam yünlü ızgara üzerine 1.6-2.2 cm ahşap kaplama (120 cm yerden yüksekte, 50 cm x 300 cm boyutlarında)	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
Salon Yan Duvarları	Yutucu ahşap duvar 18mm	0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	0.00
Salon Arka Duvarı	Yutucu ahşap duvar 18mm	0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	0.00
Salon Döşemesi	Beton üzerine kauçuk, halı kaplama	0.08	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.73
Salon Tavanı	5 cm ızgara üstüne 0.8 cm ahşap kaplama	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11
Kapılar	Masif ahşap kapı	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
Cam	Ağır cam yüzey	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
Koltuk (Saçıcılık:0.07)	Ağır döşeme kaplı kolçaklı koltuk	0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90
Kediyolu	Çelik profil	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15

Çizelge 5.8. (Devam) Hacim yüzeylerine atanan malzemeler, 63 Hz-8000 Hz frekanslardaki ses yutma katsayıları

Malzemenin Konulacağı Alan	Malzemenin Adı	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Sahne İçi Duvarları	5 cm cam yünlü ızgara üzerine 1.6-2.2 cm ahşap kaplama	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
Sahne İçi Duvarları (Arka)	Delikli 2.7 cm alçı plak kaplama (d=4.5 cm, duvardan 30 cm uzakta)	0.45	0.45	0.55	0.60	0.90	0.86	0.75	0.75
Sahne Döşemesi	Ahşap podyum	0.40	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	0.10
Sofita Tavanı	Delikli 2.7 cm alçı plak kaplama (d=4.5 cm, duvardan 30 cm uzakta)	0.45	0.45	0.55	0.60	0.90	0.86	0.75	0.75
Orkestra Çukuru Korkuluğu	1 cm kalınlığında kontra plak	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11

Çizelge 5.9. Hacim yüzeylerine atanan malzemelerde yapılan değişikliklerin bir arada verilmesi

Malzemenin Konulacağı Alan	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum																															
Salon Yan Duvarları	5 cm cam yünlü ızgara üzerine 1.6-2.2 cm ahşap kaplama (tüm yüzeyler)	5 cm cam yünlü ızgara üzerine 1.6-2.2 cm ahşap kaplama <i>(120 cm yerden yüksekte, 50 cm x 300 cm boyutlarında)</i>																															
	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>0.25</td> <td>0.15</td> <td>0.10</td> <td>0.09</td> <td>0.08</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.00</td> <td>0.53</td> <td>0.68</td> <td>0.84</td> <td>0.87</td> <td>0.82</td> <td>0.74</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07																										
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	0.00																										
Salon Arka Duvarı	Yutucu ahşap duvar 18mm	Yutucu ahşap duvar 18mm																															
	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.00</td> <td>0.53</td> <td>0.68</td> <td>0.84</td> <td>0.87</td> <td>0.82</td> <td>0.74</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	0.00	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.00</td> <td>0.53</td> <td>0.68</td> <td>0.84</td> <td>0.87</td> <td>0.82</td> <td>0.74</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	0.00																										
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.00	0.53	0.68	0.84	0.87	0.82	0.74	0.00																										

Çizelge 5.9. (Devam) Hacim yüzeylerine atanan malzemelerde yapılan değişikliklerin bir arada verilmesi

Malzemenin Konulacağı Alan	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum																															
Salon Döşemesi	Beton üzerine kalın halı kaplama	<i>Beton üzerine kauçuk, halı kaplama</i>																															
	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.06</td> <td>0.14</td> <td>0.37</td> <td>0.60</td> <td>0.65</td> <td>0.65</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.65	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.08</td> <td>0.08</td> <td>0.24</td> <td>0.57</td> <td>0.69</td> <td>0.71</td> <td>0.73</td> <td>0.73</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.08	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.65																										
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.08	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.73																										
Salon Tavanı	5 cm ızgara üstüne 0.8 cm ahşap kaplama	5 cm ızgara üstüne 0.8 cm ahşap kaplama																															
	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.28</td> <td>0.28</td> <td>0.22</td> <td>0.17</td> <td>0.09</td> <td>0.10</td> <td>0.11</td> <td>0.11</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.28</td> <td>0.28</td> <td>0.22</td> <td>0.17</td> <td>0.09</td> <td>0.10</td> <td>0.11</td> <td>0.11</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11																										
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.11																										
Kapılar	Masif ahşap kapı	Masif ahşap kapı																															
	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.14</td> <td>0.14</td> <td>0.10</td> <td>0.06</td> <td>0.08</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.14</td> <td>0.14</td> <td>0.10</td> <td>0.06</td> <td>0.08</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10																										
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10																										

Çizelge 5.9. (Devam) Hacim yüzeylerine atanan malzemelerde yapılan değişikliklerin bir arada verilmesi

Malzemenin Konulacağı Alan	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum																																															
Cam	Ağır cam yüzey	Ağır cam yüzey																																															
	<table border="1"> <tr> <td>63</td> <td>125</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.18</td> <td>0.18</td> <td>0.06</td> <td>0.04</td> <td>0.03</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> </tr> </table>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	<table border="1"> <tr> <td>63</td> <td>125</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.18</td> <td>0.18</td> <td>0.06</td> <td>0.04</td> <td>0.03</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> </tr> </table>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000																																										
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz																																										
0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02																																										
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000																																										
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz																																										
0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02																																										
Koltuk (Saçıklık:0.07)	Ağır döşeme kaplı kolçaklı koltuk	Ağır döşeme kaplı kolçaklı koltuk																																															
	<table border="1"> <tr> <td>63</td> <td>125</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.72</td> <td>0.72</td> <td>0.80</td> <td>0.86</td> <td>0.89</td> <td>0.90</td> <td>0.90</td> <td>0.90</td> </tr> </table>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90	<table border="1"> <tr> <td>63</td> <td>125</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.72</td> <td>0.72</td> <td>0.80</td> <td>0.86</td> <td>0.89</td> <td>0.90</td> <td>0.90</td> <td>0.90</td> </tr> </table>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000																																										
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz																																										
0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90																																										
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000																																										
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz																																										
0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90																																										
Kediyolu	Çelik profil	Çelik profil																																															
	<table border="1"> <tr> <td>63</td> <td>125</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.40</td> <td>0.30</td> <td>0.25</td> <td>0.20</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> </tr> </table>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15	<table border="1"> <tr> <td>63</td> <td>125</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>0.40</td> <td>0.30</td> <td>0.25</td> <td>0.20</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> </tr> </table>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000																																										
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz																																										
0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15																																										
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000																																										
Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz																																										
0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15																																										

Çizelge 5.9. (Devam) Hacim yüzeylerine atanan malzemelerde yapılan değişikliklerin bir arada verilmesi

Malzemenin Konulacağı Alan	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum																															
Sahne İçi Duvarları	Boyalı Beton	<p><i>5 cm cam yünlü ızgara üzerine 1.6-2.2 cm ahşap kaplama</i></p> <table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.25</td> <td>0.25</td> <td>0.15</td> <td>0.10</td> <td>0.09</td> <td>0.08</td> <td>0.07</td> <td>0.07</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07															
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																								
0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07																										
Sahne İçi Duvarları (Arka)	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> </tr> </table> <p><i>Delikli 2.7 cm alçı plak kaplama (d=4.5 cm, duvardan 30 cm uzakta)</i></p> <table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.45</td> <td>0.45</td> <td>0.55</td> <td>0.60</td> <td>0.90</td> <td>0.86</td> <td>0.75</td> <td>0.75</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.45	0.45	0.55	0.60	0.90	0.86	0.75	0.75
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02																										
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.45	0.45	0.55	0.60	0.90	0.86	0.75	0.75																										
Sahne Döşemesi	Beton üzerine ahşap parke	<p><i>Ahşap podyum</i></p> <table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>125 Hz</td> <td>250 Hz</td> <td>500 Hz</td> <td>1000 Hz</td> <td>2000 Hz</td> <td>4000 Hz</td> <td>8000 Hz</td> </tr> <tr> <td>0.40</td> <td>0.40</td> <td>0.30</td> <td>0.20</td> <td>0.17</td> <td>0.15</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> </tr> </table>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	0.40	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	0.10															
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz																										
0.40	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	0.10																										

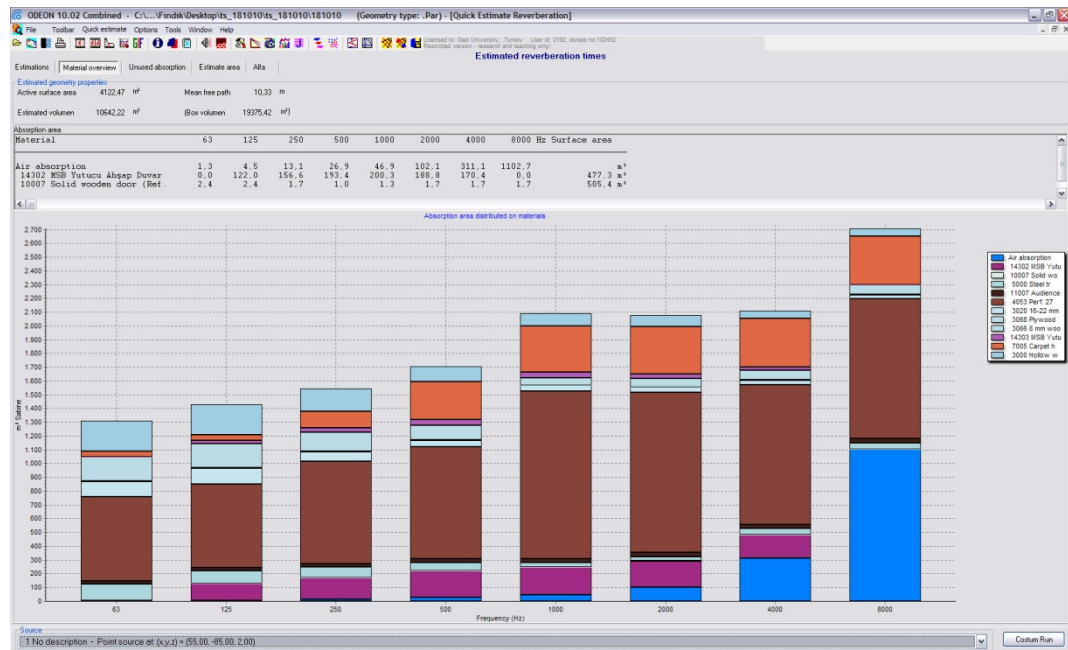
Çizelge 5.9. (Devam) Hacim yüzeylerine atanan malzemelerde yapılan değişikliklerin bir arada verilmesi

Malzemenin Konulacağı Alan	Mevcut Durum	İyileştirilmiş Durum																																																
Sofita	Boyalı Beton	<i>Delikli 2.7 cm alçı plak kaplama (d=4.5 cm, duvardan 30 cm uzakta)</i>																																																
	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>0.01</td> <td>125 Hz</td> <td>0.01</td> <td>250 Hz</td> <td>0.01</td> <td>500 Hz</td> <td>0.01</td> <td>1000 Hz</td> <td>0.02</td> <td>2000 Hz</td> <td>0.02</td> <td>4000 Hz</td> <td>0.02</td> <td>8000 Hz</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> <td>0.02</td> </tr> </table>	63 Hz	0.01	125 Hz	0.01	250 Hz	0.01	500 Hz	0.01	1000 Hz	0.02	2000 Hz	0.02	4000 Hz	0.02	8000 Hz	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>0.45</td> <td>125 Hz</td> <td>0.45</td> <td>250 Hz</td> <td>0.55</td> <td>500 Hz</td> <td>0.60</td> <td>1000 Hz</td> <td>0.90</td> <td>2000 Hz</td> <td>0.86</td> <td>4000 Hz</td> <td>0.75</td> <td>8000 Hz</td> <td>0.75</td> </tr> </table>	63 Hz	0.45	125 Hz	0.45	250 Hz	0.55	500 Hz	0.60	1000 Hz	0.90	2000 Hz	0.86	4000 Hz	0.75	8000 Hz	0.75
63 Hz	0.01	125 Hz	0.01	250 Hz	0.01	500 Hz	0.01	1000 Hz	0.02	2000 Hz	0.02	4000 Hz	0.02	8000 Hz	0.02																																			
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02																																			
63 Hz	0.45	125 Hz	0.45	250 Hz	0.55	500 Hz	0.60	1000 Hz	0.90	2000 Hz	0.86	4000 Hz	0.75	8000 Hz	0.75																																			
Orkestra Çukuru Korkuluğu	1 cm kalınlığında kontra plak	1 cm kalınlığında kontra plak																																																
	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>0.28</td> <td>125 Hz</td> <td>0.28</td> <td>250 Hz</td> <td>0.22</td> <td>500 Hz</td> <td>0.17</td> <td>1000 Hz</td> <td>0.09</td> <td>2000 Hz</td> <td>0.10</td> <td>4000 Hz</td> <td>0.11</td> <td>8000 Hz</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>0.28</td> <td>0.28</td> <td>0.22</td> <td>0.17</td> <td>0.09</td> <td>0.09</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.09</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>0.11</td> <td>0.11</td> <td>0.11</td> <td>0.11</td> </tr> </table>	63 Hz	0.28	125 Hz	0.28	250 Hz	0.22	500 Hz	0.17	1000 Hz	0.09	2000 Hz	0.10	4000 Hz	0.11	8000 Hz	0.11	0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	<table border="1"> <tr> <td>63 Hz</td> <td>0.28</td> <td>125 Hz</td> <td>0.28</td> <td>250 Hz</td> <td>0.22</td> <td>500 Hz</td> <td>0.17</td> <td>1000 Hz</td> <td>0.09</td> <td>2000 Hz</td> <td>0.10</td> <td>4000 Hz</td> <td>0.11</td> <td>8000 Hz</td> <td>0.11</td> </tr> </table>	63 Hz	0.28	125 Hz	0.28	250 Hz	0.22	500 Hz	0.17	1000 Hz	0.09	2000 Hz	0.10	4000 Hz	0.11	8000 Hz	0.11
63 Hz	0.28	125 Hz	0.28	250 Hz	0.22	500 Hz	0.17	1000 Hz	0.09	2000 Hz	0.10	4000 Hz	0.11	8000 Hz	0.11																																			
0.28	0.28	0.22	0.17	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11																																			
63 Hz	0.28	125 Hz	0.28	250 Hz	0.22	500 Hz	0.17	1000 Hz	0.09	2000 Hz	0.10	4000 Hz	0.11	8000 Hz	0.11																																			

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi'nin iyileştirilmiş durumunun analizi:

Çınlama süresinin (T30) hacim içindeki dağılımı:

Hacmin toplam yutuculuğu artırıldığında T30 süresi kısaltmakta; toplam yutuculuk azaltılıp yansıtıcılık artırıldığında T30 süresi uzamaktadır. İyileştirilmiş durum için ses yutma alanının malzemelere göre dağılımı şekil 5.12'de verilmiştir.

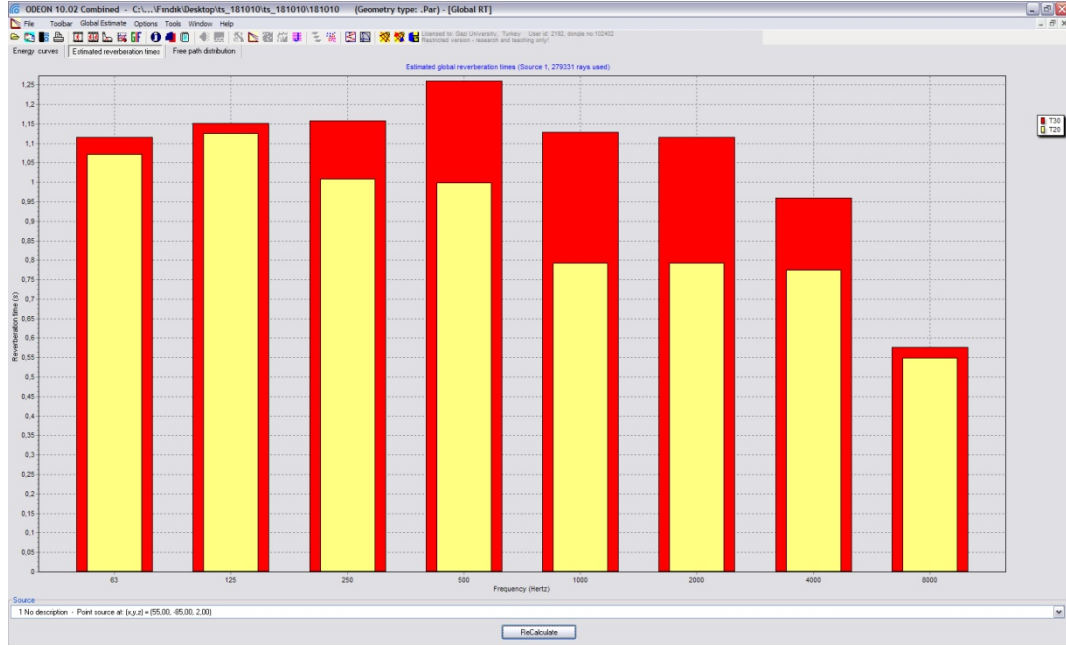


Şekil 5.12. Ses yutma alanının malzemelere göre dağılımı

İyileştirilmiş durum için yapılan 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki çınlama süresi değerleri Çizelge 5.10'da, T30 diyagramı şekil 5.13'te, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen T30 süresi EK-5'te verilmiştir. T30 değeri 500 Hz için 1.17 sn; 1000 Hz için 1.15 sn'dir. Böylece orta frekanslar (500 Hz ve 1000 Hz) için ortalama T30 süresi 1.16 sn olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki çınlama süresi değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
T30 (sn)	1.13	1.07	1.17	1.15	1.11



Şekil 5.13 T30. diyagramı

Yapılan araştırmalar sonucunda mekan hacmi ile ilişkili olarak T30 süresinin 125 Hz frekansında 1.5-1.8 sn arasında; 500-2000 Hz frekans aralığında 0.8-1.2 sn arasında olması beklenmektedir. Hesaplanan ortalama T30 süresi için tiyatro salonlarında olması gereken sınır değerleri arasında kalmaktadır. T30 süresinin istenilen sınır değerleri içinde kalması %55-60 civarında alıcıya ses enerjisinin 50 ms içinde ulaştığını göstermektedir. Bu kısım erken sesi taşımaktadır. Bu durum, erken yansımalar ile yeterli ses enerjisinin taşınması; iyi anlaşılabilirlik için direkt sese ihtiyaç duyulmaması demektir. T30 süresinin beklenen sürelerle çekilmesinde mekan içinde kullanılan malzemelerin dengelenmesi ile sağlanmıştır. Örneğin, salon ve sahne duvarlarında kullanılan yansıtıcı malzemeler azaltılarak yutucu malzeme kullanımı ile dengelenmiş; soffita kulesinin tavanın yansıtıcı olarak çalışan yüzeyin yutuculuğu artırılarak kullanılmış bu sayede T30 süresi istenen seviyelere düşürülmüştür.

Erken sönümlenme süresinin (EDT) hacim içindeki dağılımı:

İyileştirilmiş durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki erken sönümlenme süresi değerleri Çizelge 5.11’de, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen EDT süresi EK-5’te verilmiştir.

Çizelge 5.11. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki erken sönümlenme süresi değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
EDT (sn)	1.13	0.90	0.70	0.52	0.57

EK-5’te verilen tüm alıcı noktalarına bakıldığında 63-125 Hz frekansları hariç tüm frekanslarda istenilen süre (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) yakalanmıştır. 63-125 Hz’deki frekanslara bu değerlerin yakalanamaması, bu frekanslardaki seslerin daha yüksek T30 sürelerine sahip olması; hacim içinde bu frekanstaki sesleri yutacak titreşen levha özelliği gösteren panellerin yetersiz olması ile açıklanabilir. Tavana ve duvar yüzeylerine yerleştirilen panellerin sabitlenerek tasarlanması titreşen panel özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Mevcut durum için yapılan analiz sonuçlarında arka oturma gruplarındaki alıcı noktalarında EDT süresi değerleri azalma gösterirken (Bkz. EK-3); iyileştirilmiş durum analizlerinde daha homojen bir durum görülmektedir (Bkz. EK-5). Bu durum salon içindeki yutucu yüzeylerin homojen olarak düzenlenmesi ile giderilmiştir.

İyileştirilmiş durum için yapılan analizde, EDT süresi istenilen hem 1.0 sn’den küçük olma özelliğini hem de $EDT < RT$ ilişkisini sağlayarak tiyatro işlevi için gerekli olan ilişkisini sağlamaktadır.

Berraklığın (C80) hacim içindeki dağılımı:

İyileştirilmiş durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki berraklık değerleri Çizelge 5.12’de, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen C80 değeri EK-5’te verilmiştir.

Çizelge 5.12. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki berraklık değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
C80	4.3	5.9	7.2	9.3	8.7

T30 süresi azaldıkça hacimde, erken ses enerjisi artmaktadır. Bu durumda müzik oldukça net ve açık algılanacaktır. İyileştirilmiş durum analiz sonuçlarına göre T30 süresinin düşmesi (iyileştirilmiş durum T30 süresi 1.16 sn, Bkz. s.105) ile C80 parametresi değeri artmıştır. Analiz sonuçlarına göre tiyatro salonları için istenilen değerler (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) yakalanmıştır.

Belirginliğin (D50) hacim içindeki dağılımı:

İyileştirilmiş durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki belirginlik değerleri Çizelge 5.13'te, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen D50 değeri EK-5'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki belirginlik değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
D50	0.61	0.67	0.71	0.76	0.74

Salon genelindeki T30 süresinin kısılması (iyileştirilmiş durum T30 süresi 1.16 sn, Bkz. s.105) ile D50 parametresi istenilen sınır değerlerin (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) arasında kalmıştır. Çizelge 5.13'te görüldüğü gibi %50 üzerindeki D50 parametresi ile %90'lık anlaşılabilirlik sağlanmıştır.

Yanal yansıma oranının (LF80) hacim içindeki dağılımı:

İyileştirilmiş durum için yapılan analizde 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki yanal yansıma oranı değerleri Çizelge 5.14'te, tüm alıcı noktaları üzerinde ölçülen LF80 oranı EK-5'te verilmiştir.

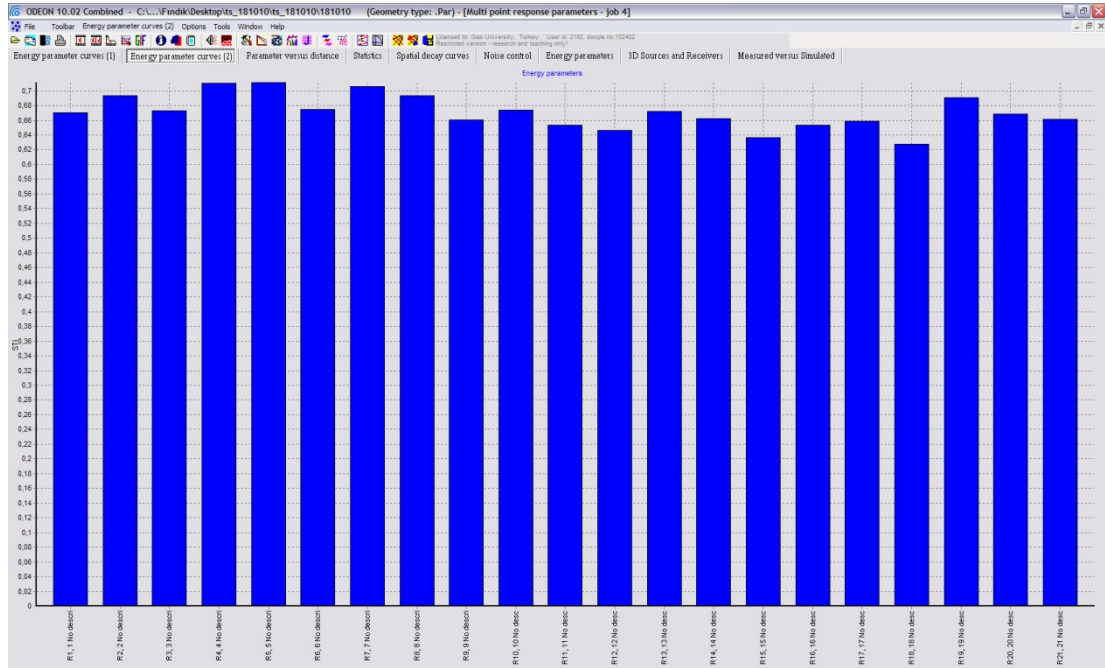
Çizelge 5.14. Model için ölçülen 125 Hz ve 2000 Hz frekansları arasındaki yanıl yansıma oranı değerleri

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
LF80	0.185	0.191	0.193	0.197	0.202

Yanal yansıma oranı, mevcut analiz sonuçlarında olduğu gibi mekanın formundan kaynaklı olarak istenilen sınır değer aralığında (Bkz. Çizelge 4.3, s.70) kalmıştır.

Konuşma İletim İndisinin (STI) hacim içindeki dağılımı:

İyileştirilmiş durum için yapılan analizde konuşma iletim indisi ortalaması 0.67'dir ve istenilen sınır değeri aralıkları içinde (Bkz. Çizelge 4.3, s.71) kalmıştır. Salon genelinde konuşmanın anlaşılabilirliği iyi seviyededir. Hacim genelinde STI parametresi değerleri alıcı noktalarına göre şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Alıcı noktalarında STI değerleri

5.4.3. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında tiyatro salonlarında ağırlıklı olarak konuşma eylemi söz konusu olduğu varsayımdan hareketle hacim genelinde 21 alıcı ve sahne üzerinde frekanslara göre değişim göstermeyen beyaz gürültü yayımlayan, 70 dB ses gücü tanımlanan 4 ses kaynağı kullanılmıştır [42]. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.15'te verilmiştir:

Çizelge 5.15. İ.B.B.Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun mevcut ve iyileştirilmiş durum akustik değerlendirme sonuçları

Parametre	Kaynak	Kabul edilebilir değer	Mevcut durum için yapılan analiz sonucu	Durum	İyileştirilmiş durum için yapılan analiz sonucu	Durum
T30_{mid} (500-1000 Hz ort.)	Barron [20]	0.70 sn ile 1.00 sn arası	6.20 sn	olumsuz	1.16 sn	olumlu
	Maekawa [43]	0.88 sn ile 1.18 sn arası				
	Moore [15]	1.00 sn ile 1.20 sn arası				
	Egan [13]	0.80 sn ile 1.20 sn arası				
	Brüel&Kjaer [47]	0.80 sn ile 1.00 sn arası				
	Bistafa ve Granado [44, 45]	0.70 sn ile 1.00 sn arası				
	Bistafa ve Granado [44, 45]	<1.00 sn				
EDT_{mid} (500-1000 Hz ort.)	Mehta ve ark. [12]	EDT<RT	5.7 sn	olumsuz	0.66 sn	olumlu

Çizelge 5.15. (Devam) İ.B.B.Beyoğlu Sahnesi büyük salonunun mevcut ve iyileştirilmiş durum akustik değerlendirme sonuçları

Parametre	Kaynak	Kabul edilebilir değer	Mevcut durum için yapılan analiz sonucu	Durum	İyileştirilmiş durum için yapılan analiz sonucu	Durum
C80 (500-1000 Hz ort.)	Luykx ve ark. [46]	+7 dB	500 Hz -3.5	olumsuz	500 Hz 7.2	olumlu
	Bistafa ve Granado [44, 45]	>+2 dB	1000 Hz -3.3		1000 Hz 9.3	
D50 (500-1000 Hz ort.)	EN ISO 3382-1 [48]	0.3 ile 0.7 arası	500 Hz 0.25	olumsuz	500 Hz 0.71	olumlu
			1000 Hz 0.25		1000 Hz 0.76	
STI	Odeon [42]	0.30-0.45 Zayıf 0.60-0.75 İyi	0.41		0.67	
			olumsuz (zayıf)	olumlu (iyi)		
LF80 (125-1000 Hz ort.)	EN ISO 3382-1 [48]	0.05 ile 0.35 arası	125 Hz 0.185	olumlu	125 Hz 0.185	olumlu
			250 Hz 0.192		250 Hz 0.191	
			500 Hz 0.198		500 Hz 0.193	
			1000 Hz 0.201		1000 Hz 0.197	

Bir çok parametrenin tanımlanmasında kullanılan çınlama süresi (T30), bir mekanın akustik konfor koşullarını belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Yapılan analiz sonucunda mevcut durum için ölçülen T30 değeri orta frekanslar (500-1000 Hz) için 6.20 sn olarak hesaplanmış ve yapılan araştırmalar sonucunda (Bkz. Çizelge 4.3, s.68; Çizelge 5.15, s.111) beklenen sınır değerlerin üzerinde çıktığı görülmüştür. Bu durum salondaki yüzey kaplama seçimlerinin yansıtıcı yüzey olarak çalışmasından kaynaklanmaktadır. Salon ve sahne duvarlarında kullanılan yansıtıcı malzemelerin azaltılması, sofita kulesinin tavanının yutucu olarak düşünülmesi ile T30 değeri orta frekanslar için 1.16 sn olarak hesaplanarak istenilen seviyelere (Bkz. Çizelge 4.3, s.68; Çizelge 5.15, s.111) düşürülmüştür.

Ses kaynağı kapatıldıktan sonra sönümleme ilk 10 dB düşme hızıyla devam ederse 60 dB' e eşit düşme için geçen süre olarak adlandırılan erken sönümleme süresi, insanların çınlamayı daha iyi tarif ettikleri süredir. Orta ve yüksek frekanslarda tespit edilen $EDT < T30$ ilişkisi ile salondaki orta ve yüksek frekanslara ait ses enerjisi düşüş diyagramında iki veya daha fazla eğimli düşüş eğrisinin oluştuğunu işaret etmektedir. Konser amaçlı kullanımlar için ideal $EDT/T30$ oranı 1.1 iken; konuşma amaçlı kullanımlar için ise $EDT < T30$ oranları yakalanmalıdır. Yapılan analiz sonuçlarına göre; mevcut durum için EDT süresi orta frekanslar için 5.70 sn hesaplanmıştır. $EDT < RT$ ilişkisi sağlanmış olmasına karşın, T30 süresine göre EDT süresi uzun çıkmıştır. İyileştirilmiş durum için EDT süresi orta frekanslar için 0.66 sn olarak hesaplanmıştır. T30 süresine göre EDT süresi kısalmıştır ve tiyatro salonları için tavsiye edilen sınır değerlerini (Bkz. Çizelge 4.3, s. 70; Çizelge 5.15, s.111) yakalamıştır. Mevcut durum için yapılan analiz sonuçlarında arka oturma gruplarındaki alıcı noktalarında EDT süresi değerleri azalma gösterirken (Bkz. EK-3); iyileştirilmiş durum analiz sonuçlarında daha homojen bir durum (Bkz. EK-5) görülmektedir. Salon içindeki yutucu-yansıtıcı yüzey kararlarındaki homojen durum bu sonuçları sağlamıştır.

Berraklık (C80), erken ses enerjisinin gecikmiş ses enerjisine logaritmik oranıdır. İlk yansımalarından ulaşan enerjiye bağlı olarak değişim göstermektedir. Sesin büyük bir bölümü direkt ses ve ilk yansımalarla dinleyiciye ulaşmakta ise berraklık pozitif

değerler alırken, gecikmiş yansımaların etkisi yüksek ise negatif değerler almaktadır. Mevcut durum için yapılan analizde T30 süresinin yüksek olması çınlayan ses enerjisini artırarak C80 parametresinin negatif değer almasını sağlamıştır. Salon genelinde müziğin nitelikli duyulanması sağlanırken, tiyatro işlevi için gereken akustik konfor koşullarını (Bkz. Çizelge 4.3, s.70; Çizelge 5.15, s.112) sağlayamamıştır. İyileştirilmiş durum için yapılan analizde T30 süresi kısaltılmış, erken ses enerjisi artırılmıştır. Bu durum C80 parametresinin tiyatro işlevi için gereken sınır değer aralıklarının (Bkz. Çizelge 4.3, s.70; Çizelge 5.15, s.112) yakalanmasını sağlamıştır.

Belirginlik (D50), 50 msn zaman dilimi içerisinde gelen erken ses enerjisinin toplam ses enerjisine lineer oranıdır. Erken ve toplam ulaşan ses enerjisine dayalı olduğu için T30 ve EDT süreleriyle ilişkilidir. Mevcut durum analizinde T30 süresinin uzun olmasından dolayı D50 parametresi istenilen sınır değer aralığını (Bkz. Çizelge 4.3, s.70; Çizelge 5.15, s.112) sağlayamamıştır. İyileştirilmiş durum analizinde bu değer T30 süresinin kısalması ile %50 üzerindeki D50 parametresi ile %90'lık anlaşılabilirlik sağlanmıştır.

Yanal yansıma oranı (LF80), hacmin yan yüzeylerinden gelen ses enerjisinin toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. Mekansal izlenim olarak adlandırılan bu parametre dinleyicinin ses tarafından sarmalanma hissini nesnel ölçümüdür. LF80 parametresinin performansı, genişlik ve yan duvar açılımı ile oldukça ilişkilidir. Mekanın formundan kaynaklı olarak ses, orta arka tarafa düşmektedir. Bu yerlerdeki alıcı noktalarına tek olarak bakıldığında (Bkz. EK-3 ve EK-5) bu durumun sağlandığı görülmektedir. Her iki analiz sonucunda (Bkz. Çizelge 5.7 ve 5.14), istenilen sınır değerleri (Bkz. Çizelge 4.3, s.70; Çizelge 5.15, s.113) yakalamıştır.

Konuşma iletim indisi (STI), bir hacimde anlaşılabilirliği ölçmede kullanılan bir parametre olup ve 0-1 arasında değerler almaktadır. STI; arka plan gürültüsü ve T30 ile ilişkilidir. Mevcut durum için yapılan analiz sonucunda 0.41 olarak ölçülmüş salon genelinde zayıf seviyede iken; iyileştirilme sonucunda T30 süresinin kısalmasına bağlı olarak 0.67 olarak ölçülmüş ve salon genelinde iyi seviye anlaşılabilirlik sağlanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, özellikle işitsel açıdan önemli olan mekanların tasarımıyla ilgilenenlere konu hakkında bilgiler sunulmuş, bir tiyatro salonunun hacim akustiği açısından incelenmesinde kullanılabilecek performans kriterleri geliştirilerek seçilen bir salon, akustik konfor koşulları açısından değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada; İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin açtığı Beyoğlu Sahnesi yarışmasında birincilik ödülünü alan, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fusun Demirel'in de projede akustik danışman olarak görev aldığı Beyoğlu Sahnesi'nin üç salonundan büyük salon, örnek proje olarak seçilmiştir. Büyük salonun bilgisayar ortamında hazırlanan üç boyutlu modeli, ODEON 10.02 combined versiyonu kullanılarak hacim akustiği parametreleri hesaplanmış, hacmin geometrik parametreleriyle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve saptanan bulgular neticesinde hacim akustiğini optimize etmeye yönelik bir iyileştirme önerisi geliştirilmiştir (Bkz. Bölüm 5). İyileştirme önerisinin de yine aynı yöntemle modellenerek bilgisayar benzetim yöntemiyle mekana sağladığı akustik konfor koşulları değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışması sonunda, tiyatro salonlarında akustik konfor koşullarının sağlanması için uyulması gereken tasarım kriterleri, aşağıda verilmiştir:

- Tiyatro olarak tasarlanacak alan; sokak, demiryolu, endüstriyel alanlardan ya da gürültü oluşturacak herhangi bir yerden uzakta seçilmelidir.
- Ana salon; fuaye, depo, tuvalet gibi tampon oluşturabilecek bölgeler tarafından çevrelenmelidir.
- Oturma gruplarının biçimi, sahnenin biçimine uygun olarak tasarlanmalıdır.
- Oturma grupları yutucu olarak tasarlanmalıdır.
- Oturma gruplarının koltuk-boşluk tasarımı, arka oturma gruplarını sahneden çok uzaklaştırmayacak mesafelere sahip olarak tasarlanmalıdır. Seyirci, oyuncunun vücut hareketlerini ve mimiklerini görebilmelidir. En uzak oturma gruplarının sahneye olan mesafesi 20 m'yi geçmemelidir.

- Görüş açısının uygunluğu için salonlarda derin tasarımlardan çok genişleyerek açılan tasarımlar tercih edilmelidir. Çerçeve sahne için yelpaze biçimli salon tasarımları arka koltuk gruplarının sahneden en az uzaklaşmasını sağlamaktadır. Çevreli sahne için uygun uzaklık, oturma gruplarını kenarlara da yerleştirilerek sağlamaktır.
- Arka oturma gruplarının sahneden uzaklaşmasını engellemek için tasarlanan balkonlar, ses gölgelerine neden olacak kadar derin tasarlanmamalıdır. Akustik gölgenin önlenmesi için balkon derinliği balkon yüksekliğinin 2 katını geçmemelidir. Derin olmayan balkon tasarımları; yakınlığı sağlarken sesin yayılmasında da etkilidir. Balkonlu tasarımlar, oyuncunun yere yakın (down-stage position) oynadığı pozisyonlar için ideal görüş açısı sağlamaktadırlar.
- Mekanın hacmi kişi başına 2.0-5.0 m³ arasında olmalıdır. Mekan yüksekliğini arttırmada katkıda bulunan balkonlar; kişi başına düşen hacmi artırırken çınlama süresini uzatmakta, bu durum ise fazla yutucu malzeme kullanımına yol açmaktadır.
- Balkon korkulukları ya da sahneye bakan yüzeyleri yutucu olarak tasarlanmalıdır.
- Sahnenin ön kısımlarının görülmesi için oturma gruplarının tasarlandığı platformun açısı, yaklaşık 20° olarak tasarlanmalıdır. Eğimin artması; mekanın tavan yüksekliğini artırarak kişi başına düşen hacmin artmasına neden olmaktadır.
- Sahne ve salon tavanında baş hizasının üstüne yerleştirilen yansıtıcılar, salonun arka taraflarına giden sesi arttıracak şekilde tasarlanmalıdır.
- Salon arka duvarı, geciken yansımaların oluşmasını engellemek amacı ile yutucu malzemelerle kaplanmalıdır. Eğer arka duvarlar dairesel yüzeylere sahip ise saçıcı olarak tasarlanmalıdır.
- Salonun arka yüzeylerindeki girintili çıkıntılı yüzey tasarımlarından kaynaklanan ekolar iyi bir planlama ile önlenmelidir.
- Salon içindeki RT, EDT, C80, D50, LF80, STI ve BR değerleri çizelge 4.3, s.70'te verilen aralıklarda kalacak şekilde yansıtıcı, yutucu, dağıtıcı ve saçıcı yüzeyler ile tasarlanmalıdır (Bkz. Bölüm 4). Sahnede beklenen çınlama süresi, salonun genelinde olması gereken çınlama süresi kadar olmalıdır.
- Sahne yüzeyleri, sesi doğrudan seyirciye ulaştırabilecek şekilde ve derinliğe bağlı olarak yansıtıcı-yutucu yüzeylerle tasarlanmalıdır.

- Sahne döşemesi, en az 3 cm boşluklu ahşap ile tasarlanmalıdır.
- Sahne çukuru, orkestra elemanlarının sayısına göre ayarlanabilir ses yutucu malzemeler ile kaplanmalıdır.
- Her hacmin kullanımına ve işlevine bağlı olarak kabul edilebilir bir arka plan gürültüsü bulunmaktadır. Tiyatro salonları için gereken iç ortam gürültüsü seviyesi sınır değerleri Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre 30 dBA olmalıdır. Bu değer ANSI'ye göre NC 20'ye eşdeğerdir.
- Ses güçlendirici sistemler, sahnenin üzerinde ve salona yönlendirilerek kullanılmalıdır.
- Büyük tiyatrolarda sahne üstüne yerleştirilmiş ses güçlendirici sistemlere ek olarak balkon altlarında sesi güçlendirmeye yönelik sistemler de tasarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Brockett, O.G., Hildy, F.J., “History of The Theatre 10th ed”, *Allyn & Bacon*, USA, 1-5 (2007).
2. Izenour, G.C., “Theatre Design 2nd ed.”, *Yale University Press*, Canada, 1-10 (1996).
3. Özer, M., “Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı”, *Arpaz Matbaacılık*, İstanbul, 1-30 (1979).
4. Sirel, Ş., “Yapı Akustiği I Temel Bilgiler”, *İnkılap ve Aka Basımevi*, İstanbul, 5-52 (1974).
5. Rossing, T.D., “Springer Handbook of Acoustics 1st ed.”, *Springer*, New York, 301-384 (2007).
6. Çalışkan, M., “Gürültü: Temel Kavramlar”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara, 39: 9-20 (2008).
7. Ahnert, W., Feistel, S., Schmitz, O., “Modern Tools in Acoustic Design of Concert Halls and Theatres-Use and Limitations of Computer Simulation and Auralisation”, *XIII Session of the Russian Acoustical Society*, Moscow, 863-874 (2003).
8. Doelle, L.L., “Environmental Acoustics”, *McGraw-Hill*, USA, 23-98 (1972).
9. Kurra, S., “Çevre Gürültüsü ve Yönetim I”, *Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 7-53 (2009).
10. Brüel&Kjaer, “Measurement in Bulding Acoustics”, *K. Larsen & Son A/S*, Denmark, (1988).
11. Cowan, J., “Architectural Acoustics Design Guide 1st ed.”, *McGraw-Hill*, USA, 3-49, 129-141 (2000).
12. Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J. “Architectural Acoustics Principles and Design 1st ed.”, *Prentice Hall*, New Jersey, 207-307 (1999).
13. Egan, D., “Architectural Acoustics”, *McGraw-Hill*, USA, 81-170 (2007).
14. Knudsen, V.O., Harris, C.M., “Acoustical Designing in Architecture”, *Acoustical Society of America*, USA, 151-188 (1988).
15. Moore, J.E., “Design For Good Acoustics and Noise Control”, *Macmillan Education LTD*, London, 138-205 (1988).

16. Doelle, L.L., "Acoustics in Architectural Design-An Annotated Bibliography on Architectural Acoustics", Bibliography, *McGill University*, Ottawa, 29: 11-327, (1965).
17. Long, M., "Architectural Acoustics 1st ed.", *Elsevier Academic Press*, London, 579-610, 653-779 (2006).
18. Seep, B., Glosemeyer, R., Hulce, E., Linn, M., Aytar, P., "Classroom Acoustics", *Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America*, 2-13 (2000).
19. Beranek, L.L., "Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture 2nd ed.", *Springer-Verlag*, New York, 19-36, 491-553 (2004).
20. Barron, M., "Auditorium Acoustics and Architectural Design 1st ed.", *E&Fm Spon Press*, London, 223-297 (1993).
21. Beranek, L.L., "Concert Hall Acoustics-1992", *Journal of Sound and Vibration*, 92(1):1-39 (1992).
22. Barron, M., Lee, J., "Energy Relations in Concert Auditoriums I", *Journal Acoustics Society of America*, 84(2): 618-628 (1988).
23. Kuttruff, H., "Room Acoustics 3rd ed.", *Elsevier Applied Science*, Londra, (1991).
24. Makrinenko, L.I., "Acoustics of Auditoriums in Public Buildings", *Acoustical Society of America*, USA, (1994).
25. Bradley, J.S., Souloudre, G.A., "Objective Measures of Listener Envelopment", *Journal Acoustics Society of America*, 98(5): 2590-2597 (1995).
26. Barron, M., "Late Lateral Energy Fraction and The Envelopment Question in Concert Halls", *Applied Acoustics*, 62: 185-2002 (2001).
27. Barron, M., "Measured Early Lateral Energy Fractions in Concert Halls and Opera Houses", *Journal of Sound and Vibration*, 232(1):79-100 (2001).
28. Beranek, L.L., "Music, Acoustics and Architecture 1st ed.", *John Wiley&Sons Inc.*, Wiley, New York, (1962).
29. Yılmaz Demirkale, S., "Çevre ve Yapı Akustiği, Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı", *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 121-186 (2007).
30. Khaiyat, S.A., "Effect of Concave Sound Reflecting Surfaces on Speech Intelligibility and Articulation Index", Doktora Tezi, *Graduate Studies of Texas A&M University*, Texas, (1994).

31. Houtgast, T., Steeneken, H.J.M., “The Modulation Transfer Function in Room Acoustics”, *Brüel&Kjaer Technical Review* 3, Denmark, 3: 3-12 (1985).
32. Beranek, L.L., “Acoustical Measurements Revised ed.”, *Acoustical Society of America*, USA, (1988).
33. Kwon, Y., Siebein, G.W., “Choronological Analysis of Architectural and Acoustical Indices in Musiz Performance Halls”, *Journal Acoustics Society of America*, 121(5): 2691-2699 (2007).
34. Forsyth, M., “Auditoria Designing for The Performing Arts 1st ed.”, *The Mitchell Publishing*, London, (1987).
35. Beranek, L.L., “Concert and Opera Halls: How They Sound 1st ed.”, *Acoustical Society of America*, New York, (1996).
36. Edwards, N., “Considering Concert Acoustics and The Shape of Rooms”, *Architectural Record*, 172: 133-137, (1984).
37. Ham, R., “Theatres: Practical Guidance For Design and Adaptation”, *University Press*, Cambridge, 2-26, 32-38 (1987).
38. Şerefhanoglu, M., “Yapılarda Gürültü Sorunu ve Denetimi”, *Çevre, Yapı ve Endüstride Akustik Sorunlar ve Gürültü Kontrolü Eğitim Semineri*, İstanbul, 121-144 (1994).
39. Çevre ve Orman Bakanlığı, “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”, *Resmi Gazete*, Türkiye, s: 26809 (2008).
40. Kurra, S., “Oditoryumlarda Doğal Akustik Tasarım, Uygulama Örnekleri ve Sorunlar”, *Yapı Fiziki ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 461-471 (2010).
41. ANSI/ASA S12.2-2008, “American National Standard Criteria for Evaluating Room Noise”, ANSI, (2008).
42. Christensen, C. L., “Odeon Room Acoustics Program User Manual”, *Odeon A/S*, Denmark, 1-136 (2009).
43. Maekawa, Z. ve Lord. P., “Environmental and Architectural Acoustics 1st ed.”, *E&FN Spon*, Londra, 1-33, 63-113, 245-273 (1994).
44. Bistafa, S.R., Granado, M.V., “A Survey of The Acoustic Quality For Speech in Auditoriums”, *Electronic Journal Technical Acoustics*, 15: 1-16 (2005).

45. Bistafa, S.R., Granado, M.V., “Objective Measurements of Speech Intelligibility in Proscenium Type of Theatres”, *XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acustica-SOBRAC*, Rio de Janeiro, 1-6 (2002).
46. Luykx, M., Vercammen, I., Metkemeijer, M., “Acoustic Design of Theatres for Natural Speech and/or Variable Acoustics”, *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 30(3):141-151, (2008).
47. Brüel&Kjaer, “Dictionary”, *K. Larsen & Son A/S*, Denmark, (2010).
48. EN ISO 3382-1, “Acoustics- Measurement of Room Acoustic Parameters-Part 1: Performance Spaces”, ISO, (2008).
49. Gökçe, I., Demirtürk, D., Tuncel, M.E., “İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi Mimari Proje Yarışması Mimari Raporu”, İstanbul, (2008).
50. Naylor, G., Rindel, J.H., “Predicting Room Acoustical Behaviour With The Odeon Computer Model”, *124th ASA meeting*, New Orleans, 1-20 (1992).
51. Rindel, J.H., “The Use Of Computer Modelling in Room Acoustics”, *Journal Of Vibroengineering*, 3(4): 41-72, (2000).
52. Rindel, J.H., Christensen, C.L., “Room Acoustic Simulation and Auralization How Close Can We Get To The Real Room?”, *WESPAC 8, The Eighth Western Pacific Acoustics Conference*, Melbourne, 1-8 (2003).

EKLER

EK-1 ODEON 10.02 combined versiyonun analizi ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar

ODEON 10.02 Combined Versiyonu kullanılarak kapalı bir hacmin;

- Çınlama süresi
- Işınsal analizleri
- Noktasal analizleri
- Bölgesel analizleri yapılabilmektedir.

Çınlama süresinin belirlenmesi: Yazılım programı ile çınlama süresi parametresi formül ve simülasyon yöntemlerini kullanılarak hesaplanmaktadır. Formül olarak Sabine ve Eyring formülleri kullanılırken; ışın yolları izlenerek simülasyon yöntemi kullanılmaktadır.

Işınsal analizler:

Ray tracing (ışın diyagramı); mekanın plan ve kesitleri üzerinde, belirlenmiş kaynaktan çıkan ışınlar ve bu ışınların yansımalarını tek tek ya da tümünün bir arada görülmesini sağlamaktadır.

Reflector coverage (yansıtıcının etkilediği alan); seçilen bir yüzeyde oluşan ilk yansımaların mekanın hangi bölgesinde etkili olduğunu kesit üzerinden görülmesini sağlamaktadır.

Reflection paths (yansıma yolları); hacmin yüzeyine gelen ilk yansımaları, ışınların kaynaktan çıktıktan sonraki her adımını göstermektedir. Her bir yansımanın kaç yansımadan sonra o yüzeye ulaştığı ve kat ettiği yol hakkında bilgiler vermektedir.

Noktasal Analizler:

Energy parameters (enerji parametreleri); alıcı noktalarındaki EDT, T30, SPL, C80, D50, TS ve LEF enerji parametrelerini frekanslara (125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz) bağlı olarak hesaplamaktadır.

EK-1 (Devam) ODEON 10.02 combined versiyonun analizi ile yapılan
çalışmalardan elde edilen sonuçlar

Reflectogram (yansımaların grafik gösterimi); erken yansımaların zaman-yeğinlik grafiği üzerinde göstermektedir. Bu yansımaların dinleyiciye ulaşma süreleri, tayfsal özellikleri ve geliş doğrultuları hakkında bilgi vermektedir.

Energy curves (enerji eğrileri); bir alıcı noktasına gelen enerjiyi, zaman-enerji grafiği üzerinde göstermektedir.

Bölgesel Analizler: mekan planı üzerinde, dinleyicilerin yer aldığı istenilen bölgeler, istenilen büyüklüklerdeki ızgaralara bölünerek, her bir ızgara için istenilen hacim akustiği parametreleri, frekanslara göre renk haritalarının üzerinde gösterilmektedir.

EK-2 ODEON 10.02 combined versiyonunda analiz yapabilmek için girilmesi gereken veriler

Yazılım programının çalıştırılabilmesi için girilmesi gereken veriler aşağıda açıklanmıştır:

Hacim ile ilgili veriler: boyut ve biçimi x, y, z koordinatları yardımı ile belirlenmiş ya da AutoCAD ve benzeri yazılım programlarının yardımı ile çizilmiş hacim yazılım içine aktarılmalıdır.

Yüzeylerin malzeme seçimleri ile ilgili veriler: hacim yüzeylerinde kullanılacak malzemeler, program içinde yer alan malzeme kütüphanesinden seçilebilirken frekanslara göre yutma çarpanları bilinen malzemelerde eklenebilinerek yüzey üzerine aktarılmalıdır.

Kaynak ile ilgili veriler: hacim içinde yer alacak kaynak sayısı, kullanılacak kaynak tipinin doğrultululuk özelliği, hacim içindeki konumu, gücü, birden fazla kaynak kullanılması durumunda kaynakların farklı zamanlarda çalıştırıldığında aralarındaki gecikme süreleri belirlenmelidir.

Alıcı ile ilgili veriler: hacim içinde yer alacak alıcı ya da alıcıların konumları, bakacakları kaynak belirlenmelidir.

EK-3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler

ODEON 10.02Combined		Printed: 15.10.2010 14:54:39							
Licensed to: Gazi University, Turkey		Room: C:\...ts_051010\ts_051010							
User id: 2192, dongle no:102402		Geometry/Material/Source version: 1/1/15							
ODEON		Job number: 1 No description							
Restricted version - research and teaching only!									
Receiver Number: 1 No description		(x,y,z) = (39,00, -84,00, 1,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	4,12	5,27	6,24	5,89	6,21	5,07	2,89	1,23
T30	(s)	4,95	5,71	6,52	6,21	6,42	5,34	3,01	1,25
SPL	(dB)	51,9	52,1	52,9	52,8	52,8	51,6	49,3	45,8
C80	(dB)	-3,6	-4,3	-4,9	-4,7	-4,7	-3,9	-1,1	4,1
D50		0,25	0,23	0,21	0,21	0,21	0,24	0,37	0,63
Ts	(ms)	279	347	409	389	401	327	174	61
LF80		0,225	0,221	0,223	0,225	0,228	0,234	0,230	0,212
SPL(A) = 58,1(dB)									
LG80* = 45,4(dB)									
STI = 0,38 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)									
Receiver Number: 2 No description		(x,y,z) = (39,00, -81,00, 1,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	4,16	5,34	6,22	5,96	6,20	5,10	2,89	1,21
T30	(s)	4,74	5,58	6,35	6,05	6,35	5,27	3,02	1,24
SPL	(dB)	51,8	52,0	52,8	52,7	52,6	51,5	49,3	46,0
C80	(dB)	-3,3	-3,8	-4,4	-4,2	-4,3	-3,5	-0,6	4,7
D50		0,27	0,26	0,24	0,24	0,24	0,27	0,41	0,68
Ts	(ms)	272	336	397	377	389	315	164	54
LF80		0,178	0,173	0,184	0,188	0,189	0,188	0,185	0,167
SPL(A) = 58,0(dB)									
LG80* = 45,0(dB)									
STI = 0,40 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)									
Receiver Number: 3 No description		(x,y,z) = (39,00, -79,00, 1,60)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	4,21	5,31	6,19	5,93	6,19	5,13	2,91	1,29
T30	(s)	4,69	5,61	6,49	6,10	6,38	5,29	3,02	1,22
SPL	(dB)	51,3	51,4	52,2	52,1	52,0	50,8	48,4	44,6
C80	(dB)	-4,2	-4,8	-5,5	-5,3	-5,4	-4,7	-2,0	3,2
D50		0,24	0,22	0,19	0,19	0,19	0,21	0,33	0,60
Ts	(ms)	287	355	418	399	410	338	184	66
LF80		0,197	0,187	0,199	0,210	0,221	0,236	0,238	0,229
SPL(A) = 57,3(dB)									
LG80* = 44,7(dB)									
STI = 0,37 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)									
Receiver Number: 4 No description		(x,y,z) = (36,00, -84,00, 2,05)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	4,08	5,09	6,03	5,78	5,99	4,92	2,71	1,05
T30	(s)	4,93	5,70	6,54	6,19	6,41	5,28	3,00	1,25
SPL	(dB)	50,9	50,7	51,5	51,4	51,3	50,3	48,3	45,0
C80	(dB)	-3,0	-3,4	-3,9	-3,6	-3,4	-2,3	0,4	5,5
D50		0,28	0,27	0,25	0,26	0,27	0,32	0,46	0,70
Ts	(ms)	264	317	375	355	362	286	148	52
LF80		0,210	0,196	0,197	0,201	0,204	0,210	0,211	0,199
SPL(A) = 56,7(dB)									
LG80* = 43,2(dB)									
STI = 0,42 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)									
Receiver Number: 5 No description		(x,y,z) = (36,00, -81,00, 2,05)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	4,16	5,25	6,14	5,88	6,06	4,98	2,67	1,07
T30	(s)	4,75	5,65	6,42	6,13	6,38	5,28	2,99	1,23
SPL	(dB)	50,6	50,3	51,0	51,0	51,0	50,1	48,1	44,9
C80	(dB)	-2,7	-3,0	-3,5	-3,2	-3,1	-2,1	0,6	5,7
D50		0,29	0,29	0,27	0,28	0,28	0,33	0,47	0,71
Ts	(ms)	257	310	367	346	353	277	142	48
LF80		0,187	0,167	0,175	0,180	0,182	0,184	0,182	0,166
SPL(A) = 56,5(dB)									
LG80* = 43,0(dB)									
STI = 0,43 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)									
Odeon A/S, Denmark, ©1985-2009. Restricted version - research and teaching only!									

EK-3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler



ODEON 10.02Combined
Licensed to: Gazi University, Turkey
User id: 2192, dongle no:102402

Printed: 15.10.2010 14:54:43
Room: C:\...ts_051010\ts_051010
Geometry/Material/Source version: 1/1/15
Job number: 1 No description

Restricted version - research and teaching only!

Continued...Energy parameters

Receiver Number: 6 No description (x,y,z) = (36,00, -78,00, 2,05)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,27	5,11	6,00	5,73	5,91	4,89	2,77	1,17
T30 (s)	4,48	5,47	6,34	6,03	6,35	5,26	3,01	1,23
SPL (dB)	49,9	49,8	50,6	50,6	50,5	49,3	47,1	43,4
C80 (dB)	-3,7	-4,2	-4,8	-4,5	-4,3	-3,2	-0,5	4,5
D50	0,24	0,23	0,20	0,21	0,22	0,26	0,38	0,63
Ts (ms)	283	340	396	375	378	303	162	60
LF80	0,248	0,237	0,249	0,255	0,257	0,259	0,259	0,248

SPL(A) = 55,8(dB)
LG80* = 43,1(dB)
STI = 0,39 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 7 No description (x,y,z) = (34,00, -84,00, 2,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,14	5,06	5,92	5,71	5,86	4,77	2,54	0,99
T30 (s)	4,81	5,65	6,44	6,13	6,35	5,26	3,00	1,21
SPL (dB)	50,2	50,0	50,7	50,7	50,5	49,4	47,5	44,2
C80 (dB)	-2,7	-2,8	-3,3	-3,0	-2,9	-1,7	0,9	5,8
D50	0,29	0,30	0,28	0,29	0,29	0,35	0,49	0,71
Ts (ms)	258	303	357	338	342	266	138	51
LF80	0,197	0,183	0,188	0,193	0,195	0,196	0,195	0,180

SPL(A) = 56,0(dB)
LG80* = 42,3(dB)
STI = 0,44 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 8 No description (x,y,z) = (34,00, -81,00, 2,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,14	5,05	6,03	5,71	5,91	4,87	2,67	1,13
T30 (s)	4,66	5,61	6,40	6,08	6,35	5,29	2,99	1,24
SPL (dB)	49,6	49,4	50,1	50,1	50,0	48,9	46,8	43,2
C80 (dB)	-3,3	-3,5	-4,0	-3,8	-3,7	-2,6	0,1	5,0
D50	0,26	0,26	0,24	0,25	0,25	0,30	0,43	0,67
Ts (ms)	268	317	373	355	359	284	150	55
LF80	0,191	0,181	0,188	0,195	0,196	0,197	0,196	0,181

SPL(A) = 55,4(dB)
LG80* = 42,2(dB)
STI = 0,42 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 9 No description (x,y,z) = (34,00, -78,00, 2,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,27	5,28	6,15	5,88	5,93	4,90	2,67	1,03
T30 (s)	4,72	5,51	6,34	5,99	6,31	5,29	3,04	1,24
SPL (dB)	49,2	49,0	49,9	49,9	49,7	48,5	46,3	42,5
C80 (dB)	-3,6	-3,9	-4,5	-4,3	-4,1	-2,9	-0,3	4,4
D50	0,23	0,23	0,21	0,21	0,22	0,26	0,38	0,61
Ts (ms)	283	338	395	374	374	294	157	60
LF80	0,245	0,239	0,251	0,257	0,256	0,254	0,252	0,237

SPL(A) = 55,0(dB)
LG80* = 42,4(dB)
STI = 0,39 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

EK-3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler



ODEON 10.02Combined
Licensed to: Gazi University, Turkey
User id: 2192, dongle no:102402

Printed: 15.10.2010 14:54:43
Room: C:\...ts_051010\ts_051010
Geometry/Material/Source version: 1/1/15
Job number: 1 No description

Restricted version - research and teaching only!

Continued...Energy parameters

Receiver Number: 10 No description (x,y,z) = (30,00, -84,00, 3,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,03	4,95	5,81	5,57	5,71	4,65	2,47	1,02
T30 (s)	4,86	5,71	6,55	6,11	6,30	5,25	3,00	1,16
SPL (dB)	49,0	48,6	49,4	49,3	49,1	47,8	45,8	42,1
C80 (dB)	-3,4	-3,2	-3,7	-3,4	-3,1	-1,8	0,7	5,1
D50	0,24	0,26	0,24	0,25	0,26	0,32	0,44	0,65
Ts (ms)	263	305	358	339	339	262	139	55
LF80	0,213	0,197	0,201	0,206	0,208	0,208	0,205	0,185

SPL(A) = 54,4(dB)
LG80* = 40,9(dB)
STI = 0,42 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 11 No description (x,y,z) = (30,00, -81,00, 3,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,11	4,97	5,87	5,60	5,82	4,73	2,52	1,12
T30 (s)	4,92	5,52	6,41	6,07	6,32	5,27	2,97	1,19
SPL (dB)	48,5	47,9	48,7	48,7	48,4	47,2	45,0	41,0
C80 (dB)	-4,4	-4,4	-4,8	-4,5	-4,2	-3,0	-0,5	3,9
D50	0,20	0,21	0,19	0,20	0,21	0,26	0,38	0,60
Ts (ms)	283	328	383	364	365	285	155	63
LF80	0,222	0,210	0,217	0,224	0,224	0,222	0,218	0,200

SPL(A) = 53,7(dB)
LG80* = 40,9(dB)
STI = 0,39 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 12 No description (x,y,z) = (31,00, -77,00, 3,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,20	5,19	6,10	5,81	5,92	4,76	2,60	1,01
T30 (s)	4,57	5,52	6,42	6,10	6,34	5,26	2,97	1,23
SPL (dB)	48,6	48,2	49,1	49,1	48,7	47,4	45,1	41,0
C80 (dB)	-4,5	-4,5	-5,0	-4,8	-4,4	-3,1	-0,6	3,9
D50	0,19	0,19	0,17	0,18	0,19	0,23	0,34	0,56
Ts (ms)	291	343	397	377	374	293	160	63
LF80	0,222	0,210	0,218	0,224	0,226	0,224	0,219	0,196

SPL(A) = 54,0(dB)
LG80* = 41,4(dB)
STI = 0,38 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 13 No description (x,y,z) = (27,00, -84,00, 3,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3,94	4,83	5,78	5,56	5,73	4,55	2,38	0,88
T30 (s)	4,61	5,62	6,36	6,07	6,33	5,26	2,99	1,15
SPL (dB)	48,2	47,5	48,2	48,1	47,8	46,6	44,5	40,7
C80 (dB)	-3,0	-2,8	-3,3	-3,1	-2,8	-1,6	0,7	5,0
D50	0,25	0,27	0,26	0,26	0,27	0,33	0,44	0,63
Ts (ms)	253	292	346	330	330	255	136	57
LF80	0,161	0,154	0,160	0,166	0,170	0,172	0,171	0,153

SPL(A) = 53,2(dB)
LG80* = 39,1(dB)
STI = 0,42 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

EK-3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler



ODEON 10.02Combined
Licensed to: Gazi University, Turkey
User id: 2192, dongle no:102402

Printed: 15.10.2010 14:54:43
Room: C:\...ts_051010\ts_051010
Geometry/Material/Source version: 1/1/15
Job number: 1 No description

Restricted version - research and teaching only!

Continued...Energy parameters

Receiver Number: 14 No description (x,y,z) = (27,00, -80,00, 3,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3,90	4,89	5,87	5,61	5,68	4,48	2,28	0,92
T30 (s)	4,70	5,51	6,33	6,03	6,33	5,26	3,00	1,21
SPL (dB)	47,7	47,0	47,8	47,7	47,5	46,3	44,3	40,4
C80 (dB)	-3,1	-2,7	-3,1	-2,9	-2,7	-1,5	0,8	4,8
D50	0,23	0,27	0,25	0,26	0,26	0,31	0,41	0,58
Ts (ms)	255	290	341	326	326	252	136	61
LF80	0,195	0,182	0,188	0,196	0,200	0,201	0,201	0,182

SPL(A) = 52,8(dB)

LG80* = 39,2(dB)

STI = 0,43 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 15 No description (x,y,z) = (27,00, -77,00, 3,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,07	5,08	5,93	5,71	5,84	4,67	2,37	0,99
T30 (s)	4,80	5,50	6,31	6,04	6,31	5,28	2,96	1,21
SPL (dB)	47,5	46,7	47,6	47,5	47,2	45,9	43,8	39,7
C80 (dB)	-3,8	-3,5	-4,0	-3,8	-3,5	-2,3	0,2	4,3
D50	0,20	0,23	0,21	0,22	0,23	0,27	0,38	0,55
Ts (ms)	272	314	368	351	349	271	148	63
LF80	0,201	0,191	0,200	0,208	0,214	0,219	0,217	0,200

SPL(A) = 52,5(dB)

LG80* = 39,4(dB)

STI = 0,40 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 16 No description (x,y,z) = (24,00, -84,00, 4,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3,92	4,88	5,86	5,57	5,70	4,52	2,21	0,87
T30 (s)	4,77	5,48	6,25	5,99	6,26	5,25	3,00	1,19
SPL (dB)	47,5	46,5	47,2	47,1	46,8	45,5	43,5	39,8
C80 (dB)	-3,0	-2,6	-3,1	-2,8	-2,5	-1,2	1,2	5,3
D50	0,24	0,27	0,25	0,26	0,28	0,33	0,44	0,61
Ts (ms)	255	290	343	327	324	246	131	57
LF80	0,166	0,147	0,151	0,157	0,160	0,161	0,160	0,146

SPL(A) = 52,1(dB)

LG80* = 37,8(dB)

STI = 0,42 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 17 No description (x,y,z) = (24,00, -80,00, 4,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3,80	4,79	5,78	5,52	5,61	4,50	2,16	0,75
T30 (s)	4,66	5,52	6,36	6,05	6,37	5,27	3,00	1,15
SPL (dB)	47,0	46,0	46,7	46,6	46,4	45,2	43,2	39,4
C80 (dB)	-2,9	-2,6	-3,1	-2,9	-2,7	-1,4	0,9	5,1
D50	0,23	0,26	0,25	0,25	0,26	0,32	0,42	0,58
Ts (ms)	247	283	335	320	322	248	134	61
LF80	0,191	0,178	0,186	0,195	0,200	0,199	0,197	0,174

SPL(A) = 51,8(dB)

LG80* = 38,0(dB)

STI = 0,43 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

EK-3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler



ODEON 10.02Combined
Licensed to: Gazi University, Turkey
User id: 2192, dongle no:102402

Printed: 15.10.2010 14:54:43
Room: C:\...ts_051010\ts_051010
Geometry/Material/Source version: 1/1/15
Job number: 1 No description

Restricted version - research and teaching only!

Continued...Energy parameters

Receiver Number: 18 No description (x,y,z) = (25,00, -76,00, 4,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	4,00	5,00	5,82	5,54	5,68	4,56	2,31	0,98
T30 (s)	4,95	5,49	6,35	6,06	6,31	5,26	2,98	1,17
SPL (dB)	47,0	46,2	47,1	47,0	46,7	45,4	43,2	39,2
C80 (dB)	-3,8	-3,7	-4,2	-4,0	-3,5	-2,2	0,2	4,3
D50	0,19	0,22	0,20	0,21	0,22	0,27	0,37	0,54
Ts (ms)	268	314	365	347	342	265	145	64
LF80	0,208	0,195	0,208	0,217	0,219	0,216	0,212	0,186

SPL(A) = 52,0(dB)

LG80* = 38,5(dB)

STI = 0,39 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 19 No description (x,y,z) = (20,00, -84,00, 5,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3,46	4,57	5,52	5,36	5,51	4,17	1,93	0,78
T30 (s)	4,50	5,41	6,19	5,94	6,23	5,23	2,95	1,17
SPL (dB)	47,6	46,1	46,7	46,5	46,1	45,0	43,1	40,3
C80 (dB)	-1,1	-1,3	-1,9	-1,7	-1,3	0,1	2,4	6,9
D50	0,32	0,34	0,32	0,33	0,35	0,42	0,53	0,67
Ts (ms)	207	248	297	283	281	209	110	51
LF80	0,160	0,131	0,132	0,130	0,130	0,133	0,131	0,139

SPL(A) = 51,6(dB)

LG80* = 36,5(dB)

STI = 0,47 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 20 No description (x,y,z) = (20,00, -80,00, 5,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3,49	4,59	5,67	5,47	5,52	4,33	2,04	0,69
T30 (s)	4,81	5,59	6,32	6,04	6,27	5,28	2,98	1,18
SPL (dB)	47,2	45,6	46,1	45,8	45,5	44,3	42,5	40,0
C80 (dB)	-1,0	-1,2	-1,8	-1,8	-1,5	-0,3	2,0	7,0
D50	0,35	0,35	0,32	0,32	0,33	0,39	0,50	0,71
Ts (ms)	205	245	296	287	289	220	115	49
LF80	0,163	0,154	0,166	0,175	0,178	0,178	0,177	0,151

SPL(A) = 51,0(dB)

LG80* = 36,6(dB)

STI = 0,46 (Theoretical based on T30, STI = 0,30)

Receiver Number: 21 No description (x,y,z) = (20,00, -76,00, 5,00)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	3,66	4,63	5,47	5,29	5,40	4,36	1,99	0,75
T30 (s)	4,75	5,52	6,44	6,13	6,33	5,29	2,94	1,19
SPL (dB)	46,8	45,3	45,8	45,6	45,2	44,0	42,2	39,8
C80 (dB)	-0,7	-1,0	-1,7	-1,7	-1,5	-0,2	2,2	7,3
D50	0,36	0,35	0,32	0,31	0,32	0,39	0,50	0,72
Ts (ms)	207	246	297	287	288	218	114	47
LF80	0,167	0,149	0,158	0,162	0,163	0,165	0,166	0,156

SPL(A) = 50,7(dB)

LG80* = 36,3(dB)

STI = 0,46 (Theoretical based on T30, STI = 0,29)

EDT (s)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	3,46	4,57	5,47	5,29	5,40	4,17	1,93	0,69
Maximum	4,27	5,34	6,24	5,96	6,21	5,13	2,91	1,29
Average	4,01	5,01	5,92	5,67	5,83	4,71	2,47	1,00

EK-3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler



ODEON 10.02Combined
Licensed to: Gazi University, Turkey
User id: 2192, dongle no:102402

Printed: 15.10.2010 14:54:44
Room: C:\...ts_051010\ts_051010
Geometry/Material/Source version: 1/1/15
Job number: 1 No description

Restricted version - research and teaching only!

T30 (s)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)								
Minimum	4,48	5,41	6,19	5,94	6,23	5,23	2,94	1,15
Maximum	4,95	5,71	6,55	6,21	6,42	5,34	3,04	1,25
Average	4,74	5,57	6,39	6,07	6,33	5,27	2,99	1,21

SPL (dB)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)								
Minimum	46,8	45,3	45,8	45,6	45,2	44,0	42,2	39,2
Maximum	51,9	52,1	52,9	52,8	52,8	51,6	49,3	46,0
Average	49,0	48,4	49,2	49,1	48,9	47,7	45,6	42,0

C80 (dB)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)								
Minimum	-4,5	-4,8	-5,5	-5,3	-5,4	-4,7	-2,0	3,2
Maximum	-0,7	-1,0	-1,7	-1,7	-1,3	0,1	2,4	7,3
Average	-3,1	-3,2	-3,7	-3,5	-3,3	-2,2	0,4	5,0

D50	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)								
Minimum	0,19	0,19	0,17	0,18	0,19	0,21	0,33	0,54
Maximum	0,36	0,35	0,32	0,33	0,35	0,42	0,53	0,72
Average	0,26	0,26	0,24	0,25	0,25	0,30	0,42	0,64

Ts (ms)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)								
Minimum	205	245	296	283	281	209	110	47
Maximum	291	355	418	399	410	338	184	66
Average	260	308	363	345	347	272	145	57

LF80	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Band (Hz)								
Minimum	0,160	0,131	0,132	0,130	0,130	0,133	0,131	0,139
Maximum	0,248	0,239	0,251	0,257	0,257	0,259	0,259	0,248
Average	0,198	0,185	0,192	0,198	0,201	0,203	0,201	0,185

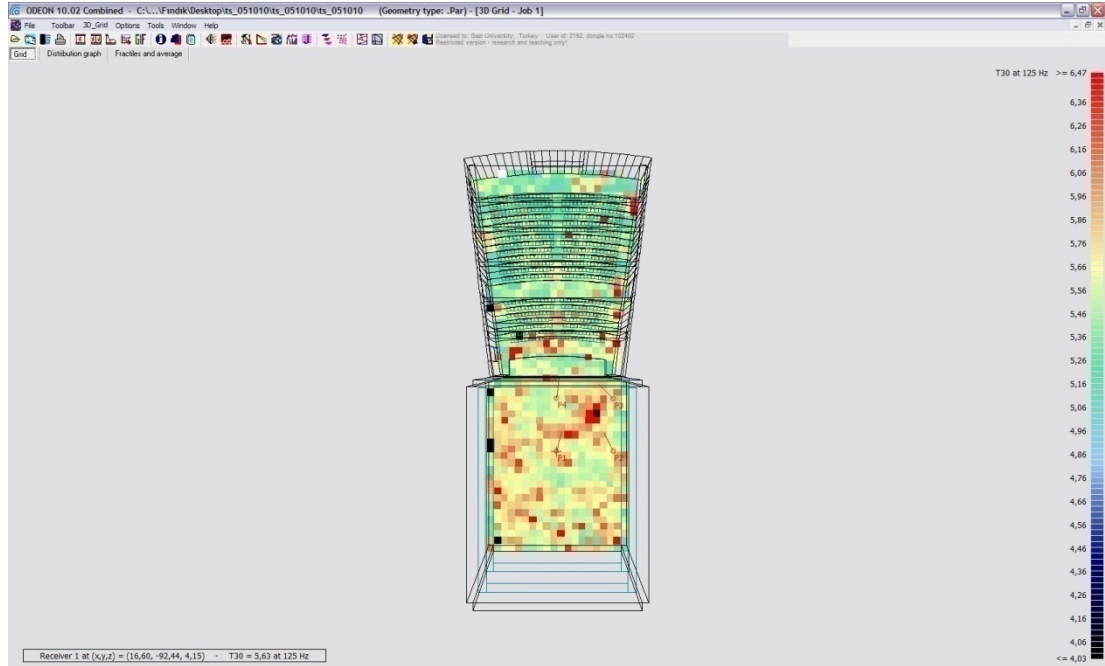
SPL(A), minimum = 50,7(dB)
SPL(A), maximum = 58,1(dB)
SPL(A), Average = 54,2(dB)

LG80*, minimum = 36,3(dB)
LG80*, maximum = 45,4(dB)
LG80*, Average = 40,8(dB)

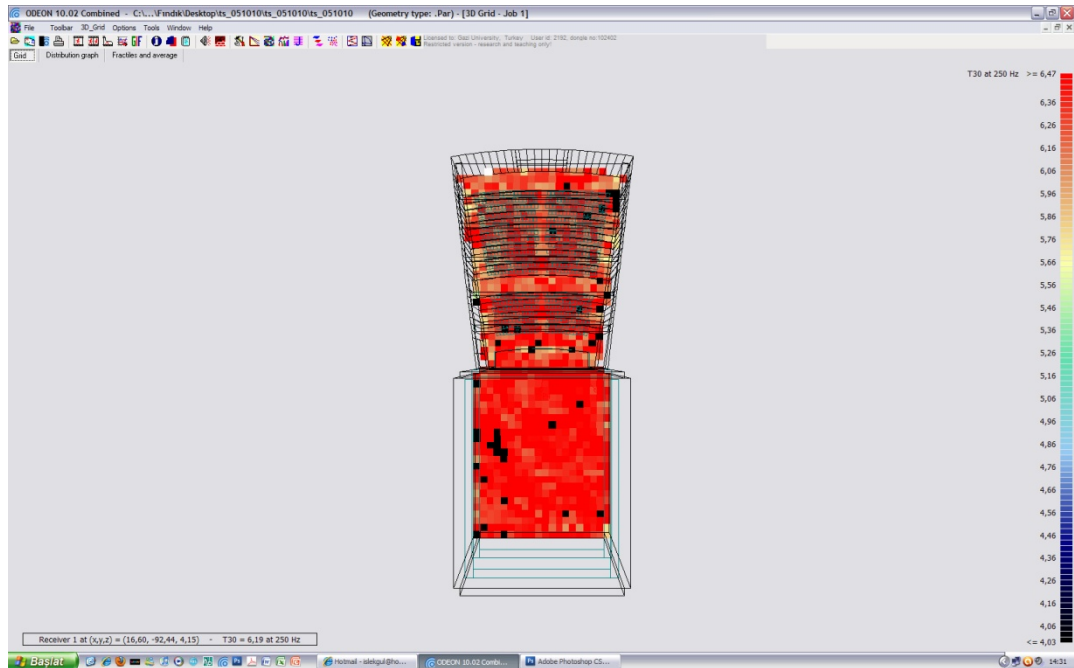
STI, minimum = 0,37
STI, maximum = 0,47
STI, Average = 0,41

EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

T30 Süresi 125 Hz

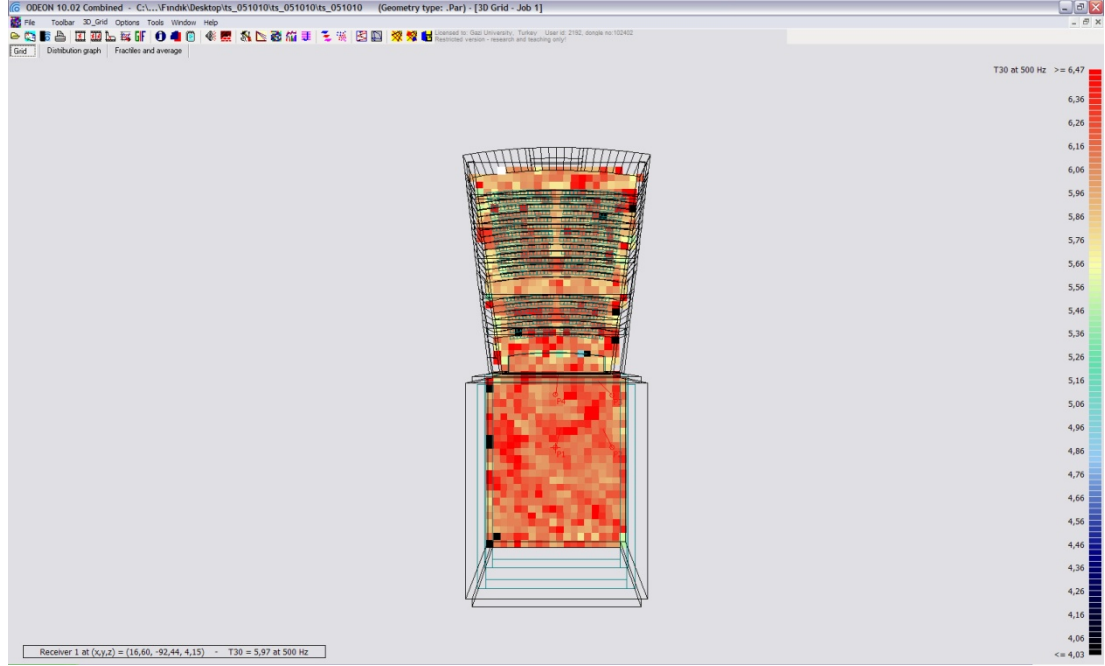


T30 Süresi 250 Hz

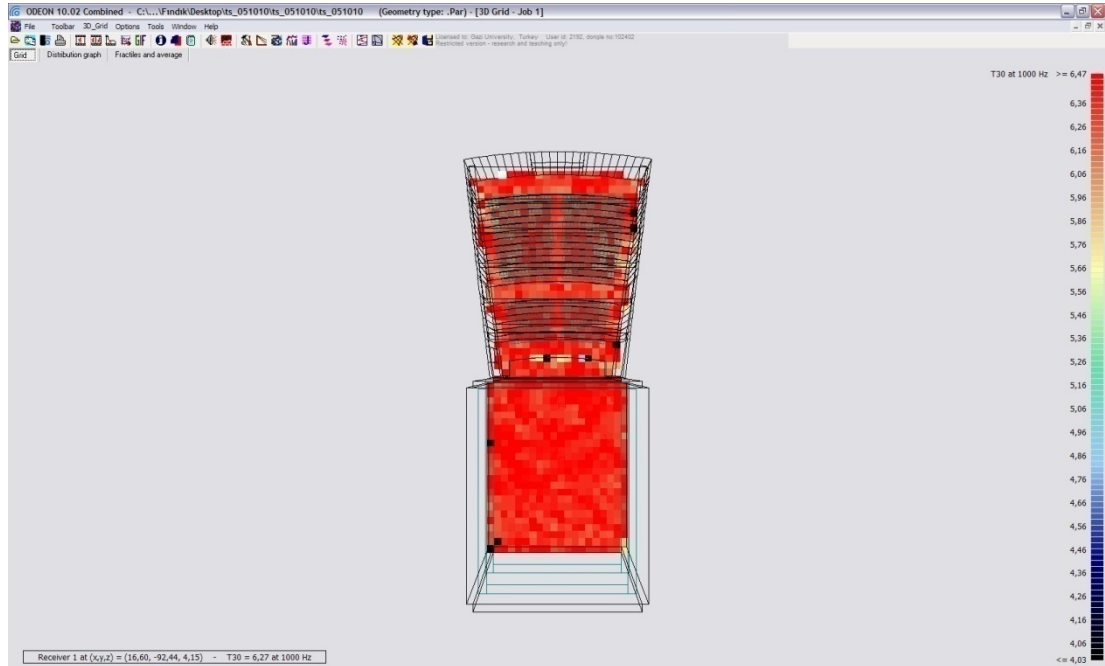


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

T30 Süresi 500 Hz

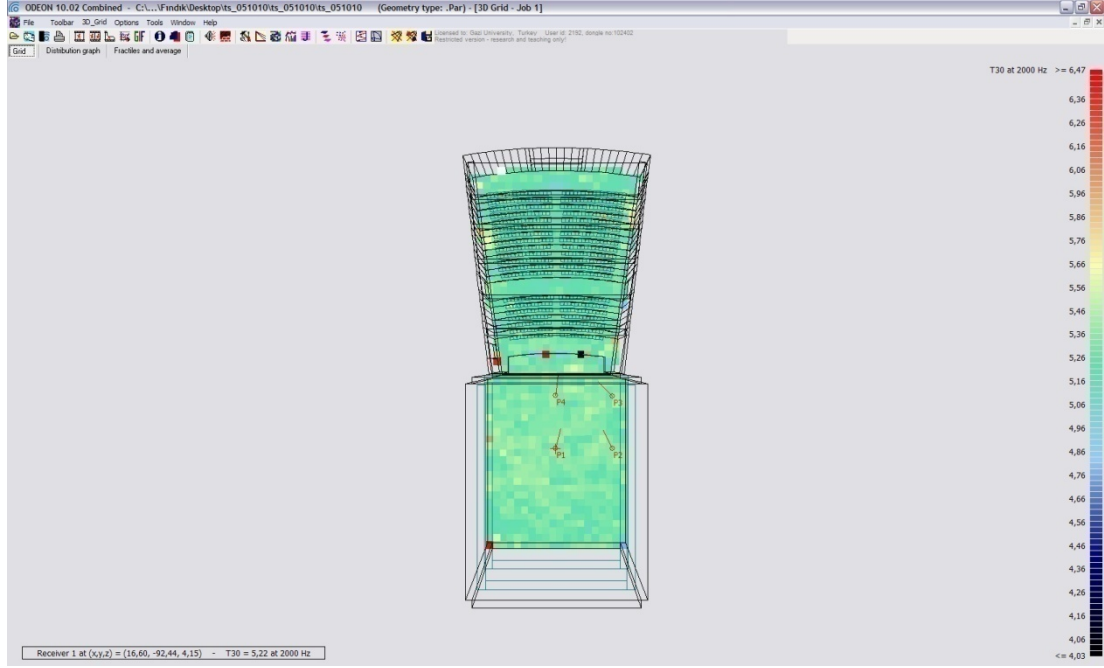


T30 Süresi 1000 Hz

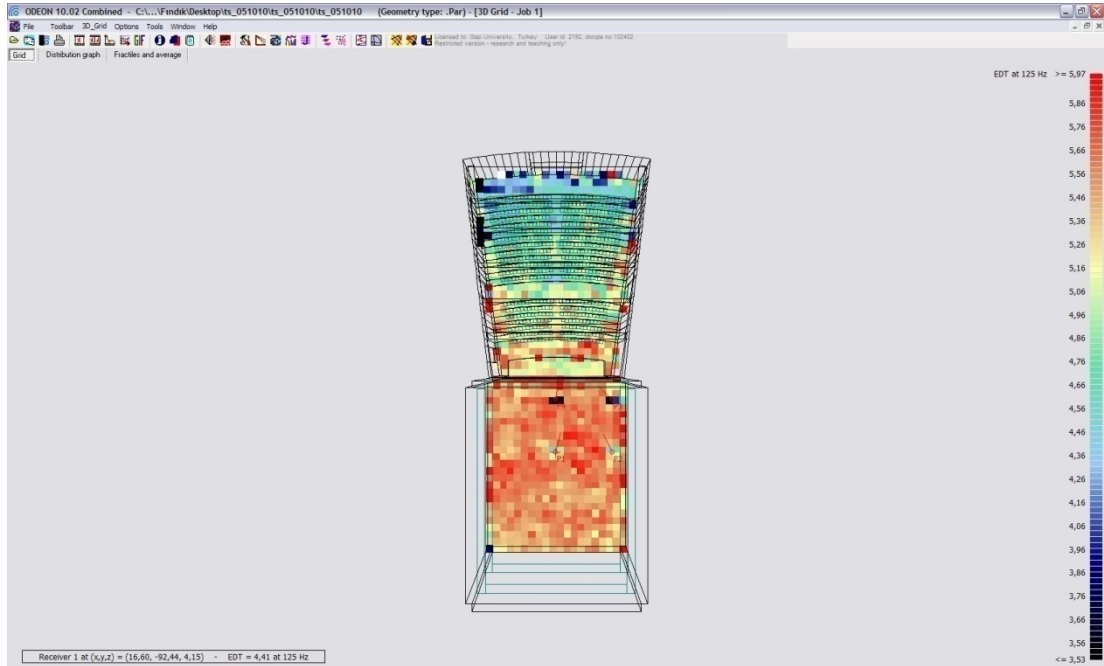


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

T30 Süresi 2000 Hz

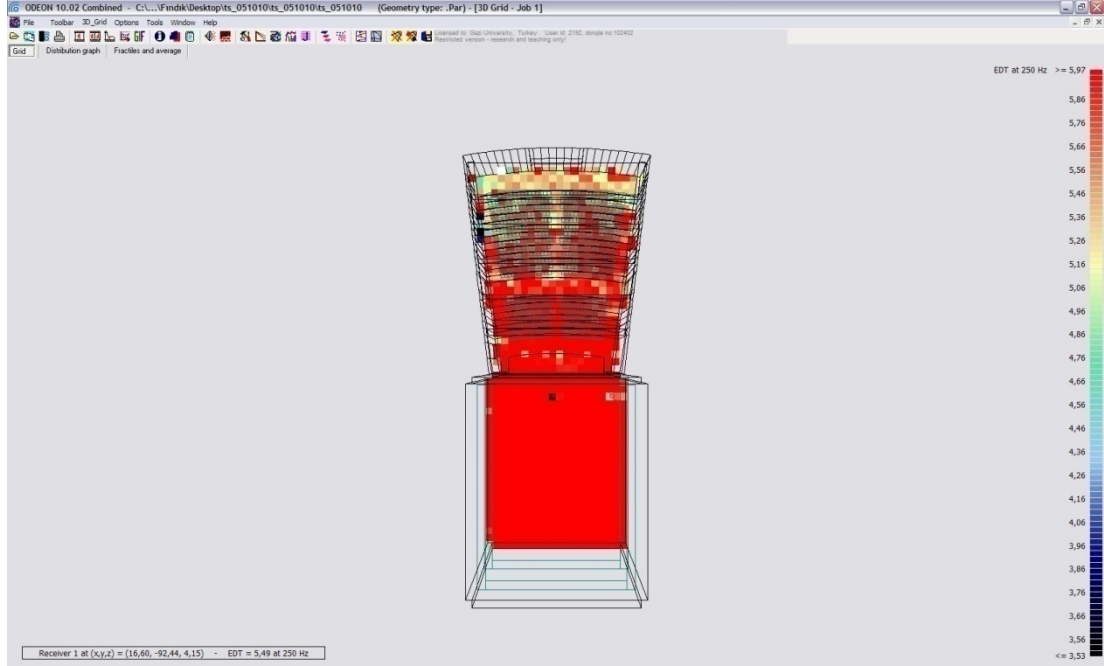


EDT Süresi 125 Hz

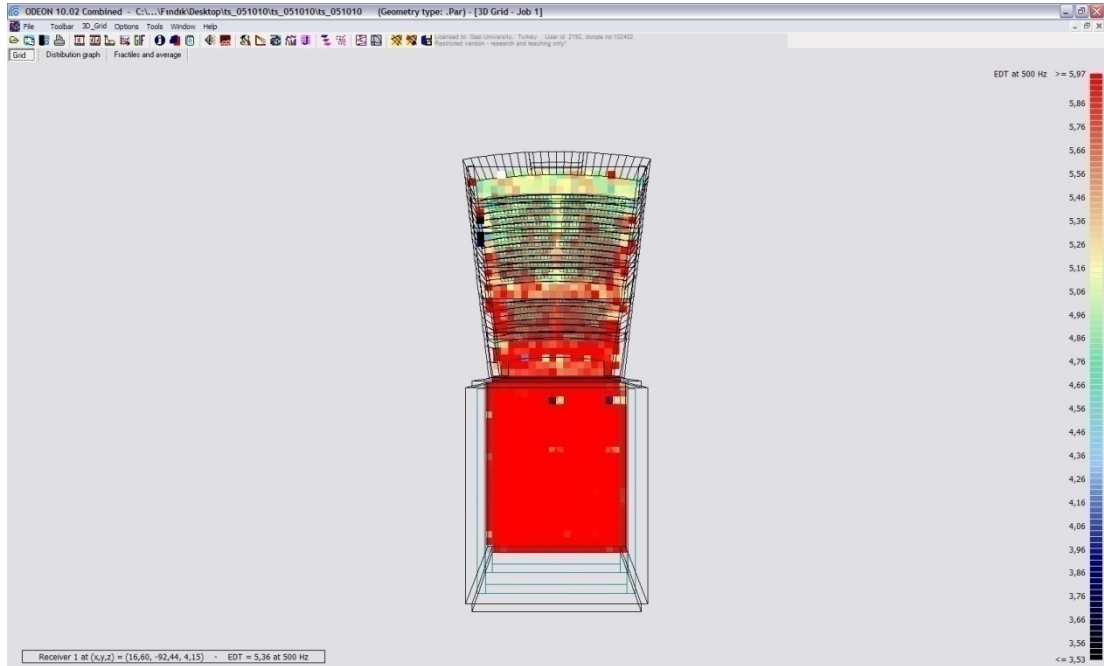


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

EDT Süresi 250 Hz

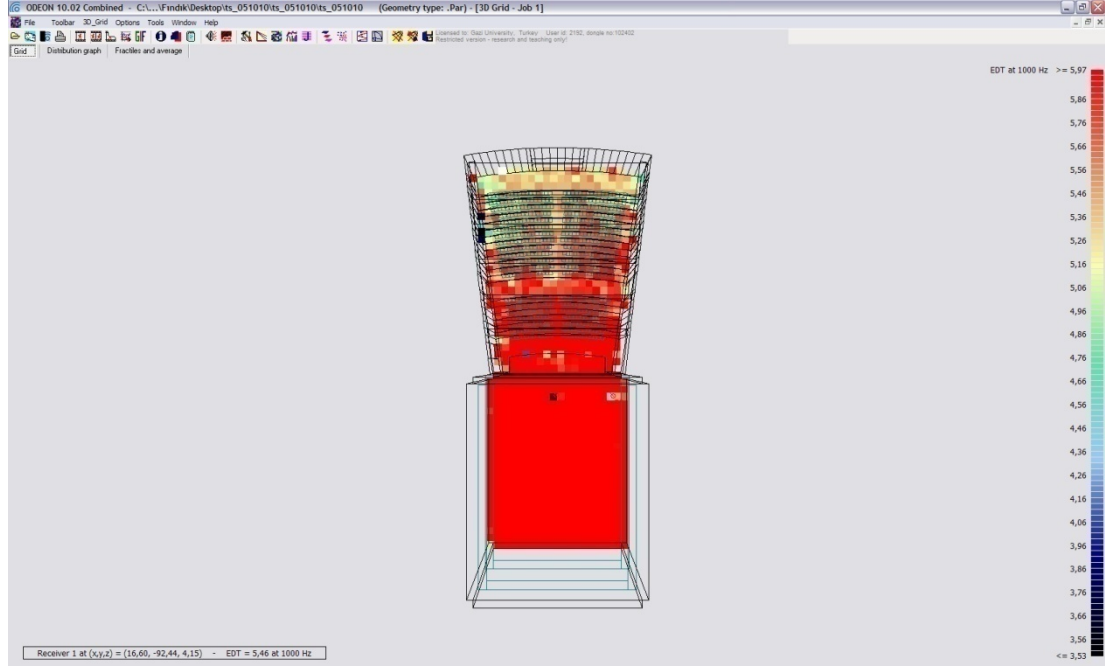


EDT Süresi 500 Hz

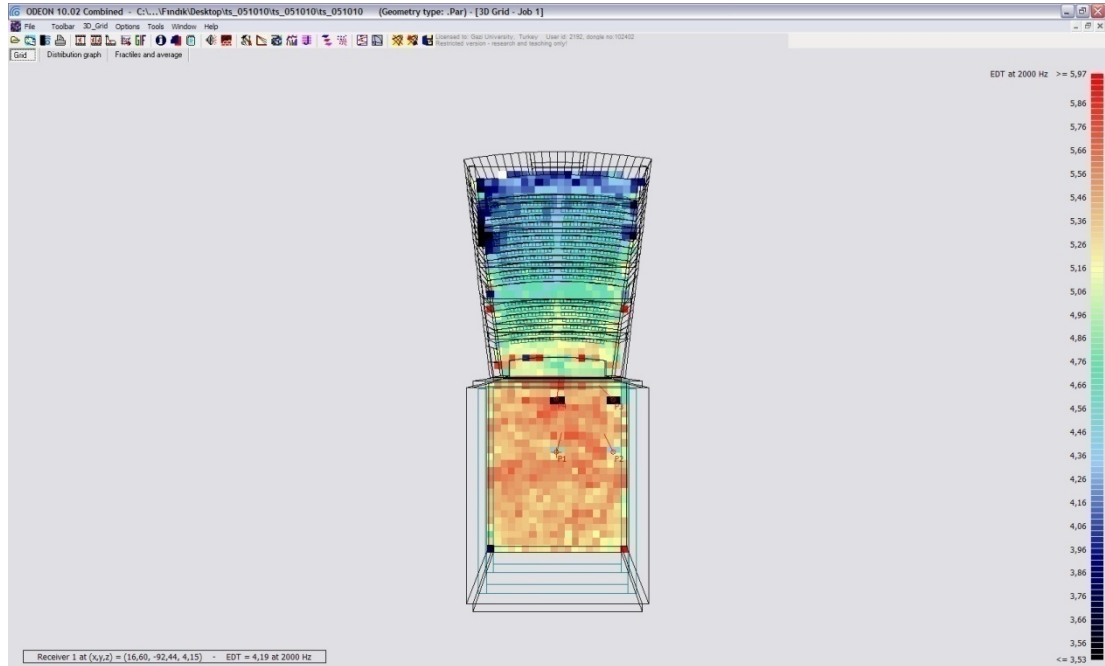


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

EDT Süresi 1000 Hz

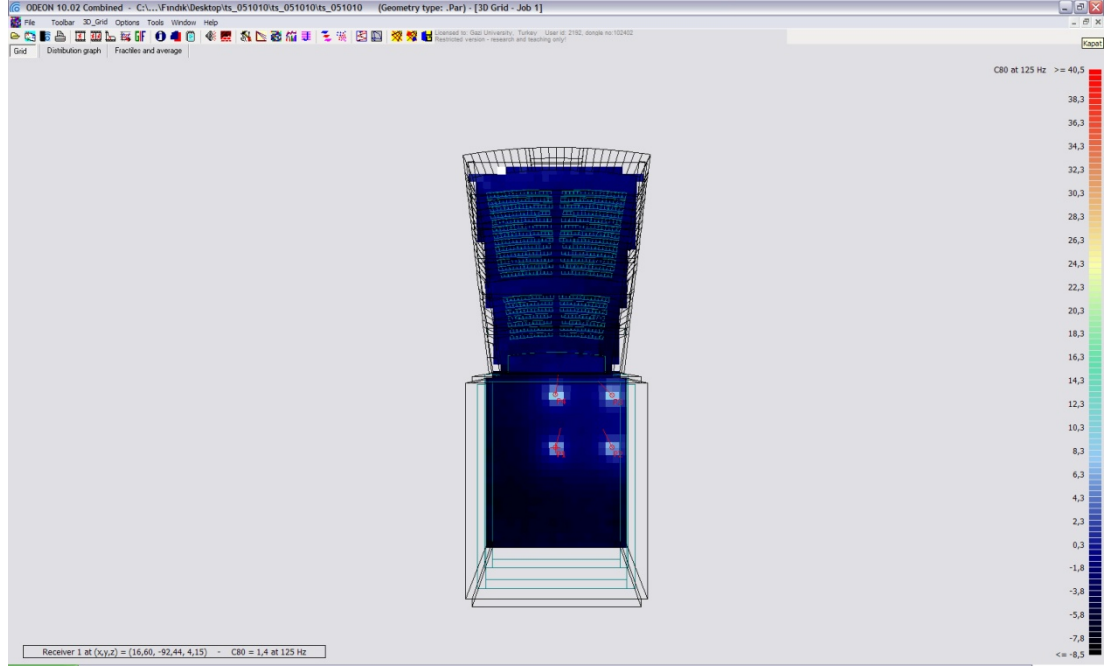


EDT Süresi 2000 Hz

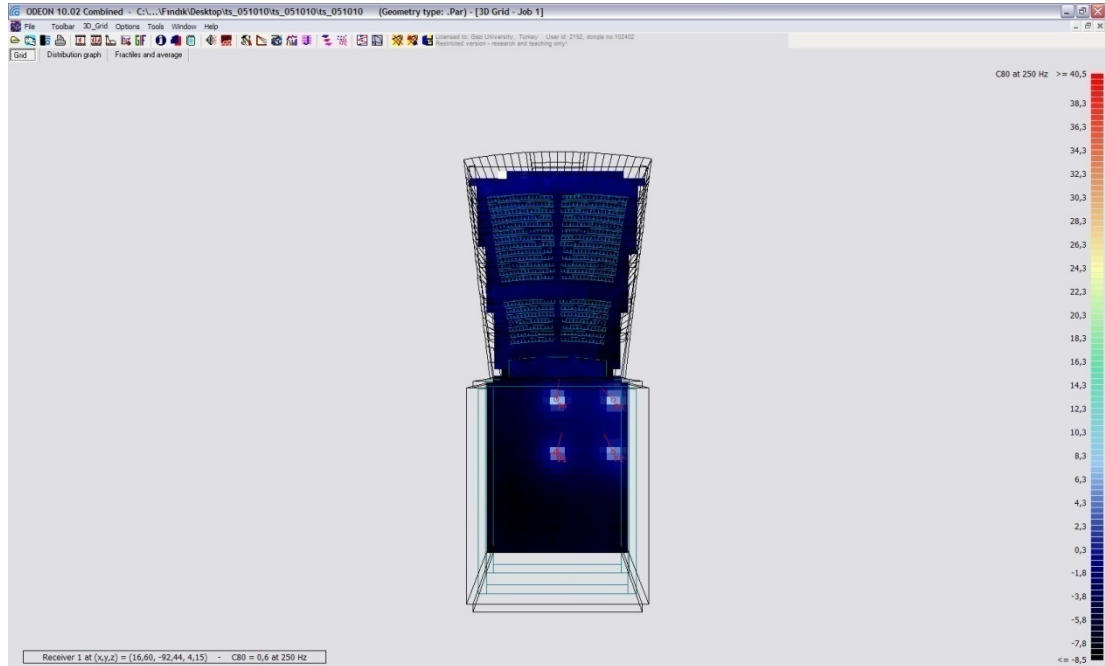


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

C80 Parametresi 125 Hz

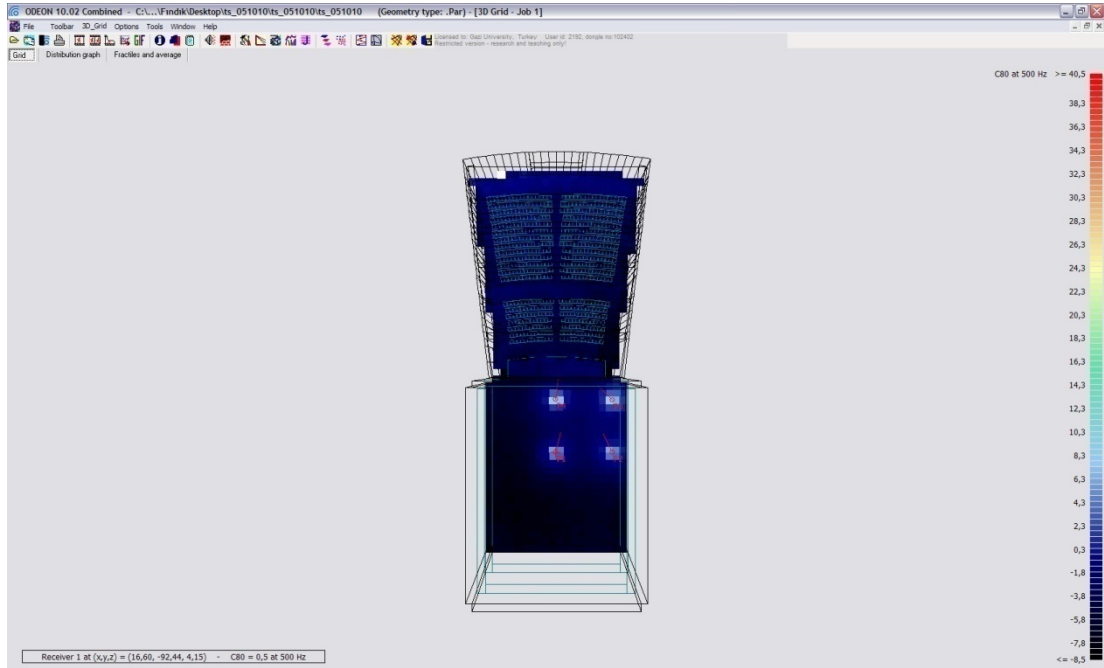


C80 Parametresi 250 Hz

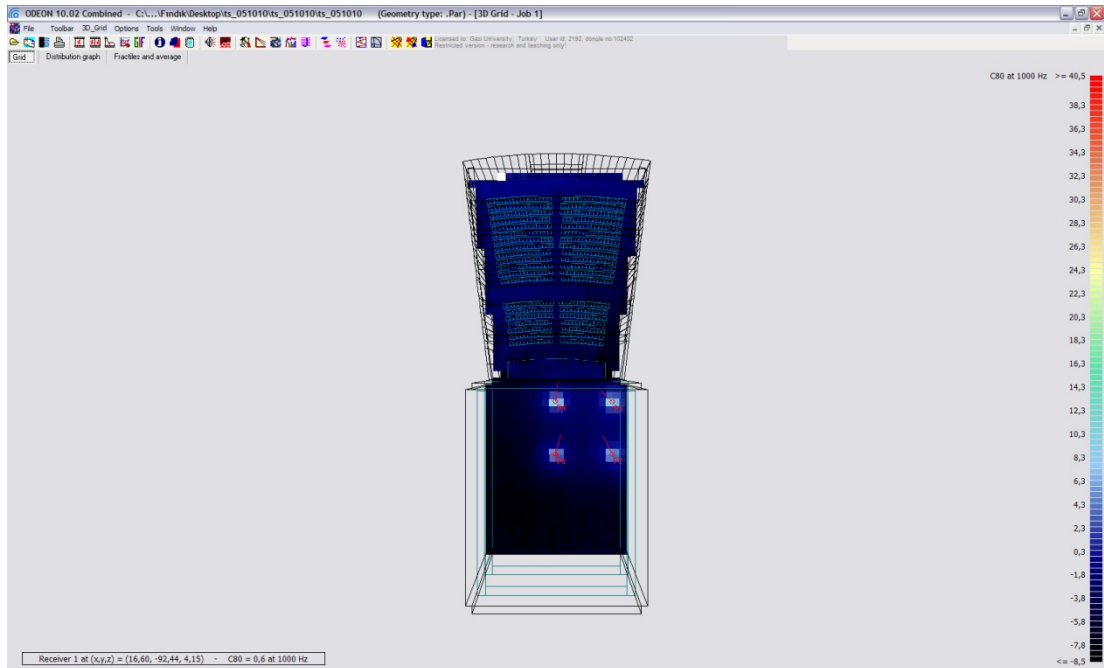


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

C80 Parametresi 500 Hz

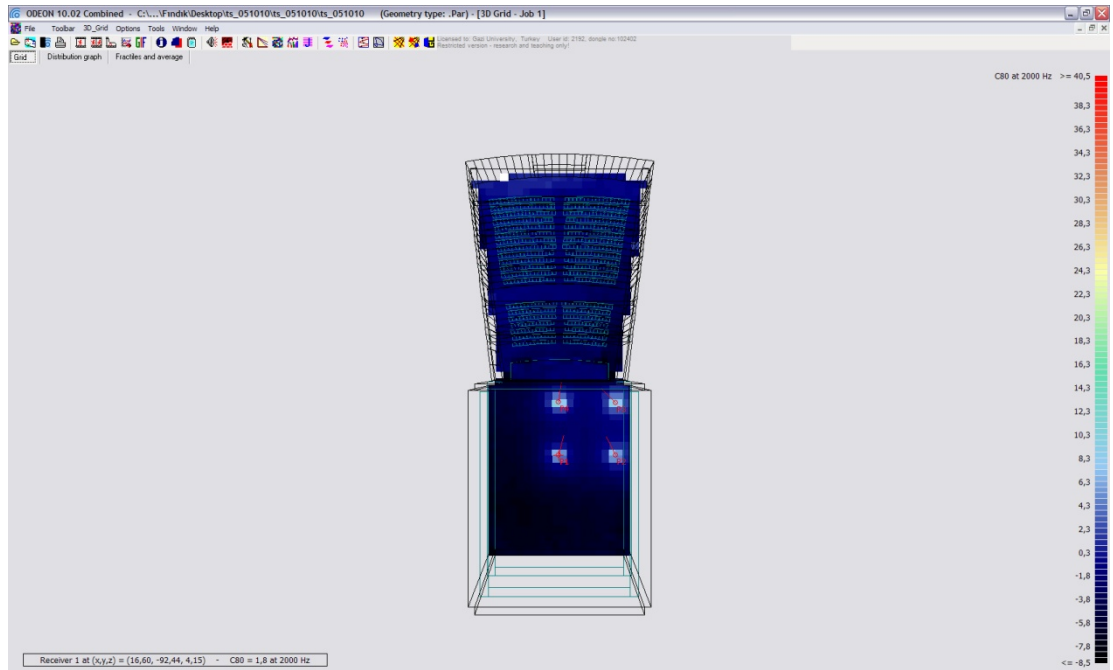


C80 Parametresi 1000 Hz

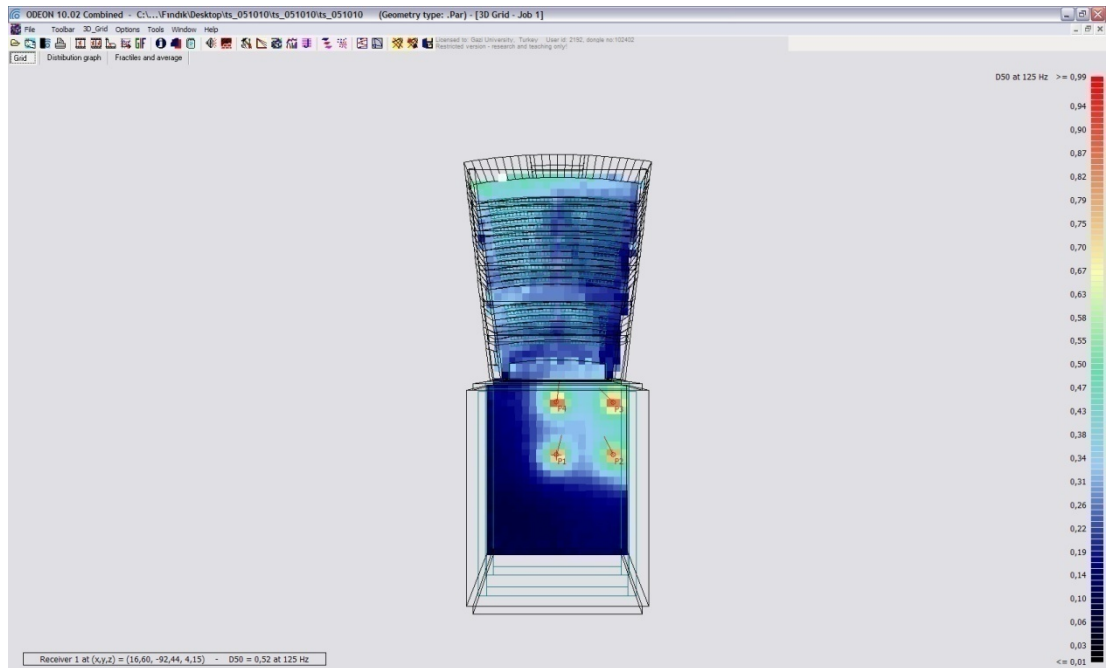


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

C80 Parametresi 2000 Hz

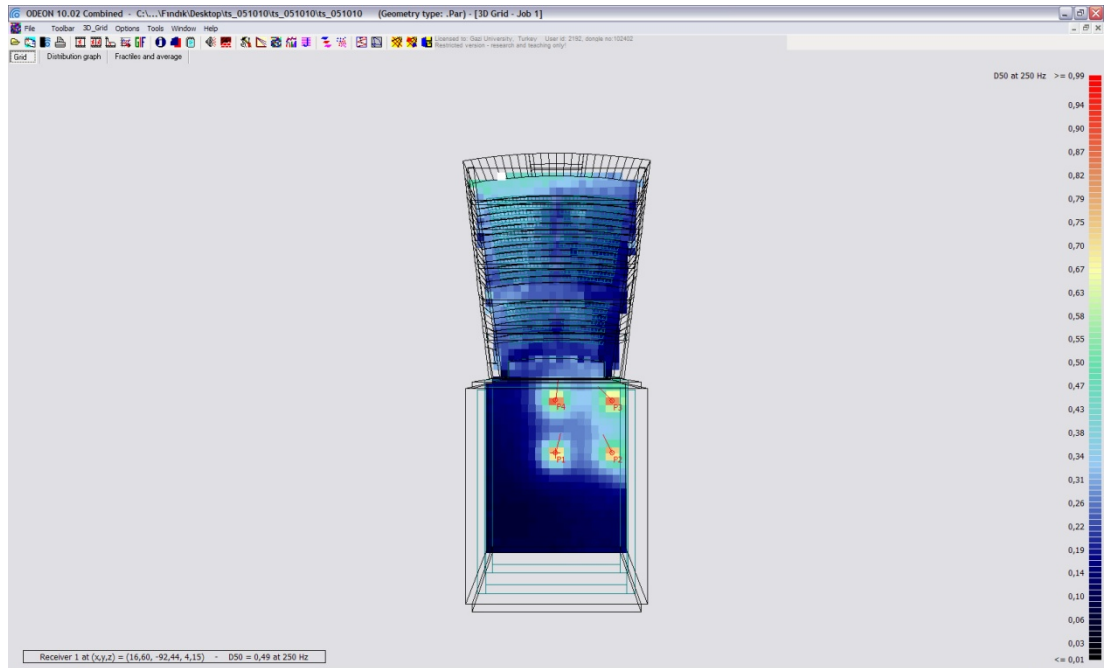


D50 Parametresi 125 Hz

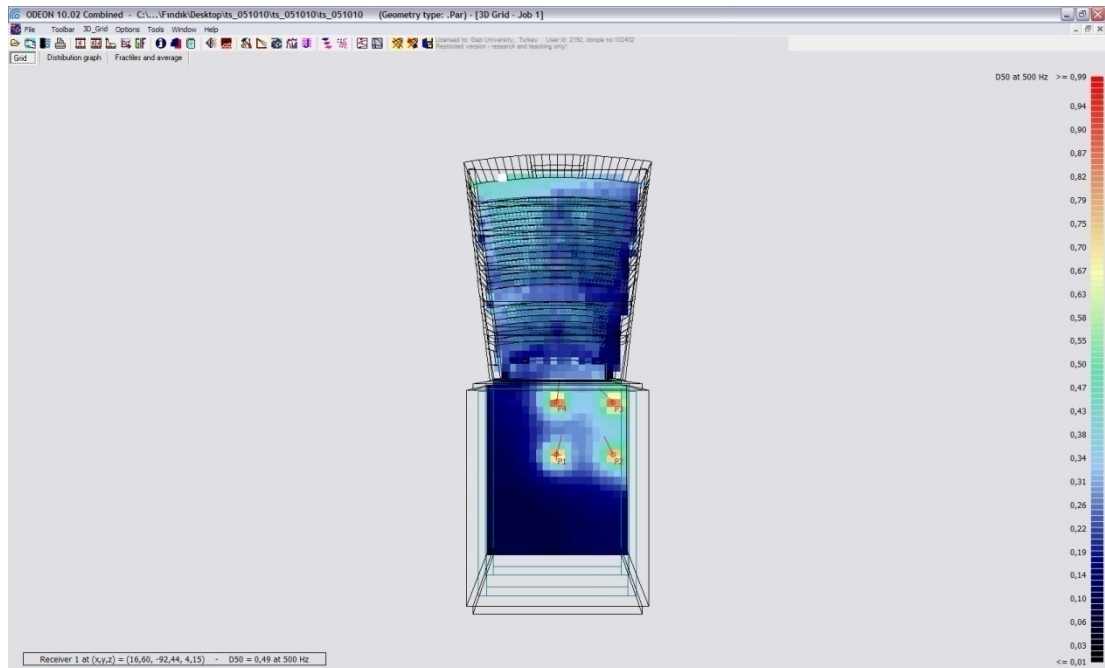


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

D50 Parametresi 250 Hz

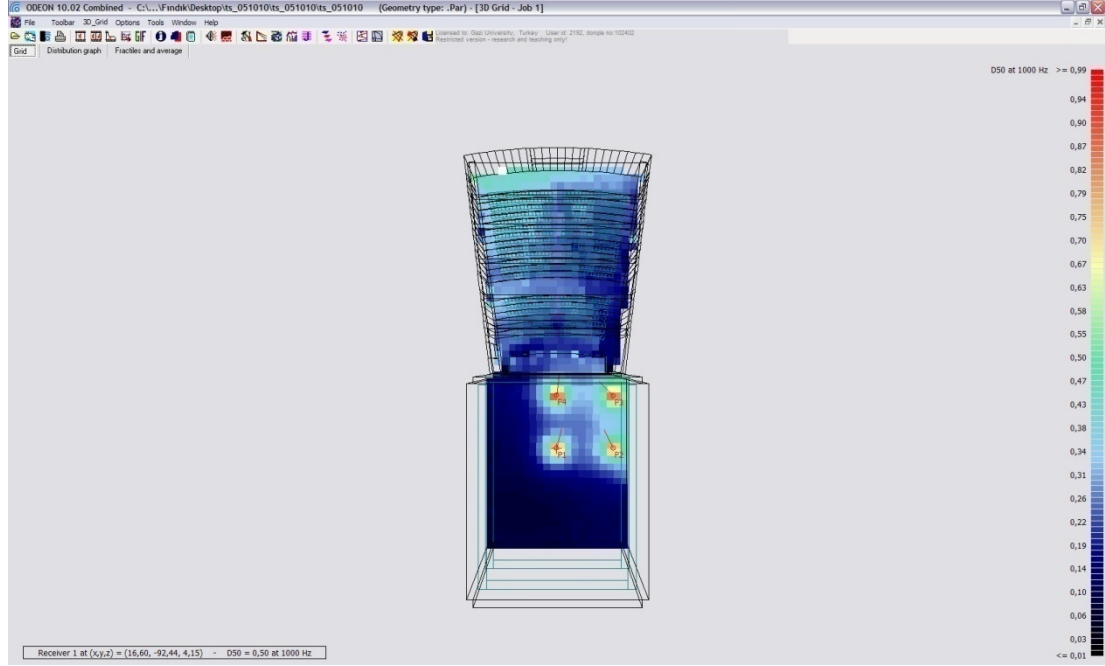


D50 Parametresi 500 Hz

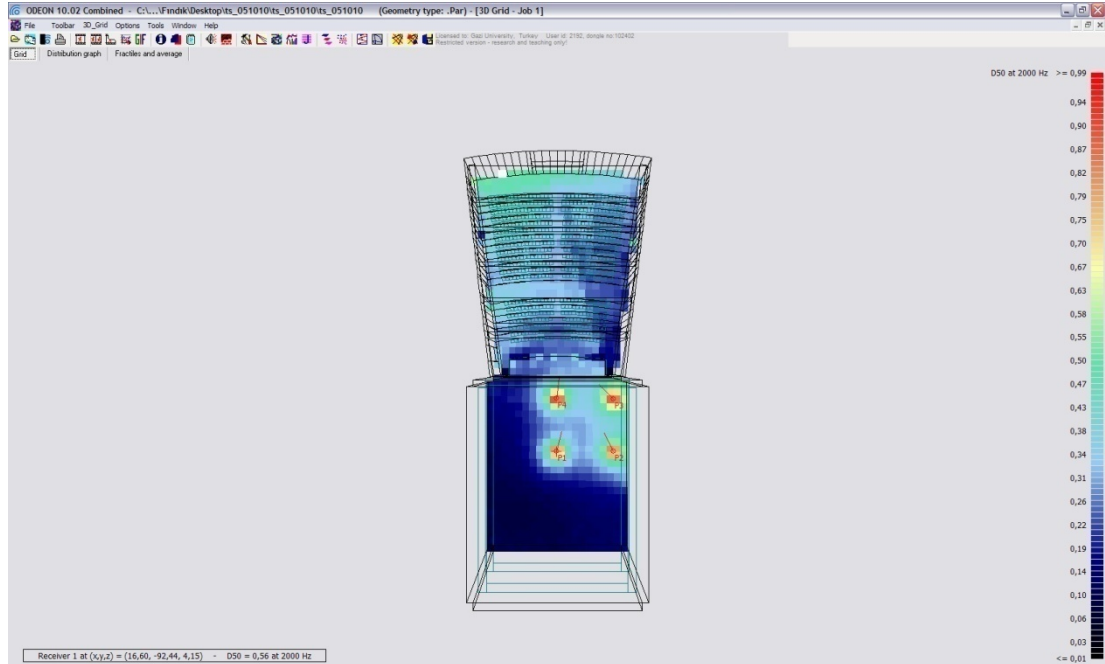


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

D50 Parametresi 1000 Hz

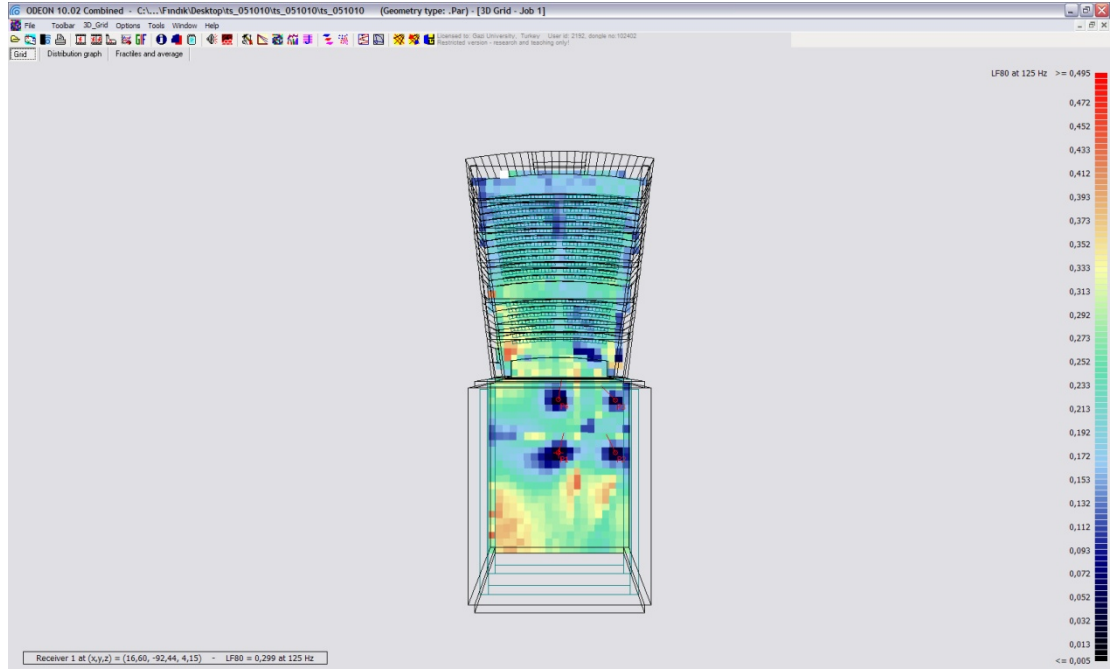


D50 Parametresi 2000 Hz

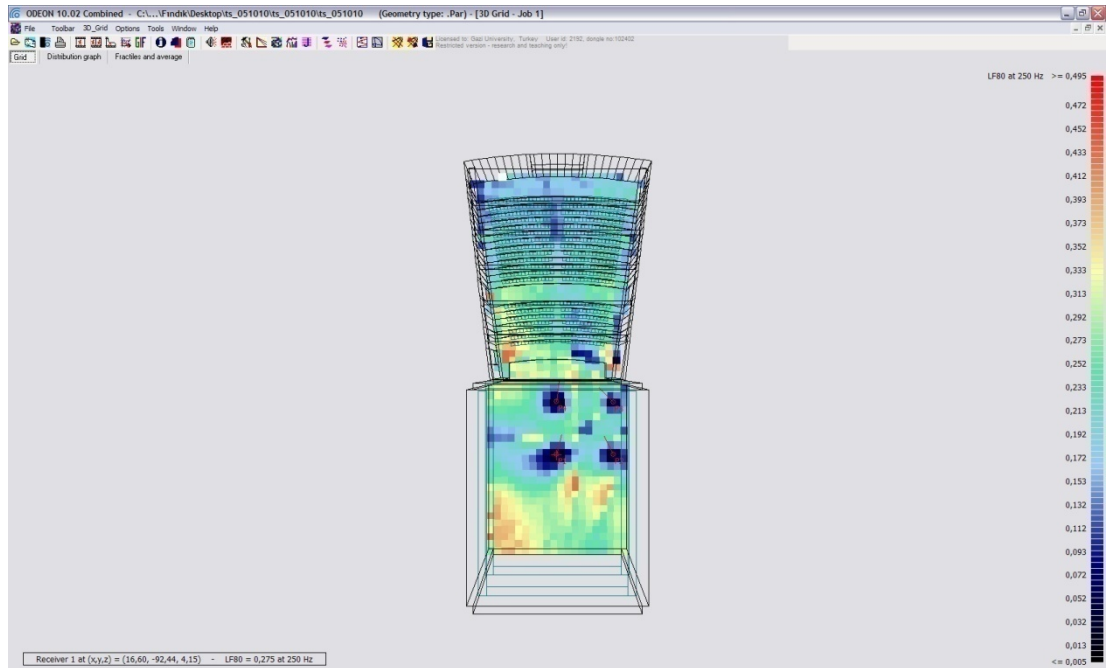


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

LF80 Parametresi 125 Hz

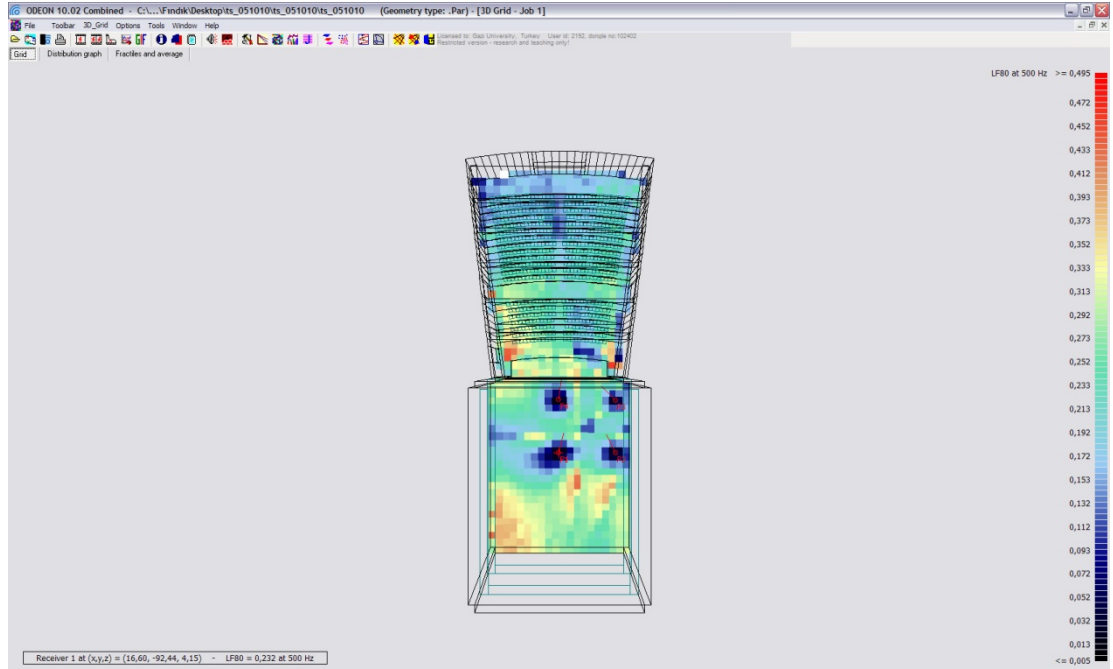


LF80 Parametresi 250 Hz

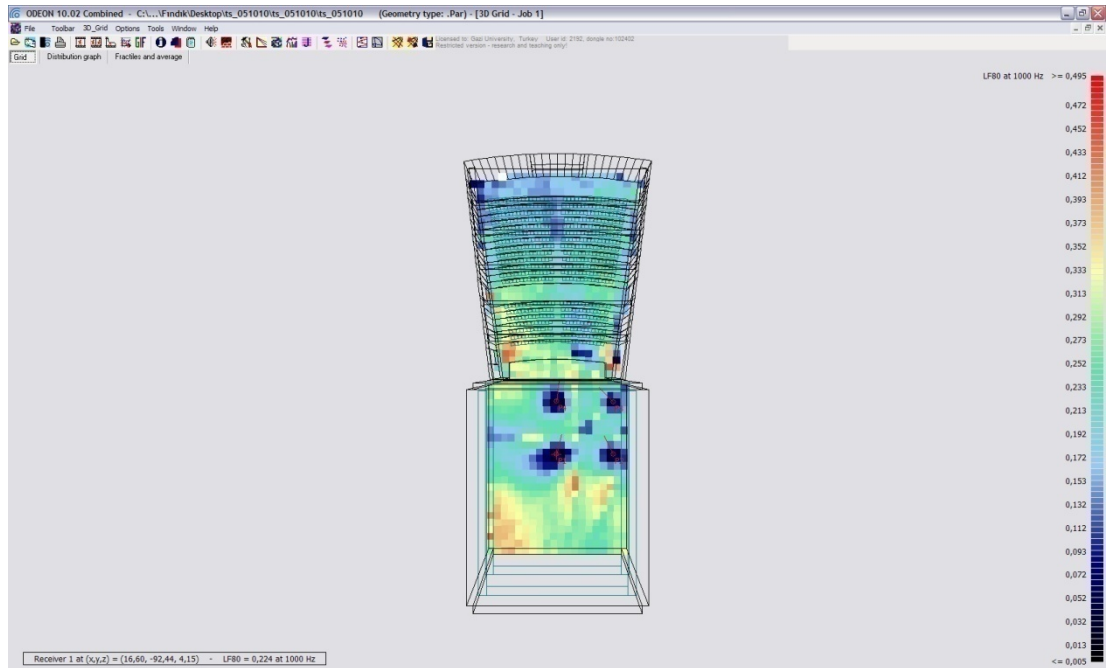


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

LF80 Parametresi 500 Hz

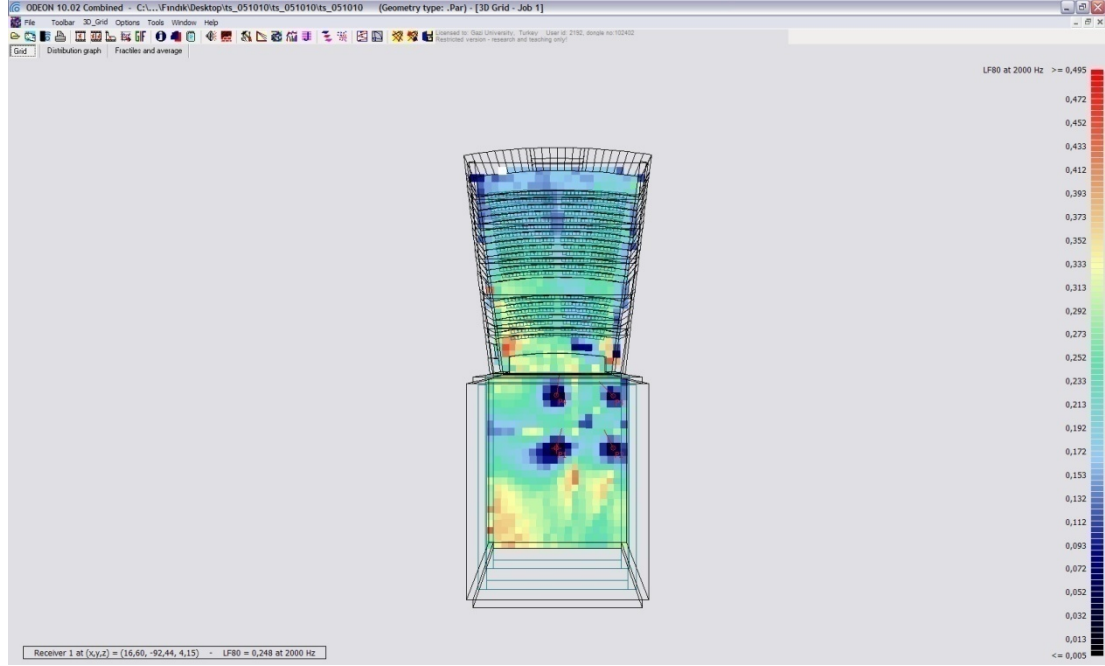


LF80 Parametresi 1000 Hz

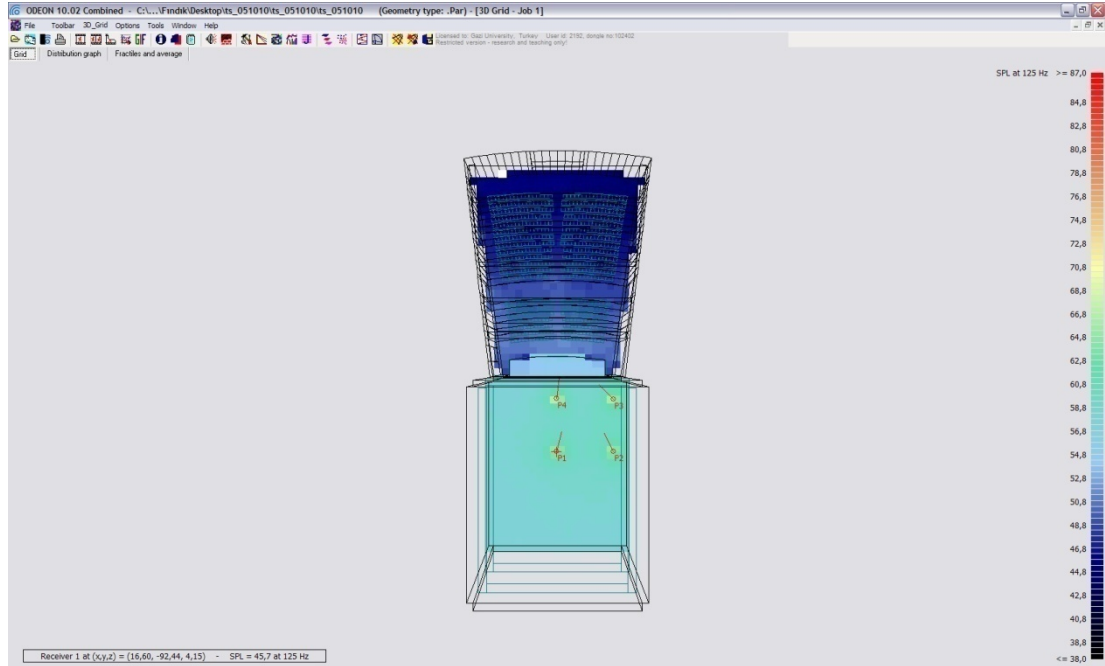


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

LF80 Parametresi 2000 Hz

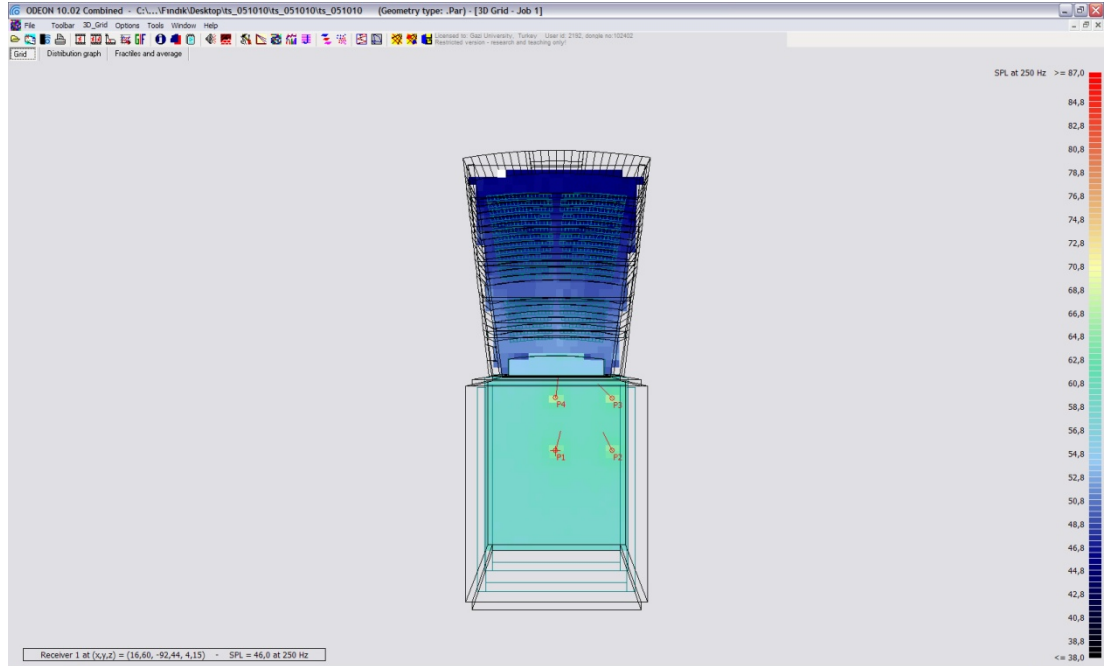


SPL Parametresi 125 Hz

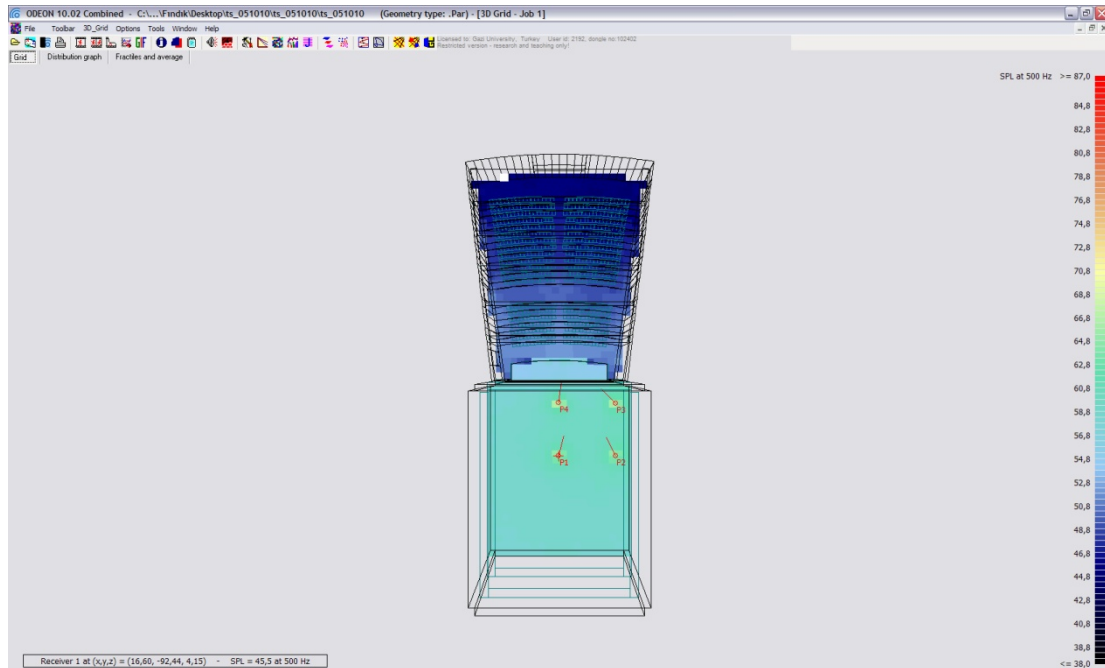


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

SPL Parametresi 250 Hz

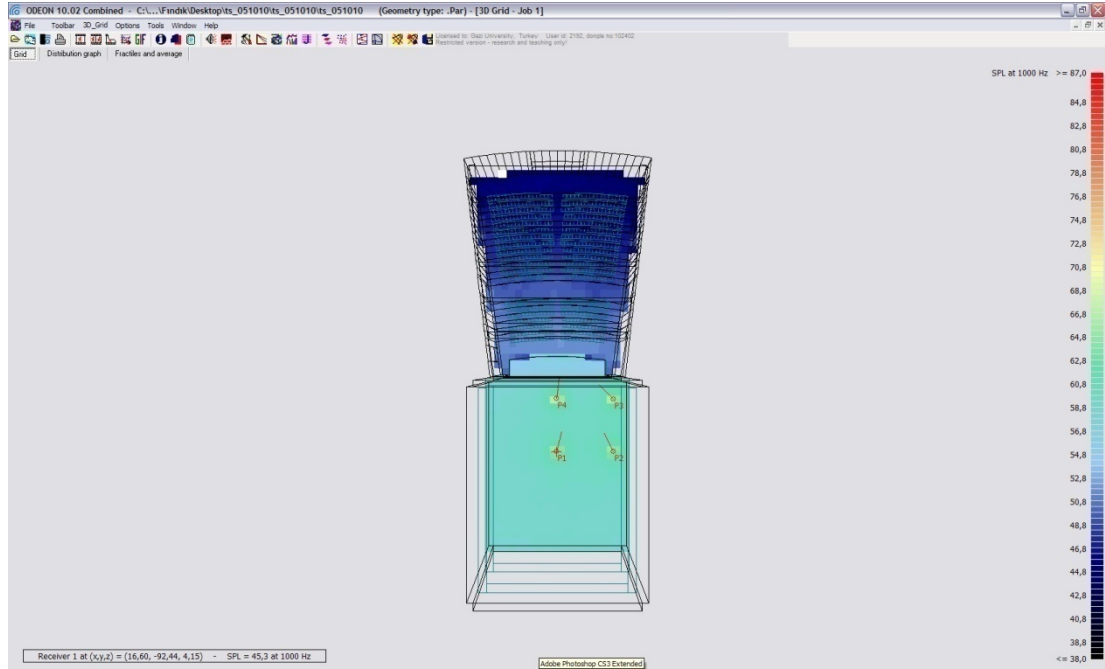


SPL Parametresi 500 Hz

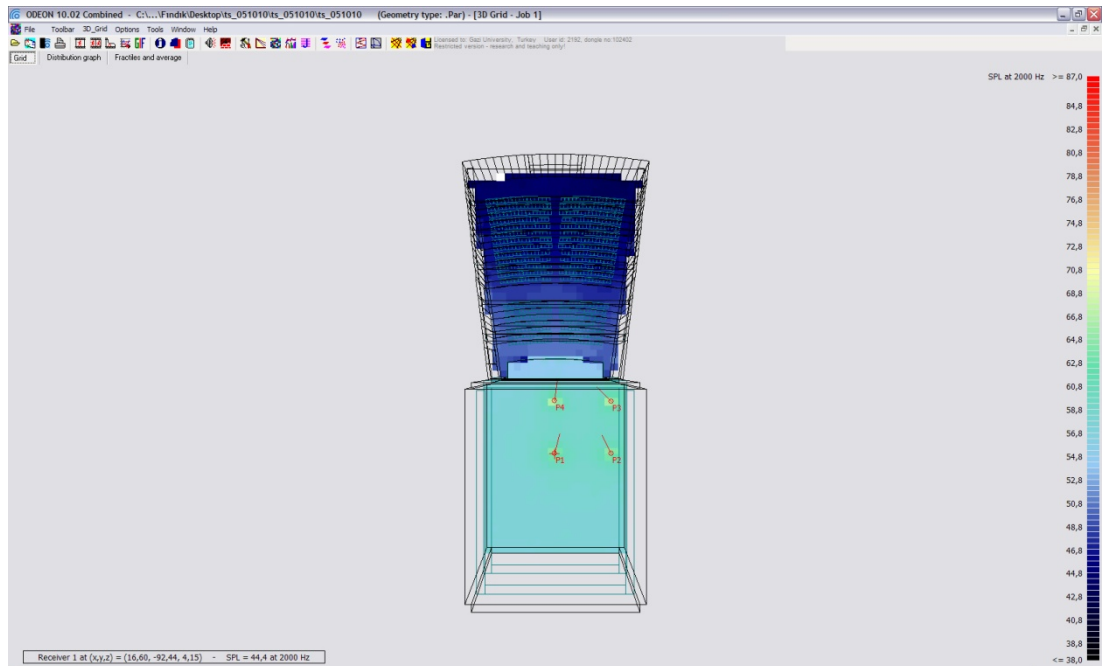


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

SPL Parametresi 1000 Hz

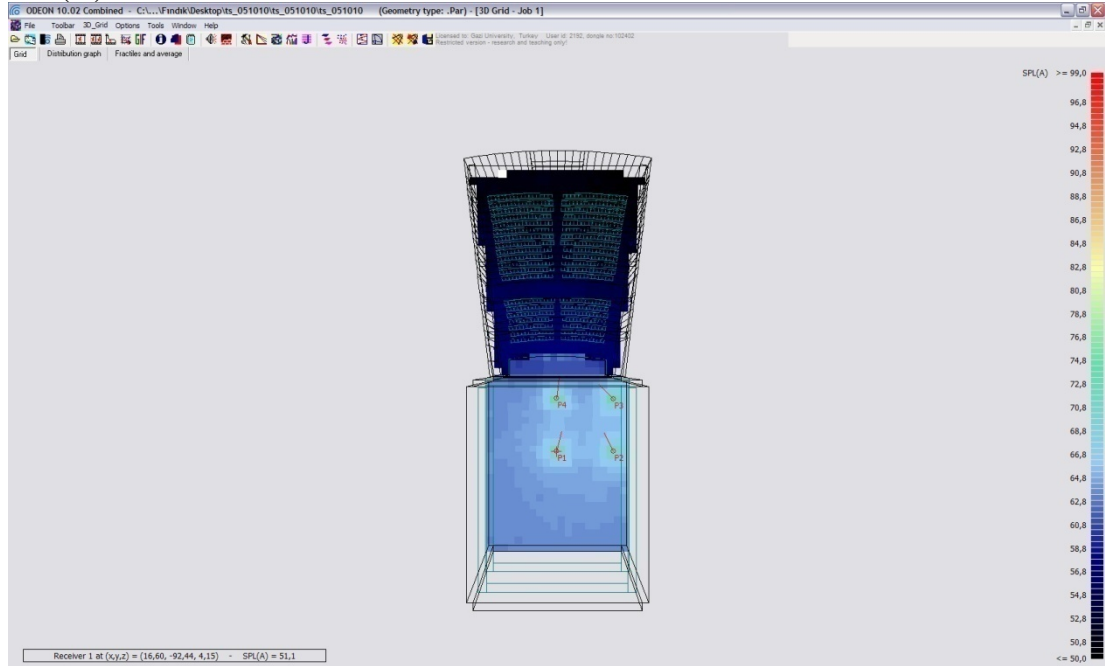


SPL Parametresi 2000 Hz

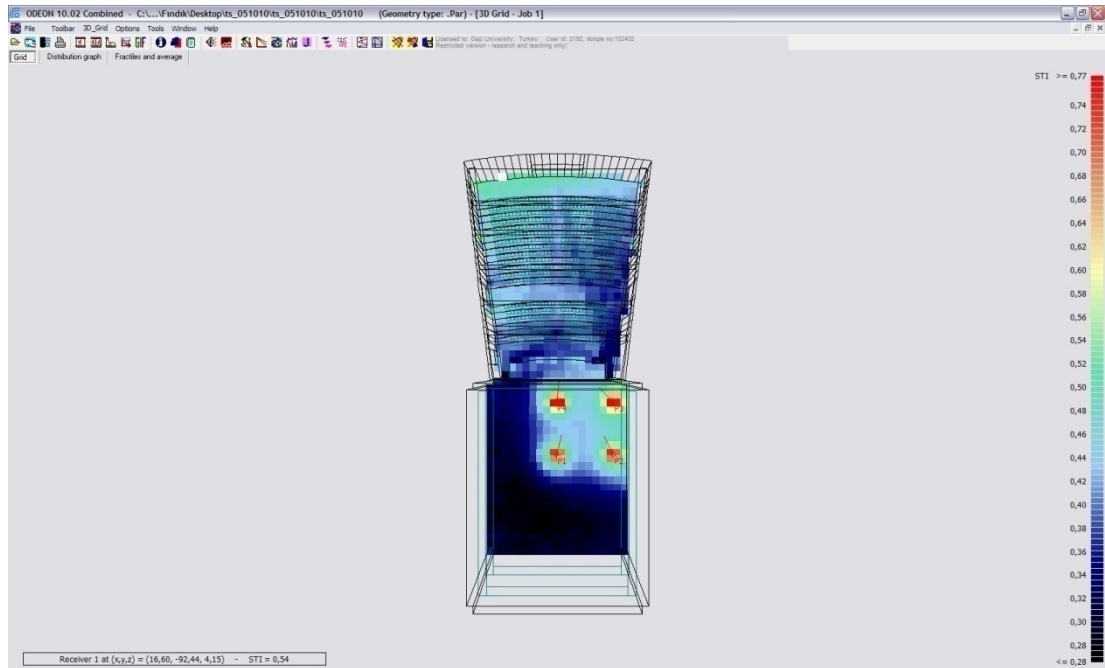


EK-4 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi mevcut durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

SPL(A) Parametresi



STI Parametresi



EK-5 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler



ODEON 10.02Combined
Licensed to: Gazi University, Turkey
User id: 2192, dongle no:102402

Printed: 22.10.2010 01:37:48
Room: C:\...ts_181010\181010
Geometry/Material/Source version: 2/7/6
Job number: 4 No description

Restricted version - research and teaching only!

Receiver Number: 1 No description (x,y,z) = (39,00, -84,00, 1,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,39	1,28	1,09	0,84	0,52	0,63	0,73	0,67
T30 (s)	1,18	1,15	1,28	1,49	1,56	1,53	1,18	0,60
SPL (dB)	48,0	47,0	47,0	47,0	46,7	46,4	46,2	45,0
C80 (dB)	2,5	3,8	5,3	6,4	8,4	7,4	7,2	8,5
D50	0,54	0,63	0,69	0,73	0,77	0,74	0,73	0,77
Ts (ms)	78	63	52	45	35	38	38	32
LF80	0,237	0,229	0,232	0,229	0,232	0,240	0,238	0,229

SPL(A) = 53,3(dB)
LG80* = 35,3(dB)
STI = 0,67 (Theoretical based on T30, STI = 0,53)

Receiver Number: 2 No description (x,y,z) = (39,00, -81,00, 1,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,39	1,35	1,05	0,90	0,55	0,64	0,75	0,65
T30 (s)	1,18	1,17	1,25	1,45	1,55	1,47	1,09	0,61
SPL (dB)	48,0	47,2	47,2	47,3	47,0	46,7	46,4	45,2
C80 (dB)	2,9	4,4	5,8	6,9	8,7	7,8	7,7	8,8
D50	0,58	0,68	0,73	0,76	0,80	0,77	0,77	0,80
Ts (ms)	70	56	45	39	30	33	33	28
LF80	0,202	0,191	0,210	0,219	0,218	0,213	0,212	0,200

SPL(A) = 53,6(dB)
LG80* = 35,2(dB)
STI = 0,69 (Theoretical based on T30, STI = 0,54)

Receiver Number: 3 No description (x,y,z) = (39,00, -79,00, 1,60)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,44	1,34	1,13	0,84	0,69	0,68	0,76	0,73
T30 (s)	1,20	1,18	1,19	1,47	1,65	1,62	1,06	0,62
SPL (dB)	47,3	46,1	46,0	45,9	45,5	45,2	44,9	43,6
C80 (dB)	2,0	3,3	4,6	5,8	7,5	6,5	6,4	7,4
D50	0,53	0,62	0,67	0,71	0,76	0,72	0,71	0,75
Ts (ms)	79	64	52	44	34	39	39	34
LF80	0,249	0,236	0,257	0,267	0,276	0,286	0,291	0,290

SPL(A) = 52,1(dB)
LG80* = 34,4(dB)
STI = 0,67 (Theoretical based on T30, STI = 0,53)

Receiver Number: 4 No description (x,y,z) = (36,00, -84,00, 2,05)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,37	1,23	0,89	0,73	0,43	0,57	0,59	0,49
T30 (s)	1,19	1,16	1,19	1,39	1,52	1,46	1,08	0,61
SPL (dB)	47,4	46,3	46,3	46,2	46,1	46,0	45,7	44,3
C80 (dB)	2,9	4,7	6,3	7,6	9,8	9,3	8,9	9,6
D50	0,56	0,68	0,75	0,78	0,83	0,81	0,81	0,82
Ts (ms)	73	56	45	39	30	32	33	30
LF80	0,215	0,199	0,201	0,201	0,203	0,211	0,213	0,208

SPL(A) = 52,7(dB)
LG80* = 33,1(dB)
STI = 0,71 (Theoretical based on T30, STI = 0,54)

Receiver Number: 5 No description (x,y,z) = (36,00, -81,00, 2,05)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,43	1,19	0,93	0,69	0,56	0,52	0,64	0,52
T30 (s)	1,16	1,13	1,17	1,29	1,35	1,31	0,94	0,57
SPL (dB)	47,2	46,2	46,2	46,3	46,1	46,0	45,7	44,2
C80 (dB)	2,9	5,1	6,7	7,9	10,0	9,3	9,0	9,6
D50	0,58	0,69	0,75	0,78	0,82	0,80	0,80	0,82
Ts (ms)	70	50	40	35	27	29	29	26
LF80	0,202	0,177	0,186	0,189	0,194	0,199	0,199	0,193

SPL(A) = 52,7(dB)
LG80* = 33,4(dB)
STI = 0,71 (Theoretical based on T30, STI = 0,56)

EK-5 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler



ODEON 10.02Combined
Licensed to: Gazi University, Turkey
User id: 2192, dongle no:102402

Printed: 22.10.2010 01:37:55
Room: C:\...ts_181010\181010
Geometry/Material/Source version: 2/7/6
Job number: 4 No description

Restricted version - research and teaching only!

Continued....Energy parameters

Receiver Number: 6 No description (x,y,z) = (36,00, -78,00, 2,05)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,47	1,27	0,95	0,75	0,60	0,66	0,58	0,61
T30 (s)	1,15	1,17	1,20	1,34	1,49	1,40	1,00	0,58
SPL (dB)	46,3	44,8	44,8	44,7	44,5	44,5	44,1	42,7
C80 (dB)	2,0	4,0	5,4	6,6	8,4	7,9	7,7	8,1
D50	0,51	0,62	0,66	0,70	0,74	0,72	0,72	0,74
Ts (ms)	81	62	50	42	34	36	36	34
LF80	0,276	0,263	0,279	0,283	0,288	0,294	0,297	0,293

SPL(A) = 51,2(dB)
LG80* = 32,8(dB)
STI = 0,67 (Theoretical based on T30, STI = 0,54)

Receiver Number: 7 No description (x,y,z) = (34,00, -84,00, 2,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,34	1,12	0,90	0,61	0,45	0,48	0,45	0,43
T30 (s)	1,14	1,15	1,10	1,20	1,16	1,13	0,88	0,57
SPL (dB)	47,0	45,9	45,9	45,7	45,6	45,4	45,1	43,6
C80 (dB)	2,7	5,0	6,7	7,8	9,9	9,5	9,1	9,4
D50	0,56	0,69	0,75	0,78	0,82	0,81	0,80	0,81
Ts (ms)	75	55	44	38	31	32	33	31
LF80	0,203	0,174	0,176	0,175	0,178	0,184	0,186	0,185

SPL(A) = 52,2(dB)
LG80* = 32,5(dB)
STI = 0,71 (Theoretical based on T30, STI = 0,57)

Receiver Number: 8 No description (x,y,z) = (34,00, -81,00, 2,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,42	1,29	0,94	0,79	0,50	0,53	0,71	0,59
T30 (s)	1,17	1,12	1,06	1,14	1,14	1,10	0,85	0,58
SPL (dB)	46,4	45,0	45,0	44,8	44,6	44,5	44,1	42,6
C80 (dB)	2,1	4,3	5,8	6,9	8,9	8,4	8,0	8,3
D50	0,52	0,65	0,72	0,76	0,80	0,78	0,77	0,77
Ts (ms)	79	58	46	39	30	33	34	32
LF80	0,218	0,192	0,196	0,198	0,202	0,207	0,209	0,210

SPL(A) = 51,2(dB)
LG80* = 32,8(dB)
STI = 0,69 (Theoretical based on T30, STI = 0,57)

Receiver Number: 9 No description (x,y,z) = (34,00, -78,00, 2,55)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,36	1,17	0,92	0,83	0,63	0,61	0,72	0,65
T30 (s)	1,12	1,16	1,13	1,31	1,32	1,31	0,94	0,57
SPL (dB)	45,9	44,3	44,3	44,0	43,8	43,7	43,3	41,8
C80 (dB)	1,5	4,0	5,4	6,6	8,4	7,8	7,6	7,4
D50	0,46	0,60	0,65	0,69	0,73	0,71	0,71	0,71
Ts (ms)	86	63	51	44	35	37	38	37
LF80	0,260	0,243	0,255	0,260	0,264	0,268	0,270	0,273

SPL(A) = 50,4(dB)
LG80* = 32,0(dB)
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,55)

EK-5 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler

ODEON 10.02Combined		Printed: 22.10.2010 01:37:55							
Licensed to: Gazi University, Turkey		Room: C:\...ts_181010\181010							
User id: 2192, dongle no:102402		Geometry/Material/Source version: 2/7/6							
ODEON		Job number: 4 No description							
Restricted version - research and teaching only!									
Continued....Energy parameters									
Receiver Number: 10 No description		(x,y,z) = (30,00, -84,00, 3,00)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1,30	1,05	0,90	0,68	0,45	0,61	0,67	0,52
T30	(s)	1,16	1,14	1,02	1,09	0,98	0,96	0,75	0,56
SPL	(dB)	46,1	44,4	44,2	43,9	43,6	43,5	43,1	41,5
C80	(dB)	1,9	4,1	5,7	7,0	9,2	8,8	8,3	8,5
D50		0,47	0,60	0,67	0,71	0,76	0,75	0,74	0,75
Ts	(ms)	84	62	50	42	34	35	37	35
LF80		0,217	0,180	0,178	0,176	0,177	0,182	0,183	0,189
SPL(A) = 50,2(dB)									
LG80* = 31,2(dB)									
STI = 0,67 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)									
Receiver Number: 11 No description		(x,y,z) = (30,00, -81,00, 3,00)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1,32	1,15	1,03	0,70	0,60	0,48	0,68	0,54
T30	(s)	1,12	1,11	1,03	1,18	1,11	1,09	0,78	0,54
SPL	(dB)	45,3	43,3	43,1	42,7	42,4	42,4	42,0	40,4
C80	(dB)	1,0	3,0	4,7	6,0	8,2	7,8	7,3	7,2
D50		0,42	0,56	0,63	0,68	0,73	0,72	0,70	0,71
Ts	(ms)	90	69	55	47	37	39	40	39
LF80		0,223	0,192	0,194	0,193	0,198	0,204	0,206	0,211
SPL(A) = 49,1(dB)									
LG80* = 31,4(dB)									
STI = 0,65 (Theoretical based on T30, STI = 0,57)									
Receiver Number: 12 No description		(x,y,z) = (31,00, -77,00, 3,00)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1,37	1,30	0,97	0,81	0,50	0,66	0,56	0,71
T30	(s)	1,13	1,15	1,08	1,29	1,24	1,24	0,87	0,50
SPL	(dB)	45,2	43,2	43,1	42,7	42,4	42,3	41,9	40,3
C80	(dB)	0,8	3,3	4,9	6,4	8,5	7,9	7,6	7,0
D50		0,39	0,55	0,61	0,66	0,71	0,70	0,69	0,67
Ts	(ms)	93	68	54	45	35	37	38	39
LF80		0,227	0,204	0,211	0,213	0,217	0,217	0,219	0,221
SPL(A) = 49,0(dB)									
LG80* = 30,5(dB)									
STI = 0,65 (Theoretical based on T30, STI = 0,56)									
Receiver Number: 13 No description		(x,y,z) = (27,00, -84,00, 3,55)							
Band (Hz)		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT	(s)	1,29	1,00	0,83	0,57	0,52	0,60	0,49	0,54
T30	(s)	1,16	1,09	0,99	1,00	0,91	0,82	0,71	0,53
SPL	(dB)	45,4	43,5	43,4	43,1	42,8	42,6	42,2	40,2
C80	(dB)	1,7	4,3	6,0	7,3	9,5	9,1	8,5	8,3
D50		0,44	0,61	0,68	0,73	0,77	0,75	0,74	0,72
Ts	(ms)	86	61	49	42	34	35	37	37
LF80		0,161	0,141	0,145	0,149	0,153	0,159	0,161	0,158
SPL(A) = 49,3(dB)									
LG80* = 29,9(dB)									
STI = 0,67 (Theoretical based on T30, STI = 0,60)									

EK-5 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler

ODEON		ODEON 10.02Combined Licensed to: Gazi University, Turkey User id: 2192, dongle no:102402		Printed: 22.10.2010 01:37:55 Room: C:\...ts_181010\181010 Geometry/Material/Source version: 2/7/6 Job number: 4 No description				
Restricted version - research and teaching only!								
Continued...Energy parameters								
Receiver Number: 14 No description		(x,y,z) = (27,00, -80,00, 3,55)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,27	1,08	0,85	0,54	0,37	0,46	0,64	0,54
T30 (s)	1,13	1,11	0,97	1,04	0,96	0,94	0,75	0,54
SPL (dB)	44,9	43,1	43,1	42,7	42,4	42,2	41,7	39,9
C80 (dB)	1,5	4,3	6,0	7,3	9,5	9,0	8,3	7,6
D50	0,41	0,58	0,64	0,68	0,72	0,70	0,68	0,66
Ts (ms)	87	62	51	45	37	39	41	42
LF80	0,202	0,172	0,177	0,182	0,187	0,191	0,193	0,193
SPL(A) = 48,9(dB)								
LG80* = 29,7(dB)								
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)								
Receiver Number: 15 No description		(x,y,z) = (27,00, -77,00, 3,55)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,33	1,14	0,81	0,76	0,62	0,72	0,60	0,69
T30 (s)	1,14	1,11	1,02	1,07	1,03	1,08	0,80	0,50
SPL (dB)	44,5	42,4	42,3	41,8	41,5	41,3	40,9	39,2
C80 (dB)	1,0	3,8	5,1	6,4	8,2	7,6	7,3	6,8
D50	0,39	0,56	0,61	0,65	0,69	0,67	0,66	0,62
Ts (ms)	92	65	54	47	39	41	42	44
LF80	0,217	0,187	0,194	0,204	0,209	0,211	0,214	0,220
SPL(A) = 48,1(dB)								
LG80* = 29,9(dB)								
STI = 0,64 (Theoretical based on T30, STI = 0,57)								
Receiver Number: 16 No description		(x,y,z) = (24,00, -84,00, 4,00)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,23	1,06	0,69	0,63	0,55	0,63	0,44	0,43
T30 (s)	1,20	1,17	0,97	0,92	0,75	0,68	0,67	0,50
SPL (dB)	44,5	42,6	42,6	42,3	42,1	41,9	41,4	39,3
C80 (dB)	1,7	4,6	6,5	8,0	10,2	9,8	9,2	8,7
D50	0,42	0,58	0,64	0,68	0,72	0,71	0,71	0,69
Ts (ms)	88	62	50	43	37	37	39	39
LF80	0,168	0,134	0,136	0,139	0,141	0,147	0,149	0,151
SPL(A) = 48,6(dB)								
LG80* = 28,9(dB)								
STI = 0,65 (Theoretical based on T30, STI = 0,61)								
Receiver Number: 17 No description		(x,y,z) = (24,00, -80,00, 4,00)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,22	1,00	0,81	0,68	0,45	0,54	0,53	0,38
T30 (s)	1,19	1,14	0,99	1,00	0,96	0,88	0,72	0,49
SPL (dB)	44,2	42,2	42,1	41,8	41,5	41,3	40,8	38,9
C80 (dB)	1,7	4,4	6,3	7,7	10,0	9,7	9,0	8,4
D50	0,40	0,56	0,63	0,67	0,71	0,70	0,69	0,65
Ts (ms)	88	63	52	45	38	39	40	43
LF80	0,201	0,165	0,166	0,171	0,176	0,181	0,183	0,181
SPL(A) = 48,0(dB)								
LG80* = 28,4(dB)								
STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)								
Odeon A/S, Denmark, ©1985-2009. Restricted version - research and teaching only!								

EK-5 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler

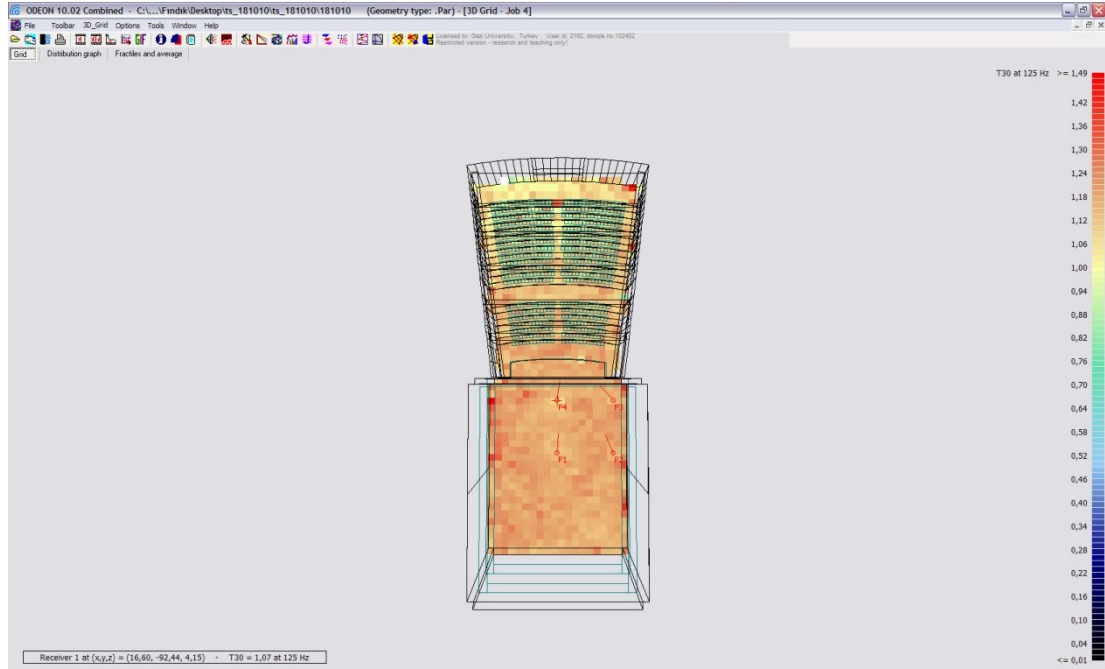
ODEON		ODEON 10.02Combined Licensed to: Gazi University, Turkey User id: 2192, dongle no:102402		Printed: 22.10.2010 01:37:55 Room: C:\...ts_181010\181010 Geometry/Material/Source version: 2/7/6 Job number: 4 No description				
Restricted version - research and teaching only!								
Continued...Energy parameters								
Receiver Number: 18 No description		(x,y,z) = (25,00, -76,00, 4,00)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,24	1,03	0,95	0,74	0,52	0,58	0,72	0,72
T30 (s)	1,15	1,14	1,00	1,10	1,07	1,03	0,86	0,53
SPL (dB)	44,1	41,7	41,6	41,2	40,9	40,8	40,3	38,5
C80 (dB)	0,9	3,5	5,0	6,4	8,4	8,0	7,7	7,1
D50	0,38	0,54	0,59	0,64	0,69	0,68	0,67	0,62
Ts (ms)	94	68	56	48	39	41	42	44
LF80	0,205	0,175	0,183	0,189	0,191	0,191	0,191	0,192
SPL(A) = 47,5(dB) LG80* = 28,7(dB) STI = 0,63 (Theoretical based on T30, STI = 0,57)								
Receiver Number: 19 No description		(x,y,z) = (20,00, -84,00, 5,00)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,08	0,93	0,70	0,56	0,53	0,54	0,51	0,47
T30 (s)	1,15	1,08	0,89	0,84	0,58	0,61	0,56	0,57
SPL (dB)	45,4	43,0	42,8	42,3	42,1	41,8	41,3	39,9
C80 (dB)	3,1	5,2	7,2	8,9	11,8	11,3	10,6	10,8
D50	0,50	0,64	0,71	0,77	0,82	0,81	0,79	0,76
Ts (ms)	78	58	46	38	31	33	34	37
LF80	0,171	0,128	0,123	0,115	0,117	0,125	0,130	0,152
SPL(A) = 48,6(dB) LG80* = 28,0(dB) STI = 0,69 (Theoretical based on T30, STI = 0,63)								
Receiver Number: 20 No description		(x,y,z) = (20,00, -80,00, 5,00)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	1,04	0,82	0,74	0,46	0,26	0,48	0,25	0,67
T30 (s)	1,50	1,12	0,92	0,99	0,89	0,86	0,64	0,58
SPL (dB)	45,1	42,3	42,0	41,4	41,1	40,8	40,3	39,6
C80 (dB)	3,4	5,4	6,9	8,3	11,0	10,8	10,1	10,6
D50	0,53	0,64	0,68	0,72	0,76	0,76	0,75	0,77
Ts (ms)	74	55	46	39	32	33	35	36
LF80	0,173	0,147	0,153	0,155	0,160	0,166	0,168	0,164
SPL(A) = 47,7(dB) LG80* = 27,7(dB) STI = 0,67 (Theoretical based on T30, STI = 0,59)								
Receiver Number: 21 No description		(x,y,z) = (20,00, -76,00, 5,00)						
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0,98	1,01	0,77	0,62	0,69	0,28	0,37	0,70
T30 (s)	1,19	1,08	0,95	0,99	0,87	0,86	0,65	0,52
SPL (dB)	45,0	42,2	41,9	41,3	41,0	40,8	40,3	39,7
C80 (dB)	3,7	5,4	6,7	8,0	10,1	10,0	9,6	10,6
D50	0,54	0,62	0,65	0,68	0,72	0,71	0,71	0,75
Ts (ms)	71	54	45	39	32	33	34	35
LF80	0,198	0,154	0,156	0,153	0,155	0,160	0,163	0,188
SPL(A) = 47,6(dB) LG80* = 28,5(dB) STI = 0,66 (Theoretical based on T30, STI = 0,60)								
EDT (s)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,98	0,82	0,69	0,46	0,26	0,28	0,25	0,38
Maximum	1,47	1,35	1,13	0,90	0,69	0,72	0,76	0,73
Average	1,30	1,13	0,90	0,70	0,52	0,57	0,59	0,58
Odeon A/S, Denmark, ©1985-2009. Restricted version - research and teaching only!						Page 5		

EK-5 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için tüm alıcı noktalarından ölçülen değerler

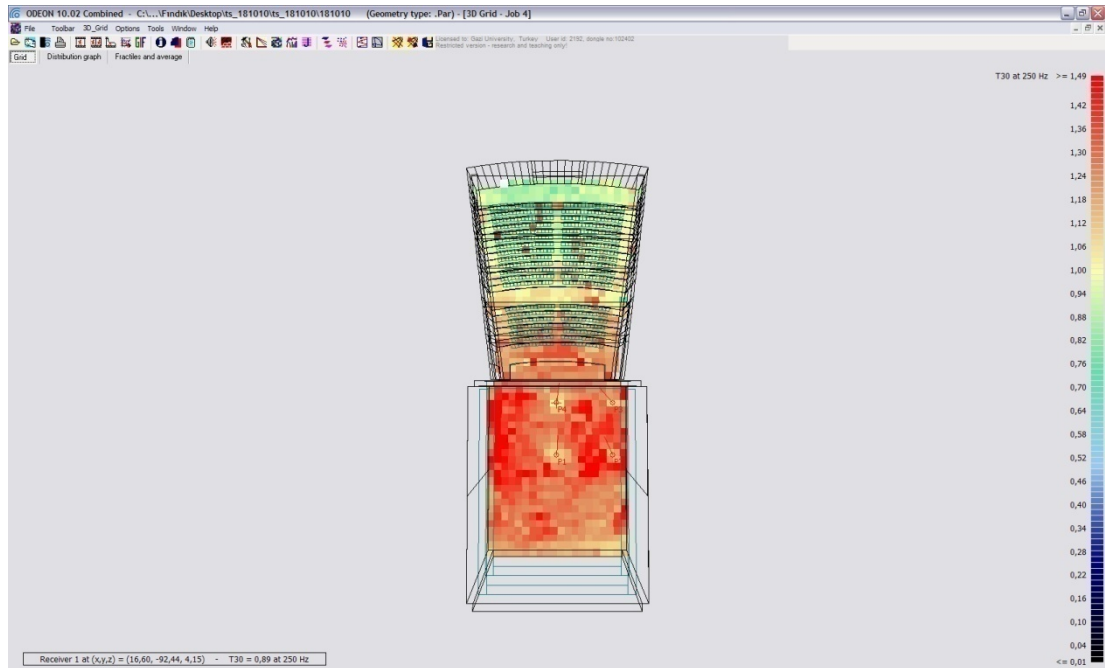
ODEON 10.02Combined		Printed: 22.10.2010 01:37:56						
Licensed to: Gazi University, Turkey		Room: C:\...ts_181010\181010						
User id: 2192, dongle no:102402		Geometry/Material/Source version: 2/7/6						
ODEON		Job number: 4 No description						
Restricted version - research and teaching only!								
T30 (s)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	1,12	1,08	0,89	0,84	0,58	0,61	0,56	0,49
Maximum	1,50	1,18	1,28	1,49	1,65	1,62	1,18	0,62
Average	1,18	1,13	1,07	1,17	1,15	1,11	0,85	0,56
SPL (dB)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	44,1	41,7	41,6	41,2	40,9	40,8	40,3	38,5
Maximum	48,0	47,2	47,2	47,3	47,0	46,7	46,4	45,2
Average	45,9	44,1	44,1	43,8	43,5	43,3	42,9	41,4
C80 (dB)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,8	3,0	4,6	5,8	7,5	6,5	6,4	6,8
Maximum	3,7	5,4	7,2	8,9	11,8	11,3	10,6	10,8
Average	2,1	4,3	5,9	7,2	9,3	8,7	8,3	8,5
D50								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,38	0,54	0,59	0,64	0,69	0,67	0,66	0,62
Maximum	0,58	0,69	0,75	0,78	0,83	0,81	0,81	0,82
Average	0,48	0,61	0,67	0,71	0,76	0,74	0,73	0,73
Ts (ms)								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	70	50	40	35	27	29	29	26
Maximum	94	69	56	48	39	41	42	44
Average	82	61	49	42	34	36	37	36
LF80								
Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,161	0,128	0,123	0,115	0,117	0,125	0,130	0,151
Maximum	0,276	0,263	0,279	0,283	0,288	0,294	0,297	0,293
Average	0,211	0,185	0,191	0,193	0,197	0,202	0,204	0,205
SPL(A), minimum = 47,5(dB)								
SPL(A), maximum = 53,6(dB)								
SPL(A), Average = 50,1(dB)								
LG80*, minimum = 27,7(dB)								
LG80*, maximum = 35,3(dB)								
LG80*, Average = 31,2(dB)								
STI, minimum = 0,63								
STI, maximum = 0,71								
STI, Average = 0,67								
Odeon A/S, Denmark, ©1985-2009. Restricted version - research and teaching only!								

EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

T30 Süresi 125 Hz

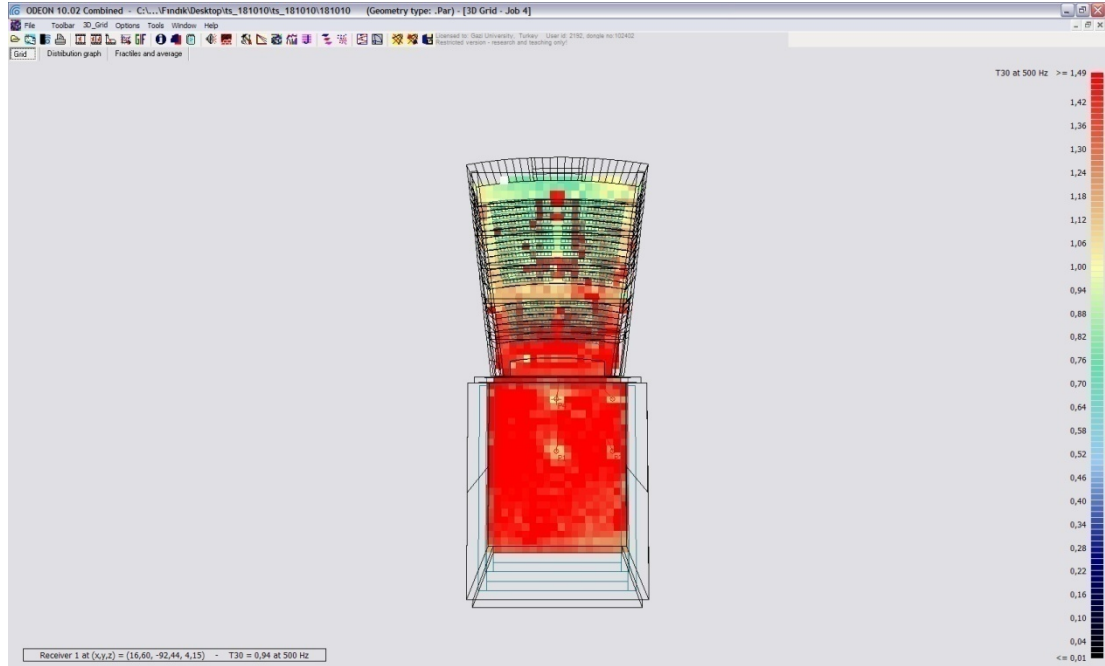


T30 Süresi 250 Hz

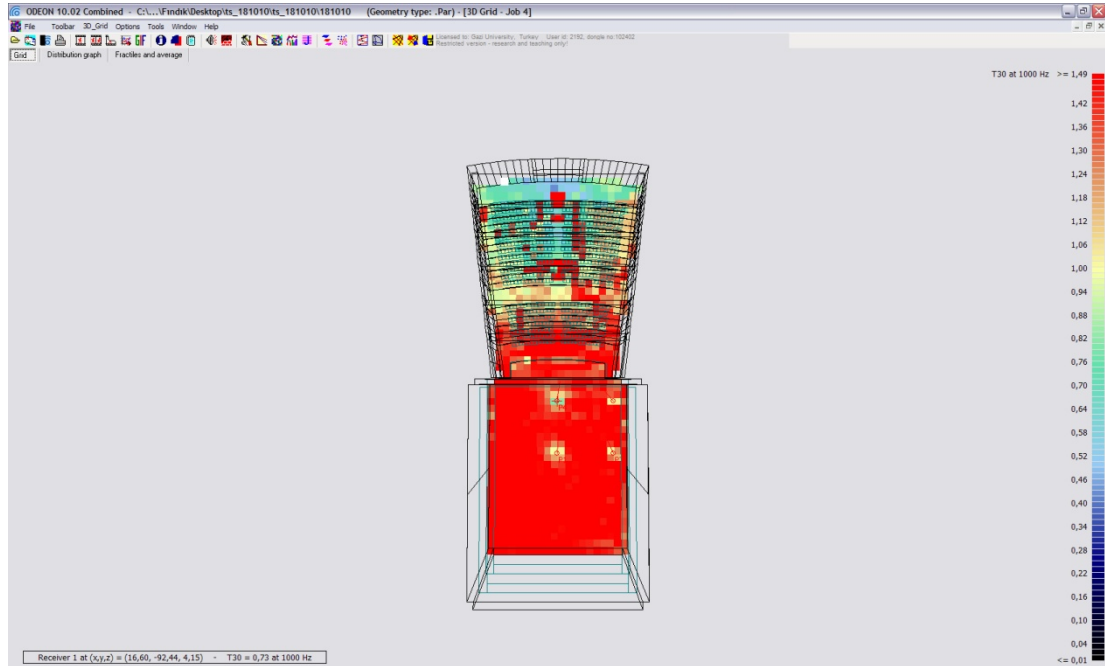


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

T30 Süresi 500 Hz

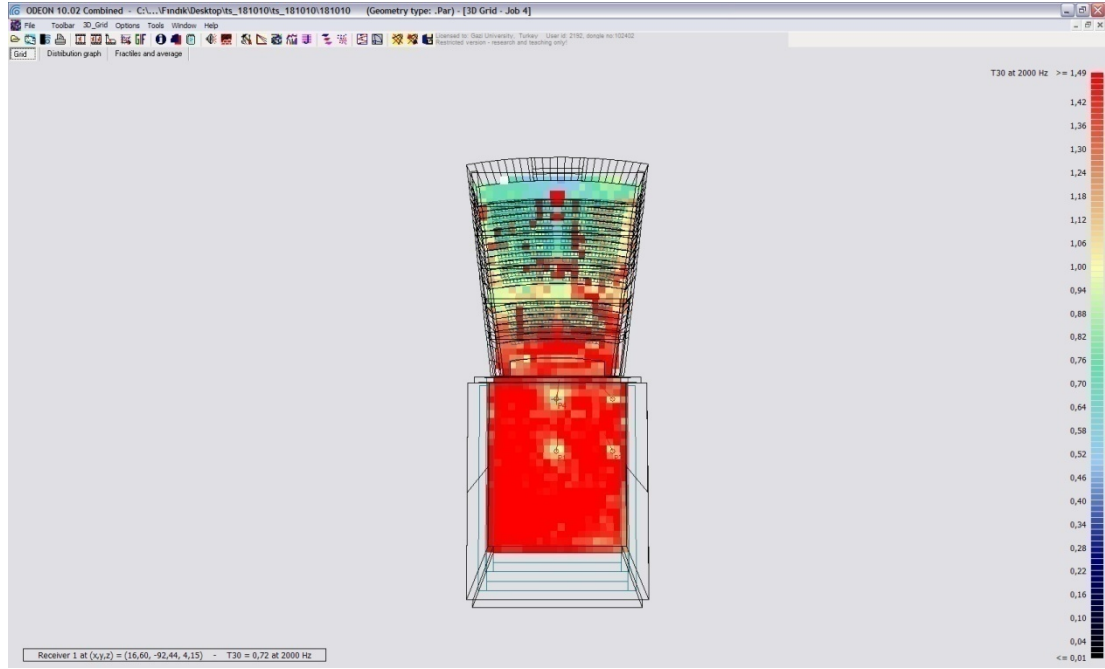


T30 Süresi 1000 Hz

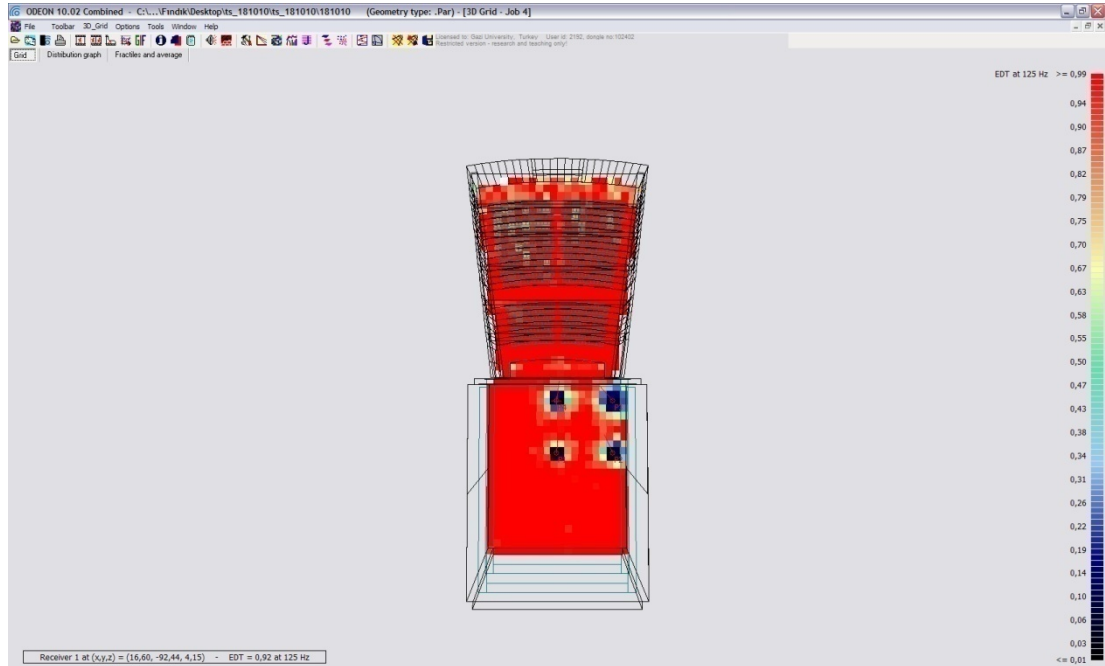


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

T30 Süresi 2000 Hz

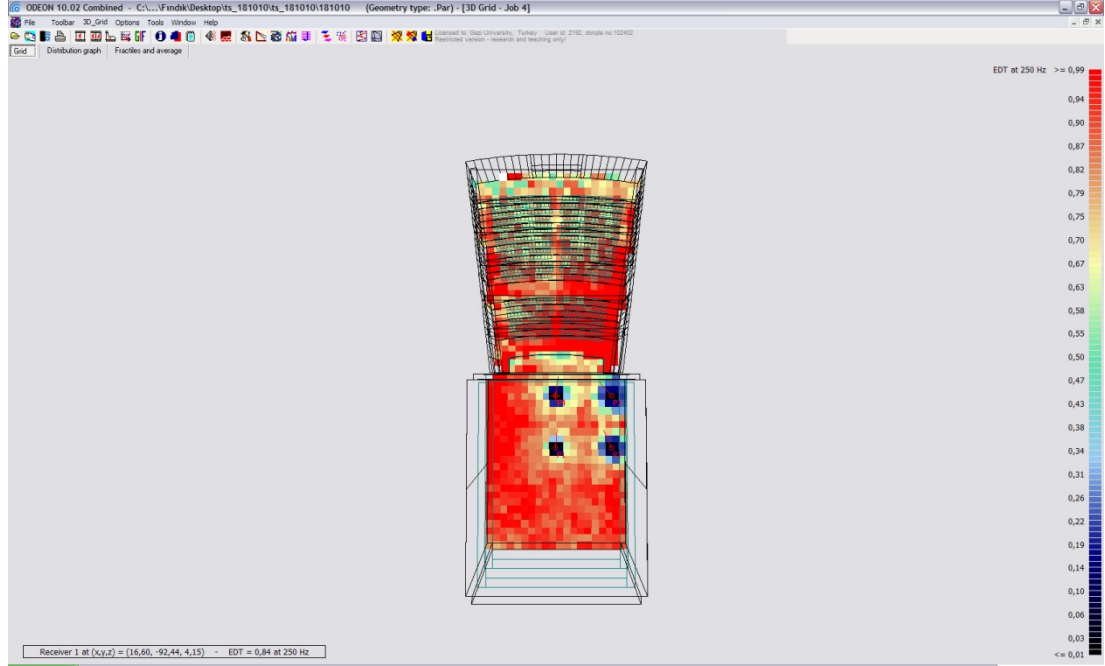


EDT Süresi 125 Hz

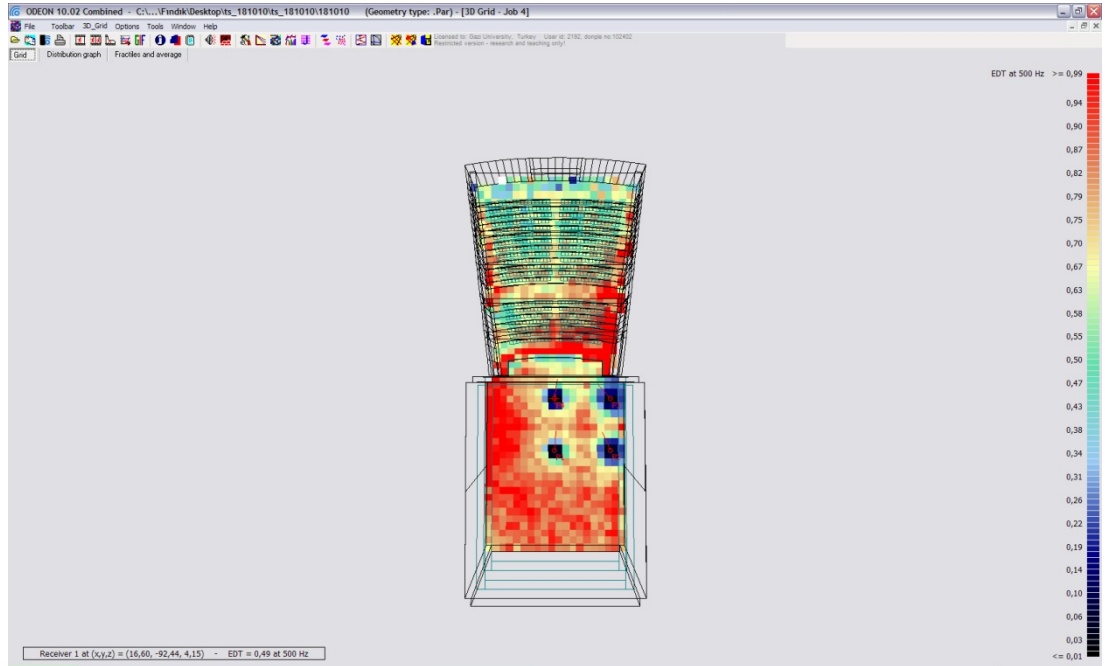


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

EDT Süresi 250 Hz

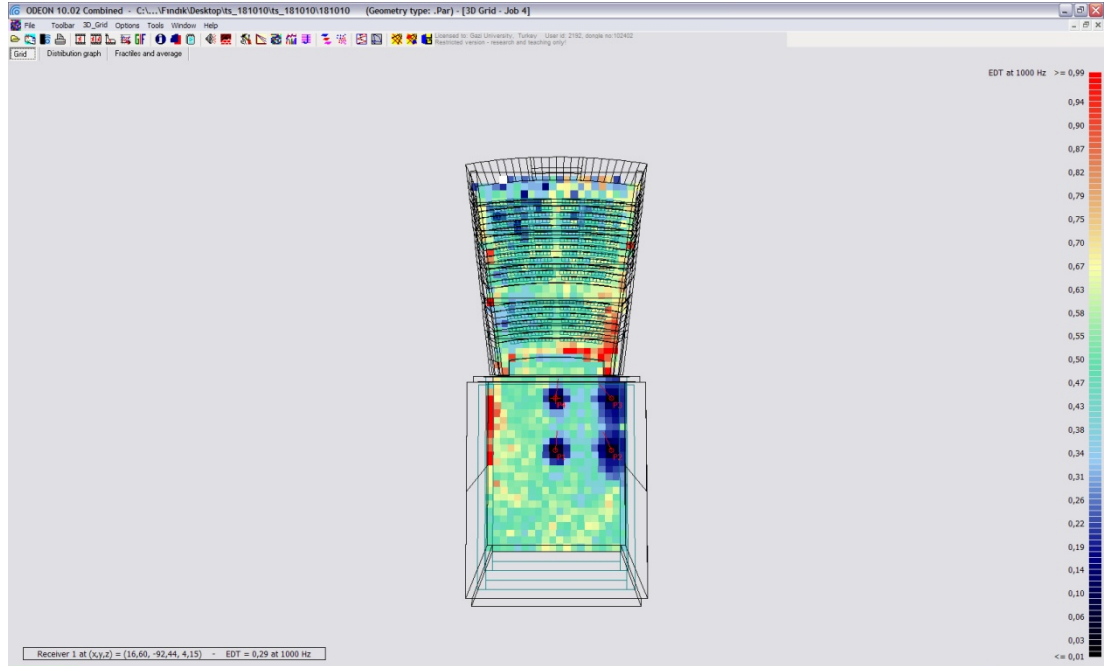


EDT Süresi 500 Hz

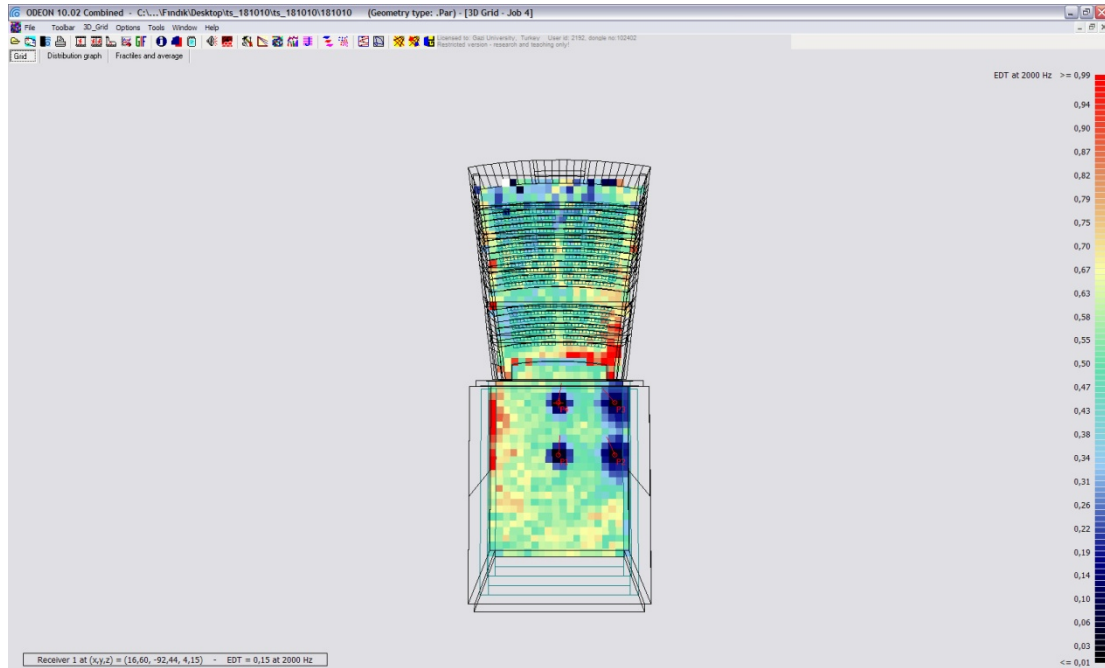


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

EDT Süresi 1000 Hz

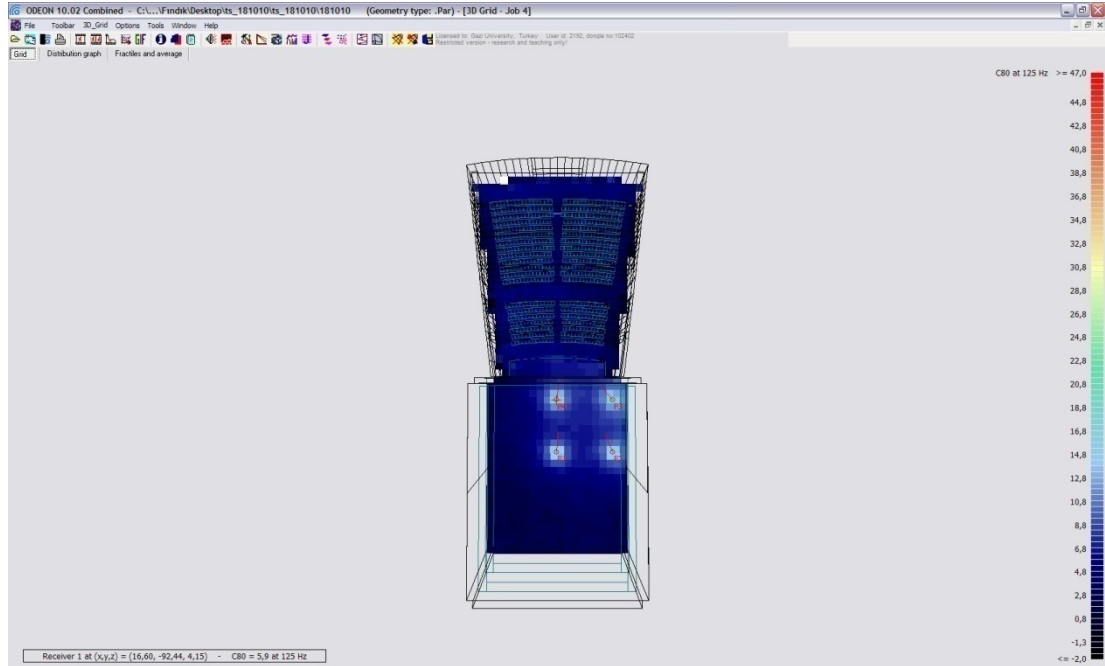


EDT Süresi 2000 Hz

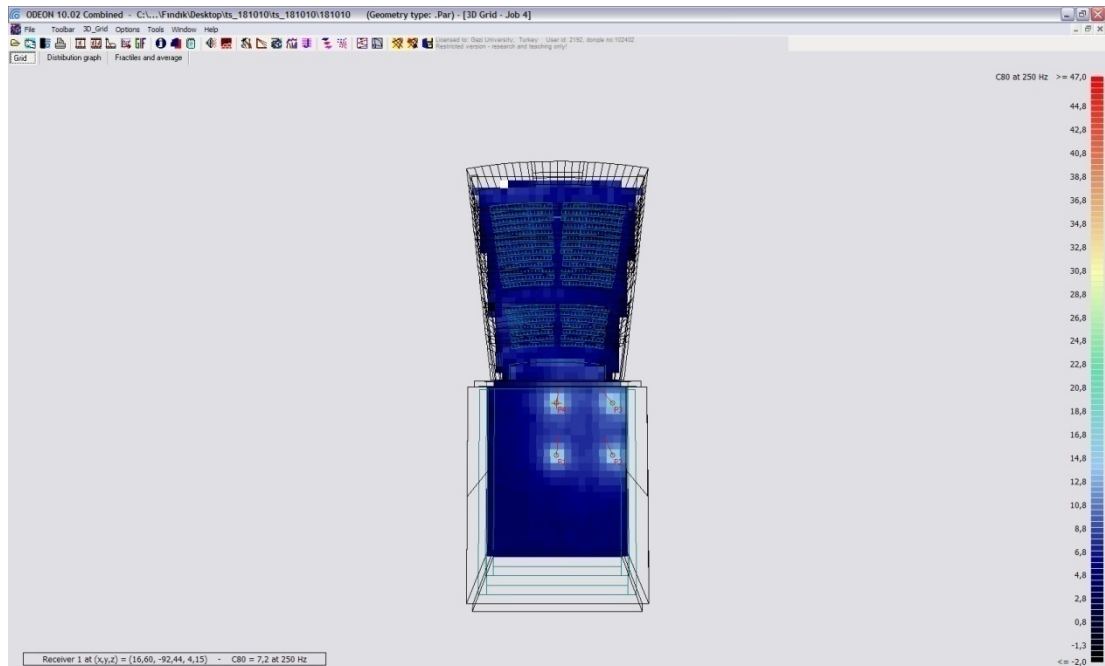


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

C80 Parametresi 125 Hz

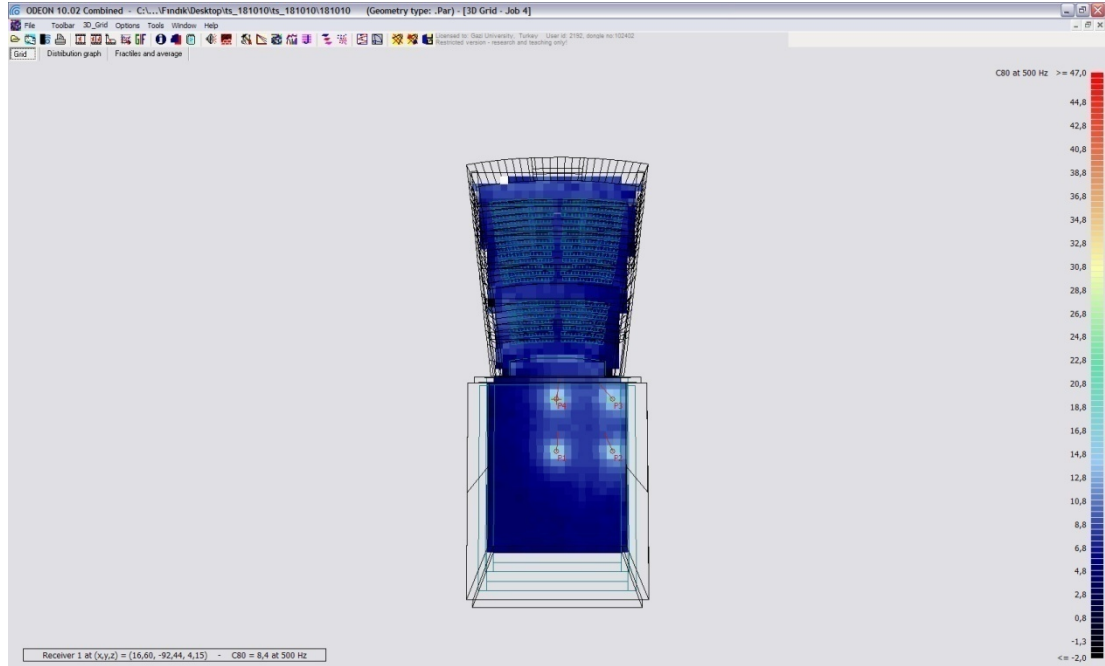


C80 Parametresi 250 Hz

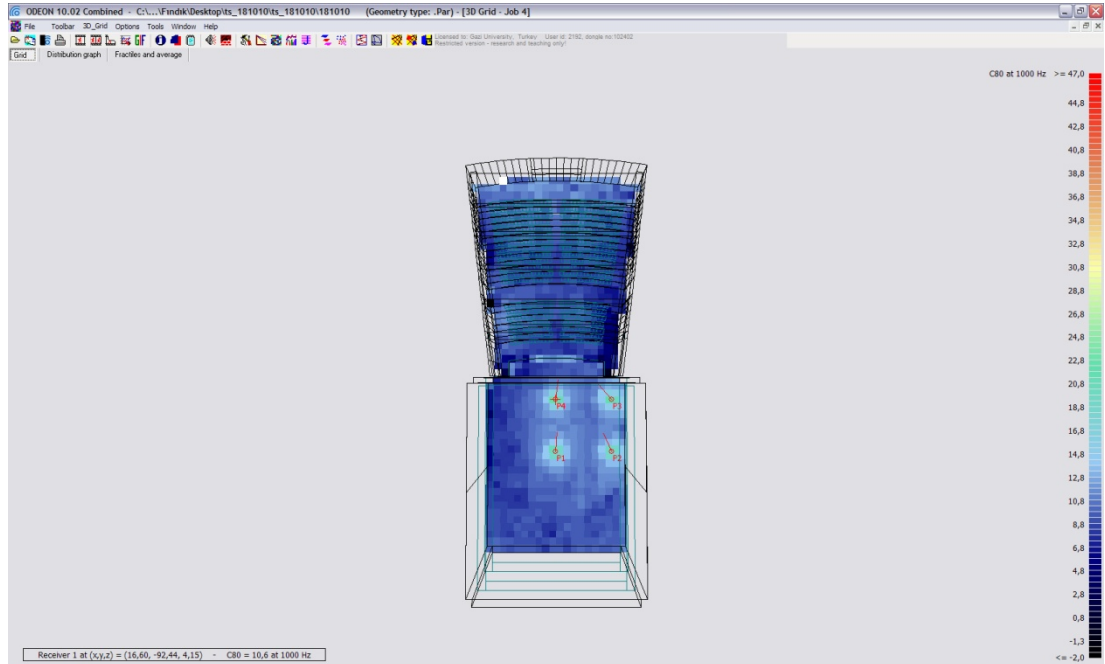


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

C80 Parametresi 500 Hz

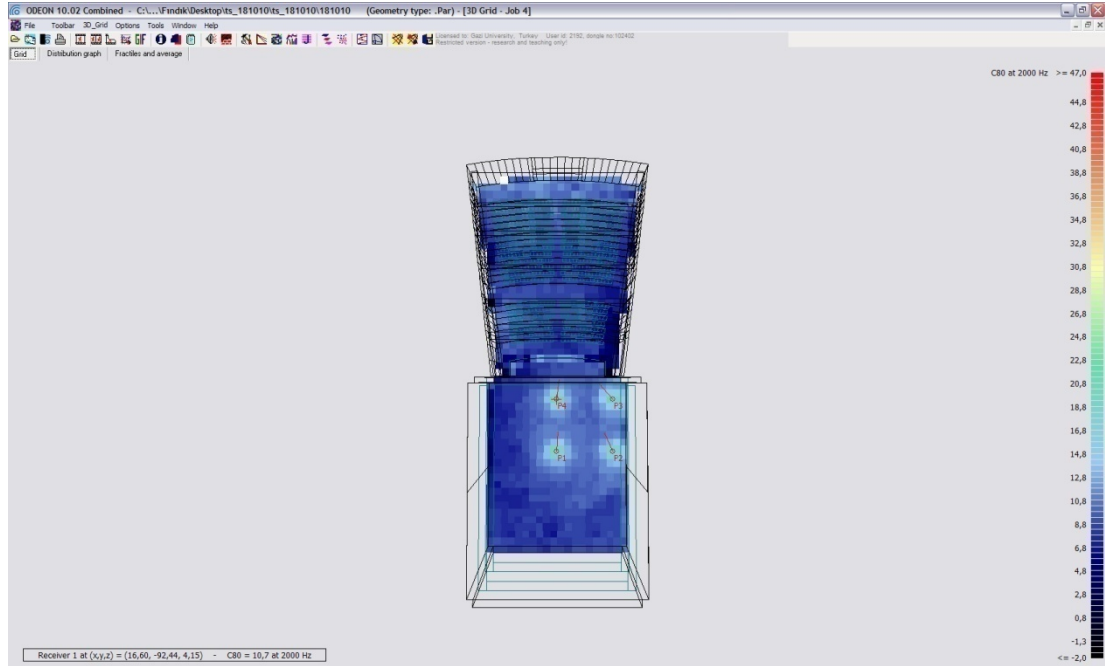


C80 Parametresi 1000 Hz

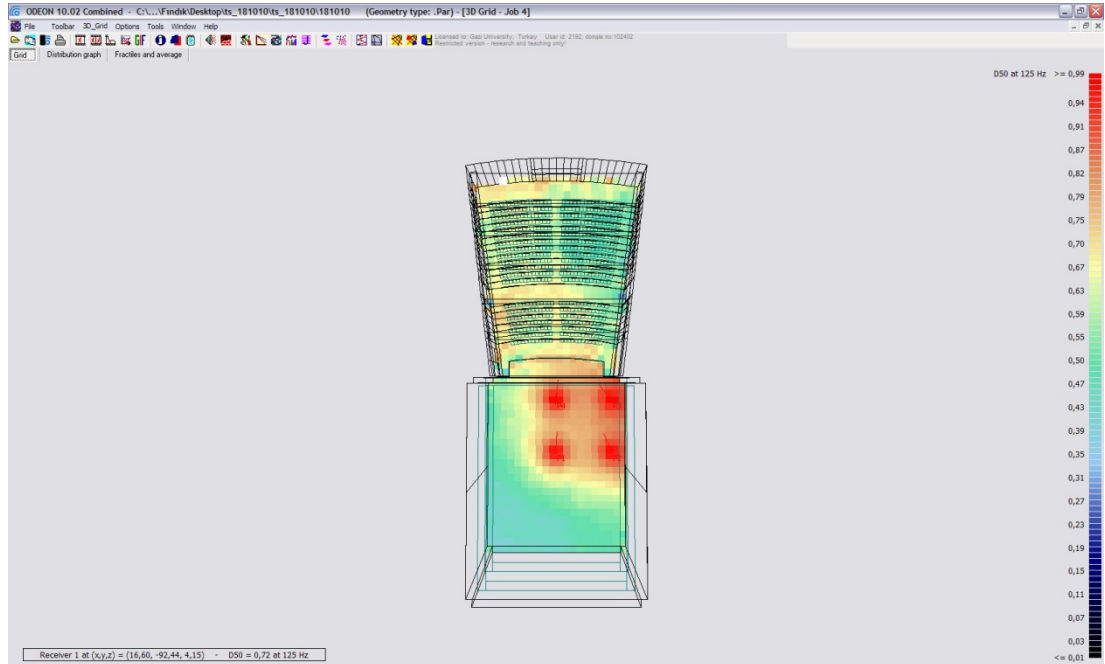


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

C80 Parametresi 2000 Hz

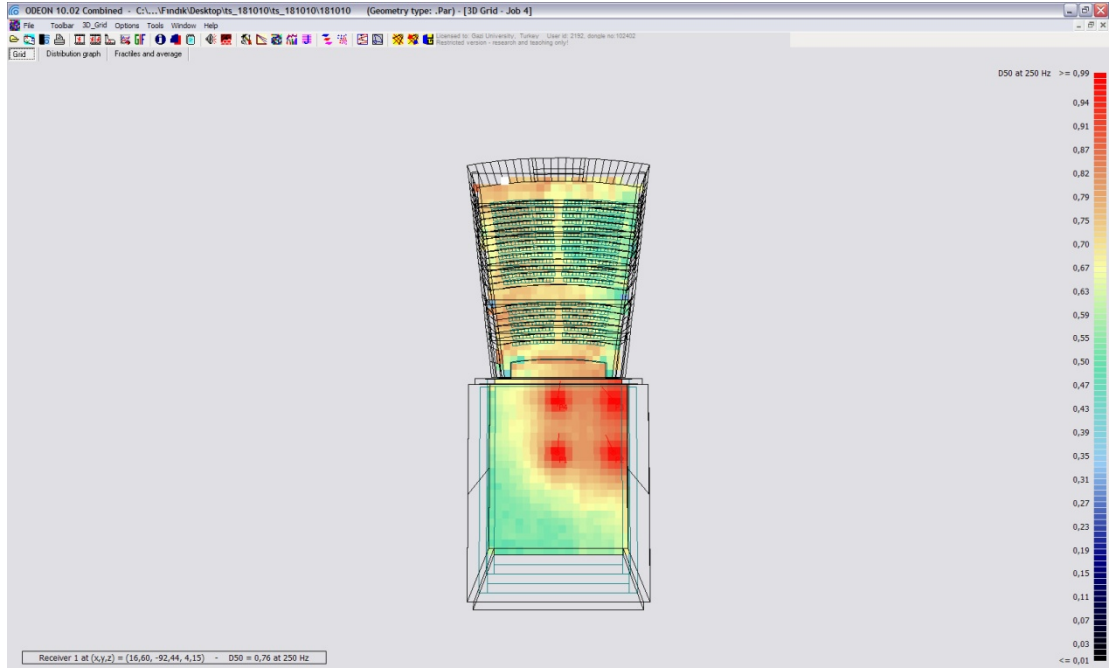


D50 Parametresi 125 Hz

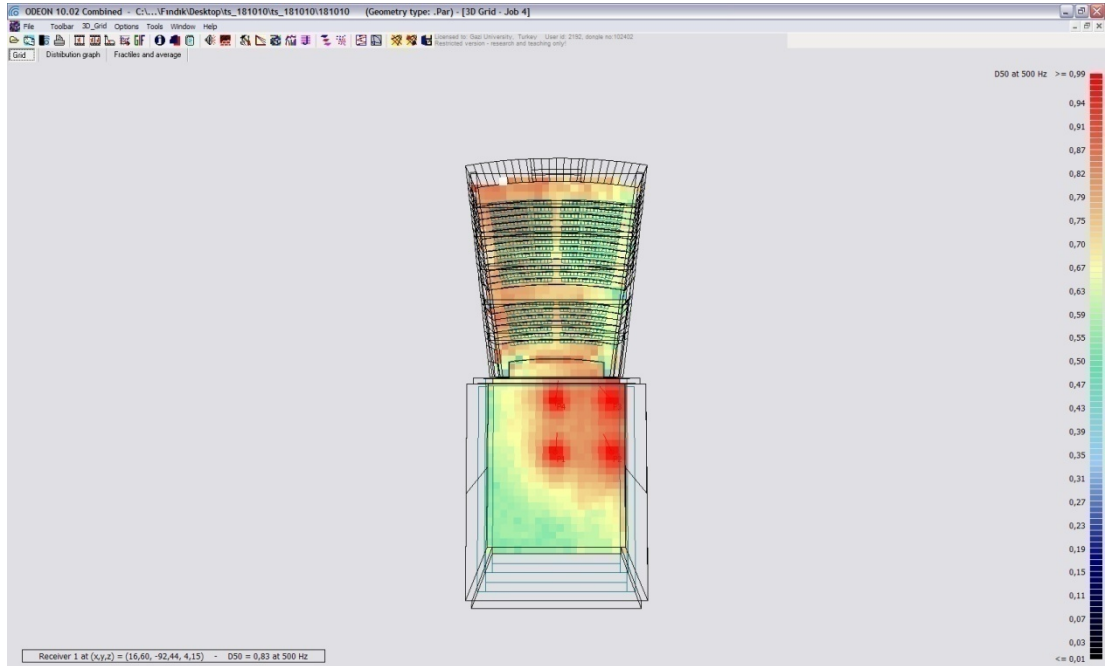


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

D50 Parametresi 250 Hz

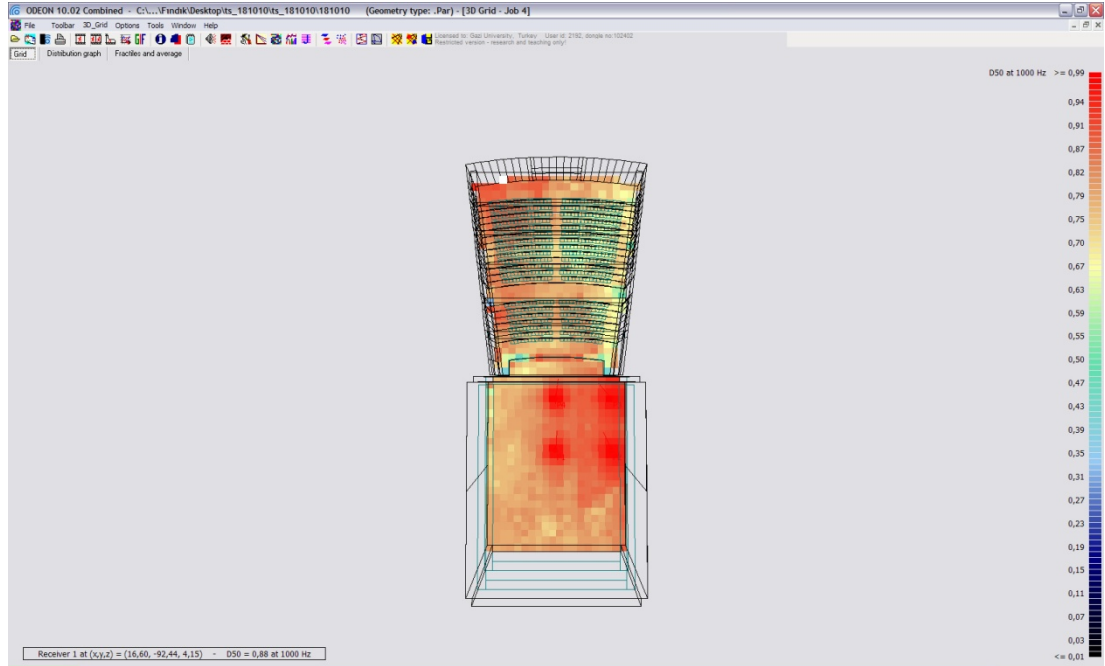


D50 Parametresi 500 Hz

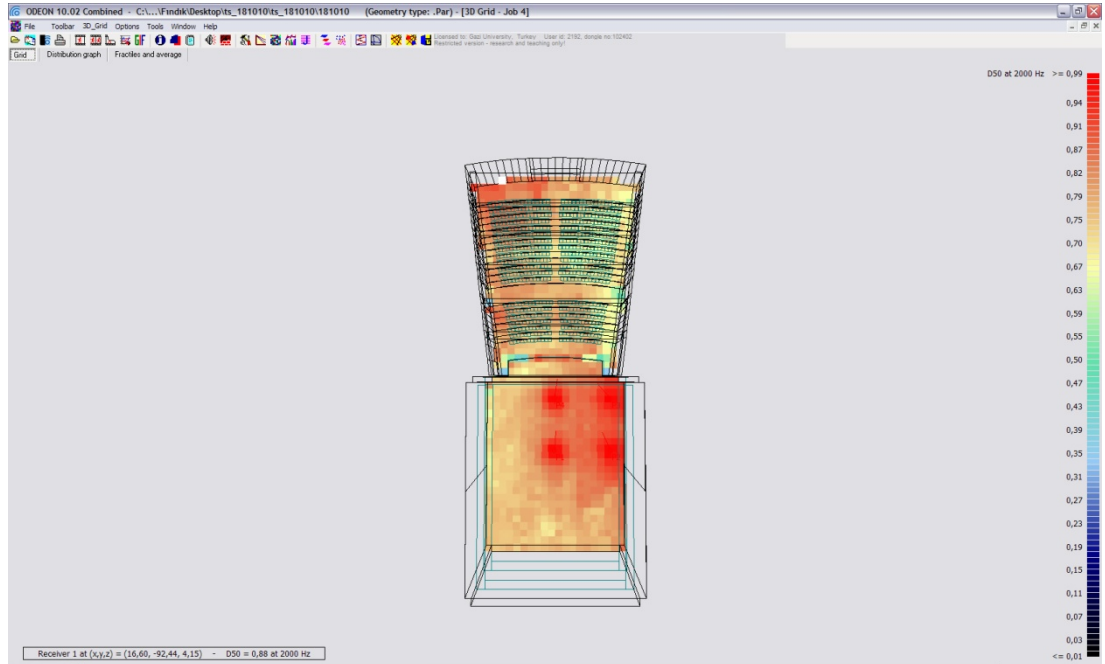


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

D50 Parametresi 1000 Hz

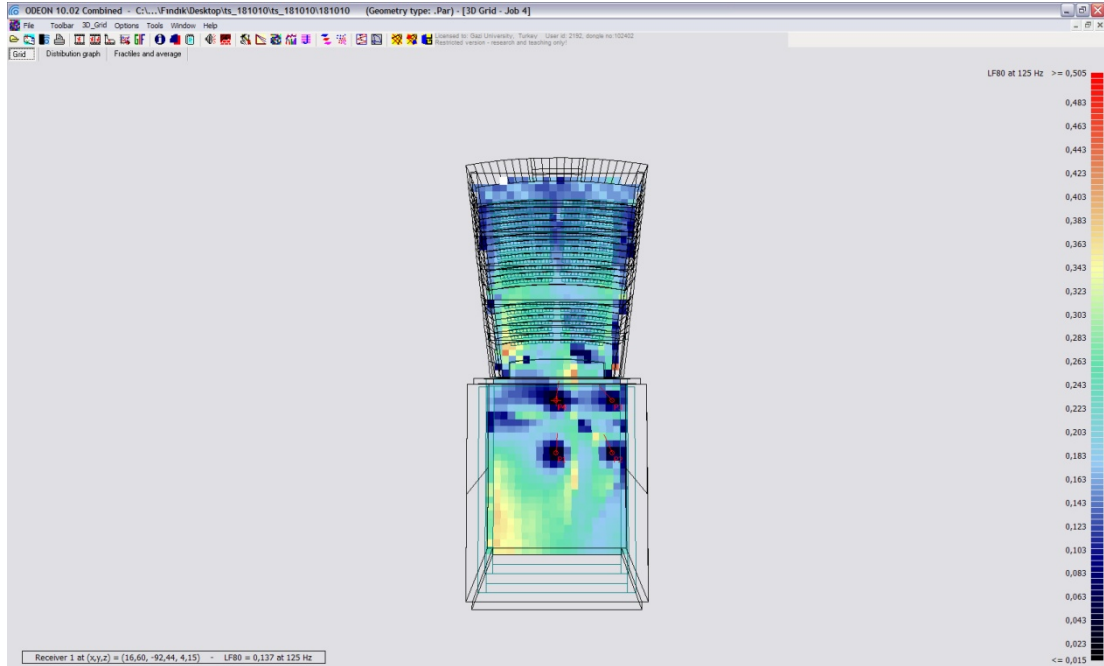


D50 Parametresi 2000 Hz

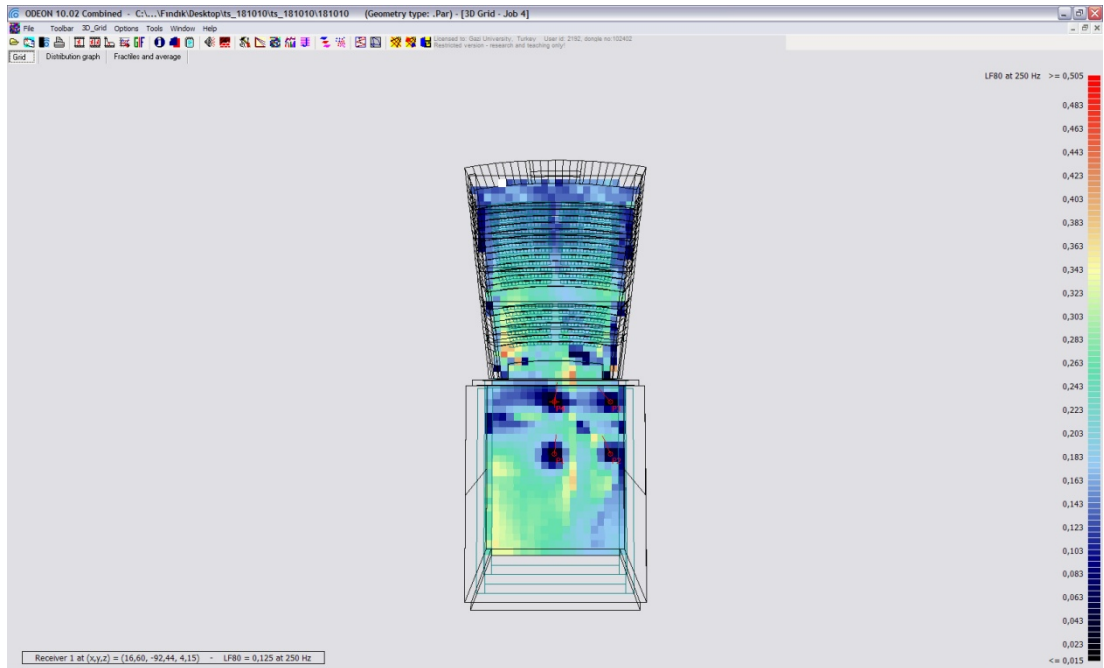


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

LF80 Parametresi 125 Hz

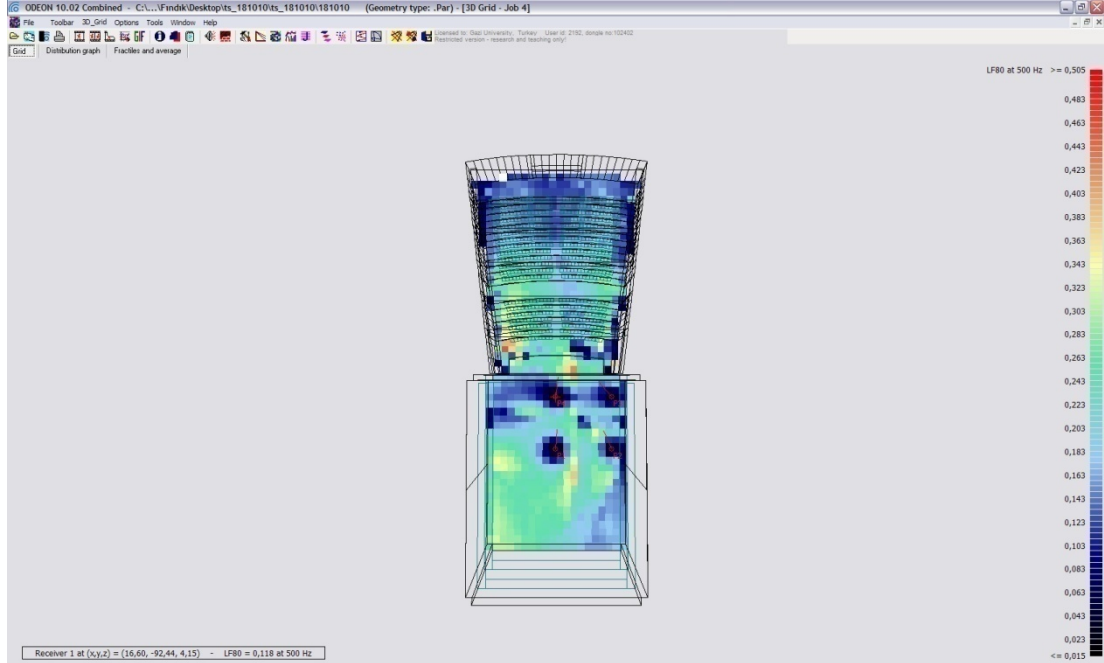


LF80 Parametresi 250 Hz

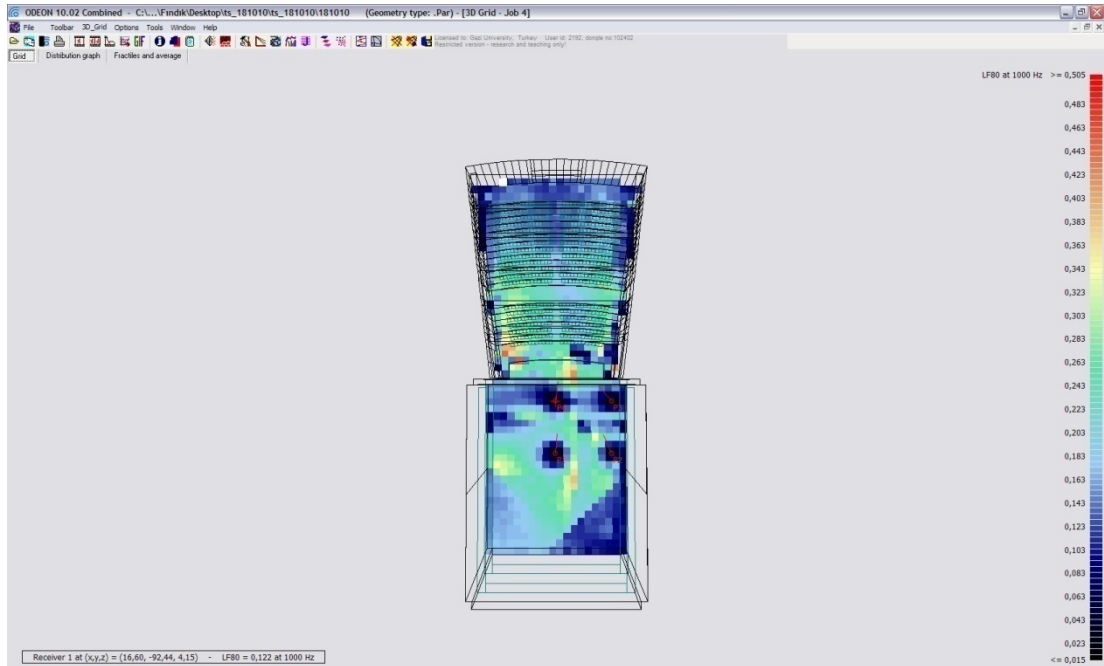


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

LF80 Parametresi 500 Hz

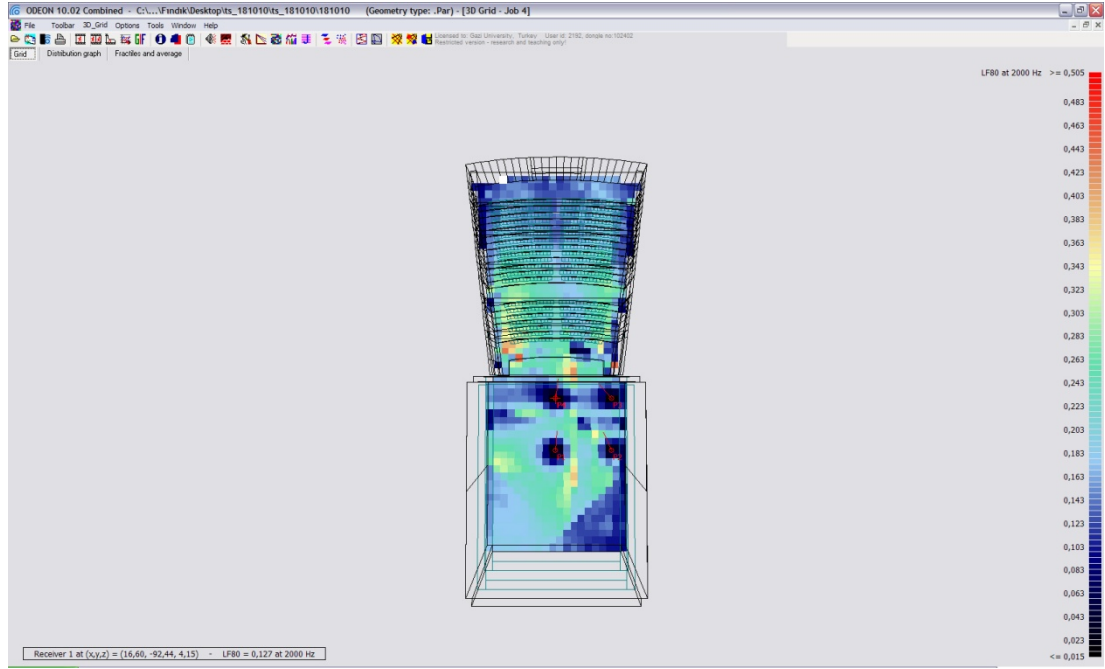


LF80 Parametresi 1000 Hz

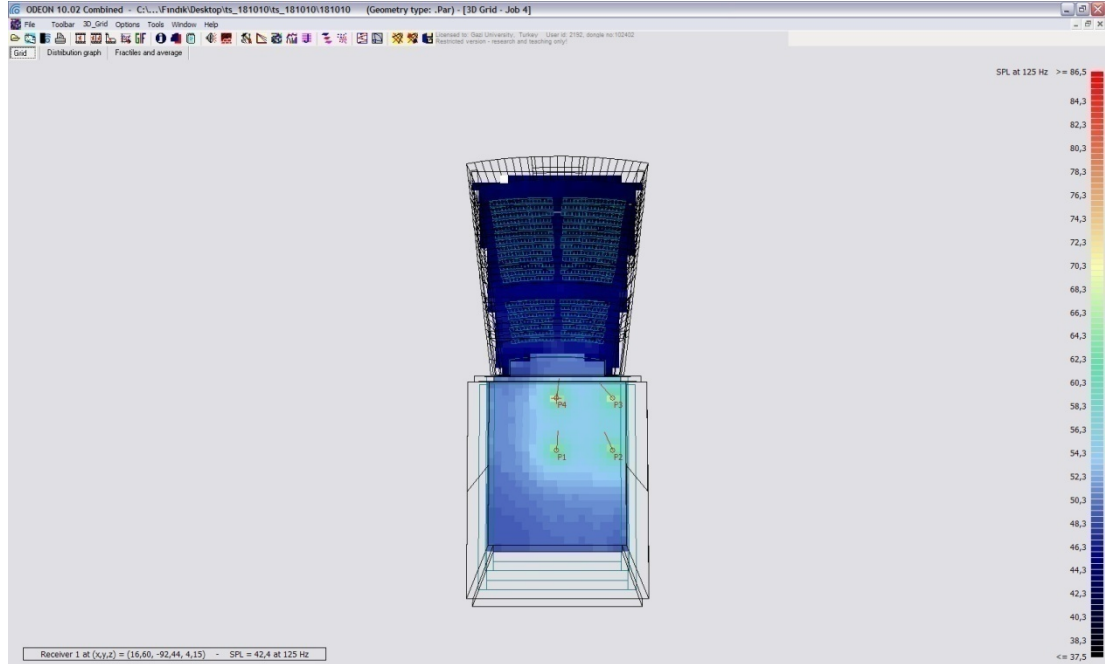


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

LF80 Parametresi 2000 Hz

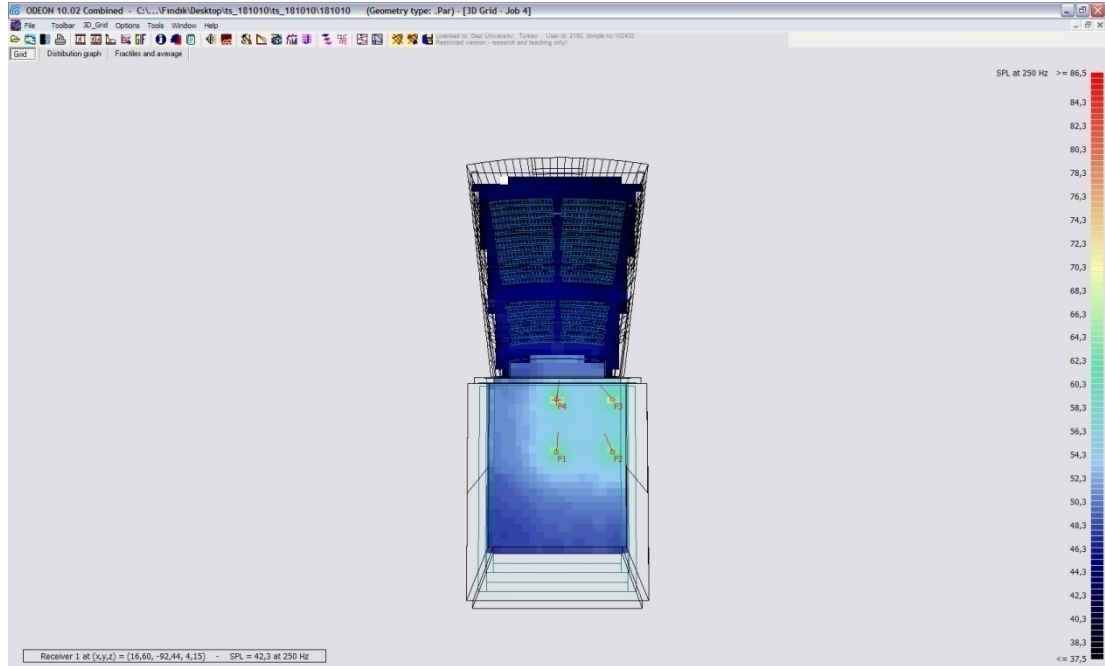


SPL Parametresi 125 Hz

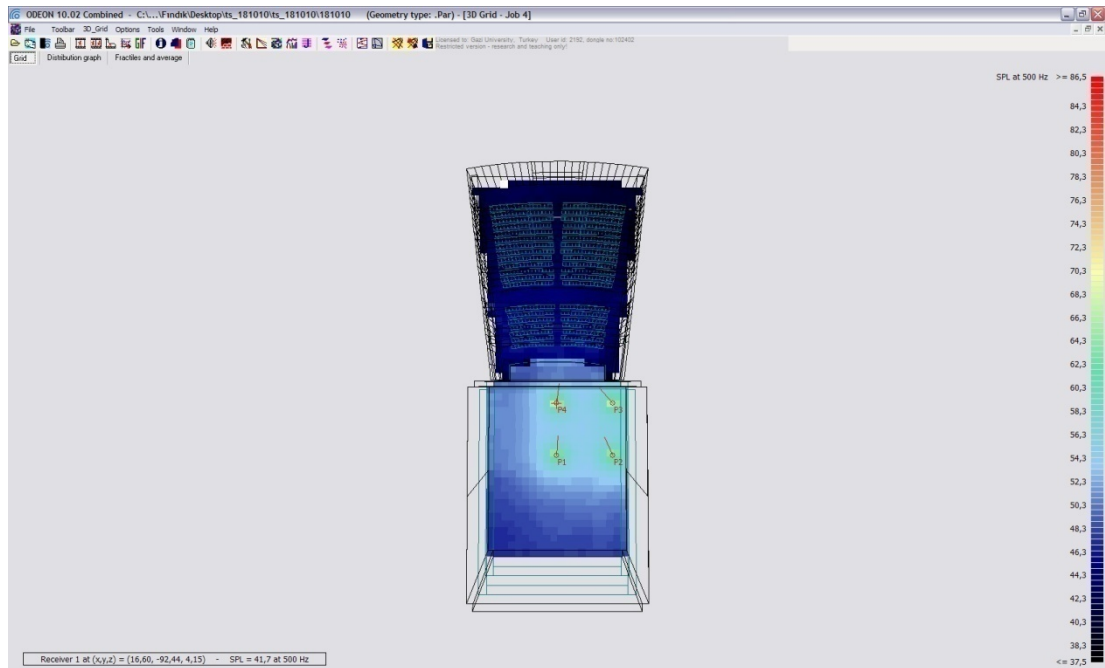


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

SPL Parametresi 250 Hz

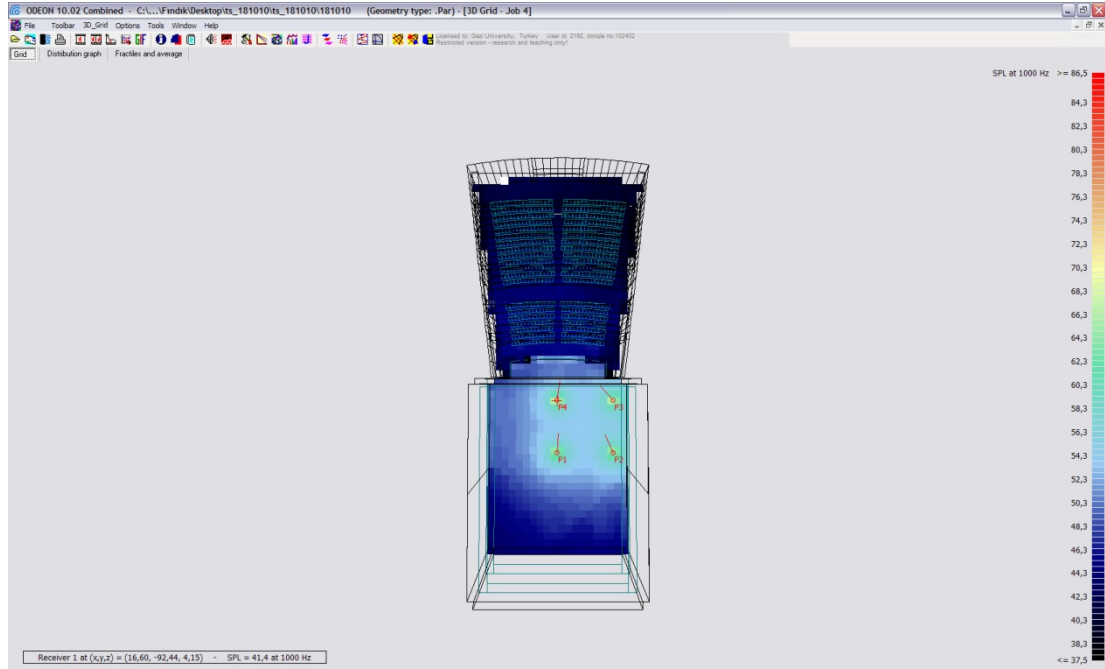


SPL Parametresi 500 Hz

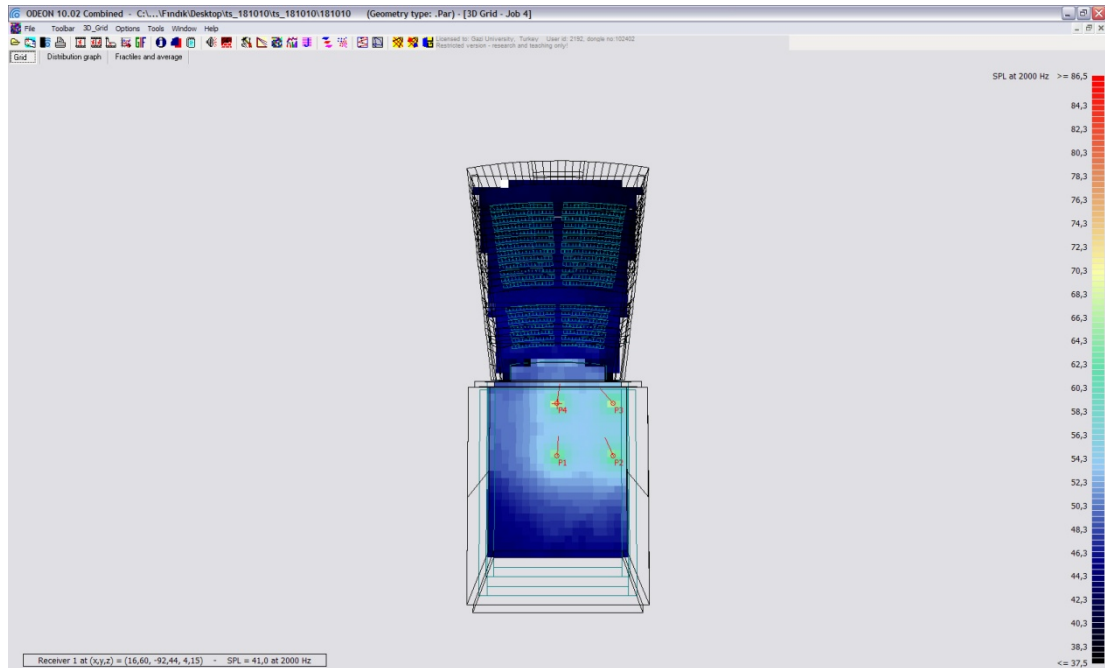


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için
ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

SPL Parametresi 1000 Hz

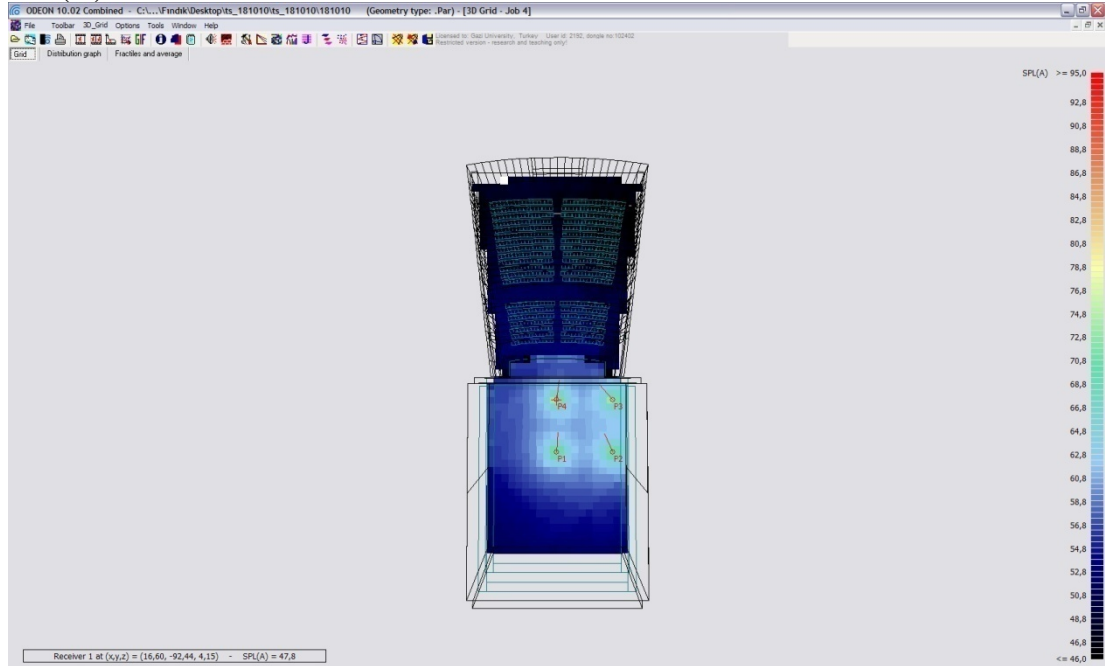


SPL Parametresi 2000 Hz

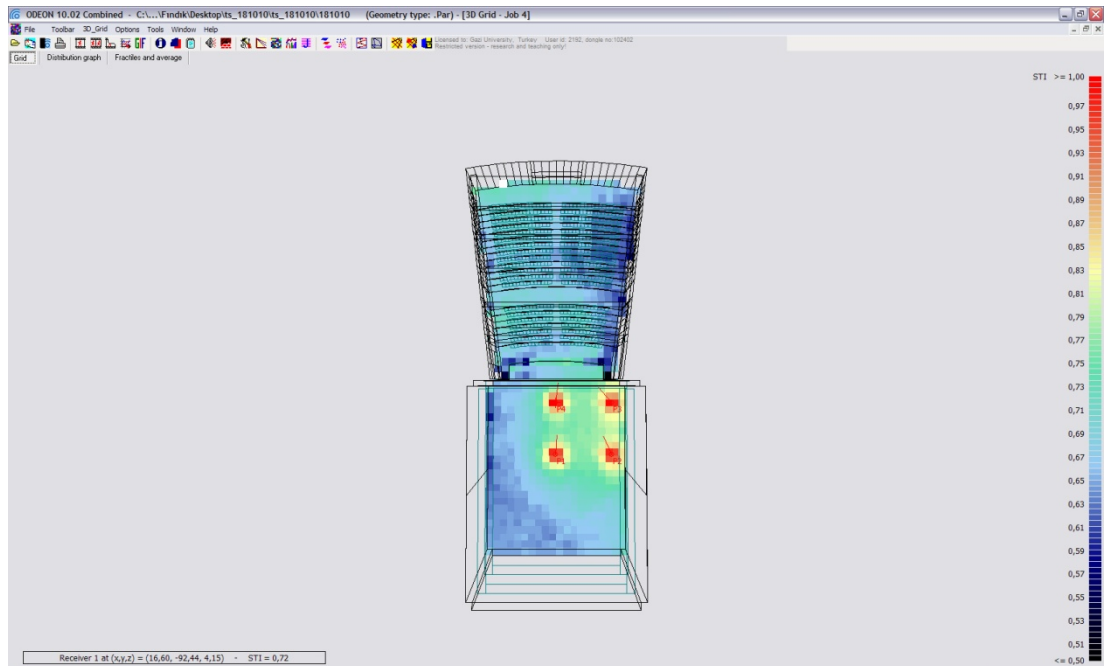


EK-6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi iyileştirilmiş durum için ölçülen parametrelerin salon içindeki dağılımları

SPL(A) Parametresi



STI Parametresi



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : İLİSULU, Sebahat Gül
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.03.1983 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0537 658 60 50
 Faks : -
 e-mail : islekgul@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lise	Çağrıbey Anadolu Lisesi	2001
Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-	Başkent Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2007-2008	Gazi Üniversitesi	Öğrenci Asistanlığı
2007	Ural Mimarlık	Mimar
2006	Mekan Proje	Mimar
2005	Dekan Tasarım	Mimar
2005	Atölye E	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce (iyi derecede), Fransızca (başlangıç)

Hobiler

Kitap okumak, film seyretmek