

TC  
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ  
MÜZİK TEKNOLOJİSİ BİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAKÜ HARD ROCK CAFE ÖRNEĞİNDE  
AKUSTİK VE ELEKTROAKUSTİK PARAMETRELERİN  
ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI

**Hazırlayan:**  
**Mahmut Sözer**

**Danışman:**  
**Prof. Dr. Feridun ÖZİŞ**

İZMİR – 2016

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Bakü Hard Rock Cafe Örneğinde Akustik ve Elektroakustik Parametrelerin Analizi ve Karşılaştırması” adlı çalışmanın tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlanılan eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

..... / ..... / 2016

Adı – SOYADI

Mahmut Sözer

İmza

## TUTANAK

Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü'nün ..... / ..... / ..... tarih ve ..... sayılı toplantısında oluşturulan jüri, Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği'nin ..... maddesine göre Müzik Teknolojisi Bilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Mahmut SÖZER'in "Bakü Hard Rock Café Örneğinde Akustik ve Elektroakustik Parametrelerin Analizi ve Karşılaştırması" konulu tezi incelenmiş ve aday ...../...../..... tarihinde, saat ..... 'da jüri önünde tez savunmasına alınmıştır.

Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini savunmasından sonra ..... dakikalık süre içinde gerek tez konusu, gerekse tezin dayanağı olan anabilim dallarından jüri üyelerine sorulan sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin

..... olduğuna oy ..... ile karar verildi.

BAŞKAN

ÜYE

ÜYE

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DÖKÜMANTASYON MERKEZİ  
TEZ VERİ FORMU**

Tez No:

Konu Kodu:

Üniv. Kodu:

Not: Bu bölüm merkezimiz tarafından doldurulacaktır.

**Tez Yazarının****Soyadı:** Sözer**Adı:** Mahmut**Tezin Türkçe Adı** : Bakü Hard Rock Cafe Örneğinde Akustik ve Elektroakustik Parametrelerin Analizi ve Karşılaştırması**Tezin Yabancı Dildeki Adı** : An Analysis and Comparison of Acoustical and Electroacoustical Parameters in the Case Study of Baku Hard Rock Cafe**Tezin Yapıldığı:****Üniversite:** Dokuz Eylül Üniversitesi**Enstitü:** Güzel Sanatlar Enstitüsü**Yıl:** 2016**Diğer Kuruluşlar:****Tezin Türü:**

Yüksek Lisans

**Dili** : Türkçe

Doktora

**Sayfa Sayısı** : 64

Sanatta Yeterlik

**Referans Sayısı** : 15

Tıpta Uzmanlık

**Tez Danışmanı / Danışmanlarının:****Ünvanı:** Prof. Dr.**Adı:** Feridun**Soyadı:** Öziş**Türkçe Anahtar Kelimeler:**

- 1- Akustik
- 2- Elektroakustik
- 3- Parametre
- 4- Müzik
- 5- Rock

**İngilizce Anahtar Kelimeler:**

- 1- Acoustical
- 2- Electroacoustical
- 3- Parameter
- 4- Music
- 5- Rock

**Tarih:** 29/06/2016**İmza:**

Tezimin Erişim Sayfasında Yayımlanmasını İstiyorum:

Evet Hayır

## ÖZET

Hacim akustiği tasarımında kullanılan tasarım ölçütleri, yirminci yüzyılın başından bu yana sürdürülen araştırmalar ile tanımlanmış olan akustik parametrelere dayandırılmaktadır. Söz konusu parametrelerin tasarımsal hedef değerleri, hacimlerin kullanım amaçlarına göre belirlenmektedir. Müzikal performans mekanları için belirlenmiş olan akustik parametrelerin değer aralıkları, hemen hemen tümüyle senfonik müzik, opera ve oda müziği gibi batı sanat müziği türlerinin hacim akustiğine bağlı biçimde icra edildiği salonlar için belirlenmiştir. Diğer yandan geniş bir izler kitleye sahip rock ve pop müzik mekanlarının tasarımında kullanılabilecek parametre değer aralıklarına ilişkin araştırmalar son bir kaç yılı kapsamaktadır. Söz konusu araştırmalarda rock ve pop müzik salonlarının akustik tasarımına yönelik yeni değer aralıkları önerilmiş olmakla birlikte bu öneriler iç mimari özelliklere dayalı zaman parametreleriyle sınırlı kalmış ve ses destek sisteminin etkileri henüz kapsamlı biçimde incelenmemiştir.

Bu tez çalışmasında ses destek sistemi hoparlörlerinin ses yayma örüntülerinin ve dağıtılmış ses sistemi dolayısıyla karmaşıklaşan ses kaynağı-alıcı etkileşimlerinin ölçülen akustik parametre sonuçlarını etkileme potansiyeli ele alınmıştır. Ses destek sistemi ile işletilecek müzikal performans mekanlarının tasarımında, hacim akustiği simülasyonunun, kurulması öngörülen sabit ses destek sistemini de kapsayacak şekilde elektroakustik simülasyon olarak genişletilmesinin daha gerçekçi tasarım verileri sağlayacağı varsayılmıştır. Bu amaçla örnek olarak seçilen ve elektroakustik projesi bu tezin yazarı tarafından gerçekleştirilen Bakü Hard Rock Cafe'de iki farklı simülasyon senaryosu tasarlanmıştır. İlk senaryoda onaylı hoparlör simülasyon verileri ile ses destek sisteminin canlandırıldığı elektroakustik simülasyon gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ikinci senaryoda omni ses kaynağı ile yapılan standart hacim akustiği simülasyonundan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gözlenen farklar, parametrelerin Hissedilebilir Eşik Değerleri (JND) ile karşılaştırılarak sonuç bölümünde değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Akustik, Elektroakustik, Parametre, Müzik, Rock

## ABSTRACT

Room acoustics design criteria are based on the acoustical parameters that were defined via numerous researches along the twentieth century. Target design values of the parameters depend on the intended purpose of a room. The value intervals of the acoustical parameters regarding musical performance halls are defined almost only for the halls for western art music genres such as symphonic music, opera and chamber music. The researches on rock and pop music halls to discover relevant value intervals of the acoustical parameters, however, cover only last few years. Although new value intervals were recommended for acoustical design of rock and pop music halls, the recommendations are limited to time parameters that are derived from room acoustics of interior architecture, yet the effects of sound reinforcement system were not examined extensively.

In this dissertation, it is assumed that directivity patterns of sound system loudspeakers and complex source-receiver interaction due to distributed sound system are the aspects that have potential to influence measured parameters. It is hypothesized that extending the room acoustic simulation to incorporate the electroacoustical system will yield more relevant data for the design stage of amplified music performance halls. Baku Hard Rock Café, of which electroacoustical project was prepared by the author of this dissertation, was selected as the case study and two simulation scenarios were designed. In the first scenario, the sound system was simulated by the approved loudspeaker simulation data. The results were compared to the results obtained in the second scenario which is a standard room acoustic simulation with omni sound source. In the conclusion, the observed differences were evaluated by comparison to Just Noticeable Difference (JND) thresholds for each parameter.

**Keywords:** Acoustical, Electroacoustical, Parameter, Music, Rock

## ÖNSÖZ

Müzik eğitimi almış bir mühendis olarak, lisansüstü aşamada akustik alanına yöneldiğimde, her iki disiplinin bulunduğu bu özel sahayı heyecanla keşfetmeye başladım. Rock ve Pop müzik mekanlarının akustik özellikleri konusunu ilk kez danışman hocam Prof. Dr. Feridun Öziş ile ders aşamasında ele almıştık. Elektroakustik proje mühendisi olarak çalışmakta olduğum Karakutu Elektroakustik Ltd. şirketinde Bakü Hard Rock Cafe için hazırladığımız ses sistemi projesini, hacim akustiği simülasyonuna dahil ederek tasarımı hacim akustiği ve elektroakustik simülasyon sonuçlarını karşılaştırarak geliştirme fikri bu tezin temelini oluşturdu.

Bu tez çalışması, bilimsel hazırlık, ders aşaması ve nihayetinde tez aşamasıyla birlikte üç yılı kapsayan yoğun bir sürecin ürünü olarak ortaya çıktı. Bu tezin yazımına ayrılan zaman, eşimin ve şimdi iki yaşına basmak üzere olan küçük Mete'mizin yanında olmadığım zamanların paha biçilmez toplamından oluşuyor. O yüzden bu çalışmayı tamamlayabilmeyi, beni akademik bir çalışma yapmaya teşvik eden ve desteğini her an hissettiren eşim Doç. Ece Sözer'e borçluyum. Bana olan inançları ve destekleriyle devam etmemi mümkün kılan tüm aileme teşekkür ederim.

Bu tezin yazımı sırasında rehberliğiyle yolumu aydınlatan danışman hocam Prof. Dr. Feridun Öziş'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Karakutu Elektroakustik şirketini kurup kısa sürede uluslararası seviyeye çıkararak sıra dışı bir profesyonel deneyim ortamı yaratan ve desteğini büyük bir cömertlikle sunan Erdal Kara'ya içtenlikle teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen Karakutu'daki iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Dokuz Eylül Üniversitesi Müzik Teknolojisi Bilim Dalı'nda ilerici bir vizyon ile akustik ve elektroakustik konularında eğitim imkanı yaratan tüm hocalarıma en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Lisansüstü ders aşamasında profesyonel ölçekteki elektroakustik proje örnekleri ile beni mesleki olarak donatan hocam Yrd. Doç. Dr. Serhad Durmaz'a hürmetlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

<b>YEMİN METNİ</b> .....	<b>i</b>
<b>TUTANAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>YÖK DOKÜMANTASYON MERKEZİ TEZ VERİ FORMU</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>BÖLÜM - I AKUSTİK PARAMETRE ÇALIŞMALARI</b> .....	<b>3</b>
<b>I.1 Zaman Parametreleri</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 Enerji Parametreleri</b> .....	<b>4</b>
<b>I.3 Uzamsal Parametreler</b> .....	<b>5</b>
<b>BÖLÜM - II POP VE ROCK MÜZİK MEKANLARININ AKUSTİĞİ</b> .....	<b>6</b>
<b>BÖLÜM - III DENEY YÖNTEM VE HAZIRLIKLARI</b> .....	<b>10</b>
<b>III.1.1 Üç Boyutlu Simülasyon Modelinin Çizilmesi</b> .....	<b>10</b>
<b>III.1.1.1 Seyirci Alanlarının Modellenmesi</b> .....	<b>12</b>
<b>III.1.1.2 Ses Sistemi Hoparlörlerinin Modellenmesi</b> .....	<b>13</b>
<b>III.1.2 Modelin ODEON'a Aktarılması</b> .....	<b>14</b>
<b>III.1.3 Dinleyici Alanlarının Tanımlanması</b> .....	<b>15</b>
<b>III.1.4 Ses Sistemi Hoparlörleri İçin Ses Kaynağı Atamaları</b> .....	<b>17</b>
<b>III.1.5 Yüzey Malzeme Ataması</b> .....	<b>22</b>
<b>III.1.5.1 Malzeme Listesi</b> .....	<b>22</b>

III.1.5.2	Malzeme Simülasyonu .....	26
<b>BÖLÜM - IV</b>	<b>DENEY .....</b>	<b>29</b>
<b>IV.1</b>	<b>Senaryo 1: Elektroakustik Ölçüm .....</b>	<b>30</b>
IV.1.1	Ses Kaynağı Ayarları .....	30
IV.1.2	Elektroakustik Ölçüm Sonuçları .....	32
IV.1.2.1	EDT (s) .....	32
IV.1.2.2	T20 (s).....	33
IV.1.2.3	T30 (s).....	34
IV.1.2.4	Ts (ms).....	35
IV.1.2.5	D50.....	36
IV.1.2.6	C80 (dB).....	37
IV.1.2.7	LF80 .....	38
IV.1.3	Elektroakustik Ölçüm Sonuçlarının Analizi.....	39
IV.1.3.1	Zaman Parametreleri .....	39
IV.1.3.2	Enerji Parametreleri.....	41
<b>IV.2</b>	<b>Senaryo 2: Akustik Ölçüm .....</b>	<b>43</b>
IV.2.1	Ses Kaynağı Ayarları .....	43
IV.2.2	Akustik Ölçüm Sonuçları .....	46
IV.2.2.1	EDT (s) .....	46
IV.2.2.2	T20 (s).....	47
IV.2.2.3	T30 (s).....	48
IV.2.2.4	Ts (ms).....	49
IV.2.2.5	D50.....	50
IV.2.2.6	C80 (dB).....	51
IV.2.2.7	LF80 .....	52
IV.2.3	Akustik Ölçüm Sonuçlarının Analizi.....	53
IV.2.3.1	Zaman Parametreleri .....	53
IV.2.3.2	Enerji Parametreleri.....	55
<b>IV.2.4</b>	<b>Elektroakustik - Akustik Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması</b>	<b>57</b>
IV.2.4.1	EDT .....	57
IV.2.4.2	T20.....	58
IV.2.4.3	T30.....	58

IV.2.4.4	Ts .....	59
IV.2.4.5	D50.....	59
IV.2.4.6	C80.....	60
IV.2.4.7	LF80 .....	60
<b>IV.2.5 Simülasyon Sonuçlarının Literatürdeki Sonuçlarla Karşılaştırılması.....</b>		<b>61</b>
<b>SONUÇ .....</b>		<b>62</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>		<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>		



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Model Perspektif Görünümü .....	11
Şekil 2. Model Kesit Görünümü .....	12
Şekil 3. Zemin Kat Seyirci Alanlarının Modellenmesi.....	13
Şekil 4. Hoparlör Kabinlerinin Model İçindeki Yerleşimi .....	13
Şekil 5. ODEON'a Aktarılmış Model – Perspektif Görünümü .....	14
Şekil 6. ODEON'da Alıcı Yerleşimi .....	15
Şekil 7. ODEON'da Tanımlanan Dinleyici Alanı Izgaraları.....	16
Şekil 8. CLF Okuyucusunda Görüntülenen Hoparlör Verileri .....	18
Şekil 9. ODEON Modelinde Hoparlörler .....	19
Şekil 10. ODEON Modelinde Hoparlör CLF Dosya Ataması.....	19
Şekil 11. ODEON Modelinde Hoparlör Yöneyselliği Balon Şeması.....	20
Şekil 12. ODEON - Hoparlörler, Alıcılar ve Seyirci Alanları – Zemin Kat.....	21
Şekil 13. ODEON - Hoparlörler, Alıcılar ve Seyirci Alanları – Zemin Kat.....	21
Şekil 14. ODEON Malzeme Atama Penceresi .....	22
Şekil 15. Zemin Kat Zemin ve Duvar Yüzey Malzemeleri .....	24
Şekil 16. Zemin Kat Tavan Malzemeleri.....	24
Şekil 17. Birinci Kat Zemin ve Duvar Yüzey Malzemeleri .....	25
Şekil 18. Birinci Kat Tavan Malzemeleri .....	25
Şekil 19. Ses Yutma Katsayıları için Malzeme Simülasyonu .....	26
Şekil 20. Ayakta Konser İzleyen Seyirci Ses Yutma Profili .....	28
Şekil 21. ODEON Ses Kaynağı Editörü, Tavan Hoparlörleri Ayarı .....	30
Şekil 22. Senaryo – 1, Ses Kaynağı: Hard Rock Cafe Ses Sistemi ve Alıcı Noktaları ..	31
Şekil 23. Elektroakustik Ölçüm EDT Grafiği.....	32
Şekil 24. Elektroakustik Ölçüm EDT Haritası.....	32
Şekil 25. Elektroakustik Ölçüm T20 Grafiği .....	33
Şekil 26. Elektroakustik Ölçüm T20 Haritası.....	33
Şekil 27. Elektroakustik Ölçüm T30 Grafiği .....	34
Şekil 28. Elektroakustik Ölçüm T30 Haritası .....	34
Şekil 29. Elektroakustik Ölçüm Ts Grafiği .....	35
Şekil 30. Elektroakustik Ölçüm Ts Haritası .....	35
Şekil 31. Elektroakustik Ölçüm D50 Grafiği.....	36
Şekil 32. Elektroakustik Ölçüm D50 Haritası .....	36
Şekil 33. Elektroakustik Ölçüm C80 Grafiği.....	37
Şekil 34. Elektroakustik Ölçüm C80 Haritası.....	37
Şekil 35. Elektroakustik Ölçüm LF80 Grafiği.....	38
Şekil 36. Elektroakustik Ölçüm LF80 Haritası.....	38
Şekil 37. Elektroakustik Ölçüm Zaman Parametreleri Toplu Grafiği .....	39
Şekil 38. Senaryo – 2, Omni Ses Kaynağı ve Alıcı Noktaları .....	43

Şekil 39. Ses Destek Sisteminin Seçili Alıcılardaki Direkt Ses Basıncı (Senaryo 1).....	44
Şekil 40. ODEON Ses Kaynağı Editörü, Omni Ses Kaynağı Ayarı.....	44
Şekil 41. Omni Ses Kaynağının Seçili Alıcılardaki Direkt Ses Basıncı (Senaryo 2) .....	45
Şekil 42. Akustik Ölçüm EDT Grafiği .....	46
Şekil 43. Akustik Ölçüm EDT Haritası .....	46
Şekil 44. Akustik Ölçüm T20 Grafiği.....	47
Şekil 45. Akustik Ölçüm T20 Haritası .....	47
Şekil 46. Akustik Ölçüm T30 Grafiği.....	48
Şekil 47. Akustik Ölçüm T30 Haritası .....	48
Şekil 48. Akustik Ölçüm Ts Grafiği .....	49
Şekil 49. Akustik Ölçüm Ts Haritası .....	49
Şekil 50. Akustik Ölçüm D50 Grafiği .....	50
Şekil 51. Akustik Ölçüm D50 Haritası .....	50
Şekil 52. Akustik Ölçüm C80 Grafiği .....	51
Şekil 53. Akustik Ölçüm C80 Haritası .....	51
Şekil 54. Akustik Ölçüm LF80 Grafiği .....	52
Şekil 55. Akustik Ölçüm LF80 Haritası .....	52
Şekil 56. Akustik Ölçüm Zaman Parametreleri Toplu Grafiği.....	53

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Zaman Parametreleri .....	3
Tablo 2. Enerji Parametreleri.....	4
Tablo 3. Uzamsal Parametreler.....	5
Tablo 4. Model Yüzeylerine Atanan Malzemelerin Akustik Verileri .....	23
Tablo 5. Malzeme No.10 Simülasyonu Verileri .....	27
Tablo 6. Malzeme No.11 Simülasyonu Verileri .....	27
Tablo 7. Sıkışık Düzendeki Ayakta Duran Seyirci Verileri .....	27
Tablo 8. Ölçülen Akustik Parametreler ve Hissedilebilir Fark (JND) Değerleri.....	29
Tablo 9. Ses Sistemi Program Gücü Hoparlör Kazançları .....	30
Tablo 10. Elektroakustik Ölçüm EDT Sonuçları.....	32
Tablo 11. Elektroakustik Ölçüm T20 Sonuçları .....	33
Tablo 12. Elektroakustik Ölçüm T30 Sonuçları .....	34
Tablo 13. Elektroakustik Ölçüm Ts Sonuçları.....	35
Tablo 14. Elektroakustik Ölçüm D50 Sonuçları.....	36
Tablo 15. Elektroakustik Ölçüm C80 Sonuçları .....	37
Tablo 16. Elektroakustik Ölçüm LF80 Sonuçları.....	38
Tablo 17. Elektroakustik Ölçüm Zaman Parametreleri .....	39
Tablo 18. Frekans Bölgelerine Göre Elektroakustik Ölçüm Zaman Parametreleri.....	40
Tablo 19. Elektroakustik Ölçüm Enerji Parametreleri.....	41
Tablo 20. Akustik Ölçüm EDT Sonuçları .....	46
Tablo 21. Akustik Ölçüm T20 Sonuçları.....	47
Tablo 22. Akustik Ölçüm T30 Sonuçları.....	48
Tablo 23. Akustik Ölçüm Ts Sonuçları .....	49
Tablo 24. Akustik Ölçüm Ts Sonuçları .....	50
Tablo 25. Akustik Ölçüm C80 Sonuçları .....	51
Tablo 26. Akustik Ölçüm LF80 Sonuçları .....	52
Tablo 27. Akustik Ölçüm Zaman Parametreleri .....	53
Tablo 28. Frekans Bölgelerine Göre Akustik Ölçüm Zaman Parametreleri.....	54
Tablo 29. Akustik Ölçüm Enerji Parametreleri .....	55
Tablo 30. EDT Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu.....	57
Tablo 31. T20 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu.....	58
Tablo 32. T30 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu.....	58
Tablo 33. Ts Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu .....	59
Tablo 34. D50 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu .....	59
Tablo 35. C80 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu.....	60
Tablo 36. LF80 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu.....	60
Tablo 37. Sonuçların Literatürle Karşılaştırılması .....	61

**KISALTMALAR**

C80	Berraklık (Clarity) Parametresi
CLF	Ortak Hoparlör Biçimi (Common Loudspeaker Format)
D50	Netlik (Definition) Parametresi
dB	Desibel
EDT	Erken Sönme Süresi (Early Decay Time) Parametresi
Hz	Hertz, Frekans Birimi, 1/s
JND	Hissedilebilir Fark Eşiği (Just Noticeable Difference)
LF80	Yanal Kesir (Lateral Fraction) Parametresi
ms	Milisaniye
SPL	Ses Basınç Seviyesi (Sound Pressure Level)
T20	Yansıma Süresi Parametresi (Reverberation Time)
T30	Yansıma Süresi Parametresi (Reverberation Time)
Ts	Merkez Zaman (Center Time) Parametresi

## GİRİŞ

Akustik bilimciler, müzik için tasarlanan salonların akustik özelliklerini tanımlamak amacıyla, önemi anlaşılan bir dizi akustik özelliği, Sıcaklık, Samimiyet, Berraklık, Parlaklık vb. sıfatlarla ifade etmişlerdir. Yirminci yüzyıl boyunca yürütülen bilimsel araştırma ve deneyler sayesinde insan duyumunun öznel izlenimlerine dayanan bu öznel ölçütlerin, matematiksel olarak ifade edilebilen ve standartlaşmış ölçüm yöntemleriyle ölçülebilen nesnel karşılıkları ortaya konmuştur (Gade, 2007). Böylece insan duyusuyla nitelendirilen öznel ölçütler ile bunların ölçülebilir karşılıkları olan nesnel ölçütler olmak üzere iki ölçüt seti ortaya çıkmıştır. Ölçülebilir olan nesnel akustik ölçütler “akustik parametre” olarak anılmaktadır.

Müziğe yönelik öznel ve nesnel akustik ölçütler, senfonik müzik, opera ve oda müziği gibi batı sanat müziği (klasik müzik) türlerinin akustik olarak icra edildiği salonlar üzerine yapılan çalışmalar ile tanımlanmıştır. İlginç biçimde, bu akustik ölçütlerin tanımlandığı saha, günümüzde bu müzik türlerinden daha büyük dinleyici kitlelerini çeken pop ve rock müzik türlerini ve bu türlerin icra edildiği mekanları kapsamamaktadır.

Klasik müziğin sadece hacim akustiğine dayalı icrası için tanımlanmış olan akustik parametrelerin, elektroakustik sistemlerin yer aldığı ve günümüz pop ve rock müzikleri için konser salonu olarak hizmet veren mekanların değerlendirilmesinde nasıl kullanılabileceğine ilişkin çalışmalar, son birkaç yılı kapsamaktadır. Bu çalışmalar, söz konusu mekanlarda yapılan akustik ölçümler sonucunda elde edilen akustik parametreler ile, bu mekanlarda konser vermiş olan müzisyen ve ses mühendislerinin anketler yoluyla elde edilmiş öznel değerlendirmelerini eşleştirmektedir. Araştırma sonucunda, pop ve rock müzik konserleri için elektroakustik sistemler ile hizmet veren mekanlarda tercih edilen akustik parametre değer aralıklarının, literatürde klasik müzik için verilen değer aralıklarından farklı olduğu saptanmıştır. Klasik müzik salonlarında bas frekanslarda daha uzun olması istenen yansım sürelerinin, elektroakustik sistemlerle hizmet veren pop ve rock müzik mekanlarında daha düşük olmasının tercih

edildiği ortaya konmuş ve EDT, T30 ve BR gibi parametreler için yeni değer aralıkları önerilmiştir.

Bu teze dayanak olan önceki çalışmalar, klasik mzık için ortaya konmuş olan akustik parametreleri, elektroakustik sistemler ile hizmet veren pop ve rock mzık mekanları için uyarlamaktadır (Niels Werner Adelman-Larsen, 2014). nceki araştırmalarda akustik ölçümler ile müzisyen-ses mühendisleri anketleri arasında eşleştirme yapılarak yeni değer aralıkları önerilmiştir. Bu araştırmalarda kullanılan akustik verilerin omni ses kaynağı ile yapılan akustik ölçümler ile elde edildiği, mekanların ses sistemini kullanan akustik koşulların araştırma kapsamında yer almadığı belirtilmiştir (Niels W Adelman-Larsen ve Dammerud, 2011).

Bu çalışmada önceki araştırmalarda kapsam dışı bırakılan ses sistemi ile ölçüm koşulu ele alınmaktadır. Simülasyon ortamında ses destek sistemi kullanılarak yapılan akustik ölçüm ile elde edilen parametreler, omni ses kaynağı ile yapılan ölçüm ile elde edilen parametreler ile karşılaştırılacaktır. Hoparlrlerin ses yayma örüntülerinin ve yerleşim düzenlerinin sonuçlar üzerinde etkisi olacağı öngörülmektedir.

Elektroakustik sistemin devrede olduğu durumda elde edilen sonuçlara göre yapılacak hacim akustiği tasarımınnn, dağıtılmış ses destek sistemi ile hizmet veren pop ve rock mzık mekanlarının akustik tasarımında dikkate alınması gereken bir koşul olduğunun bilimsel olarak ortaya konması amaçlanmaktadır.

## BÖLÜM - I

### AKUSTİK PARAMETRE ÇALIŞMALARI

Akustik parametrelerin tanımlandığı süreç, Harvard Üniversitesi fizik profesörü Wallace Clement Sabine'in yirminci yüzyılın hemen başında yayımladığı yansım süresi formülü ile başlayan ve günümüzde halen devam eden çalışmalarını kapsamaktadır. Günümüzde kullanılan akustik parametrelerin hemen hepsi yirminci yüzyıl içinde tanımlanmış olup Zaman Parametreleri (Time Parameters), Enerji Parametreleri (Energy Parameters) ve Uzamsal Parametreler (Spatial Parameters) olmak üzere üç grup altında toplanmıştır.

#### I.1 Zaman Parametreleri

Zaman parametreleri salonun yansım süresini ya da diğer bir deyişle salonun canlılığını ölçmek için kullanılmaktadır. 1922'de Sabine ve 1930'da Eyring-Norris tarafından tanımlanan parametreler, yaygın olarak kullanılan Yansım Süresi parametreleridir. Ayrıca yansım süresi parametresi için, T10, T20, T30 ve EDT olarak adlandırılan hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Aşağıdaki tabloda tanımlanmış olan zaman parametrelerinin bir özeti verilmektedir (Lacatis ve diğerleri, 2008).

**Tablo 1. Zaman Parametreleri**

Yıl	Zaman Parametresi	Yazar
1922	Yansım Süresi (Reverberation Time)	Sabine
1930	Yansım Süresi	Eyring, Norris
1933	Yansım Süresi	Millington, Sette
1959	Yansım Süresi	Fitzroy
1962	Tını, Bas Oranı (Timbre, Bass Ratio)	Beranek
1962	Br, Parlaklık (Brilliance)	Beranek
1962	Doku (Texture)	Beranek
1965	Diklik (Steepness)	Schroeder
1970	Erken Sönme Süresi (Early Decay Time)	Jordan

1975	Çevrim Göstergesi (Inversion Index)	Jordan
1976	Yansıma Süresi	Kuttruff
1979	İlk Zaman Gecikme Boşluğu, (Initial Time Delay Gap)	Davis
1982	Yükselme Süresi (Rise Time)	Jordan
1983	ITDG2	Ando
1988	Yansıyan Enerji Toplam Eğrisi (Reflective Energy Cumulative Curve)	Toyota
1999	Yansıma Süresi	Neubauer

## I.2 Enerji Parametreleri

Enerji parametreleri, sesin enerji bileşenlerinin oranlanmasıyla elde edilen parametrelerdir. Bunlar arasında öne çıkanlar 1953’de Thiele tarafından tanımlanan Netlik (Definition), 1974’de Abdel Alim ve Reichardt tarafından tanımlanan Berraklık (Clarity) ve 1976’da Lehmann tarafından tanımlanan Güç (G-Strength) parametreleridir. Aşağıdaki tabloda günümüze değin tanımlanmış olan enerji parametrelerinin bir özeti verilmektedir (Lacatis ve diğerleri, 2008).

**Tablo 2. Enerji Parametreleri**

Yıl	Enerji Parametresi	Yazar
1953	Netlik (Definition)	Thiele
1965	Hallmass	Beranek, Shultz
1966	Hallbstand	Reichard, Schmidt
1974	Berraklık (Clarity)	Alim
1976	Güç (Strenght)	Lehmann
1971	Merkez Zaman (Centre Time)	Cremer-Kurer
1976	Tayf Yoğunluğu (Spectral Density)	Eysholdt
1982	Erken Enerji Dengesi (Early Energy Balance)	Jordan

### I.3 Uzamsal Parametreler

Mekansal algı değerlendirilmesinde kullanılan zaman veya enerji parametreleri ayrıca uzamsal parametreler altında sınıflandırılmıştır. Uzamsal parametreler, işitme yoluyla algılanan mekânsal izlenimi veya ses ile kuşatılma hissini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bunlar arasında 1971’de Marshall ve Barron tarafından tanımlanan Yanal Kesir (Lateral Fraction), 1980’de Jordan tarafından tanımlanan Yanal Verimlilik ve 1995’de Bradley ve Soloudre tarafından tanımlanan Dinleyici Sarmalanması (Listener Envelopment) yer almaktadır. Aşağıdaki tabloda tanımlanmış olan uzamsal parametrelerin bir özeti verilmektedir (Lacatis ve diğerleri, 2008).

**Tablo 3. Uzamsal Parametreler**

Yıl	Uzamsal Parametre	Yazar
1960	Yüzey Dağıtma Göstergesi (Surface Diffusivity Index)	Haan, Fricke
1960	Uzamsal İzlenim (Spatial Impression)	Barron, Marshall
1960	Oda Cevabı Göstergesi (Index of Room Response)	Dresden Okulu
1971	Yanal Kesir (Lateral Fraction)	Barron, Marshall
1973	Bağlantı Derecesi (Correlation Degree)	Gottlob
1974	IACC, Interaural Cross Corelation	Ando
1974	IACC <sub>E</sub>	Ando
1974	IACC <sub>L</sub>	Ando
1980	Yanal Verimlilik (Lateral Efficiency, LE)	Jordan
1989	Yanal Kesir Katsayısı (Lateral Fraction Coefficient, LFC)	Kleiner
1995	Dinleyici Sarmalanması (Listener Envelopment, LEV)	Bradley, Soloudre

## BÖLÜM - II

### POP VE ROCK MÜZİK MEKANLARININ AKUSTİĞİ

Konser salonlarının tasarımı ile ilgili mevcut literatür hemen hemen tümüyle senfonik müzik, opera ve oda müziği gibi klasik müzik türlerinin akustik olarak icra edildiği salonlar üzerine yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Leo Beranek tarafından yapılan araştırma ile dünyada en çok beğenilen klasik müzik salonlarının ortak akustik özellikleri ortaya konmuştur (Beranek, 2012). Buna karşın ses destek sisteminin kullanıldığı müzik performans salonları için verilen öneriler, yansıma süresinin genel olarak daha düşük tutulması ile sınırlıdır (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Elektroakustik düzeneklerle ses seviyesinin yükseltildiği müzik performans salonları için yazılan akustik ölçütler, yansıma süresinin 0.8-1.0s (500Hz-1kHz) (Ahnert ve Steffen, 2000) ve  $T_{30} < 1s$  (Barron, 2009) olarak verilmektedir. Bu ölçütlerde, salon hacimlerinin büyüklüklerine ve orta frekanslar dışındaki frekanslardaki yansıma sürelerine ilişkin bilgi bulunmamaktadır. Belirtilen değer aralıkları, Beranek'in klasik müzik salonları için yaptığı çalışmaya benzer biçimde, ses destek sistemi ile işletilen müzik performans salonlarını ele alan sistematik ölçüm ve araştırma bulgularına dayandırılmamıştır.

Dünya üzerinde görece daha büyük izler kitlesi bulunan ve elektroakustik araçlar ile icra edilen pop, rock ve benzeri müzik türlerinin sunulduğu kapalı performans mekanlarının akustik özelliklerine ilişkin ilk sistematik araştırma 2007 yılında "Rock ve Pop Müzik Salonlarında Akustik" (Niels W Adelman-Larsen, Thompson ve Gade, 2007) başlığıyla yayımlanmıştır. Bu çalışma ilhamını Beranek'in klasik müzik salonları için yaptığı araştırmadan almıştır ve Rock ve Pop Müzik salonları için Beranek'in araştırmasına benzer bir araştırma tasarlanmıştır. Bu çalışmada, Danimarka'daki 20 rock müzik performans mekanında akustik parametre ölçümleri yapılmış ve elde edilen parametre değerleri, bu mekanlarda çalışmış olan müzisyen ve ses mühendislerinin yer aldığı bir denek grubu ile yapılan anket çalışmasından elde edilen öznel akustik değerlendirmeler ile ilişkilendirilmiştir. Araştırma, rock ve pop müzik mekanlarında tercih edilen EDT ve  $T_{30}$  değer aralıklarının, klasik müzik salonları için verilen değer aralıklarından farklı olduğunu ortaya koymuştur.

Rock müziğinin, klasik müziğe göre daha yüksek ses seviyesi, daha dar dinamik aralığı ve özellikle bas gitar ve davul tarafından vurgulanan alt frekans karakteristiği yönünden farkları vurgulanmış ve bir ses sisteminin tipik bir konser sırasında tükettiği elektrik enerjisinin en az yarısından 40-125Hz aralığındaki bas frekansların sorumlu olduğuna dikkat çekilmiştir. Klasik müzik salonları için önerilen akustik parametrelerin 125 Hz bandından itibaren başlatıldığı belirtilerek, rock müzik mekanlarının akustik parametrelerinin 63Hz bandını kapsayacak şekilde genişletilmesi gerektiği ileri sürülmüştür. Bu alt frekansların incelenebilmesi için standart akustik ölçümlerde kullanılan omnidirectional (dodecahedral) hoparlörlerin yetersiz olacağı gerekçesiyle ölçümlere subwoofer hoparlörler ilave edilmiştir.

Çalışmada ayrıca bu tür müzik performanslarında tipik olarak ayakta ve sıkışık düzende duran seyircinin ses yutma değerlerinin farklılığına değinilmiş ve söz konusu farklar yapılan ölçümlerle ortaya konmuştur. Rock müzik seyircisinin ses yutma katsayıları, örnek bir salonun dolu ve boş hallerindeki ölçümler ile elde edilmiştir. Bu ölçüm ile bir rock konserinde ayakta duran seyircinin ses yutma katsayılarının, bir klasik müzik konserinde oturan seyirciye göre orta-üst frekanslarda beş kat fazla olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak, ayakta duran seyircinin salonda daha büyük hacim kapladığına ve bu sebeple etkin akustik hacmin küçüldüğüne dikkat çekilmiştir.

Rock ve pop müzik seyircisinin orta-üst frekanslardaki yüksek ses yutma katsayısı, ayakta sıkışık düzende duran seyircinin daha büyük yüzey alanı yaratması ve kenar kırınım etkilerinin daha karmaşık olmasıyla açıklanmaktadır. Alt frekanslarda düşük, orta-üst frekanslarda ise oldukça yüksek olan bu ses yutma profilinin, alt frekans bölgesi ile orta-üst frekans bölgesindeki yansıma süreleri arasında büyük dengesizliğe yol açacağı ve bu nedenle rock müzik mekanlarının akustik tasarımında özellikle alt frekans bölgesindeki yansıma sürelerinin önem arz ettiği belirtilmiştir.

Çalışma sonucunda rock müzik mekanları için T30 yansıma süresi hesabında 63Hz bandının önemi ortaya konmuş ve ölçülen salonlar ile yapılan anketlerin (öznel-nesnel parametre eşleştirmesi) karşılaştırılmasıyla bu salonların akustik tasarımında yansıma sürelerinin tüm frekans spektrumu boyunca 0.6s – 1.2s aralığında tutulması

önerilmiştir. Araştırmanın sadece T30 parametresine odaklandığı ve Bas Oranı (BR), Erken Sönme Süresi (EDT) ve Netlik (D50) gibi diğer akustik parametrelerin araştırılması gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışmayı yine aynı araştırmacılar tarafından yürütülen ve 2010 yılında yayımlanan “Rock ve Pop Müzik Salonları için Uygun Yansıma Süreleri” (Niels Werner Adelman-Larsen, Thompson ve Gade, 2010) başlıklı çalışma takip etmiştir. Bu çalışmada, bir önceki çalışmada ölçülen 20 rock müzik mekanı için yapılan analiz BR, EDT ve D50 akustik parametrelerini de kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Çalışma sonucunda omni kaynak ve ses sistemi ile yapılan ölçümler karşılaştırılmış, dinleyici alanında dikkate değer bir fark olmadığı ancak sahne alanındaki farkların önemli olduğu belirtilmiştir. 1000-6000 m<sup>3</sup> aralığında hacme sahip mekanlarındaki en uygun yansıma sürelerinin, frekansa bağımsız olarak 0.6 ila 1.2 saniye arasında olduğu ortaya konmuştur.

Pop ve rock müzik mekanlarına ilişkin çalışmalar 2011 yılında Adelman-Larsen tarafından yayımlanan “Pop Ve Rock Konserlerine Hizmet Veren 50 Avrupa Salonunda Yansıma Süreleri Araştırması” (Niels W Adelman-Larsen ve Dammerud, 2011) adlı çalışmayla devam etmiştir. Bu çalışmanın önceki çalışmalardan ayrılan yönü, 7,000 m<sup>3</sup> üzerinde hacimlerin incelenmesi ve alt frekansların yansıma sürelerini kontrol altına almak için kullanılan yeni bir ses yutucu düzeneğin önerilmesidir. Adelman-Larsen, 2005 yılından bu yana yürüttüğü çalışmaları 2014 yılında yayımladığı “Rock ve Pop Salonları: Akustik ve Mimari Tasarım” (Niels Werner Adelman-Larsen, 2014) adlı kitapta toplamıştır.

Yukarıda atıfta bulunulan çalışmalar, ses destek sistemi ile klasik müzik dışındaki müzikler için hizmet veren salonlar üzerine yapılmış akustik araştırmaları özetlemektedir. Bu araştırmalarda yapılan ölçümlerin bazılarında ses kaynağı olarak salonun ses sistemi kullanılmış olsa da değerlendirmeler omni ses kaynağı ile yapılan ve hacimlerin akustik cevabına odaklanan ölçümlere dayanmaktadır. Özetlenen çalışmaların ortak amacının, hacimlerin ölçülen akustik cevabı ile bu hacimlerde performans sergilemiş olan müzisyen ve ses mühendislerinin öznel değerlendirmeleri

arasındaki bağlantıyı araştırmak ve istatistiksel bakımdan anlamlı görülen bağlantılar aracılığıyla Pop ve Rock Müzik Mekanları için akustik parametre değer aralıkları önermek olduğu belirtilmiştir. alışmalar bu noktaya odaklandığı için salonlardaki ses sisteminin devrede olduğu elektroakustik koşulların araştırılmadığı belirtilmiştir. Ayrıca, ölçümler boş salonlarda yapılmış ve elde edilen sonuçlar daha sonra, ses destek sistemi ile dolu salonlarda gerçekleştirilen performanslara ilişkin anketler ile eşleştirilmiştir.

Bu tezin konusu olan çalışmada, pop ve rock müzik için hizmet veren örnek bir mekanda standart akustik ölçüm yöntemleri ile ölçülen akustik parametre değerleri, elektroakustik düzeneklerin devrede olduğu senaryoda yapılan ölçüm ile elde edilen değerler karşılaştırılmaktadır. Deneyin önceki araştırmalardan ayrılan yanı, tam dolu salonda ses destek sistemi devrede iken ölçüm yapılmasıdır. Çalışma, ses destek sistemi ile hizmet verecek mekanların akustik tasarımında, boş salonda omni ses kaynağı ile yapılan standart akustik ölçümlere ek olarak, mekana kurulmuş olan sabit ses destek sisteminin ses kaynağı olarak kullanıldığı ve bu yolla hacim içindeki ses sisteminin elektroakustik özelliklerinin etkilerini dikkate alan ölçümlerin gerekliliğini araştırmaktadır.

## BÖLÜM - III

### DENEY YÖNTEM VE HAZIRLIKLARI

Deneydeki ölçümler, endüstri standardı haline gelmiş olan ODEON hacim akustiği simülasyon yazılımı ile yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yazılım sürümü ODEON Auditorium 13.02'dir. Deney şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Hacmin üç boyutlu modelinin oluşturulması
- Modelin ODEON'a aktarılması
- Yüzeyle malzemelerin atanması
- Dinleyici alanlarının tanımlanması
- Ses sistemi hoparlörlerinin atanması
- Akustik ölçüm ses kaynağı konumlarının belirlenmesi
- Simülasyon senaryolarının tanımlanması
- Simülasyon

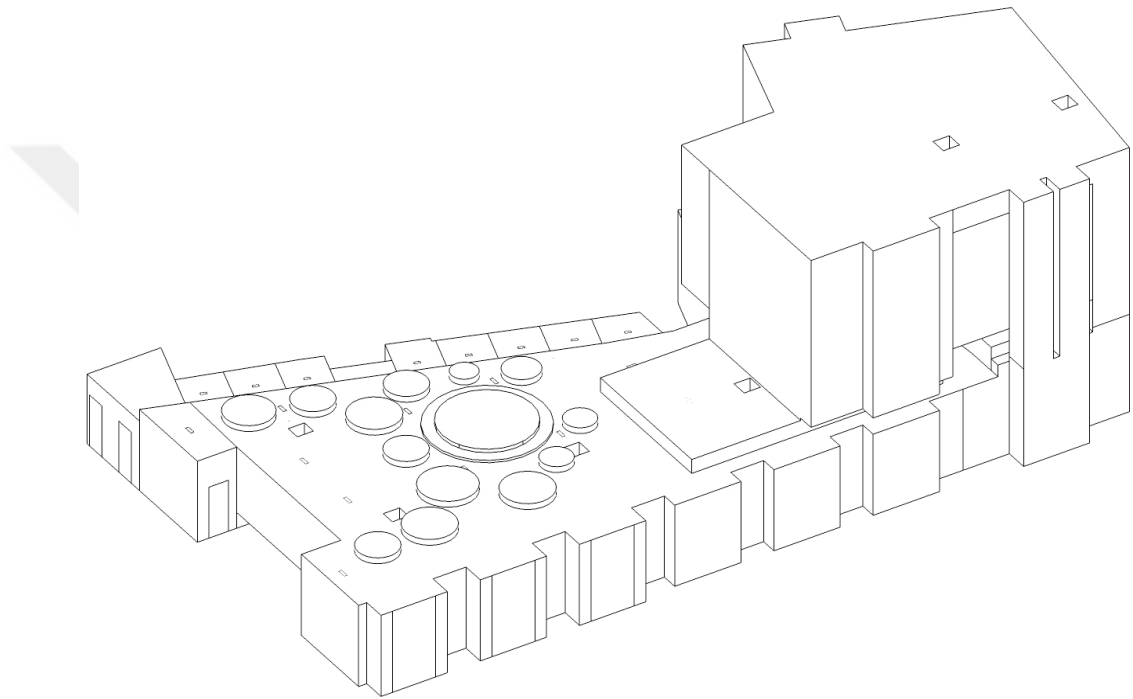
#### III.1.1 Üç Boyutlu Simülasyon Modelinin Çizilmesi

Bakü Hardrock Cafe'nin müşteri alanları, giriş katı olan zemin katta ve zemin kattan merdivenle çıkılan üst katta yer almaktadır. Zemin kat, yaklaşık 500 m<sup>2</sup> alana oturmakta olup, bu katta canlı müzik sahnesi, canlı müzik ana seyirci alanı, localar, bar ve masalar yer almaktadır. Üst kat yaklaşık 100 m<sup>2</sup> alana oturmaktadır ve bu alanda müşteri masaları ve bar yer almaktadır. Zemin kat ve üst kat ortadaki balkon boşluğu aracılığıyla akustik olarak bağlantılıdır.

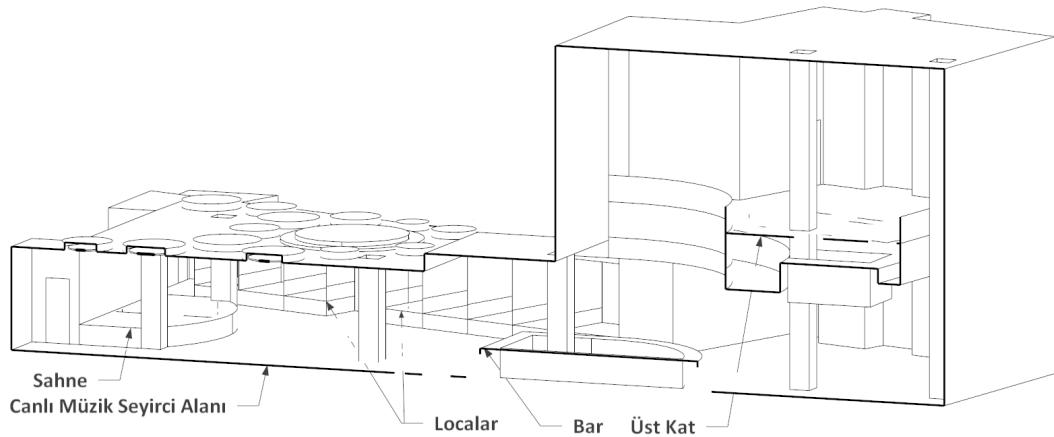
Üç boyutlu model, Sketch Up (2016) modelleme yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Modelin yerleşim ve ölçüleri imalat için kullanılan mimari çizimlerdeki plan ve kesit görünümülerinden alınmıştır.

Hacim, yazılımın hesaplamada kullanacağı yüzeyler dikkate alınarak ODEON'un el kitabında önerilen modelleme tekniklerine göre sadeleştirilerek modellenmiştir (Christensen, Koutsouris ve Gill, 2015). Duvar kalınlıkları verilmemiş

ve hesaplamada dikkate değer bir etkisi olmayacak mimari ayrıntılardan kaçınılmıştır. Seyirci alanları, yazılım el kitabında verilen öneriler doğrultusunda zeminden yükselen prizmalar biçiminde çizilmiştir. Aşağıdaki şekillerde, Sketch Up modelleme yazılımıyla oluşturulan üç boyutlu modelin görünümü verilmiştir.



**Şekil 1. Model Perspektif Görünümü**



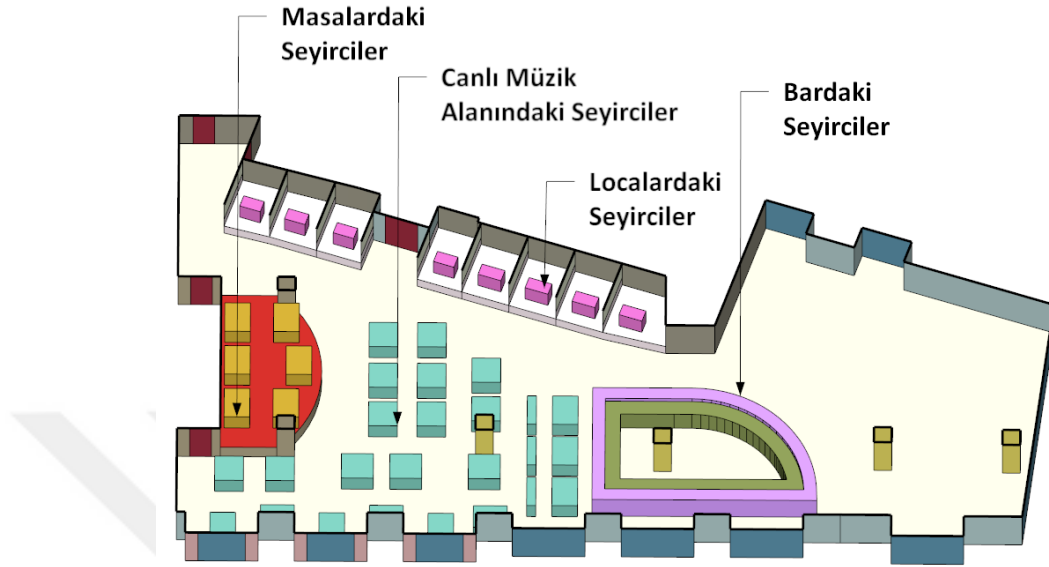
**Şekil 2. Model Kesit Görünümü**

### III.1.1.1 Seyirci Alanlarının Modellenmesi

Dolu salonda, salonun mevcut ses sistemi kullanılarak yapılan ölçümler çalışmamızın, önceki çalışmalardan ayrılan yönlerinden biri olduğundan, seyirci alanının uygun teknikle modellenmesi önem arz etmektedir.

ODEON El Kitabında, oturan seyirci alanının zeminden 0.8m yukarı kaldırılan dörtgen prizmalar biçiminde modellenmesi önerilmektedir. Yüksekliğin 0.8 metre olarak seçilmesinin sebebi seyircinin kapladığı hacme yakın bir hacim elde etmek ve ayrıca ODEON içinde tanımlanacak alıcı yüzeyi düzleminin (grid) yüzeye 0.4 metre mesafe bırakılarak tanımlanmasına imkan vermektir. Bu tekniğin, daha önceleri kullanılan ve seyirci alanlarının havada durduğu iki boyutlu düzlemler şeklinde modellendiği tekniğe göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği, ayrıca seyircinin varlığıyla azalan etkin akustik hacmin bu modelleme tekniği ile daha gerçekçi yansıtıldığı belirtilmiştir. Bu şekilde modellenen seyirci alanı için, ODEON veritabanında bulunan ve seyirci ile ilgili olan ses yutma katsayısının seçilmesi ve bununla birlikte 0.7 değerinde ses dağıtma katsayısının (scattering coefficient) uygulanması önerilmektedir.

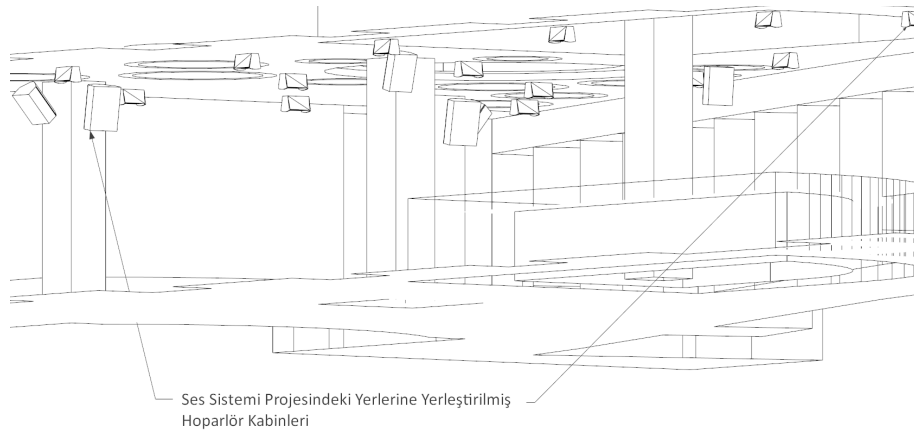
Bu yöntemi takip ederek ayakta duran seyirci, seyircinin kapsadığı zemin alanı yerden 1.2m yukarı kaldırılan prizmalar biçiminde modellenmiştir. Aşağıda şekillerde, bu yöntemle modellenen seyirci alanları gösterilmiştir.



**Şekil 3. Zemin Kat Seyirci Alanlarının Modellenmesi**

### III.1.1.2 Ses Sistemi Hoparlörlerinin Modellenmesi

Modelin hazırlanışı sırasında, ses destek sistemi hoparlörleri için ODEON içinde yapılacak kaynak atama işlemini kolaylaştırmak üzere, hoparlör kabinlerinin birebir ölçekli modelleri, ses sistemi projesinde belirtilen tam konumlarına yerleştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde model içindeki hoparlör kabini yerleşimleri görülmektedir.

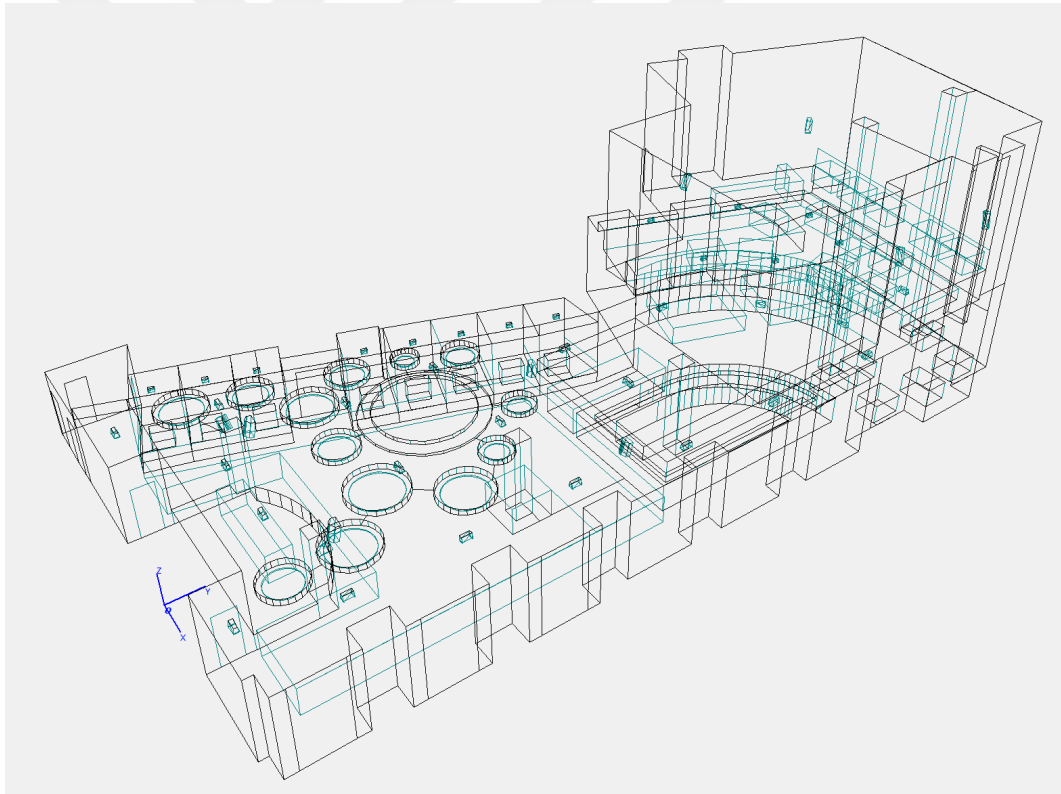


**Şekil 4. Hoparlör Kabinlerinin Model İçindeki Yerleşimi**

### III.1.2 Modelin ODEON'a Aktarılması

ODEON, simülasyon modelini kendi parametrik modelleme dili ile oluşturmaktadır. Yazılım içinde geometri oluşturmak üzere kod ve koordinatların kullanıldığı bir düzenleyici (Editor) mevcut olmakla birlikte, harici yazılımlar için geliştirilen eklentiler modelleme ve doğrulama sürecini kolaylaştırmıştır.

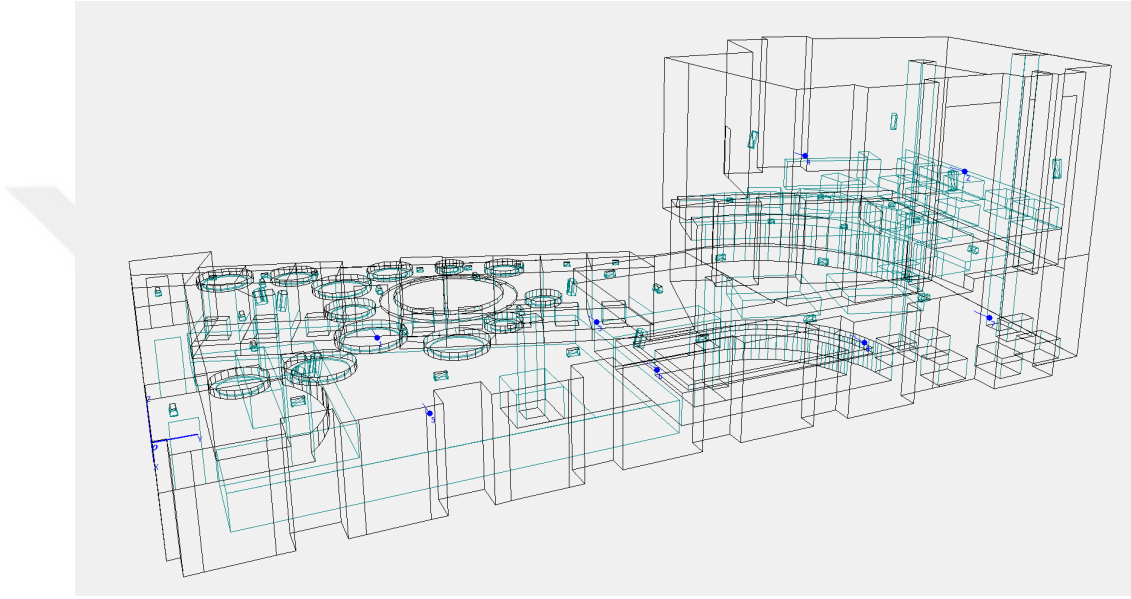
ODEON yazılımcıları tarafından geliştirilmiş olan Sketch Up eklentisi, Sketch Up modelleme yazılımı kullanılarak hazırlanan modelden “.par” uzantılı ODEON geometri dosyası üretmektedir. Bakü Hard Rock Cafe için hazırlanan model, bu eklenti kullanılarak ODEON'a aktarılmıştır. Aşağıdaki şekilde ODEON'a aktarılmış olan modelin ODEON 3D Editor penceresindeki perspektif görünümü görülmektedir.



**Şekil 5. ODEON'a Aktarılmış Model – Perspektif Görünümü**

### III.1.3 Dinleyici Alanlarının Tanımlanması

ODEON’da akustik parametre sonuçları, ölçüm noktalarına yerleştirilen alıcı noktaları ve ayrıca ızgara olarak tanımlanan alıcı düzlemleri için verilmektedir. Alıcı noktaları, model içine yerleştirilen ölçüm mikrofonu konumlarını temsil etmektedir. Aşağıdaki şekilde model içindeki alıcı yerleşimi (mavi noktalar) görülmektedir.

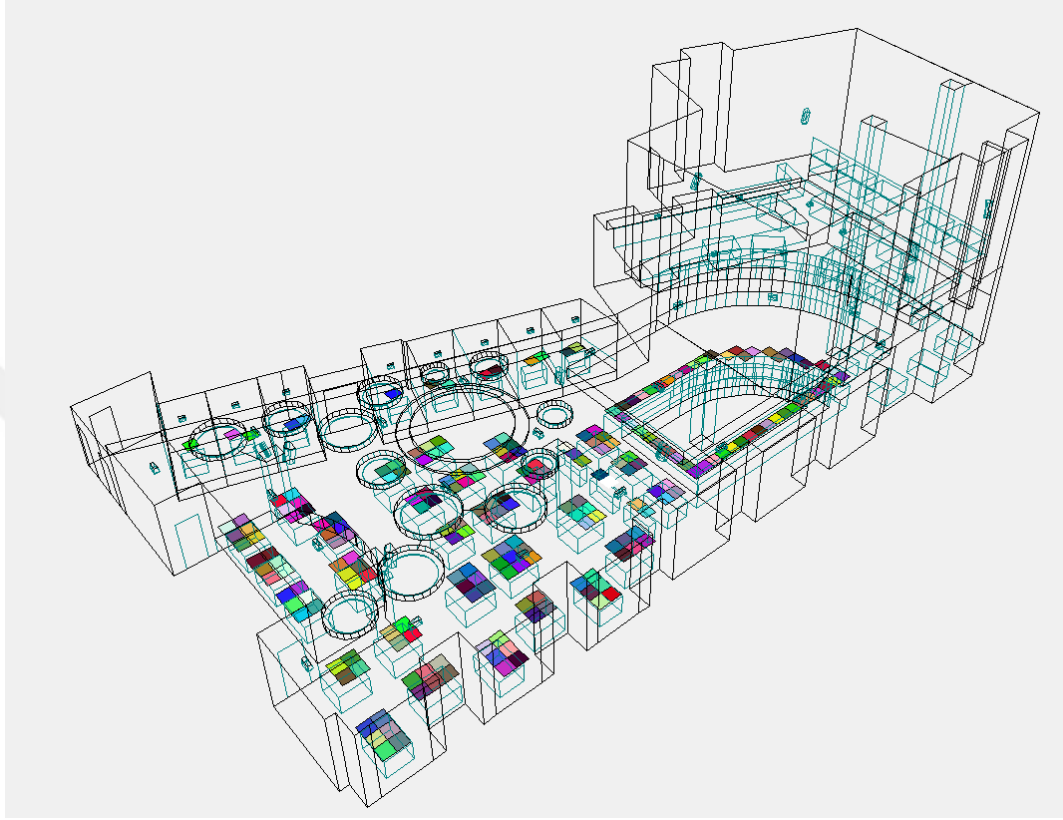


**Şekil 6. ODEON’da Alıcı Yerleşimi**

Alıcı ızgarası (grid) ise, model içinde seçilen yüzey üzerinde oluşturulan bir ölçüm düzlemidir. Düzlemin seçilen yüzeyden ne kadar yukarıda oluşturulacağı ve bir ızgara oluşturacak şekilde kaç tane kareye bölüneceği Izgara tanımlama penceresinden tanımlanmaktadır. Izgaradaki karelerin her biri, bir alıcı yüzeyi olarak tanımlanarak her biri için ölçüm yapılır ve sonuçlar renklendirilmiş harita biçiminde görüntülenir.

Seyirci alanını temsil eden ızgaralar, modelleme aşamasında çizilmiş olan seyirci alanları üzerinde tanımlanmıştır. Ayakta duran seyirciler için seyirci alanı 1.2 metre yüksekliğinde modellenmiştir. Izgara yüksekliği 0.4 metre tanımlanmış böylece ızgara düzlemi ayakta duran seyircinin 1.6 m olan standart kulak seviyesinde oluşturulmuştur (Standard, 2009). Oturan seyircilerin seyirci alanı 0.8 metre yüksekliğinde modellenmiş ve ızgara yüksekliği 0.4 metre girilerek ızgara düzlemi

oturan seyircinin 1.2m olan standart kulak seviyesinde oluşturulmuştur. Aşağıdaki şekilde model içinde tanımlanan dinleyici alanı ızgaraları görülmektedir.



**Şekil 7. ODEON'da Tanımlanan Dinleyici Alanı Izgaraları**

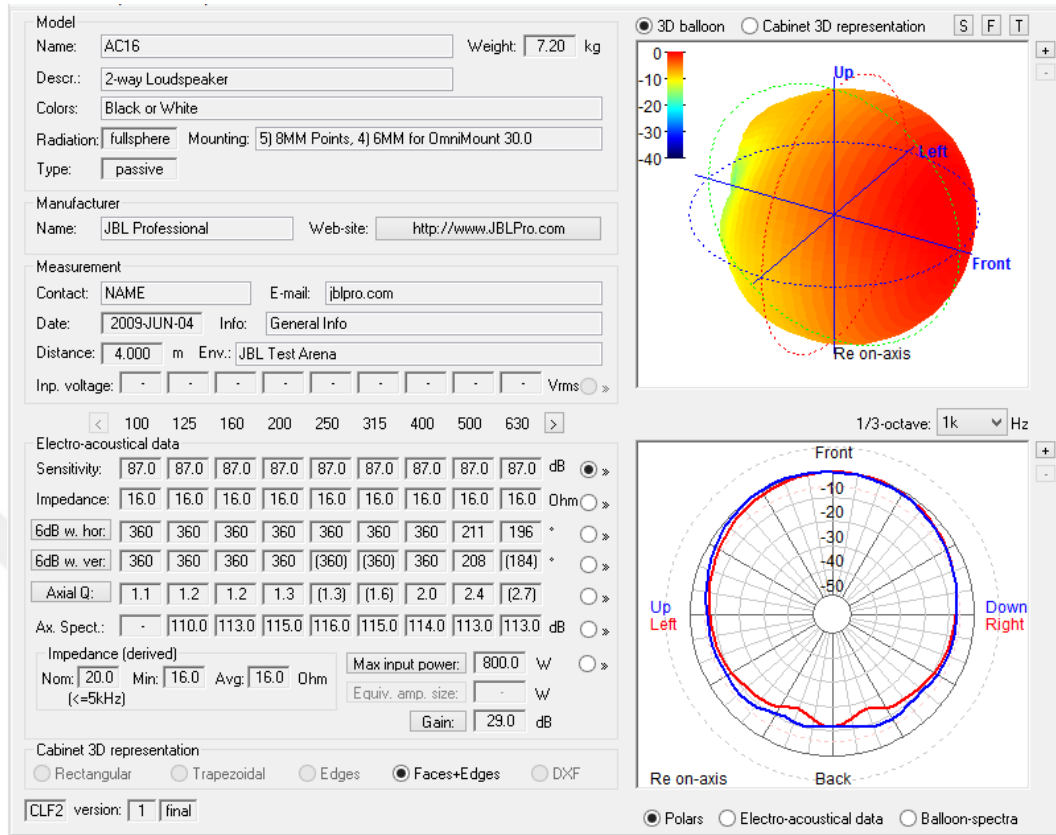
### III.1.4 Ses Sistemi Hoparlörleri İçin Ses Kaynağı Atamaları

Standart akustik ölçümlerde kullanılmak üzere ISO140 ve ISO3382 'ye uygun olarak üretilen ses kaynaklarının belirli bir yöneyselliğe sahip olmaması ve sesi her yöne eşit biçimde yayması istenir. Ayrıca bu standartlarda 63 Hz bandı için ses kaynağı gerekliliği belirtilmez.

Rock ve pop müzik mekanlarında kullanılan ses sistemi hoparlörleri marka ve modele göre değişen yöneyselliğe sahiptir. Ayrıca bu ses sistemlerindeki sub-woofer hoparlörlerinin alt frekans bölgesinde yaydıkları ses enerjisi kayda değer büyüklüktedir; öyle ki tipik bir rock konserinde sub-woofer hoparlörleri sürmek için kullanılan elektrik enerjisi, tüketilen tüm enerjinin yaklaşık yarısıdır.

Ses destek sistemi hoparlörlerinin ses kaynağı olarak kullanılmasının, bu araştırmanın diğer araştırmalardan ayrılan yönlerinden biri olması itibariyle hoparlör güç ve yöneyselliklerinin gerçek verileriyle ODEON içinde tanımlanması önem arz etmektedir. ODEON, SO8 ve CF1, CF2 dosyaları sayesinde gerçek hoparlör verilerini simülasyona dahil etme imkanı tanımaktadır. Bu deney için, hoparlör üreticisi tarafından sağlanan CF dosyaları kullanılmıştır.

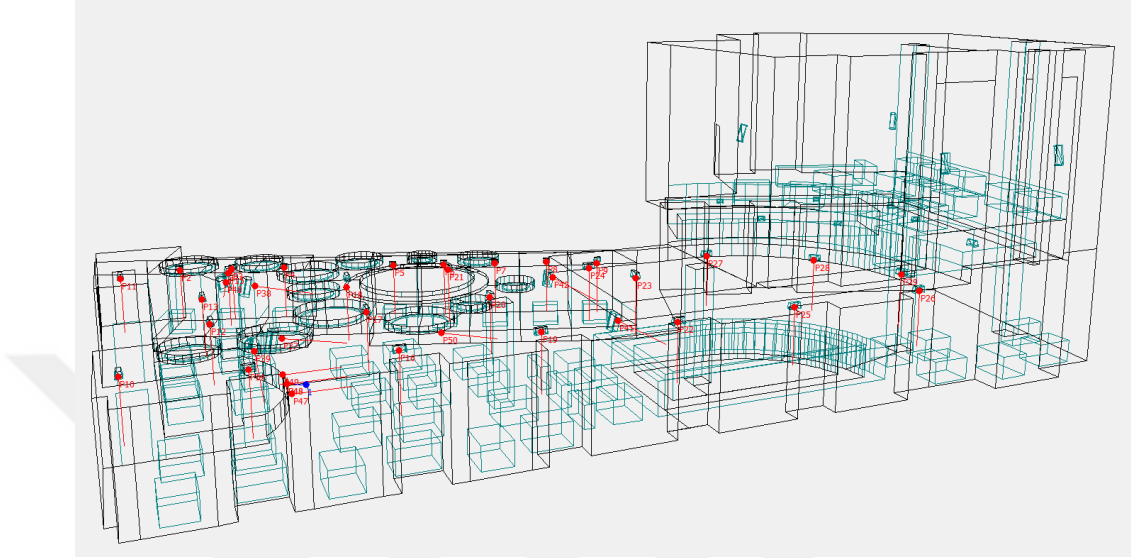
Ortak Hoparlör Dosya (Common Loudspeaker File, CLF) biçimi, günümüzde endüstri standardı haline gelmiş akustik simülasyon yazılımcılarının yer aldığı geliştirici bir ekip tarafından, platformlar arası paylaşılabilen ortak bir dosya biçimi olarak geliştirilmiştir. CLF biçimi, hoparlör ölçümlerinden elde edilen sonuç değerlerini içeren metin tabanlı bir dosya biçimidir. CLF verileri, yansısız oda (anekoik) içinde hoparlör etrafındaki belli açısız konumlarda yapılan dürtü yanıtı ölçümlerinden elde edilmektedir. CLF'nin en büyük faydalarından biri, hoparlör yöneyselliğini gösteren balonların enterpolasyon yoluyla değil, hoparlörün etrafında belli açısız aralıklarla alınmış tam ölçüm verileriyle elde edilmesidir. Bu sayede, kenar kırınım ve crossover etkileri de dahil edilmektedir. CLF, onaylı ölçüm verileri içerdiğinden, okunabilir ancak değiştirilemez dosyalar olarak tüm platformların kullanımına açıktır (CLF-Group, 2004). Aşağıda şekilde deneyde kullanılan bir hoparlör tipine ait CLF verileri görülmektedir.



**Şekil 8. CLF Okuyucusunda Görüntülenen Hoparlör Verileri**

Model içindeki hoparlör konumlarına ODEON’da noktasal kaynak atandıktan sonra, bu kaynakların her birine ses sistem projesinde belirtilen modellere göre üretici sitesinden indirilen CF dosyaları atanmıştır.

Aşağıdaki şekilde, mevcut ses sistemi projesindeki hoparlör konumlarına yerleştirilen ses kaynakları görülmektedir.



**Şekil 9. ODEON Modelinde Hoparlörler**

Kaynak yerleşimi tamamlandıktan sonra, ses sistemindeki hoparlör modeline göre üretici tarafından sağlanan CLF dosyaları atanmıştır. Aşağıdaki şekilde, CLF dosyasının atandığı bir kaynak atama penceresi görülmektedir.

Point Source Editor, source: 41

Define point source 3D Direct

Description  
Delay\_Live\_Left

Position and Orientation  
X 5,500 m Y 15,250 m Z 3,100 m  
Azimuth 90,000 ° Elevation -30,000 ° Rotation 0,000 °  
Delay 29,0 ms

Directivity pattern  
Sub directory JBL\AE Series 4-1-10\  
File JBL AM7212-95.CF2

Level Adjustment

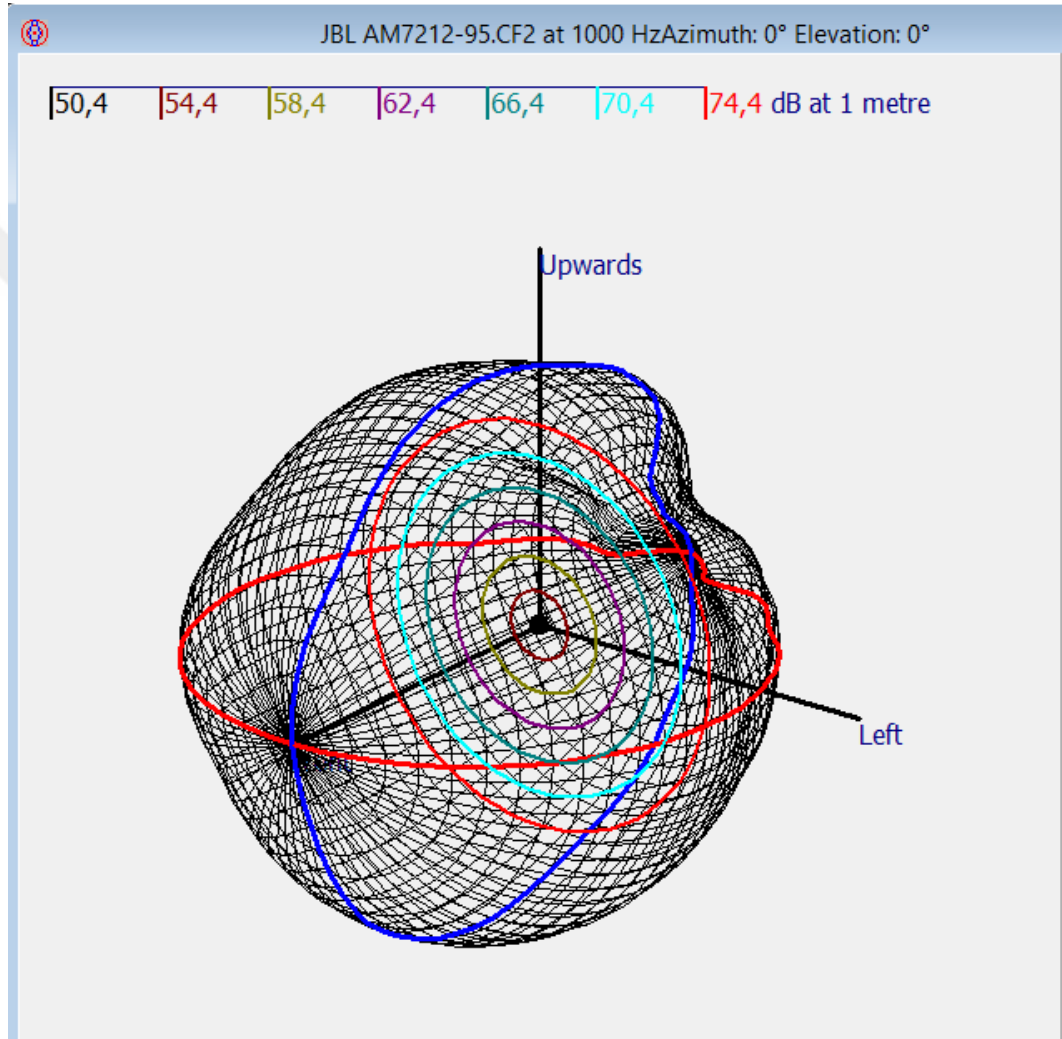
Frequency	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Sound Power File	-99,0	104,2	102,6	100,8	96,8	95,7	93,8	93,6	dB re. CLF
+ Overall gain	0,0 dB								
+ EQ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	dB Elec/Mech
= Sound Power	-99,0	104,2	102,6	100,8	96,8	95,7	93,8	93,6	dB re 1 pW
SPL on axis at 10m	-99,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	74,9	dB

Total power  
108,4 dB  
103,7 dB(A)

Total SPL at 10m  
83,4 dB  
81,9 dB(A)

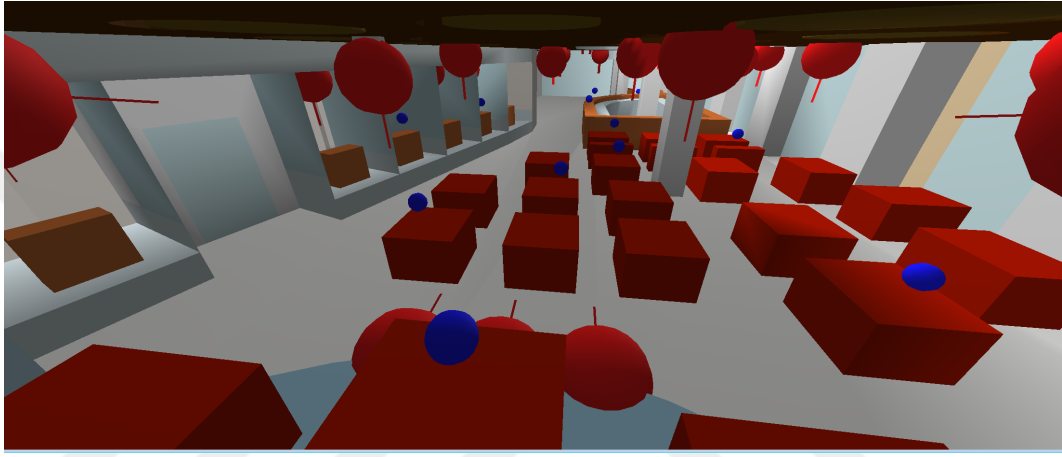
**Şekil 10. ODEON Modelinde Hoparlör CLF Dosya Ataması**

Hoparlör CLF dosyası ataması tamamlandıktan sonra, hoparlör yöneysellikleri ODEON'da görüntülenebilmektedir. Aşağıdaki pencerede CLF dosya ataması yapılmış olan bir ses kaynağının yöneysellik balon şeması görülmektedir.



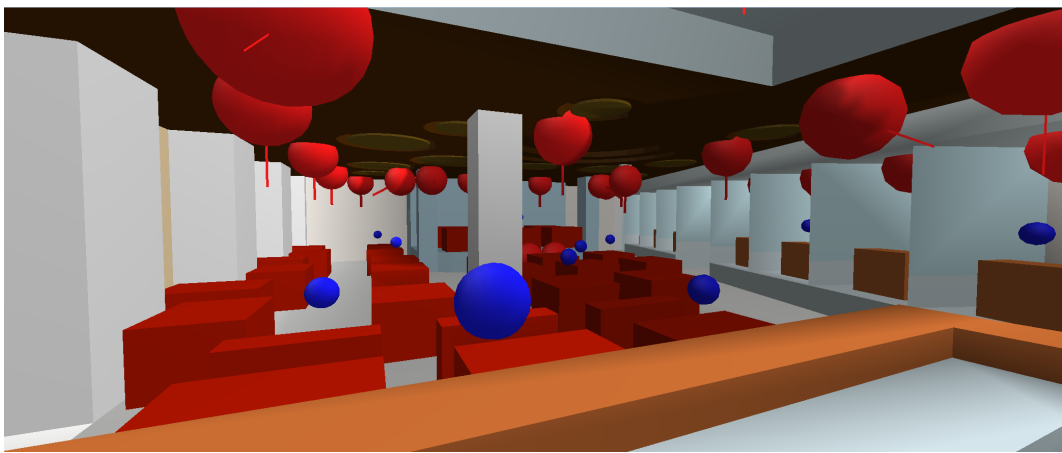
Şekil 11. ODEON Modelinde Hoparlör Yöneyselliği Balon Şeması

Aşağıdaki şekilde, sahne üstünden bara doğru bakışta, simülasyon modeli içindeki hoparlörler, alıcı konumları ve seyirci alanları görülmektedir. Kırmızı küreler hoparlörleri, mavi küreler ise alıcıları temsil etmektedir. Sahne önünde yan yana duran üç küre subwoofer hoparlörleri temsil etmektedir. Zemindeki prizmalar modellenmiş seyirci alanlarıdır. Önde ana seyirci alanı, sol tarafta localar, arkada ise bar alanı görülmektedir.



**Şekil 12. ODEON - Hoparlörler, Alıcılar ve Seyirci Alanları – Zemin Kat**

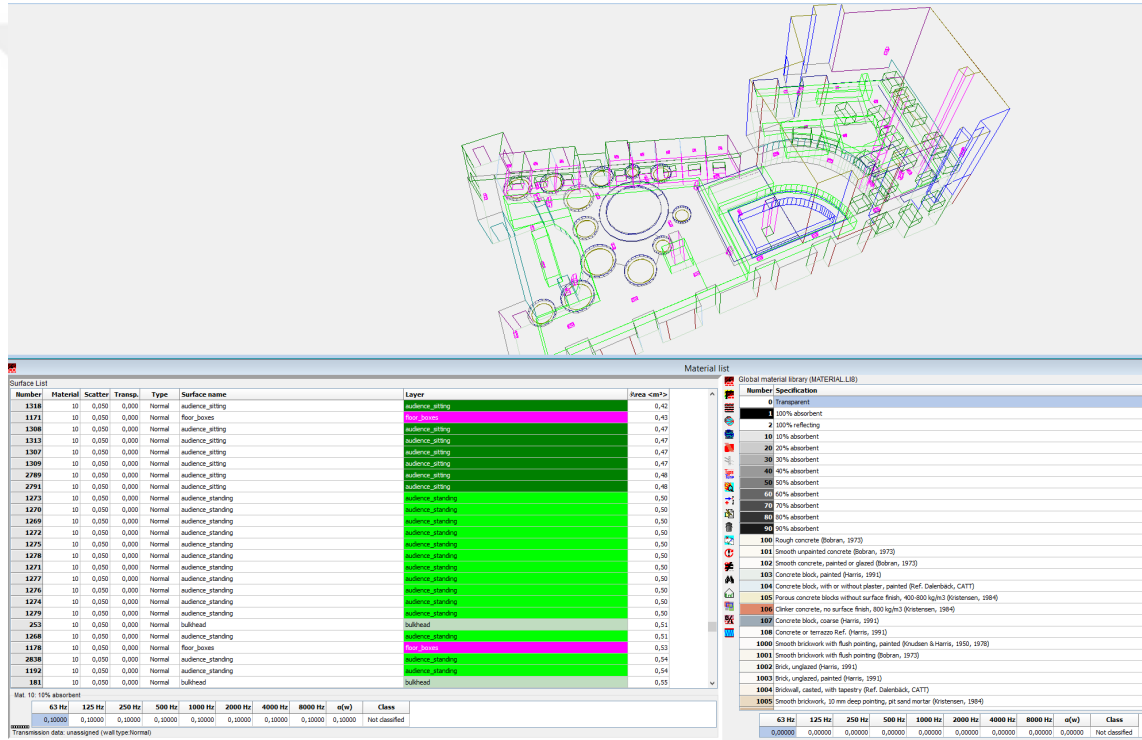
Aşağıdaki şekilde, bardan sahneye doğru bakış görülmektedir. Hemen önde bar, arkada ana seyirci alanı ve sağda localar görülmektedir.



**Şekil 13. ODEON - Hoparlörler, Alıcılar ve Seyirci Alanları – Zemin Kat**

### III.1.5 Yüzey Malzeme Ataması

Sketch Up modelleme yazılımı kullanılarak hazırlanan modeldeki yüzeyler, akustik özelliklerine göre gruplandırılarak ayrı katmanlara atanmıştır. ODEON, modelleme yazılımı içinde tanımlanan katmanları tanımaktadır. Bu sayede, malzeme atama penceresinde katmana göre malzeme ataması yapılabilmektedir. Bu yöntem, malzeme atama işlemini kolaylaştırmaktadır. Malzeme Listesi penceresinde katmanlara göre gruplanıp malzeme ataması yapılabilen yüzeyler renk kodlarıyla belirtilmektedir. Aşağıdaki şekilde Malzeme Listesi penceresi görülmektedir.



Şekil 14. ODEON Malzeme Atama Penceresi

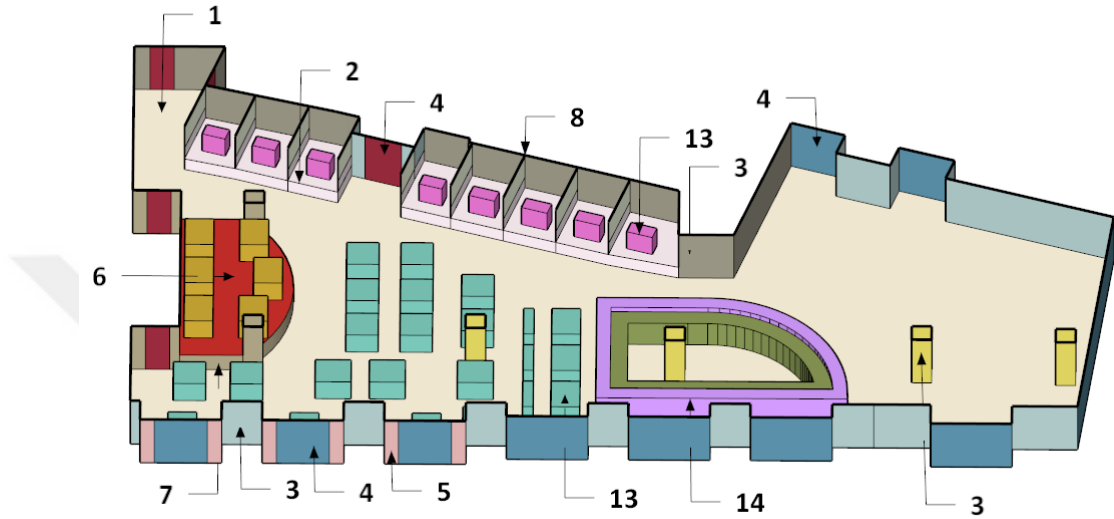
#### III.1.5.1 Malzeme Listesi

Aşağıdaki tabloda Bakü Hard Rock Cafe'nin iç mimarisinde kullanılan ve model yüzeylerine atanan malzemelere ait akustik veriler yer almaktadır.

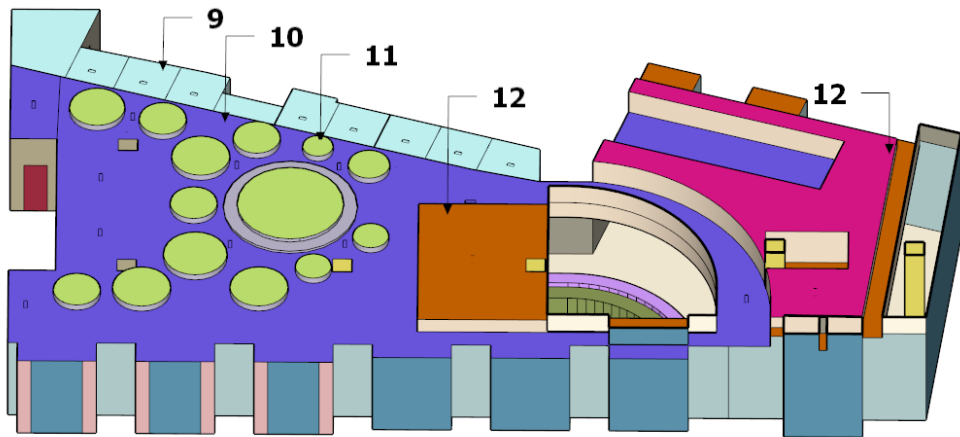
**Tablo 4. Model Yüzeylerine Atanan Malzemelerin Akustik Verileri**

No	Salon Bölümü	Malzeme Türü	ODEON Malzeme No	f (Hz)							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
				Ses Yutma Katsayısı, $\alpha$							
1	Zemin Kat Zemini	Karo Taş Döşeme	2001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
2	Birinci Kat ve Loca Zemini	Ahşap Zemin	3004	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
3	Duvarlar, Sütunlar	Sıva Üstü Boya	4002	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
4	Pencereler, Kapılar, Parapetler	Kalın Cam Panel	10005	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
5	Perdeler	Stor Perde	8008	0.18	0.18	0.08	0.14	0.22	0.37	0.34	0.34
6	Sahne Zemini	Ahşap Podyum	3000	0.40	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	0.10
7	Sahne Kaplama	Ahşap Panel	3062	0.30	0.30	0.20	0.15	0.13	0.10	0.08	0.08
8	Loca Separatör	Ahşap Panel	3020	0.25	0.25	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
9	Loca Tavan	Ahşap Panel	3022	0.12	0.12	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
10	Zemin ve Birinci Kat Tavan	Woodwool	+Eklendi	0.83	0.67	0.59	0.82	0.92	0.97	0.99	0.99
11	Dairesel Asma Paneller	Kaplamalı Cam Yünü Levha	+Eklendi	0.6	0.55	0.56	0.6	0.73	0.88	0.94	0.94
12	Ara Kot Tavanlar ve Alınlar	Profile Monte Alçı Panel	4036	0.14	0.14	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03
13	Oturan Seyirci	İnsan + Koltuk	11003	0.15	0.15	0.22	0.49	0.64	0.8	0.79	0.79
14	Ayakta Seyirci	İnsan (2.7k/m <sup>2</sup> )	+Eklendi	0.25	0.25	0.45	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00

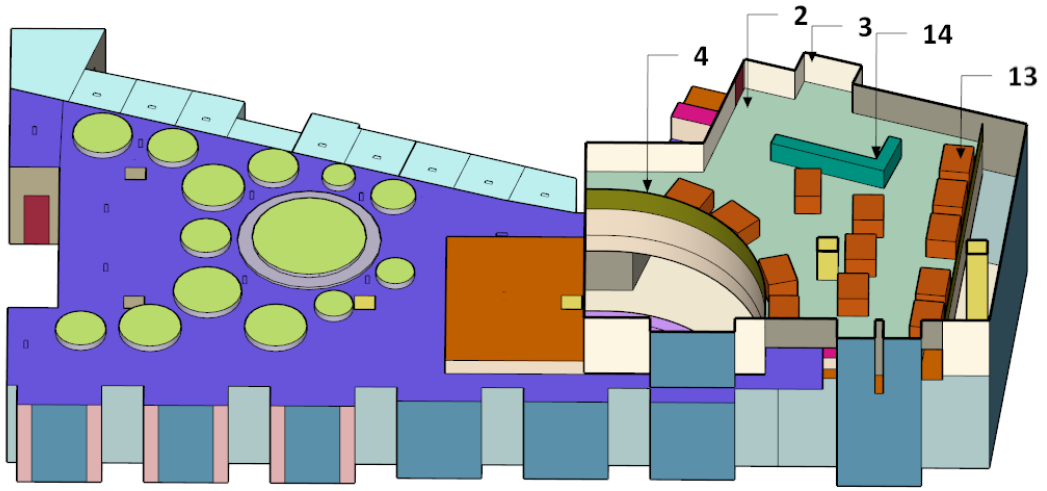
Aşağıdaki şekillerde, yukarıdaki Tablo 4'te listelenen malzemelerin konumları işaretlenmiştir. Şekiller üzerindeki numaralar, Tablo 4'ün en sol sütunundaki numaralar ile eşleşmektedir.



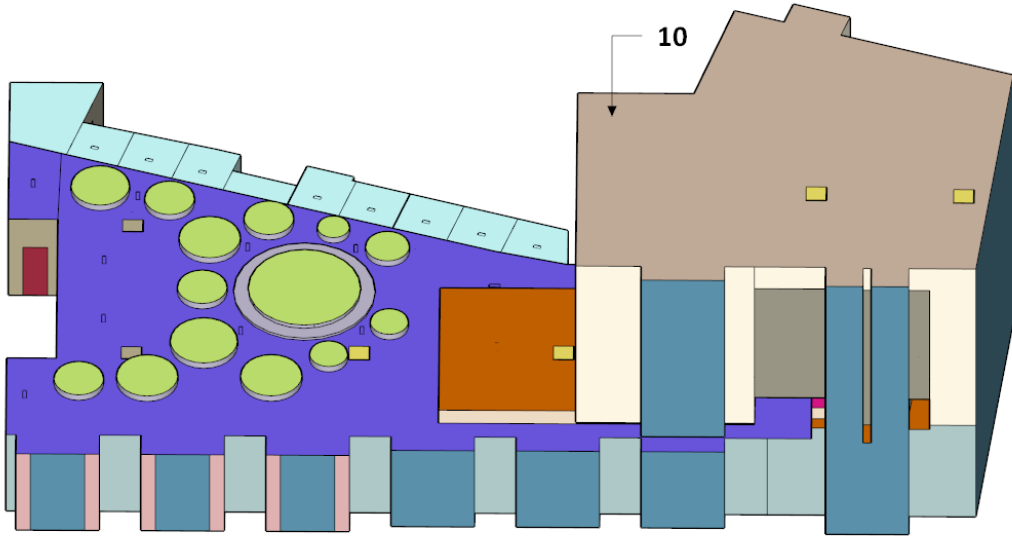
Şekil 15. Zemin Kat Zemin ve Duvar Yüzey Malzemeleri



Şekil 16. Zemin Kat Tavan Malzemeleri



Şekil 17. Birinci Kat Zemin ve Duvar Yüzey Malzemeleri

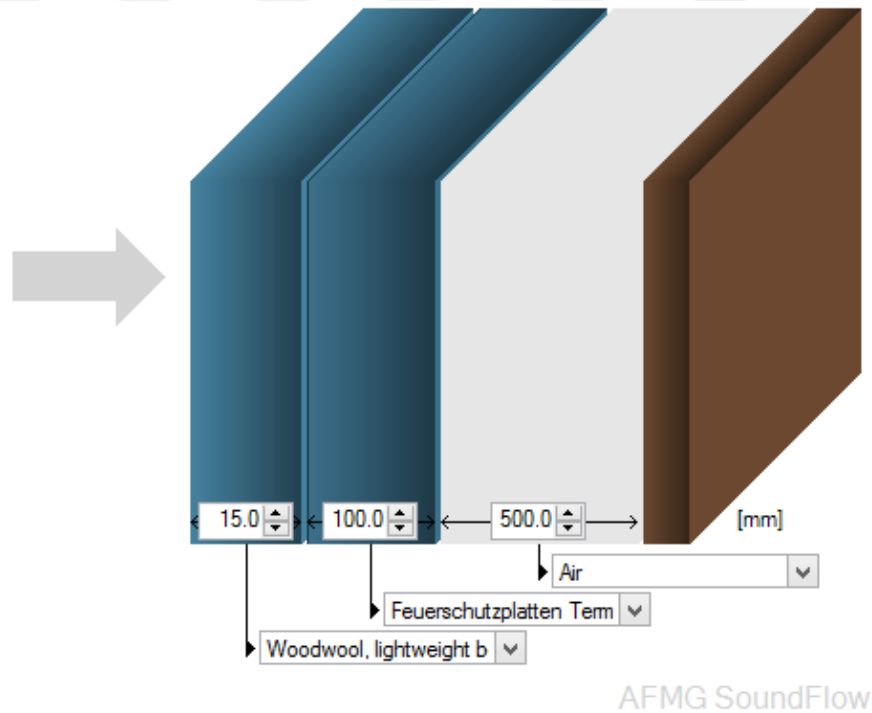


Şekil 18. Birinci Kat Tavan Malzemeleri

### III.1.5.2 Malzeme Simülasyonu

Tablo 4’de yer alan 10, 11 ve 14 numaralı malzemeler dışındaki tüm malzemeler ODEON veritabanında yer alan malzemelerdir. 10 ve 11 numaralı malzemelerin verileri malzeme simülasyonu ile elde edilmiş, 14 numaralı malzemenin verileri ise önceki araştırmalarda gerçekleştirilen ölçüm verilerinden alınmıştır.

ODEON veritabanına dışarıdan eklenen üç malzeme verisinden ilki, Tablo 4’deki 10 numaralı malzeme olup, zemin ve birinci kat tavanlarını kaplamaktadır. Bu kaplama sıkıştırılmış ahşap lifi (woodwool), kaya yünü (rockwool) ve hava boşluğu katmanlarından meydana gelmiştir. Malzeme ses yutma katsayıları özel montaj tiplerine göre verilmediği için yukarıdaki katmanlardan meydana gelen kaplamanın ses yutma katsayıları AFMG Soundflow yazılımı kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen veriler üreticinin benzer tipteki montaj verileriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Aşağıda şekilde malzeme simülasyonunda oluşturulan katmanlar görülmektedir.



Şekil 19. Ses Yutma Katsayıları için Malzeme Simülasyonu

Yukarıdaki simülasyonda görülen tavan katmanları soldan sağa 15mm sıkıştırılmış ahşap lifi, 100 mm kaya yünü (70-90 kg/m<sup>3</sup>) ve 500mm hava boşluğudur.

Katmanlar beton döşeme ile sonlanmaktadır. Elde edilen ses yutma katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 5. Malzeme No.10 Simülasyonu Verileri**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ses Yutma Katsayısı, $\alpha$	0.83	0.67	0.59	0.82	0.92	0.97	0.99	0.99

ODEON malzeme veritabanına dışarıdan eklenen ikinci malzeme, Tablo 4’de 11 numaralı malzeme olarak gösterilen dairesel asma tavan panelleridir. Bu malzeme akustik olarak transparan bir zambak ile kaplı 40 mm kalınlık ve 90 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki kaya yününden üretilmiştir. Yukarıda açıklanan malzeme simülasyon yöntemiyle elde edilen ses yutma katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 6. Malzeme No.11 Simülasyonu Verileri**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ses Yutma Katsayısı, $\alpha$	0.60	0.55	0.56	0.06	0.73	0.88	0.94	0.94

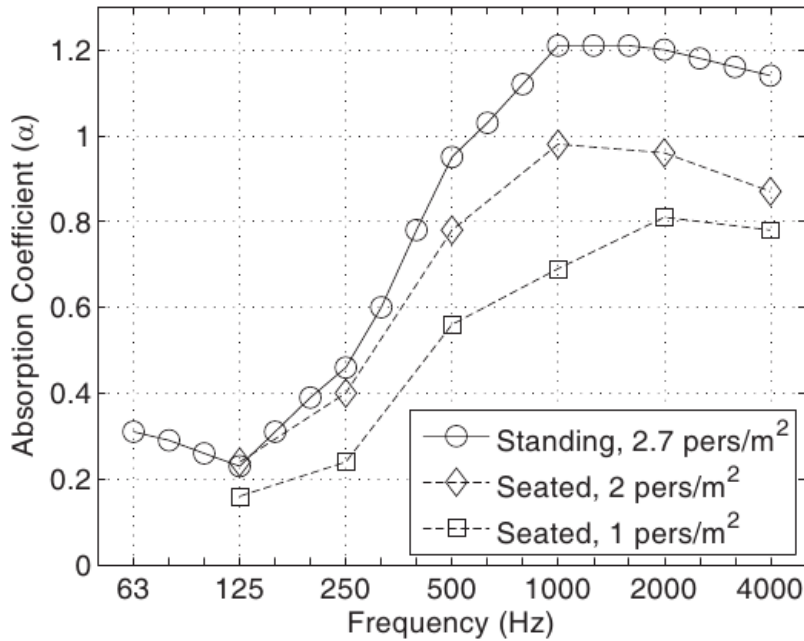
ODEON malzeme veritabanına dışarıdan eklenen üçüncü malzeme, Tablo 4’de 14 numaralı malzeme olarak gösterilen ayakta sıkışık düzende duran seyirciye ait ses yutma katsayılarıdır. Ses yutma katsayısı verileri “Pop ve Rock Müzik Salonları için Uygun Yansıma Süreleri” (Niels Werner Adelman-Larsen ve diğerleri, 2010) adlı çalışmada yayımlanan ölçüm verilerinden alınmıştır. İlgili verilere ait tablo aşağıdaki şekilde verilmiştir.

**Tablo 7. Sıkışık Düzende Ayakta Duran Seyirci Verileri**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ses Yutma Katsayısı, $\alpha$	0.25	0.25	0.45	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00

Tablo 7’de yer alan veriler, (Niels Werner Adelman-Larsen ve diğerleri, 2010) tarafından yapılan çalışmada yayımlanan ölçüm sonuçları grafiğinden elde edilmiştir. İlgili grafik aşağıdaki şekilde verilmiştir. Ses yutma kat sayısının 1.0’den yüksek olduğu değerler, ayakta duran seyircinin daha büyük yüzey alanı yaratması ve kenar kırınım etkilerinin daha karmaşık olmasıyla açıklanmaktadır. ODEON’un kabul ettiği en yüksek değer 1 olduğu için, veri girişinde, 1’den yüksek olan tüm değerler 1’e eşitlenerek girilmektedir.

Alt frekanslarda düşük, orta-üst frekanslarda ise oldukça yüksek olan bu ses yutma profilinin, alt frekans bölgesi ile orta-üst frekans bölgesindeki yansım süreleri arasında büyük dengesizliğe yol açma potansiyeli mevcuttur. Bu nedenle rock müzik mekanlarının akustik tasarımında seyirci ses yutma katsayısının hesaba katılmaması halinde, dolu salon koşulunda, bas frekanslardaki yansım sürelerinin, orta ve üst frekanslardaki sürelerden yüksek çıkma ihtimali vardır. Bas ses enerjisinin yüksek olduğu pop ve rock müzik türlerinde, bas frekans spektrumundaki görece yüksek süreler, orta ve tiz frekanslar üzerinde maskeleye etkisine neden olacaktır.



**Şekil 20. Ayakta Konser İzleyen Seyirci Ses Yutma Profili**

## BÖLÜM - IV DENEY

Akustik ve elektroakustik parametrelerin karşılaştırmalı analizi için iki simülasyon senaryosu tanımlanmıştır. Her iki senaryodaki alıcı noktaları aynıdır. Elektroakustik ölçüm senaryosunda (Senaryo 1), ses kaynağı olarak Hard Rock Cafe ses sistemi hoparlörleri kullanılmıştır. Akustik ölçüm senaryosunda (Senaryo 2); Omni Ses kaynağı kullanılmıştır.

Senaryolarda elde edilen sonuçlar arasındaki farkın değerlendirilmesinde “Hissedilebilen En Küçük Fark” (Just Noticeable Difference, JND) ölçütü (Hak, Wenmaekers ve Van Luxemburg, 2012) kullanılmıştır. Karşılaştırılan parametreler ve ilgili JND değerleri aşağıdaki tabloda verilmektedir. Tablonun sağ sütununda hissedilebilir fark oranları (JND) belirtilmiştir

**Tablo 8. Ölçülen Akustik Parametreler ve Hissedilebilir Fark (JND) Değerleri**

Parametre	Hissedilebilen fark (Just Noticeable Difference, JND)
EDT	%5
T20	%5
T30	%5
Ts	10 ms
D50	0.05
C80	1 dB
LF(80)	0.05

## IV.1 Senaryo 1: Elektroakustik Ölçüm

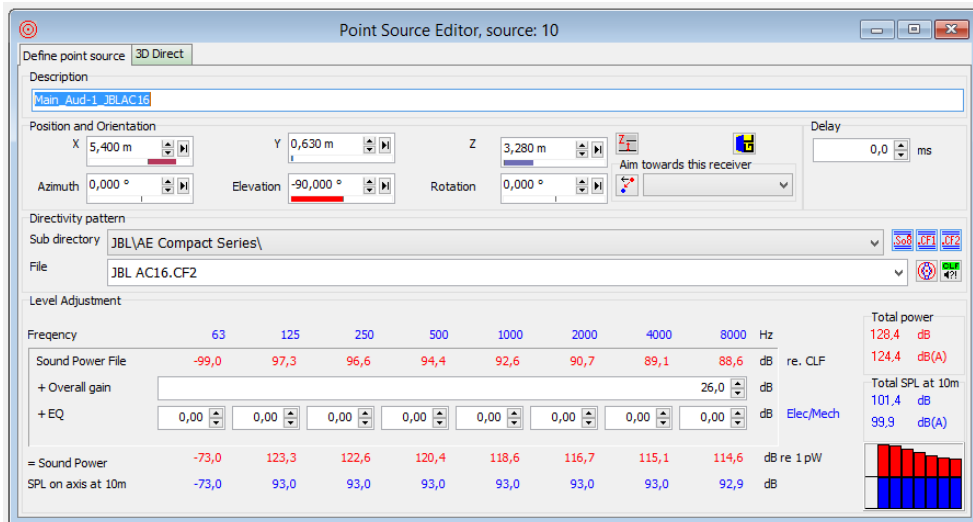
### IV.1.1 Ses Kaynağı Ayarları

Senaryo 1’de ses kaynağı olarak Bakü Hard Rock Cafe’nin ses sistemi hoparlörleri kullanılmıştır. Hoparlörler CLF verileriyle tanımlanmıştır. ODEON’da CLF verileri kullanıldığında, hoparlörler 1W/1m için tanımlanmış olan ses güçleriyle gelmektedir. Bu nedenle hoparlörlerin işletildikleri güce göre hesaplanan kazancın ODEON Noktasal Kaynak Editörü ile girilmesi gereklidir. Bu senaryoda her hoparlör, tanımlı program güçlerinde sürülmüştür. Aşağıdaki tabloda program gücü için hoparlörlere verilen kazançlar gösterilmiştir.

**Tablo 9. Ses Sistemi Program Gücü Hoparlör Kazançları**

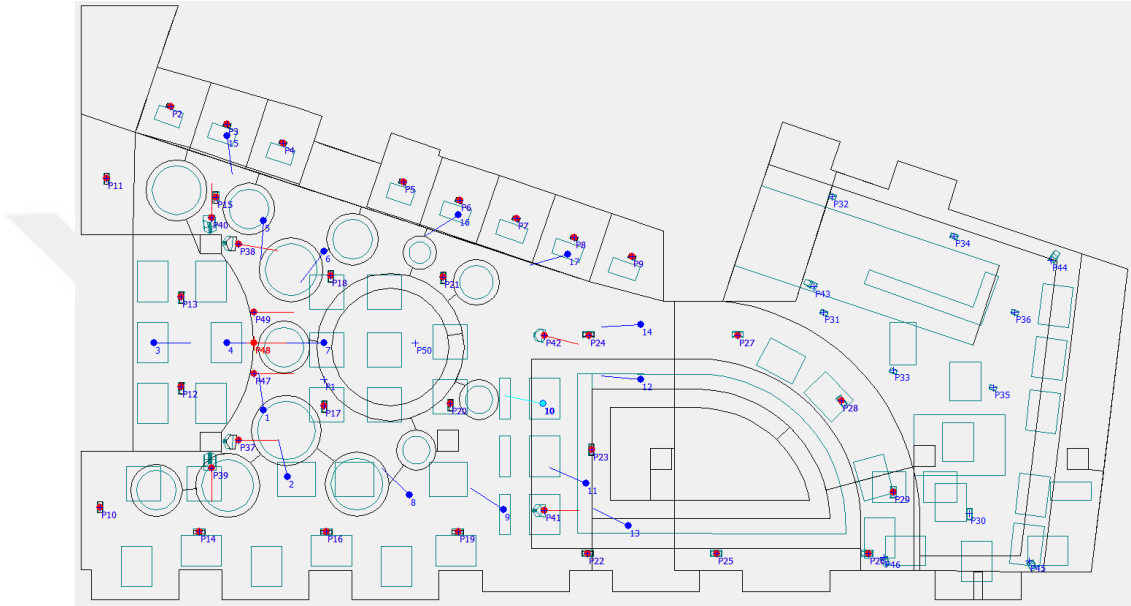
Hoparlör Grupları	Program Gücü (W)	Kazanç (dB)
Loca tavan	300	24.8
Ana tavan	400	26.0
Ana sütun	1200	30.8
Bas hoparlörleri	800	29.0

Aşağıdaki şekilde tavan hoparlör grubu için girilen kazanç görülmektedir.



**Şekil 21. ODEON Ses Kaynağı Editörü, Tavan Hoparlörleri Ayarı**

Ses sistemi hoparlörlerinin ses kaynağı olarak kullanıldığı senaryodaki kaynak-alıcı konumları aşağıdaki şekilde verilmiştir. Kırmızı noktalar aktif kaynakları, mavi noktalar ise alıcıları temsil etmektedir.



**Şekil 22. Senaryo – 1, Ses Kaynağı: Hard Rock Cafe Ses Sistemi ve Alıcı Noktaları**

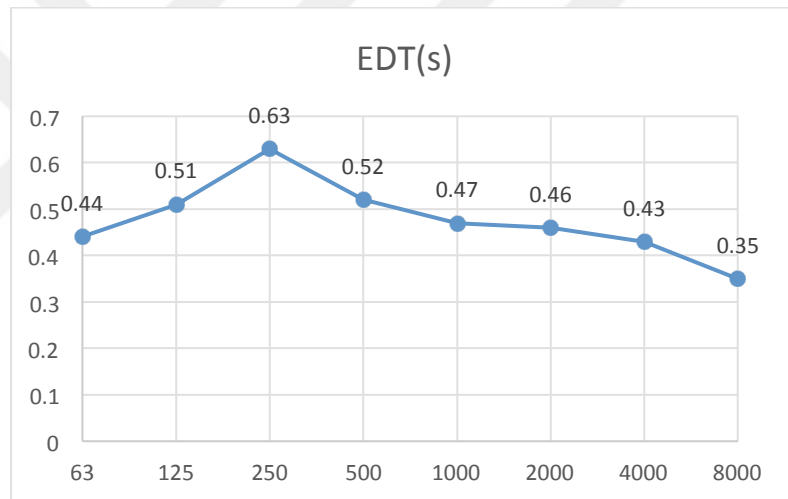
#### IV.1.2 Elektroakustik Ölçüm Sonuçları

Önceki bölümde tanımlanan ses kaynağı ve alıcı konumlarına göre elde edilen ölçüm sonuçları aşağıdaki bölümlerde tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Sonuçlar, toplam 17 alıcı noktasındaki ortalama değerleri göstermektedir.

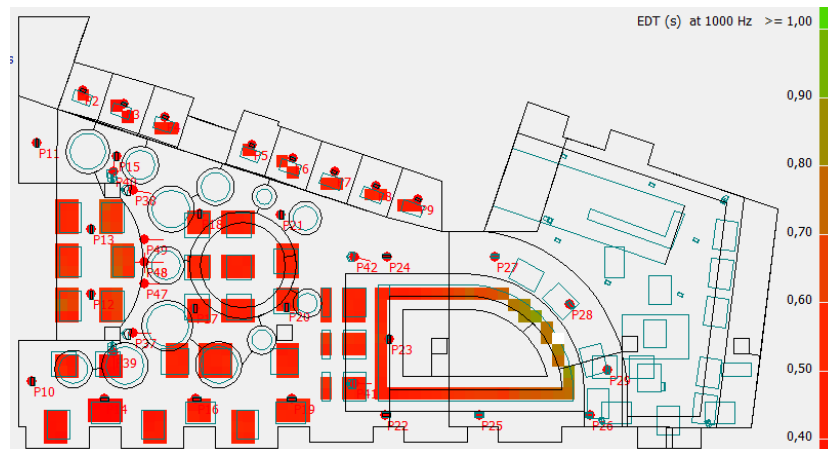
##### IV.1.2.1 EDT (s)

Tablo 10. Elektroakustik Ölçüm EDT Sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0.44	0.51	0.63	0.52	0.47	0.46	0.43	0.35



Şekil 23. Elektroakustik Ölçüm EDT Grafiği

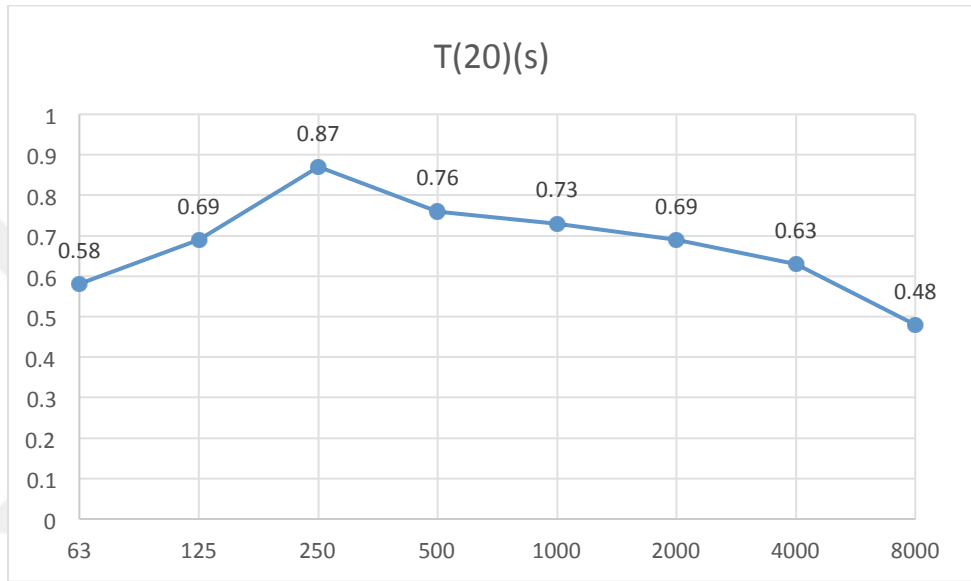


Şekil 24. Elektroakustik Ölçüm EDT Haritası

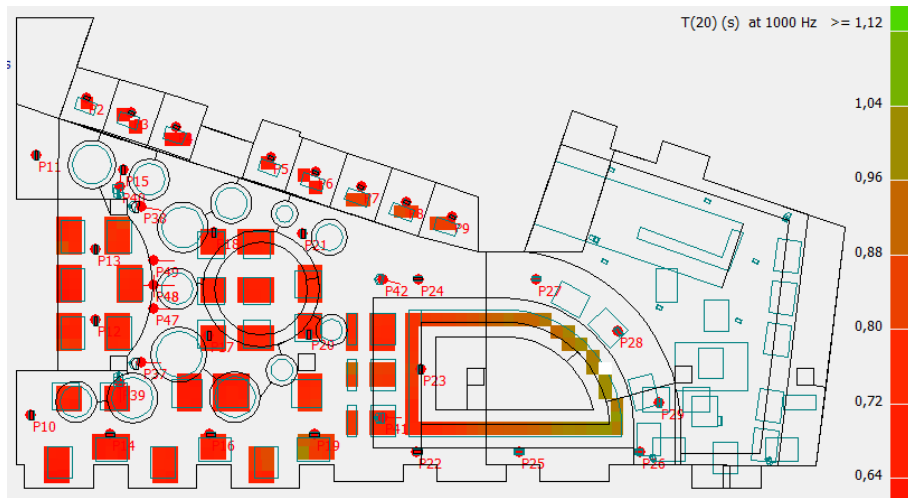
#### IV.1.2.2 T20 (s)

**Tablo 11. Elektroakustik Ölçüm T20 Sonuçları**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T20 (s)	0.58	0.69	0.87	0.76	0.73	0.69	0.63	0.48



**Şekil 25. Elektroakustik Ölçüm T20 Grafiği**

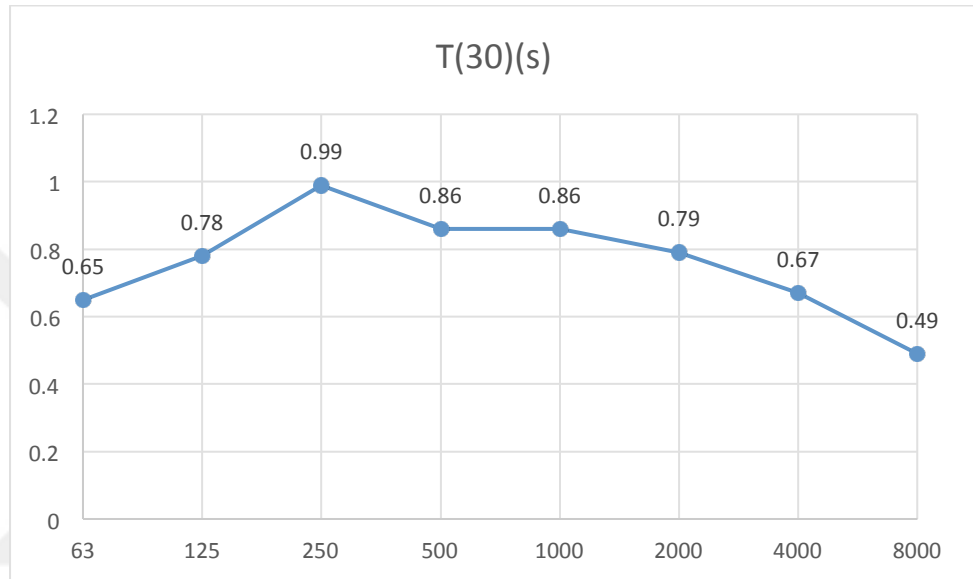


**Şekil 26. Elektroakustik Ölçüm T20 Haritası**

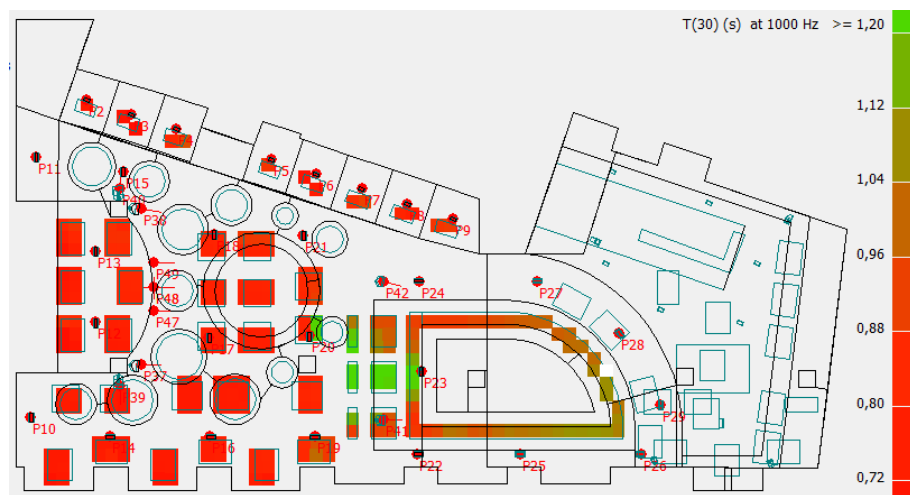
### IV.1.2.3 T30 (s)

**Tablo 12. Elektroakustik Ölçüm T30 Sonuçları**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 (s)	0.65	0.78	0.99	0.86	0.86	0.79	0.67	0.49



**Şekil 27. Elektroakustik Ölçüm T30 Grafiği**

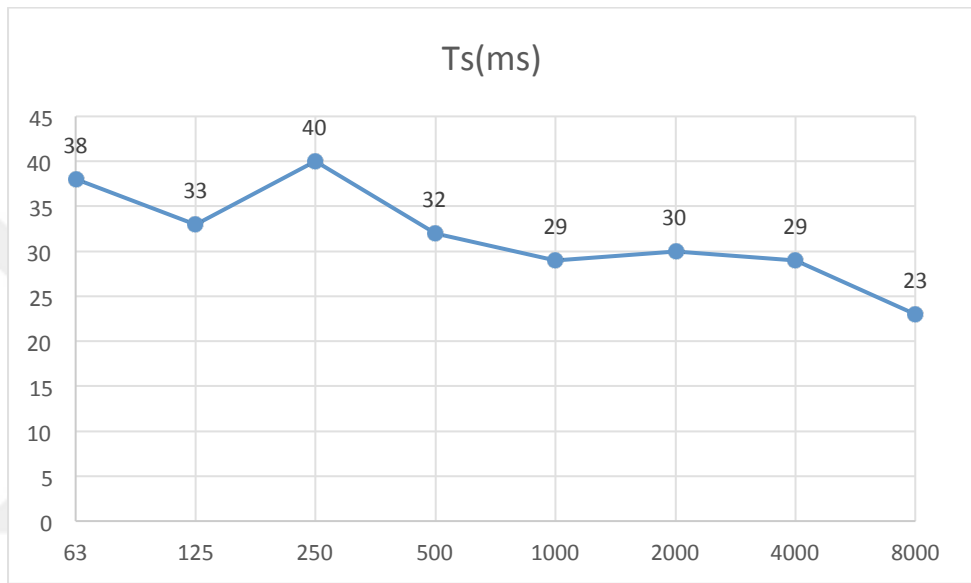


**Şekil 28. Elektroakustik Ölçüm T30 Haritası**

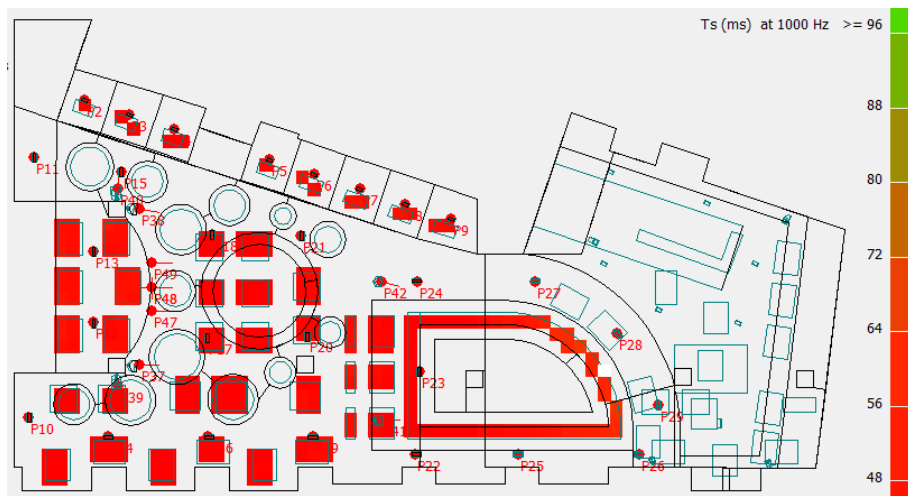
#### IV.1.2.4 Ts (ms)

Tablo 13. Elektroakustik Ölçüm Ts Sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ts (ms)	38	33	40	32	29	30	29	23



Şekil 29. Elektroakustik Ölçüm Ts Grafiği

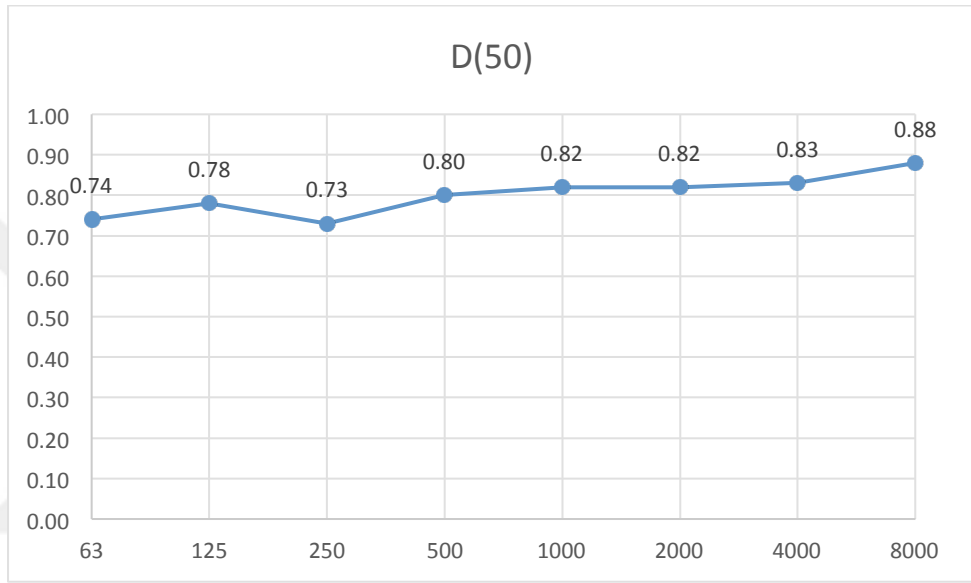


Şekil 30. Elektroakustik Ölçüm Ts Haritası

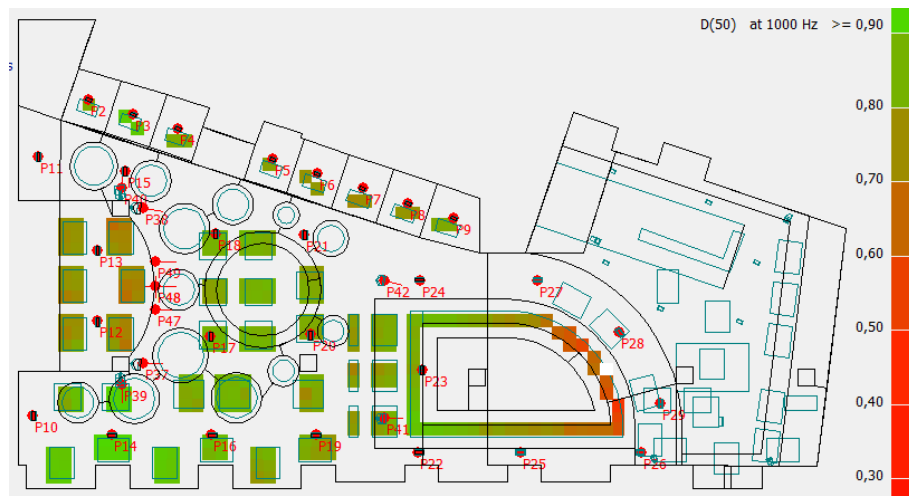
#### IV.1.2.5 D50

Tablo 14. Elektroakustik Ölçüm D50 Sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
D50	0.74	0.78	0.73	0.80	0.82	0.82	0.83	0.88



Şekil 31. Elektroakustik Ölçüm D50 Grafiği

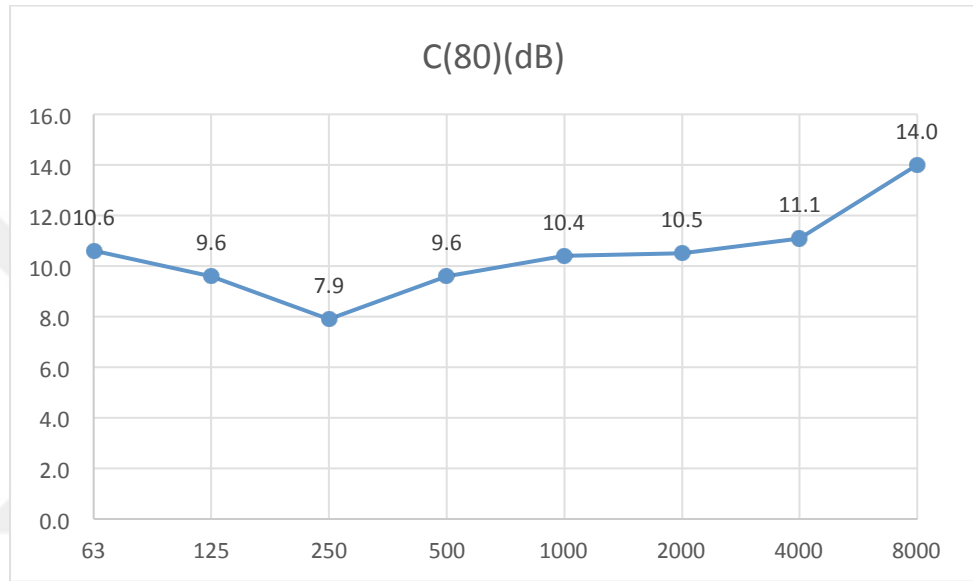


Şekil 32. Elektroakustik Ölçüm D50 Haritası

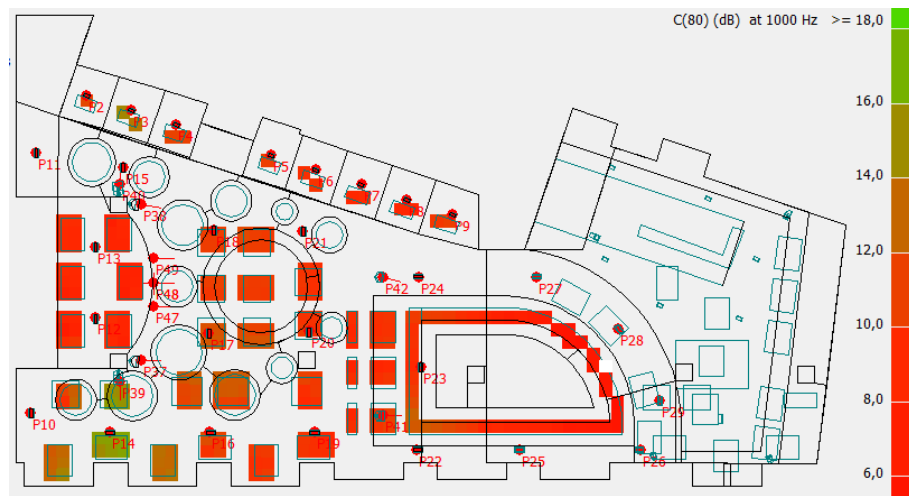
#### IV.1.2.6 C80 (dB)

Tablo 15. Elektroakustik Ölçüm C80 Sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 (dB)	10.6	9.6	7.9	9.6	10.4	10.5	11.1	14.0



Şekil 33. Elektroakustik Ölçüm C80 Grafiği

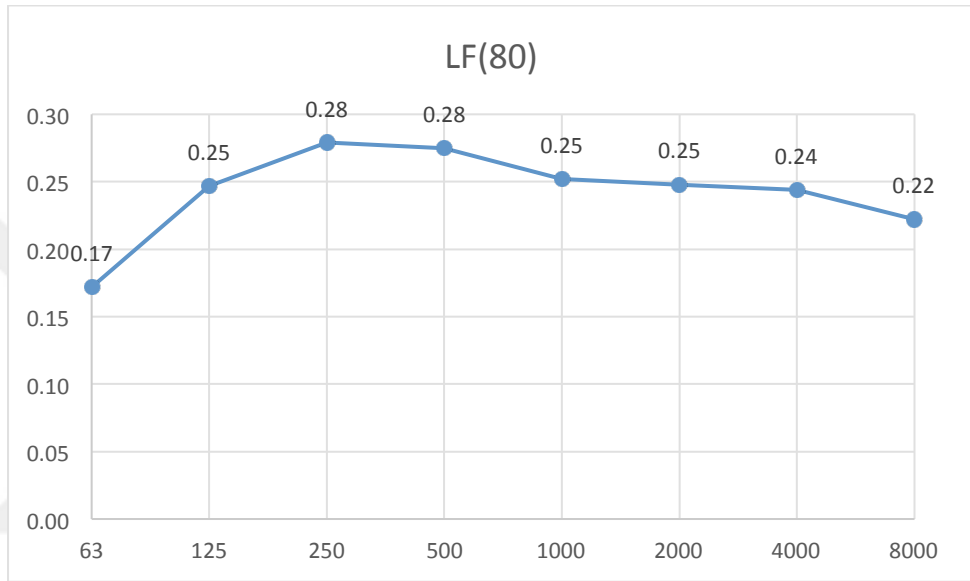


Şekil 34. Elektroakustik Ölçüm C80 Haritası

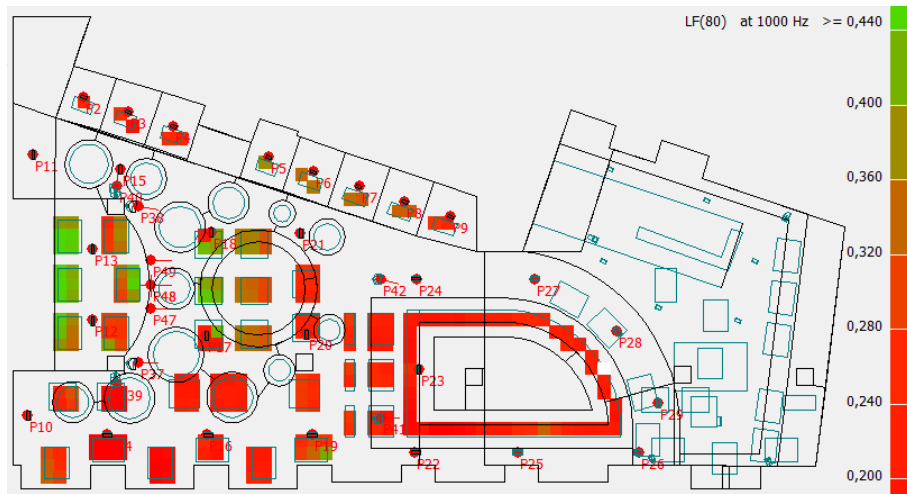
#### IV.1.2.7 LF80

**Tablo 16. Elektroakustik Ölçüm LF80 Sonuçları**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LF80	0.17	0.25	0.28	0.28	0.25	0.25	0.24	0.22



**Şekil 35. Elektroakustik Ölçüm LF80 Grafiği**



**Şekil 36. Elektroakustik Ölçüm LF80 Haritası**

### IV.1.3 Elektroakustik Ölçüm Sonuçlarının Analizi

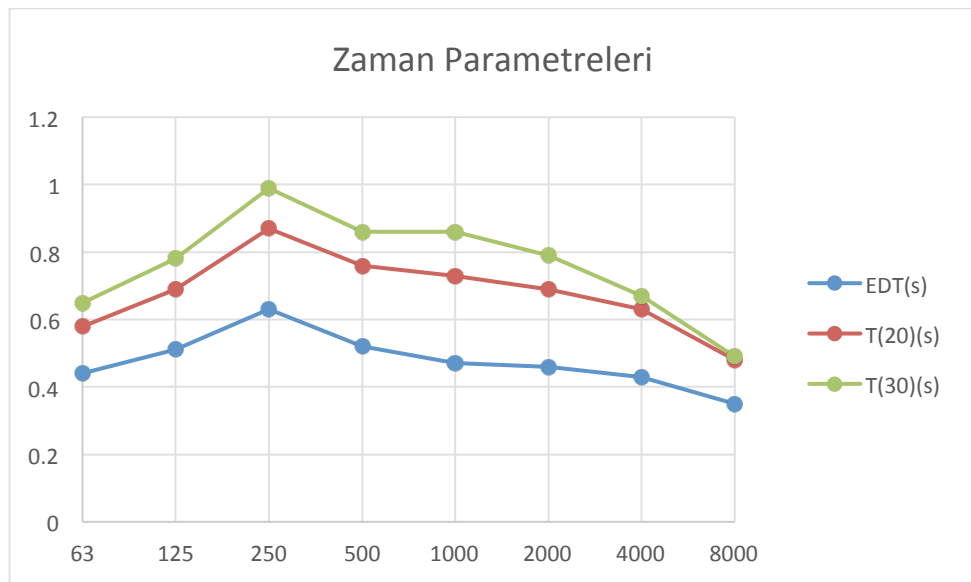
Aşağıdaki bölümlerde elektroakustik ölçüm sonuçları zaman ve enerji parametreleri kategorileri altında toplanmış özetleri ve değerlendirmeleri yer almaktadır.

#### IV.1.3.1 Zaman Parametreleri

Ses sisteminin kaynak olarak kullanıldığı simülasyonda ölçülen EDT, T20 ve T30 zaman parametrelerinin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

**Tablo 17. Elektroakustik Ölçüm Zaman Parametreleri**

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT(s)	0.44	0.51	0.63	0.52	0.47	0.46	0.43	0.35
T(20)(s)	0.58	0.69	0.87	0.76	0.73	0.69	0.63	0.48
T(30)(s)	0.65	0.78	0.99	0.86	0.86	0.79	0.67	0.49



**Şekil 37. Elektroakustik Ölçüm Zaman Parametreleri Toplu Grafiği**

Frekans bölgelerine göre ortalamaları alınmış zaman parametreleri tablosu aşağıda verilmiştir.

**Tablo 18. Frekans Bölgelerine Göre Elektroakustik Ölçüm Zaman Parametreleri**

<b>f (Hz)</b>	<b>63 - 125</b>	<b>250 - 2k</b>	<b>4k - 8k</b>
<b>EDT(s)</b>	0.48	0.52	0.39
<b>T(20)(s)</b>	0.64	0.76	0.56
<b>T(30)(s)</b>	0.72	0.88	0.58

EDT, ilk 10dB'lik düşüştten elde edilen yansışım süresi (RT) parametresidir. Bu sebeple, EDT değerleri ağırlıklı olarak ölçüm yapılan noktaya bağıldır ve dinleyici noktasında algılanan yansışım süresini gösterir. T20 ilk 20 dB, T30 ise ilk 30dB düşüştten elde edilen RT parametreleridir. Daha geç yansımaları kapsayan T20 ve T30 parametreleri hacmin genelinde algılanan yansışım süreleri için kullanılan göstergelerdir.

Mekanın yaklaşık 2,150 m<sup>3</sup>'lük hacmine göre literatürde klasik müzik için önerilen RT, 1.5 saniye civarındadır (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Elektroakustik simülasyon sonucunda elde edilen RT süreler tüm bantlarda 1 saniyenin altında seyretmektedir. Mekanın iç mimarisinde asma tavanın yoğun ses yutuculuğı ile dinleyicilerin ses yutuculuğı, elde edilen RT sürelerinde önemli rol oynamıştır. Bununla birlikte ses sistemi olan salonlarda daha düşük RT sürelerinin hem müzisyenler hem de ses mühendisleri tarafından tercih edildiğı önceki araştırmalarda ortaya konmuştur.

Simülasyon sonucu elde edilen EDT, T20 ve T30 değerlerinin farklı olması, sönme eğrisinin doğrusal olmadığını göstermektedir. Ağırlıklı olarak ölçüm noktasına bağı olan EDT'nin T20 ve T30'dan farklı değerler alması beklenen bir durumdur. Ancak T20 ile T30 arasındaki farklar hacmin akustik olarak üst kat hacmine bağı olmasına, hacmin simetrik olmayışına ve hacim içinde karmaşık yansıma örüntüleri oluşturan loca, bar, sahne podyumu vb. mimari öğelerin yer almasına bağılanmaktadır. Zaman parametrelerinin tümünde, 250Hz-2kHz bölgesinde yükselen sürelerden, birinci ve ikinci kattaki tavan uygulamasının sorumlu olduğı düşünölmektedir. Çünkü tavan

kaplamasının ses yutma katsayıları özellikle 250Hz bandında en düşük değeri almaktadır (Tablo 5).

Zaman parametrelerinin ölçüm haritalarına (Grid Response) bakıldığında alıcı noktalarında elde edilen ortalama değerler ile uyumlu bir dağılım elde edildiği gözlenmiştir. Bununla birlikte hacim içindeki değer dağılımının dengeli olduğu görülmüştür.

#### IV.1.3.2 Enerji Parametreleri

Ses sisteminin kaynak olarak kullanıldığı simülasyonda ölçülen Ts, D50, C80 ve LF80 enerji parametrelerinin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

**Tablo 19. Elektroakustik Ölçüm Enerji Parametreleri**

<b>f (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b>Ts(ms)</b>	38	33	40	32	29	30	29	23
<b>D(50)</b>	0.74	0.78	0.73	0.80	0.82	0.82	0.83	0.88
<b>C(80)(dB)</b>	10.6	9.6	7.9	9.6	10.4	10.5	11.1	14.0
<b>LF(80)</b>	0.17	0.25	0.28	0.28	0.25	0.25	0.24	0.22

Ts parametresi, sesin ekogram içinde nerede odaklandığını gösteren parametredir (Everest, 2009). Elektroakustik simülasyon sonucunda elde edilen Ts değerlerinin tüm frekans bantlarında, akustik ölçümler için verilen değer aralığının altında olduğu görülmektedir.

D50, parametresi konuşma ve aynı zamanda şarkı içindeki sözlerin anlaşılabilirliğini ölçmek için kullanılmaktadır. D50 parametresi ilk 50 ms içinde varan sesin enerjisinin toplam enerjiye oranı ile hesaplanmaktadır. Literatürde, en az  $D50 \geq 0.50$  koşulu istenmekte olup, bu değer hecelerin en az %85'inin anlaşılacağını göstermektedir (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Elektroakustik simülasyon sonucunda tüm frekans bantlarındaki en küçük D50 değeri 0.74'tür. Buna göre şarkılardaki sözlerin ve konuşma performanslarının anlaşılabilirliğinin yüksek olması beklenmektedir.

olup en geniş aralık  $-3 \text{ dB} \leq C80 \leq +8 \text{ dB}$  şeklinde verilmektedir (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Elektroakustik simülasyon sonucu elde edilen değerler tüm frekans bantlarında yüksektir.

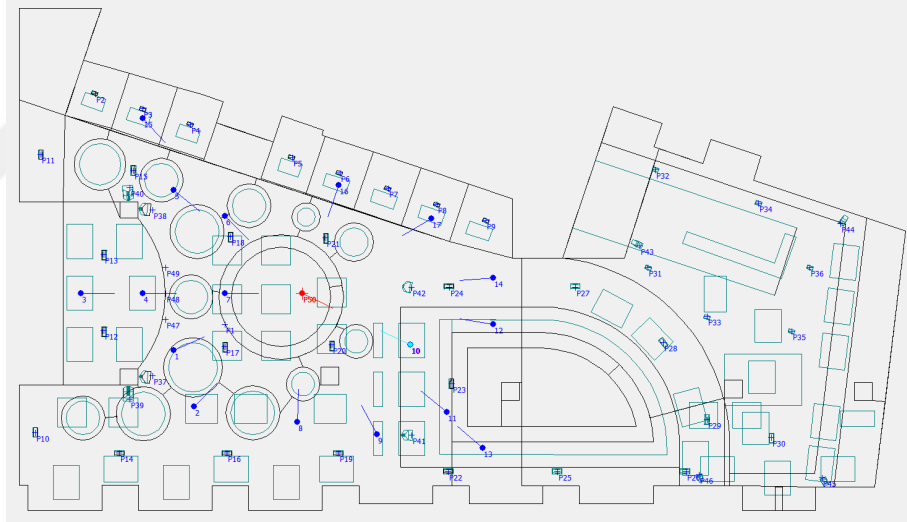
LF80 parametresi, yanal yansımaların etkisiyle dinleyici tarafından algılanan ses kaynağının görünür genişliği izlenimini ölçmekte kullanılmaktadır. Literatürde verilen uygun aralık  $0.10 \leq LF \leq 0.25$  şeklindedir (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Elektroakustik simülasyon sonucunda elde edilen değerler verilen aralık içindedir. RT sürelerinin oldukça düşük olmasına karşın elde edilen değerlerin bu aralık dahilinde olduğu görülmüştür. Bunda dağıtılmış ses sisteminin ve hoparlör yöneyselliklerinin etkin olduğu düşünülmektedir.

Zaman ve enerji parametrelerinin ölçüm haritalarına (Grid Response) bakıldığında alıcı noktalarında elde edilen ortalama değerler ile uyumlu bir dağılım elde edildiği gözlenmiştir. Bununla birlikte hacim içindeki değer dağılımının dengeli olduğu görülmüştür. LF80 haritasında, sahne alanındaki değerlerin, hacmin geri kalanına göre farklı olduğu gözlenmiştir. Bu alandaki alıcılar, sahne zeminin yüksekliği dolayısıyla diğer alıcılara göre farklı bir yükseklikte bulunmaktadır ve aynı zamanda düz ahşap olan arka sahne duvarına en yakın konumdadırlar. Bu sebeple hacmin geneline göre farklı bir yanal yansıma örüntüsünün etkisi altındadırlar.

## IV.2 Senaryo 2: Akustik Ölçüm

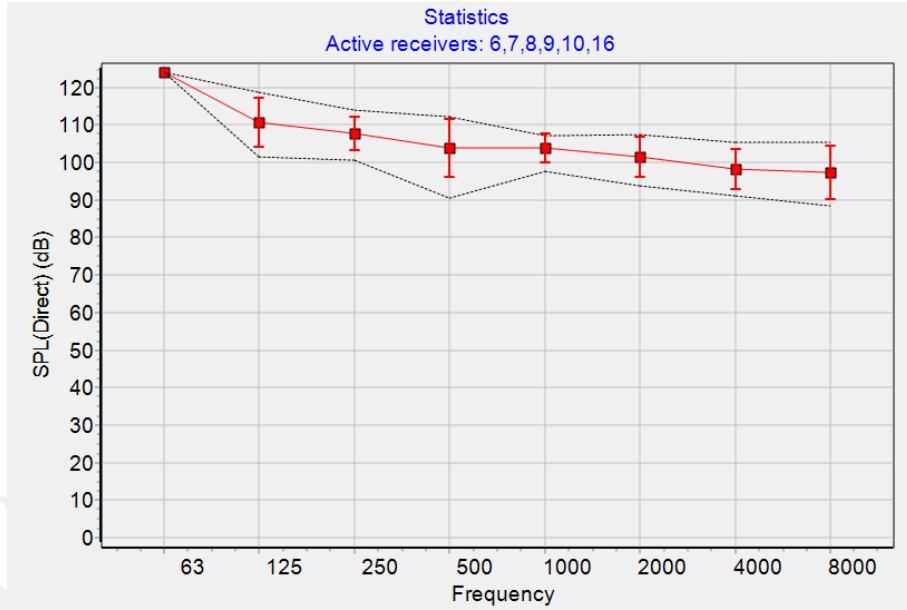
### IV.2.1 Ses Kaynağı Ayarları

Senaryo 2’de omni ses kaynağı kullanılarak 63Hz-8kHz arasında ölçüm yapılmıştır. Elektroakustik ölçüm sonuçları ile akustik ölçüm sonuçları arasında anlamlı bir karşılaştırma yapabilmek için Omni ses kaynağına verilecek kazanç (gain) miktarı önem arz etmektedir. Senaryo 1’de, ses sistemi hoparlörleri üretici tarafından tanımlanmış olan program güçleri seviyesinde sürülmüştür. Omni ses kaynağı ile ses sistemi hoparlörlerinin sağladığı ses gücünü denkleştirmek için, omni kaynağı çevreleyen 6 alıcı noktasında, ses sisteminin sağladığı ortalama direkt ses basıncı ölçülmüş ve omni kaynağa direkt ses basıncı ölçümünde bu ortalamayı sağlayacak oranda kazanç verilmiştir.



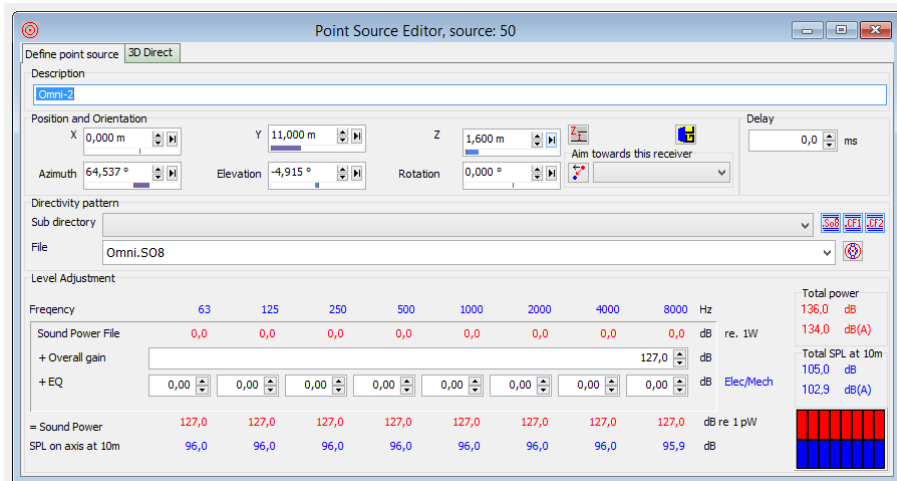
**Şekil 38. Senaryo – 2, Omni Ses Kaynağı ve Alıcı Noktaları**

Omni kaynağını çevreleyen (6, 7, 8, 9, 10 ve 16 ) numaralı alıcılar için ses sisteminin sağladığı ortalama direkt ses basıncı (SPL A\_Direct, Average) elektroakustik simülasyon senaryosunda (Senaryo 1) **109.1 dB** olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafikte ses destek sisteminin ilgili alıcı noktalarında, frekans bantları bazındaki direkt ses basıncı görülmektedir.



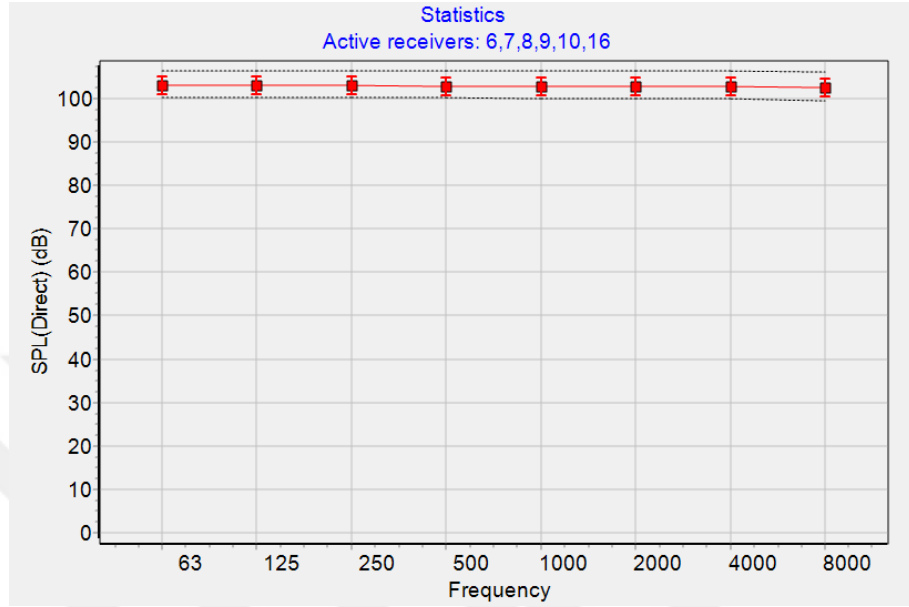
Şekil 39. Ses Destek Sisteminin Seçili Alıcılardaki Direkt Ses Basıncı (Senaryo 1)

Senaryo 1’de elde edilen veriler kullanılarak, Senaryo 2’de omni ses kaynağına 127 dB kazanç verilmiş ve aynı alıcı noktalarında ortalama **109.8 dB** direkt ses basıncı (SPL A\_Direct, Average) elde edilmiştir. Aşağıdaki grafikte Omni ses kaynağına ODEON Ses Kaynağı Editörü ile verilen kazanç görülmektedir.



Şekil 40. ODEON Ses Kaynağı Editörü, Omni Ses Kaynağı Ayarı

Aşağıdaki grafikte omni ses kaynağının ilgili alıcı noktalarında frekans bantları bazındaki direkt ses basıncı görülmektedir.



Şekil 41. Omni Ses Kaynağının Seçili Alıcılardaki Direkt Ses Basıncı (Senaryo 2)

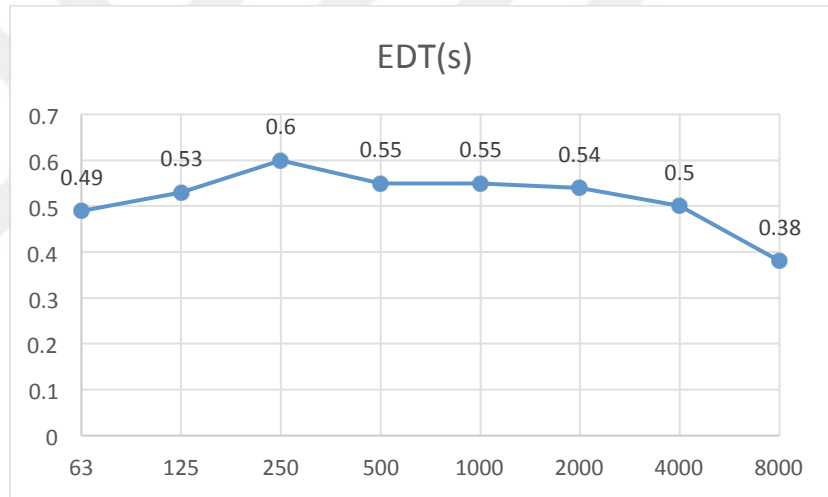
## IV.2.2 Akustik Ölçüm Sonuçları

Önceki bölümde tanımlanan ses kaynağı ve alıcı konumlarına göre elde edilen ölçüm sonuçları aşağıdaki bölümlerde tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Sonuçlar, toplam 17 alıcı noktasındaki ortalama değerleri göstermektedir.

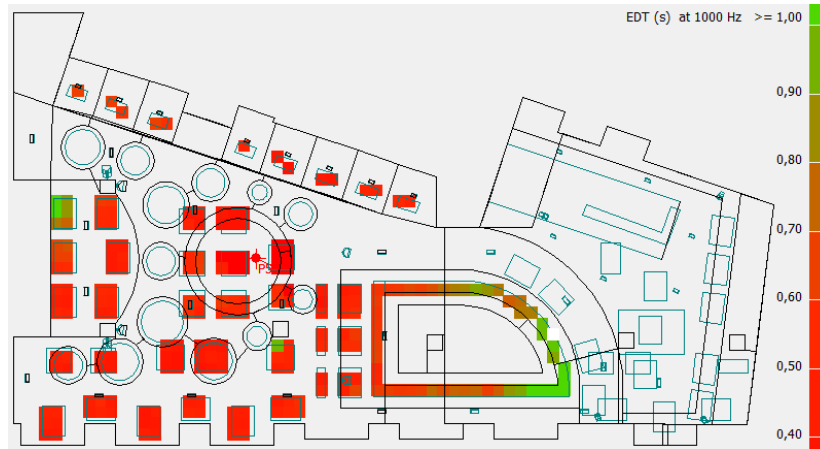
### IV.2.2.1 EDT (s)

Tablo 20. Akustik Ölçüm EDT Sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT (s)	0.49	0.53	0.6	0.55	0.55	0.54	0.5	0.38



Şekil 42. Akustik Ölçüm EDT Grafiği

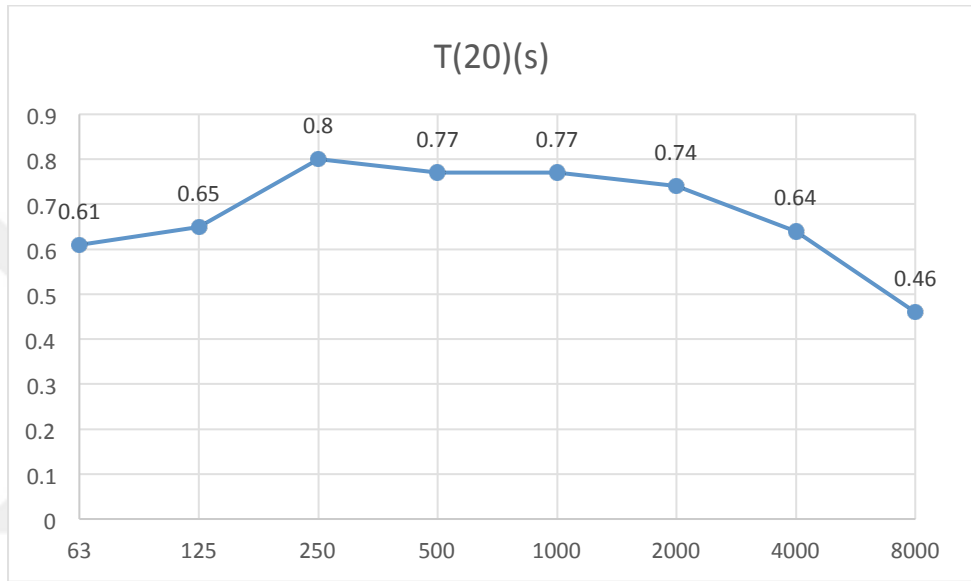


Şekil 43. Akustik Ölçüm EDT Haritası

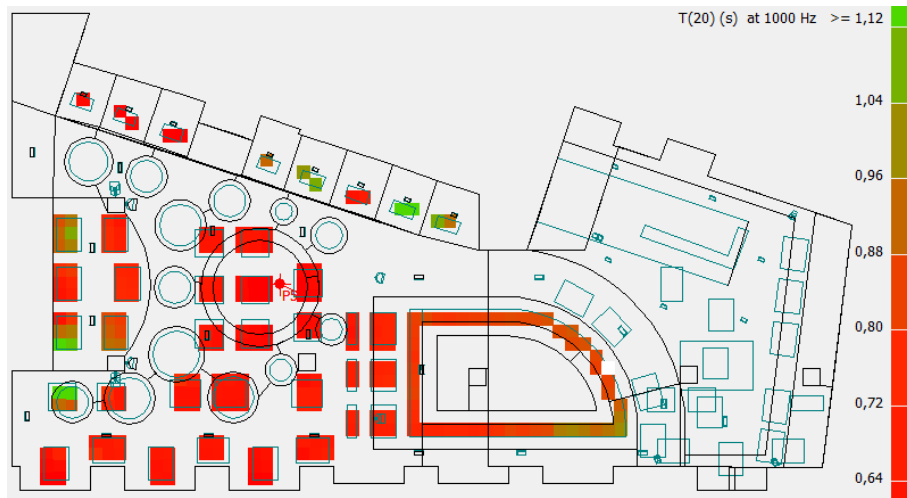
#### IV.2.2.2 T20 (s)

**Tablo 21. Akustik Ölçüm T20 Sonuçları**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T20 (s)	0.61	0.65	0.8	0.77	0.77	0.74	0.64	0.46



**Şekil 44. Akustik Ölçüm T20 Grafiği**

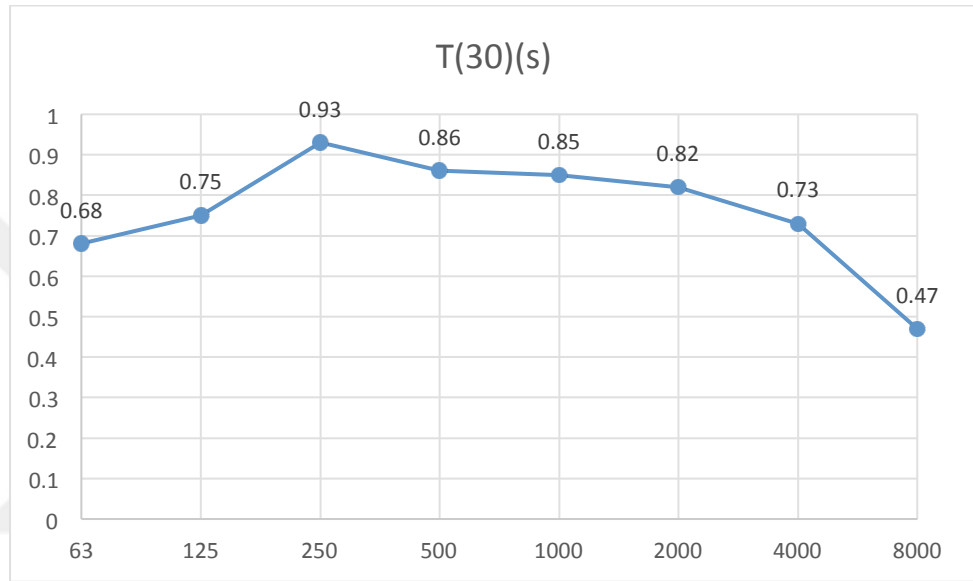


**Şekil 45. Akustik Ölçüm T20 Haritası**

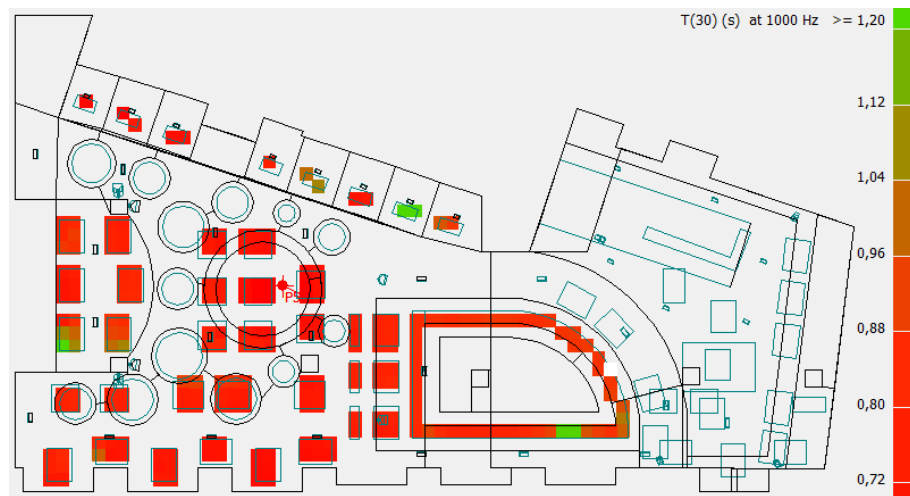
### IV.2.2.3 T30 (s)

Tablo 22. Akustik Ölçüm T30 Sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 (s)	0.68	0.75	0.93	0.86	0.85	0.82	0.73	0.47



Şekil 46. Akustik Ölçüm T30 Grafiği

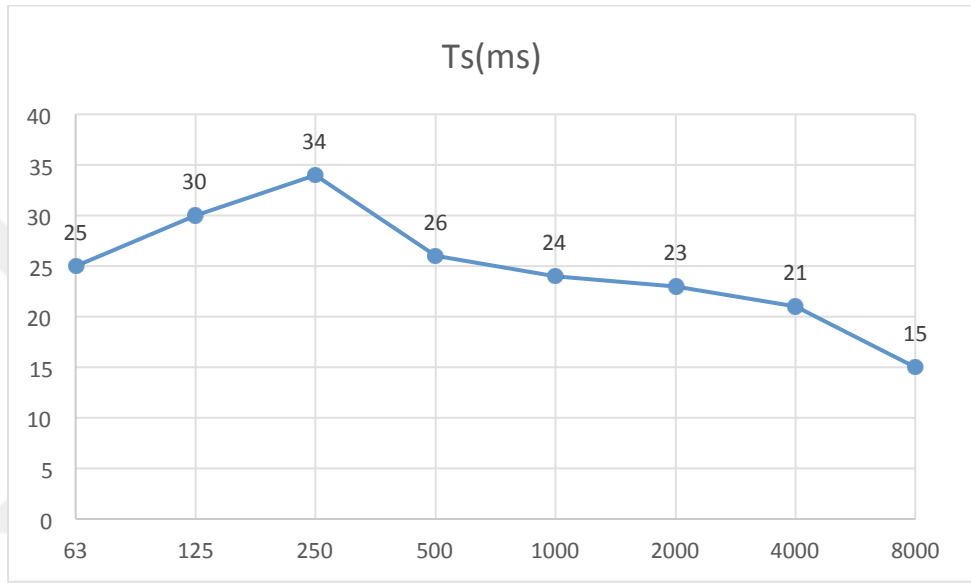


Şekil 47. Akustik Ölçüm T30 Haritası

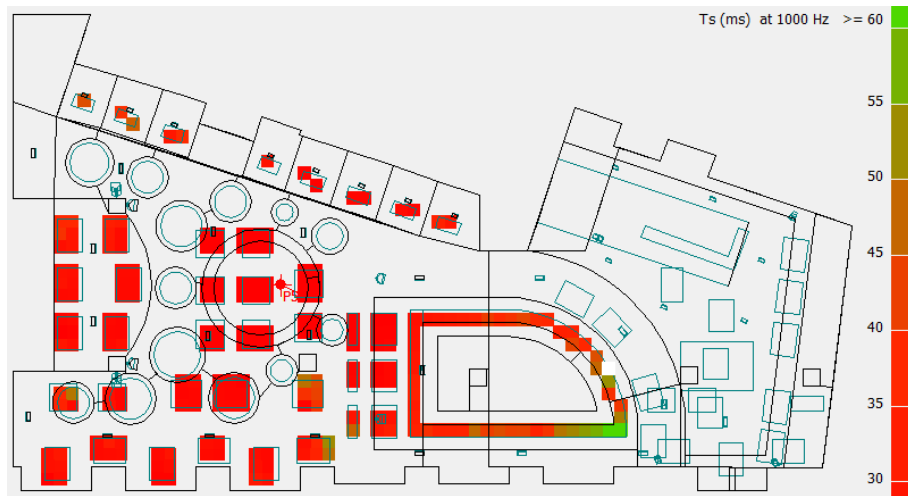
#### IV.2.2.4 Ts (ms)

**Tablo 23. Akustik Ölçüm Ts Sonuçları**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ts (ms)	25	30	34	26	24	23	21	15



**Şekil 48. Akustik Ölçüm Ts Grafiği**

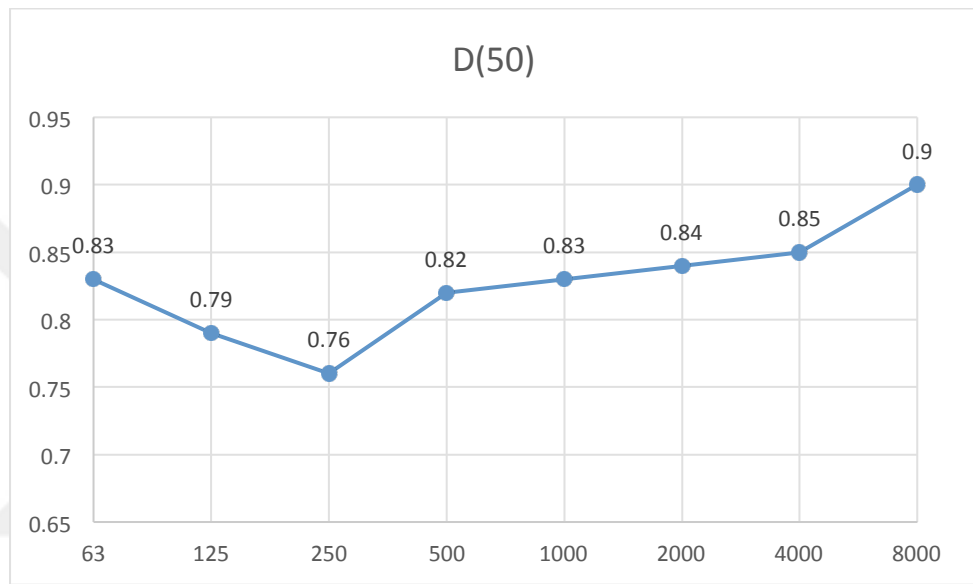


**Şekil 49. Akustik Ölçüm Ts Haritası**

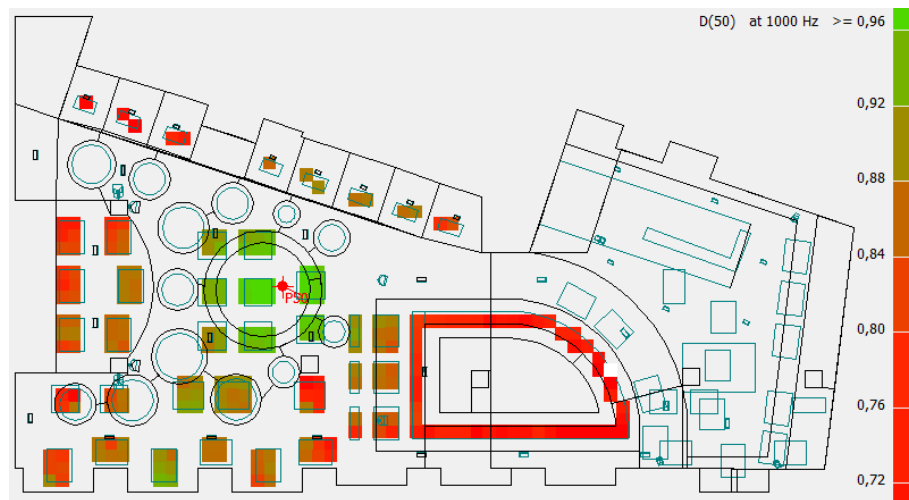
#### IV.2.2.5 D50

**Tablo 24. Akustik Ölçüm Ts Sonuçları**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
D50	0.83	0.79	0.76	0.82	0.83	0.84	0.85	0.90



**Şekil 50. Akustik Ölçüm D50 Grafiği**

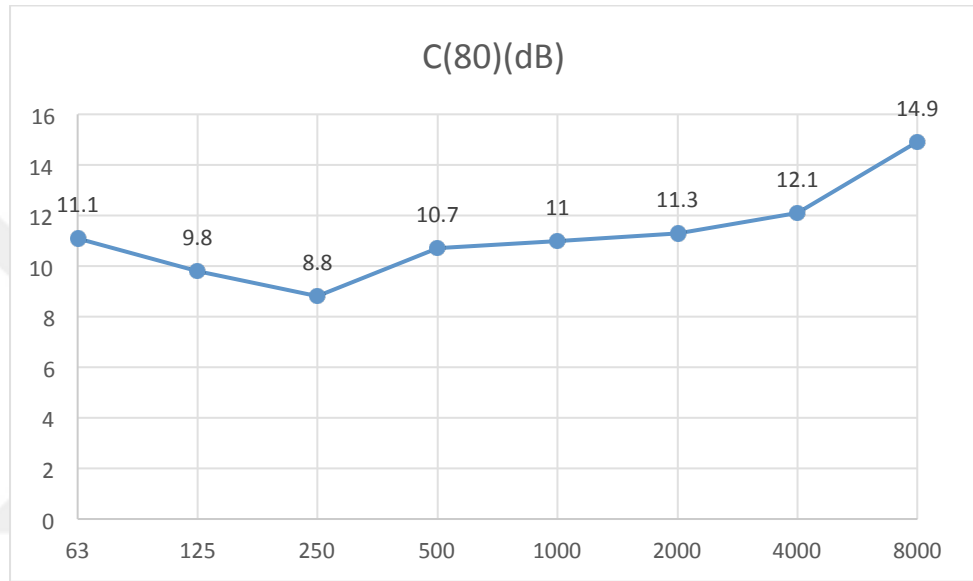


**Şekil 51. Akustik Ölçüm D50 Haritası**

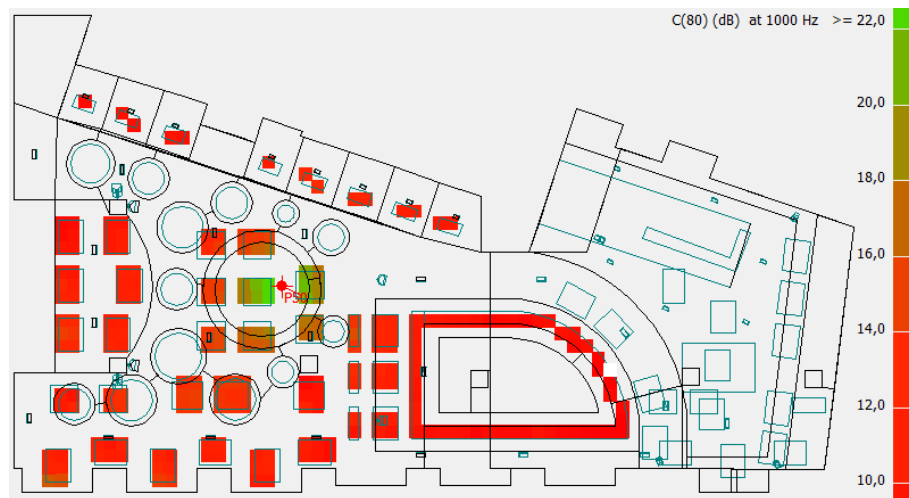
#### IV.2.2.6 C80 (dB)

Tablo 25. Akustik Ölçüm C80 Sonuçları

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 (dB)	11.1	9.8	8.8	10.7	11	11.3	12.1	14.9



Şekil 52. Akustik Ölçüm C80 Grafiği

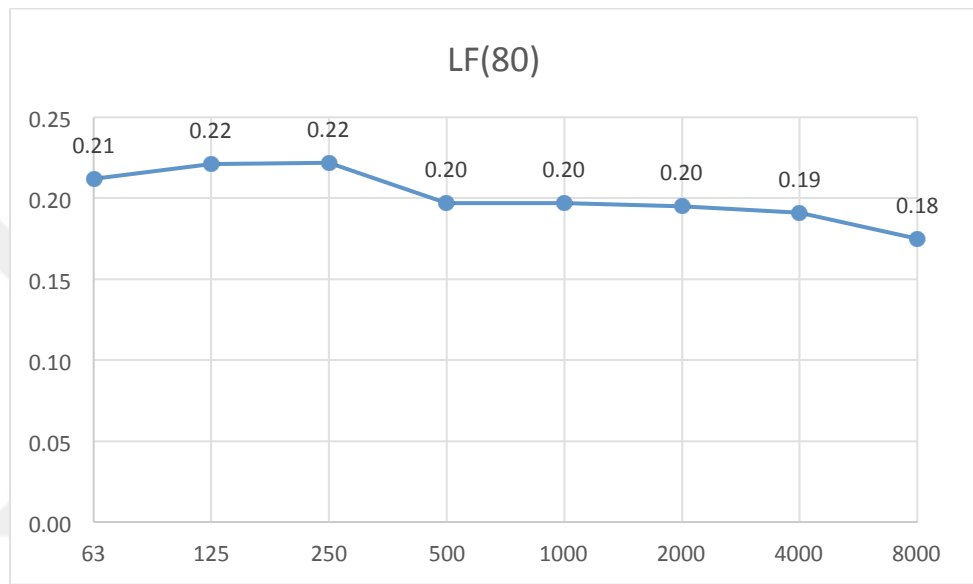


Şekil 53. Akustik Ölçüm C80 Haritası

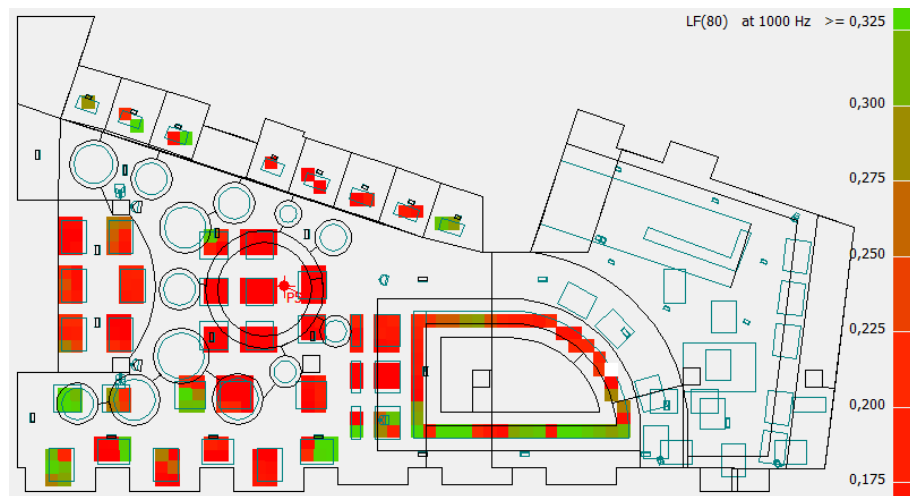
#### IV.2.2.7 LF80

**Tablo 26. Akustik Ölçüm LF80 Sonuçları**

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
LF80	0.21	0.22	0.22	0.20	0.20	0.20	0.19	0.18



**Şekil 54. Akustik Ölçüm LF80 Grafiği**



**Şekil 55. Akustik Ölçüm LF80 Haritası**

### IV.2.3 Akustik Ölçüm Sonuçlarının Analizi

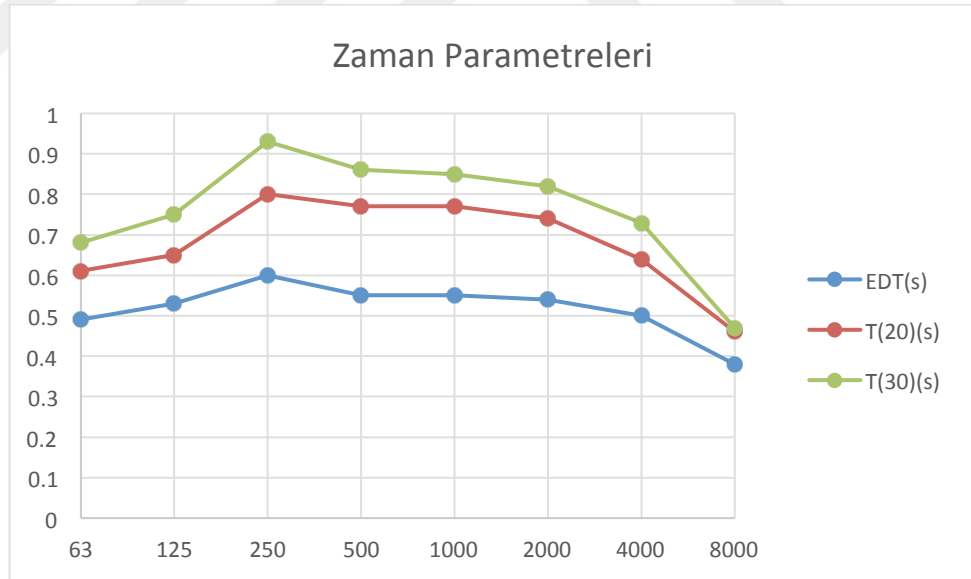
Aşağıdaki bölümlerde akustik ölçüm sonuçları zaman ve enerji parametreleri kategorileri altında toplanmış özetleri ve değerlendirmeleri yer almaktadır.

#### IV.2.3.1 Zaman Parametreleri

Omni ses kaynağının kullanıldığı simülasyonda ölçülen EDT, T20 ve T30 zaman parametrelerinin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

**Tablo 27. Akustik Ölçüm Zaman Parametreleri**

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT(s)	0.49	0.53	0.6	0.55	0.55	0.54	0.5	0.38
T(20)(s)	0.61	0.65	0.8	0.77	0.77	0.74	0.64	0.46
T(30)(s)	0.68	0.75	0.93	0.86	0.85	0.82	0.73	0.47



**Şekil 56. Akustik Ölçüm Zaman Parametreleri Toplu Grafığı**

Frekans bölgelerine göre ortalamaları alınmış zaman parametreleri tablosu aşağıda verilmiştir.

**Tablo 28. Frekans Bölgelerine Göre Akustik Ölçüm Zaman Parametreleri**

<b>f (Hz)</b>	<b>63 - 125</b>	<b>250 - 2k</b>	<b>4k - 8k</b>
<b>EDT(s)</b>	0.51	0.56	0.44
<b>T(20)(s)</b>	0.63	0.77	0.55
<b>T(30)(s)</b>	0.72	0.87	0.60

Bu senaryoda (Akustik) EDT, T20 ve T30 (RT parametreleri) için elde edilen eğriler, bir önceki senaryoda (Elektroakustik) elde edilen eğriler ile paralellik göstermektedir. Akustik ve elektroakustik simülasyon sonuçlarından elde edilen RT değerleri arasında büyük farkları beklenmemektedir..

Akustik simülasyon sonucunda elde edilen RT süreleri de yine tüm bantlarda 1 saniyenin altında seyretmektedir. Bu durum, RT eğrilerinin ana hatlarını iç mimari yüzeylerin akustik özelliklerinin belirliyor oluşu ile açıklanmaktadır. Ancak parametre değerleri sayısal olarak ele alındığında elde edilen farkların JND değerlerini aşması halinde bu durum tasarımda dikkate alınacak bir fark olarak değerlendirilebilir. Bu karşılaştırma ve değerlendirmeler ileriki bölümde yapılacaktır.

Akustik simülasyon sonucu elde edilen EDT, T20 ve T30 değerlerinin farklı olması, elektroakustik simülasyonda olduğu gibi sönme eğrisinin doğrusal olmadığını göstermektedir. Bu senaryoda elde edilen EDT, T20 ve T30 değerleri arasındaki farklılıklar için düşünülen sebepler, bir önceki simülasyon senaryosunda (elektroakustik) öne sürülen sebepler ile aynıdır.

Bu senaryoda elde edilen zaman parametrelerinin ölçüm haritalarına (Grid Response) bakıldığında, önceki senaryo ile aynı şekilde, tüm alıcı noktalarında elde edilen değerlerin ortalamasının, grid ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

#### IV.2.3.2 Enerji Parametreleri

Omni ses kaynağının kullanıldığı Akustik simülasyon senaryosunda elde edilen Ts, D50, C80 ve LF80 enerji parametrelerinin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

**Tablo 29. Akustik Ölçüm Enerji Parametreleri**

<b>f (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b>Ts(ms)</b>	25	30	34	26	24	23	21	15
<b>D(50)</b>	0.83	0.79	0.76	0.82	0.83	0.84	0.85	0.9
<b>C(80)(dB)</b>	11.1	9.8	8.8	10.7	11	11.3	12.1	14.9
<b>LF(80)</b>	0.21	0.22	0.22	0.20	0.20	0.20	0.19	0.18

Akustik simülasyon sonucunda elde edilen Ts değerlerinin, bir önceki senaryodakine benzer biçimde, tüm frekans bantlarında, akustik ölçümler için verilen değer aralığının altında olduğu görülmektedir. İki farklı senaryo sonucunda elde edilen değerler sayısal olarak ileriki bölümde karşılaştırılacaktır.

D50, parametresi konuşma ve aynı zamanda şarkı içindeki sözlerin anlaşılabilirliğini ölçmek için kullanılmaktadır. D50 parametresi ilk 50 ms içinde varan sesin enerjisinin toplam enerjiye oranı ile hesaplanmaktadır. Literatürde, en az  $D50 \geq 0.50$  koşulu istenmekte olup, bu değer hecelerin en az %85'inin anlaşılacağını göstermektedir (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Akustik simülasyon sonucunda tüm frekans bantlarındaki en küçük D50 değeri 0.76'dır. Buna göre şarkılardaki sözlerin ve konuşma performanslarının anlaşılabilirliğinin yüksek olması beklenmektedir.

C80 parametresi müzikteki berraklığın ölçülmesi için kullanılmaktadır. Literatürde müzik için verilen değer aralığının müzik türüne bağlı olduğu belirtilmekte olup en geniş aralık  $-3 \text{ dB} \leq C80 \leq +8 \text{ dB}$  şeklinde verilmektedir (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Akustik simülasyon sonucu elde edilen değerler tüm frekans bantlarında yüksektir.

LF80 parametresi, yanal yansımaların etkisiyle dinleyici tarafından algılanan ses kaynağının görünür genişliği izlenimini ölçmekte kullanılmaktadır. Literatürde verilen uygun aralık  $0.10 \leq LF \leq 0.25$  şeklindedir (Ahnert ve Tennhardt, 2013). Akustik simülasyon sonucunda elde edilen değerler verilen aralık içindedir.

Bu senaryoda elde edilen zaman ve enerji parametrelerinin ölçüm haritalarına (Grid Response) bakıldığında, önceki senaryodakine benzer şekilde, tüm alıcı noktalarında elde edilen değerlerin ortalamasının, grid ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu durum, hacim içindeki akustik parametrelerin dengeli dağılımı, alıcı noktalarının yeterli sayıda seçilmiş olması ve uygun biçimde dağıtılmış olmasıyla açıklanmaktadır.

#### IV.2.4 Elektroakustik - Akustik Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Elektroakustik ve akustik ölçüm sonuçları aşağıdaki tablolarda karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elektroakustik ve akustik ölçümlerde elde edilen sonuçlar arasındaki farklar ilgili parametrelerin hissedilebilir fark (JND) değeri ile karşılaştırılmıştır. Farkın JND değerinin aştığı durumlar “\*” ile işaretlenerek belirtilmiştir. Bu sütunlar elektroakustik ve akustik parametre sonuçları arasındaki anlamlı farklara işaret etmektedir.

##### IV.2.4.1 EDT

Aşağıdaki karşılaştırma tablosunda 125 Hz dışındaki tüm bantlarda JND aralığının aşıldığı görülmektedir.

**Tablo 30. EDT Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu**

EDT(s)								
f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Elektroakustik</b>	0.44	0.51	0.63	0.52	0.47	0.46	0.43	0.35
<b>Akustik</b>	0.49	0.53	0.6	0.55	0.55	0.54	0.5	0.38
<b>% Fark</b>	11.4	3.9	5	5.8	17	17.4	16.3	8.6
<b>&lt; JND</b>	*		*	*	*	*	*	*

EDT değerlerinin ağırlıklı olarak ölçüm noktasına bağlı olması dikkate alındığında aynı noktalarda yapılan akustik ve elektroakustik ölçümlerin, ölçüm yöntemi bakımından karşılaştırılması mümkündür. Buna göre ortaya çıkan fark, ses kaynağı olarak ses destek sistemi hoparlörlerinin kullanılmasıyla açıklanmaktadır. Dağıtılmış ses destek sistemi hoparlörlerinin, konumları ve yöneysellikleri itibariyle EDT sürelerinde farklılığa yol açtığı sonucuna varılmıştır.

#### IV.2.4.2 T20

T20 parametresinin karşılaştırıldığı aşağıdaki tabloda 500Hz, 4000Hz ve 8000 Hz bantlarında JND aralığını aşan değerler gözlenmiştir. 8000Hz bandındaki %4.3'lük farkın %5'lik JND aralığına oldukça yakın olduğu gözlenmiştir.

T20 parametresindeki farklılıkların ses destek sisteminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Tablo 31. T20 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu**

T(20)(s)								
f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Elektroakustik	0.58	0.69	0.87	0.76	0.73	0.69	0.63	0.48
Akustik	0.61	0.65	0.8	0.77	0.77	0.74	0.64	0.46
% Fark	5.2	6.2	8.7	1.3	5.5	7.2	1.6	4.3
< JND	*	*	*		*	*		

#### IV.2.4.3 T30

T30 parametresinin karşılaştırıldığı aşağıdaki tabloda, JND değerlerinin 250Hz ve 400Hz bantlarında aşıldığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçta omni ses kaynağının veya ses destek sisteminin etken olmadığı düşünülmektedir. Bu durum önceki sonuçlarla tutarlıdır, çünkü T30 kaynak-alıcı konumundan bağımsız olarak hacmin genel yansımam karakterini yansıtmaktadır.

**Tablo 32. T30 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu**

T(30)(s)								
f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Elektroakustik	0.65	0.78	0.99	0.86	0.86	0.79	0.67	0.49
Akustik	0.68	0.75	0.93	0.86	0.85	0.82	0.73	0.47
% Fark	4.6	4	6.5	0	1.2	3.8	9	4.3
< JND			*				*	

#### IV.2.4.4 Ts

Ts parametresinin karşılaştırıldığı aşağıdaki tabloda elektroakustik ve akustik ölçüm yönünden frekans spektrumu boyunca görülen tek fark 63Hz bandındadır. Pop ve Rock müziği bakımından önemi olan 63 Hz bandındaki farkın ses destek sistemindeki bas ses gücünden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

**Tablo 33. Ts Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu**

Ts(ms)								
f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Elektroakustik</b>	38	33	40	32	29	30	29	23
<b>Akustik</b>	25	30	34	26	24	23	21	15
<b>Fark (ms)</b>	13	3	6	6	5	7	8	8
<b>&lt; JND</b>	*							

#### IV.2.4.5 D50

D50 parametresinin karşılaştırıldığı aşağıdaki tabloda, JND değerini aşan tek farkın 63 Hz bandında gerçekleştiği görülmektedir. Elektroakustik ölçümlerde daha düşük çıkan D50 değerlerinden, bas hoparlörleri sebebiyle bas frekans bölgesinde daha yoğun olan ses enerjisinin sorumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 34. D50 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu**

D(50)								
f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Elektroakustik</b>	0.74	0.78	0.73	0.80	0.82	0.82	0.83	0.88
<b>Akustik</b>	0.83	0.79	0.76	0.82	0.83	0.84	0.85	0.9
<b>Fark</b>	0.09	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
<b>&lt; JND</b>	*							

#### IV.2.4.6 C80

C80 parametresinin karşılaştırıldığı aşağıdaki tabloda, JND değerinin 500Hz ve 4000Hz bantlarında aşıldığı gözlenmektedir. C80 1000Hz oktav bandında ölçüldüğü için bunun anlamlı bir fark olmadığı düşünülmektedir.

**Tablo 35. C80 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu**

C(80)(dB)								
f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Elektroakustik</b>	10.6	9.6	7.9	9.6	10.4	10.5	11.1	14.0
<b>Akustik</b>	11.1	9.8	8.8	10.7	11	11.3	12.1	14.9
<b>Fark (dB)</b>	0.5	0.2	0.9	1.1	0.6	0.8	1	0.9
<b>&lt; JND</b>				*			*	

#### IV.2.4.7 LF80

LF80 parametresinin karşılaştırıldığı aşağıdaki tabloda, JND değerinin 63, 125 ve 8000Hz dışındaki frekans bantlarında aşıldığı gözlenmiştir. Bas frekansların yayılma karakteri göz önüne alındığında bu 63Hz ve 125Hz bantlarındaki yanal yansımalarda bir fark oluşmaması anlaşılır bir durumdur. Diğer tüm bantlarda ise farkların ortaya çıkması ses destek sistemi hoparlörlerinin yöneyselliği ile açıklanabilir.

**Tablo 36. LF80 Akustik - Elektroakustik Karşılaştırma Tablosu**

LF(80)								
f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Elektroakustik</b>	0.17	0.25	0.28	0.28	0.25	0.25	0.24	0.22
<b>Akustik</b>	0.21	0.22	0.22	0.20	0.20	0.20	0.19	0.18
<b>Fark</b>	0.04	0.03	0.06	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05
<b>&lt; JND</b>			*	*	*	*	*	*

#### IV.2.5 Simülasyon Sonuçlarının Literatürdeki Sonuçlarla Karşılaştırılması

Pop ve Rock müzik mekanlarının akustik parametrelerinin ortaya konması yönünde yapılan bilimsel çalışmalarda ölçülen salonlar arasında, hacimsel büyüklüğü bakımından Hard Rock Cafe'ye yakın olan 3 salon bulunmaktadır. Bu salonlarda yapılan ölçümlerde T30, EDT ve C80 parametrelerinin 125Hz-2kHz arasındaki ortalamaları verilmiştir (Niels Werner Adelman-Larsen, 2014). Aşağıdaki tabloda Hard Rock Cafe'nin 125Hz-2kHz aralığındaki parametreleriyle birlikte literatürde yer alan salonların nesnel parametreleri ve öznel değerlendirmeleri verilmektedir.

Sol sütündeki anket sonuçları salonda konser vermiş müzisyen ve ses mühendisleri arasında yapılan anketlerin ortalamalarını yansıtmaktadır. Derecelendirme 1 ile 20 arasında puanlama ile yapılmış olup 1 en iyi 20 en kötü değeri temsil etmektedir.

**Tablo 37. Sonuçların Literatürle Karşılaştırılması**

Salon Adı	Hacim (m <sup>3</sup> )	T30 <sub>63-125</sub> (s)	T30 <sub>250-2k</sub> (s)	EDT <sub>63-2k</sub> (s)	D50 <sub>63-2k</sub> (s)	Anket Sonucu
Bakü Hard Rock Cafe (Elektroakustik Sim.)	2150	0.72	0.88	0.50	0.78	-
Bakü Hard Rock Cafe (Akustik Sim.)	2150	0.72	0.87	0.54	0.81	-
Godset	2150	0.7	0.8	0.5	0.6	5
Musikhuzet	2080	1.1	0.9	1.1	0.5	12
Magasinet	2540	1.9	1.3	1.3	0.3	18

Yukarıdaki tabloda müzisyenler ve ses mühendisleri tarafından en iyi değerlendirmeyi almış olan salon Godset adlı salondur. Bu salonun hacmi tasarımı yapılan Bakü Hard Rock Cafe ile aynıdır. Simülasyon sonucu elde edilen değerler ile Godset değerleri karşılaştırıldığında, tasarım sonuçlarının literatürde en iyi puanı almış olan bu salon ile örtüştüğü görülmektedir. Dolayısıyla akustik ve elektroakustik ölçümler arasındaki karşılaştırma geçerli bir aralık dahilinde yapılmıştır.

## SONUÇ

Akustik ve elektroakustik ölçümler sonucu elde edilen değerlerin karşılaştırılmasında, 63Hz-8kHz aralığındaki 8 oktav bandında “Hissedilebilir Fark” (JND) eşiğini aşan değerler dikkate alınmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde en büyük farklar, EDT, T20 ve LF80 parametrelerinde gözlenmiştir. EDT için 7 bantta, T20 için 5 bantta ve LF80 için 6 bantta JND eşiğini aşan değerler gözlenmiştir.

Dinamik aralığı klasik müziğe göre daha dar olan ve çoğunlukla ritmik altyapı üzerine kurulu olan pop ve rock müzik türlerinde, EDT ve T20 gibi daha kısa entegrasyon süresine göre hesaplanan zaman parametrelerinin, bu müzik türü için T30’a göre öncelikli parametreler olduğu düşünülmektedir. Ayrıca EDT, ağırlıklı olarak ölçüm noktasındaki yansıma karakterinin bir göstergesi olduğundan, seyircinin deneyimlediği akustik ortam ile yakından ilişkilidir.

Uzamsal parametre olarak sınıflandırılmış olan LF80, yanal yansımaların oranına göre seyircinin sesle kuşatılma izlenimini değerlendirmekte kullanılan nesnel parametredir. Bu yönüyle LF80, seyircinin müzik deneyimi yönünden önem arz eden parametrelerden biridir.

Elektroakustik – akustik ölçüm sonuçları karşılaştırmasında 8 bantlık frekans spektrumu için oranlanan farklar EDT %87, LF80 %75 ve T20 %62 olarak ortaya çıkmıştır. Bu değerlere dayanılarak, ses destek sisteminin gerçek işletme koşulu göz önüne alınarak yapılan ölçümlerin / simülasyonların anlamlı olduğu düşünülmektedir.

Rock ve pop müzik mekanlarının akustik tasarımında, ses destek sisteminin tasarlanan yerleşimi ve işletme gücü uygulanarak gerçekleştirilecek simülasyonların, seyircinin deneyimleyeceği akustik ortama daha yakın sonuçlar vereceği öngörülmüş ve yapılan karşılaştırmalı simülasyonda, öngörüğü destekleyen sonuçlar gözlenmiştir. Tasarımın, elektroakustik verilere dayalı olarak geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKÇA

Adelman-Larsen, N. W. (2014). *Rock and pop venues: Acoustic and architectural design*. Springer.

Adelman-Larsen, N. W. ve Dammerud, J. J. (2011). A survey of reverberation times in 50 European venues presenting pop & rock concerts. *Proceedings of Forum Acusticum* içinde .

Adelman-Larsen, N. W., Thompson, E. R. ve Gade, A. C. (2007). Acoustics in Pop and Rock Music Halls. *Audio Engineering Society Convention 123* içinde .

Adelman-Larsen, N. W., Thompson, E. R. ve Gade, A. C. (2010). Suitable reverberation times for halls for rock and pop musica). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(1), 247–255.

Ahnert, W. ve Steffen, F. (2000). *Sound reinforcement engineering: Fundamentals and practice*. CRC Press.

Ahnert, W. ve Tennhardt, H.-P. (2013). Acoustics for auditoriums and concert halls. *Handbook for sound engineers*, 109–155.

Barron, M. (2009). *Auditorium acoustics and architectural design*. Routledge.

Beranek, L. (2012). *Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture*. Springer Science & Business Media.

Christensen, C., Koutsouris, G. ve Gill, J. (2015). ODEON Room Acoustics Software, Version 12, User Manual.

CLF-Group. (2004). Common Loudspeaker File Format. *Syn-Aud-Con Newsletter v32*, (4).

Everest, A. F. (2009). *Master Handbook of Acoustic* (5th ed.). McGraw-Hill.

Gade, A. (2007). Acoustics in halls for speech and music. *Springer handbook of acoustics* içinde (ss. 301–350). Springer.

Hak, C., Wenmaekers, R. ve Van Luxemburg, L. (2012). Measuring room impulse responses: Impact of the decay range on derived room acoustic parameters. *Acta Acustica united with Acustica*, 98(6), 907–915.

Lacatis, R., Giménez, A., Barba Sevillano, A., Cerdá, S., Romero, J. ve Cibrián, R. (2008). Historical and chronological evolution of the concert hall acoustics parameters. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5), 3198.

Standard, A. (2009). 1M-2009, Audio Coverage Uniformity in Enclosed Listener Areas. *ANSI/INFOCOMM*.

# ÖZGEÇMİŞ

**Adı, Soyadı:** Mahmut Sözer

**Doğum Yeri ve Yılı:** İzmir, 1974

**Yabancı Dili:** İngilizce, Fransızca

## Eğitim:

Yüksek Lisans: 2016, Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü,

Müzik Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

Lisans: 1997, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden

Mühendisliği Bölümü

Ön Lisans: 2008, Ege Üniversitesi Devlet Türk Müziği Konservatuvarı,

Temel Bilimler Bölümü

Lise: 1991, İzmir Atatürk Lisesi

## Diğer Eğitim ve Sertifikalar:

ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi ve İç Denetçi Eğitimi, Bureau

Veritas, 2016, İzmir

A2 Mühendislik Akustiği Sertifikası, Çevre Mühendisleri Odası, 2014, İzmir

Introduction to Music Production, Berklee College of Music, 2013, Online

Songwriting, Berklee College of Music, 2013, Online

Jazz Improvisation, Berklee College of Music, 2013, Online

## İş Tecrübesi

Akustik-Elektroakustik Proje Mühendisi, Karakutu Elektroakustik Ltd.,

2015-Devam ediyor, İzmir

Müzik Prodüksiyon, Açık Yapım, 2012 – 2015, İzmir

Proje Dokümantasyon Hizmetleri, 1999 – 2012, İzmir