

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ
MÜZİK BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

AASSM KÜÇÜK SALONU'NUN HACİM AKUSTİĞİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Hazırlayan:

Erdinç ÖZTAN

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. Serhat DURMAZ

İzmir/2016

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**AASSM Küçük Salonunun Hacim Akustiği Açısından Değerlendirilmesi**” adlı çalışmamın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynaklarda gösterilenlerden olduğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

09/09/2016

Erdiń ÖZTAN



TUTANAK

Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü'nün/...../..... tarih ve sayılı toplantısında oluşturulan jüri, Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği'nin maddesine göre Müzik Bilimleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi, Erdinç Öztan'ın “**AASSM Küçük Salonun Hacim Akustiği Açısından Değerlendirilmesi**” konulu tezi incelenmiş ve aday/...../..... tarihinde, saat’da jüri önünde tez savunmasına alınmıştır.

Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini savunmasından sonra dakikalık süre içerisinde 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 DOKÜMANTASYON MERKEZİ**TEZ / PROJE VERİ FORMU****Tez No:** **Konu Kodu:** **Üniv. Kodu:**

• Not: Bu bölüm merkezimiz tarafından doldurulacaktır.

Tez / Proje Yazarının**Soyadı:** ÖZTAN**Adı:** Erdiñ**Tezin / Projenin Türkçe Adı:** "AASSM Küçük Salonunun Hacim Akustiği Açısından Değerlendirilmesi"**Tezin / Projenin Yabancı Dildeki Adı:** "A Consideration on Room Acoustics on AASSM Kucuk Salon"**Tezin / Projenin Yapıldığı****Üniversite:** D.E.Ü.**Enstitü:** G.S.F.**Yıl:** 2016**Tezin / Projenin Türü:****Yüksek Lisans:** **Doktora:** **Tıpta Uzmanlık:** **Sanatta Yeterlilik:** **Dili:** Türkçe**Sayfa Sayısı:** 70**Tez / Proje Danışmanının:****Ünvanı:** Yrd. Doç. Dr.**Adı:** Serhat**Soyadı:** DURMAZ**Türkçe Anahtar Kelimeler:****İngilizce Anahtar Kelimeler:**

- 1 - Akustik
- 2 – Hacim Akustiği
- 3 – Oda Müziği Salonları
- 4 - Resital Salonları
- 5 – Konser Salonu

- 1- Acoustics
- 2- Room Acoustics
- 3- Chamber Music Halls
- 4- Recital Halls
- 5- Concert Halls

Tarih:**İmza:****Tezimin Erişim Sayfasında Yayımlanmasını İstiyorum.****Evet****Hayır**

ÖZET

Türkiye'nin önemli sanat merkezlerinden biri olan Ahmed Adnan Saygun Sanat Merkezi (AASSM) ve bünyesinde yer alan Küçük Salon gerek çağdaş bir yapı olması, gerek akustik projesini hazırlayan firmanın sektördeki yeri açısından önemli bir mekândır.

Bu çalışmada, çoğunlukla resital ve küçük çalgı grupları için dinleti salonu olarak kullanılan Küçük Salon'un işlevine göre belirlenen temel akustik parametrelere uyumluluğu araştırılmaktadır.

Çalışma, seyircisiz salonda ölçümlenen fiziksel ve akustik verilerin seçilen akustik parametrelere ve bu parametrelerin tipik aralık değerlerine uyumluluğunu, benzetim ortamında salonun 3D olarak modellenmesini, benzetime göre akustik sonuçların değerlendirilmesini, ölçümlenmiş veriler doğrultusunda malzeme kalibrasyonunun yapılmasını ve son olarak seyircili salon benzetiminden elde edilen analizlerin evrensel akustik parametrelere göre ne kadar uygunluk gösterdiğini incelemektedir.

Bu çalışma, evrensel araçlar ve yöntemler kullanarak, benzer hacim akustiği çalışmaları yapmak isteyen genç araştırmacılara tipik bir etüt örneği sunmaktadır.

ABSTRACT

Turkey's one of the most important cultural art centers, Ahmed Adnan Saygun Sanat Merkezi (AASSM) and its second hall "Küçük Salon" is in an important position because of its modernity and its acoustic design created by an important firm.

"Küçük Salon" is mostly used for recitals and small bands. In this work, basic acoustical parameters that were chosen for auditoriums' general use are researched.

In this work, physical and acoustical data of unoccupied hall and its suitability for chosen acoustical parameters and their typical ranges are researched. Then, a simulation of unoccupied hall was created and calibrated to the acoustical measurement of the hall. After that, the occupied acoustical data of the hall was extracted from that simulation and these datas' suitability of chosen acoustical parameters is researched.

Using universal instruments and techniques, this work represents a typical practice for similar studies of room acoustics for young researchers.

ÖNSÖZ

AASSM İzmir'in en önemli, Türkiye'nin de uluslararası standartları karşıladığı söylenen sayılı kültürel tesislerinden biridir. Böylesi önemli bir yapının ve bünyesindeki salonların akustik yetenekleri benim için olduğu kadar, eminim bu alanda çalışan diğer genç araştırmacılar için de oldukça çekicidir.

Dokuz Eylül Üniversitesi'nce desteklenen, danışmanım Serhat Durmaz'ın başkanlığında yürütülen, benim de aktif olarak görev aldığım “*Konser Salonlarının Akustik Performanslarının Belirlenmesi*” adlı bilimsel araştırma projesinde akustik ölçümleme konusunda önemli tecrübeler edindim. Bu alanda çalışan genç bir akademisyen ve akustik ölçüm sorumlusu olarak tanık olduğum mekânlardan küçük bir hacim örneği üzerinde farklı etütler yapmak, deneyimlerimi artırmak için, danışmanımın da önerisi ile AASSM Küçük Salon'un akustik özelliklerini tez konusu olarak seçtim.

Uluslararası standartlar, araçlar, yöntem ve ekipmanlar ile bir hacmin akustik verilerini yorumlamak, vargılara tanıklık etmek bu çalışmamın başlıca hedefidir.

Tez boyunca büyük bir ilgiyle, hiç bir detayı atlamadan çalışmalarımı inceleyen, manevi anlamda da desteğini hiç esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Serhat DURMAZ'a teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunmak isterim. Ayrıca, her konuda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli eğitimcim Prof. Dr. Feridun ÖZİŞ, Prof. Dr. Cihan IŞIKHAN, Prof. Dr. Fırat KUTLUK ve Doç. Dr. Aykut ÇEREZCİOĞLU'na ayrıca teşekkür ederim. Çalışmamın genç araştırmacılara destek olmasını dilerim.

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ.....	i
TUTANAK.....	ii
YÖK DÖKÜMANTASYON MERKEZİ TEZ VERİ FORMU.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
KISALTILAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 AMAÇ VE KAPSAM.....	3
2. AKUSTİK PARAMETRELER VE KABULLER	4
2.1 ÇINLAMA SÜRESİ (RT60, REVERBERATION TIME)	4
2.2 ERKEN AZALIM SÜRESİ (EDT, EARLY DECAY TIME).....	6
2.3 MERKEZİ ZAMAN (Ts, SCHWERPUNKTZEIT; ING: CENTRE TIME)	8
2.4 SES GÜCÜ (G, STÄRKEMAB; ING: STRENGTH).....	9
2.5 NETLİK (C80, KLARHEITSMAB; ING: CLARITY)	10
2.6 ERKEN YANAL ENERJİ FRAKSİYONU (LF, LATERAL FRACTION)	11
2.7 KONUŞMA İLETİM ENDEKSİ (STI, SPEECH TRANSMISSION INDEX).....	14
2.8 ARKA PLAN GÜRÜLTÜ DÜZEYİ.....	16
2.9 AKUSTİK PARAMETRELER İÇİN ÇALIŞMANIN KABUL DEĞERLERİ.....	19
3. AASSM KÜÇÜK SALON	21
3.1 TARİHÇE	21
3.2 KÜÇÜK SALON'UN GENEL ÖZELLİKLERİ	22
3.3 KULLANILAN AKUSTİK MALZEMELER.....	24
3.3.1 Ahşap Modül 1	24
3.3.2 Ahşap Modül 2.....	25
3.3.3 Alçı Panel 1.....	26
3.3.4 Alçı Panel 2.....	26
3.3.5 Alçı Panel 3.....	27
4. ÖLÇÜM EKİPMANLARI	28
4.1 SİNYAL YOLU.....	28
4.2 MİKROFONLAR	28

4.3 SES KAYNAĞI	31
4.4 SES KAYIT ARABİRİMİ.....	32
4.5 ELEKTRONİK VE AKUSTİK SİSTEM KALİBRASYONU	33
5. ÖLÇÜM KOŞULLARI, KAYNAK VE ALICI NOKTALARI.....	34
6. ÖLÇÜM SONUÇLARI, AKUSTİK DEĞERLENDİRMELER (SEYİRCİSİZ) 37	
6.1 ÇINLAMA SÜRESİ, RT	37
6.2 ERKEN AZALIM SÜRESİ, EDT	38
6.3 MERKEZİ ZAMAN, Ts.....	40
6.4 SES GÜCÜ DÜZEYİ, G	41
6.5 NETLİK, C80.....	44
6.6 ERKEN YANAL ENERJİ FRAKSİYONU, LF	45
6.7 KONUŞMANIN İLETİM İNDEKSİ, STI.....	48
6.8 ARKA PLAN GÜRÜLTÜ DÜZEYİ	49
7. AKUSTİK BENZETİM ÇALIŞMALARI VE MALZEME KALİBRASYONU.....	50
7.1 MALZEME KALİBRASYONU	52
8. BENZETİM SONUÇLARI, AKUSTİK DEĞERLENDİRMELER (SEYİRCİLİ) 59	
8.1 ÇINLAMA SÜRESİ, RT	59
8.2 ERKEN AZALIM SÜRESİ, EDT	60
8.3 MERKEZİ ZAMAN, Ts.....	61
8.4 SES GÜCÜ DÜZEYİ, G	62
8.5 NETLİK, C80.....	63
8.6 ERKEN YANAL ENERJİ FRAKSİYONU, LF.....	64
8.7 KONUŞMANIN İLETİM ENDEKSİ, STI.....	65
9. SEYİRCİSİZ VE SEYİRCİLİ SALON İÇİN KARŞILAŞTIRMALAR.....	66
10. SONUÇ.....	69
KAYNAKÇA	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Çınlama Süresi, RT60.....	4
Şekil 2 Farklı RT60 Formüllerinin Birbirlerine Göre Farklılıkları	5
Şekil 3 Farklı Çınlama Süreleri ve işitmede algı maskeleme	7
Şekil 4 EDT ve RT60 Çınlama Süresi Farkı.....	7
Şekil 5 Ts Parametresi.....	8
Şekil 6 C80 Parametresi	11
Şekil 7 Erken Yanal Enerji Fraksiyonu Ölçüm Metodu.	12
Şekil 8 Görünür Kaynak Genişliği.....	13
Şekil 9 MTF Modülasyon Frekansı.....	14
Şekil 10 MTF'in Konuşmaya Adapte Edilmesi.....	15
Şekil 11 STI Değerlendirilmesi.....	15
Şekil 12 NC Eğrileri.....	16
Şekil 13 AASSM Konumu.....	21
Şekil 14 AASSM Küçük Salon bir Sahne Oturtumu	21
Şekil 15 Ahşap Modül 1.....	24
Şekil 16 Ahşap Modül 2.....	25
Şekil 17 Alçı Panel 1.....	26
Şekil 18 Alçı Panel 2.....	26
Şekil 19 Alçı Panel 3.....	27
Şekil 20 Earthworks M23 ve AKG B414ULS frekans sapma değerleri.....	29
Şekil 21 Earthworks M23 9774F Seri Numaralı Mikrofonun Ölçüm Verisi.....	30
Şekil 22 AKG B414 ULS 8 Figürlü Durumu Frekans Yanıtı	30
Şekil 23 Type 4292-L Oktav Band Ses Basınç Değerleri.....	31
Şekil 24 Type 4292-L'nin ISO-3382-1'de Belirtilen Sınır Değerlerine Göre Durumu ...	31
Şekil 25 Focusrite Scarlett 2i2 Frekans Yanıtı.....	32
Şekil 26 Küçük Salon Planı üzerinde Kaynak ve Alıcı Noktaları	35
Şekil 27 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının RT60 Değerleri	37
Şekil 28 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının RT60 Değerleri	38
Şekil 29 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının EDT Değerleri.....	39
Şekil 30 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının EDT Değerleri.....	39
Şekil 31 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının Ts Değerleri	40
Şekil 32 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının Ts Değerleri	41
Şekil 33 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının G Değerleri.....	42
Şekil 34 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının G Değerleri.....	42
Şekil 35 S1 ve S2 için 10m uzaklıktaki Ses Gücü, G karşılaştırması	43
Şekil 36 80.ms'deki yansımaların durumu	44
Şekil 37 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının C80 Değerleri.....	44
Şekil 38 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının C80 Değerleri.....	45
Şekil 39 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının LF80 Değerleri.....	46
Şekil 40 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının LF80 Değerleri.....	46
Şekil 41 Simultane Odalarının Etkisiyle Oluşan Yanal Enerji Yoğunluğu	47

Şekil 42 Alıcı Noktalarına Göre STI Değerleri.....	48
Şekil 43 AASSM Küçük Salon Modelleme Çalışması.....	50
Şekil 44 Simülasyon Kaynak ve Alıcı Noktaları	52
Şekil 45 Kalibrasyon işlemi için Seçilen Kritik Alıcı Noktaları.....	53
Şekil 46 EDT Parametresi Kalibrasyon ve Ölçüm sonuçları	54
Şekil 47 C80 Parametresi Kalibrasyon ve Ölçüm sonuçları	55
Şekil 48 TS Parametresi Kalibrasyon ve Ölçüm sonuçları	55
Şekil 49 C80 Parametresi Kalibrasyonu	56
Şekil 50 EDT Parametresi Kalibrasyonu	56
Şekil 51 STI Parametresi Kalibrasyonu	56
Şekil 52 T(30) Parametresi Kalibrasyonu	57
Şekil 53 Ts Parametresi Kalibrasyonu	57
Şekil 54 G Parametresi Kalibrasyonu	57
Şekil 55 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için RT60	59
Şekil 56 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için EDT	60
Şekil 57 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için Ts	61
Şekil 58 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için G	62
Şekil 59 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için C80	63
Şekil 60 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için LF80	64
Şekil 61 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için STI	65
Şekil 62 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama EDT Değerleri	66
Şekil 63 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama G Değerleri	66
Şekil 64 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama C80 Değerleri	67
Şekil 65 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama LF80 Değerleri	67
Şekil 66 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama Ts Değerleri	68

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1 NC Eğrilerinin Oktav Band Üzerinde SPL Değerleri (Beranek, 2004).....	17
Tablo 2 Mekânlara Göre Sınır NC Değerleri (Özgüven, 2008).....	17
Tablo 3 Mekânların A Tipi Ölçüm Sonuçlarına Göre Sınır dBA Değerleri (ÇGDYY, 2010)	18
Tablo 4 Müzik Türlerine Göre Mekânların Fiziksel Büyüklükleri (Beranek, 2004; Long, 2006)	19
Tablo 5 Oda Müziği için Belirlenen Tipik Aralık Değerleri (Karşılaştırma için ISO 3382–1 Tipik Aralık Değerleri Eklenmiştir).....	20
Tablo 6 Küçük Salon'un Etkinlik Türlerine göre 2008 – 2016 Yılları Arasında Genel Kullanımı	22
Tablo 7 AASSM Küçük Salonun Bitiş Malzemeleri ve Fiziksel Büyüklükleri	23
Tablo 8 Modül 1 Blok Yükseklikleri (cm).....	24
Tablo 9 Modül 2 Blok Yükseklikleri (cm).....	25
Tablo 10 Kaynak Noktalarının Konumları	35
Tablo 11 Alıcı Noktalarının Konumları.....	35
Tablo 12 Salon içi atmosferik büyüklükler (15 Ocak 2016, saat 13.40 itibariyle)	36
Tablo 13 STI Sonuçlarının Değerlendirilmesi (koyu punto bu çalışmanın kabul sınırıdır)	48
Tablo 14 Benzetim Çalışmasında Atanan Malzemelerin Atandıkları Bölgeler, Fiziksel Büyüklükleri ve Akustik Verileri.....	51
Tablo 15 Parametrelerin Algılanabilir Fark (JND) Değerleri	54
Tablo 16 Malzemelerin kalibrasyon öncesi ve sonrası (koyu punto) aldığı değerler	58

KISALTMALAR

AASSM	Ahmed Adnan Saygun Sanat Merkezi
RT₆₀	Reverberation Time, Çınlama Süresi
EDT	Early Decay Time, Erken Azalım Süresi
T_s	Schwerpunktzeit, Centre Time, Merkezi Zaman
G	Stärkemaß, Strength, Ses Gücü
C₈₀	Klarheitsmaß, Clarity, Netlik
D₅₀	Deutlichkeit, Definition, Ayırt edilebilirlik
L_{Aeq}	A Weighted equivalent level, A ağırlıklı eşdeğer (ses) düzey(i)
LF	Lateral Fraction, Erken Yanal Enerji Fraksiyonu
ASW	Apparent Source Width, Görünür Kaynak Genişliği
ISO	International Organization for Standardization, Uluslararası Standartlar Teşkilatı
STI	Speech Transmission Index, Konuşmanın İletim Endeksi
MTF	Modulation Transmission Function, Modülasyon İletim Fonksiyonu
MRI	Modulation Reduction Index, Modülasyon Azalım Endeksi
NC	Noise Criteria, Gürültü Ölçütü
IEC	International Electrotechnical Commission, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
S/N	Signal/Noise, Sinyal Gürültü Oranı
S	Source, Kaynak
R	Receiver, Alıcı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
JND	Just Noticeable Difference, Algılanabilir Fark
A/D, D/A	Analog/Digital, Digital/Analog, Analog-Dijital, Dijital-Analog Çevirici
dB	Decibell

1. GİRİŞ

Kültür ve sanat mekânları, eğitim kurumları, dinleti salonları gibi özel ortamlar sanatın işitsel ve görsel iletilerini en yüksek kalitede aktarma, onun bireyler üzerindeki eğitici, olumlayıcı ve onarıcı etkilerini eksiksiz biçimde oluşturmada önemli görevler üstlenir. Özelde müzik performans ortamları ise, işitme yolu ile ilgili bütün kültürel, fizyolojik ve psikolojik uyaranları açısından akustik biliminin inceleme alanına girer.

Batıda, özellikle 20. yüzyılın ikinci çeyreğinden sonra *Georg-August-Universität Göttingen*, *Technische Universität Dresden* ve *Technische Universität Berlin* gibi güçlü Alman ekollerinde çalışan öncü bilim adamları, güvenilir akademik araştırmaları ile günümüzün standartlaşmış akustik yöntemlerinin temellerini oluşturmada kilit rol oynamışlardır. Geçen yüzyılın batılı bilim öncüleri tarafından yeni ve deneysel çalışmalar ile güçlendirilmiş formüllerin ortaya konması, mevcutların güncellenmesi, gerçek mekânlarda ölçülmüş ve analiz edilmiş veriler, raporlar, etütlerin belgelendirilmesi, yıllar içinde akustik adına büyük bir veri bankasının da oluşturulması açısından araştırmacıların her zaman dikkatlerini çekmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda batıda, işlevine uygun olmayan pek çok konser salonu ya yıkılıp yeniden inşa edilmiş ya da restorasyona alınmıştır. Bu türden davranışlar çağdaş ülkelerde sanatçıya, nitelikli sanata, kültürel miraslara ve sanatı paylaşan bireylere duyulan saygı, onlara verilen insani değerlerin de göstergeleridir.

Ülkemizde faaliyet gösteren ya da yapımı halen devam eden performans mekânlarının akustik standartlara uygun olup olmadığı, işlevine uygun yapıp yapılmadığı sorusunun son dönemlerde giderek büyümesi, batılı örneklerle benzer, anadilde yazılmış veri - bilimsel bilgi havuzunun sığılığı ile yakından ilgili olabileceği hususu; kültürel yapıların “akustik proje-tasarım” çalışmalarının gerçek anlamda alanında uzman danışmanların görüşlerine mi yoksa tedarikçi firmalarda satış skorları ile ilgilenen satış temsilcilerinin önerilerine mi teslim edildiği, “akustik” kavramının yüksek bedelli ticari bir kazanç yolu mu yoksa kulaklarda güzel tınlayan bir sözcükten ibaret mi olduğu gibi konular hayli düşündürücüdür. Akustik adına, yapı ve proje denetimlerinin hangi aşamalarda ve nasıl uygulandığı yönünde kamuoyuna karşı daha şeffaf olmak mümkün

müdür? Sorunlar, hiç kuşkusuz iyice düşünülüp planlanmadan doğru biçimde çözümlenemez.

Belki ziyaret edilen sanatsal mekânlar, sahip olunan ya da sorumluluk almamak adına, “olmasa da olur” diyerek inşa edilen kültürel yapıların içeriği yeterli görülüyor, mevcutlardan akustik anlamında hiçbir rahatsızlık duyulmuyor, hatta etkinliklerde ortam akustiğinin ne durumda olduğuna dikkat edilmiyor bile olabilir.

Akustik biliminin yaşayan asırlık çınarı, saygın bilim adamı Leo L. Beranek’in sözünü bir kez de buradan anımsatmak yerinde olacaktır:

“İnsanlar çoğu zaman bir performansla kötü akustik şartlarda tanıklık ettiklerini fark etmezler; ta ki aynı performansı daha iyi akustik şartlarda izleyene kadar”.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada küçük ama tipik bir mekân olan Ahmed Adnan Saygun Sanat Merkezi bünyesinde resital ve toplantı salonu olarak kullanılan “Küçük Salon”un, hacim akustiği temel parametreleri açısından durumunun incelenmesi, benzer çalışmalarda akustik özelliklerin nasıl bir yöntemle değerlendirilebileceği konusunda örnek bir çalışma ortaya konması planlanmıştır.

Çalışmada sırasıyla AASSM sanat merkezinin tarihçesi, tasarım aşamaları, yapılışı, salonun detayları ve mimari projeleri değerlendirilmiştir. Salonun genelde hangi tür performanslara ve ne sıklıkta ev sahipliği yaptığı, bu performansların türlerine göre akustik açıdan tipik kabul değerlerinin ne olması gerektiği, mimari özelliklerinin ve bitiş malzemelerinin neler olduğu, akustik ölçümler için kaynak ve alıcı noktalarının nasıl seçildiği, seyircisiz salonda akustik ölçümlerin nasıl alındığı, salonun 3D tekniği ile modellenmesi ve akustik benzetim yazılımı üzerinde boş ve dolu hali ile etüt edilmesi ve analizlerinin yapılması, ölçümlenmiş veriler ile benzetim sonuçlarının karşılaştırılması, ortaya çıkan farklılıklar için 3D model üzerinde salon bitiş malzemelerine uygun malzeme atama ve kalibrasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi, ölçümlenmiş – 3D (seyircisiz) model – 3D (seyircili) modeller üzerinde akustik parametre sonuçlarının karşılaştırmalı analizleri gibi konularda çalışmalar yapılmıştır. Kısaca, elde edilen sonuçlara göre Küçük Salon’un akustik özellikleri ile ilgili temel tasarım parametreleri irdelenmiştir.

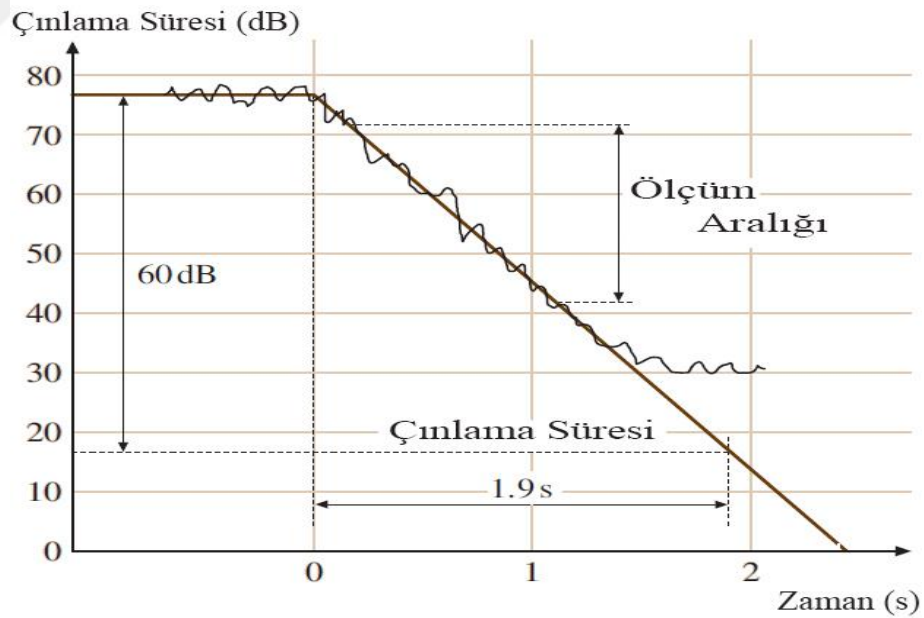
2. AKUSTİK PARAMETRELER VE KABULLER

Burada, bu çalışmanın kapsamında değerlendirilecek olan ve hacim akustiği çalışmalarında kullanılan en temel yedi akustik parametre ile arka plan gürültü düzeyleri araştırılmıştır. Söz konusu parametrelerin kısa teknik detayları mevcut literatür ışığında şu şekilde özetlenebilir:

2.1 Çınlama Süresi (RT60, Reverberation Time)

Çınlama süresi, kapalı hacimlerde ses kaynağının kapatılmasının ardından enerjinin 60 dB (yani milyonda birine) düşene kadar geçen süredir (Beranek, 2004) (Everest, 2001).

Çınlama süresi, kapalı hacimlerin akustik performanslarının belirlenmesinde kullanılan en önemli, en karakteristik akustik parametrelerden biridir. W. C. Sabine'in geçen yüzyılın başlarında üzerinde yoğun biçimde çalıştığı bu parametre, 20. yüzyıl bilim adamlarınca da akustiğin fiziğe bağlı bir bilim dalı olarak kabul edilmesini sağlayan önemli bir büyüklüktür.



Şekil 1 Çınlama Süresi, RT60 (Gade, 2007)

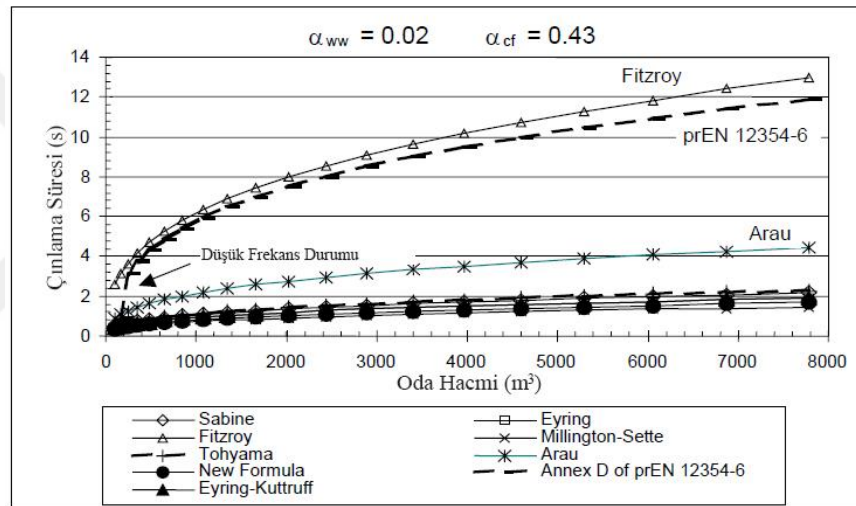
Bugün çınlama süresi en yaygın biçimiyle Sabine'in geliştirdiği formül ile hesaplanmaktadır:

$$RT_{Sabine} = 0,161 V/A \quad (1)$$

(V=Salonun Toplam Hacmi, A= Salondaki Toplam Yutuculuk)

Sabine formülü günümüzde geçerliliğini sürdürse de, çınlama süresi hesaplarında kullanılmak üzere farklı bilim adamları küçük değişiklikler ile farklı formüller de geliştirmiştir: *Eyring (1930)*, *Milingtone (1933)*, *Fitzroy (1959)*, *Beranek (1965)*, *Kuttruff (1976)* ve *Neubauer (2000)* (Lacatis vd., 2008).

Bu formüller, aynı koşullar altındaki akustik deney ortamları için test edildiğinde, alınan sonuçlar arasında da farklılıklar görülmektedir.



Şekil 2 Farklı RT60 Formüllerinin Birbirlerine Göre Farklılıkları (Neubauer, 2000)

RT₆₀ (1) formülünün belirli şartlar altında (örneğin sadece tiz frekanslar, sadece bas frekanslar, belirli oda formları) daha gerçekçi değerler verdiği genel kabul görmektedir. Diğerleri gerektiğinde kullanılıyor olsa da, "RT" denilince akla ilk gelen ve yaygın biçimde başvurulan eşitlik budur ve Sabine'e ithaf edilmektedir.

Çınlama süresi, odanın hacmi ve bu hacim içinde kullanılan malzemelerin emicilik katsayılarının bir fonksiyonudur. Yüksek hacim değerleri yüksek çınlama sürelerine, maddedeki yüksek emicilik özellikleri o ortamda düşük çınlama sürelerine sebep olmaktadır. Kapalı bir hacimde çınlama süresi yükseldiğinde konuşma seslerinin anlaşılabilirliği da düşer. Öte yandan konuşma için yüksek sayılan ve anlaşılabilirliği olumsuz etkileyen bir çınlama süresi müzik etkinlikleri için yetersiz kalabilir, biraz daha yüksek

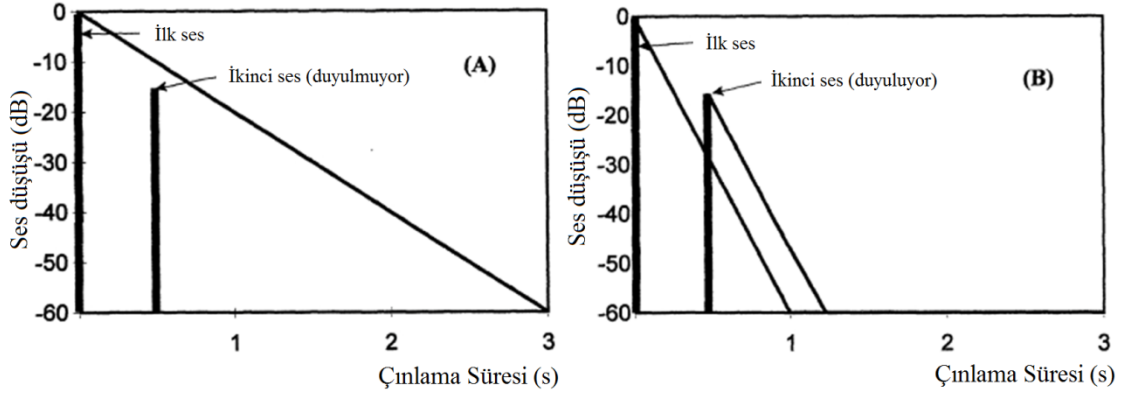
çınlama sürelerine ihtiyaç duyulmasına neden olabilir. Başka bir deyişle, müzik yapılan bir ortamda çınlama sürelerinin biraz daha yüksek olması, müziğe canlılık katmak adına da tercih nedenidir (Gade, 2007). Uygun RT_{60} değerleri dinleyiciler üzerinde ton bütünlüğü (*Fullness of Tone*) adı verilen sübjektif bir etkiyi (bu, çalışmanın konusu dışındadır) güçlendirmekte de önemlidir.

Çınlama süresinin bir salonun akustik analizi yapılırken dikkate alınan öncelikli parametre olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Ancak son araştırmalar genel olarak RT_{60} 'ın bir salonun akustik durumunu analiz etmek için tek başına yeterli olmadığını, sesin erken davranışları ile ilgili EDT'nin işitme ve akustik kalite adına daha net göstergeler çizdiğini ortaya koymaktadır (Gade, 2007).

2.2 Erken Azalım Süresi (EDT, Early Decay Time)

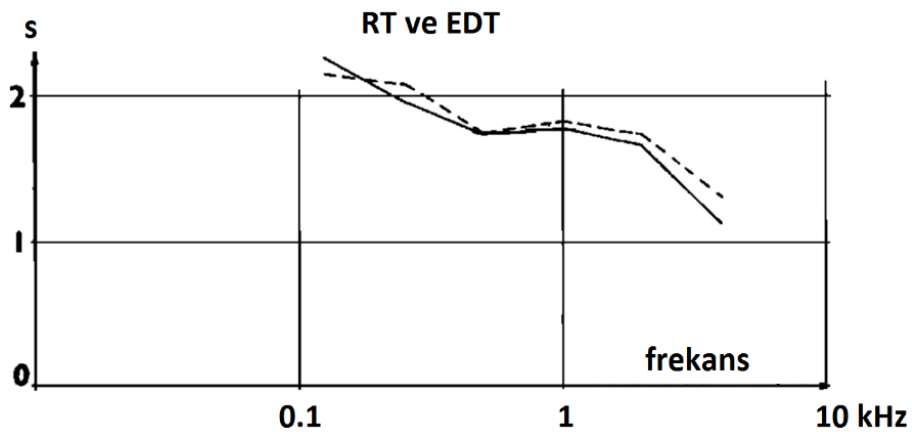
Konuşma ortamlarına göre, müzik yapılan mekânlarda yüksek değerlere sahip çınlama sürelerinin müzik için istenen bir durum olduğundan bahsedilmişti (Gade, 2007). Peki, müzikal öğeler hızlandığında ya da müzik türü değiştiğinde ne olur? Orkestral öğeler istenen oranda birleşmeye, dolgun tınlamaya devam eder mi, yoksa çalınan eser değiştiğinde ya da tempo hızlandığında ardışık notalar giderek anlaşılabilir bir duruma mı gelir?

Yapılan çalışmalar, müziğin yüksek tempolu bölümlerinde RT_{60} değerinin, akustik vargılar için yetersiz kaldığını, tınlayan seslerin daha detaylı değerlendirebileceği koşullarda ve başka büyüklüklerle incelenmesinin bir zorunluluk olduğunu göstermiştir. Bir salon için öngörülen RT_{60} değeri “iyi” kabul edilebilir ama müziğin hızlandığı noktalarda onun anlaşılabilirliği için yetersiz kalabilmektedir. Burada olan şey, gürlük ve zaman fonksiyonuna bağlı bir tür maskeleyedir (temporal masking). Aşağıda (solda), uzun çınlama süresine sahip bir ortamda, ardışık tınlayan iki müzik notasından ikincisinin gürlük etkisiyle nasıl maskelendiği, anlaşılabilir hale geldiği; çınlama süresi kısa başka bir ortamda ise (sağda) ikinci müzik ögesinin maskelenme etkisine girmeden nasıl hala duyulabilir kaldığı açıkça izlenmektedir. Çınlama süresinin anlaşılabilirlik üzerindeki etkisi çok açıktır.



Şekil 3 Farklı Çınlama Süreleri ve işitmede algı maskeleyme (Beranek, 2004)

Kaynaktan doğrudan gelen sesleri izleyen ilk yansımalar çok önemlidir. Bu yansımaların anlaşılabilirlik, hacim algısı gibi değerler üzerindeki etkisi de büyüktür. Erken Azalım Süresi EDT, Jordan tarafından 1969 yılında tanımlanan akustik parametredir (Jordan, 1970). EDT öznel olarak daha önemlidir ve algılanan çınlama kalitesi ile ilgilidir. Bu parametrede dikkatler, ses kaynağının kapatılmasının ardından sesin ilk 10 ms'lik süreç içindeki düşüşüne odaklanır. 60 dB'lik azalımın kabaca 1/6'lık bölümüne denk düşen EDT, 0 dB –10 dB arası en uygun doğrusal regresyon çizgisinden belirlenmekte, sönümlenmenin bütünü hakkında yorumlar için de kullanılabilir (Jordan, 1970). Jordan, yaptığı bir çalışmada ölçülmüş EDT ve RT değerlerini hesaplamış, birbirlerine göre sapma oranlarını bir örnek ile göstermiştir:



Şekil 4 EDT ve RT60 Çınlama Süresi Farkı (Jordan, 1970)

Hem enerjisi daha yüksek olan erken seslere odaklanması, hem izleyen yansımaların ne olduğuna ilişkin ipuçlarını vermesi EDT'yi önemli bir akustik ölçüt haline getirmiştir. Erken azalım süresi ile EDT arasında şu ilişki belirtilmektedir:

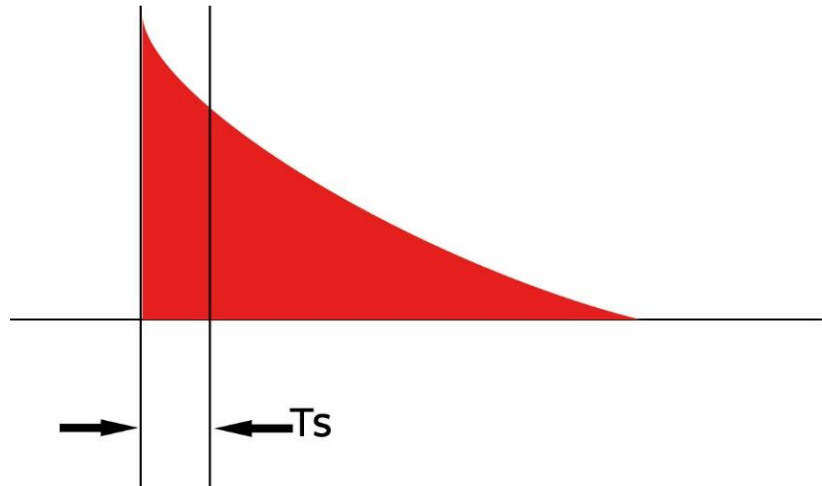
$$EDT = RT_{10} \times 6 \quad (2)$$

EDT'nin önerilen değerlerinden fazla ya da düşük olması aynı RT_{60} 'da olduğu gibi yorumlanır: Düşük değerler müzik yapılan salonun “ölü”, konuşma anlaşılabilirliği ve artikülasyonlar adına “iyi”; yüksek değerler müzik için “dolgun”, konuşma sesleri için “anlaşılabilirliği düşük” olarak yorumlanmaktadır (Eyring, 1930).

2.3 Merkezi Zaman (Ts, Schwerpunktzeit; Ing: Centre Time)

Merkezi zaman, karesi alınmış uyarı cevabının, zaman düzlemi üzerindeki merkezinin süresidir (Barron, 2010). Kapalı hacimlerde ses netliğini yorumlamamıza yardımcı olan önemli parametrelerden biridir. Merkezi zaman, ya da başka bir deyişle ağırlık noktası (*Point of Gravity*) gibi isimler bu özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Kürer'in (Kürer, 1971) tanımladığı bu parametre, erken ve geç enerjilerin oranları endeksinin bir fonksiyonudur, ses enerjisinin matematiksel kabullerle denge noktasına ulaştığı noktanın zaman düzlemindeki merkezini ifade etmektedir.



Şekil 5 Ts Parametresi (DIRAC)

Ts, denge konumundaki ses enerji yoğunluğunun yaklaşık 0,62'i kadardır (Aknesil, 1997) ve şu formülle hesaplanmaktadır:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (3)$$

($p(t)$)=ölçüm noktasında ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncı)

Düşük T_s değerleri sesin denge konumuna daha hızlı ulaştığına, bu nedenle yansılardan daha az etkilendiğine işaret eder. Düşük T_s sonuçları, sesin netlik değerlerinde de olumlu yönde değişikliklere neden olacaktır. Yüksek T_s değerleri ise, erken ve geç gelen sesin denge konumuna ulaşana kadar geçirdiği sürede yansılardan daha çok etkilendiğini ve netlikte kayıplar yaşandığını gösterecektir.

Merkezi zaman, EDT parametresiyle yüksek uyum içerisindedir (tipik korelasyon katsayısı = 0,975) (Barron, 2010). Bu durum, hacim içerisindeki sesin hem daha net algılandığı, hem de müzikal sesleri destekler nitelikte olduğu yönündeki yorumlarımızda bizlere yardımcı olur. Sesin denge konumuna hızlı ulaştığı ancak geç enerji salınımlarının kısmen yüksek olduğu salonlar, hem müzik seslerinin doyunluğunu hem de konuşma seslerinin netliğini destekler niteliktedir.

2.4 Ses Gücü (G, Stärkemaß; Ing: Strength)

Ses gücü, ölçülen uyarı cevabına ait ses enerjisinin (karesi alınmış ve integrali alınmış ses basıncı) ses kaynağından 10 m uzaklıktaki bir serbest ses alanında ölçülen cevaba logaritmik oranıdır. (TSE ISO, 2010)

Akustik kalitenin göstergelerinden biri olan gürlük, metrik ses gücü ile ölçülür. Tanımlandığı gibi, boş alanda, aynı ses kaynağının 10 metre uzağındaki ses gücünün değişimine göre ifade edilir. Örneğin, yankısız bir ortamda serbest alanda 10 m uzakta 70 dB'lik ses gücü düzeyine sahip bir kaynağın 10 m uzağında ölçülen değeri 74 dB ise, o salon $G +4$ dB olarak ifade edilecektir (Ermann, 2015).

Yankısız ortamı sağlamak her zaman mümkün olmayacağı için, eğer yankısız ortamda ölçüm yapılmamışsa, ses kaynağının ve alıcıların kalibrasyonu tamamlanmadan ortamda doğru ses gücü ölçümü yapılamaz (TSE ISO, 2010).

1976 yılında Lehmann'ın tanımladığı parametre şu formülle hesaplanır:

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_{10}^2(t) dt} = L_{pE} - L_{pE,10} \text{ (dB)} \quad (4)$$

($p(t)$)=ölçüm noktasında ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncı; $p_{10}(t)$ =serbest bir alanda 10 metreden ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncı; $p_0=20$ micro Pascal; $T_0= 1$ saniye; $L_{pE}=p(t)$ ses basıncına maruz kalma seviyesi; $L_{pE,10}=p_{10}(t)$ ses basıncına maruz kalma seviyesidir.)

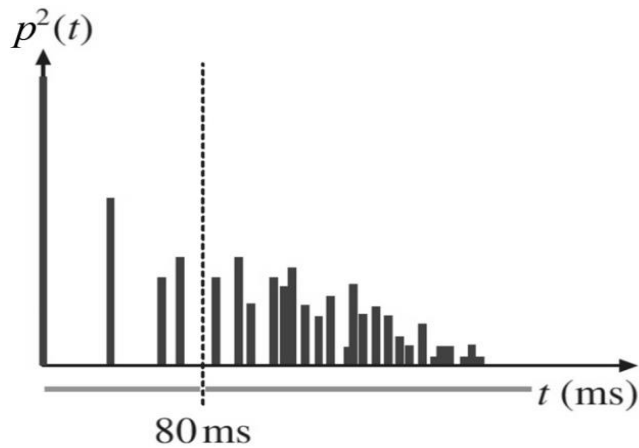
Ses gücü, odadaki toplam ses yutuculuğu ile de ilgilidir (Ermann, 2015). Ses gücünün, akustik dinleme alanının tamamında, tercihen birbirine yakın değerlerde olması beklenir. Tasarım aşamasında, özellikle erken enerjinin barındırdığı yüksek enerji değerleri sebebiyle yanal yüzeyler ve tavan yansımalarıyla salon içerisinde homojen bir dağılım sağlanabilir.

Ses gücünün yüksek olduğu durumlarda algılanan ses rahatsız edici gürültüde olabilir, ayrıca sesin bütününde genlik ve faz bozulmaları da oluşabilir ki genlik ve faz bozulmaları bir salonun sahip olabileceği en önemli akustik kusurlardandır. Düşük G değerlerinde ise dinleyici, algıladığı sesin yetersiz olduğunu hisseder ve performanstan beklediği lezzeti alamaz.

2.5 Netlik (C80, Klarheitsmaß; Ing: Clarity)

Netlik, bir performansın detaylarının dinleyiciler tarafından ne kadar algılanabildiğine dair bir kavramdır. Bu, erken ulaşan ses enerjisinin geç ulaşan ses enerjisine oranını ifade eder. Sonuçları konuşma (50 ms) veya müzik (80 ms) ile ilgili zamansal limitler çerçevesinde değerlendirilir. (TSE ISO, 2010) .

Erken ve Geç enerji oranları endeksi (The early-to-late index) 1953 yılında Thiele tarafından Belirginlik, ($D_{50} = \text{Deutlichkeit}$) parametresiyle ilişkilendirilmiştir (Thiele, 1953). D_{50} formülü kullanılarak farklı zaman limitleri için tanımlanan ve prensip olarak yine erken ve geç ulaşan enerjiler arasındaki ilişkiye hizmet eden C_{50} parametresi önerilmiştir. Yapılan çalışmalar, müzik seslerine göre geç enerjileri kısmen daha hızlı gerçekleşen konuşma sesleri için 50 milisaniyelik bir aralığın daha uygun bir değer olduğunu göstermiştir (Barron, 2010). Benzer bakışla konuşma ile ilgili 50ms'lik sınırı 80 ms'ye uyarlayan Reichardt tanımladığı C_{80} parametresi ile müzik seslerinin dinleyiciler tarafından ne kadar iyi algılandığını yorumlamamıza da yardımcı olmuştur.



Şekil 6 C80 Parametresi (Gade, 2007)

C₈₀ parametresi 80 ms'ye kadar oluşan toplam enerji ile 80 ms'den sonra oluşan toplam enerjinin bir oranıdır.

$$C_{80} = 10 \log \left[\frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \right] (dB) \quad (5)$$

(C = erken'in geç'e indeksi; $p(t)$ = ölçüm noktasında ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncı)

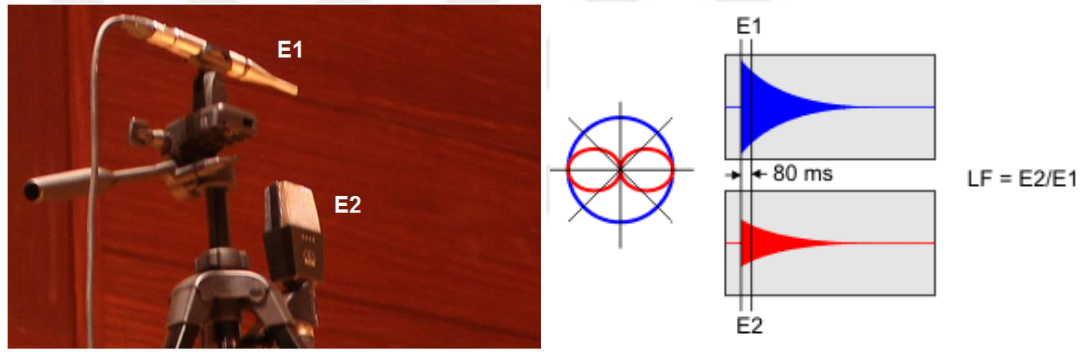
C₈₀ parametresi geç ve erken enerjilerin eşit olduğu durumda 0 dB sonucunu verir. Bu değer (+) sonuç vermesi 80 ms'ye kadar olan enerjinin 80 ms sonrası enerjiden daha yüksek olduğu; (-) değere sahip olması ise, ilk 80 ms için enerji düzeyinin 80 ms'den sonraki enerji düzeyine göre daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle 80 ms sonrası olanlar, RT davranışlarıyla da doğrudan ilgili bir tablo çizer. Hızlı ritmik öğeler içeren müzik türlerinde ve caz müziğinde bu değer 0 dB'lere yakın olması, yavaş ritmik öğeler içeren müzik türlerinde ise bu değer 0 dB değerinden uzaklaşan bir davranış sergilemesi müzikal motiflerde, algısal değerlendirmelerde, yorulmadan izlemede dinleyiciye destek olacağı da açıkça belirtilmektedir (Reichardt, 1974).

2.6 Erken Yanal Enerji Fraksiyonu (LF, Lateral Fraction)

İlk 80 (konuşma ortamlarında 50) milisaniye içinde yanal yönlerden gelen enerji fraksiyonudur. Kapalı hacimlerde, bir ses kaynağından yayılan sesin bir kısmı dinleyiciye doğrudan ulaşırken bir kısmı yansımalarla ulaşacaktır. Dinleyici ses kaynağından doğrudan gelen ses haricinde, hacim içerisindeki yüzeylerden ve farklı yönlerden yansıyan pek çok sese de maruz kalacaktır.

Beyin çeşitli yönlerden gelen bu titreşimlerin her birini tek-tek ayıramasa da, bu yansımaları bir bütün olarak, tek bir algı altında analiz edecektir (Gade, 2007). Bu analiz sonucu dinleyicide genel tabiriyle “genişlik” adını verdiğimiz sübjektif etkiyi yaratabilecektir.

Erken Yanal Enerji Fraksiyonu, ses kaynağının kapatılmasının ardından sönümlenen ses enerjisinin ilk 80 ms’lik kısmına odaklanır. 5ms – 80 ms arasında yan düzlemden ulaşan yanal enerjinin, toplam enerjiye oranıyla ifade edilir. Ölçümünde ISO ile belirlenmiş yönergeler doğrultusunda hazırlanan ve toplam yanal enerji için 8 figürlü, hacimdeki toplam enerji için ise çok yönlü bir mikrofondan oluşan bir sete ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 7 Erken Yanal Enerji Fraksiyonu Ölçüm Metodu.(foto: E. Öztan Arşivi); (B&K, 2014)

Marshall tarafından 1968’de tanımlanan ve 1971 yılında Barron tarafından geliştirilen parametre, şu formülle hesaplanmaktadır (Barron, 2010).

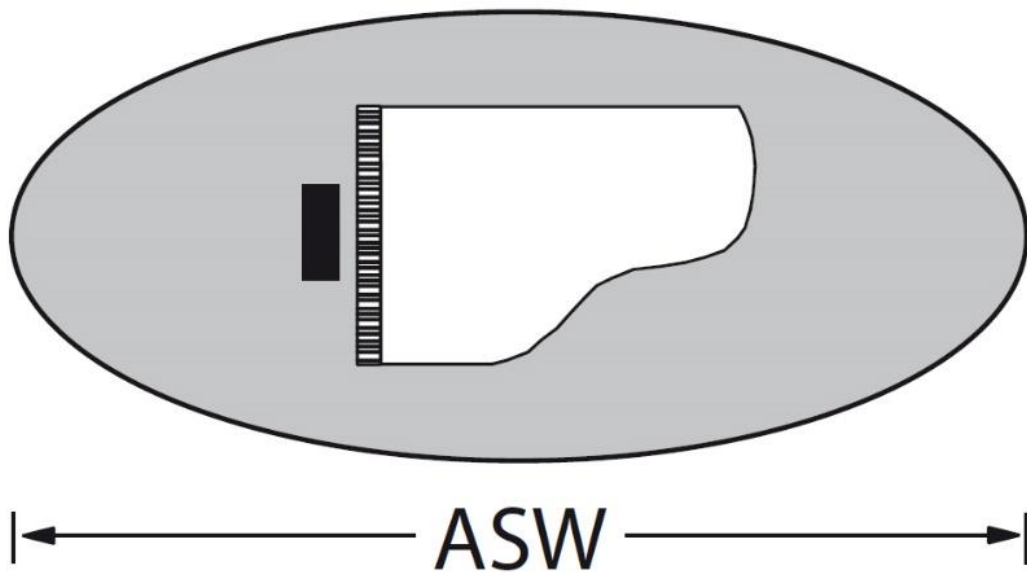
$$LF = \frac{\int_{0,005}^{0,080} p_L^2(t) dt}{\int_0^{0,080} p^2(t) dt} \quad (6)$$

($p_L(t)$ =sekiz figürlü mikrofon ile ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncı; $p(t)$ =ölçüm noktasında ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncıdır.)

LF, salon formundan, yüzeylerin toplam ses yutuculuk değerlerinden ve yüzeylerin saçıcılık değerlerinden etkilenmektedir. Analizlerin insan kulağının en hassas olduğu 125 Hz–1000 Hz aralığında yapılması yeterlidir (TSE ISO, 2010).

Erken yanal enerjinin özellikle “*Görünür Kaynak Genişliği (Apparent Source Width, ASW)*” adı verilen özelliği ile dinleyici üzerinde öznel etkiyi sağladığı yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır. Ses enerjisinin tek noktadan değil, yanal enerjilerin desteğiyle 3 boyutlu bir düzlemde ışıtilmesi, ses kaynağının görüldüğünden büyükmüş gibi algılanmasını sağlamaktadır. Bu da özellikle müzik için istenen bir durumdur.

LF yüksek değerlerinde, hacim içerisinde istenmeyen gürlük artışlarına ve buna bağlı olarak algılanan sesin rahatsız edici nitelikte olmasına, sesin bütününde genlik ve faz bozulmalarına neden olabilir. LF’nin düşük değerleri hacim içerisindeki ses kaynağının dar ve dinleyici çevreleme hissini düşük; büyük değerleri ise görünür kaynak genişliğinin daha açık algılanmasına sebep oluşturmaktadır.



Şekil 8 Görünür Kaynak Genişliği (Barron, 2010)

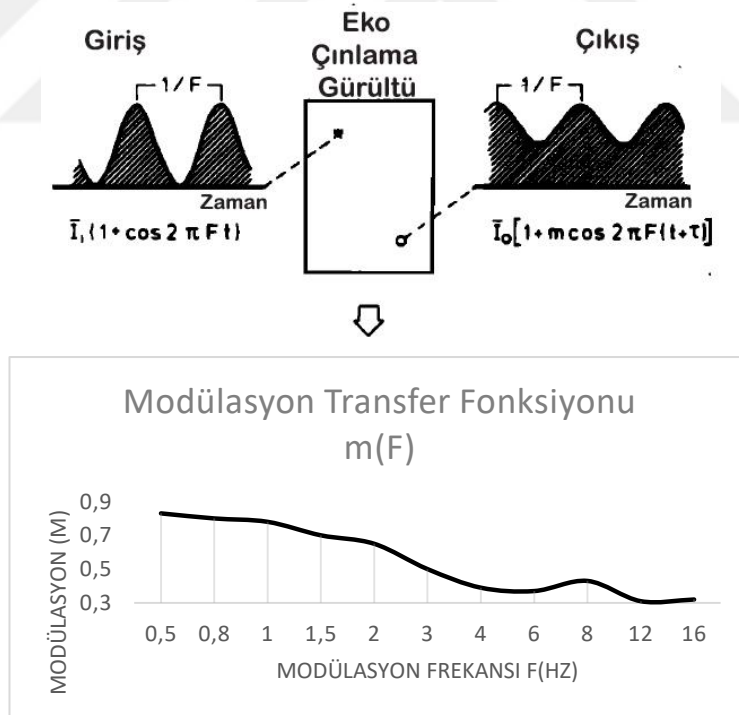
2.7 Konuşma İletim Endeksi (STI, Speech Transmission Index)

Konuşma iletim endeksi, kapalı bir hacim içerisinde konuşma seslerinin ne kadar iyi algılandığını yorumlamamıza yardımcı olan bir parametredir.

Temeli modülasyon iletim fonksiyonuna “*Modulation Transfer Function (MTF)*” dayanır. MTF, modülasyona konu olan fraksiyonların iletilmek istenen noktaya hangi oranda iletildiğini test eder. Bu tekniğin konuşmaya adapte edilmiş halinde, söz konusu bu fraksiyonlar konuşma seslerinin detayları olacaktır (örneğin heceler).

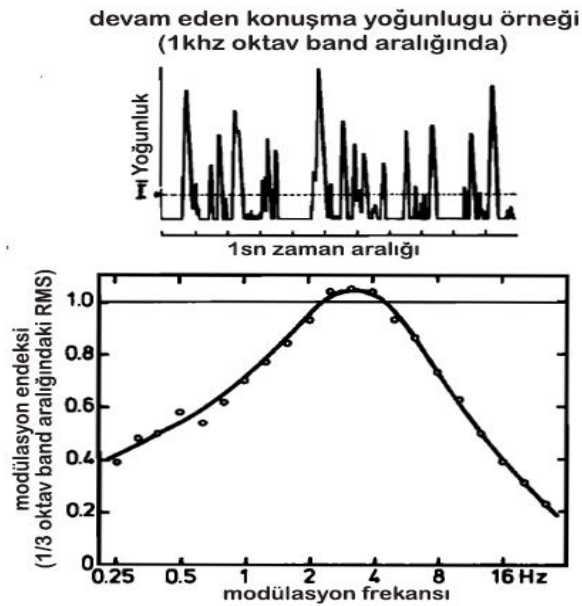
Parametre, Steenek ve Houtgast tarafından 1980 yılında tanımlanmış, 1985 yılında güncellenmiştir. Bu araştırmacılar MTF’yi şu yöntemlerle konuşma seslerine adapte etmişlerdir (Houtgast & Steeneken, 1985):

1) MTF atım sinyallerini, frekans aralığı ve çınlama, eko ve arka plan gürültüleriyle beraber atım sinyallerinin gürlüğünü saptamışlar;



Şekil 9 MTF Modülasyon Frekansı (Houtgast & Steeneken, 1985)

2) Kaydedilen konuşma örneğinden elde edilen MTF atımlarını konuşmaya adapte etmişler ve



Şekil 10 MTF'in Konuşmaya Adapte Edilmesi (Houtgast & Steeneken, 1985)

3) Konuşmaya adapte edilen MTF atımlarının ölçümü ve modülasyon azalım endeksini (Modulation Reduction Index, MRI) tespit etmişlerdir. Bu şekilde konuşma seslerine uyarlanmış 7 oktav frekans bandında ve 14 farklı modülasyon frekansındaki sinüs dalgalarının atımları ile her modülasyonda oluşan azalım değerine göre, konuşma anlaşılabilirliğinde oluşan düşüşler tespit edilebilir.

MRI değerlerinden elde edilen fraksiyon kayıplarına göre STI değerleri 0 ile 1 arasında bir değer alır. 0 ve 1 arasındaki değerler 5 kategoride incelemeye alınır.

RASTI value	<0.30	0.30–0.45	0.45–0.60	0.60–0.75	>0.75
Intelligibility	Kötü	Zayıf	Vasat	İyi	Mükemmel

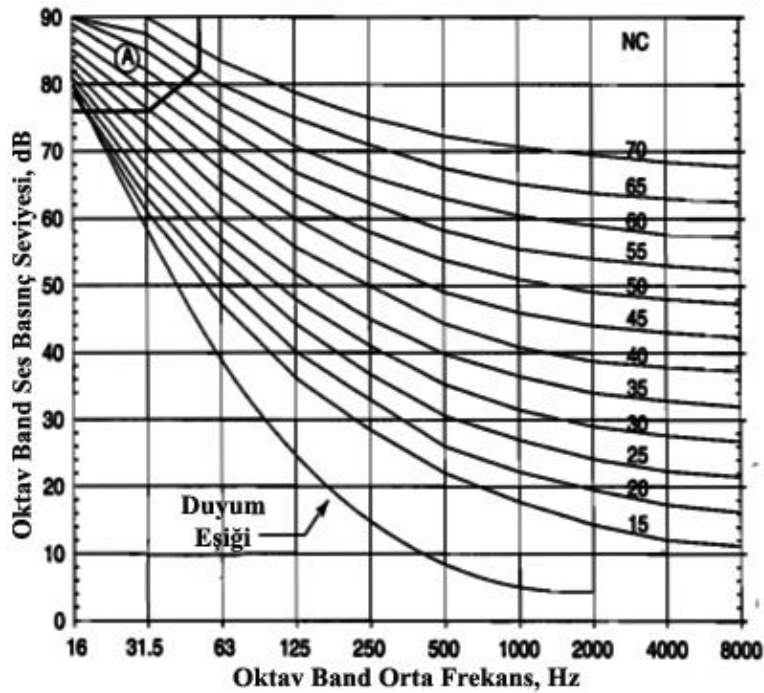
Şekil 11 STI Değerlendirilmesi (Gade, 2007)

STI parametresi, konuşmanın hızına, konuşulan dilin yapısına göre değişiklik gösterebilir. Bu yöntem bu gün için, konuşma anlaşılabilirliği ölçümünde kullanılan en geçerli yöntemdir. Günümüzde STI ölçümü için MTF'de kullanılan seri sinyal ölçümlerine gerek duyulmamaktadır. STI sonuçları uyarı cevaplarından elde edilebilmekte ve erkek ve kadın için çeşitlendirilebilmektedir (B&K, 2014).

2. 8 Arka Plan Gürültü Düzeyi

Arka plan gürültüsü, bir çevrede incelenen sesler bastırıldığında, verilen konumdaki ve verilen durumdaki geriye kalan toplam sestir (ÇGDYY, 2010). Arka plan gürültüleri, ortamda öncelikli olarak anlaşılması gereken seslerin maskelenmesi, anlaşılabilirliğini yitirmesi, işitme ve ruh sağlığı üzerinde tehdit unsurlarını oluşturması ve mekânın da kullanılamaz duruma gelmesi gibi bir dizi ağır sonuçlara neden olurlar. Bu tip gürültülerin denetim altına alınması yasalarla zorunludur.

Kapalı hacimlerde arka plan gürültülerinin seviyesini saptayıp adını koyabilmenin en iyi yöntemlerinden biri gürültü ölçütü (NC, Noise Criteria) değerlerini hesaplamaktır. 1957 yılında Beranek'in çizdiği NC grafiği, küçük değişiklikler ile farklı biçimleri olsa da, arka plan gürültüsünü belirlemede aşağıdaki en yaygın tipi ile halen kullanılmaktadır. Aşağıda bu grafiğin 2006 yılında yayınlanan son biçimi ve frekans bantlarına göre sayısal değerleri görülmektedir.



Şekil 12 NC Eğrileri (Beranek, 2006)

Tablo 1 NC Eğrilerinin Oktav Band Üzerinde SPL Değerleri (Beranek, 2004)

Noise Criterion	Oktav Band Frekansları(Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Ses Basınç Düzeyi(dB)							
NC-15	47	36	29	22	17	14	12	11
NC-20	51	40	33	26	22	19	17	16
NC-25	54	44	37	31	27	24	22	21
NC-30	57	48	41	35	31	29	28	27
NC-35	60	52	45	40	36	34	33	32
NC-40	64	56	50	45	41	39	38	37
NC-45	67	60	54	49	46	44	43	42
NC-50	71	64	58	54	51	49	48	47
NC-55	74	67	62	58	56	54	53	52
NC-60	77	71	67	63	61	59	58	57
NC-65	80	75	71	68	66	64	63	62
NC-70	83	79	75	72	71	70	69	68

Hesaplama yapılırken, incelenen gürültünün ölçülen oktav bant basıncı düzeyleri NC eğrilerinin üzerine işaretlenir; en büyük NC değerine yakın nokta, gürültünün NC değerini belirler (Özgüven, 2008).

Bazı mekânlarda, arka plan gürültüsü için önerilen NC sınır değerleri şu şekilde kabul edilmektedir.

Tablo 2 Mekânlara Göre Sınır NC Değerleri (Özgüven, 2008)

Yer	NC değeri
Yayın ve kayıt stüdyoları	15-20
Konser ve opera salonları	20-25
Tiyatro ve toplantı salonları	25-30
Sinemalar	30-35

İç ortamlarda eşdeğer gürültü seviyesi için yönetmelikler ile belirlenmiş sınır değerler bulunmaktadır. Frekans bantlarına göre, ölçümlenen band basınç değerleri üzerinden NC kategorisinin belirlenmesi mümkün olabilir. Kabaca eşdeğer gürültü ölçümü yapılarak elde edilen A tipi ölçüm sonuçlarına göre, belirli iç mekân gürültü seviyeleri de belirlenmiştir.

Tablo 3 Mekânların A Tipi Ölçüm Sonuçlarına Göre Sınır dBA Değerleri (ÇGDYY, 2010)

Kullanım Alanı		Kapalı Pencere L _{eq} (dBA)	Açık Pencere 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

Bir konser salonu içinde ölçümlenecek en yüksek L_{Aeq} değerinin 25 dBA olabileceği açıkça görülmektedir. A ağırlıklı filtre kullanılarak yapılan ölçümler neticesinde aşılmaması gereken eşdeğer gürültü düzeyleri ve bunlara uyma zorunluluğu, yasal yaptırımlar ile birlikte gelmektedir.

2.9 Akustik parametreler için çalışmanın kabul değerleri

Batılı bilim adamlarının yoğun araştırmaları, konser salonlarının aynı zamanda fiziksel büyüklüklerine göre de kategorize edilmesini sağlamıştır. Kullanılan mekânların hacimleri, koltuk sayıları, mimari yapısı ve işlevleri gibi bazı özellikler, farklı akustik kabul değerlerinin oluşmasına da yol açmıştır. Nitekim caz müziği ile popun, klasik orkestra ile resital ya da vokal etkinliğinin gerekleri aynı değildir. Batılı araştırmacılar ağırlıklı olarak klasik batı müziği orkestraları, operalar ve solo çalgı dinletileri gibi etkinlik türlerinde yoğunlaşmışlar; ünlü şeflerin, yıldız performansçıların, elit dinleyici grupların salonlar hakkındaki öznel yargılarını değerlendirerek sıralamaya tabi tuttıkları salonları akustik büyüklükler açısından analiz etmiş, bu örneklerden belirli tercih değerleri saptamışlardır. Batı literatüründe genel başlıklarıyla müzik türleri ve öncelik sıralamasındaki yapıların tanımlanan fiziksel büyüklükleri şöyle özetlenebilir (Beranek, 2004):

Tablo 4 Müzik Türlerine Göre Mekânların Fiziksel Büyüklükleri (Beranek, 2004; Long, 2006)

Salon Tipi/Müzik Türü	Hacim (m ³)	Koltuk Sayısı	Genel Kullanım Aralığı	
	Min Max	Min Max	Hacim(m ³)	Koltuk Sayısı
Konser Salonu/Senfoni	5800 86650	552 5222	20000-30000	2000-2700
Opera Evi/Opera	7000 23000	1112 3653	12000-15000	1400-1700
Oda Müziği/Resital Salonları	1070 6800	209 767	3500-4000	400-600
AASSM Küçük Salon	1634	244		

Belirlenen fiziksel büyüklükler sıralamasında AASSM Küçük Salonun yıllık etkinlik oranları da göz önüne alındığında en fazla “Oda Müziği/Resital Salonları” sınıfında değerlendirilmesi doğru olacaktır.

Oda müziği ya da resital gibi küçük etkinlik mekânlarının kabul değerleri çok da detaylı değildir. Buna rağmen özellikle Beranek (Beranek, 2004), Gade (Gade, 2007),

Reichardt, Lehmann (Reichardt & Lehmann, 1981), Abdel Âlim (Alim, 1973), Schmidt (Schmidt & Reichardt, 1984), Fasold ve Veres (Fasold & Veres, 1998) gibi bilim adamlarının çalışmalarından derlediğimiz tipik değerleri incelemek bizlere yol gösterecektir.

Derlenmiş ve karşılaştırılmış veriler ışığında oda müziği için tipik değer aralıkları ve AASSM Kuk Salon için tercih ettiğimiz tipik değerler aşağıdaki gibidir:

Tablo 5 Oda Müziği için Belirlenen Tipik Aralık Değerleri (Karşılaştırma için ISO 3382–1 Tipik Aralık Değerleri Eklenmiştir)

Parametre	Kaynak	Belirtilmemiş	Oda Müziği
EDT 500hz – 1000hz	ISO 3382 – 1 (2010)	1 / 3	
(sn)	Beranek (2004)	2 / 2,3	1,9 / 2,6
Ts 500hz – 1000hz	ISO 3382 – 1 (2010)	60 / 260	
(ms)	Schmidt&Reichardt (1984)		80 / 100
G	ISO 3382 – 1 (2010)	(-2) / 10	
(dB)	Beranek (2004)	4 / 5,5	9 / 13
C80 500hz – 1000hz	ISO 3382 – 1 (2010)	(-5) / 5	
(dB)	Beranek (2004)	(-4) / 4	(-2) / 2
LF 125hz – 1000hz	ISO 3382 – 1 (2010)	0,05 / 0,35	
	Gade (2007)	0,20 / 0,35	0,15 / 0,20
		0,00 – 0,30	Kötü
		0,30 – 0,45	Zayıf
STI	(IEC-60268-16, 2003)	0,45 – 0,60	Vasat
		0,60 – 0,75	İyi
		0,75 – 1,00	Mükemmel
Arka Plan			
Gürültü Düzeyi	GDYY, 2010	< 25	< 25
(dBA)			

3. AASSM KÜÇÜK SALON

3.1 Tarihçe

AASSM, İzmir Büyük Şehir Belediyesi'nin 2008 yılında kente kazandırdığı en önemli sanat merkezlerinden biridir. Sanat merkezi eski trolleybüs deposu ve trafik denetim parkı olarak kullanılan 19.000 m²'lik bir alana oturtulmuş kültürel bir yapıdır.



Şekil 13 AASSM Konumu (AASSM, 2014)

Sanat merkezi inşası fikri 2000 yılında düzenlenen bir proje yarışmasıyla başlamış, yarışmayı Tozkoparan Mimarlık Ltd. (Mim. Tevfik Tozkoparan) kazanmıştır. Projelendirilmesi 2001 yılında biten ve inşası 2004 yılında başlayan sanat merkezi, 2009 yılında hizmete açılmıştır. Halen İzmir Büyük Şehir Belediyesi tarafından işletilmektedir. 29.500 m² 'lik bir alana kurulan AASSM bünyesinde 5 sergi salonu, 1126 kişilik büyük salon ve 244 kişilik küçük salonu barındırmaktadır.



Şekil 14 AASSM Küçük Salon bir Sahne Oturumu

AASSM'nin akustik projesini "Arup" firmasının Türkiye kolu üstlenmiştir. Merkezi İngiltere'de olan Arup, 1946 yılında kurulan ve halen aktif olarak çalışmaya devam eden; mimari tasarım, şehir planlama, mühendislik, danışmanlık gibi pek çok alanda uzmanlaşmış kişileri bünyesinde barındıran, çok uluslu bir firmadır. Dünyanın çeşitli yerlerinde 1300'den fazla projeye imza atmış, referansları arasına Sydney Opera House, London Royal Opera House gibi saygın projeleri de eklemeyi başarmıştır (Arup, 2016). Söz konusu salonlar, L. L. Beranek'in "en iyi salonlar" (Beranek, 2003) listesine girmeyi başarmış mekânlardandır. AASSM İzmir şantiyesi 28–29 Şubat 2008 tarihinde ARUP firmasının akustik danışmanlarından Ned Crowe tarafından ziyaret edilmiş, gerekli akustik denetim çalışmaları başlatılmıştır. Salonun hizmete girmesinin ardından, aynı akustik uzmanının denetiminde bir ölçüm ekibi büyük salonun dürtü yanıtlarını almış, akustik özellikleri açısından bu salona tam not vererek görevlerini teslim etmişlerdir.

3.2 Küçük salon'un genel özellikleri

Sanat merkezi içerisinde 1113 kişilik Büyük Salon'un yanında daha küçük etkinlikler için 244 kişilik Küçük Salon bulunmaktadır. Dört adet simültane çeviri odasına, elektronik konferans sistemine, sahne ışık sistemi ve film gösterimleri için görüntü sistemlerine sahip olan salon, yapının -1 kotundadır.

Açılışından bugüne salonun ağırlıklı olarak üç tür etkinliğe ev sahipliği yaptığı görülmektedir (AASSM, 2014).

Tablo 6 Küçük Salon'un Etkinlik Türlerine göre 2008 – 2016 Yılları Arasında Genel Kullanımı

Etkinlik Türü	2008–2016 yıllarına göre dağılımı
Konser (Resital – Dinleti)	%47
Konser (Jazz quartet, trio ve benzer küçük çaplı gruplar)	%21
Sempozyum – Toplantı - Panel	%26
Sinema	%6

Salonun resital, küçük dinletiler ve kimi zaman da pop-caz türü etkinlikler için tercih edilen bir mekân olduğu anlaşılmaktadır. Aslında müzik dışında toplantılarda da hatırı sayılır hizmetler verilmektedir. Öyle ise bu salonun öncelikli olarak resital ve küçük oda müziği gruplarının etkinlikleri için, sonra pop-caz müziği ve kısmen de konuşma ağırlıklı toplantılar için bir işlev ile yüklendiği kabul edilmelidir. Biz de bu çalışmada akustik kabullerimiz açısından bu işlev sırasını göz önünde bulunduracağız. Salonla ilgili temel fiziksel özellikler şöyledir:

Tablo 7 AASSM Küçük Salonun Bitiş Malzemeleri ve Fiziksel Büyüklükleri

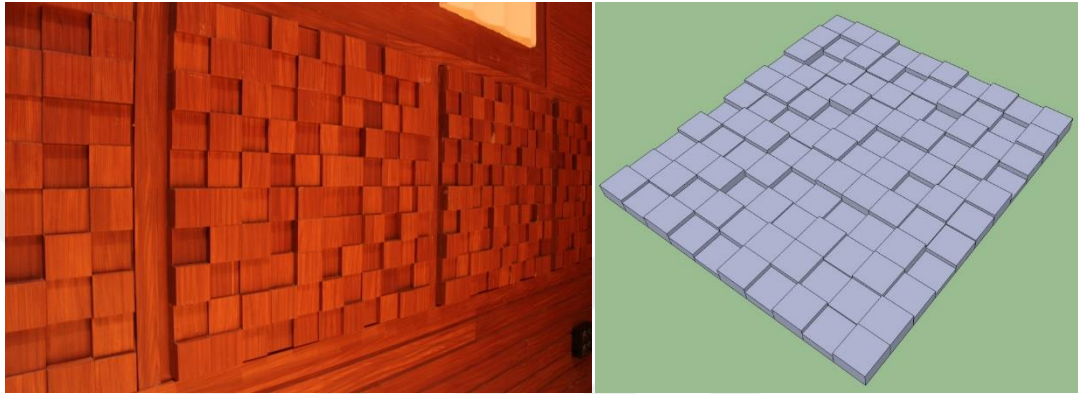
Form	Sahne Tipi	Yükseklik (Max – Min) (m)	Genişlik Uzunluk (m)	Toplam İç Hacim (m ³)	Kişi Başında Hacim (m ³)	Toplam Yüzey Alanı (m ²)	Toplam Akustik Oturma Alanı (m ²)	Kişi Başına Akustik Oturma Alanı (m ²)
Shoobox	Proscenium ya da Açık Sahne	7,85 6,14	11,3 21,1	1634	6.7	1255	126	0,52
Zemin	Lamine parke							
Yan duvarlar	Ahşap (MDF) kaplama + akustik Airfuser™							
Arka duvar	Ahşap (MDF) kaplama + akustik Airfuser™							
Tavan	Alçıpan asma tavan							
Sahne arkası	Akustik Airfuser™, Alçı eğimli akustik saçıcılar							
Sahne üstü	Ahşap lata							
Koltuklar	Ahşap karkaslı, %100 polyester kumaş kaplı katlanır koltuk							
Kapılar	Akustik ahşap kapı. Araları 3m boşluk çift kapı uygulama.							

Tesisin havalandırma sistemleri arka plan gürültü düzeyleri açısından sorunsuz olarak nitelendirilmekte ve uzmanlar tarafından övgü ile söz edilmektedir. Nitekim salon zemininin altına yerleştirilmiş fan ünitelerine bağlı, koltukların altında bulunan filtreli havalandırma çıkışları ile tasarlanmış zeminden havalandırma sistemi sayesinde akustik gürültü sorunu da minimize edilmiştir. Bu yöntem tesis içinde yer alan her iki salonda havalandırma gürültülerinin standartlar ile belirlenen seviyelerin altında kalmasına yardımcı olmuştur. Salon akustiği, titreşim kontrolü, duvar ve kapılardan aktarma kayıplarının başarılı biçimde denetimi, salondaki arka plan gürültü seviyelerini de mükemmel seviyelere çekmiştir.

3.3 Kullanılan Akustik Malzemeler

Salon duvarları çoğunlukla MDF malzemeden oluşmaktadır. Yan duvarlarda ve sahne arkasında iki farklı tip ahşap akustik saçıcı paneller mevcuttur. Ahşap saçıcıların detayları şöyledir:

3.3.1 Ahşap Modül 1



Şekil 15 Ahşap Modül 1 (foto: E. Öztan arşivi), (Trimble, 2016)

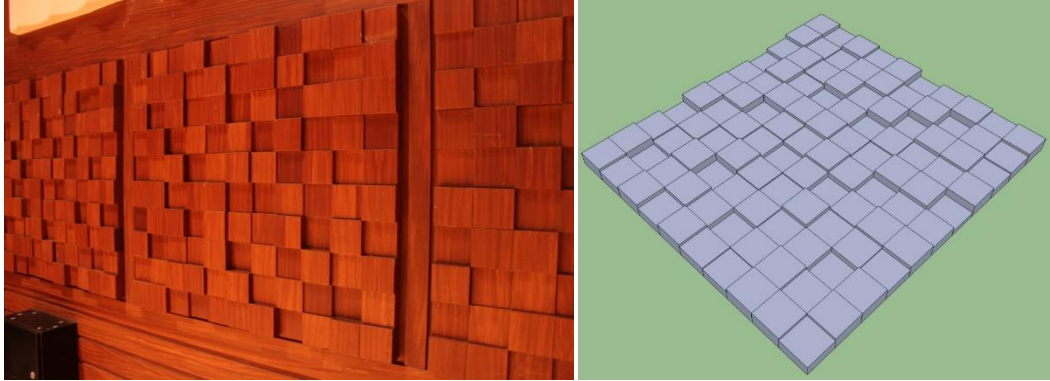
Airfuser™ 10 x 10 cm'lik ahşap bloklardan oluşmaktadır. Genişliği 1.1 m, yüksekliği 1 m'dir. Modül içerisindeki blok yükseklikleri şöyledir:

Tablo 8 Modül 1 Blok Yükseklikleri (cm)

5	4	3,5	5	2	4	5	3,5	5	5	4
4	5	5	4	5	3,5	5	4	2	3,5	5
5	3,5	5	3,5	5	2	4	3,5	4	5	5
3,5	5	2	4	3,5	4	2	5	3,5	4	3,5
2	4	5	2	4	2	4	3,5	4	2	4
5	5	3,5	4	5	3,5	2	4	3,5	4	5
3,5	5	5	2	5	4	3,5	5	2	5	3,5
5	3,5	4	3,5	5	2	4	3,5	5	4	5
3,5	4	5	5	4	5	3,5	4	3,5	2	4
5	5	3,5	2	3,5	4	5	2	4	5	5

Salonda modül 1'in 3 farklı tipi kullanılmaktadır: **Tip 1:** gri bölge, **Tip 2:** gri + mavi bölge, **Tip 3:** gri + mavi + yeşil bölge.

3.3.2 Ahşap Modül 2



Şekil 16 Ahşap Modül 2 (foto: E. Öztan arşivi), (Trimble, 2016)

10 x 10 cm'lik ahşap bloklardan oluşmaktadır. Genişliği 1.1 m, yüksekliği 1m'dir. Modül içerisindeki blok yükseklikleri ise şöyledir:

Tablo 9 Modül 2 Blok Yükseklikleri (cm)

5	5	4	2	5	4	3,5	2	3,5	5	5
4	2	3,5	4	3,5	5	4	5	5	4	3,5
5	4	5	3,5	4	2	5	3,5	4	3,5	5
3,5	5	2	5	3,5	4	5	2	5	5	4
5	4	3,5	4	2	3,5	5	4	3,5	5	5
4	2	4	3,5	4	5	4	2	5	4	2
3,5	4	3,5	5	2	4	3,5	4	2	5	4
5	3,5	4	3,5	4	2	5	3,5	5	2	5
5	4	2	4	5	3,5	5	4	5	5	4
4	5	5	3,5	5	4	2	5	3,5	4	5

Modül 2'in de 3 farklı tipi kullanılmaktadır: **Tip 4:** gri bölge, **Tip 5:** gri + mavi bölge, **Tip 6:** gri + mavi + yeşil bölge.

Modül tiplerinden 3 ve 6 numaralı olanlar sahne girişlerinin hemen yanına, 2 ve 5 numaralı olanlar akustik oturma alanını çevreleyen tüm yan duvarlara uygulanmıştır. 1 ve 4 numaralı olanlar sadece akustik oturma alanı merkezine denk düşen yan duvarlarda

kullanılmıştır. Ayrıca salon giriş kapılarının hemen yanlarına, modül 1'in tamamına, modül 2'nin soldan 7 blokluk kısmı eklenerek oluşturulan bir modül daha eklenmiştir.

Salon yan duvarlarında ve sahne arkasında üç farklı tipte, saten alçıdan kalıp kullanılarak imal edilmiş saçıcı akustik paneller mevcuttur. Bu paneller:

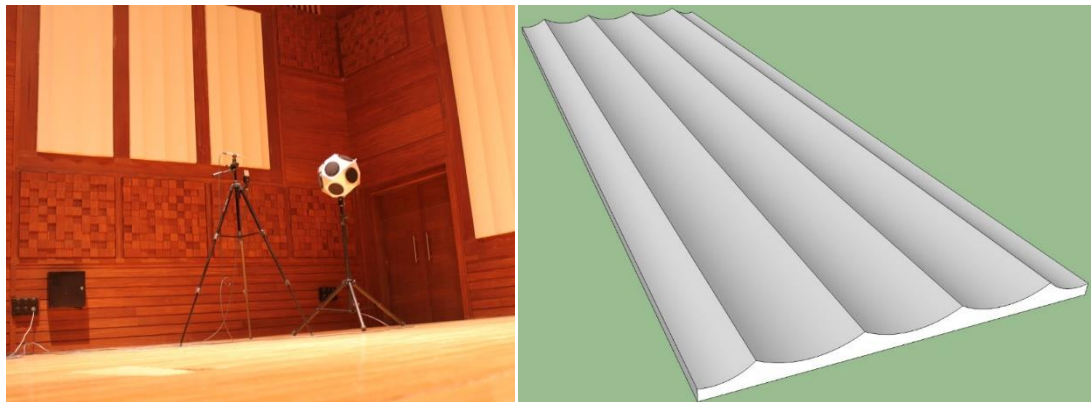
3.3.3 Alçı Panel 1



Şekil 17 Alçı Panel 1 (foto: E. Öztan arşivi), (Trimble, 2016)

1,2 m x 2,4 m'lik bu malzeme yan duvarlarda simultane odalarının yanına uygulanmıştır. İçbükeydir ve sesi sahneye doğru odaklayacak yönde görev yapar.

3.3.4 Alçı Panel 2



Şekil 18 Alçı Panel 2 (foto: E. Öztan arşivi), (Trimble, 2016)

Genişliği 1,2 m yüksekliği 3,6 metredir. Sahne yan duvarlarında üçer tane olacak şekilde uygulanmıştır.

3.3.5 Alçı Panel 3



Şekil 19 Alçı Panel 3 (foto: E. Öztan arşivi), (Trimble, 2016)

1,2 m x 4,8 metredir. Sahne arka duvarına 4 adet uygulanmıştır. Dışbükey yüzey yapısındadır ve seslerin salona doğru yönlendirilmesi ve saçılmasına destek olacak özelliindedir.

Salon zemini şap üzerine döşenmiş parkelerden oluşur. Sahne zemini ahşap lata kaplanmış ve ilk koltuk sırasının oturduğu zemine göre 80 cm yükseltilmiştir. Sahne altı boşluğu taş yünüyle desteklenmiş, sahne altına ses sistemine bağlı bas kabinler gömülü biçimde yerleştirilmiştir. Koltuklar ahşap karkaslıdır ve polyester kumaş kaplıdır. Alçıpan asma tavan, akustik dinleme alanına doğru mimari ışın tarama tekniği kullanılarak açlandırılmıştır. Eğimli tavanda sahne ışık sistemi için gerekli spotların montajına olanak tanıyan truss kanalları oluşturulmuştur.

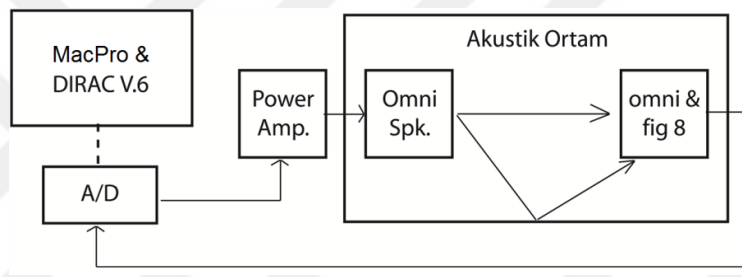
Salonun sağ ve sol duvarlarına simültane odaları konumlanmış durumdadır. Dinleyici alanının bitişine doğru dörtgen prizma biçimindeki kontrol odası, kontrol odasının hemen üzerinde de balkon bulunmaktadır. Balkon izleyicilere açık değildir, ışık ve görüntü sistemine kolay erişim sağlamak amacıyla tasarlanmış küçük bir teknik servis balkonudur.

4. ÖLÇÜM EKİPMANLARI

4.1 Sinyal yolu

Akustik ölçümlerin tamamı ilgili standartları karşılayan Brüel & Kjaer Type 4292-L, Type 2734, Type 2250, Type 7841 (V6.0), Earthworks M23, AKG B414 ULS, Focusrite 2i2 mikrofon ön yükseltici, Dawe akustik kalibratör, nem, ısı, basınç, uzaklıkölçer, MacBook Pro 13 ile yapılmıştır.

Havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin açık ve kapalı durumları için arka plan gürültü düzeyleri Type 2250 ile ölçümlenmiş, sonuçlar DIRAC (V6.0) ve MATLAB (2015b) ile analiz edilmiş, yönetmelikler ile belirlenen değerler etüt edilmiştir. Ekipmanların sinyal bağlantı prensip şeması aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

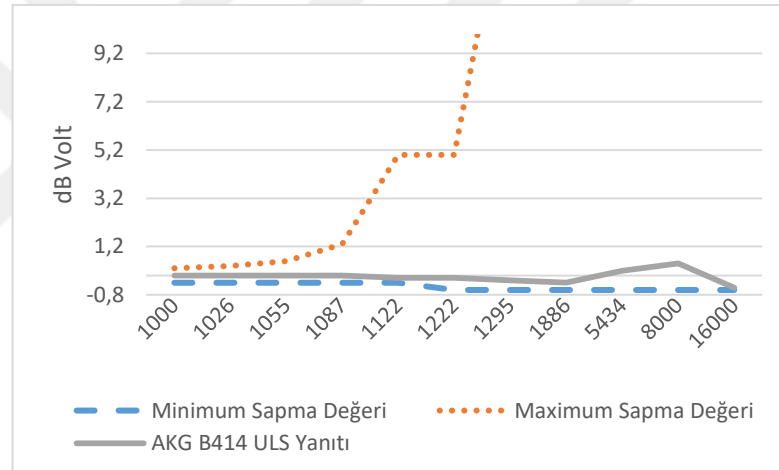
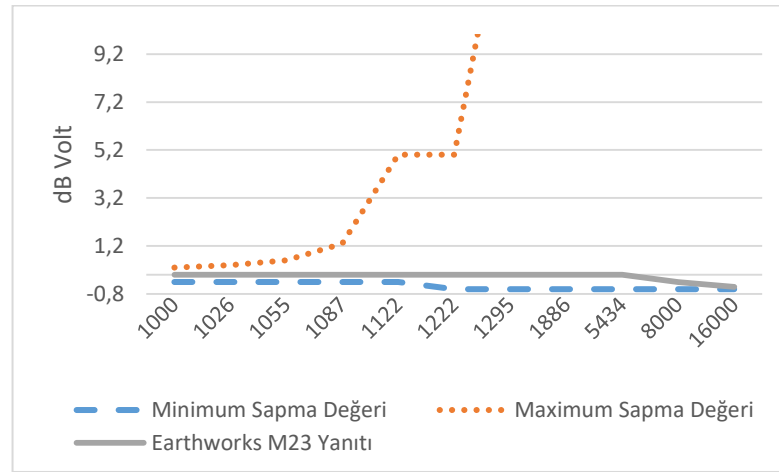


Şekil 14 Akustik hacim ölçümü için sinyal yolu prensip şeması (Öztan & Durmaz, 2015)

4.2 Mikrofonlar

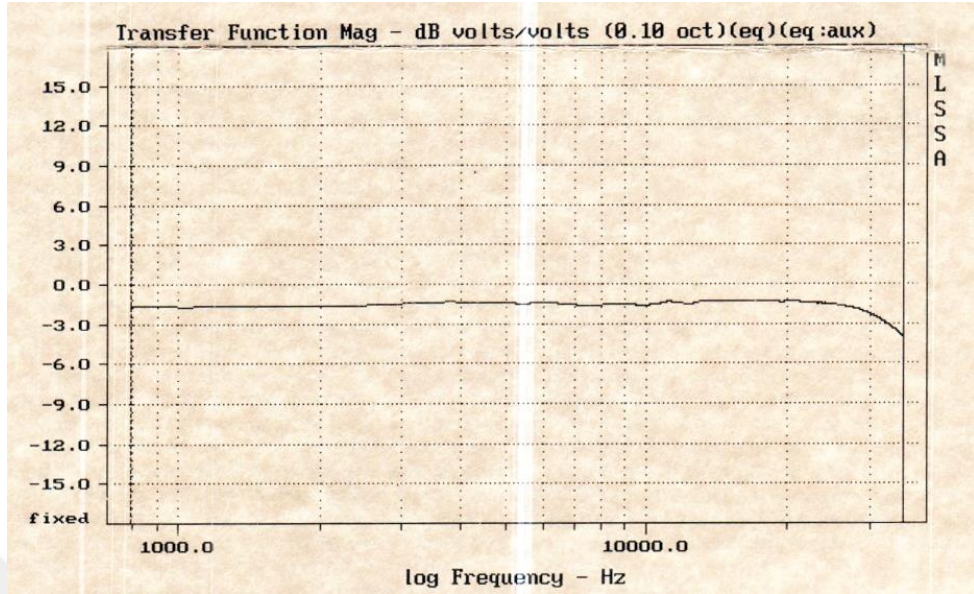
Ölçümlerde çok yönlü “Earthworks M23” ve yönselliği 8 figürlü olarak da ayarlanabilen “AKG B414 ULS” seti kullanılmıştır. Endüstri standartlarında üretilen bu mikrofonların akustik ölçme standartlarına da uygun olup olmadıklarından, ölçüm öncesi bir kez daha emin olunmuştur.

Mikrofonların IEC 61260, 61672 standardında belirtilen maksimum frekans sapma değerlerine sahip olması gerektiği bilinmektedir. Her iki mikrofonun da IEC 61260’da belirtilen sapma değerlerine göre durumları şöyledir:



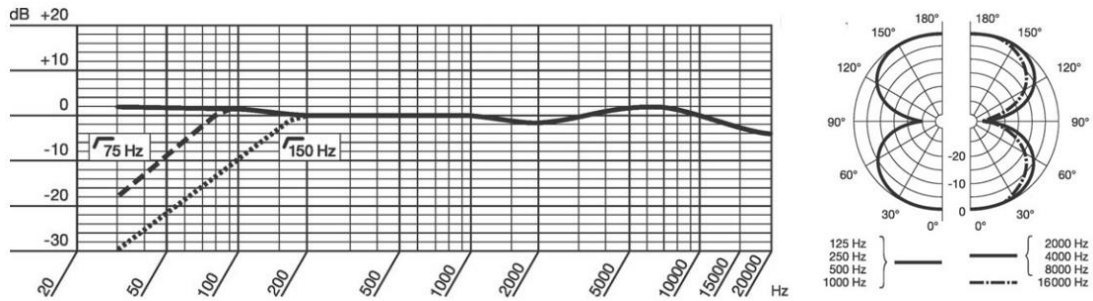
Şekil 20 Earthworks M23 ve AKG B414 ULS frekans sapma değerleri

Earthworks M23 mikrofonlar el yapımı ABD üretimidir ve diyafram çapı ¼ inçtir. İlgili standartta mikrofonların diyafram çaplarının maksimum 13 mm (1/2 inç) olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca her mikrofonla birlikte, mikrofonun münferit laboratuvar ortamında test edilmiş ölçüm verileri de zorunludur. Aşağıda, ölçümde kullanılan 9774F seri numaralı M23 mikrofonunun üretici tarafından MLSSA (MLSAA, 2016) yazılımı ile yapılan ölçüm grafiği görülmektedir. Bu mikrofonun en büyük sapma değeri 0,47 dB'dir.



Şekil 21 Earthworks M23 9774F Seri Numaralı Mikrofonun Ölçüm Verisi (Earthworks, USA)

AKG B414 ULS 1 inç çapında membrana sahiptir ve 8 figürlü durumunun üretici firma tarafından servis edilen frekans yanıtı şöyledir:



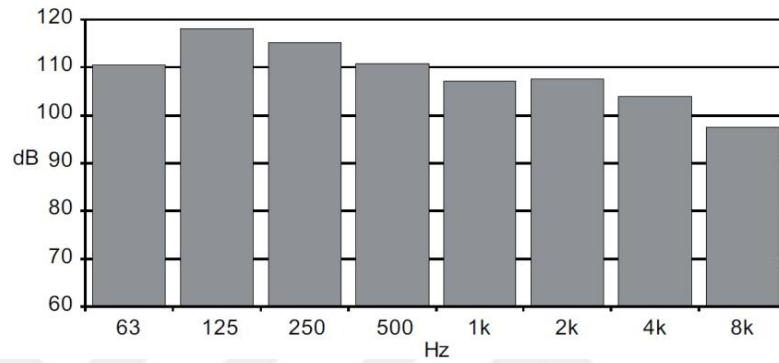
Şekil 22 AKG B414 ULS 8 Figürlü Durumu Frekans Yanıtı (AKG, 2016)

ISO 3382-1’de belirtilen 13 mm’lik diyafram çap sınırı çok yönlü mikrofonlar için geçerli bir durumdur. Yanal enerjileri ölçmek için kullanılan mikrofonların 8 figürlü olması dışında bir ölçüt bulunmamaktadır.

Arka plan gürültü ölçümleri “B&K Type 2250” ile ÇGDYY yönergelerine uygun yapılmıştır.

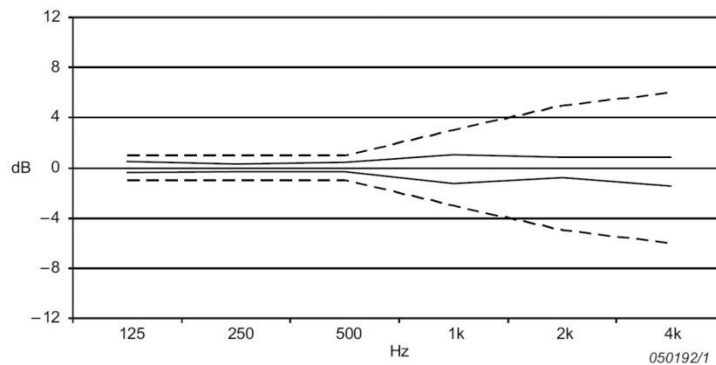
4.3 Ses Kaynağı

Küçük Salon ölçümlerinde, ses kaynağı olarak çok yönlü “*dodecahedral*” B&K Type 4292-L speaker kullanılmıştır. Standartta, ses kaynağının ilgili frekans bandında, arka plan gürültü seviyesinin üstüne en az 45 dB’lik bir basınç farkı yaratması gerektiği belirtilmiştir. Type 4292-L’nin 1/1 oktav bant ses basınç değerleri şöyledir:



Şekil 23 Type 4292-L Oktav Band Ses Basınç Değerleri (B&K, 2016)

Şekil 22’den de anlaşılacağı üzere, ses basınç seviyesinin en düşük olduğu 8k oktav bandında bile arka plan gürültü seviyesi yaklaşık 52 dB olmalıdır. Böyle bir gürültü seviyesinin bir konser salonunda oluşması çok düşük bir ihtimaldir; oluşan kapalı hacimlerde de konser yapılamaz. Standartta ses kaynağının yönsel sapma değerleri de belirtilmektedir. Type 4292-L’nin standartlara göre sapma değeri şöyledir:



Şekil 24 Type 4292-L’nin ISO 3382-1’de Belirtilen Sınır Sapma Değerlerine Göre Durumu (B&K, 2016)

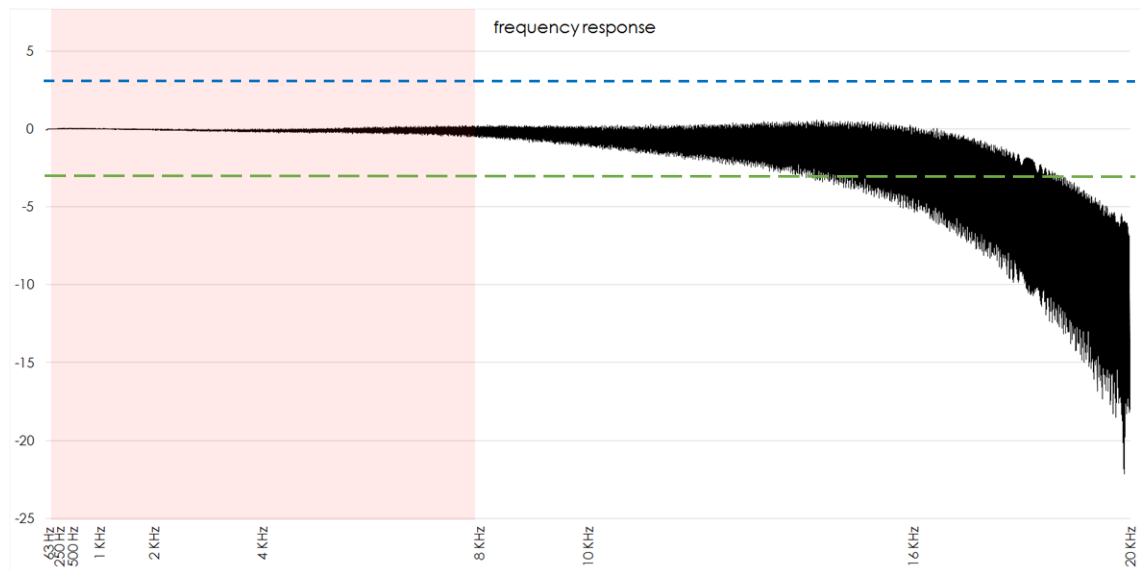
Uluslar arası standartları karşılayan ses kaynağı “*B&K Type 2734-A*” güç amplifikatörü ile sürülmüştür.

4.4 Ses Kayıt Arabirimi

Bu çalışmada, ilgili standartta ses çıktılarının nasıl alınabileceği konusunda tanımlanan iki yöntemden (1- doğrudan bir amplifikatör, filtre seti ve azalım eğrilerini görüntülemek için kullanılan bir sisteme veya uyarı cevabını elde etmekte kullanılan analiz donanımlarına veya 2- müteakip analizler için bir sinyal kaydediciye) ikincisi kullanılmıştır. Bu işlemler DIRAC (V.6) yazılımı, “MacBook Pro” ve aşağıda detayları verilen arabirim ile gerçekleştirilmiştir.

Sinyal yolu üzerinde verilerin sayısallaştırılması ve tekrar analog sinyal dönüşümünün yapılabilmesi için “Focusrite 2i2” USB protokollü A/D D/A arabirimi kullanılmıştır.

İlgili standartta bu arabirimin, ölçümde kullanılan frekans bandında yanıtının en fazla +3, -3 dB sapma aralığında olabileceği belirtilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Focusrite Scarlett 2i2’nin yaptığımız ölçümler sonucunda en büyük sapma değerinin 0,75 dB (@ 63Hz-8kHz) olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada kullanılan 2i2 için doğrusal ölçekli frekans yanıt grafiği şekil 24’de görülmektedir.



Şekil 25 Focusrite Scarlett 2i2 Frekans Yanıtı (ölçüm zorunluluğu bulunan frekans band genişliği kırmızıyla taranmış, alt ve üst sınır sapma değerleri kesikli çizgilerle belirtilmiştir)

ISO 3382-1'de ayrıca bu arabirimin, ilgili frekans bantlarının tümünde en az 50 dB'lik sinyal gürültü (S/N) oranının sağlanması gerektiği de belirtilmektedir. Böyle bir S/N oranı manyetik şeritli kaydediciler kullanıldığı durumda kritik bir önem taşıyabilir ancak, 96kHz ve 24 bit derinlikte işlem yapabilen sayısal ortamda hiç bir önemi yoktur. Nitekim Focusrite 2i2'nin kimlik kartında gürültü değerinin -104 dBU seviyelerinde, S/N oranını da >100 dB olduğu açıkça görülmektedir.

4.5 Elektronik ve akustik sistem kalibrasyonu

Ölçme öncesi sistemin kalibre edilmiş olması zorunludur. Kalibrasyonu yapılmamış sistemler tekrarlanabilir özelliği bulunmayan münferit ölçmeler yapabilir; sonuçları bilimsel değildir. Standartlara uygun ölçmenin ilk aşaması kalibre edilmiş sistemin sağlanması olacaktır. Bu çalışmada mikrofon-preamplifier, amplifier-speaker kalibrasyonları yapılmış, Dirac ve ODEON yazılımında kullanılmak üzere düzeltme faktörleri oluşturulmuştur.

Ölçümde kullanılan Dirac uyarı sinyal çıkışlarının -12 dBFS referans seviyesinde, kayıt için girişlerin kırılma öncesi maksimum düzeylerde, Type 2734 güç amplifikatörünün ise 0 dBU çıkış düzeyinde olduğundan emin olunmuş, 2i2 USB kontrol kartının girişleri de en çok 1,23 dBVrms olacak seviyede düzenlenmiştir. Bu düzenlemeler elektriksel anlamda sistemimize, kırılma öncesi en temiz ve en yüksek sinyal düzeyi sağlanmıştır.

Type 2734 ve 4292-L kalibrasyonu Dirac yazılımı içinde, 72 derece açı ile kaydı alınan beş uyarı cevaplarının korelasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan düzeltme faktörleri sisteme tanıtılmış, ses gücü düzeyi ile ilgili parametrelerin gerçeğe en yakın biçimi ile analiz edilmesi için gerekli ortam sağlanmıştır.

Mikrofon akustik giriş seviyelerinde Dawe Inst. Eng. akustik kalibratör kullanılmıştır. Mikrofonların tümü 96 dBSPL (@ 1kHz) basınca göre kalibre edilmiştir.

Atmosferik koşullar ve büyüklükler endüstri standartlarını karşılamayan bir basınç, nem ve ısı ölçer aracılığı ile yapıldığı için, yerel ve anlık atmosferik değerler resmi meteoroloji duyurularından denetlenmiştir.

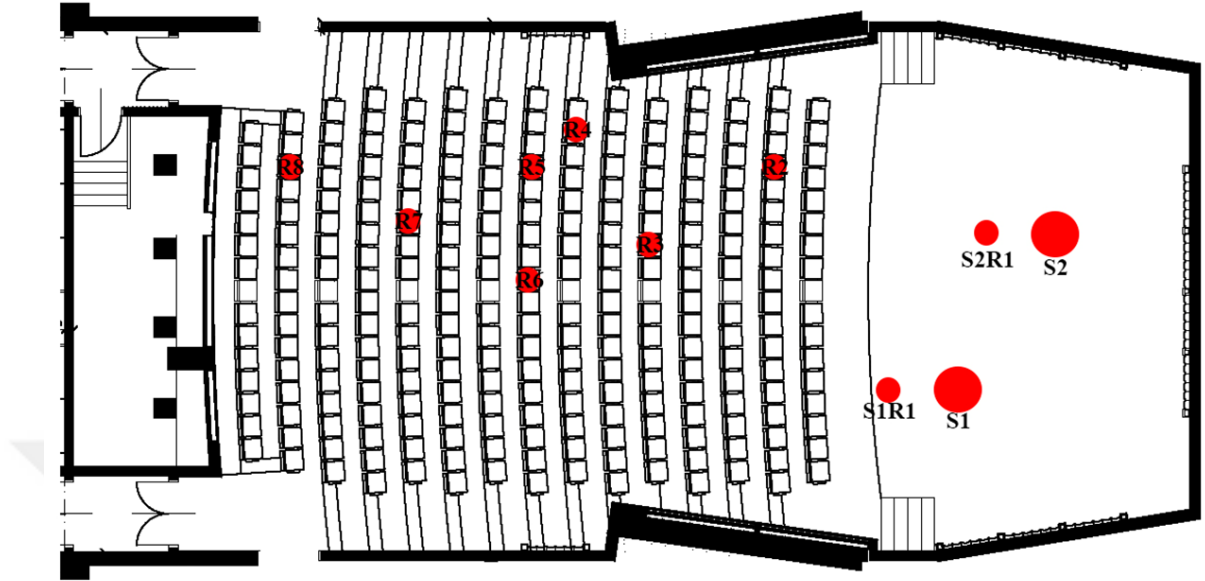
5. ÖLÇÜM KOŞULLARI, KAYNAK VE ALICI NOKTALARI

Çalışma kapsamında akustik ölçümler 15 Ocak 2016 günü boş salonda ve boş sahnede gerçekleştirilmiştir. Dört kişiden oluşan ölçüm ekibinin, ölçüm sırasında alıcı ve kaynak noktalarından en az 2 m uzakta olacak biçimde ve hareketsiz şekilde beklemeleri sağlanmıştır. Ölçümler, sahne üzerinde resital oturma düzeninde kullanılan toplam 2 kaynak (S=source) ile salonun sol yarısında konuşlandırılmış, farklı oturma noktalarındaki 16 alıcı (R=Receiver) noktasında gerçekleştirilmiştir. Kaynak ve alıcı noktalarının kendi aralarındaki uzaklıkları ve zemine olan yükseklikleri, ISO (TS EN ISO, 2009) ile belirlenen yönergeler doğrultusunda saptanmıştır.

Kaynak noktalarının odadaki doğal ses kaynaklarının normal olarak bulunduğu yerlerde konumlandırılması, kaynak yüksekliklerinin 1,5 m olması ve en az 2 kaynak noktası seçilmesi asgari koşullardandır.

Küçük Salon'un akustik ölçümü için kaynak noktaları belirlenirken bu durum göz önüne alınarak S1 noktası solistin, S2 noktası çalgıların (özellikle piyano) genel olarak oturulduğu noktaya göre belirlenmiştir. Kaynak yükseklikleri 1,5 m'dir. Alıcı noktalarını belirlerken dikkate alınan noktalardan bazıları şunlardır.

- Alıcı mikrofonların akustik dinleme alanında mümkün olduğunca dengeli, salon planına göre simetrisi de bulunacak, farklı koltuklara dağılacak vb. özellikler taşıyan noktalara yerleştirilmesi,
- Akustik kusurların oluşabileceği noktaları belirleyip bu bölgelere alıcı yerleştirilmesi (örneğin 4. alıcı noktası simültane odalarının etkilerini daha iyi anlayabilmek adına belirlenmiştir),
- G değerleri için, 10 m'de ikinci bir referans noktasının bulunması,
- 1m'de bulunan referans noktası hariç diğer alıcı noktalarının ses kaynağına "en yakın ölçme mesafesi" ve "en yakın yansıtıcı yüzeye uzaklık" kurallarına uygun konuşlandırılması,
- İki alıcı noktası arasında (125 Hz alt frekansına göre) en az 1,36 m; alıcı noktalarının duvara ya da yansıtıcı yüzeylere de en az 1,36 m uzaklıkta bulunması,
- 1 m referans alıcı mikrofonu hariç tüm alıcıların yerden 1,2 m yani oturma durumu için dinleme yüksekliğinde olması sağlanmıştır.



Şekil 26 Küçük Salon Planı üzerinde Kaynak ve Alıcı Noktaları (mimari plan: Arup ve Tozkoparan)

Tablo 10 Kaynak Noktalarının Konumları

Kaynak Noktaları	Sahne Yan Duvarına Olan Uzaklığı (m)	Sahne Arka Duvara Olan Uzaklığı (m)
S1	6.4	5
S2	2.8	2.7

Tablo 11 Alıcı Noktalarının Konumları

Alıcı Noktaları	Koltuk Numarası	Yan Duvara Olan Uzaklık (m)	Kaynağa Olan Uzaklık (m)
S1 R1	-	6.4	1
S2 R1	-	2.8	1
R2	B4 [2. Sıra]	2.9	5.8
R3	E 7 [5. Sıra]	4.7	7.1
R4	G 2 [7. Sıra]	2.3	9,6
R5	H 4 [8. Sıra]	3.1	10
R6	H 9 [8. Sıra]	5.5	9,7
R7	K 6 [11. Sıra]	4.4	12,6
R8	N 3 [13. Sıra]	3.5	15,4

Tablo 12 Salon içi atmosferik buyklkler (15 Ocak 2016, saat 13.40 itibariyle)

Ortam ısısı (C⁰)	20 ⁰
Bağıl nem	% 41
Atmosferik basınç	1016 hPa

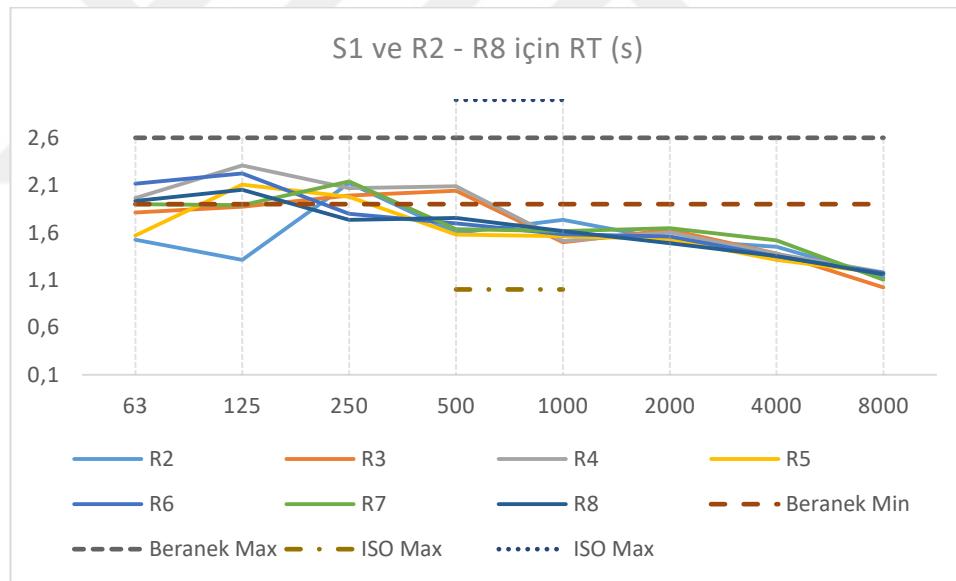
Sahnedeki konuşlanan iki kaynak noktasından salona uygulanan MLS, noise, e-sweep sinyalleri ve balon ölçümleri sonucunda toplam 87 uyarı cevabı kayıt altına alınmıştır. Bu kayıtlardan sadece MLS ve balon uygulamalarından elde edilen kayıtlar analiz edilmiştir. Tüm lmler ve değerlendirmeler ISO 3382-1; ISO 3382-2 ve ilgili mevzuatlara (TS ISO, 2009), (GDYY, 2010) uygun şekilde gerçekleştirilmiştir (Durmaz, 2016).

6. ÖLÇÜM SONUÇLARI ve AKUSTİK DEĞERLENDİRMELER (SEYİRCİSİZ)

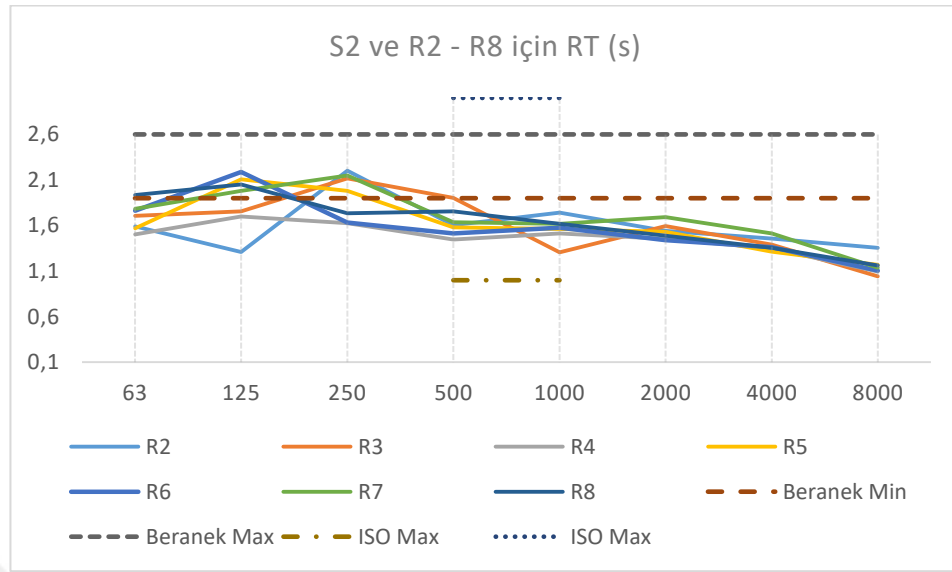
Akustik analizlerde boş salona uygulanan MLS uyarı sinyalleri ve cevapları esas alınmış, standartlar ile belirlenen temel akustik büyüklüklerden Çınlama süresi (RT: Reverberation Time), Erken azalım süresi (EDT: Early Decay Time), Merkezi zaman (Ts: Centre Time), Ses Gücü (G: Strength), Netlik (C₈₀: Clarity), Erken ve geç yanal enerji oranı (LF₈₀: Lateral Energy Fraction) ile Konuşmanın iletim indeksi (STI: Speech Transmission Index) değerlendirilmiş, arka plan gürültü düzeyleri analiz edilmiştir.

6.1 Çınlama Süresi, RT

Sesin kapatıldığı andan itibaren milyonda birine düşüşü için geçen sürenin ifadesi olan bu büyüklük önemli bir akustik değişkendir. Salonların işlevlerine göre farklı değer aralıklarında olması beklense de, bu çalışmada ISO ile belirtilen değerler ile Beranek'in andığı (2004: 536) sınır değerler öncelikle dikkate alınmıştır:



Şekil 27 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının RT60 Değerleri



Şekil 28 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının RT60 Değerleri

RT₆₀ sonuçları ISO 3382-1 sınır değerleri ve Beranek'in tipik oda müziği uygulamaları için andığı değerlere göre incelenmiştir.

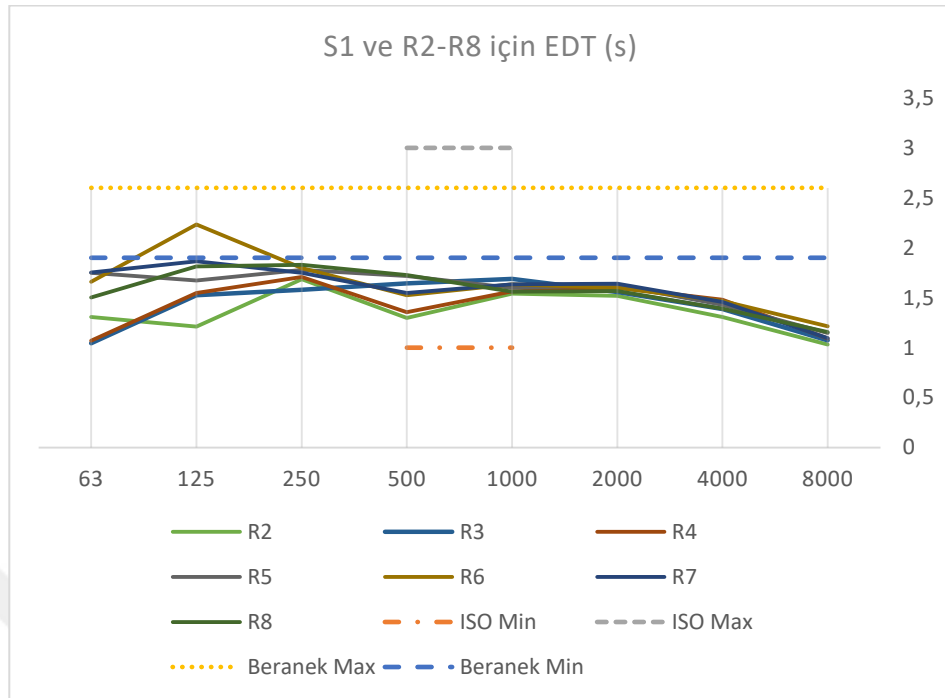
RT₆₀ değerlerinin oda müziği için tercih edilen büyüklükleri, dolayısıyla ihtiyacı tam olarak karşılamadığı, ISO 3382'de belirtilen tipik aralık değerlerine göre ise alt sınıra yakın değerlerde olduğu görülmüştür.

Bu veriler doğrultusunda, RT₆₀ değerlerinin müzik sesleri ve bunların dolgunluğu için kısmen düşük kaldığını söylemek yanlış olmayacaktır. RT₆₀ değerlerinin bu görünümü dinleyiciler açısından müzik seslerinin kuru ve cansız algılanmasına, müzisyen tabiriyle salonun “ölü” tınlamasına sebep olabilir.

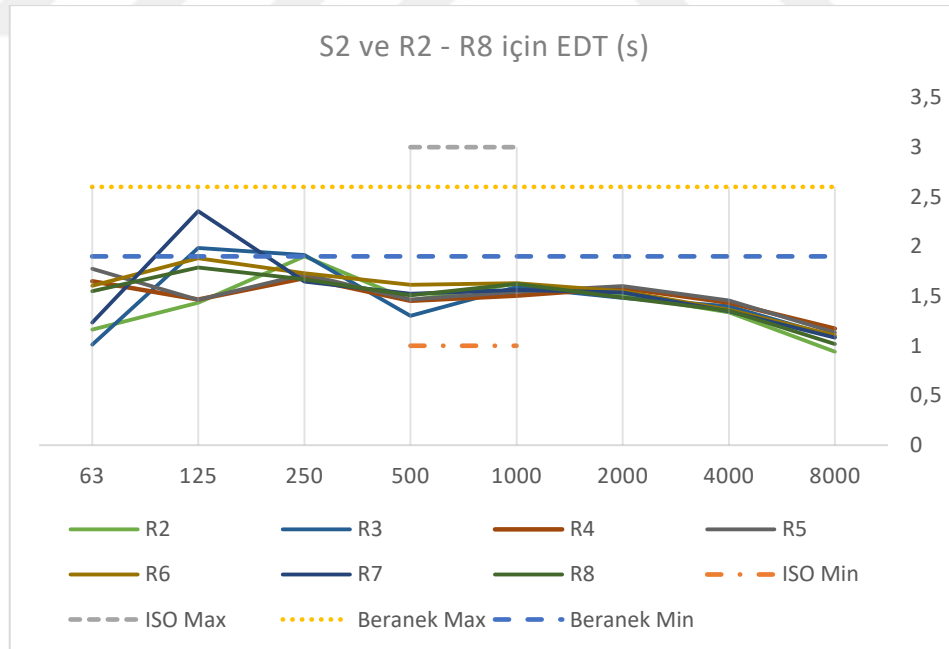
EDT'nin akustik kalite adına daha iyi bir ölçüt olduğu bilinmektedir. Aynı değerlendirme EDT sonuçları için de yapılmalıdır.

6.2 Erken Azalım Süresi, EDT

Entegrali alınmış MLS uyarı cevabının 0 dB ve -10 dB arası en uygun doğrusal regresyon çizgisinin eğiminden hesaplanan süreyi ifade eden bu büyüklük için standardın önerdiği değer aralığı 1–3 saniyedir.



Şekil 29 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının EDT Değerleri



Şekil 30 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının EDT Değerleri

EDT sonuçları ISO sınır değerleri ve Beranek'in tipik oda müziği uygulamaları için andığı değerlere göre incelenmiştir.

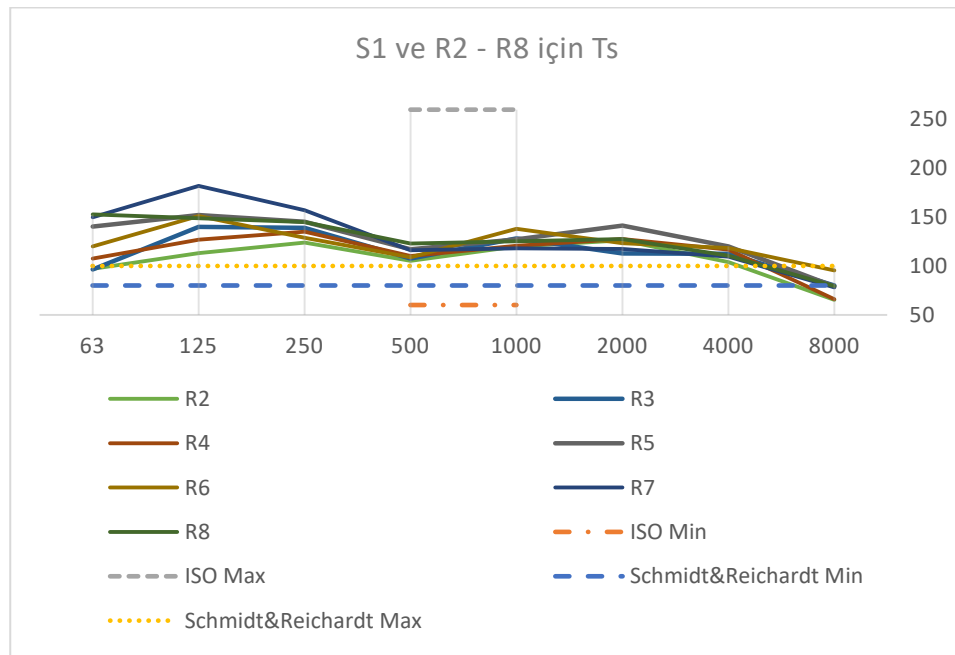
Yukarıdaki tablolardan EDT değerlerinin oda müziği için tercih edilen büyüklükleri, dolayısıyla ihtiyacı tam olarak karşılamadığı, ISO 3382'de belirtilen tipik aralık değerlerine göre ise alt sınıra yakın değerlerde olduğu anlaşılmaktadır.

Burada EDT değerlerinin müzik sesleri ve bunların dolgunluğu için kısmen düşük kaldığını söylemek yanlış olmayacaktır. RT_{60} parametresinde bahsedilen tüm olumsuz etkiler devam etmektedir.

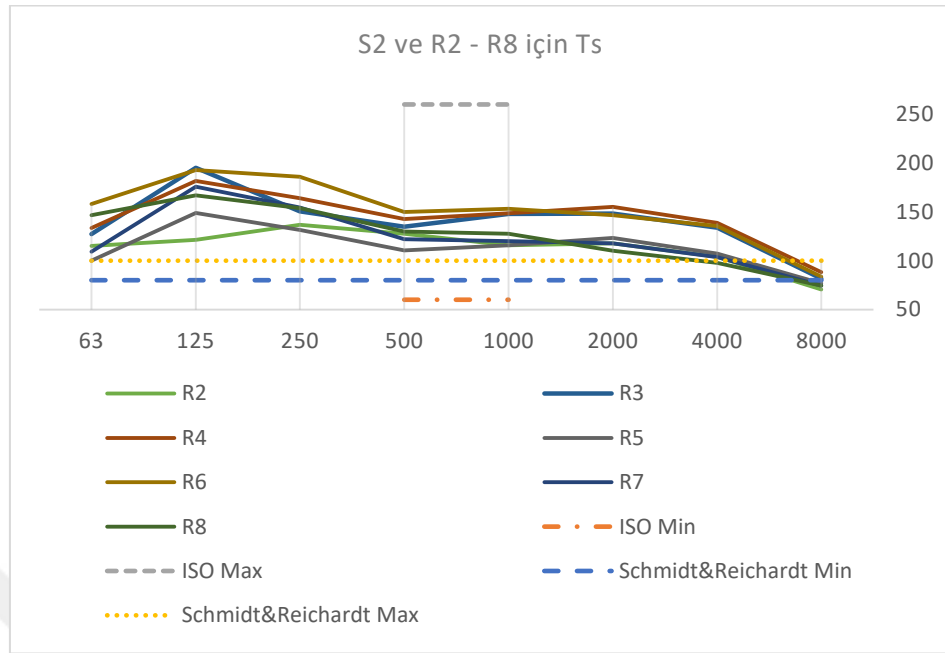
6.3 Merkezi Zaman, Ts

Dinleyiciye gelen sesin erken mi yoksa geç gelen enerjilerden mi oluştuğu ve bunların arasındaki dengenin ne durumda bulunduğunu anlayabilmek adına, dinleyici konumlarından alınan örnekler üzerinde uyarı cevabı karelerinin ağırlık merkezi süreleri analiz edilmiştir.

Merkezi zaman parametresi analizlerinde ISO nun belirlediği ve Schmidt&Reichardt'ın oda müziği için tanımladığı tipik aralıklar göz önüne alınmıştır.



Şekil 31 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının Ts Değerleri



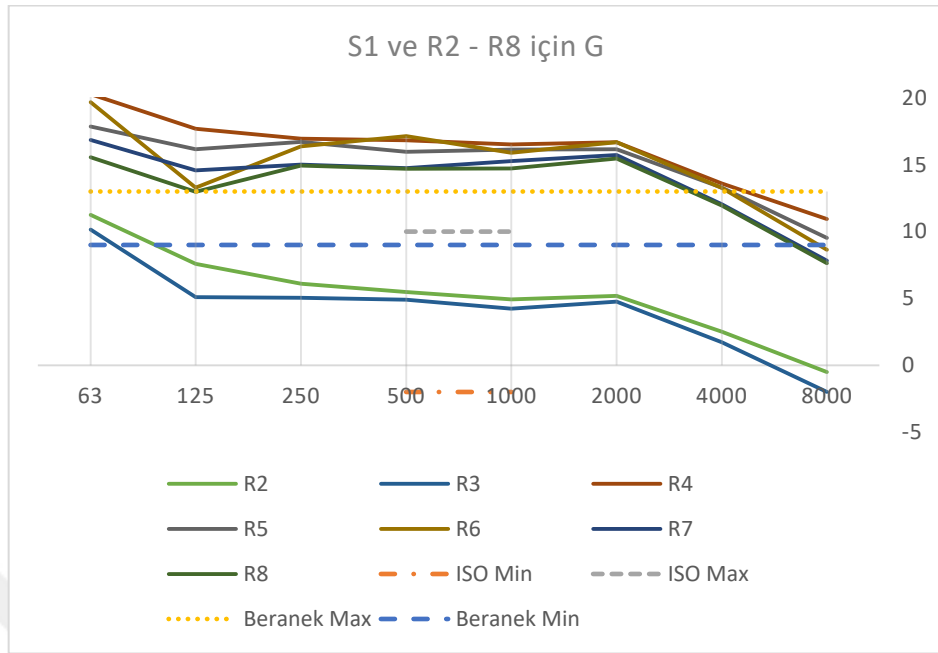
Şekil 32 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının Ts Değerleri

Ts değerlerinin oda müziğinin tipik aralık değerlerine uyum sağladığı pek söylenemez. R1 referans noktası kaynağa çok yakın olduğundan Ts değerlerinin düşük çıkması beklenen bir durumdur.

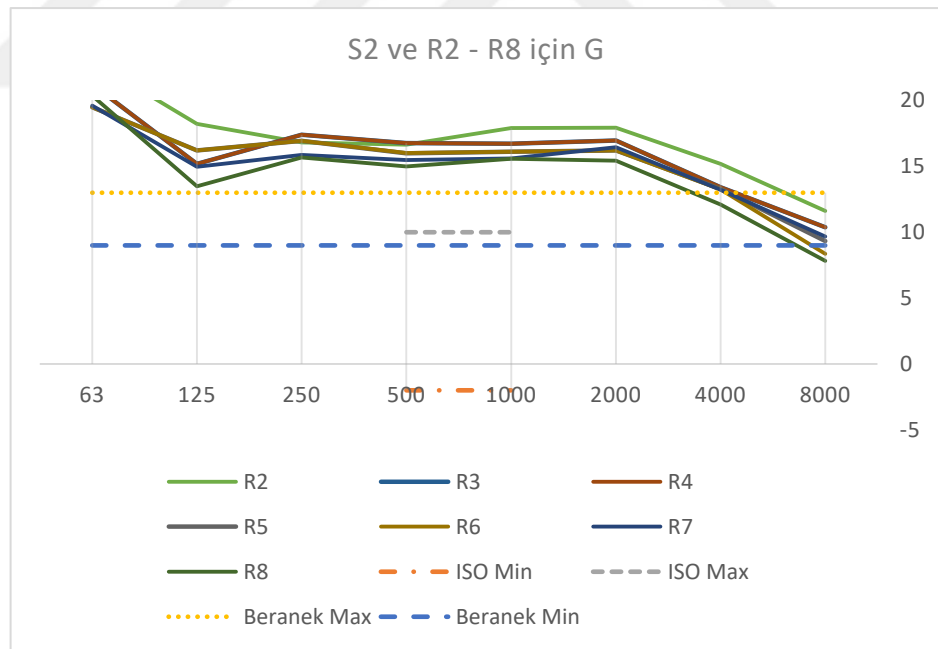
R1 noktası haricinde bütün TS değerlerinin ISO ya göre uygun aralıklarda olduğu görülmüş, erken ve geç yansıma oranlarının kabul edilen değerler dâhilinde olduğu da anlaşılmıştır.

6.4 Ses Gücü Düzeyi, G

Ölçülen uyarı cevabına ait ses enerjisinin (karesi alınmış ve entegrali alınmış ses basıncı), ses kaynağından 10 m uzaklıktaki serbest ses alanında ölçülen cevabına logaritmik oranı hesaplandığında, S1 ve S2 kaynakları için, tüm alıcı noktalarındaki ses gücü düzeylerinin sonuçları aşağıdaki gibi izlenmektedir.



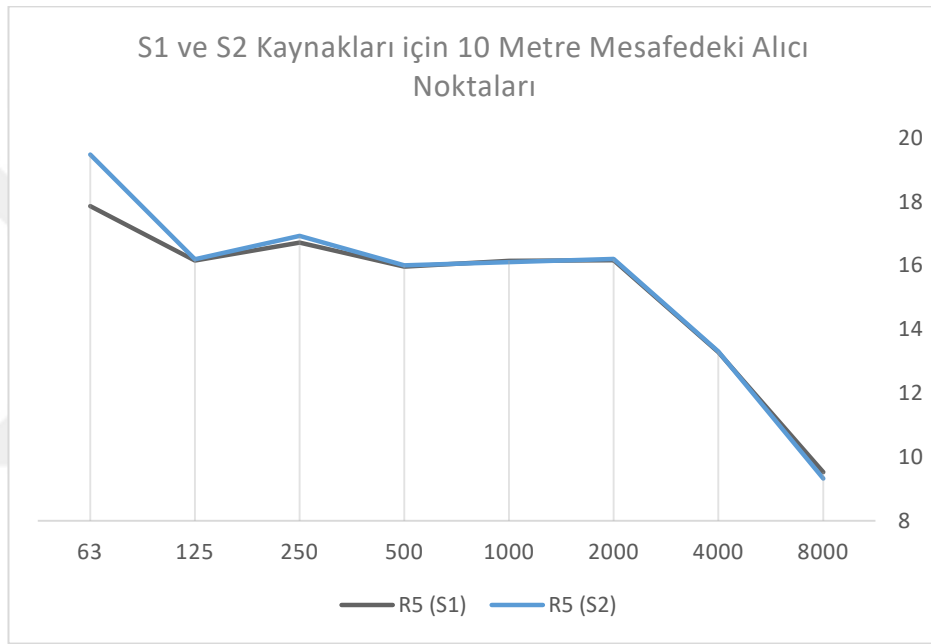
Şekil 33 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının G Değerleri



Şekil 34 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının G Değerleri

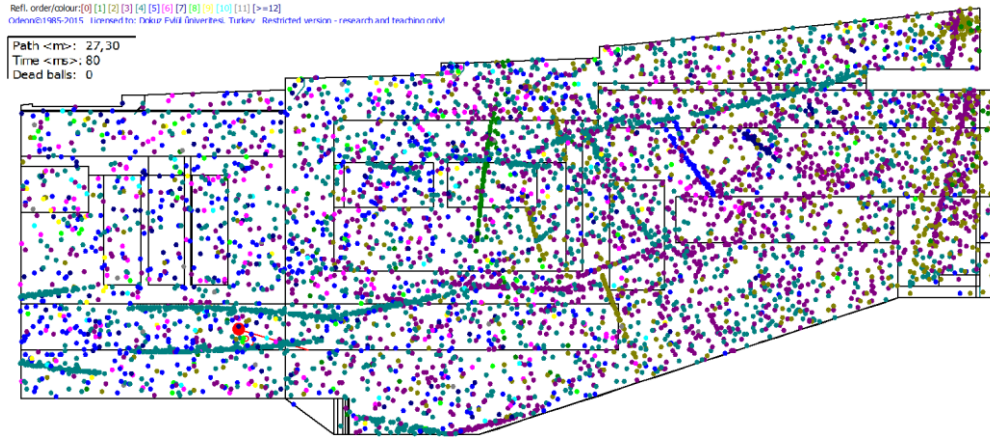
G değerleri sonuçlarının, oda müziği için öngörülen tipik aralık değerlerine tam olarak uyum sağlamadığı anlaşılmaktadır.

S1 kaynak noktası için salonun R4 alıcı noktasından itibaren; S2 kaynak noktasından itibaren salonun bütününde yüksek G değerleri dikkat çekmektedir. S1 noktasından daha uzakta olan S2 noktasında bu değişim salon içerisindeki saçıcı yüzeylerin olumsuz etkisine işaret etmektedir. Salon içerisinde algılanan ses büyüklüğü genel itibariyle fazladır. G değerlerindeki bu yükselme, sesin rahatsız edici gürlüğüne ayrıca algılanan sesin bütününde genlik ve faz bozulmalarına (Distortion) neden olabilir. Bu, hem müzik hem de konuşma sesleri için istenmeyen bir durumdur.



Şekil 35 S1 ve S2 için 10m uzaklıktaki Ses Gücü, G karşılaştırması

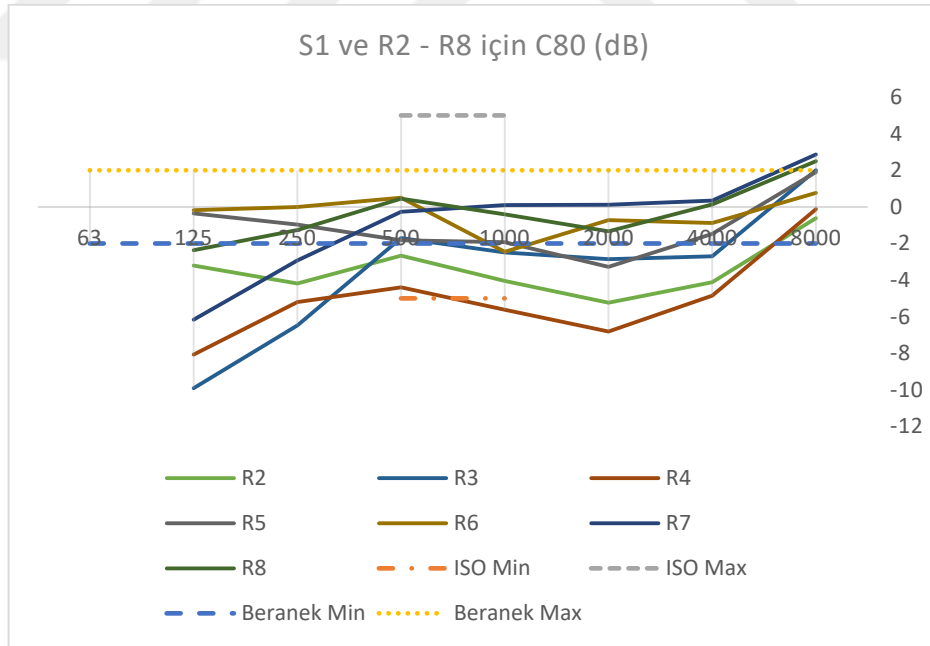
80. ms'de dalga saçılımları genel itibariyle henüz 4. sıradadır ve özellikle salonun arka bölümünde yoğundur. Yüksek enerjili bu yansımalar özellikle arka koltuklarda G artışına neden olmaktadır. Ayrıca tiz frekanslardaki çökme, tiz saçıcı görev yapması beklenen ahşap saçıcı modüllerle ilgili soru işaretleri yaratmaktadır.



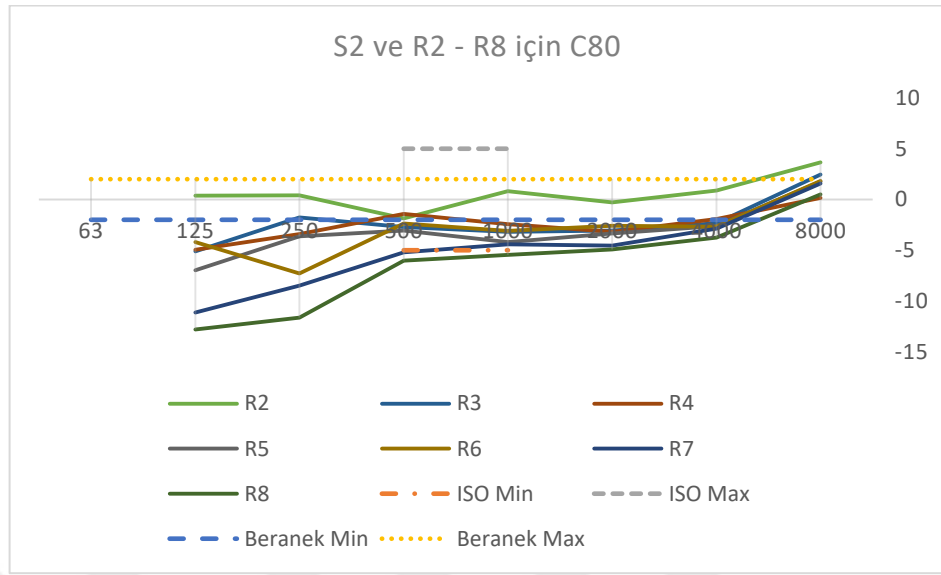
Şekil 36 80.ms'deki yansımaların durumu (ODEON, 13.02 Auditorium)

6.5 Netlik, C80

80 milisaniye sonraki etkilerin önem kazandığı ve müzikteki netliğin bir ifadesi olan C80 parametresi, kabul değerlerimiz ISO -5 dB +5 dB ve Beranek -2.0 ile -2.0 aralığında incelenmiştir:



Şekil 37 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının C80 Değerleri



Şekil 38 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının C80 Değerleri

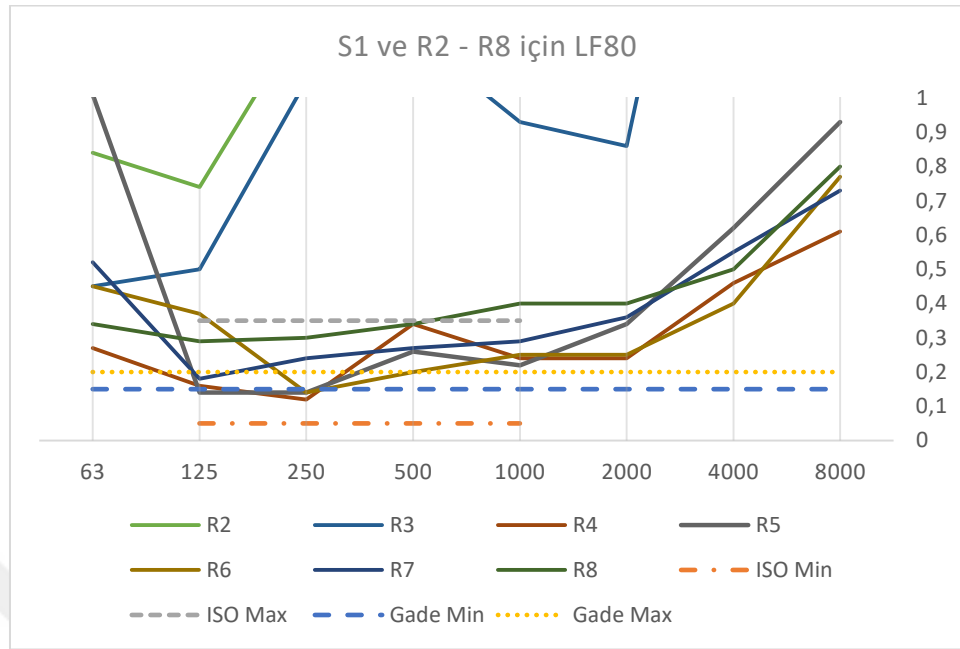
C 80 değerlerinin R5, R6, R7 ve R8 alıcı noktalarında oda müziği tipik aralık değerleri ile uyumlu olduğu; R2, R3 ve R4 noktalarında ise ISO 3382’de belirtilen tipik aralık değerlerine uygun olduğu görülmüştür.

Ses bozulmalarını bir an için göz ardı edecek olursak, salonun özellikle arka bölgesinde müzik seslerinin istenen netlikte duyulacağını söylemek yanlış olmayacaktır.

Ön sıralarda sesin netliği ISO ile belirtilen aralıklara uygun görülse de, salonda gerçekleştirilen resital, pop dinletileri gibi etkinlikler için yetersiz olacaktır.

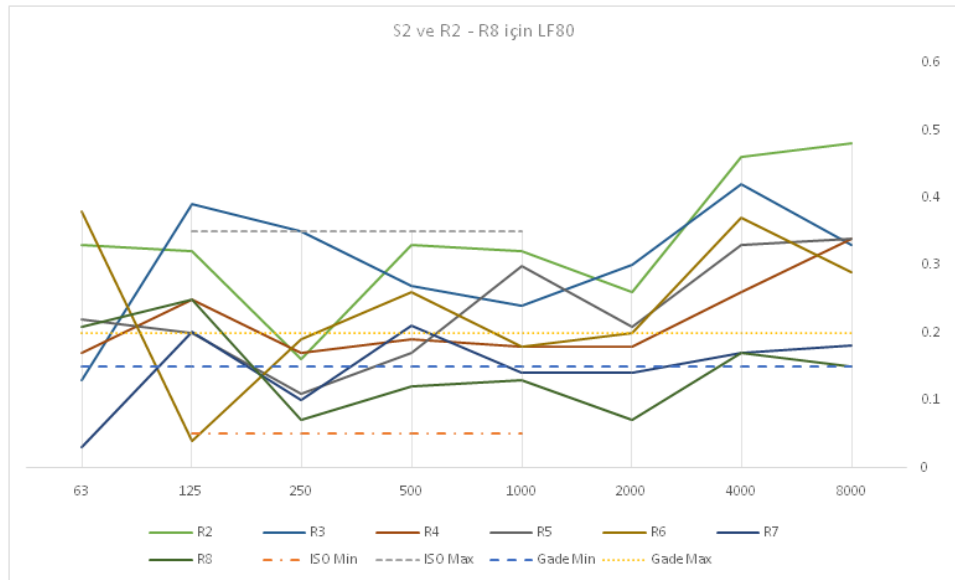
6.6 Erken Yanal Enerji Fraksiyonu, LF

Algıdaki görünür kaynak genişliğini belirlememizde bize yardımcı olacak olan dinleyiciye ilk 80 milisaniye içinde ulaşan erken yanal enerji dağılımının ISO’ya göre 0.05–0.35, Gade’ye (2007:302) göre ise 0.20–0.25 aralığında olması beklenmektedir.



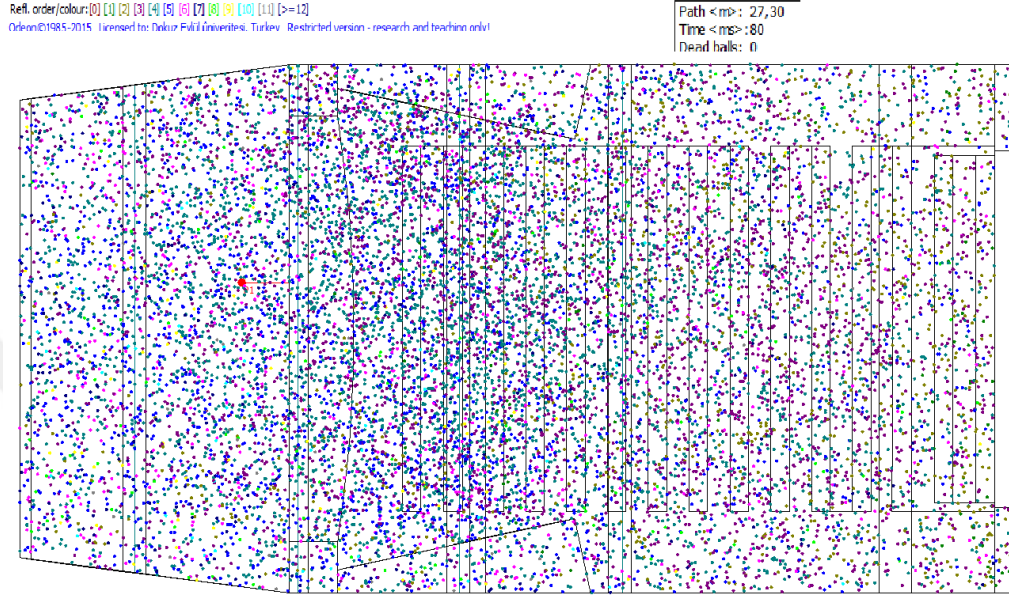
Şekil 39 S1 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının LF80 Değerleri

LF değerlerinin oda müziği için belirlediğimiz kabul değerlerimize uyum sağlamadığı görülmüştür.



Şekil 40 S2 Kaynak Noktası için R2 - R8 Alıcı Noktalarının LF80 Değerleri

Salon içerisindeki yanal yansıma değerlerinde tutarsızlıklar bulunmaktadır. Özellikle R2 ve R3 alıcı noktalarında, yan duvarlarda bulunan simultane odalarının olumsuz etkileri dikkat çekmektedir.



Şekil 41 Simultane Odalarının Etkisiyle Salonun Ön Kısımında Oluşan Yanal Enerji Yoğunluğu (ODEON, 13.02 Auditorium)

R4, R5, R6, R7 ve R8 alıcı noktalarındaki değerler çoğunlukla ISO ile belirtilen tipik aralık değerlerinin içerisinde görünse de, özellikle 4000 ve 8000 Hz bölgesinde bir artış dikkat çekmektedir. Bu durumun salon duvarlarında bulunan saçıcı yüzeylerden kaynaklanması muhtemeldir. Nitekim bu malzemenin özellikle 1000 Hz ve üstü frekanslarda saçıcı etkiye sahip bir malzeme sıfatıyla satışa sunulduğu da açıkça görülmektedir.

Genel olarak bu salonun müzik sesleri için yanal yansımalar bakımından yetersiz olduğunu ve sesin dinleyiciyi sarma hissini çok güçlü olamayacağını söylemek yanlış olmayacaktır.

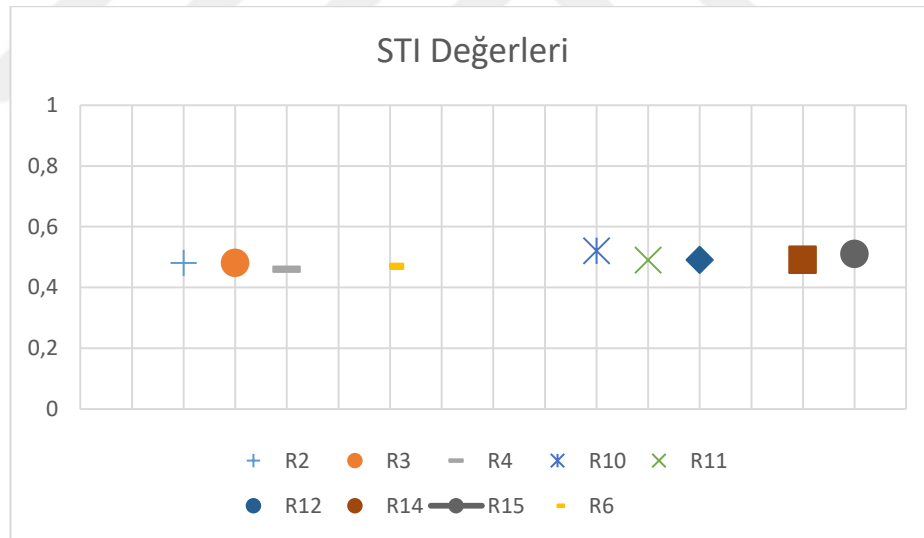
6.7 Konuşmanın İletim İndeksi, STI

Ses iletimi, konuşmanın anlaşılabilirliği üzerindeki etkileri, sinyalin gürültüye oranı ile ve ortamdaki gürültü düzeyi ile yakından ilgilidir.

Tablo 13 STI Sonuçlarının Değerlendirilmesi (koyu punto bu çalışmanın kabul sınırındır)

STI	Speech Intelligibility
0.00 - 0.30	Kötü
0.30 - 0.45	Zayıf
0.45 - 0.60	Vasat
0.60 - 0.75	İyi
0.75 - 1.00	Mükemmel

Yukarıdaki çizelgede koyu punto ile görülen değerler bu çalışmada kabul edilen değerler olarak alınmıştır.



Şekil 42 Alıcı Noktalarına Göre STI Değerleri

Salon içerisindeki STI değerleri genel olarak 0,5 civarındadır. Bu durum salonun boş durumu için konuşma anlaşılabilirliğinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Ancak salonun dolu durumunda bu değerlerin artması beklenmektedir.

6.8 Arka Plan Gürültü Düzeyi

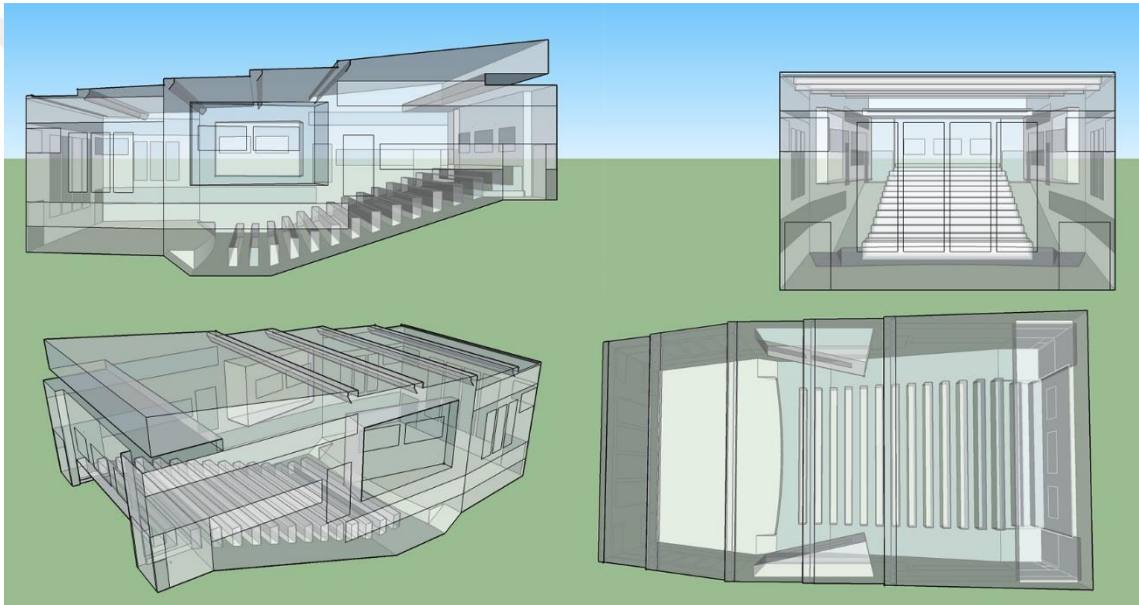
Arka plan gürültü düzeyleri iki farklı durum için ölçülmüştür: Havalandırma (HVAC) sistemleri açık ve HVAC sistemleri kapalı. Havalandırma sistemleri kapalı olduğu durumda LAeq değerleri 26,8 dBA açık durumda iken 27,6 dBA olarak ölçümlenmiştir.

Kuşkusuz bu değerler tüm frekans bantlarındaki değerlerin ortalamasını göstermektedir. Yine de bu sonuçlar konser salonları için belirlenen (ÇGDYY, 2010) sınır değerlerin altındadır ve yaklaşık NC–22 gürültü eğrisine karşılık gelir. Mehmet Çalışkan yazdığı bir raporda, ARUP mühendisleri ve kendi tarafından büyük salonda bu değer NC–18 olarak ölçüldüğünü belirtir (Çalışkan, 2011). Küçük salon için de yaklaşık bu değerlerde olduğu tahmin edilen gürültü düzeyi, ilk günkü değerleri tarafımızdan bilinmese de, bu günkü okunan değerleri ile bile yasal sınırlar dâhilinde kalmaktadır. İlk günkü değerinin küçük salon için de NC 18 olduğu düşünülür ise, NC 18 ile NC 22 arasındaki fark, küçük salondaki HVAC sistemlerinin yaklaşık beş yıllık kullanım ve yıpranma payı olarak değerlendirilmelidir.

7. AKUSTİK BENZETİM ÇALIŞMALARI VE MALZEME KALİBRASYONU

AASSM Küçük Salon akustik ölçümlerinin boş salonda yapıldığını belirtmiştik. Ölçümlerin dolu salonda yapılması durumunda nasıl sonuç vereceği bu çalışmanın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Konser için hazır bulunan dolu bir salonda akustik ölçüm yapmanın zorluğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle benzetim ortamında salonun dolu hali hazırlanmış ve etüt edilmiştir.

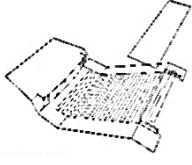
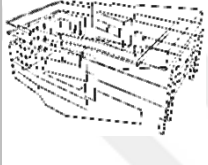

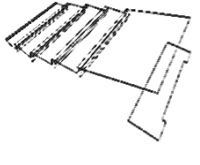
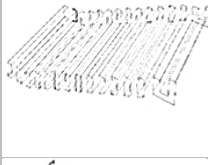

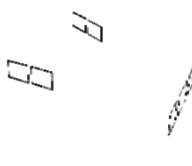
Benzetim çalışması için salonun, gerçek mekânda yeniden ölçülerek denetlenmiş mimari projesi kullanılarak üç boyutlu çizimi hazırlanmıştır.



Şekil 43 AASSM Küçük Salon Modelleme Çalışması (Trimble, 2016)

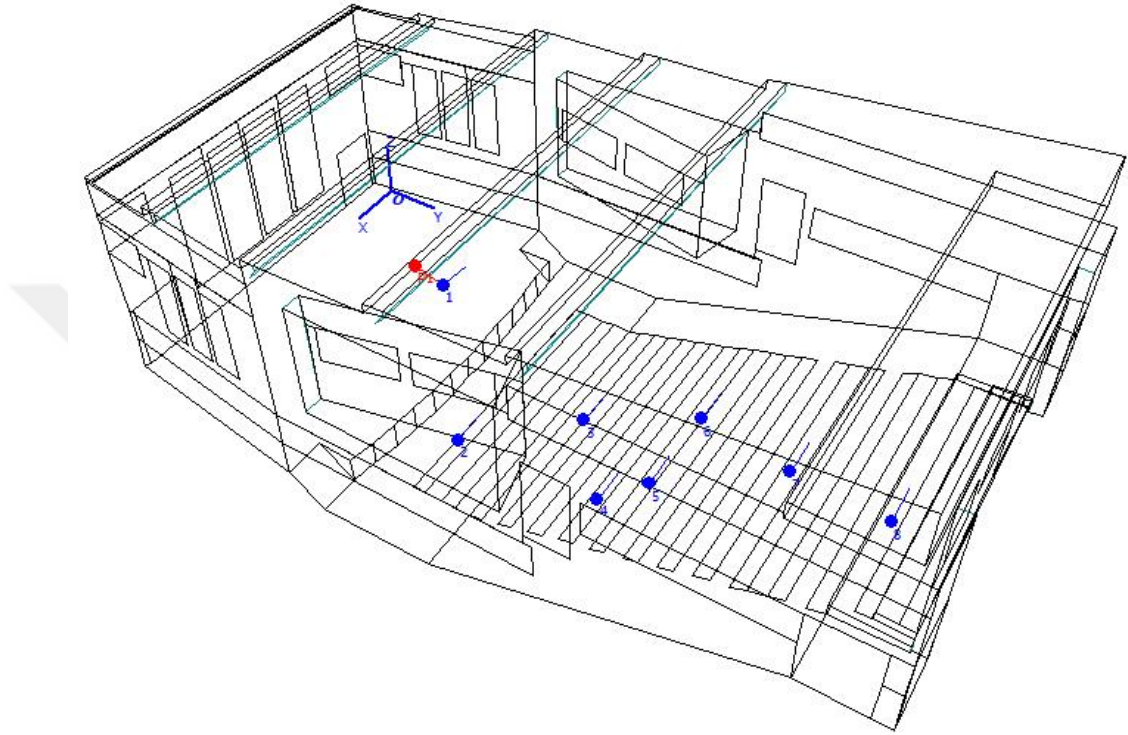
Salonun 3 boyutlu çizimi tamamlandıktan sonra, akustik benzetiminin gerçeğe en yakın biçimiyle yapılmasını sağlayabilmek adına 3D model ODEON 13 yazılımına aktarılmıştır. İç yüzey bitiş malzemeleri, saçıcı yüzeyler haricinde, ODEON kütüphanesinde tanımlanmış olan uluslararası malzemelerden seçilerek atanmıştır. Saçıcı yüzeyler ise üretici firmaların tüketici ile paylaştığı akustik verilerden alınmıştır. Yüzeyler ve atanan malzemeler aşağıda verilmiştir:

Tablo 14 Benzetim Çalışmasında Atanan Malzemelerin Atandıkları Bölgeler, Fiziksel Büyüklükleri ve Akustik Verileri

Atandığı Yüzey	Malzeme Adı	Atandığı Bölge	m ²	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Alfa
	Parquet on Counter floor	Zemin ve Sahne	234	0,2	0,2	0,15	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,10 (L)
	Thin Plywood Panelling	Duvarlar	318	0,42	0,42	0,21	0,1	0,08	0,06	0,06	0,06	0,10 (L)
	Jocavi Ivory Mid Range Acoustic Diffuser Panel	Saçıcı Yüzeyler	115	0,01	0,05	0,25	0,41	0,24	0,19	0,15	0,11	0,27
	Painted Plaster Surface	Tavan	300	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05 (W)
	Chairs, lightly upholstered concert hall chairs	Koltuklar	48	0,35	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55	0,55	0,6
	Solid Wooden Door	Kapılar	20,4	0,14	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1
	Glass, ordinary window glass	Pencere	13,5	0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04	0,1 (L)

Salon ölçümünde kullanılan kaynak - alıcı noktaları ve yükseklikleri, arka plan gürültü seviyeleri, kullanılan sinyal uzunlukları ve kaynak ses gücü ayarları gerçek ölçümde olduğu şekliyle yazılıma aktarılmıştır.

Odeon©1985-2015 Licensed to: Dokuz Eylül Üniversitesi, Turkey Restricted version - research and teaching only!



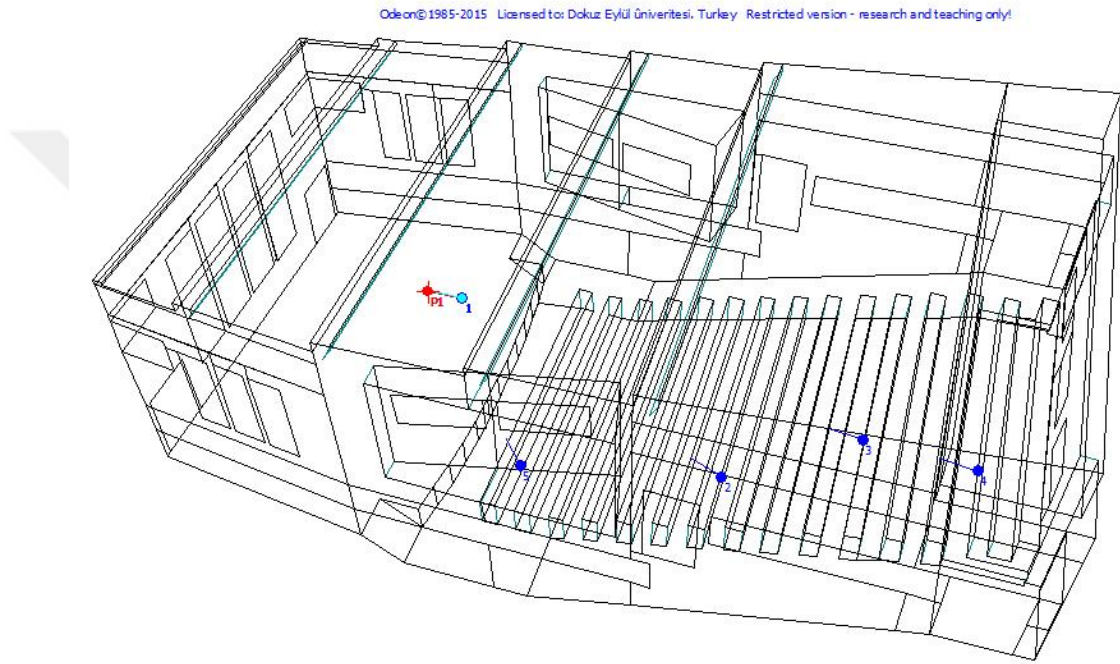
Şekil 44 Simülasyon Kaynak ve Alıcı Noktaları (Odeon 13.02 Auditorium)

Her ne kadar atanan materyaller gerçeğine en yakın olduğu düşünülenlerden seçilse de, benzetim sonuçları salonda yapılan ölçüm sonuçlarından farklı çıkmıştır. Bu durum aslında beklenen bir durumdur ve benzetim çalışması yapılmış salonun, gerçek salon ölçümlerine kalibre edilmesini zorunlu hale getirmiştir.

7.1 Malzeme kalibrasyonu

Benzetim çalışmaları, modeldeki yüzeylere atanan malzemeler ile gerçek salonda yaşayan malzemelerin özellikleri uyduğu oranda gerçekçi sonuçlar verebilmektedir. Malzemede bu koşulları sağlamak her zaman mümkün olmaz; her zaman katalog verilerine tam uyum sağlamak mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda ODEON yazılımının 13. ve üzeri güncellemeleri ile birlikte gelen “*Genetic Material Optimzer*” algoritmalarını koşturmak hızlı çözümler sağlayabilir.

Bilgisayar benzetim sonuçlarını gerçek salon sonuçlarına yakınlaştırabilmek ve bilgisayar işlemci gücünden de doğru faydalanabilmek için, model üzerinde en çok 5 alıcı noktası seçilmesi uygun görülmüştür. Bu noktalar R1, R2, R5, R7 ve R8'dir ve alıcılara uygun kalibrasyonların yapılması sahne, ön, orta ve arka salon bölümlerinin gerçek ölçümlere yakın biçimde davranabilmesi için yeterli olacaktır.



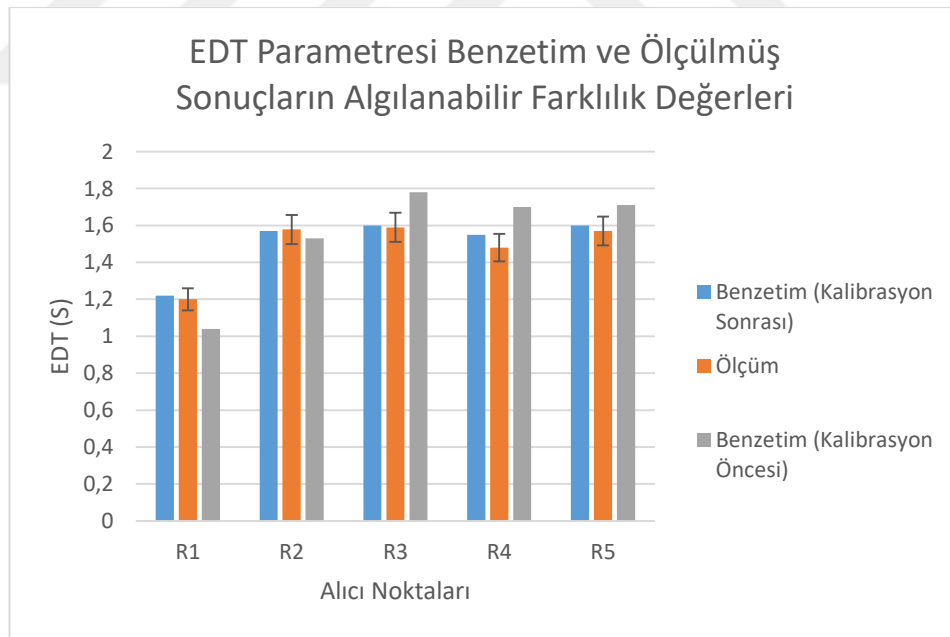
Şekil 45 Kalibrasyon işlemi için Seçilen Kritik Alıcı Noktaları (Odeon 13.02 Auditorium)

Bu alıcı noktalarına ait ölçümlenmiş değerler, sistem tarafından karşılaştırma yapılabilmesi için modelleme yazılımına tanıtılmıştır. Genetik algoritmalar sadece EDT, T30, TS, G, C80 ve STI parametreleri için çalıştırılmış, elde edilen sonuçların insan algısında asgari fark edilebilir değişim değerlerini tanımlayan (JND) algılanabilir en düşük fark sınırları içinde kalmaları koşulu ile, gerçek ölçüm sonuçlarını karşıladığından emin olunmuştur.

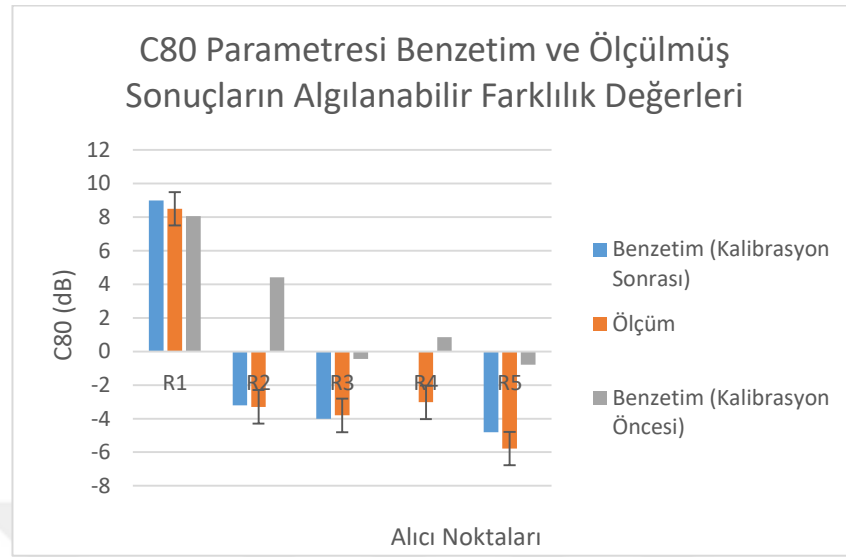
Tablo 15 Parametrelerin Algılanabilir Fark (JND) Değerleri (TSE ISO 3382-1, 2010)

Akustik Büyüklük	Tek Sayı Frekans Ortalaması	Algılanabilir Fark (JND)
G (dB)	500'den 1000'e	1 dB
EDT (s)	500'den 1000'e	Göreceli %5
C ₈₀ (dB)		1 dB
D ₅₀ (s)	500'den 1000'e	0,05 s
Ts (s)		10 ms
LF	125'den 1000'e	0,05
LFC		

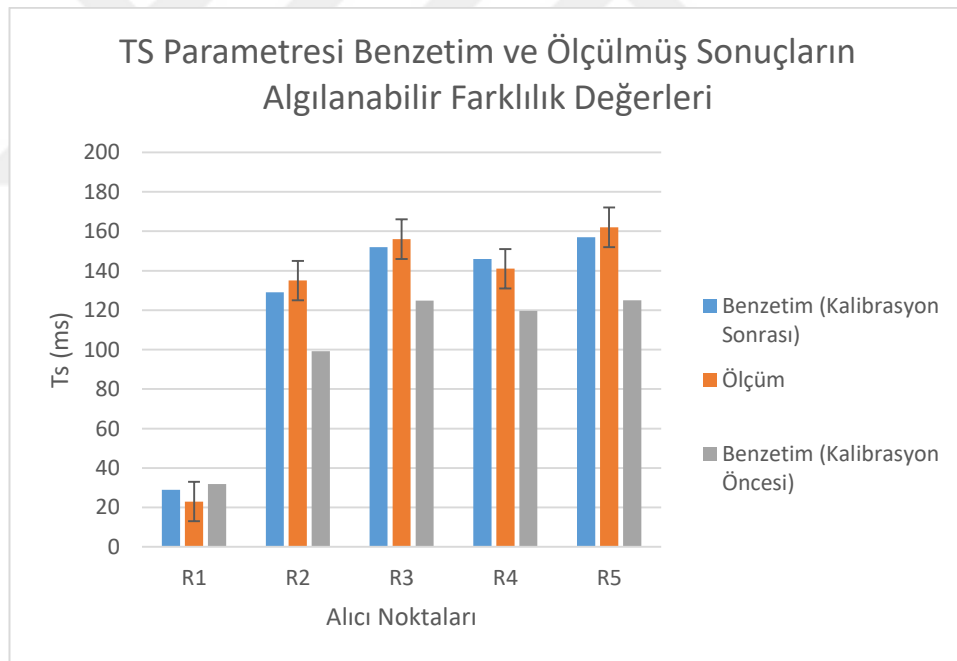
Kalibre edilmiş benzetim sonuçlarının, EDT, C80 ve Ts parametreleri için gerçek ölçümlere göre algılanabilir fark (JND: Just-noticeable Difference)" (TSE ISO, 2010) değerleri aşağıda verilmiştir:



Şekil 46 EDT Parametresi Kalibrasyon ve Ölçüm sonuçları (algılanabilir fark oranı çizgiyle belirtilmiştir)

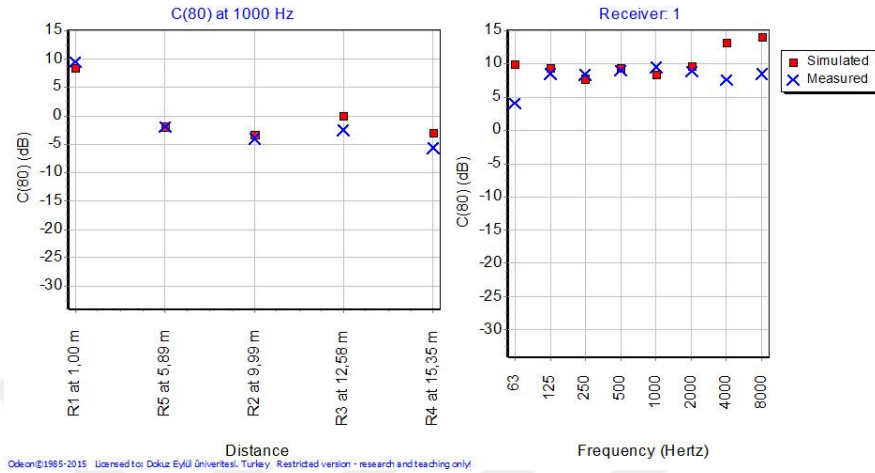


Şekil 47 C80 Parametresi Kalibrasyon ve Ölçüm sonuçları (algılanabilir fark oranı çizgiyle belirtilmiştir)

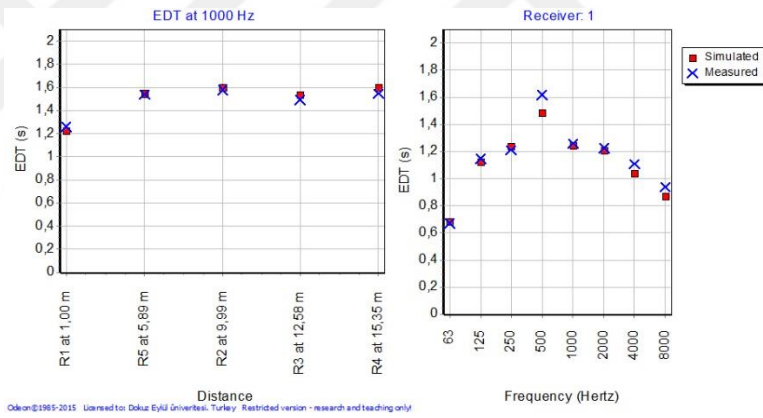


Şekil 48 TS Parametresi Kalibrasyon ve Ölçüm sonuçları (algılanabilir fark oranı çizgiyle belirtilmiştir)

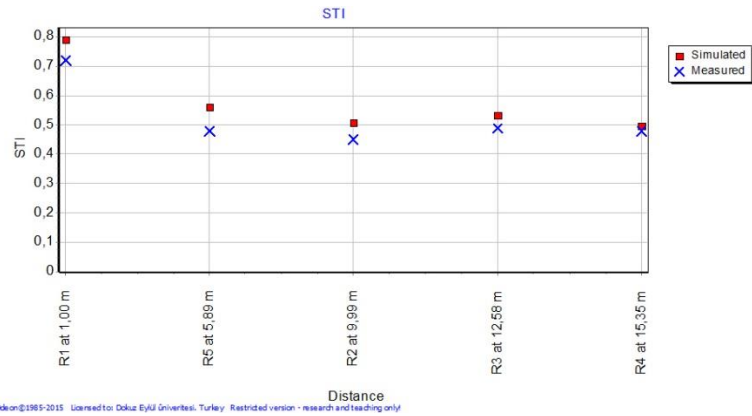
Benzetim ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırmalı görünümü şöyledir:



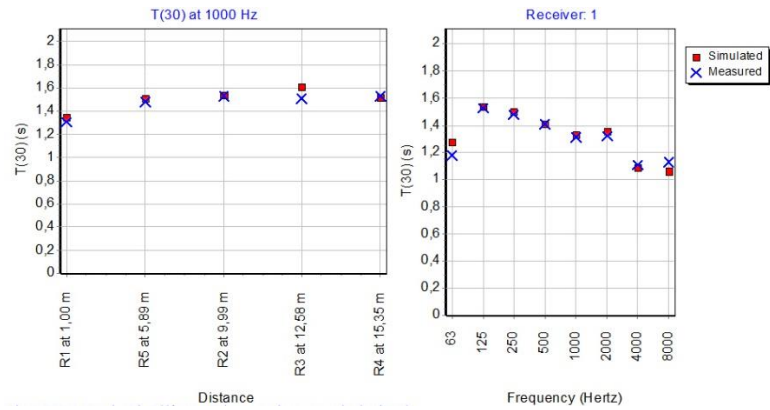
Şekil 49 C80 Parametresi Kalibrasyonu (Odeon 13.02 Auditorium)



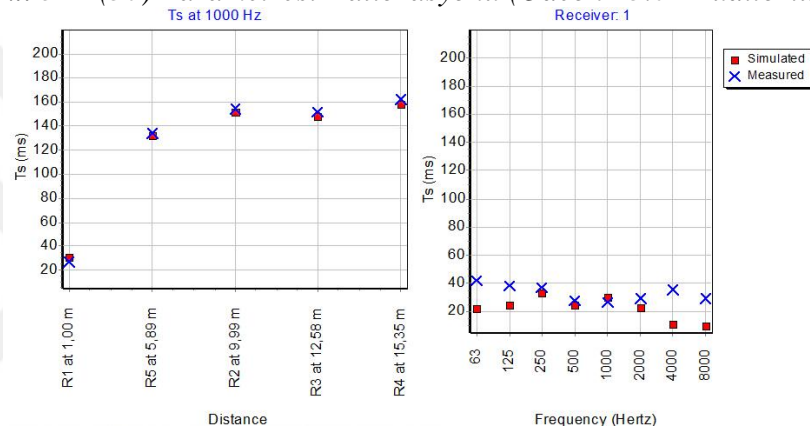
Şekil 50 EDT Parametresi Kalibrasyonu (Odeon 13.02 Auditorium)



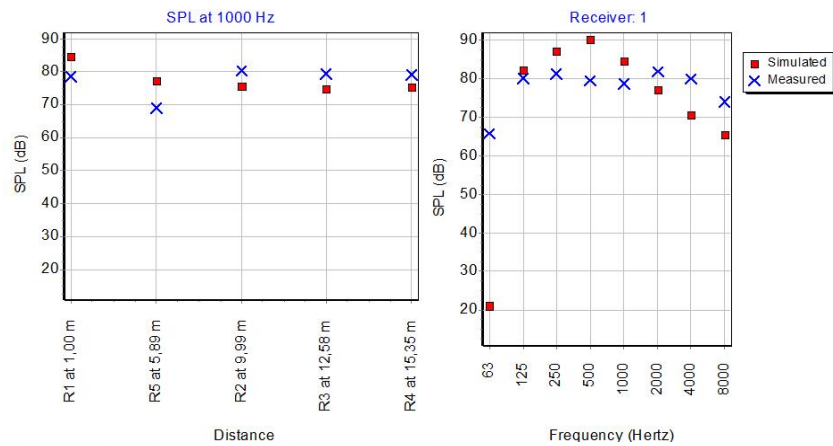
Şekil 51 STI Parametresi Kalibrasyonu (Odeon 13.02 Auditorium)



Şekil 52 $T(30)$ Parametresi Kalibrasyonu (Odeon 13.02 Auditorium)

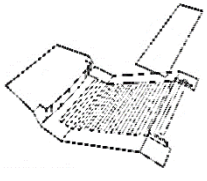

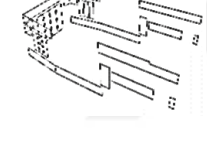
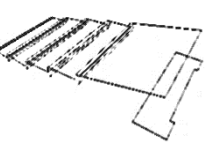
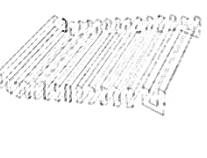




Şekil 53 T_s Parametresi Kalibrasyonu (Odeon 13.02 Auditorium)



Şekil 54 G Parametresi Kalibrasyonu (Odeon 13.02 Auditorium)

Tablo 16 Malzemelerin kalibrasyon öncesi ve sonrası (koyu punto) aldığı değerler

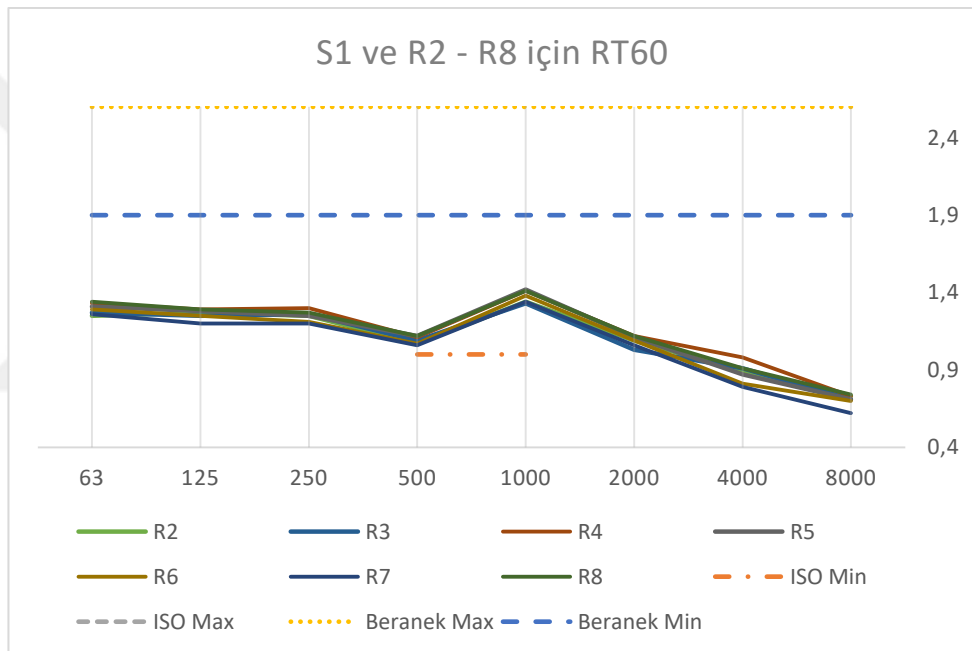
Atandığı Yüzey	Odeon Malzeme Adı	Atandığı Bölge	m ²	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Alfa
	Parquet on Counter floor	Zemin ve Sahne	234	0,20	0,20	0,15	0,10	0,10	0,05	0,10	0,10	0,10 (L) 0,05 (L)
	Thin Plywood Panelling	Duvarlar	318	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06	0,10 0,25 0,431
	Jocavi Ivory Midrange Acoustic Diffuser	Saçıcı Yüzeyler	115	0,01	0,05	0,25	0,41	0,24	0,19	0,15	0,11	0,27 0,05 (L) 0,0091
	Painted Plaster Surface	Tavan	300	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05 (W) 0,10 (H) 0,3376
	Chairs, lightly upholstered concert hall chairs	Koltuklar	48	0,35	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55	0,55	0,600 0,050 0,236
	Solid Wooden Door	Kapılar	20,4	0,140	0,140	0,100	0,060	0,080	0,100	0,100	0,100	0,100 0,040
	Glass, ordinary window glass	Pencereler	13,5	0,350	0,350	0,250	0,180	0,120	0,070	0,040	0,040	0,100 (L) 0,040

8. BENZETİM SONUÇLARI, AKUSTİK DEĞERLENDİRMELER (SEYİRCİLİ)

Malzeme kalibrasyonu sonucunda, salonun gerçeğine en yakın çalışma modeli ortaya konmuş, dolu olduğu durumda akustik verilerin nasıl olacağı tahmin edilebilir düzeylere getirilmiştir. Bu aşamadan sonra yapılan bütün testler, ISO ile belirtildiği gibi, salonun yaklaşık %80 dolu olduğu durum için gerçekleştirilmiştir.

8.1 Çınlama Süresi, RT

Salonun dolu durumunun S1 kaynak noktası için 8 alıcı noktasına göre RT₆₀ sonuçları aşağıdadır:



Şekil 55 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için RT₆₀

AASSM Küçük Salon dolu durumunun RT₆₀ parametresi analizleri ISO 3382’de tanımlanan ve Beranek’in oda müziği için tanımladığı tipik aralık değerlerine göre incelenmiştir. Tüm alıcı noktalarında RT₆₀ değerinin ISO 3382’de belirtilen tipik aralığın alt sınırında, hatta tiz frekanslarda bu sınırın altında olduğu görülmüştür.

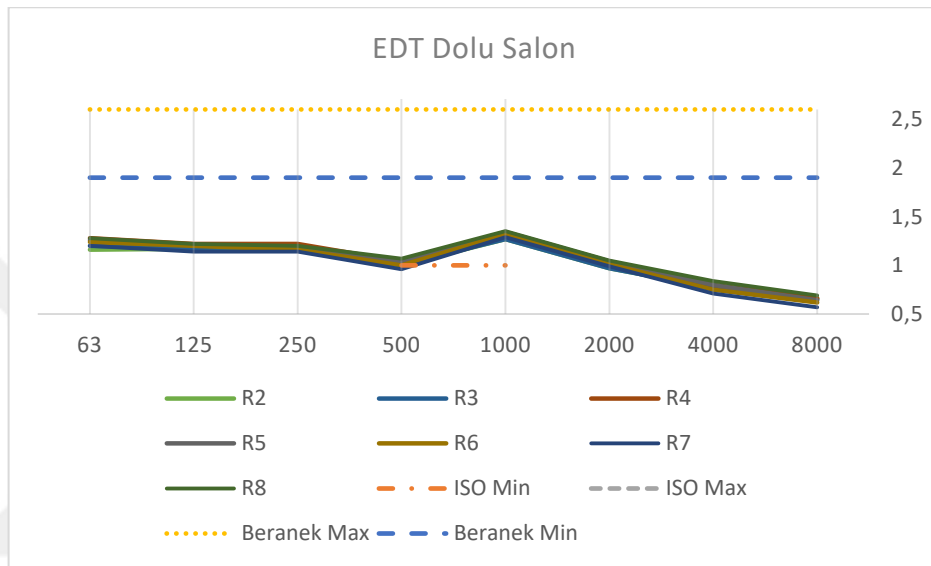
Salonların dolu durumlarında, çınlama süresi ve çınlama süresiyle bağlantılı bütün parametrelerin değerlerinde düşüş görülmesi olağandır.

Salonun boş durumu için yapılan analizlerde duyumun kuru ve cansız olabileceği belirtilmiştir. Dolu durumda RT₆₀ değerlerinde oluşan düşme, bu durumu daha kötü hale

getirecektir. Neticede, AASSM Küçük Salon'un müzik sesleri için kuru ve cansız tınlayacağı anlaşılmaktadır.

8.2 Erken Azalım Süresi, EDT

Salonun dolu durumunun S1 kaynak noktası için 8 alıcı noktasına göre EDT sonuçları aşağıdadır:



Şekil 56 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için EDT

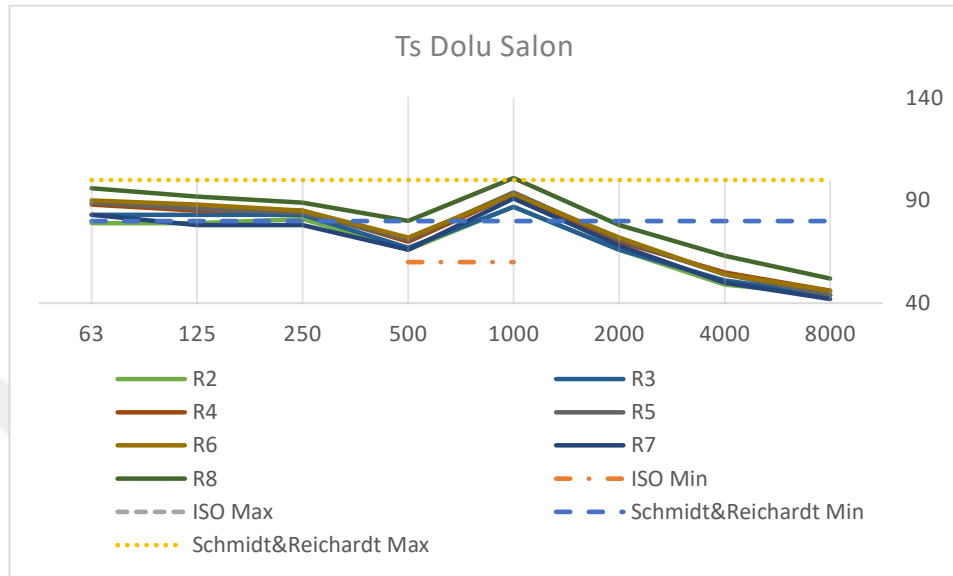
AASSM Küçük Salon dolu durumunun EDT parametresi analizleri ISO 3382'de tanımlanan ve Beranek'in oda müziği için tanımladığı tipik aralık değerlerine göre incelenmiştir. Tüm alıcı noktalarında EDT değerinin ISO 3382'de belirtilen tipik aralığın alt sınırında, hatta tiz frekanslarda bu sınırın altında olduğu görülmüştür.

Salonların dolu durumlarında, çınlama süresi ve çınlama süresiyle bağlantılı bütün parametrelerin değerlerinde düşüş görülmesi beklenen bir durumdur. Bu durum AASSM Küçük Salon için de geçerlidir.

Salonun boş durumu için yapılan analizlerde duyumun kuru ve cansız olabileceği belirtilmiştir. Dolu durumda EDT değerlerinde oluşan düşme, bu durumu daha kötü hale getirecektir. Neticede, AASSM Küçük Salon'un müzik sesleri için kuru ve cansız tınlayacağını söylemek yanlış olmayacaktır.

8.3 Merkezi Zaman, Ts

Salonun dolu durumunun S1 kaynak noktası için 8 alıcı noktasına göre Ts sonuçları aşağıdadır:



Şekil 57 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için Ts

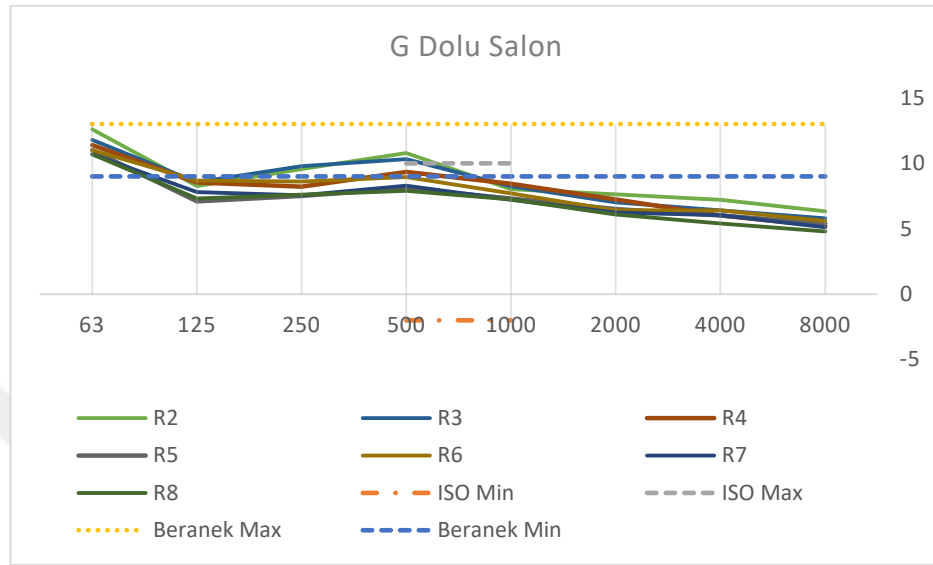
Merkezi zaman analizleri, ISO 3382-1’de tanımlanan ve Schmidt&Reichardt’ın oda müziği için belirlediği tipik aralık değerlerine göre incelenmiştir.

Salonun boş durumu için yapılan analizlerde Ts değerlerinin yalnızca ISO 3382’de belirtilen tipik aralık değerlerine uygun olduğu gözlemlenmişti; dolu durumundaki değerlerin, yalnızca ISO 3382 tipik aralık değerlerinde olmadığı, frekans bantları tek tek incelendiğinde özellikle 125, 250, 1000 ve 2000 Hz oktav bantlarında oda müziği değerlerine uyumluluğu da dikkat çekmiştir.

Salonun dolu durumu için erken ve geç yansımaların daha tutarlı hale geldiği ve bu tutarlılığın müzik sesleri için daha uygun olduğu söylenebilir.

8.4 Ses Gücü Düzeyi, G

Salonun dolu durumunun S1 kaynak noktası için 8 alıcı noktasına göre G sonuçları aşağıdadır:



Şekil 58 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için G

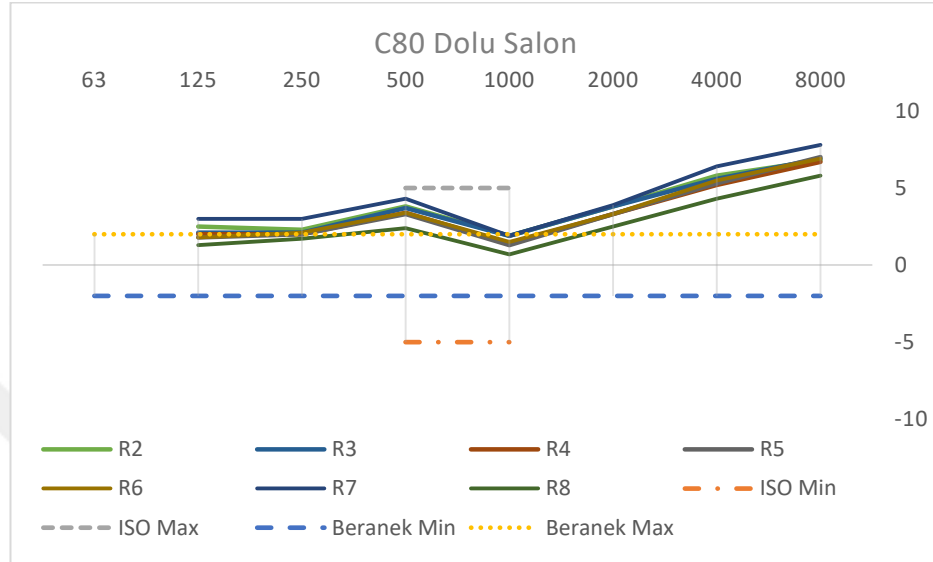
AASSM Küçük Salon G parametresi analizleri ISO 3382’de verilen ve Beranek’in oda müziği için tanımladığı tipik aralık değerlerine göre incelenmiştir.

Salonun boş durumunda tipik aralık değerlerinin üzerinde olan G parametresi izleyicilerin varlığıyla bu aralık değerlerine uygun hale gelmiş, arka yüzey yansımalarının olumsuz etkisinden de arınmıştır. Böylece salon boşken arka yüzeyde oluşan enerji artışı, salon doluyken görülmemektedir.

Salonun dolu durumu için G parametresi ISO 3382 değerlerine uygun görünse de, oda müziği için öngörülen değerlere hala uygun değildir.

8.5 Netlik, C80

Salonun dolu durumunun S1 kaynak noktası için 8 alıcı noktasına göre C80 sonuçları aşağıdadır:



Şekil 59 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için C80

C80 parametresi ISO 3382’de belirtilen ve Beranek’in oda müziği için tanımladığı tipik aralık değerlerine göre incelenmiştir.

Salonun boş durumu için yapılan analizlerde, ön koltuklarda C80 parametresinin oda müziği şartlarına uygunluğu, salonun orta ve arka koltukları için bu parametrenin oda müziğine uyumlu olmasa da ISO 3382’de belirtilen tipik aralık değerleri arasında olduğu gözlemlenmiştir.

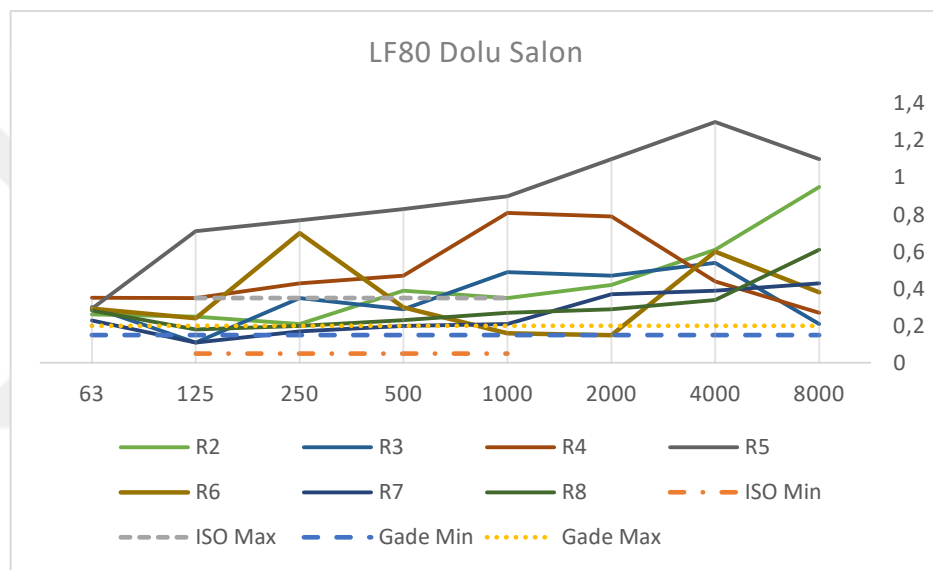
Dolu salon analizleri genel anlamda ses netliğinde artış olduğu; hatta belirli frekans bantlarında, bu seslerin oda müziği tipik aralık değerlerine uygunluğunun arttığını göstermiştir.

8.6 Erken Yanal Enerji Fraksiyonu, LF

LF analizleri, ISO 3382'de belirtilen ve Gade'nin oda müziği için tanımladığı tipik aralık değerlerine göre incelenmiştir.

Boş salon analizlerinde, ön koltuklarda simültane odalarından kaynaklanan yanal enerji yoğunluğu ve saçıcı yüzeylerden kaynaklanan tiz frekanslarda yükselme tespit edilmişti.

S1 kaynak noktası için 8 alıcı noktaya göre LF80 sonuçları aşağıdadır:

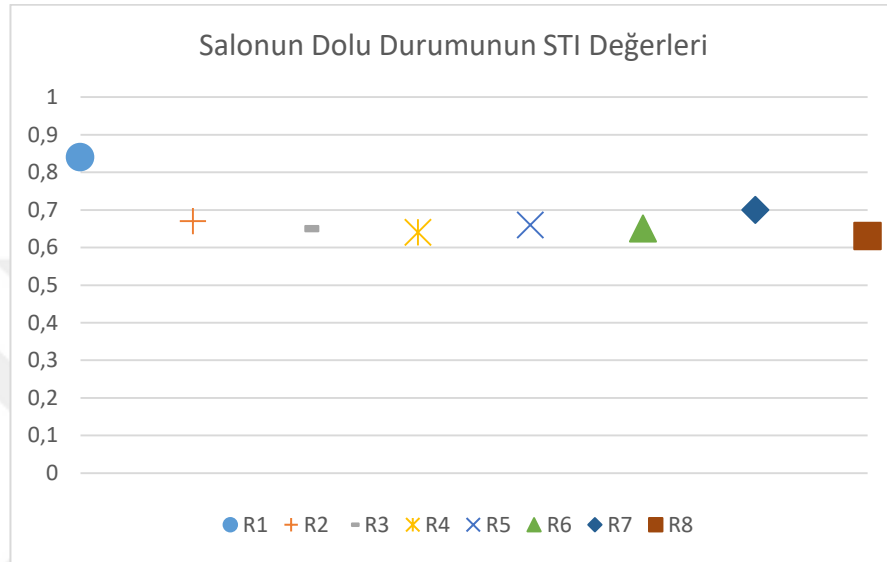


Şekil 60 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için LF80

Dolu salon için de aynı durum kısmen devam etmektedir. Fakat izleyicilerden kaynaklanan ses emilimi sonucu bu yansımaların enerjilerinde bir düşüş dikkat çekmektedir. Yanal düzlem yansımaları hala istenen düzeyde olmasa da, salonun boş durumuna göre istenen sonuçlara daha çok yaklaştığı dikkat çekmektedir.

8.7 Konuşmanın İletim Endeksi, STI

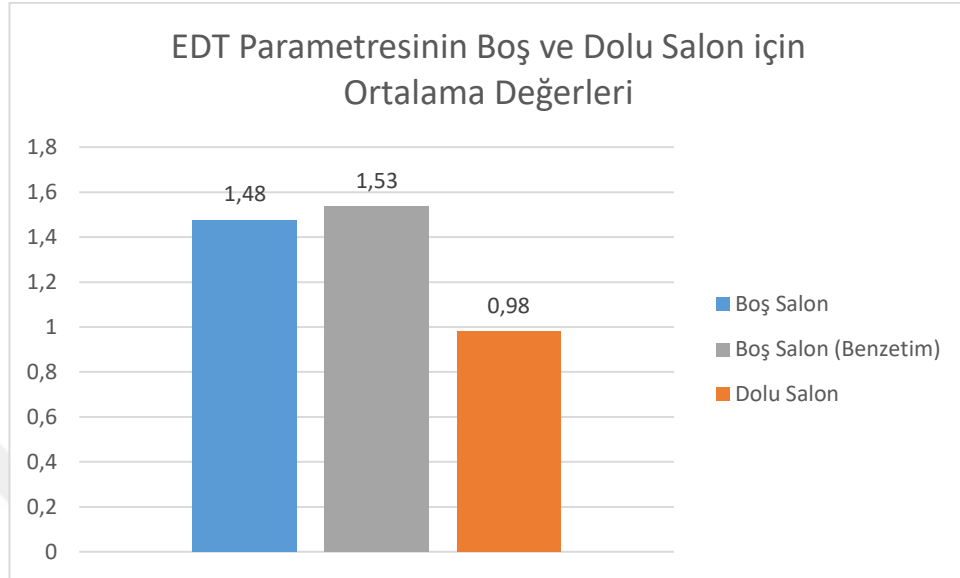
STI değerlerini daha doğru yorumlayabilmek adına, yazılım üzerinden ilgili pencereye NC-20 arka plan gürültüsü tanımlanmıştır. S1 kaynak noktası için 8 alıcı noktasına göre STI sonuçları aşağıdadır:



Şekil 61 Salon Dolu Durumu ve R2 - R8 Alıcı Noktası için STI

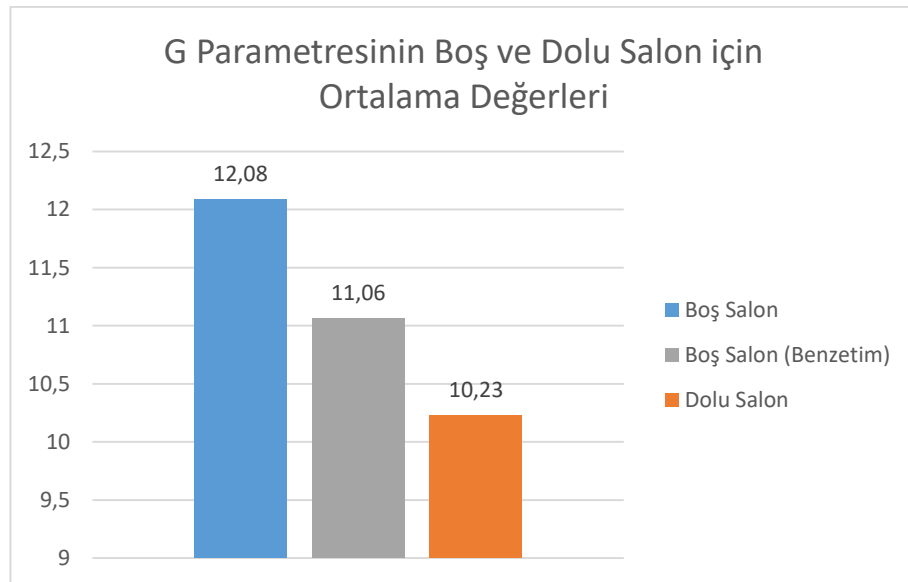
Salonun %80 doluluk oranında tahmin edildiği gibi STI değerleri artmış ve genel olarak 0,65 sonuçlarına gelmiştir. Salon için belirlediğimiz 0,60'lık değerlerin üzerinde olan bu sonuçlar, salon içerisinde konuşma anlaşılabilirliğinin yeterli seviyede olduğunu göstermektedir.

9. SEYİRCİSİZ VE SEYİRCİLİ SALON İÇİN KARŞILAŞTIRMALAR



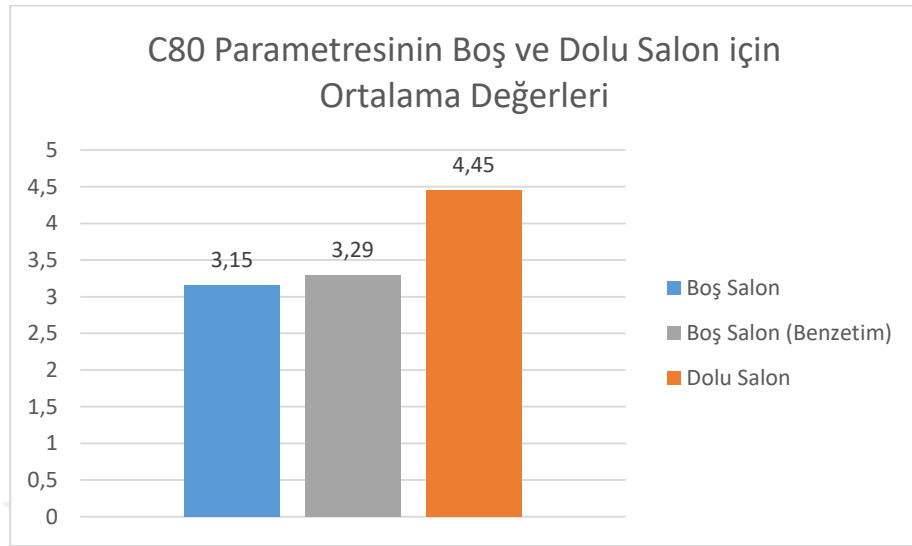
Şekil 62 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama EDT Değerleri

Boş salonda düşük olan EDT değerleri, dolu halinde daha da düşmüştür. Bu durum müzikal sesler için olumsuz bir değişimdir.



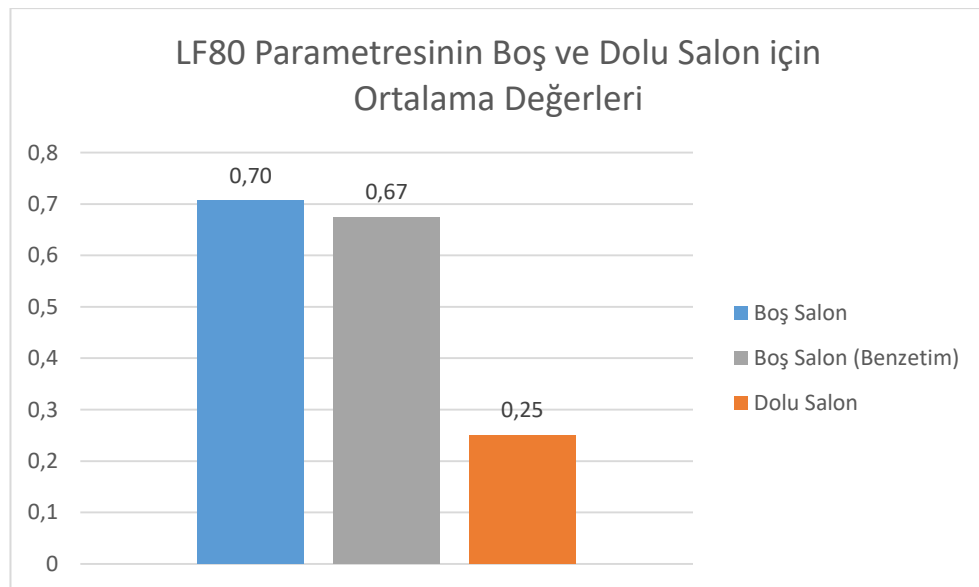
Şekil 63 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama G Değerleri

G değerlerinin boş salonda aldığı yüksek sonuçlar, dolu haliyle biraz daha düşmüş, algılanan ses gücü büyüklükleri biraz daha dengelenmiştir.



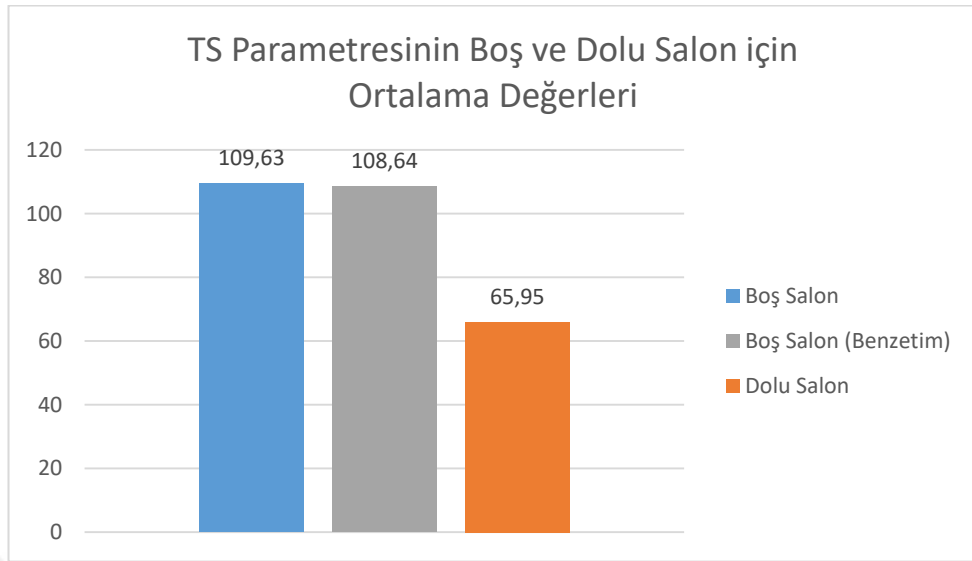
Şekil 64 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama C80 Değerleri

Netlik değerlerinin salonun dolu durumunda artması beklenir, nitekim beklenen bu sonuç Küçük Salon için de geçerlidir.



Şekil 65 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama LF80 Değerleri

Yanal enerji fraksiyonu, salonun dolu durumunda artan yutuculuk seviyeleri nedeniyle azalmıştır.



Şekil 66 Salon Boş ve Dolu Durumu için Ortalama Ts Değerleri

Artan yutuculuk değerleri erken ve geç enerjilerin etkisini azaltmış. Ts değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Özetle:

- Salonun boş durumunda oluşan yanal enerji yoğunluğu izleyicilerin varlığıyla azalmıştır.
- Yan düzlem yansımaları salonun iki durumu için de yetersizdir. Salonun dolu durumunda istenmeyen ses davranışlarının oranı daha düşüktür.
- Yüksek G değerlerinin oluşturduğu olumsuz etkiler, salonun dolu halinde azalmıştır.
- Dolu salonda oluşan ses, boş salona göre daha net ve anlaşılır durumdadır.
- İstenen ses dolgunluğu, salonun iki durumu için de sağlanamamıştır. Ses, müzik sesleri için kuru ve cansızdır.

10. SONUÇ

Bu çalışmada *Ahmed Adnan Saygun Sanat Merkezi* bünyesinde kullanılan Küçük Salon'un, hacim akustiği temel parametreleri kapsamında durumu incelendi, evrensel teknikler kullanılarak akustik analizleri yapıldı, bu alandaki genç araştırmacıların benzer çalışmalarını, uluslar arası standartlar çerçevesinde ve nasıl bir yöntem kullanarak yapabileceklerine örnek oluşturabilmeleri adına küçük bir izlenim sunuldu.

Resital ve oda müziği etkinliklerinde önemli bir eksiği kapatan AASSM Küçük Salon'un tarihçesi, mimari planları, kesitleri ve rölöve çalışmaları değerlendirildi ve salonun aslında çok amaçlı konsept ile tasarlandığı sonucuna varıldı. Seyircisiz salonda çalışıldı, akustik uyarı cevapları kayıt altına alındı, ODEON yazılımı ile 3D benzetim çalışmaları tamamlandı, dolu salon için benzetim sonuçları hesaplanıp analiz edildi.

Değerlendirmeler sonucunda dolu/seyircili salonda enerji yoğunluklarının neden olduğu olumsuz etkilerin kısmen olumlu yönde değişikliğe uğradığı, dolu salonun boş salona göre biraz daha net anlaşılır bir karaktere büründüğü ancak müzikal artikülasyonlarda kuru ve cansız denilebilecek tablolara da neden olabilecek değerlere ulaştığı kanaatine varıldı.

Bu vargılar Küçük Salon'un gerçekten de "küçük" kategoride değerlendirilmesi ve büyük orkestralı, aktif ses sistemli etkinliklerden olabildiğince kaçınılması gerektiği, temposu yavaş müzik türleri, küçük caz dinletileri, çalgı eşlikli vokal dinletilerinde daha tatminkâr davranacağı; toplantı, sunum, panel gibi konuşma ağırlıklı toplantılarda uygun olabileceği yönündeki edimsel görüşlerimizi destekledi.

Salon'un % 47 oranında resital, % 21 kadar iki-üç kişilik dinletiler ya da pop-caz ağırlıklı etkinliklerde kullanıldığını ve aktif elektronik ses sistemlerinin devreye alındığını biliyoruz. Bu salonda klasik ya da caz müzikte akustik açıdan iyi sonuçlar almak, sahnede olup bitenlerin daha net anlaşılabilmesini sağlamak için yerleşik aktif ses sisteminin, *salonun akustik güç ve zaman parametreleri üzerinde en az zararı oluşturacak ton ve volume kontrolleri yapılmak şartıyla* pop, caz gibi etkinliklerde düşük ses güçlerinde, klasik müzik dinletilerinde ise çok daha düşük güçlerde ve sadece bölgesel destek niteliğinde kullanılması, bunun dışında ses sistemine hiçbir etkinlikte yüksek

sinyal uygulanmaması, tabiri caizse buraya “pop-arena” muamelesi yapılmaması gerektiği sonucuna varıldı.

Küçük hacimli mekânlarda koltukların yutuculuk değerlerinin daha da önemli olduğu, “konferans salonu koltuğu” adı ile satışa sunulan her ürünün, her projede kullanılmasının doğru olmayacağı, bir hacimde yutuculuğun akustik için her şey olmadığı, koltukların yüksek yutuculuk özelliklerinin yarattığı olumsuzlukların aşılmasında yan duvarlara uygulanan saçıcı elemanların her zaman efektif çözümler üretemediği bir kez daha anlaşıldı.

Konuşma ağırlıklı etkinliklerde akustiğin zaman ve genlik domenindeki parametrelerinde büyük sorunların oluşmadığı, müzikte ise bu salonun olumsuz etkilere karşı daha korumasız olduğu görüldü.

Bu başlıklar bizleri, özellikle son yıllarda popülerliği artan “konsept mekân” kavramının önemi ve gelecekte bu yöntemler ile bir şeyler yapılması gerektiği konusunda bir kez daha düşünmeye sevk etti; her mekânın özel bir amaca hizmet etmesi, akustik tasarım ve belki de mimari tasarım noktasında planlanmış işlemlere göre çalışılması, bu yolla başarılı sonuçların elde edilmesi gibi başlıklarda bizleri bir kez daha uyardı. Bu noktada son olarak, bir ustanın yorumunu anımsatmak isteriz:

“...Hem konuşma hem de müzik için kullanılan hacimlerde iyi akustik şartları sağlamak neredeyse imkânsızdır. Bu durumu, iki farklı spor dalı için kullanılan tek bir stadyum gibi düşünün...” Michael ERMANN.

KAYNAKÇA

Kitaplar ve Makaleler

- Barron, Michael (2010). *Auditorium Acoustics And Architectural Design*, New York: Spon Press.
- Beranek, Leo L. (2003). "Subjective Rank-Orderings and Acoustical Measurements for Fifty-Eight Concert Halls". *Acta Acustica United with Acustica* 89: 494–508.
- Beranek, Leo L. (2004). *Concert Halls and Opera Houses*, New York: Springer.
- Beranek, Leo L. (2006). *Noise and Vibration Control Engineering*, New York: Wiley.
- Durmaz, Serhat (2016). "İzmir'deki Konser Salonlarının Akustik Performansları". *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Sayı 44: 1429–1439
- Ermann, Michael (2015). *Architectural Acoustics Illustrated*, New Jersey: Wiley
- Everest, F. Alton (2001). *Master Handbook of Acoustics (Fourth Edition)*. New York: McGraw-Hill.
- Eyring, Carl F. (1930). "Reverberation Time in Dead Rooms". *JASA: 1 (2a)*, 168
- Fasold, Wolfgang. & Veres, Eva. (1998). *Schallschutz und Raumakustik in der Baupraxis*. Berlin: Verlag für Bauwesen.
- Gade, Anders (2007). "Acoustics in Halls for Speech and Music". *Springer Handbook of Acoustics*, ed. Rossing D. Thomas, New York: Springer, s: (301 – 350).
- Houtgast, T. & Steeneken, H. (1985). "A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria". *JASA: 77 (3)* 1069–1077
- Jordan, W. L. (1970). "Acoustical Criteria for Auditoriums and Their Relation to Model Techniques". *JASA: 47 (2a)*, 408–412.
- Kuttruff, Heinrich (2009). *Room Acoustics (Fifth Edition)*. New York: Spon Press.

Kürer, R. (1971). "Einfaches Messverfahren Zur Bestimmung Der "Schwerpunktzeit" Raumakustischer Impulsantworten". *Seventh International Congress on Acoustics*: Budapest.

Lacatis, R., Giménez, A., Sevillano, A. B., Cerdá, S., Romero, J., & Cibrián, R. (2008). "Historical and Chronological Evolution of the Concert Hall Acoustics Parameters". *JASA*: 2151–2156.

Long, Marshall (2006). *Architectural Acoustics*. New York: Elsevier Academics.

Neubauer, R. (2000). "Prediction of Reverberation Time in Rectangular Rooms with Non Uniformly Distributed Absorption Using New Formula". *Techni Acustica*, Madrid.

Özgüven, H. Nevzat (2008). *Gürültü Kontrolü Endüstriyel ve Çevresel Gürültü*. İstanbul: Türk Akustik Derneği.

Öztan, Erdinç & Durmaz, Serhat (2015). "Mimari Akustik, Flutter Eko ve Müzisyen Algısı". *11. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi*, İstanbul: Türk Akustik Derneği.

Reichardt, Walter & Abdel Alim, O., Schmidh, Wolfgang (1974). "Abhängigkeit der grenzen zwischen brauchbarer und unbrauchbarer durchsichtigkeit von der art des musikmotives, der nachhallzeit und der nachhalleinsatzzeit". *Applied Acoustics* 7 (4): 243–264.

Reichardt, Walter & Lehmann, U. (1981). "Optimierung von raumeindruck und durchsichtigkeit von musik-darbietungen durch auswertung von impulschalltests". *Acta Acustica united with Acustica* 48 (3): 174–185.

Schmidt, Wolfgang, & Reichardt, Walter. (1984). "*Raumakustische Kriterien für Sprache und Musik*". *Taschenbuch Akustik*, s: (1188 – 2000).

Thiele, Rolf. (1953). "Richtungsverteilung und zeitfolge der schallrückwürfe in räumen". *Acta Acustica*, 3 Supl. 2, s. 293–302

Tezler

Abdel Alim, O. (1973). *Abhängigkeit der Zeit-und Registerdurchsichtigkeit von raumakustischen Parametern bei Musikdarbietungen*, Doktora Tezi, Dresden: Dresden Technische Universität.

Aknesil, Ayşe Erdem (1997). *Salonların Hacim Akustiği Yönünden Değerlendirilmesinde Akustik Koşul Dağılımlarının Öneminin Ortaya Konması ve İrdelenmesine Yönelik Bir Yaklaşım*, Doktora Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Standartlar ve Yönergeler

IEC (1996). “61620; *Electroacoustics - Octave-Band and Fractional-Octave-Band Filters*”. International Electrotechnical Commission.

IEC (2003). “60268-16; *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*”. International Electrotechnical Commission.

TS EN ISO (2009). “3382-2; *Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 2: Sıradan odalarda çinlama süresi*”. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS ISO (2009). “1996-2; *Akustik - Çevre gürültüsünün tarifi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi - Bölüm 2: Çevre gürültü seviyelerinin tayini*”. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

ÇGDYY (2010). “*Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*”. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

TSE ISO (2010). “3382-1; *Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 1: Gösteri mekanları*”. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

İnternet Kaynakları

AASSM: Ahmet Adnan Saygun Sanat Merkezi Resmi Sitesi. <http://www.aassm.org.tr/> (Erişim Tarihi: 08.09.2016)

AKG B414 ULS Cut Sheet. http://cloud.akg.com/9406/c414b_uls_cutsheet.pdf (Erişim Tarihi: 08.09.2016)

ARUP, Official Arup Web Site. <http://www.arup.com> (Erişim Tarihi: 08.09.2016)

B&K; “B&K Product Data”. <http://www.bksv.com/doc/bp1974.pdf> (Erişim Tarihi: 08.09.2016)

Çalışkan, Mehmet (2011) “Ahmet Adnan Saygun Sanat Merkezi’nin Akustik Özellikleri”<http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=373&RecID=2654> (Erişim Tarihi: 08.09.2016)

MLSAA; “MLSAA Official Web Site” <http://www.mlssa.com/> (Erişim Tarihi: 08.09.2016)

Yazılımlar ve Kullanım Kılavuzları

B&K, 2014: Bruel & Kjaer Dirac Room Acoustics Software Manual

DIRAC: Bruel & Kjaer Dirac Room Acoustics Software (ver. 6.0)

MATLAB: Matlab, MathWorks^(R) (ver. 2015b)

ODEON: Odeon Room Acoustics Software Auditorium (ver.13)

TRIMBLE: Sketch Up (ver. 2016)