

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİNİN
MİMARİDE AKUSTİK AMAÇLI
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Esra ERKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL

Şubat, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİNİN MİMARİDE
AKUSTİK AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Esra ERKAN tarafından hazırlanan tez çalışması 04/02/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Neşe AKDAĞ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tarık Serhat BOZKURT, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Sürdürülebilir Yapı Malzemelerinin Mimaride Akustik Amaçlı Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Esra ERKAN





Aileme,

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, değerli tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL başta olmak üzere, ‘mimar’ olabilme umuduyla attığım her adımda bana yeni bir şeyler öğreten ve bu öğrenme serüveninin sonu gelmeyen bir yol olduğunu her seferinde gösteren, lisans ve yüksek lisans eğitim dönemlerinde ders alma fırsatı bulduğum; ben olma sürecime katkıda bulunan tüm değerli hocalarıma çok teşekkür ederim.

Her başım sıkıştığında fikirleri ve destekleriyle yolumu aydınlatan, maddi ve manevi desteklerini üzerimden eksik etmeyen, sabırla ve büyük bir inançla yanımda olan, bugünümün mimarları canım babama, biricik anneme, kardeşlerim Ezgi, Hira ve Emir’e yürekten teşekkür ederim.

Tez dönemi boyunca fikirleriyle çalışmaya katkıda bulunan meslektaşlarıma ve çalışma hayatı içerisinde yeterli anlayışı ve toleransı gösteren mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Esra ERKAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1 GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	6
1.2 Çalışmanın Kapsamı	8
1.3 Çalışmanın Hipotezi.....	11
1.4 Çalışmanın Yöntemi	12
1.5 Literatür Özeti	14
2 SALON MİMARİSİNDE AKUSTİK KONFOR PARAMETRELERİ	26
2.1 Akustik Konforu Etkileyen Mimari Tasarım Parametreleri	27
2.1.1 Hacim Büyüklüğü.....	27
2.1.2 Hacim Biçimi.....	29
2.1.3 Dinleyici Alanı Tasarımı	35
2.1.4 Sahne Tasarımı	41
2.1.5 Tavan Tasarımı	42
2.1.6 Arka ve Yan Duvarların Tasarımı	46
2.2 Hacim Akustiği Parametreleri.....	47
2.2.1 Nesnel Hacim Akustiği Parametreleri	49
2.2.2 Öznel Hacim Akustiği Parametreleri.....	63
2.2.3 Parametrelerin Kabul Edilebilir Sınır Değerlerinin Saptanması	67
2.3 Konuşmanın Anlaşılabilirliğini Etkileyen Parametreler	71
3 KONFERANS SALONLARINDA AKUSTİK TASARIM: ATATÜRK KÜLTÜR MERKEZİ ÖRNEĞİ, TEKİRDAĞ	74
3.1 Akustik Konfor Parametrelerinin Değerlendirilmesi.....	76
3.1.1 Mimari Tasarım Parametrelerinin Değerlendirilmesi.....	77
3.1.2 Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi	84

3.1.3 Akustik Kusurların Oluşumunun Değerlendirilmesi	88
3.2 Hacim Akustiği Parametrelerinin İyileştirilmesine Dair Öneriler ve Değerlendirmeler	93
3.2.1 Mimari Tasarım Parametrelerine Dair Öneriler	93
3.2.2 Öneriler Sonrası Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi	96
3.2.3 Öneriler Sonrası Akustik Kusurların Oluşumunun Değerlendirilmesi	98
3.3 Salonda Hacim Akustiği Parametrelerinin Simülasyon Aracılığıyla Değerlendirilmesi.....	100
3.3.1 Salonun Mevcut Tasarımında Hacim Akustiği Parametreleri.....	101
3.3.2 Önerilen Mimari Tasarımda Hacim Akustiği Parametreleri	109
3.3.3 Hacim Akustiği Parametrelerinin Mevcut ve Önerilen Tasarım Koşulları Açısından Değerlendirilmesi	113
4 SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜZEY GEREÇLERİYLE AKUSTİK TASARIM: ATATÜRK KÜLTÜR MERKEZİ ÖRNEĞİ, TEKİRDAĞ	118
4.1 Yüzey Gereci Seçimini Etkileyen Parametreler.....	118
4.2 Salonda Sürdürülebilir Yüzey Gereçleri Kullanımıyla Uygun Akustik Ortamın Sağlanması.....	120
4.2.1 Tasarım Denemeleri	121
5 SONUÇ	162
5.1 Bulguların Değerlendirilmesi.....	167
5.2 Sonuç.....	178
KAYNAKÇA	183
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	190

SİMGELİSTESİ

dB	Desibel (Ses Basınç Düzeyi Birimi)
dBA	Desibel A (A Ağırlıklı Ses Basınç Düzeyi Birimi)
N _{max}	En Fazla Kişi Sayısı
V	Hacim
A	Hacmin Toplam Yutuculuğu
Hz	Hertz
N	Kişi Sayısı
S	Malzeme Yüzey Alanı
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
ms	Milisaniye
sn	Saniye
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
α	Ses Yutma Katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AI	Articulation Index – Telaffuz İndeksi
AKM	Atatürk Kültür Merkezi
ASW	Apparent Source Width – Algılanan Kaynak Genişliği
BGKKHY	Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik
C ₅₀	Clarity for Speech – Konuşma için Netlik
C ₈₀	Clarity for Music – Müzik için Netlik
D ₁	Tasarım Denemesi 1
D ₂	Tasarım Denemesi 2
D ₃	Tasarım Denemesi 3
D ₅₀	Açıklık - Definition
DIN	Deutsches Institut für Normung – Alman Standartları Enstitüsü
EDT	Early Decay Time – Erken Düşme Süresi
G	Strength – Güç
IACC	Interaural Cross Correlation – Kulaklararası Çapraz Kolerasyon Çarpanı
IACC _{E3}	500 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz frekanslara ait 80 ms'deki erken seslerin Kulaklararası Çapraz Kolerasyon Çarpanı
ISO	International Organization for Standardization
ITDG	Initial Time Delay Gap – İlk Ulaşım Gecikmesi
L _d	Direct Sound Level – Dolaysız Ses Düzeyi
L _p	Total Sound Level – Toplam Ses Düzeyi
L _y	Reflected Sound Level – Yansımış Ses Düzeyi
LECA	Light Expanded Clay Aggregate – Hafif Genleştirilmiş Kil Agregası
LEV	Listener Envelopment – Dinleyicinin Kuşatılması
LF	Early Lateral Energy Fraction – Erken Yanal Enerji Oranı
Mev.	Mevcut tasarım
NC	Noice Criteria – Arka Plan Gürültüsü
Opt.	Önerilen Sınır Değeri / Optimum
RT	Reverberation Time – Yansıma Süresi

S/N	Signal Noise Ratio – Sinyal Gürültü Oranı
SPL	Sound Pressure Level – Ses Basınç Düzeyi
ST _{early}	Early Reflection Time – Erken Yansıma Süresi
STI	Speech Transmission Index – Konuşma İletim İndeksi
ST _{late}	Late Reflection Time – Geç Yansıma Süresi
T ₂₀	Ses Düzeyinin 20 dB’lik düşüşü için geçen süre
T ₃₀	Ses Düzeyinin 30 dB’lik düşüşü için geçen süre
T _s	Center Time – Merkez Zamanı
X10	Dinleyici alanının %10’u
X50	Dinleyici alanının %50’si
X90	Dinleyici alanının %90’ı



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Çalışma süreci akış şeması 10
Şekil 1.2	Kerpiç malzemenin belirli kalınlıktaki numunesi için frekanslara bağlı olarak değişen ses emme katsayısı değerleri [3] 14
Şekil 1.3	Malzemenin ses yutma performansının değerlendirmeye alındığı çalışmalarda malzeme çeşitliliği 15
Şekil 1.4	Bambu liflerinin kalınlık ve yoğunluklarına bağlı olarak ses yutma katsayılarının belirlenmesi [5]..... 15
Şekil 1.5	Çay yaprağı atıklarının kalınlık ve frekansa bağlı yutuculukları [6]..... 16
Şekil 1.6	Delikli panelin hindistan cevizi lifi önünde ve arkasında yerleştirilmesi seçenekleri [7] 16
Şekil 1.7	Farklı perforasyon oranlarına ve panel-lif yerleşimlerine bağlı olarak ses yutma performansındaki değişimler (Üst Şekil 1.7’den A seçeneği, Alt Şekil 1.7’den B seçeneği.) [7] 17
Şekil 1.8	Numunelerin frekansa bağlı ses yutma performansları [8] 18
Şekil 1.9	Pamuk ve polyester karışımının diğer malzemelere göre yutuculuk performansı [9] 19
Şekil 1.10	Kenaf lifi numunelerinin farklı yoğunluk ve kalınlıkları için frekansa bağlı ses yutma katsayıları [10]..... 19
Şekil 1.11	Hindistan cevizi lifi numunelerinin farklı kalınlıkları için frekansa bağlı ses yutma katsayıları [10]..... 20
Şekil 1.12	Çeşitli malzemelerin ses yutma performansları [10]..... 20
Şekil 1.13	Ananas yaprağı lifinin farklı yoğunluk, kütle ve kalınlıklardaki örnekleri için ses yutma katsayıları [11]..... 21
Şekil 1.14	Ananas yaprağı lifi, taşıyünü ve poliüretan köpük ses yutma katsayılarının karşılaştırılması (a: taşıyünü, b: poliüretan köpük) [11]. 21
Şekil 1.15	Kompozitlerin fiziksel özellikleri [12] 22
Şekil 1.16	Numunelerin kodlandırılması [12] 22
Şekil 1.17	Su kabağı epoksi kompozitinin sabit lif yoğunluğunda farklı kalınlıklarının ses yutma katsayılarının karşılaştırılması (sol: %50 yoğunluklu; 1,3 ve 5 cm kalınlıklı; sağ: %90 yoğunluklu; 1,3 ve 5 cm kalınlıklı) [12] 23
Şekil 1.18	Su kabağı epoksi kompozitinin sabit kalınlıkta farklı lif yoğunluklarının ses yutma katsayılarının karşılaştırılması (sol: 1 cm kalınlıklı; %50,%60,%70,%80 ve %90 yoğunluklu; sağ: 5 cm kalınlıklı; %50,%60,%70,%80 ve %90 yoğunluklu) [12] 23

Şekil 1.19 Su kabağı epoksi kompoziti ve sektörde sık kullanılan ses emici malzemelerin ses yutma performanslarının karşılaştırılması	25
Şekil 2.1 Akustik konfor parametreleri [23].....	27
Şekil 2.2 Bolt grafiği [17].....	29
Şekil 2.3 Salon biçimleri [19].....	30
Şekil 2.4. Yelpaze plan tipinde içbükey yüzeylerin davranışları [34].....	31
Şekil 2.5 Dikdörtgen ve yelpaze plan tiplerinde yansımaların karşılaştırılması [52]	32
Şekil 2.6 İnsan sesinin doğrultululuk özelliği [34].....	32
Şekil 2.7 Yelpaze plan tipi salonlar için önerilen yelpaze açısı değerleri [53]	33
Şekil 2.8 Farklı plan tiplerinde yanal yansıma alanlarının karşılaştırılması [36] ..	33
Şekil 2.9 Altıgen biçimli salonlarda yanal yansımaların ulaştığı alan [34].....	34
Şekil 2.10 Dinleyici alanında koltuk büyüklüğü ve yerleşimi için belirlenmiş uygun koşullar [57]	35
Şekil 2.11 Sahne alanı için uygun yüksekliğin belirlenmesi [34]	36
Şekil 2.12 Salonlarda sahne-dinleyici alanı ilişkisi [36]	36
Şekil 2.13 Kademeli zemin tasarımında dinleyici görüş hattının belirlenmesi [34]	37
Şekil 2.14 Sabit ve artan eğimli dinleyici alanında işitme açıları ($\alpha < \beta$)	38
Şekil 2.15 Balkon tasarımı için önerilen parametreler [34].....	38
Şekil 2.16 Balkon tasarımında önerilen parametreler [34].....	39
Şekil 2.17 Farklı işlevli salonlarda balkon altı derinliği ve yükseliği sınırları [34]	39
Şekil 2.18 Salonlarda akustik gölge bölgelerinin oluşması [53]	40
Şekil 2.19 Balkon altı dinleyicileri için farklı işlevlere göre görüş hattı açıları [19]	40
Şekil 2.20 Farklı biçimde balkon parapetlerinde sesin davranışları [55]	41
Şekil 2.21 Sahne tipleri ve dinleyici alanıyla ilişkisi [34]	42
Şekil 2.22 Düz tavan paneli tasarımı [40]	43
Şekil 2.23 İçbükey ve dışbükey tavan paneli tasarımı [40]	44
Şekil 2.24 Düz, kademeli ve parçalanmış tavan uygulamaları [40]	45
Şekil 2.25 İçbükey ve dışbükey tavan tasarımları (a:içbükey, b:dışbükey) [39]...	46
Şekil 2.26 Arka duvarda akustik kusurları önlemek için yapılan uygulamalar [13]	47
Şekil 2.27 Yansıma süresi [53]	50
Şekil 2.28 İşleve bağlı önerilen yansıma süreleri [34]	51
Şekil 2.29 Hacmin büyüklüğü ve işlevine bağlı önerilen yansıma süreleri [39] ..	52

Şekil 2.30 Aynı RT'ye sahip salonlarda değişen sönme grafikleri [53].....	53
Şekil 2.31 D ₅₀ parametresi ve anlaşılabilirlik ilişkisi [66].....	55
Şekil 2.32 Yansıma süresi ve netlik arasındaki ilişki [41].....	57
Şekil 2.33 Konuşma iletişiminin tanımlandığı grafik [40]	59
Şekil 2.34 STI – RASTI değerlerinin gösteriminde referans grafiği [18]	59
Şekil 2.35 Anlaşılabilirlik oranı ve STI arasındaki ilişki [40].....	60
Şekil 2.36 NC eğrileri [34]	61
Şekil 2.37 Varlık Etkisi [72].....	62
Şekil 2.38 Salonlarda varlık etkisi açısından olumlu alanların belirlenmesi [36].	63
Şekil 2.39 Yanal yansımaların geliş açıları [53].....	65
Şekil 3.1 Atatürk Kültür Merkezi uydu görüntüsü [32]	74
Şekil 3.2 Kültür merkezi kat planı [30]	75
Şekil 3.3 Konferans salonu kat planı [30]	75
Şekil 3.4 Konferans salonu güncel fotoğrafları	76
Şekil 3.5 Konferans salonunda yer alan yüzey gereçleri.....	77
Şekil 3.6 Dinleyici koltuk büyüklüğü ve koltuklar arası mesafeler	79
Şekil 3.7 Dinleyici alanının kademelendirilmesi.....	80
Şekil 3.8 Sahne büyüklüğü ve yüksekliği.....	81
Şekil 3.9 Salonun ortalama tavan yüksekliği.....	82
Şekil 3.10 Tavanda yer alan levhalara ait yansıma örgüleri.....	82
Şekil 3.11 Yan duvarlardaki levhaların yansıma örgüleri	83
Şekil 3.12 Hacmin mevcut yansıma süresinin belirlenmesi	85
Şekil 3.13 Salonda dinleyici noktaları	85
Şekil 3.14 Dolaysız-yansımış-toplam ses düzeyinin uzaklığa bağlı değişimi	87
Şekil 3.15 Salonda varlık etkisinin sağlandığı alanlar.....	88
Şekil 3.16 Tavan levhalarında yankı etüdü	90
Şekil 3.17 Salondaki yansımaların Haas kriteri açısından değerlendirilmesi	91
Şekil 3.18 Salonun iyileştirilmiş zemin kat planı	94
Şekil 3.19 Salonun balkon planı	94
Şekil 3.20 Salonda balkon tasarımı	95
Şekil 3.21 Salonda tavan tasarımı ve yansıma örgüleri.....	95
Şekil 3.22 İyileştirme sonrası yansıma süresi (Mevcut yüzey gereçleri kullanılmıştır.).....	96
Şekil 3.23 Salonda varlık etkisinin sağlandığı alanlar.....	97
Şekil 3.24 Tavan levhalarında yankı etüdü	98

Şekil 3.25	Salondaki yansımaların Haas kriteri açısından değerlendirilmesi	99
Şekil 3.26	Salonun mevcut tasarımının üç boyutlu modeli	100
Şekil 3.27	Salonun mevcut tasarımının Odeon'a aktarılabacak üç boyutlu modeli	100
Şekil 3.28	Salonun önerilen tasarımının Odeon'a aktarılabacak üç boyutlu modeli.....	101
Şekil 3.29	Akustik benzetime dair Odeon yazılımı üzerinde yapılan kabuller ...	102
Şekil 3.30	Salonun akustik benzetiminde kaynak ve dinleyici noktalarının belirlenmesi	103
Şekil 3.31	Geometri hataları ve ışın sızdırmazlık testleri.....	103
Şekil 3.32	RT'nin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması.....	105
Şekil 3.33	EDT değerlerinin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması	106
Şekil 3.34	C ₅₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması.....	106
Şekil 3.35	C ₈₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması.....	107
Şekil 3.36	D ₅₀ parametresinin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması.....	108
Şekil 3.37	STI parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması	108
Şekil 3.38	Önerilen tasarımda kaynak ve dinleyici noktaları	109
Şekil 3.39	RT'nin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması.....	110
Şekil 3.40	EDT değerlerinin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması	111
Şekil 3.41	C ₅₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması.....	111
Şekil 3.42	C ₈₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması.....	112
Şekil 3.43	D ₅₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması.....	112
Şekil 3.44	STI parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması	113
Şekil 3.45	RT parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması.....	114
Şekil 3.46	EDT parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması.....	114
Şekil 3.47	C ₅₀ parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması.....	115
Şekil 3.48	C ₈₀ parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması.....	115
Şekil 3.49	D ₅₀ parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması.....	115
Şekil 3.50	STI parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması.....	116
Şekil 4.1	Malzeme seçimini etkileyen parametreler [76]	119
Şekil 4.2	Odeon arayüzünde tüm tasarımlar için kaynak-dinleyici noktaları.....	121
Şekil 4.3	Deneme 1 için duvarda malzeme kullanımları.....	122
Şekil 4.4	Deneme 1 için tavanda malzeme kullanımları	123

Şekil 4.5	Deneme 1 için sürdürülebilir yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları	124
Şekil 4.6	Deneme 1 için endüstri üretimi yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları	125
Şekil 4.7	Deneme 1 için hacmin yansıma süresi	126
Şekil 4.8	Deneme 1 için EDT değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması....	127
Şekil 4.9	Deneme 1 için C ₅₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	128
Şekil 4.10	Deneme 1 için C ₈₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	128
Şekil 4.11	Deneme 1 için D ₅₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	128
Şekil 4.12	Deneme 1 için STI değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması....	129
Şekil 4.13	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı RT değerleri.....	130
Şekil 4.14	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı EDT değerleri	130
Şekil 4.15	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C ₅₀ değerleri	131
Şekil 4.16	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C ₈₀ değerleri	131
Şekil 4.17	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı D ₅₀ değerleri	131
Şekil 4.18	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı STI değerleri.....	132
Şekil 4.19	Tasarım Denemesi 1 için 3D model yöntemiyle malzeme tasviri.....	133
Şekil 4.20	Tasarım Denemesi 1 için yapılan modelleme çalışması	133
Şekil 4.21	Tasarım Denemesi 1 3D modelinde balkon	134
Şekil 4.22	Tasarım Denemesi 1 3D modeli.....	134
Şekil 4.23	Deneme 2 için tavanda malzeme kullanımları	137
Şekil 4.24	Deneme 2 için duvarda malzeme kullanımları.....	137
Şekil 4.25	Deneme 2 için sürdürülebilir yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları	138
Şekil 4.26	Deneme 2 için endüstri üretimi yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları	139
Şekil 4.27	Deneme 2 için hacmin yansıma süresi	140
Şekil 4.28	Deneme 2 için EDT değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması..	141
Şekil 4.29	Deneme 2 için C ₅₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	141
Şekil 4.30	Deneme 2 için C ₈₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	141
Şekil 4.31	Deneme 2 için D ₅₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	142
Şekil 4.32	Deneme 2 için STI değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması....	142
Şekil 4.33	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı RT değerleri.....	143
Şekil 4.34	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı EDT değerleri	143
Şekil 4.35	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C ₅₀ değerleri	144
Şekil 4.36	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C ₈₀ değerleri	144

Şekil 4.37	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı D_{50} değerleri	144
Şekil 4.38	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı STI değerleri	145
Şekil 4.39	Tasarım Denemesi 2 için malzemelerin salondaki tasviri	146
Şekil 4.40	Tasarım Denemesi 2 için 3D model	146
Şekil 4.41	Deneme 3 için duvarda malzeme kullanımları	148
Şekil 4.42	Deneme 3 için tavanda malzeme kullanımları	149
Şekil 4.43	Deneme 3 için sürdürülebilir yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları	150
Şekil 4.44	Geri dönüştürülmüş plastikten üretilen 5 mm halı (solda) ve endüstriyel atıklardan üretilmiş 5 mm yün panel (sağda) [92]	151
Şekil 4.45	Deneme 3 için endüstri üretimi yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları	152
Şekil 4.46	Deneme 3 için hacmin yansıma süresi	152
Şekil 4.47	Deneme 3 için EDT değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması ..	153
Şekil 4.48	Deneme 3 için C_{50} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	154
Şekil 4.49	Deneme 3 için C_{80} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	154
Şekil 4.50	Deneme 3 için D_{50} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	154
Şekil 4.51	Deneme 3 için STI değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması	155
Şekil 4.52	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı RT değerleri	156
Şekil 4.53	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı EDT değerleri	156
Şekil 4.54	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{50} değerleri	157
Şekil 4.55	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{80} değerleri	157
Şekil 4.56	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı D_{50} değerleri	158
Şekil 4.57	Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı STI değerleri	158
Şekil 4.58	Tasarım Denemesi 3 için 3D model yöntemiyle malzeme tasviri	159
Şekil 4.59	Tasarım Denemesi 3 3D modeli	160
Şekil 5.1	Tüm denemeler için RT parametresinin sonuçları	168
Şekil 5.2	Tüm denemeler için EDT parametresinin sonuçları	169
Şekil 5.3	Tüm denemeler için C_{50} parametresinin sonuçları	170
Şekil 5.4	Tüm denemeler için C_{80} parametresinin sonuçları	170
Şekil 5.5	Tüm denemeler için D_{50} parametresinin sonuçları	171
Şekil 5.6	Tüm denemeler için STI parametresinin sonuçları	172

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Sürdürülebilirlik boyutları içerisinde yapı fiziği konuları [26][27][28] .3	
Tablo 1.2 Yapı fiziği konuları ve alt başlıkları [27].....4	
Tablo 1.3 Çalışmada kullanılan numunelerdeki karışım oranları [8] 17	
Tablo 1.4 Çalışmada kullanılan numuneler ve içerikleri [9].....18	
Tablo 1.5 Su kabağı epoksi kompozitinin farklı lif oranlarına sahip numunelerinin diğer ses emici malzemeler ile karşılaştırılması [13] 24	
Tablo 2.1 İşleve bağlı olarak salonlarda kişi başına düşen hacim miktarı [21] 28	
Tablo 2.2 Müzik türüne bağlı olarak önerilen yansıma süreleri [40].....52	
Tablo 2.3 Hacimlerde önerilen EDT değerleri [41][67] 54	
Tablo 2.4 Netlik parametresi için kabul edilebilir değerler [53][40][19][67].....57	
Tablo 2.5 Bazı işlevler için önerilen NC değerleri [34].....61	
Tablo 2.6 Farklı icra çeşitleri ve hacim büyüklükleri için hacim akustiği parametrelerinin önerilen değerleri [69][70].....67	
Tablo 2.7 Hacim akustiği parametrelerinin Odeon’da önerilen değerleri [43].....67	
Tablo 2.8 Hacim akustiği parametreleri için optimum değerler 68	
Tablo 3.1 Hacmin mevcut yansıma süresinin belirlenmesi.....84	
Tablo 3.2 Farklı dinleyici noktalarında ses basınç düzeylerinin hesaplanması [29] 86	
Tablo 3.3. Dolaysız ve yansımış ses düzeyleri arasındaki farklar.....89	
Tablo 3.4 Yansıma gecikme süreleri ve yansıma düzeylerinin belirlenmesi.....91	
Tablo 3.5 Yansıma gecikme süreleri ve yansıma düzeylerinin belirlenmesi.....98	
Tablo 3.6 Salonda mevcut durumu ve öneriler sonrası akustik konfor parametreleri 99	
Tablo 3.7 Kaynağın ses gücünün frekansa bağlı düzeyleri.....102	
Tablo 3.8 Yüzeylerin orta frekanslardaki dağıtıcılık katsayılarına dair kabuller103	
Tablo 3.9 Farklı dinleyici noktaları için simülasyon sonuçları (Mevcut mimari tasarım ve yüzey gereçleri kullanılmıştır. <i>Küçük müzikal etkinlikler için C₈₀ parametresi de hesaplanmıştır.</i>) 104	
Tablo 3.10 Simülasyon sonuçlarının 5 adet alıcı noktasına göre ortalama değerleri (mevcut mimari tasarım ve yüzey gereçleri kullanılmıştır.) 105	
Tablo 3.11 Simülasyon sonuçlarının 7 adet alıcı noktasına göre ortalama değerleri (öneri mimari tasarım ve mevcut yüzey gereçleri kullanılmıştır.).....110	

Tablo 3.12	Simülasyon sonuçlarının konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli olan 250-2000 Hz için ortalama değerleri	114
Tablo 3.13	Mevcut tasarımda hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi	116
Tablo 3.14	Önerilen tasarımda hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi	117
Tablo 4.1	Deneme 1 için tercih edilen yüzey gereçleri ve kullanım yerleri	124
Tablo 4.2	Deneme 1 için hacim akustiği parametreleri sonuçları	127
Tablo 4.3	Deneme 1 için hacim akustiği parametrelerinin 250-2000 Hz ortalama sonuçları	127
Tablo 4.4	Deneme 1 için hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi	132
Tablo 4.5	Yüzey gereçlerinin karşılaştırılması	136
Tablo 4.6	Deneme 2 için tercih edilen yüzey gereçleri ve kullanım yerleri	138
Tablo 4.7	Deneme 2 için hacim akustiği parametreleri sonuçları	140
Tablo 4.8	Deneme 2 için hacim akustiği parametrelerinin 250-2000 Hz ortalama sonuçları	140
Tablo 4.9	Deneme 2 için hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi	145
Tablo 4.10	Yüzey gereçlerinin karşılaştırılması	147
Tablo 4.11	Deneme 3 için tercih edilen yüzey gereçleri ve kullanım yerleri	149
Tablo 4.12	Deneme 3 için hacim akustiği parametreleri sonuçları	153
Tablo 4.13	Deneme 3 için hacim akustiği parametrelerinin 250-2000 Hz ortalama sonuçları	153
Tablo 4.14	Deneme 3 için hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi ..	159
Tablo 4.15	Yüzey gereçlerinin karşılaştırılması	161
Tablo 5.1	Tüm parametrelerin frekanslara bağlı olarak değerlendirilmesi	174
Tablo 5.2	Çalışma kapsamında kullanılan tüm malzemelerin malzeme seçimi parametreleri açısından değerlendirilmesi	176
Tablo 5.3	Malzemelerin ses yutuculuk performansları açısından değerlendirilmesi (yeşil tarama: sürdürülebilir malzeme)	177

Sürdürülebilir Yapı Malzemelerinin Mimaride Akustik Amaçlı Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Esra ERKAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL

Mimarlık kavramı odağını insan sağlığı ve konforundan alır. Mimarlık kavramına katkı sunan tüm disiplinlerin temel noktası, mekânın ve yapının kullanıcısı yani çoğunlukla insandır. Akustik tasarım disiplini de içerisinde pek çok alt başlığı ve konuyu barındırmasıyla birlikte; diğer mimarlık disiplinlerinde olduğu gibi odağına insan sağlığı ve konforunu koyar. Hacimde uygun akustik koşulları sağlayarak, insan sağlığı ve konforu için uygun ortamların oluşturulması amacıyla kullanılan ses yutucu malzemelerin, çoğunlukla endüstri ürünü sağlığa zararlı yapay malzemelerden üretilmiş olmaları tezat bir durumdur. Bu tezatlık, doğal malzemelerin mimaride akustik amaçlı kullanılabilirliğinin araştırılması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, endüstri ürünü yapay yüzey gereçlerinin yerine doğal veya atık malzemelerden üretilmiş sürdürülebilir malzemeler tercih edilerek hacimde akustik konforun sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak literatürde yer bulmuş, çeşitli çalışmalar sonucunda ses yutma karakterleri ortaya konmuş doğal

malzemeler araştırılmış ve sürdürülebilir mimarlık disiplininin akustik tasarım ve yapı fiziği ile ilişkileri irdelenmiştir. Ardından benzer bir araştırma yöntemi ile belirli işlevleri barındıran hacimler için akustik konfor parametreleri saptanmış ve bunlara yer verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, günümüzde işlevini sürdüren ve aktif faaliyet gösteren Tekirdağ ili, Çerkezköy ilçesindeki Atatürk Kültür Merkezi konferans salonu ele alınmış; bu salonun mevcut mimari tasarım ve hacim akustiği parametreleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında Yansıma Süresi (RT), Netlik (C_{50}), Açıklık (D_{50}) ve Konuşma İletim İndeksi (STI) parametreleri hesaplanmıştır. Tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde öneri bir mimari tasarım geliştirilmiş ve bu mimari tasarım özellikleri korunarak; sürdürülebilir yüzey gereçlerinin kullanımı ile hacimde akustik konforun sağlanması amaçlanmıştır. Bu aşamadan itibaren çalışmanın ilerleyen bölümlerinde tamamen simülasyon verilerinden yararlanılmış; çeşitli alıcı noktaları belirlenerek alıcı noktalarındaki Yansıma Süresi (RT), Netlik (C_{50}), Açıklık (D_{50}) ve Konuşma İletim İndeksi (STI) parametreleri hesaplanmış; önerilen sınır aralıkları ile değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında getirilen üç farklı yüzey gereci tasarımı denemesi ile hacimde akustik konfor denetlenmiştir. Üçüncü tasarım denemesi ile, sürdürülebilir yüzey gereci kullanımı ile konuşma işlevine yönelik hacim akustiği koşullarının iyileştirildiği simülasyon çalışmaları ile ortaya konmuştur. Bu çalışmada ortaya konan verilerin ve geliştirilen tasarım denemelerinin, gelecekte yapılacak benzer çalışmalara yol göstermesi ve bu tür malzemelerin hacim akustiği kapsamında daha sık kullanılmasında rol oynaması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konferans salonu, mimari akustik, akustik konfor, sürdürülebilir yapı malzemesi, hacim akustiği.

ABSTRACT

Investigation of the Usability of Sustainable Building Materials for Acoustic Purposes in Architecture

Esra ERKAN

Department of Architecture

Master of Science / Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL

The concept of architecture focuses on human health and comfort. In all disciplines contributing to architecture, the main focus is the user of the space or structure, which is often the human being. Similarly, the discipline of acoustic design prioritizes human health and comfort while addressing many subtopics and issues. However, there is a contradiction in using sound-absorbing materials that provide suitable acoustic conditions in spaces, as these materials are often artificial industrial products that may harm human health. This contradiction has highlighted the need to explore the use of natural materials for acoustic purposes in architecture.

This study aims to ensure acoustic comfort in spaces by preferring sustainable materials made from natural or recycled resources instead of artificial industrial products. First, the study reviews natural materials that have been previously examined in the literature for their sound absorption characteristics. It also investigates the relationship between sustainable architecture and acoustic design within the field of building physics. Following this, the acoustic comfort parameters required for specific types of spaces were determined and discussed through a similar research methodology.

The thesis focuses on the Atatürk Cultural Center conference hall located in Çerkezköy, Tekirdağ, which is currently active and functional. The architectural design and volume acoustics parameters of this hall were evaluated. Parameters such as Reverberation Time (RT), Clarity (C_{50}), Definition (D_{50}), and Speech Transmission Index (STI) were calculated. In the later stages of the thesis, a new architectural design proposal was developed. This design maintained its architectural features but incorporated sustainable surface materials to improve acoustic comfort in the space.

From this stage onwards, the study relied entirely on simulation data. Specific receiver points were identified, and parameters such as Reverberation Time (RT), Clarity (C_{50}), Definition (D_{50}), and Speech Transmission Index (STI) were calculated for these points and compared with recommended threshold values. Three different surface material designs were tested within the scope of the study to evaluate acoustic comfort in the space. The third design showed that using sustainable surface materials could improve the acoustic conditions of the space for speech purposes, as demonstrated by the simulation results.

The data presented and the design proposals developed in this study aim to guide similar future research and promote the use of such materials in volume acoustics.

Keywords: Conference hall, architectural acoustics, acoustic comfort, sustainable building materials, room acoustics.

1 GİRİŞ

İnsan, ilk ortaya çıktığı düşünölen Paleolitik Çağ'dan itibaren hayatta kalma ihtiyacı içerisinde. Fizyolojik yapısı gereğı hayatını doğal çevre şartları altında idame ettirebilmek için yeterli gereksinime sahip değildir. Örnelemek gerekirse, doğadaki canlılar ele alındığında; ne bir ayı gibi onu soğuk hava koşullarından korumaya yarayacak güçlü bir deriye ne de bir kuş gibi tehlike anında hızla uzaklaşmasına olanak sağlayacak kanatlara sahiptir. Dolayısıyla insan ortaya çıktığı ilk andan itibaren, kendini doğal yaşam koşullarının tehlikeli görölen durumlarından koruyabilmek için barınmaya ihtiyaç duymuştur. Barınma ihtiyacının getirdiğı zaruriyet beraberinde malzeme ile tanışmış ve malzemeyi bu ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak çağlar boyu geliştirmiştir. Örneğın en başlarda, doğal çevre koşullarında kendisine bir barınak olarak kayalıkları ve mağaraları seçmiştir. Yer yer doğal çevreden elde ettiğı çalı, çırpı, odun, hayvan derisi ile ilkel çadırlar inşa etmiştir [1]. Zaman içinde insanlık tarihine önemli katkıları bulunan keşifler ve gelişen teknoloji sayesinde barınak kavramı değışmiş yerini ev, yuva, konut kavramlarına bırakmıştır ve artık ilk çağlarda çalı, çırpı, hayvan postu kullanarak barınmaya çalışan insan yapı malzemesi kavramını ortaya çıkarmıştır.

İlk dönemlerde bir zaruriyet olarak karşımıza çıkan konut kavramı günümüz koşullarında ele alındığında kontrolsüz bir büyüme göstermiş, doğaya zarar verir hale gelmiştir. İnsan, önceleri içinde kendisine yaşam alanları aradığı doğayı, kontrol dışı üretimle şekillendirmiştir. Zamanının iyi birer çözümü sayılabilecek pek çok yapı malzemesi bugünün koşullarında; doğal dokuyu bozan, iklim krizini tetikleyen, hava kirliliğine neden olan ve ekosistem döngüsünü zedeleyen birer zararlı tercih haline gelmiştir. Haliyle geçmişten günümüze yaşam koşullarının getirdiğı gereksinimler ile malzeme üreten ve gelişen insan; bu yeni çağda ihtiyaç duyduğu gereksinimlerin yeniden biçimlenmesi ile konut tasarımında yeni bakış

açıları geliştirmeyi, yeni yapı malzemeleri üreterek doğaya verdiği zararı en aza indirmeyi ve zararlı sayılabilecek yapı malzemelerini en yararlı biçimde kullanarak geri kazandırmayı amaç edinmiştir. Bunun için öncelikle mimari tasarıma 80'ler sonunda; sürdürülebilir tasarım, biyofilik tasarım, enerji etkin yapı tasarımı, yeşil bina, güneş mimarisi gibi pek çok yeni kavram kazandırılmış ve günümüzde de bu kavramlar popülerliğini korumaya devam etmiştir [2]. Tüm bu kavramların ortak noktası ise, insan sağlığı ve konforudur. İnsan için gerekli olan fizik ortam koşullarını¹ belirlemek ve bu koşulları akılcı, ekonomik, estetik ve doğa ile uyumlu bir biçimde sunabilmektir. Yani aslında, mimari tasarımın tüm aşamaları insan sağlığı ve konforu üzerine kuruludur. İnsanın fizyolojik, psikolojik yapısı, eğitim durumu, sosyal statüsü vb. gibi pek çok etken mimari tasarımının başlıca kriterlerindendir. Mimari tasarımın her alt başlığı, insan sağlığı ve konforu üzerinden işlemekte ve dolayısıyla sürdürülebilir tasarımla ilişkilendirilmektedir.

İnsanlar günlük yaşantı içerisinde pek çok iş ile uğraşırlar ve bu uğraşlar sırasında birbirinden farklı pek çok gereksinime ihtiyaç duyarlar. İhtiyaç duyulan pek çok işlev için birbirinden farklı fizik ortam koşullarının gereksinimi kaçınılmaz olur. Örneğin, bedensel gücün kullanıldığı bir çalışma biçimi için ortam hava sıcaklığının serin olması; zihinsel gücün kullanıldığı bir çalışma biçimi için ise ortam hava sıcaklığının olduğundan biraz daha sıcak olması istenir. Bir kafede, restoranda, mağazada veya bir alışveriş merkezinde biraz gürültünün varlığı rahatsız edici olmayabilir fakat bir kütüphanede bu durum tam tersidir. Bu noktada yapı fiziği bilim dalı, bir durum veya belirli bir eylem için uygun ortam koşullarını oluşturmayı amaçlar. Yapı fiziği bilim dalının alt başlıklarından biri olan akustik tasarım ise sesin etkin olduğu ortam ve eylemler için uygun ortam koşullarını belirler ve bu koşulları en akılcı, en ekonomik ve en estetik biçimde çözüme kavuşturur [25].

Akustik tasarımın sürdürülebilirlik ile ilişkisi ise tam da bu noktada başlar. Ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlar içerisinde şekillenen sürdürülebilir mimarlık pasif enerji kullanımına yönelen, doğal kaynakların korunumunu ve sürekliliğini sağlayan, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını destekleyen, atık dönüşümünün aktif olarak uygulanabilmesini amaçlayan yapı inşa süreçlerini esas alır. Bu inşa süreçlerini belirleyen pek çok kriter bulunmaktadır ve akustik tasarım

¹ İnsanların fiziksel olarak kendini daha rahat, huzurlu ve güvende hissettiği fiziksel çevrenin oluşması için gerekli koşulların tümü fizik ortam koşullarıdır [25].

bu kriterler arasında yer alan, sürdürülebilir mimarlığın sosyal sürdürülebilirlik alanında değerlendirilmesi gereken bir konu başlığıdır. Tablo 1.1’de görülebildiği üzere yapı fiziki konuları sürdürülebilir yapı üretiminin bir parçası haline gelmiş; akustik tasarım konusu da en önemlilerinden biri olmuştur.

Tablo 1.1 Sürdürülebilirlik boyutları içerisinde yapı fiziki konuları [26][27][28]²

ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA TASARIM KRİTERLERİ	• Doğal kaynakların korunması • Yenilebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi • Malzemenin korunması ▪ Arazinin etkin kullanımı ▪ Yapının uygun boyutlandırılması ▪ Kullanıcı gereksinimi odaklı tasarım yaklaşımı • Doğal dokuya saygılı ve korumacı yaklaşım • Enerjinin etkin ve temiz kullanılması • Atık dönüşümü düşük olan malzemenin kullanımı • Geri dönüştürülebilir malzeme seçimi • Düşük enerjili inşaat teknikleri • Enerji etkin yapı tasarımının benimsenmesi ▪ Etkili yalıtım sistemi ▪ Yapı biçimlenişinin dikkate alınması ▪ Gün ışığı ve ısısından gereksinim duyulan düzeyde yararlanma • İklim koşullarına uygun yapı tasarımı
EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA TASARIM KRİTERLERİ	• Bakım ve onarım maliyeti düşük yapı üretimi • İlk yatırım maliyeti düşük yapı üretimi ▪ Yerel yapı malzemeleri seçimi ile taşıma maliyetinin düşürülmesi • Hurda olarak kullanımı için değeri yüksek malzeme seçimi • Uzun ömürlü kullanılabilir malzeme seçimi • Geri dönüştürülebilir malzeme seçimi • Ulaşım koşullarının kolaylığının sağlanması • İstek ve gereksinimlere iyi yanıtlar verebilmesi • Üretim süreçlerinde maliyet analizleri
SOSYAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA TASARIM KRİTERLERİ	▪ Kullanıcı sağlığı ve konforu odaklı tasarım ▪ Bireyin fizyolojik ve psikolojik yapısının değerlendirilmesi ▪ Gerekli iç ortam koşullarının oluşturulması ▪ Hava kalitesinin niteliği ➢ Havadaki CO₂ ve O₂ miktarı ➢ Havadaki toksin özellik ➢ Havalandırmanın niteliği ❖ Doğal havalandırma ❖ Yapay havalandırma ▪ Termal konfor için destekçi ▪ Görsel konfor için destekçi ▪ Akustik konfor için destekçi ▪ Sosyal ve kültürel değerlere uygun

Sosyal sürdürülebilirlik çalışma kapsamına giren yapı fiziki konuları insan sağlığı ve konforu için gerekli iç ortam kalitesini sağlamayı hedef edinir. Bir yapının akustik konfor için destekçi olması durumu, o yapının dış gürültüye karşı hassasiyet derecesi; iç mekândaki ses kalitesi ve düzeyi, dinleyicinin ya da icracının sesi işitme

² A.B. Gültekin ve S. Yavaşbatmaz, 2013; F. Berber, 2012 ve E. Sakınc, 2010’dan değiştirilip alınmıştır.

kalitesi; hacim içi kabul edilebilir gürültü seviyesi gibi birçok faktör ile ilişkilidir. Dolayısıyla bir yapının akustik amaçlı tasarımı konusu yani akustik konfor için destekçi olması durumu, diğer yapı fiziki konularında olduğu gibi alt başlıklar içerisinde değerlendirilir. Bu alt başlıklar Tablo 1.2’de de görülebildiği üzere, *gürültü denetimi* ve *hacim akustiği* başlıklarıdır.

Tablo 1.2 Yapı fiziki konuları ve alt başlıkları [27]³

SOSYAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	Kullanıcı Sağlığı ve Konforu Odaklı Tasarım		
	Bireyin Fizyolojik ve Psikolojik Yapısının Değerlendirilmesi		
	Gerekli İç Ortam Koşullarının	Hava Kalitesinin Niteliği	Havalandırma Niteliği
			Havadaki CO2 ve O2 miktarı
			Havanın Toksin Özelliği
		Termal Konfor	Isı Denetimi
			Yüzey Sıcaklıkları
			Işınım Sıcaklıkları
			Güneş
			Isı-Nem
		Görsel Konfor	Doğal Aydınlatma
			Yapay Aydınlatma
			Renk
			Güneş
		Akustik Konfor	Gürültü Denetimi
Hacim Akustiği			
Sosyal ve Kültürel Değerlere Uygunluk			

Gürültü denetimi, yapının dış ortam gürültüsü ile ilişkisini irdeler. Yapı kabuğu ve iç bölme duvarları için akustik performans sınıflarını belirler ve yapının ya da hacmin işlevine göre sağlaması gereken akustik performans sınıfına ulaşmasını sağlar. Hacim akustiği ise, hacim içerisindeki sesin kaynaktan çıktığı an itibarıyla hacim içerisinde eşit dağılmasını, her bir dinleyiciye akıcı ve anlaşılır bir şekilde ulaşmasını amaçlar. İşte akustik tasarımın sürdürülebilir mimarlık ile ilişkisi bu noktada başlar. Sürdürülebilir mimarlık, insan sağlığı ve konforu için gerekli iç ortam koşullarını oluşturmayı amaç edinir. Akustik tasarımın iki başlığı olan gürültü denetimi ve hacim akustiği konularının da temel amacı budur. Yapı kabuğu için gerekli yalıtım değerleri sağlanarak, kullanıcı için kabul edilebilir gürültü düzeylerinde mekânlar oluşturulur; hacim içerisinde gerekli yansım süreleri ve akustik tasarım kararları alınarak sesin farklı alanlardaki her bir kullanıcı için akıcı ve anlaşılır olmasını sağlar. Örneğin bir tiyatro salonunda konuşmanın

³ E. Sakıncı, 2010’dan değiştirilip alınmıştır.

anlaşılabilirliği önemlidir. Dinleyici sahneye en yakın ve en uzak konumdayken dahi sahnedeki icracının ne anlattığını anlayabilmelidir. Böylece içerisinde yer aldığı mekândan, eylemden hoşnut olacaktır. Aksi takdirde saatlerini harcayarak izlediği gösteriden bir şey anlamamış ve keyif almamış olacaktır. Benzer bir biçimde çok gürültülü bir cadde üzerinde yer alan bir ofiste çalışan bir kullanıcı için gürültü, çalışma performansını olumsuz etkileyen bir faktör olarak karşısına çıkacaktır. Bu noktada yapı kabuğunun yalıtım açısından uygun değerlerde olması ya da gürültünün yapı kabuğuna ulaşmaya dek çeşitli bariyer etkenleri ile etkisinin azaltılmış olması istenen bir durum olacaktır. En basit örnekle, birbirine komşu iki hacimde barınan iki farklı kullanıcı için ortak kullanım ögesi olan iç bölme duvarın her iki kullanıcı için de iyi bir gürültü engeli oluşturması istenir. Bir hacimdeki sesi başka bir hacme aktarırken sesin etkisini olabildiğinde kırması ve komşu hacme mümkün olduğunca az düzeyde aktarması beklenir. Tüm bunlar kullanıcı konforu ve sağlığı açısından etkili ve önemlidir fakat tek başına yeterli değildir. Kullanıcı için uygun fizik ortam koşullarını oluşturmayı amaçlayan akustik tasarım anlayışı, bu amaca giden yolda attığı her adımı amacına yönelik olarak tercih etmelidir. Yapı biçiminden itibaren kullandığı malzemeye kadar sürdürülebilir çözümler üretmelidir. Örneğin dikdörtgen biçimli bir salonda konuşma amaçlı etkinlikleri yürütmek için ilave ses sistemlerine ihtiyaç duyulabilir, çünkü bu salonlar genel anlamıyla müzikal amaçlı etkinlikler için uygun salonlardır. Bu durumda ilave ses desteği ile kullanıcı için konfor koşulları açısından olumlu bir mekân tasarlanabilmiş olsa dahi, kullanılan aktif enerji sebebiyle yapının harcamış olduğu enerji miktarı yükselecek ve yapı enerji etkin kullanımı konusunda yetersiz kalacaktır. Dolayısıyla akustik tasarımın temel amaçlarından biri olan insan sağlığı ve konforu açısından gerekli ortam koşullarını oluşturma konusu, sürdürülebilir mimarlığın da amaçlarından biri olmasına rağmen; akustik açıdan olumlu sayılabilecek sonuçlar doğurmuşsa da sürdürülebilirlik açısından yetersiz kalacaktır. Bu noktada hacmin biçimlenişinden itibaren yapı ve yüzey gereçlerine varana dek her bir aşaması sürdürülebilirlik ile bir arada kurgulanmalı ve mimaride akustik tasarım süreci sürdürülebilirlik ekseninde değerlendirmelidir.

Günümüzde sürdürülebilirlik alanında yapılan pek çok çalışmada doğal lifler, yerel ve geri dönüştürülmüş malzemeler üretilmiş ve yapı tasarımında kullanılmıştır. Günümüz akustik tasarım anlayışında yer alan ses yansıtıcı/dağıtıcı/yutucu pek çok

endüstri üretimi malzemeye alternatif doğal malzeme seçenekleri üretmek; akustik tasarımları bu doğrultuda yönlendirmek mümkündür. Benzer bir biçimde sürdürülebilir tasarım kaygılarıyla tercih edilmiş yerel malzemelerin pek çoğu akustik açıdan, günümüzün çokça tercih edilen yapma malzemelerine oranla daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla insan sağlığı ve konforunun odağında yer aldığı mimaride akustik tasarım süreci, tüm bu alternatif bakış açıları ve malzeme önerileriyle birlikte sürdürülebilir çözümler şeklinde değerlendirilmeli ve bu çözümlerin kullanımı teşvik edilmelidir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bir kaynağın oluşturduğu ses, kimi zaman doğrudan kaynağın kendisi, kimi zaman da yüzey ve nesne yansımaları aracılığıyla dinleyiciye ulaşır [15]. Doğrudan ya da dolaylı bir biçimde dinleyiciye ulaşan sesin insan sağlığını, konforunu ve işitme kalitesini olumsuz etkilememek adına belirli bir düzeyde olması gerekmektedir. Belirli bir düzeyi aşarak dinleyici için hoşnutsuzluk oluşturan seslere gürültü denir. Gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle gürültü düzeyini belirlemeye ve denetlemeye yönelik başlıca tasarım ilkeleri ve birtakım yönetmelikler bulunmaktadır. Türkiye’de, 2010 yılında 27601 sayılı Resmî Gazete’de ‘Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’ yayınlanmış; bu yönetmelik daha sonra 2022 yılında 32029 sayılı Resmî Gazete’de yayınlanan ‘Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği’ aracılığı ile yürürlükten kaldırılmıştır. Başka bir yönetmelik olan ‘Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik’, 2017 yılında 30082 sayılı Resmî Gazete’de yayınlamıştır ve daha sonraki yıl yenilenmiştir. Bu yönetmeliklerin amacı, yapı tasarım ve kullanım aşamalarında kullanıcıların maruz kalacağı yapı dışı ve içi kaynaklı gürültülerin kullanıcı huzurunu, beden ve ruh sağlığını olumsuz etkilemesini önlemek; önlenemeyen noktalarda bu etkileri en az düzeye indirmek; iyi işitme ve algılama koşullarını sağlamaya yönelik kuralları belirlemektir [16].

Yapı dışı gürültüyü kontrol altında tutmaya yönelik belirli kabuller bulunmaktadır. Yapı kabuğunun akustik açıdan yeterliliği BGKKHY (2017)’de belirtilen akustik performans sınıfı değerlerine göre belirlenir. Yapı kabuğu mevcut durumu ile akustik açıdan yeterli performans düzeyine sahip değil ise kabuk üzerinde iyileştirmeler yapılır. Benzer bir durum hacim akustiği için de geçerlidir. Hacmin

akustik performans üzerinde temel ve önemli bir etkisi bulunmaktadır [12]. Bu sebeple hacim içerisinde uygun akustik koşulları oluşturmanın önceliği hacmin büyüklüğü ve işlevine uygun yansım süresini belirlemekten geçmektedir. Yansım süresi ise, hacim içinde faaliyet gösteren kaynağın yarattığı ses düzeyinin kaynak kapatıldıktan sonra 60 dB kadar azalmasına veya ses enerjisinin milyonda bir düzeye inmesine kadar geçen süre olarak tanımlanabilir [37]. Hacimde kullanılan yüzey gereçleri, mobilyalar ve dekorlar, hacmin kullanıcı açısından doluluk-boşluk oranı yani dinleyici/kullanıcı sayısı gibi parametreler hacmin yansım süresinin belirlenmesinde etkindirler [12]. Bu parametrelerin ses yutma katsayıları kullanılarak hacmin yansım süresi değeri belirlenir ve böylece hacim içerisinde uygun akustik koşullar sağlanmış olur. Yansım süresinin istenilen düzeyin altında ya da üstünde olması durumu hacimde akustik rahatsızlığa yol açmaktadır. Dolayısıyla, her hacmin kendi işlevine uygun optimum bir yansım süresi düzeyi bulunmaktadır ve bu düzeyler yönetmeliklerce belirlenmektedir. Optimum yansım süresinin sağlanabilmesi için hacimde ses yutucu malzemelerin varlığı önemlidir. Kapalı bir hacimde yansım süresinin kontrol altına alınabilmesi için malzemelerin ses yutma katsayısı değerlerinin bilinir olması gerekmektedir [12].

Bu çalışma ise bu bağlamda belirlenmiş kurallardan yola çıkarak kullanıcı ve yapı ilişkisi göz önüne alan akustik açıdan uyumlu mekânlar tasarlamayı, tasarlanan bu mekânları tıpkı tasarım amacında olduğu gibi insan sağlığı ve konforu açısından uygun ölçütler içerisinde şekillendirmeyi ve tüm bunları yaparken sürdürülebilir çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda çalışma kapsamında, sıklıkla tercih edilen sağlığa zararlı yapı malzemeleri ve yüzey gereçlerinin yerine doğal ve sürdürülebilir alternatifleri önerilmiş; bu önerilerin mimari akustikteki kullanımı değerlendirilmiştir. Tüm bu değerlendirmeler sırasında malzemeler mukavemet, yangına dayanım, erişilebilirlik, kullanılabilirlik ve maliyet gibi kriterler açısından da incelenmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

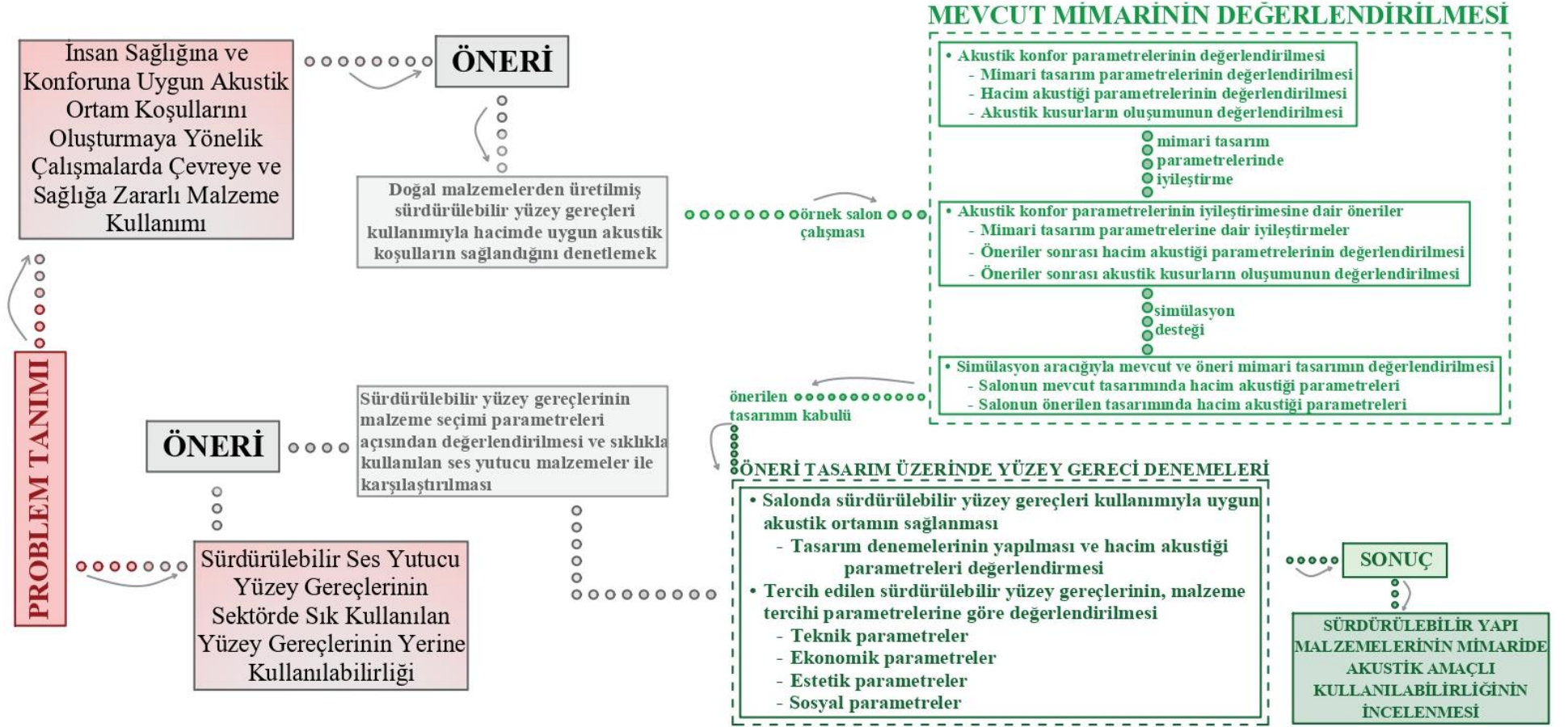
Ses dalgaları herhangi bir yüzey ile karşılaştığında enerjisinin bir bölümü yüzey tarafından yutulur. Yüzey tarafından yutulan bu ses enerjisi yüzey malzemesinin özelliklerine bağlı olarak farklı bir enerji türüne dönüştürülebileceği gibi, komşu bir hacme de geçebilir. Bir ortam ya da malzeme aracılığıyla ses enerjisinin başka bir enerji türüne dönüştürülmesi olayına sesin yutulması denir. Ses enerjisi malzeme tarafından farklı frekanslarda farklı değerlerde yutulmakta ve bu durumun oluşumunda malzemenin yapısal özellikleri etken olmaktadır [37]. Sesin yutulması üç tip yüzey gereci aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bunlar sırasıyla, gözenekli gereçler; titreşen levhalar ve rezonatörler biçimindedir [36]. Gözenekli gereçler içlerinde çok sayıda kılcal boru, delik veya ince aralıklar bulunan oldukça hafif organik ya da inorganik gereçlerdir. İçi hava dolu olan gözenekli bir gerecin yüzeyine gelen ses titreşimleri gözenekler içerisine girerek buradaki havayı titreşime sokar böylece enerjisinin büyük bir bölümünü ısıya dönüştürür ve ses yutulmuş olur. Titreşen levhalarda sesin yutulması ise şöyle gerçekleşir: ses enerjisi levhaya geldiğinde, levhayı titreştirerek bir iş yapar ve belirli bir oranda enerji harcar [15]. Rezonatörler günümüz yapılarında gözenekli gereçler ve titreşen levhalar kadar sıklıkla kullanılsalar da akustik açıdan çokça önemli yutuculuk özelliklerine sahiptirler. Genellikle tavan ve duvarlarda gömülü biçimde yer alan rezonatörler, küp ya da testi biçiminde ağızları iç mekâna açık olarak konumlandırılmaktadırlar [36]. Rezonatörlerin boyun bölgesinde yer alan hava kitlesi ağız kısmına gelen ses dalgaları aracılığıyla titreşmeye zorlanır, sistemin öz frekansının uyumluluğuna bağlı olarak buradaki hava kitlesi gitgide artan bir genlikle titreşir ve rezonans oluşur. Oluşan bu rezonans sonucunda havanın hızı ve debisi artar; böylece rezonatörün ağız kısmına gelen ses enerjisinden çok daha fazla ses enerjisi yutulmuş olur [15].

Malzeme tarafından yutulan ses enerjisinin malzeme yüzeyine ulaşan toplam ses enerjisine yüzdesel olarak oranı ses yutma katsayısını ifade etmektedir ve bu katsayı sıfır (0) ile bir (1) arasında bir değer olarak belirlenmektedir [37]. Her malzemenin yapısal özelliklerine ve frekansa bağlı olarak değişim gösteren ses yutma katsayısı değeri bulunur. Laboratuvar ortamlarında yapılan çalışmalar ile pek çok yüzey gerecinin ses yutma katsayısı saptanmış ve ses yutucu malzeme olarak kullanımı

gerçekleştirilmiştir [15]. Günümüzde yapılan pek çok çalışmada ise doğal malzemelerin kullanımıyla ses yutucu malzemelerin üretilebildiği görülmüştür. Çalışma kapsamında değerlendirilen başlıca problemlerden biri olan “sıklıkla tercih edilen endüstri üretimi yalıtım malzemelerinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri” sebebiyle, önce bir salonun mevcut akustik tasarımı ele alınmış, sonrasında benzer ve daha iyi akustik performans özelliği gösteren alternatif ve sürdürülebilir malzeme önerileri getirilmiş ve salonun akustik tasarımı güçlendirilerek insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz etkileri bulunan yalıtım malzemelerinin yerine çevre dostu malzemelerin kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Tekirdağ ili, Çerkezköy ilçesinde yer alan Atatürk Kültür Merkezi’nin konferans salonunun çalışma kapsamında tercih edilmesinin en önemli etkeni ise, gürültü/hacim akustiği üzerine yapılmış çalışmaların bölgedeki eksikliği olmuştur. Bununla birlikte konumu itibarıyla İstanbul’a yakınlığından ötürü ilçe göç almayı ve gelişmeyi sürdüren bir niteliğe sahiptir.

Salon işlevine uygun olarak mimari ve akustik açıdan tasarım süreçleri kapsamında değerlendirilmiş, mevcut durumda kullanılmış yüzey gereçlerinin niteliği saptanmış; salonun yansım süresi değeri belirlenmiş, önerilen sınır aralıklar ile uyumluluğu saptanmıştır. Daha sonrasında ise yapılan tatonman uygulamaları aracılığıyla kullanılan yüzey gereçleri sürdürülebilir alternatifleri ile yeniden değerlendirmeye alınmış ve her deneme özelinde salon için uygun yansım süresi değerleri oluşturulmuştur. Bu değerlendirmeler sırasında önerilen yüzey gereçleri yalnızca akustik performansı ölçütüncü değil; kullanım kolaylığı, erişilebilirlik, yangına dayanım, maliyet, mukavemet, sürdürülebilir olması gibi ölçütler açısından da incelenmiştir. Çalışmanın akış şeması Şekil 1.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 1.1 Çalışma süreci akış şeması

1.3 Çalışmanın Hipotezi

Çalışma kapsamında çeşitli araştırma soruları oluşturulmuş, yanıt olabilmesi adına çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve ilerletilmiştir.

Araştırma sorusu 1: Yapı fiziği bilim dalı ve sürdürülebilir mimari yaklaşımlar arasında bütünleşik bir tasarım yaklaşımından söz edilebilir mi? Böyle bir yaklaşım ile bir hacimde işitsel konforu sağlamak mümkün olabilir mi?

Bu soru bu çalışmanın önemini ve ana amacını belirtmek üzere oluşturulmuştur. Bu soruya yanıt verebilmek adına sürdürülebilir mimarlık ve yapı fiziği bilim dalının ortak tasarım kriterleri araştırılmış, tıpkı mimarlığın diğer tüm disiplinlerinde olduğu gibi her iki bilim dalının da odağını insan sağlığı ve konforundan aldığı saptanmıştır. Bu kapsamda yapı fiziği bilim dalının disiplinlerinden biri olan hacim akustiği dalı, sürdürülebilir mimarlık parametreleri ile bütünleşik biçimde ele alınmaya çalışılmış, sorulan soruya yanıt olabilmesi adına bu bütünleşik yaklaşıma dair literatür sonuçları ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında yeni hipotez soruları oluşmuş, çalışmanın ilerleyen aşamalarına referans olmuştur.

Araştırma sorusu 2: Sürdürülebilir yüzey gereçlerinin kullanımı ile ses yutucu yüzey gereçlerinin oluşturulması ve bu yüzey gereçlerinin sektördeki yaygın ürünlere alternatif olması mümkün olabilir mi?

Bu araştırma sorusuna yanıt olarak araştırma çalışmalarına devam edilmiş, literatüre girmiş sürdürülebilir yüzey gereci olarak kullanılabilecek ses yutucu malzemeler ve bu malzemelerin frekanslara bağlı yutuculuk değerleri saptanmıştır. Bu malzemelerin sıklıkla kullanılan endüstri üretimi yüzey gereçlerinin yerine kullanılabileceği kanısına varılmıştır. Literatür verilerinin eşliğinde, sözü edilen malzemelerin var olan bir salonda uygun akustik ortamı oluşturması olanağı tartışılmış, bu kapsamda bir örnek salon belirlenmiştir.

Araştırma sorusu 3: Salon mimarisinde uygun işitsel konfor koşullarının sağlanmasında mimari değişkenler hangi hacim akustiği parametrelerini ne yönde etkilemektedir? Örnek salon bu parametreler açısından uygun mudur?

Bir önceki araştırma sorusuna yanıt ararken oluşan yeni araştırma soruları ile mimari değişkenlerle ilgili öneriler hacim akustiği parametrelerine göre

değerlendirilmiş ve bu incelemelerin olumlu sonuçları sonrası salon mimarisi ile ilgili kabuller yapılmıştır.

Araştırma sorusu 4: Hacim akustiği çalışmalarında sürdürülebilir yüzey gereçlerinin kullanımı ile hacimde uygun akustik ortamın oluşturulması mümkün olabilir mi?

Salonda yapılan kabullerin ardından çalışmanın bu aşamasında ortaya çıkan araştırma sorusuna yanıt olarak salon üzerinde çeşitli yüzey gereci denemeleri yapılmıştır. Sürdürülebilir ses yutucu yüzey gereçleri, sektörde yaygın kullanılan ürünlere karşı salon iç yüzey gereçlerinde kullanılabilir alternatif bir çözüm oluşturmaktadır. Bu gereçlerin iç yüzeylerde uygulanmasının salonların işitsel konfor koşullarını iyileştirilebileceği akustik simülasyon aracılığıyla gösterilmiştir.

Araştırma sorusu 5: Sürdürülebilir yüzey gereçlerinin, endüstri üretimi yüzey gereçleri yerine kullanımında malzeme seçimi parametreleri açısından elde edilen sonuçlar nasıl olur? Sürdürülebilir yüzey gereçleri, ilerleyen yıllarda endüstri üretimi ürünlerin yerini alarak uygulamaya kazandırılabilir mi?

Son araştırma sorusu olan bu soru kapsamında, çalışmada kullanılan yüzey gereçleri malzeme seçimi parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Sürdürülebilirlik, mukavemet dayanımı, yangın direnci, erişilebilirlik, kullanılabilirlik ve maliyet başlıkları altında yapılan değerlendirmeler ile sürdürülebilir yüzey gereçlerinin yapı inşasındaki uygulamalarda kullanılabilirliğinin incelenebileceği düşünülmüştür.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Çalışma dört aşamada tamamlanmıştır.

Aşama 1: Literatür Taraması

Çalışmanın ilk aşaması olan bu aşamada hacim akustiğinin sürdürülebilir mimarlık ile ilişkisi irdelenmiş; bütünleşik bir tasarım yaklaşımının gerekliliği açıklanmıştır. Daha önce araştırma kapsamına girmiş, ses yutma katsayılarının belirlenmesine yönelik çeşitli laboratuvar çalışmalarını yapıldığı sürdürülebilir yüzey gereçleri ile günümüzün pek sıklıkla tercih edilen endüstri üretimi ses yutucu malzemeler literatürden yardımla taranmıştır.

Aşama 2: Salon Mimarisinde Hacim Akustiği Parametreleri ve Önerilen Sınır Değerleri

Çalışmanın ikinci bölümünde salon mimarisinde hacim akustiği parametrelerine değinilmiş, mimari tasarım parametreleri ile ilişkisi irdelenmiştir. Konuşma işlevli salonlar için önemli olan parametreler ve tasarım kararları anlatılmış, bu parametrelerin literatürde önerilen sınır değerleri belirtilmiştir.

Aşama 3: Salonun İşlevine Uygun Mimari ve Akustik Tasarım Kriterlerine Göre İncelenmesi

Salon, mimari ve akustik tasarım kriterleri kapsamında değerlendirmeye alınmış; salonun işlevine uygun hacim büyüklüğünden, optimum yansıma süresinin belirlenmesine dek süren; salon biçimi, sahne tasarımı, dinleyici alanı tasarımı, balkon tasarımı gibi başlıklar kapsamında incelenmiş; salonun mevcut yansıma süresi değeri Sabine Yöntemi ve simülasyon aracılığıyla hesaplanmış; optimum yansıma süresi ile ilişkisi irdelenmiş; çalışmanın ilerleyen aşamalarında doğru verileri elde edebilmek adına belirli öneri ve kabuller gerçekleştirilmiştir.

Aşama 4: Sürdürülebilir Önerilerin Sunulması ve Akustik Benzetim Çalışmaları

Çalışmanın bu aşamasında literatür taramalarından yardımla salonda kullanılan yüzey gereçleri için sürdürülebilir alternatifleri önerilmiş, simülasyon yöntemi aracılığıyla yeni yansıma süreleri belirlenmiş; bu öneriler iç mimari koşulları açısından değerlendirilerek birer kompozisyon haline getirilerek görselleştirilmiştir. Simülasyon çalışmaları ile RT, EDT, C₅₀, C₈₀, D₅₀ ve STI gibi hacim akustiği parametreleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu bölümde yapılan üç adet tasarım denemesi ile konuşma işlevli bir hacimde akustik konforun sağlanması amaçlanmıştır. Üç adet denemenin sonunda tüm parametreler için önerilen sınır aralıkları içerisinde kalan hacim akustiği parametre değerleri Deneme 3 ile elde edilmiştir.

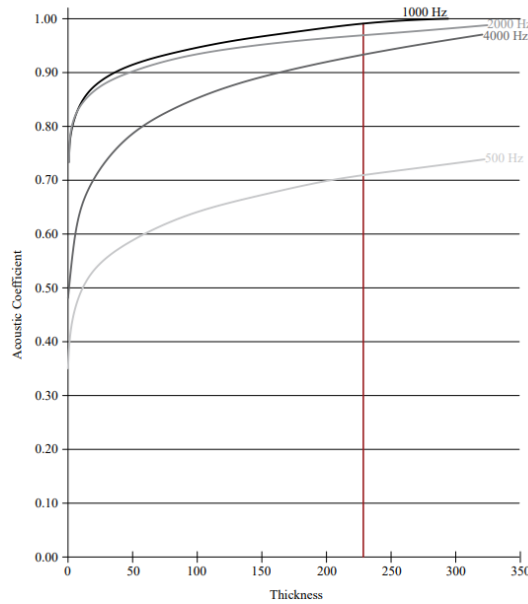
Aşama 5: Sonuç ve Değerlendirmeler

Çalışmanın son aşamasında ise, optimum koşullar ile uyumlu, sürdürülebilir yüzey gereçlerinin tercih edildiği, akustik koşullar açısından verimli bir salon tasarımı amacıyla yapılan öneriler; malzemelerin mukavemet, dayanım, kullanılabilirlik, erişilebilirlik, maliyet gibi diğer seçim parametreleri ile bir arada değerlendirilmiş; bu kapsamda mimari ve akustik açıdan uygun ve etkin sonuç ortaya konmuştur.

1.5 Literatür Özeti

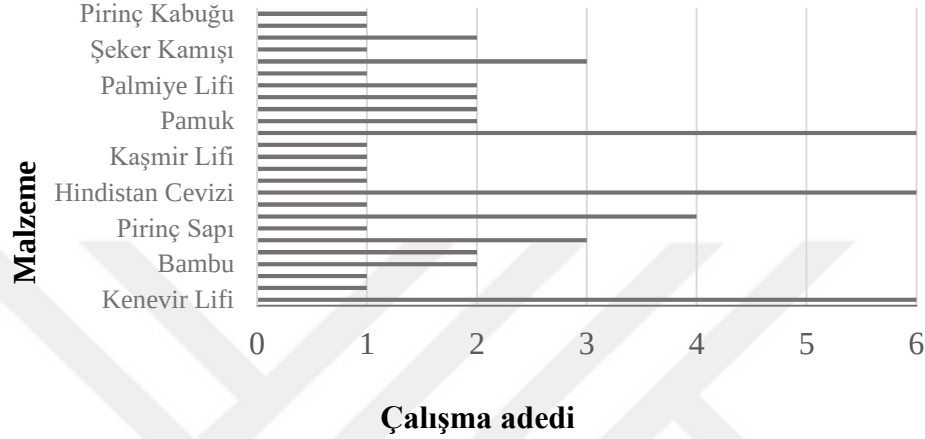
Doğal malzemelerin akustik tasarımda kullanımında ulusal ve uluslararası olmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan kimi bitki lifleri veya yerel malzeme kullanımı, kimi ise atık malzemenin dönüştürülmesi ile ilgilidir. Bu noktada yapılan çalışmaların pek azı yerel yapı malzemesi kullanımı ile akustik tasarımın gürültü denetimi kısmını kapsamakta; kalan çoğunluğu hacim akustiği ile ilişkilendirilmekte ve malzemenin ses yutma performansını ele almaktadır. Son dönemlerde malzemenin gürültü denetimi açısından kullanımını inceleyen bazı çalışmalar yapılmıştır.

Bakam ve diğ. [3], kerpiç duvar üzerine yaptıkları çalışmalarında kerpiç duvarın akustik performansını incelemişler ve kerpiç malzemeyi sürdürülebilir bir alternatif olarak önermişlerdir. Çalışmada yaklaşık %40 oranda ince kil, %49 oranında orta kil ve %11 oranında ince çakıl karışımından oluşan toprak kullanılmıştır. Kerpiç numuneleri 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz oktav bantlarında ses emme katsayısı açısından değerlendirilmiş; 0,71 ila 0,99 arasında değişen ses emme katsayıları ile olumlu sonuçlar elde edilmiş, böylece malzemenin iyi bir akustik yalıtım özelliği gösterdiği saptanmıştır. Sonuçlara göre sırasıyla 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz oktav bantları için değerler, 0,71; 0,99; 0,97 ve 0,94 şeklinde olmuştur (Şekil 1.2).



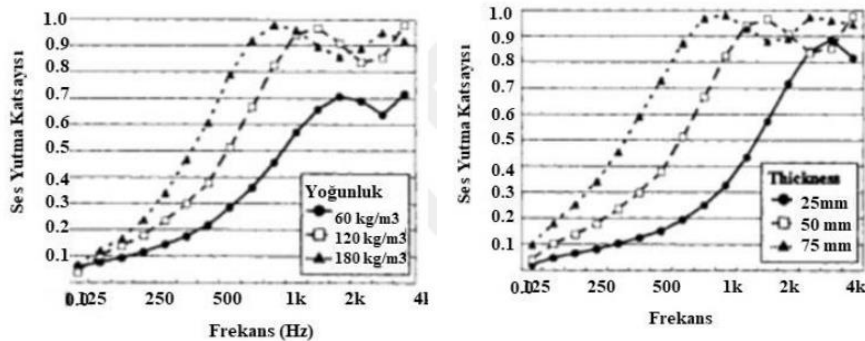
Şekil 1.2 Kerpiç malzemenin belirli kalınlıktaki numunesi için frekanslara bağlı olarak değişen ses emme katsayısı değerleri [3]

Yapı malzemelerinin mimaride akustik amaçlı kullanımını gürültü denetimi kapsamında ele alan bu çalışma ile malzemelerin sürdürülebilir birer çözüm olmalarının yanında akustik avantaj sağlayabildikleri kanıtlanmıştır. Bununla birlikte pek çok malzeme hacim akustiği açısından da ele alınmıştır. Malzemeler kimi zaman saf halleriyle, kimi zamanda bir kompozit oluşturarak çalışmalara katılmışlardır (Şekil 1.3).



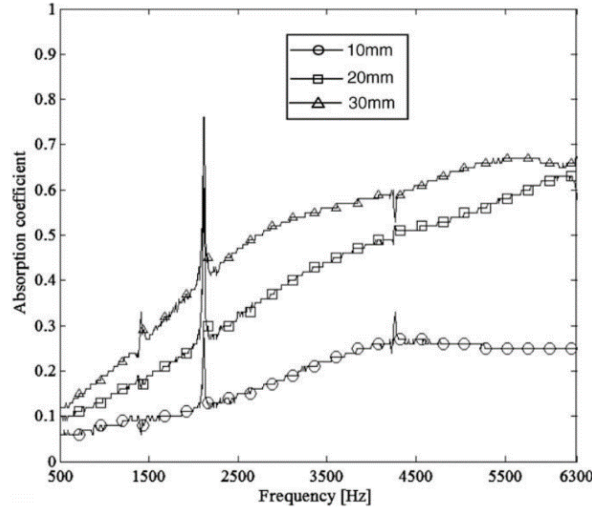
Şekil 1.3 Malzemenin ses yutma performansının değerlendirmeye alındığı çalışmalarda malzeme çeşitliliği

Koizumi ve diğ. [5], çalışmalarında malzemenin fiziksel özelliklerinin ses yutma katsayısına ne derece etki ettiğini gözlemlemek için bambu liflerinden yararlanmışlar; farklı kalınlık, yoğunluk, çap ve boşluklarda numuneler üretmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre alçak ve orta frekans değerlerinde kalınlık arttıkça yutuculuk artmıştır. Yine benzer bir biçimde lif yoğunluğunda sağlanan artış, malzemenin yutuculuğunu arttırmıştır (Şekil 1.4).



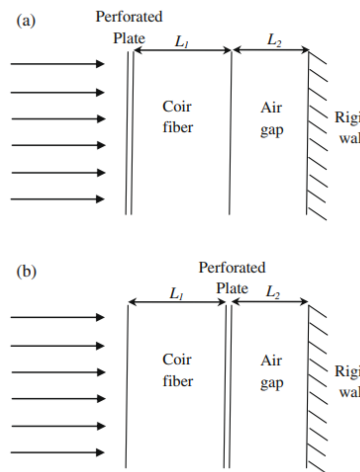
Şekil 1.4 Bambu liflerinin kalınlık ve yoğunluklarına bağlı olarak ses yutma katsayılarının belirlenmesi [5]

Ersoy ve Küçük [6], çay yaprağı lifleri kullanarak yaptıkları çalışmalarında malzeme kalınlıklarına bağlı olarak ses yutma katsayısının değişimini ele almışlardır. Şekil 1.5'te yer aldığı haliyle ele alınan 10 mm kalınlık farkının yutuculuk açısından önemli bir etki yaratmadığı görülmüştür.



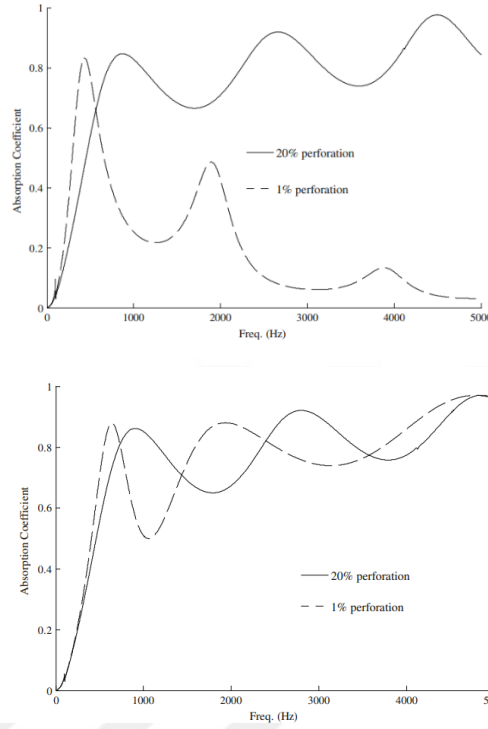
Şekil 1.5 Çay yaprağı atıklarının kalınlık ve frekansa bağlı yutuculukları [6]

2010 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise Fouladi ve ekibi, Hindistan cevizi liflerini kullanarak hava boşluğunun ses yutma katsayısına etkisini incelemişlerdir. Delikli paneller yardımıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında panelin hindistan cevizi liflerinin önünde ve arkasında olması gibi iki durumu ele almışlardır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 Delikli panelin hindistan cevizi lifi önünde ve arkasında yerleştirilmesi seçenekleri [7]

Çalışma sonucunda ise, panellerin liflerin önüne yerleştirildiği koşullar için yüksek frekanslarda; arkasına yerleştirildiği koşullar için alçak frekanslarda yutuculuğa etki ettiği aktarılmıştır. Bununla beraber, delikli panellerin perforasyon oranlarındaki değişimlerin de ses yutma performansına etki ettiği söylenmiştir. [7].

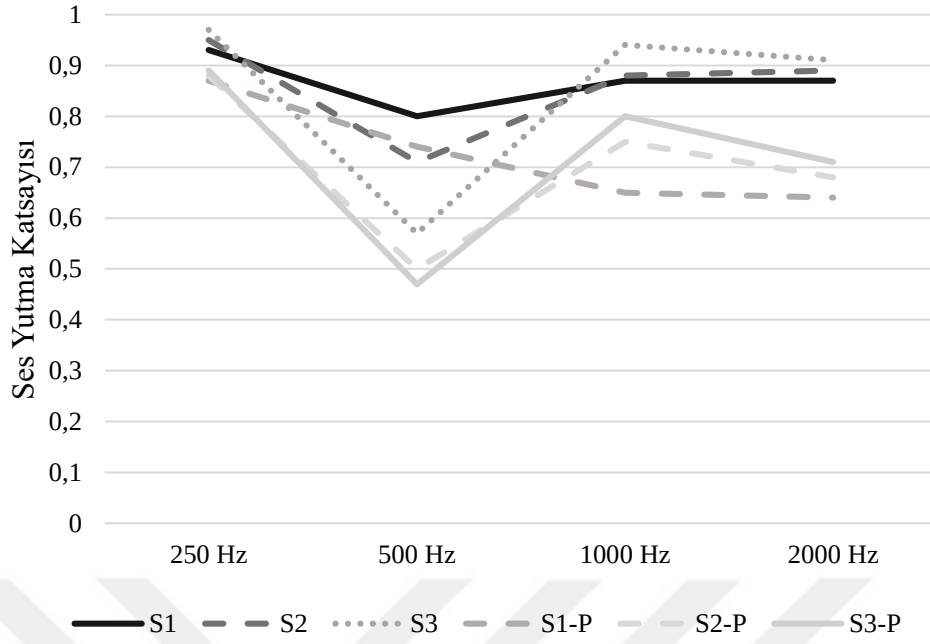


Şekil 1.7 Farklı perforasyon oranlarına ve panel-lif yerleşimlerine bağlı olarak ses yutma performansındaki değişimler (Üst Şekil 1.7’den A seçeneği, Alt Şekil 1.7’den B seçeneği.) [7]

Kapok lifleri kullanılarak yapılan başka bir çalışmada polyproplan bağlayıcı olarak kullanılmış ve elde edilen kompozit malzemenin ses yutma performansı incelenmiştir (Tablo 1.3) [8]. Değişken oranlara sahip kompozit karışımlar ile elde edilen sonuçlara göre en iyi yutuculuk performansı, yüksek yoğunluğa ve düşük gözeneğe sahip, sıkıştırılmamış %30 kapok, %70 polyproplan bileşiminde görülmüştür (Şekil 1.8).

Tablo 1.3 Çalışmada kullanılan numunelerdeki karışım oranları [8]

Numune No	Kapok Lifi Oranı %	Polyproplan Lifi %
S ₁	30	70
S ₂	40	60
S ₃	50	50
S ₁ -P	30	70
S ₂ -P	40	60
S ₃ -P	50	50
(P: Sıkıştırılmış)		

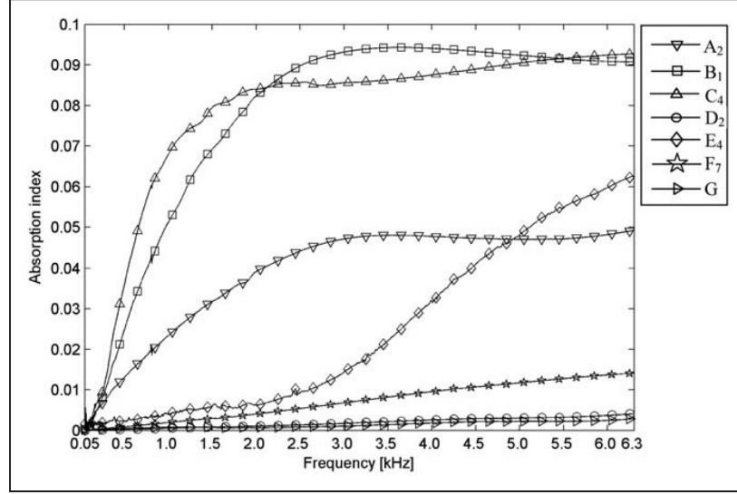


Şekil 1.8 Numunelerin frekansa bağlı ses yutma performansları [8]

Küçük ve Korkmaz, 2012’de yaptıkları çalışmalarında pamuk + polyester karışımının ses yutma performansını incelemişler ve elde ettikleri değerleri diğer malzemeler ile karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır (Tablo 1.4). Ele aldıkları karışım %70 pamuk, %30 polyesterden oluşmaktadır [9]. Çalışmanın sonuçlarına göre ise karışım, orta ve yüksek frekans değerlerinde iyi bir ses yutma performansı göstermektedir (Şekil 1.9).

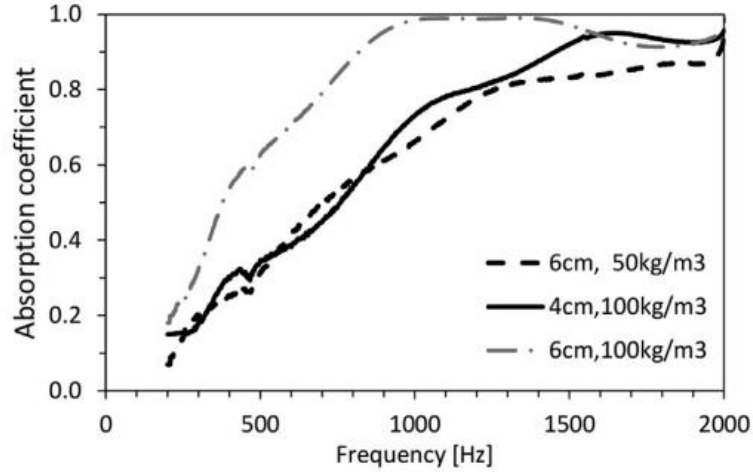
Tablo 1.4 Çalışmada kullanılan numuneler ve içerikleri [9]

Numune No	İçeriği
A ₂	%70 yün %30 polyester
B ₁	%70 pamuk %30 polyester
B ₂	%70 pamuk %30 polyester
C ₄	%70 akrilik-pamuk-polyester %30 polipropilen
D ₂	%90 polyester %10 eriyik polyester
E ₄	%70 polyester %30 poliamid
F ₇	%100 polyester
G	%100 meta-aramid



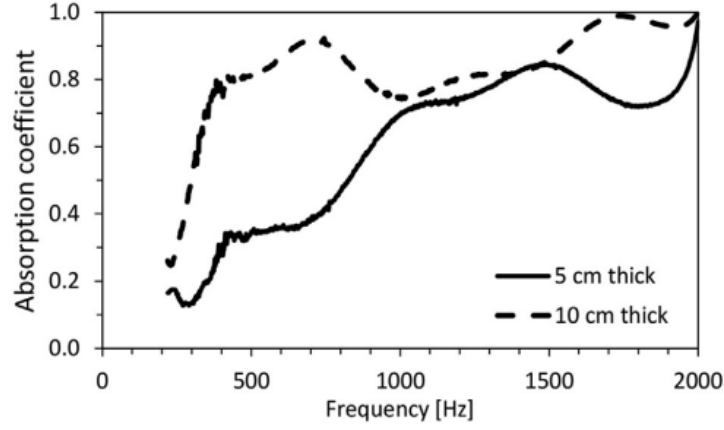
Şekil 1.9 Pamuk ve polyester karışımının diğer malzemelere göre yutuculuk performansı [9]

Berardi ve Iannace 2015'teki çalışmalarında kenaf lifi, odun lifi, hindistan cevizi lifi ve koyun yünü farklı kalınlıkları ile ele almış ve malzemelerin ses yutuculuklarını değerlendirmişlerdir. Kenaf lifinin farklı yoğunluk ve kalınlıklardaki ses yutma katsayısı frekanslara bağlı olarak Şekil 1.10'da gösterilmiştir. Kalınlık ve yoğunluktaki artış malzemenin ses yutuculuğuna olumlu etki etmiş, orta ve yüksek frekanslarda iyi birer ses emme performansı göstermiştir.

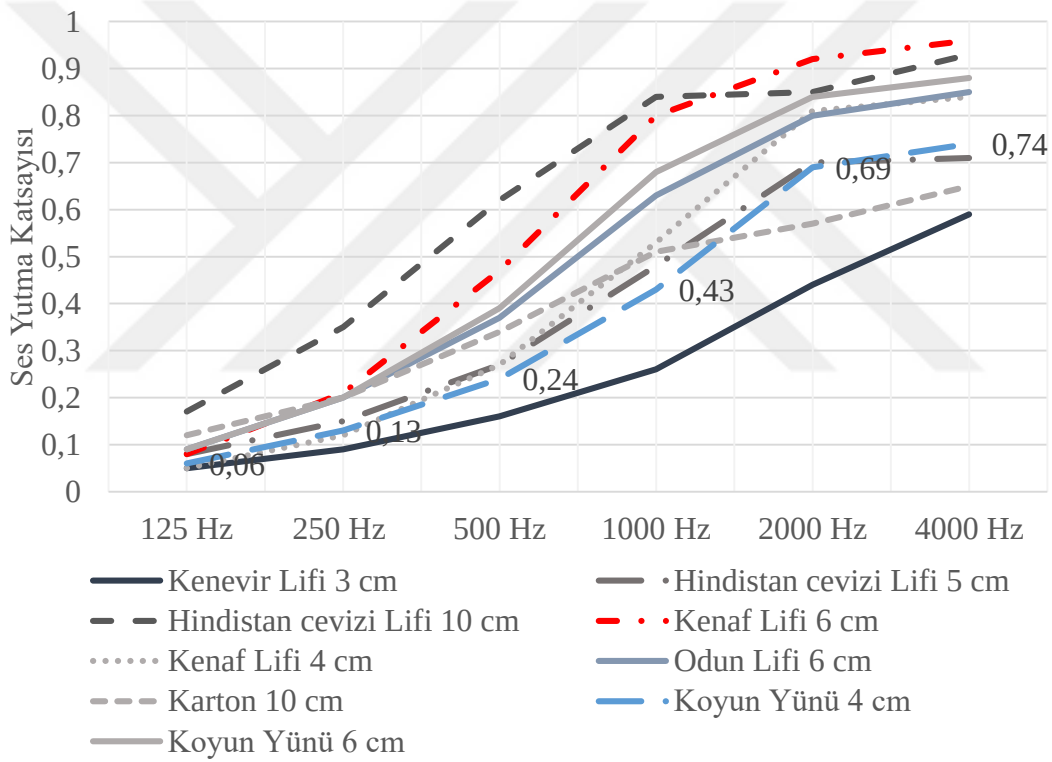


Şekil 1.10 Kenaf lifi numunelerinin farklı yoğunluk ve kalınlıkları için frekansa bağlı ses yutma katsayıları [10]

Hindistan cevizi lifinin 50 ve 100 mm kalınlıktaki numuneleri için ses yutma katsayıları Şekil 1.11'de yer almıştır. Benzer bir biçimde, kalınlık arttıkça ses yutma performansının da olumlu yönde artış gösterdiği görülmektedir.

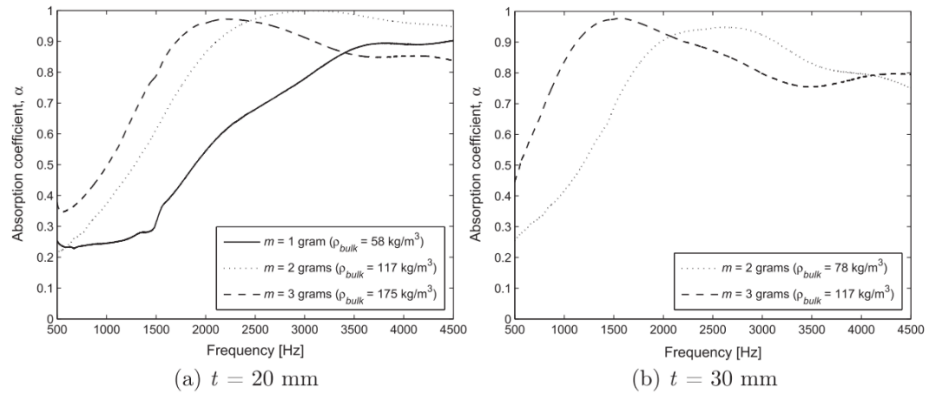


Şekil 1.11 Hindistan cevizi lifi numunelerinin farklı kalınlıkları için frekansa bağlı ses yutma katsayıları [10]



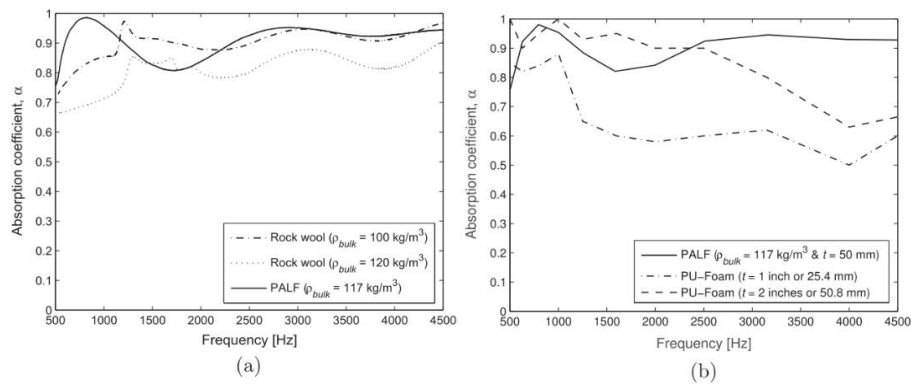
Şekil 1.12 Çeşitli malzemelerin ses yutma performansları [10]

Putra ve diğ. [11] yaptıkları çalışmalarında ananas yaprağı lifinin yoğunluk, kalınlık özelliklerine bağlı olarak ses yutma performansını ele almışlardır. Elde ettikleri sonuçları sıklıkla kullanılan poliüretan köpük ve taşıyünü gibi malzemeler ile karşılaştırmışlardır. Ön çalışma olarak, ananas yaprağı lifinin farklı yoğunluk, kütle ve kalınlıklarda numuneleri incelenmiş ve bu numunelerin ses yutma performansları değerlendirilmiştir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13 Ananas yaprağı lifinin farklı yoğunluk, kütle ve kalınlıklardaki örnekleri için ses yutma katsayıları [11]

Şekil 1.12’de görüldüğü üzere hacimce ve kalınlıkça aynı, farklı yoğunluklardaki ananas yaprağı lifleri için yoğunluk artışına bağlı olarak yüksek frekanslarda birbirine yakın değerlerde ses yutma katsayıları elde edilirken; orta düzeydeki frekanslar için ses yutma performansı olumlu yönde artmıştır. A örneğinde 117 kg/m^3 yoğunluğa ve 20 mm kalınlığa sahip numune için 1000 Hz oktav bantta yaklaşık olarak 0,2-0,3 arası bir ses yutma katsayısı değeri elde edilirken, aynı yoğunluğa sahip 30 mm kalınlıktaki B örneği için bu değer 0,7-0,8 arasında seyretmiştir (Şekil 1.13). Çalışmanın bir sonraki aşamasında ise ananas yaprağı lifinin ses yutma katsayısı değerleri, taşıyünü ve poliüretan köpük ile karşılaştırılmıştır. Ananas yaprağı lifinin, farklı kalınlıklardaki taşıyünü ve poliüretan köpük için alternatif bir ses emici malzeme olabileceği sonucuna varılmıştır (Şekil 1.14). Orta ve yüksek frekans değerleri için ananas yaprağı lifi iyi bir ses emici malzemedir.



Şekil 1.14 Ananas yaprağı lifi, taşıyünü ve poliüretan köpük ses yutma katsayılarının karşılaştırılması (a: taşıyünü, b: poliüretan köpük) [11]

Oya Keskin [12], yaptığı doktora tezi çalışmasında çeşitli kalınlık, lif çapı ve yoğunluklara sahip su kabağı lifi epoksi kompoziti numunelerinin ses yutma performanslarını incelemiş ve elde ettiği verilerden yararlanarak bir salon hacmi üzerinde yansıma süresini kontrol altına almak adına çalışmalar yapmıştır. Şekil 1.15'te ele alınan numunelerin özellikleri gösterilmektedir [12].

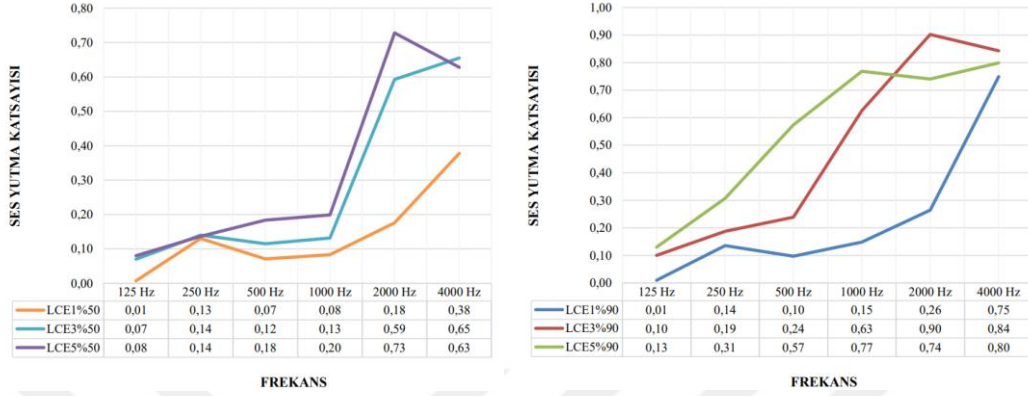
Kalıp boyutu	Hacimce lif oranı (%)	m _{lif} (gr)	m _{epoksi} (gr)
1cm kalınlık 3cm çap	90,00	1,10	0,54
	80,00	0,97	1,07
	70,00	0,85	1,61
	60,00	0,73	2,14
	50,00	0,61	2,68
3cm kalınlık 3cm çap	90,00	3,31	1,62
	80,00	2,94	3,24
	70,00	2,58	4,86
	60,00	2,21	6,48
	50,00	1,84	8,10
5cm kalınlık 3cm çap	90,00	5,48	2,68
	80,00	4,87	5,35
	70,00	4,26	8,03
	60,00	3,65	10,71
	50,00	3,04	13,38
1cm kalınlık 10cm çap	90,00	15,77	7,71
	80,00	14,02	15,42
	70,00	12,26	23,13
	60,00	10,52	30,85
	50,00	8,76	38,56
3cm kalınlık 10cm çap	90,00	47,82	23,38
	80,00	42,51	46,76
	70,00	37,19	70,14
	60,00	31,88	93,52
	50,00	26,57	116,90
3cm kalınlık 10cm çap	90,00	79,70	38,97
	80,00	70,85	77,93
	70,00	61,99	116,90
	60,00	53,13	155,86
	50,00	44,28	194,83

Şekil 1.15 Kompozitlerin fiziksel özellikleri [12]

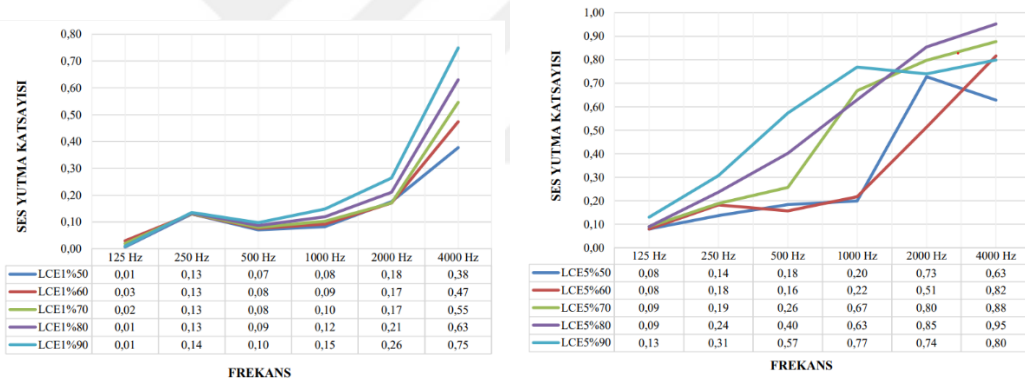
Numune kodu	Numune kalınlığı	Numune lif oranı
LCE1%50	1cm	%50
LCE1%60	1cm	%60
LCE1%70	1cm	%70
LCE1%80	1cm	%80
LCE1%90	1cm	%90
LCE3%50	3cm	%50
LCE3%60	3cm	%60
LCE3%70	3cm	%70
LCE3%80	3cm	%80
LCE3%90	3cm	%90
LCE5%50	5cm	%50
LCE5%60	5cm	%60
LCE5%70	5cm	%70
LCE5%80	5cm	%80
LCE5%90	5cm	%90

Şekil 1.16 Numunelerin kodlandırılması [12]

Çalışma sonucunda çeşitli karşılaştırmalar yapılmış, bu karşılaştırmaların bazılarında lif oranı sabit tutularak farklı kalınlıklardaki lifler değerlendirmeye alınmış; bazılarında ise kalınlık etkeni sabit alınarak lif oranları karşılaştırılmıştır. Şekil 1.17 ve Şekil 1.18’de sonuçlara yer verilmiştir.



Şekil 1.17 Su kabağı epoksi kompozitinin sabit lif yoğunluğunda farklı kalınlıklarının ses yutma katsayılarının karşılaştırılması (sol: %50 yoğunluklu; 1,3 ve 5 cm kalınlıklı; sağ: %90 yoğunluklu; 1,3 ve 5 cm kalınlıklı) [12]



Şekil 1.18 Su kabağı epoksi kompozitinin sabit kalınlıkta farklı lif yoğunluklarının ses yutma katsayılarının karşılaştırılması (sol: 1 cm kalınlıklı; %50,%60,%70,%80 ve %90 yoğunluklu; sağ: 5 cm kalınlıklı; %50,%60,%70,%80 ve %90 yoğunluklu) [12]

Daha önce literatürde yapılmış çalışmalardan da destekle bilindiği üzere, kalınlık faktörü malzemenin alçak frekanslardaki ses yutma performansını etkilemektedir. Şekil 1.17’de su kabağı epoksi kompoziti ile yapılan benzer bir çalışmada kompozitin lif oranı sabit kabul edildiğinde, kalınlık değişimine bağlı olarak malzemenin ses yutma katsayısında olumlu değişimler olduğu gözlemlenmektedir. Fakat burada, literatürde test edilmiş pek çok malzemenin aksine alçak frekanslarda bariz ve önemli değişimlerin olmadığı, orta ve yüksek frekanslarda ise malzemenin beklenene göre daha iyi ses yutma katsayısı değerlerine sahip olduğu

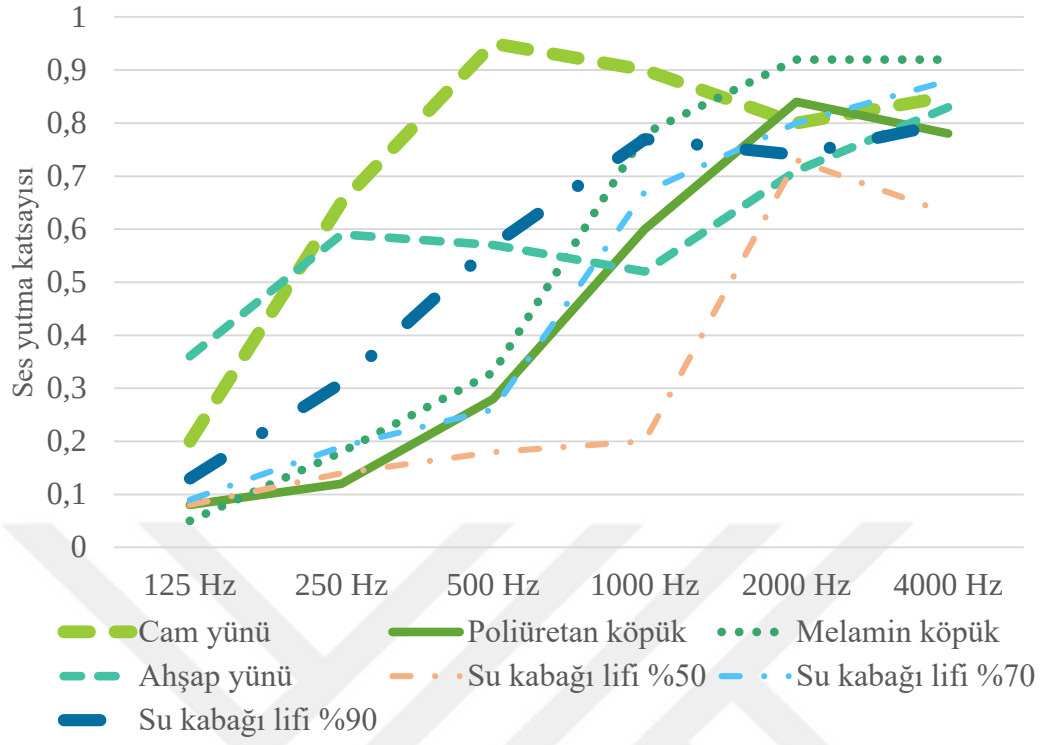
görülmektedir. Su kabağı epoksi kompoziti gözenekli bir malzemedir ve bu tür malzemeler yüksek frekanslarda çok daha etkilidir. Dolayısıyla ses yutuculuğu açısından istenilen performansı elde etmek için kalınlık faktöründe artışların yapılması gerekmektedir. Şekil 1.18’de de görülebildiği üzere, sabit kalınlık değerlerinde yoğunluk faktörü üzerinde yapılan değişimler yüksek frekanslar için önemli ölçüde etkili olmaktadır. Malzemenin alçak frekanslardaki etkisini arttırabilmek adına kalınlık faktörü üzerinde değişimler yapmak olumlu bir etki olacaktır.

Malzemenin ses yutuculuğu açısından sektörde kullanılan pek çok malzemeye alternatif olabildiği hem yapılan çalışmada hem de literatür taraması yardımıyla yapılan karşılaştırmalarda görülebilmektedir. Tablo 1.5. ve Şekil 1.19’da yer verilen grafikte su kabağı epoksi kompozitinin, sektörde sıklıkla kullanılan camyünü, poliüretan köpük, melamin köpük ve ahşap yünü ile ses yutma katsayısı açısından bir karşılaştırması görülmektedir. Yapılan bu karşılaştırmada ele alınan tüm malzemelerin kalınlık faktörü birbirine eşit ve 50 mm olarak tercih edilmiştir.

Su kabağı epoksi kompozitinin farklı yoğunluklu numuneleri incelediğinde, alçak frekanslarda diğer malzemeler ile yakın ve benzer değerlerde ses yutma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Yüksek frekanslar için ise lif yoğunluğu arttıkça diğer malzemelere yakın değerlere ulaşılabilir. Benzer bir biçimde, Oya Keskin [12] yaptığı çalışmada %90 lif yoğunluğuna ve 50 mm kalınlığa sahip su kabağı lifini bir konferans salonunun yan duvarlarının arka kısımlarında yutucu özellikte kullanarak, hacim içerisinde uygun yansıma süresi değerlerini elde etmiş ve bu malzemenin sektörde kullanılan malzemelere alternatif olabileceğini göstermiştir.

Tablo 1.5 Su kabağı epoksi kompozitinin farklı lif oranlarına sahip numunelerinin diğer ses emici malzemeler ile karşılaştırılması [13]

Malzeme	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Cam yünü	0,2	0,65	0,95	0,9	0,8	0,85
Poliüretan köpük	0,08	0,12	0,28	0,6	0,84	0,78
Melamin köpük	0,05	0,18	0,33	0,78	0,92	0,92
Ahşap yünü	0,36	0,59	0,57	0,52	0,71	0,83
Su Kabağı Lifi % 50	0,08	0,14	0,18	0,2	0,73	0,63
Su Kabağı Lifi % 70	0,09	0,19	0,26	0,67	0,8	0,88
Su Kabağı Lifi % 90	0,13	0,31	0,57	0,77	0,74	0,8



Şekil 1.19 Su kabağı epoksi kompoziti ve sektörde sık kullanılan ses emici malzemelerin ses yutma performanslarının karşılaştırılması

SALON MİMARİSİNDE AKUSTİK KONFOR PARAMETRELERİ

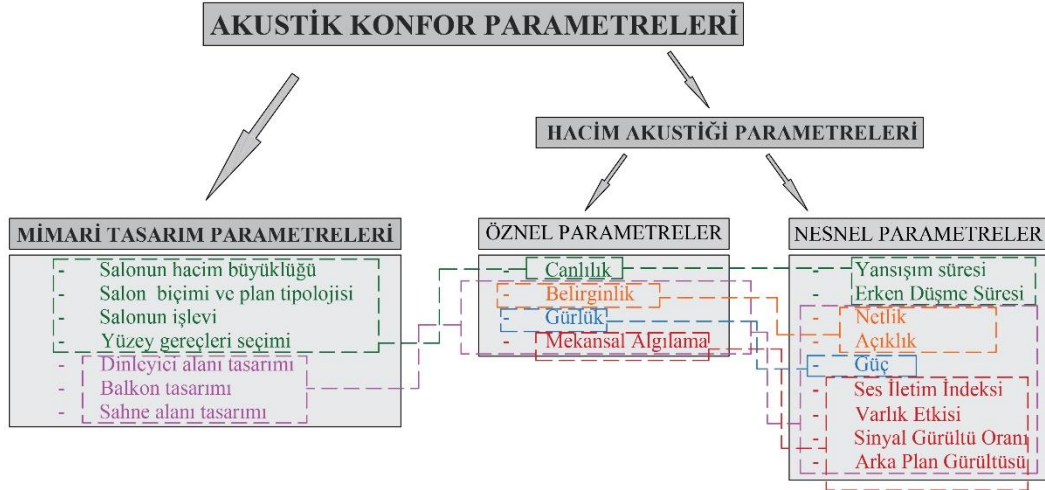
Çok sayıda insanı belirli bir icraatı sunmak ve göstermek amacıyla bir araya getiren salonlar, sosyal, kültürel, sportif, siyasal, eğitim gibi pek çok farklı faaliyetin gerçekleştirilmesine olanak sağlayan mekânlardır [37]. Tarih boyunca süregelen ve çağının teknolojisi ışığında belli başlı mekânlarda yer bulmuş bu faaliyet dizininin, günümüzde gelişen teknolojinin beraberinde profesyonel bir biçimde uygulanması ve birbirinden farklı işlevler için tasarlanmış özel mekânların kurgulanması kaçınılmazdır. Salon tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli etken salonun işlevidir. Salonlar içerisinde gerçekleşecek işleve bağlı olarak pek çok farklı tasarım gereksinimlerine sahiptirler. Genel olarak işlevlerine göre salonlar,

- Konferans salonları,
- Tiyatro salonları,
- Opera ve bale salonları,
- Konser salonları,
- Sinema salonları,
- Çok amaçlı salonlar, olarak gruplandırılmaktadırlar [37].

Örneğin, bir opera salonunda sahnede icracıların kullanımı için bir orkestra çukuru yer alırken; bir konser salonunda sahne alanı tıpkı dinleyici alanında olduğu gibi platform biçiminde tasarlanabilirken; tiyatro salonları için böyle bir gereksinim yoktur. Her salon, içerisinde barındırdığı işleve göre bir kimliğe sahiptir ve o kimliğin gerektirdiği mimari tasarımı kuşanır.

Salonlarda akustik konforu sağlamak amacıyla ele alınan parametreler mimari tasarım ve hacim akustiği parametreleri olarak iki aşamada ele alınır (Şekil 2.1). Mimari tasarım parametreleri, salonun hacim büyüklüğü, biçimi ve plan tipi, salonun işlevi, dinleyici alanı, balkon ve sahne alanı tasarımı, yüzey gereçleri

seçimi gibi alt başlıklardan oluşurken; hacim akustiği parametreleri öznel ve nesnel olarak ikiye ayrılmaktadır. Burada öznel parametreler kişiden kişiye değişebilen her dinleyicide farklı hisler uyandırabilen; birer ölçümü olmayan parametreler iken, nesnel parametreler ise ölçülebilir ve literatürce değerlendirilebilir olan parametrelerdir. Bu parametrelerin kimisi müzikal işlevler için değerlendirmeye alınırken; kimisi konuşma amaçlı kullanım için değerlendirmeye alınabilir.



Şekil 2.1 Akustik konfor parametreleri [23]

2.1 Akustik Konforu Etkileyen Mimari Tasarım Parametreleri

2.1.1 Hacim Büyüklüğü

Salonun hacim büyüklüğü, yansıma süresi ile doğrudan ilişkili olduğundan ve hacimlerin toplam yutuculuğu büyük oranda dinleyici sayısından etkilendiğinden, akustik tasarım parametreleri arasında etkisi oldukça önemli olan ve tasarımın ilk aşamalarında dikkate alınması gereken parametrelerden biridir [22].

Akustik enerjinin düşük düzeyleri, enerjinin korunabilmesi için mümkün olduğu kadar küçük hacimli salonlar tasarlamayı gerekli kılmaktadır [36]. Kaynağından yayılan sesin tüm hacmi doldurması, her dinleyici tarafından kolayca işitilebilir ses yoğunluğuna sahip olması ve bu yoğunluğu uzak noktalara dek ulaştırması gerekmektedir. Tüm uygun yüzeylerin yansıyan sesleri yayıcı olarak kullanması halinde; dinleyicilerin ses yutuculuğu da değerlendirmeye alındığında ve tüm bu koşullar için sağlanması gereken optimum düzeydeki uygun yansıma süresi değerleri sağlandığında; optimum hacmin varlığından söz edilebilir ve optimum hacim hesabı yapılabilir [44]. Dinleyiciler salon içerisindeyken ekstra bir yutuculuk

gerektirmeyen, bu koşullar altında işlev için uygun yansıma süresi değerlerini sağlayan hacimler optimum hacim olarak adlandırılır. Çok küçük hacimli bir salonda icra edilen müzik tatminsizlik hissi oluştururken; oturma kapasitesine oran ile çok büyük hacimli bir salonda yapılan konuşmanın da anlaşılması güç olur ve rahatsızlık hissi oluşturur [44]. Dolayısıyla, farklı tipte ve işlevdeki salonlar için farklı hacim büyüklükleri bulunur. Salonlar için optimum hacim büyüklükleri kişi başına düşen m³ ile ifade edilerek Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 İşleve bağlı olarak salonlarda kişi başına düşen hacim miktarı [21]

Salon İşlevi	Hacim (m ³ /kişi)				
	Doelle'ye göre [24]			Maekawa'ya göre [39]	
	En az	En fazla	Önerilen	En az	En fazla
Konuşma	2,3	4,3	3,1	4	6
Tiyatro-Sinema	2,8	5,1	3,5	4	6
Opera	4,5	7,4	5,7	6	8
Çok amaçlı	5,1	8,5	7,1	6	8
Konser	6,2	10,8	7,8	8	10

Konuşma, müzik, opera ve benzeri pek çok işlev için farklı hacim gereksinimleri bulunmakla birlikte, hacim büyüklüğünün dinleyici sayısı ile orantılı olduğu söylenebilmektedir.

$$N_{max} = 1,54 \times V^{0,75} [20]. \quad (2.1)$$

N: Salondaki maksimum kişi sayısı

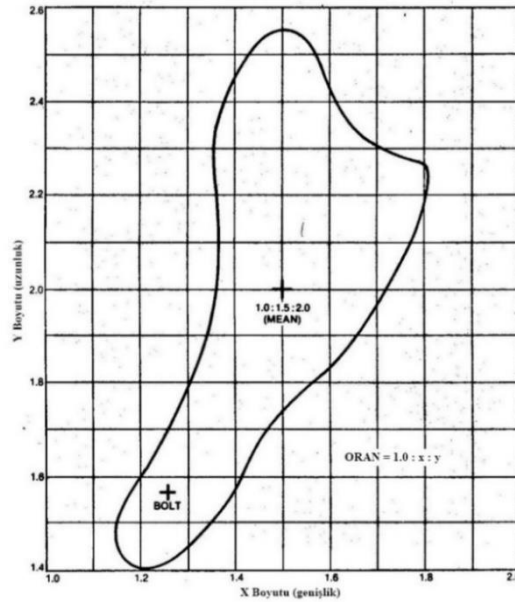
V: Hacim büyüklüğü

Yukarıda yer alan eşitlikte görülebildiği gibi, dinleyici sayısının artırılması, salon hacminin de artırılmasını gerektirmektedir. Çok fazla seyircinin sığdırılmaya çalışıldığı salonlarda, ses arkadaki dinleyicilere doğru bir şekilde ve doğru bir akustikle ulaşmada zorluk çeker [19]. Burada dinleyici sayısının sınırlandırılmasının sebebi, dinleyicilerin yutucu bir yüzey görevi görmeleri ve salonun yansıma süresini etkilemeleridir. Dinleyici sayısının artmasıyla salondaki yutucu yüzeyler büyür, bu büyüme olması gerekenden fazla boyutlara ulaştığında salonda istenilen yansımalar elde edilemez ve sesin düzgün yayılması sağlanamaz. Dolayısıyla dinleyici sayısı sınırlandırarak, yutucu yüzeylerin büyüklüğü korunmuş ve salonda düzgün yayılmışlık için elverişli hacim büyüklüğü saptanmış olur [18]. Benzer bir biçimde hacmin artışı, yüksek frekanslarda kontrol dışı bir yutuculuk

artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla, optimum hacim sınırlarının korunuyor olması, akustik konfor açısından oldukça önemlidir [36].

2.1.2 Hacim Biçimi

Hacmin yanıt eğrisinin düzgün olmasında önemli rolü olan biçim, akustik kriterler doğrultusunda ele alınması gereken önemli bir konudur [18]. Bir hacmin yanıt eğrisinin düzgünlüğü, o hacmin yansıma süresinin frekansa bağlı olarak değişmediğini anlatır. Hacmin yanıt eğrisinin belirlenmesinde hacmin biçimlenişi ve boyutları arasındaki oran önemlidir [36]. Hacimde düzgün yanıt eğrisi sağlayabilmek için bazı akustikçiler, dikdörtgen plan tipine sahip ve akustik önlem alınmamış hacimlerde optimum hacim oranları ve kriterlerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bunlardan ilki W. Sabine'dir. 1900'de yaptığı çalışmada, ideal hacim oranı olarak 2:3:5'i önermiştir. Sonraları ise R.H. Bolt yaptığı çalışmada, Sabine'nin önerdiği 2:3:5 oranını kabul etmiş bununla beraber $1:2^{1/3}:4^{1/3}$ (1:1,25:1,6) oranını önermiştir. Ayrıca Bolt, hacim oranları arasında düzgün yayılım kriterini sağlayan bir alanın tanımlanabildiğini belirtmiş ve bunu bir grafik ile ifade etmiş ve literatüre "Bolt grafiği" olarak geçmiştir [17]. Şekil 2.2'de Bolt grafiğine yer verilmiştir.

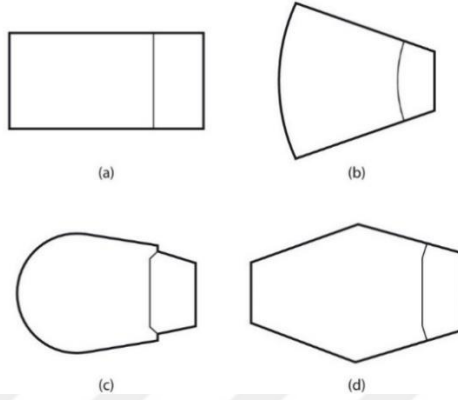


Şekil 2.2 Bolt grafiği [17]

Grafikte yer alan sınırlar içerisinde kalan boyut oranlarının akustik açıdan olumlu sonuçlar vereceği belirtilmiştir. Fakat burada sözü edilen hacimlerin tavanları oldukça yüksek ve boyutları günümüz koşullarına uygun olmayabilmektedir [14].

Klasik dönemden günümüze dek kullanılmış, kabul gören ve işlevlere bağlı olarak tercihi farklılık gösterebilen salon biçimlerinden bahsetmek mümkündür (Şekil 3.3). Mimarilerde plan tipi olarak sıklıkla rastlanan salon biçimleri,

- a- Dikdörtgen plan tipi,
- b- Yelpaze(fan) plan tipi,
- c- At nalı plan tipi,
- d- Elmas kesimli (altıgen) plan tipi olarak sıralanabilmektedirler [19].



Şekil 2.3 Salon biçimleri [19]

2.1.2.1 Dikdörtgen Plan Tipi

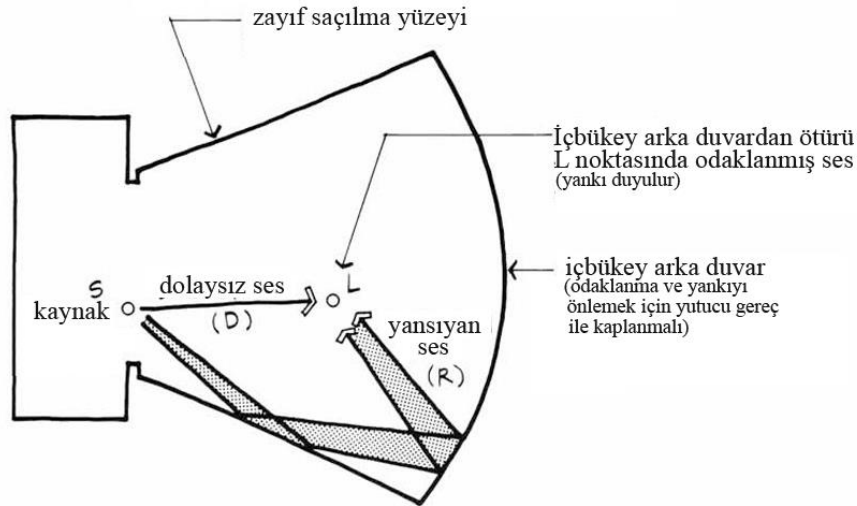
Dikdörtgen plan tipi, yan yüzeylerin sağladığı yansımalar ve basit formuyla 19.yüzyıldan beri Avrupa’da sıklıkla kullanılan bir plan tipidir [18]. Bu plan tipine sahip salonlar işitsel kaynak genişliği ve dinleyicinin kuşatılması bakımından yüksek değerlere sahip olmakla birlikte belirli bir dinleyici sayısına kadar akustik açıdan etkin özellik gösterebilmektedirler. Dinleyici sayısındaki artış, salon boyutlarının arkaya doğru uzamasına neden olur ve arkada oturan dinleyiciler kaynaktan uzaklaştıkları için algıladıkları ses düzeyi düşer. Bu durum da salonun her yerinde eşit ses düzeyinin sağlanamamasına neden olur [46]. Bu şekilde en boy oranı büyük salonlarda, sahne kısmında ideal akustik yansıtıcılar ve yüzeyler bulunmadan ses iletimi açısından optimum sonucun elde edilmesi mümkün olamaz [47].

Dikdörtgen plan tipli salonlar, yan duvarlar yardımıyla sağlanan yanal yansıma zenginliği nedeniyle müzikal işlevleri gerçekleştirmeye elverişlidirler [36]. Bu tür salonlar, yüzeylerinin yeterli dağıtıcılık özelliği göstermesi ve uygun tavan yüksekliğinin sağlanması halinde, dinleyiciler için müzikle kuşatılmışlık hissini

uyandırır. Aynı zamanda, salon kapasitesinin arttırılması, uygun en boy oranlarının yakalanamaması durumunda kaynaktan çıkan sesin ilk yansıma enerjisinde azalma olur, böylece ses yüksekliği salonun arka kısımlarına iletilemez duruma gelir [41]. Bu durum, bu tip salonların konuşma işlevi için uygun özellikte olmayabileceği yorumunu yaptırabilmektedir [36]. Yine benzer bir biçimde birbirine paralel konumlanan duvarların uygun genişlikte olmaması halinde akustik bir kusur olarak bilinen vurgusal yankı meydana gelebilir [50].

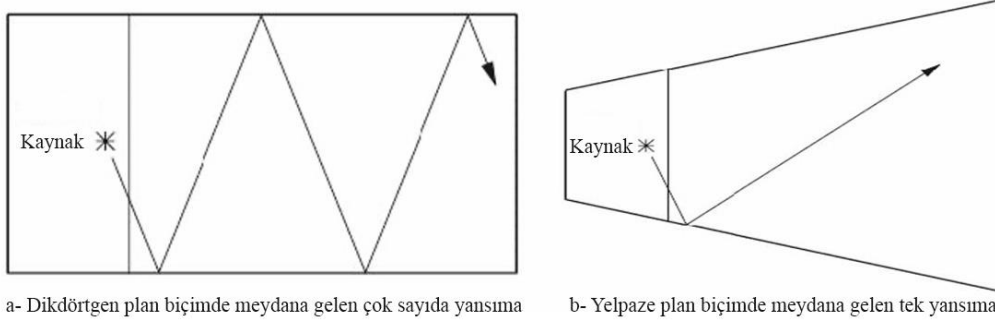
2.1.2.2 Yelpaze (Fan) Plan Tipi

Yelpaze plan tipinin ortaya çıkmasının temel nedeni dikdörtgen plan tipine sahip salonlarda meydana gelen dinleyici kaynak arasındaki mesafe uzunluğu problemini ortadan kaldırmak, dinleyiciyi kaynağa yaklaştırmaktır [18]. Bu nedenle, seyirci sayısının fazla olduğu durumlarda tercih edilir. Bu plan tipinin kullanımında arka yüzeylerindeki içbükey formlar odaklanma akustik kusurunun oluşumuna sebebiyet verebilir [45]. Bu olumsuz durum, arka duvarların yutucu gereçler ile kaplanmasıyla çözülebileceği gibi arka duvar yüzeylerinin içbükey tasarlanmasından kaçınılması ile de çözülebilir [41].



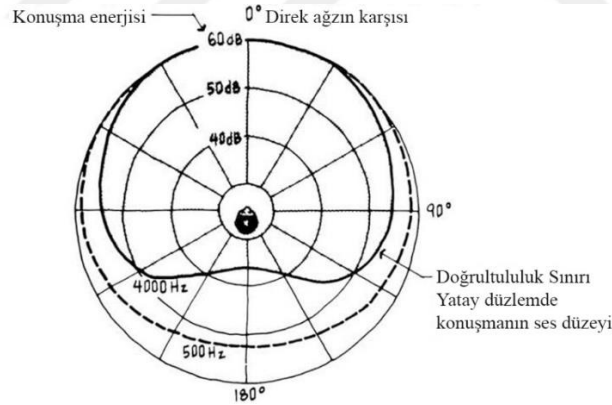
Şekil 2.4. Yelpaze plan tipinde içbükey yüzeylerin davranışları [34]

Bu salonlar dikdörtgen plan tipine sahip salonların aksine yanal yansımaları salonun arka kısımlarına iletme konusunda yetersizdirler (Şekil 2.5). Tek bir yansıma ile salona dağılan ses dalgaları, yansıma süresinin kısa olmasına neden olur. Bu nedenle bu plan tipi daha çok konuşma amaçlı etkinlikler için tasarlanacak salonlarda uygulanmalıdır [41].



Şekil 2.5 Dikdörtgen ve yelpaze plan tiplerinde yansımaların karşılaştırılması [52]

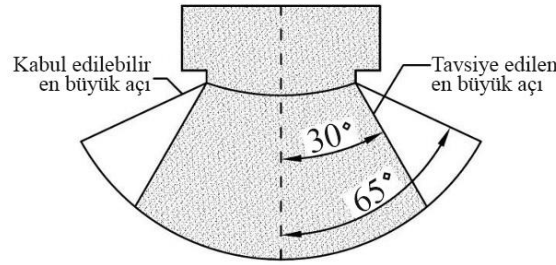
Geniş ve büyük yelpaze plan tipine sahip salonlarda dinleyici alanını ortasındaki koşullar yanal yansımaların yetersizliğinden ötürü kötüdür. Bu nedenle yelpaze açısının büyüklüğü önemlidir [36]. Benzer bir ifadeyle, yelpaze plan tipli salonlar için konuşmanın doğrultululuk özelliği göz önüne alınmalı ve duvar açıları yani yelpaze açısı buna göre saptanmalıdır [18]. İnsan sesi doğrultululuk özelliğine sahiptir ve her noktada eşit seviyede iletilemez. Bu durum konuşmacının önünde yer alan dinleyicilerin konuşmacının sesini yüksek olarak işitirken, arkasında yer alan dinleyicilerin alçak olarak işitmesi şeklinde örneklendirilebilir. Şekil 2.6’da yer alan dairesel grafikte insan sesinin doğrultululuk özelliği açıklanmaktadır [34].



Şekil 2.6 İnsan sesinin doğrultululuk özelliği [34]

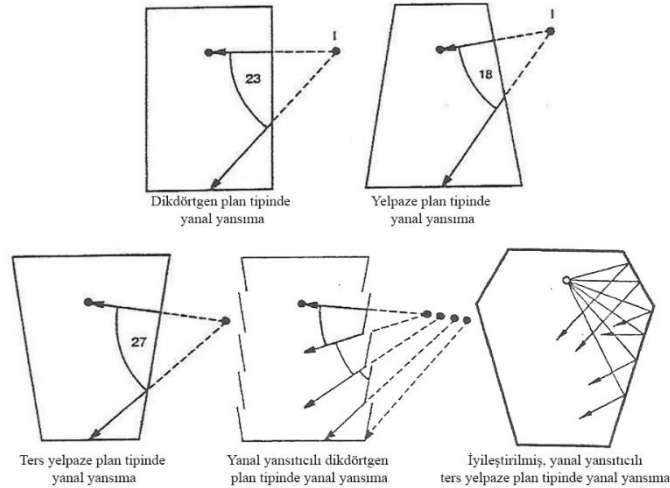
500 Hz altı frekanslardaki kalın sesler ile 4000 Hz ve üzeri frekanslardaki ince seslerin konuşmacının çevresinde oluşturdukları ses düzeyleri birbirinden farklıdır. İnce sesler 90 derecelik yan yüzeylerde yaklaşık 6 dB’lik, 180 derecelik arka yüzeylerde ise yaklaşık 24 dB’lik enerji kaybına uğramaktadırlar. Bu durum kalın sesler için, yan yüzeylerde önem arz etmeyecek kadar az miktarda ve arka yüzeylerde ancak 8 dB’lik bir azalma şeklinde olmaktadır. Bu sebeple konuşmanın anlaşılabilirliği açısından son derece önemli olan sessiz harfleri oluşturan ince

seslerin, konuşmacının arkasında işitilmesi çok daha zor ve anlaşılması güçtür. Dolayısıyla yelpaze biçimindeki salonların tasarımında yan duvarların sahne ile yaptığı açının tavsiye edilen en yüksek değeri 30 derece olmakta ve 65 dereceyi geçmemesi istenmektedir (Şekil 2.7) [53]. Bu durum konuşmanın anlaşılabilirliğinin ve uygun akustik koşulların sağlanması açısından önemlidir.



Şekil 2.7 Yelpaze plan tipi salonlar için önerilen yelpaze açısı değerleri [53]

Yelpaze plan tipli salonlarda, dikdörtgen plan tipinde olduğu gibi yararlı yanal yansımaları arttırabilmek için çeşitli tasarım yöntemlerinden bahsetmek mümkündür [36]. Dikdörtgen planlı salonlarda yelpaze plan tipine göre daha geniş açıda oluşan yansımaların ters yelpaze plan tipi ile sağlanabildiği söylenebildiği gibi, yanal yansıtıcıların uygulandığı ters yelpaze plan tipinden de bahsetmek mümkündür (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Farklı plan tiplerinde yanal yansıma alanlarının karşılaştırılması [36]

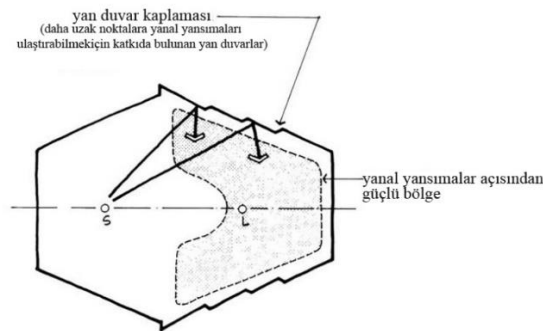
2.1.2.3 At Nalı Plan Tipi

Biçiminin temeli Barok Dönemi'ne dek uzanan at nalı plan tipli salonlar, sağladıkları kısa yansıma süresi değerleri ile opera işlevi için tercih

edilmektedirler. Açılı bir şekilde yerleşen yan ve daire biçimli arka duvarlara sahip olan bu salonların müzikal işlevlerde kullanılabilmeleri için yüksek yansım süresine sahip olması gerekir. Yüksek yansım süresinin elde edilebilmesi için hacminin büyütülmesiyle zayıf bir yansıma dokusuna erişen salon, aynı zamanda içbükey arka duvarları sebebiyle odaklanma sorunlarının oluşmasına neden olur [22]. Odaklanma sorununun önüne geçebilmek için içbükey yüzeylerin yutucu gereçler ile kaplanması faydalı olmaktadır [19]. Bu sebeple, bu plan tipi daha çok müzik ve konuşmanın birlikteliğinden meydana gelen, yani ne müzik gibi yüksek ne de konuşma gibi alçak yansım sürelerine ihtiyaç duyan opera ya da tiyatro gibi işlevler için tercih edilmektedir [18].

2.1.2.4 Elmas Kesimli (Altıgen) Plan Tipi

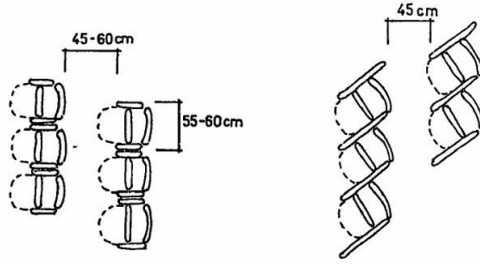
Sağladığı görsel avantaj ve yüksek yanal yansımalarla oldukça sık tercih edilen plan tiplerinden biri altıgen plan tipi literatürde “elmas” olarak da bilinir [19][41]. Bu plan tipiye, salon duvarları salonun arka bölgesine doğru daralır ve böylece dinleyici erken ve geç yansılardan yeterli düzeyde yararlanır [18]. Bu tip salonlarda yelpaze biçimli salonlara göre daha yüksek işitsel kaynak genişliği değerleri elde edilir [18]. Şekil 2.8’de yer alan “yanal yansıtıcı ters yelpaze” plan tipi aynı zamanda bir elmas (altıgen) plan biçimidir. Formun olumsuz yönlerinden biri ise, dikdörtgen plan tipinde olduğu gibi karşılıklı paralel kenarların oluşturacağı akustik kusurdur. Bunun önüne geçebilmek için düzgün altıgen formu tercih edilmemeli, edilmesi durumunda da duvar paralellikleri bozulmalıdır [54]. Bu salon tipinin iyileştirilmiş bir biçimi olarak, yan duvarların kademelendirilerek yanal yansımaların istenilen doğrultuya yönlendirilmesinin sağlandığı kademeli yanal yansıtıcı biçiminden bahsedilebilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Altıgen biçimli salonlarda yanal yansımaların ulaştığı alan [34]

2.1.3 Dinleyici Alanı Tasarımı

Salonlar konuşma ya da müzikal işlevler için kullanılmaları gözetilmeksizin dinleyicilerin sahneyi net bir biçimde görebilmelerini ve sahnedeki sesleri kesintisiz bir biçimde algılayabilmelerini sağlayacak biçimde tasarlanmalıdırlar [18]. Salonlarda görme ve işitme açılarının birbirlerine olan benzerliğinden ötürü kaynağı açık bir biçimde görebilen dinleyici, dolaysız sesten de olabildiğinde olumlu bir biçimde faydalanır [56]. Bu sebeple dinleyici alanı koltukları, tasarımı üzerinde durulması gereken başlıca konulardan biridir [41]. Koltuk oturma alanı genişliğinin önerilen büyüklüğü 55-60 cm iken iki koltuk arasındaki mesafe ise 45-60 cm arasında kabul edilebilir büyüklüklerde olmaktadır (Şekil 2.10). Koltuklar arası dirsek serbestliği istenmesi durumunda koltuklar açılı bir biçimde yerleştirilebilir [57].



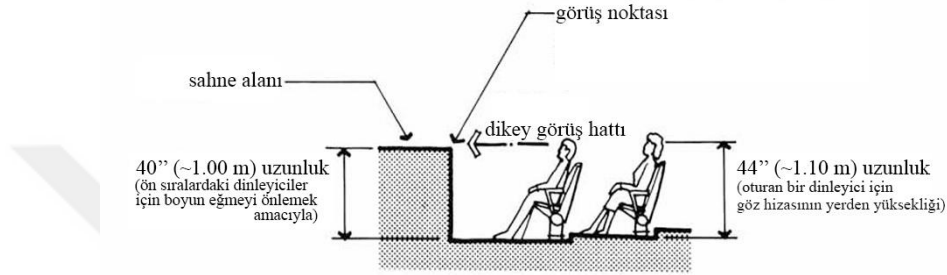
Şekil 2.10 Dinleyici alanında koltuk büyüklüğü ve yerleşimi için belirlenmiş uygun koşullar [57]

Bununla birlikte salonların işlevlerine bağlı olarak dolaysız sesin dinleyiciler tarafından işitilebilir olması için, salon boyutlarında belirli uzaklık ölçüleri bulunmaktadır. Bu ölçüler, konuşma işlevli salonlar için 25 m ve müzik işlevli salonlar için 40 m kadar olmaktadır. Bu ölçülerin aşıldığı salonlarda dolaysız seslerin dinleyiciler tarafından algılanması güçleşir [36]. Dinleyici sayısının çok fazla olduğu salonlarda, salon büyüklüklerinin uygun ölçü aralıklarına alınarak akustik koşulların sağlanabilmesi için dinleyici alanı tasarımında belirli çözüm önerilerinden bahsetmek mümkündür.

Bunlar:

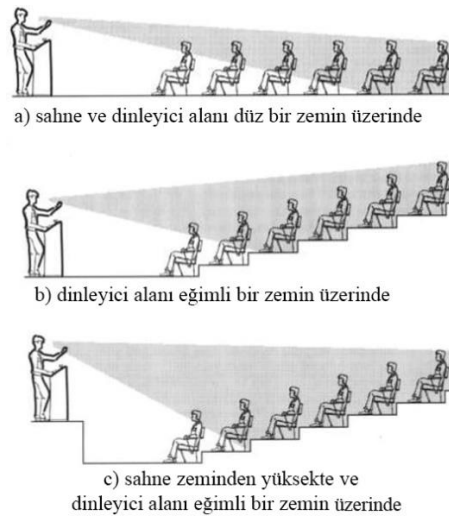
- Sahne alanının yükseltilmesi
- Dinleyici alanının eğimli olarak düzenlenmesi
- Dinleyici alanının kademelendirilerek yükseltilmesi
- Balkon tasarımı [18].

Sahne alanının yükseltilmesi, icracının dinleyici alanına göre daha yüksekte yer alan bir zeminde bulunması anlamına gelmektedir. Oturan bir dinleyici için göz hizası yüksekliği yerden 1,10 m büyüklüğündedir (Şekil 2.11). Dinleyicilerin sahne yüzeyini görebilmelerini sağlamak için sahnenin bulunduğu platformun yüksekliğinin yaklaşık 1,00 m büyüklüğünde olması önerilmektedir [34]. Sahne yüksekliğinin daha alçak veya yüksek olması halinde dinleyiciler başlarını eğmek ya da kaldırmak durumunda kalacakları için konfor koşullarını bozan rahatsız edici bir sonuç ortaya çıkabilmektedir [18].



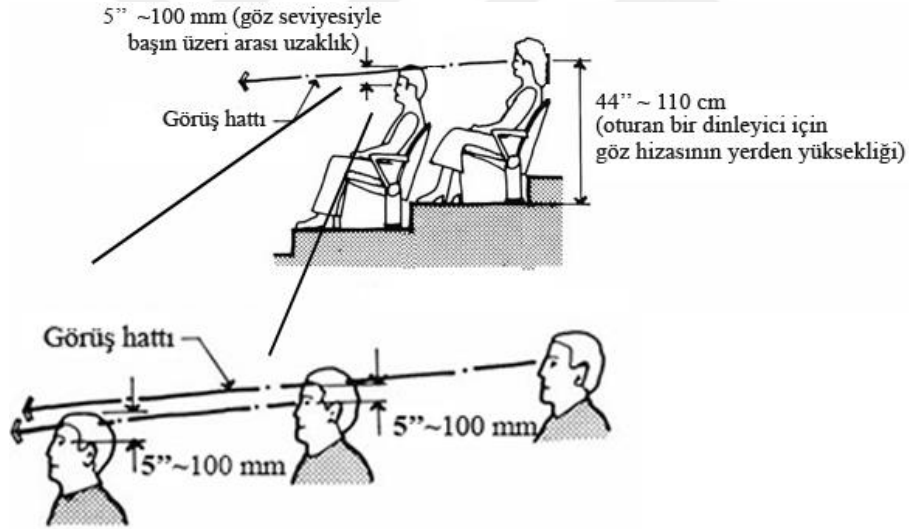
Şekil 2.11 Sahne alanı için uygun yüksekliğin belirlenmesi [34]

Sahne alanının yükseltilmesi görüş açısıyla ilgili bir öneri iken, diğer öneriler dinleyici kaynak arasındaki uzaklığı azaltmak ve dolaysız sestən olabildiğinde fazla miktarda yararlanabilmek amacıyla sunulmuş önerilerdir. Bazı salonlarda sahne ve dinleyici alanının düz bir zemin üzerinde konumlandırılarak tasarlandığı görülürken; bazılarında ise sahne alanının yükseltildiği ve/veya dinleyici alanının eğimli olarak düzenlendiği görülebilmektedir (Şekil 2.12).



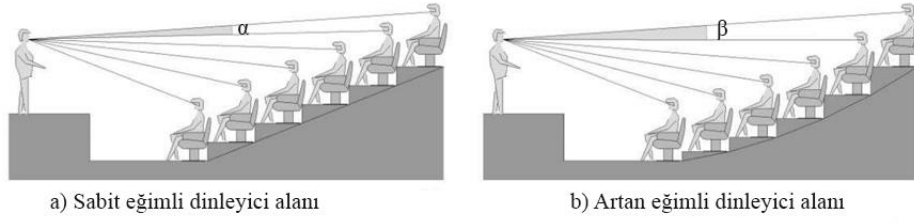
Şekil 2.12 Salonlarda sahne-dinleyici alanı ilişkisi [36]

Dinleyici ve sahne alanının düz bir zemin üzerinde yer aldığı salonlarda dinleyici ve sahne arasındaki uzaklığın artışına bağlı olarak ses düzeyi azalır ve ses dinleyiciler tarafından yutulmuş olur [18]. Bu sebeple de salonun arka kısımlarında konumlanan dinleyiciler için uygun akustik konfor koşullarını sağlanamaz. Dinleyiciler 12 m'lik uzaklık itibariyle sahnedeki icracının mimiklerini, 20 m'lik uzaklık itibariyle jestlerini ve 30 m'lik uzaklık itibariyle de beden hareketlerini net seçmekte zorlanmaktadırlar [18]. Aynı zamanda konuşma işlevinin gerçekleştirilmesi durumunda, 9 ila 12 m'lik uzaklıklar sonrasında konuşmanın anlaşılabilirliği azalmakta ve dolayısıyla sahne son dinleyici arasındaki uzaklıkların bu büyüklükleri aşmaması istenmektedir [36]. Bu sebeplerden ötürü dinleyici ve sahne alanının düz bir zemin üzerinde konumlandırıldığı salonlarda dinleyici sayısı sınırlı kalmaktadır. İcracının yüksek bir platformda bulunması, ses enerjisinin dinleyiciler tarafından yutulmasını azaltarak, arka koltuklara ulaşan miktarın artmasını sağlar (Şekil 2.12).



Şekil 2.13 Kademeli zemin tasarımında dinleyici görüş hattının belirlenmesi [34]

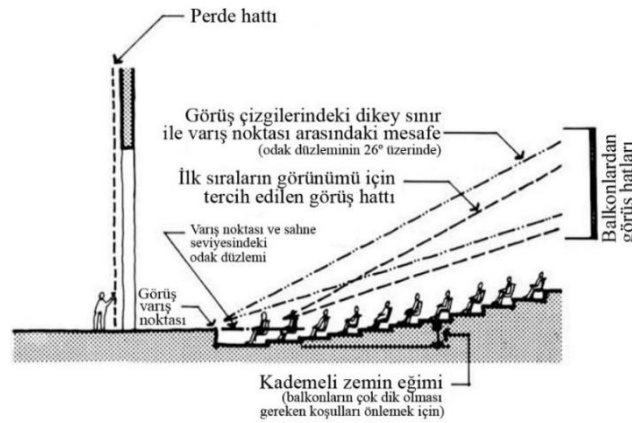
Sabit eğimle yükselen bir kademelendirme sisteminde, dinleyici alanının arka sıralarına doğru gidildikçe işitme açısı küçüldüğünden dolaysız ses, ön sıralarda daha fazla yutularak arka sıralara ulaşır. Artan bir eğimle kurgulanmış kademelendirme sistemi ise işitme açısının her kademe bölgesi için eşit büyüklüklerde olmasına olanak tanır ve dolaysız sesi daha az yutulma sağlayarak arka sıralara ulaştırır (Şekil 2.14). Her sıradaki dinleyici eşit görme ve işitme açılarına sahip olur [56].



Şekil 2.14 Sabit ve artan eğimli dinleyici alanında işitme açıları ($\alpha < \beta$)

Balkonlar büyük salonlarda arka koltuklara olan mesafeyi azaltmak ve oturma kapasitesini arttırmak için kullanılabilir. Dar salonlar sık balkonlarla optimum samimiyeti sağlayabilir fakat burada balkon altı dinleyicilerin akustik konforu düşünülmelidir [34]. Balkon altı tasarımının uygun koşullarda olmadığı durumlarda akustik gölge oluşması muhtemeldir.

Zemin ve balkon eğimleri, dinleyicilerin tüm sahne alanını, dekorları ve icracıları herhangi bir engel ile karşılaşmadan görebileceği bir biçimde tasarlanmalıdır. Balkonların zemin eğimi 26°'den büyük olmamalıdır ve baş dönmesinin önlenmesi için yüksekliği 20 m'yi geçmemelidir (Şekil 2.15). İlk birkaç sıranın balkondaki dinleyiciler tarafından görünmesi topluluk hissine ulaşabilmek adına olumlu olabilmektedir [34].



Şekil 2.15 Balkon tasarımı için önerilen parametreler [34]

Balkon tasarımı sırasında yankı veya uzun gecikmeli yansımaları önleyebilmek amacıyla, ses yutucu yüzey gereçleri kullanılabilir, sahneye bakan yüzey eğimlenerek sesin yakındaki izleyicilere doğru yansıtılması sağlanabilir ve konveks biçimler yardımıyla ses dağıtılabilir [34]. Sahnede yer alan icracılar, balkon altını görebilecek görüş hattına sahip olmalıdırlar.

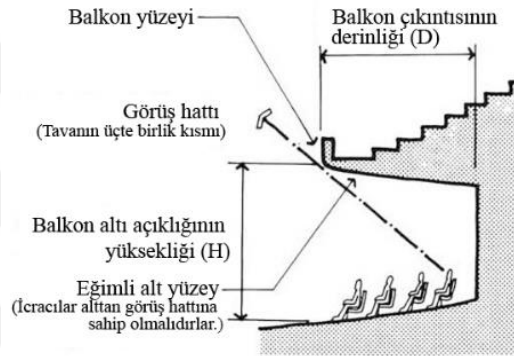
Bir konser salonu için balkon çıkıntısı derinliğinin (D), açıklık yüksekliğinden (H) büyük olmaması istenir.

$$D < H \quad (2.2)$$

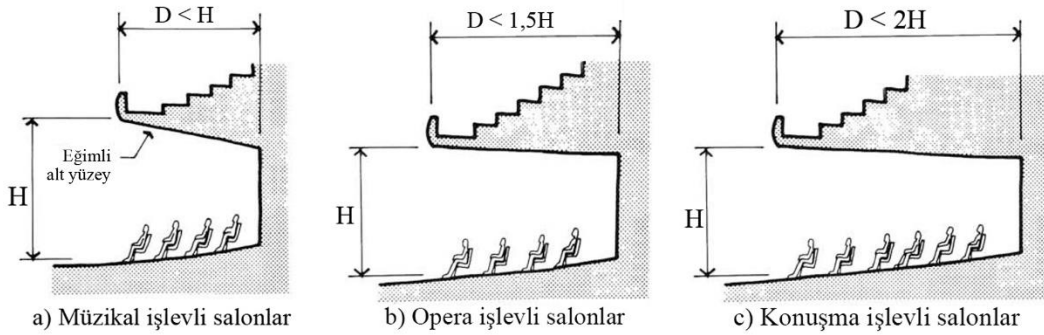
Bu büyüklük opera işlevi için ise aşağıdaki gibidir [34]:

$$D < 1,5H \quad (2.3)$$

Bu derinlik ölçütü kısıtlaması ile yansıyan seslerin arka koltuklarda yer alan dinleyicilere ulaşması sağlanmaktadır. Aynı zamanda balkon tabanı, alt katta yer alan dinleyicilerin yansılardan iyi bir biçimde yararlanmalarını sağlayabilmek ve balkon altı hacmini salon hacmiyle bütünleştirebilmek için eğimli olmalıdır (Şekil 2.16) [34].



Şekil 2.16 Balkon tasarımında önerilen parametreler [34]

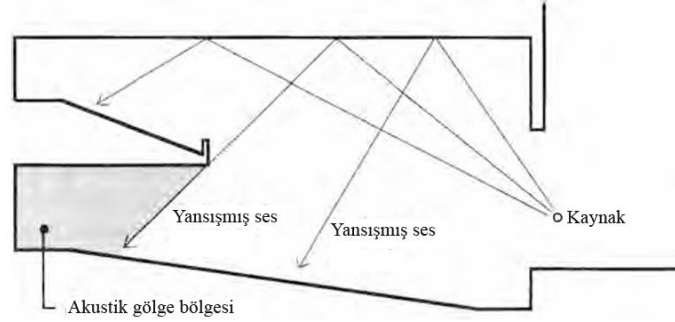


Şekil 2.17 Farklı işlevli salonlarda balkon altı derinliği ve yükseliği sınırları [34]

Konuşma işlevli salonlar için balkon altı derinliğinin dar olduğu kullanımlar sesin çok sayıda yansıma yaparak kaynak yönünün algılanmasını güçleştirmesine neden olabilir ve yankı sorununu ortaya çıkarabilir. Bu sebeple konuşma işlevli salonlar için balkon altı derinliği ve balkon yüksekliği arasında önerilen sınır değeri aşağıdaki gibidir ve Long'a göre [40], bu değer opera için de geçerlidir.

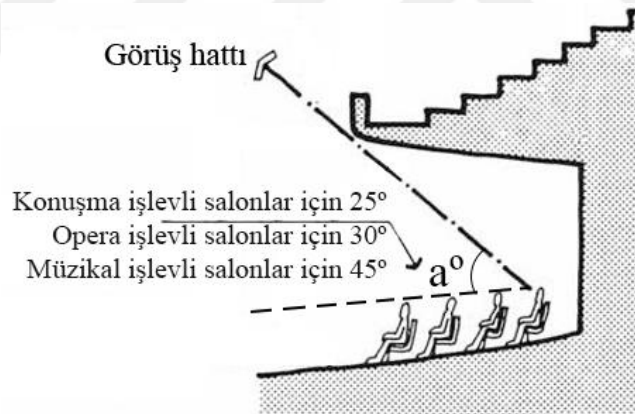
$$D < 2H \quad (2.4)$$

Aynı zamanda balkon altı derinliğinin çok fazla olduğu durumlarda akustik gölge bölgeleri oluşmaktadır (Şekil 2.18). Bu bölgelerin oluşmasını önlemek adına balkon altı derinliklerinin $2H$ 'ı aşmaması önemlidir.



Şekil 2.18 Salonlarda akustik gölge bölgelerinin oluşması [53]

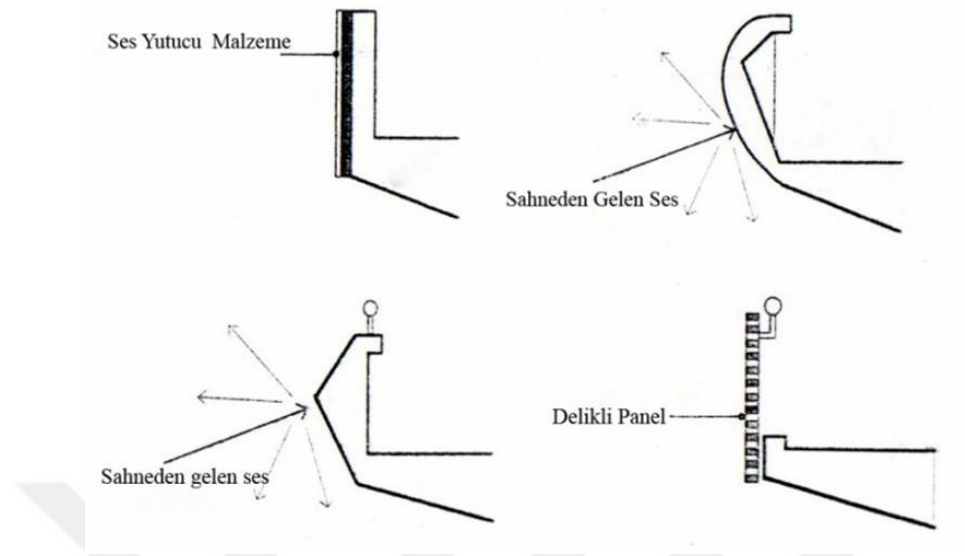
Barron'a göre, balkon altında yer alan dinleyiciler ile balkon altı sınırı arasındaki açının müzikal işlevli salonlar için 45° 'den; opera işlevli salonlar için 30° 'den ve konuşma işlevli salonlar için ise 25° 'den fazla olmaması gerekmektedir [19].



Şekil 2.19 Balkon altı dinleyicileri için farklı işlevlere göre görüş hattı açıları [19]

Balkon parapeti ise ses kalitesini etkileyen yansımaları önleyebilecek biçimde veya sesin hacim içerisinde dağılmasını sağlayabilecek biçimde tasarlanmalıdır. Salon formunun yelpaze veya at nalı gibi içbükey yüzeyleri barındıracak geometrilere sahip olması durumunda, balkon parapetinin içbükey biçimde tasarlanmaması önerilmektedir. Böyle bir tasarım akustik kusurlardan biri olan odaklanma kusurunun oluşmasına neden olabilmektedir [41]. Yanlış tasarlanan balkon parapetleri, öndeki dinleyiciler için akustik bir kusur olan yankıya sebep

olmaktadır. Parapet yüksekliği, konuşma frekansının dalga boyundan daha uzun olmalıdır [55].



Şekil 2.20 Farklı biçimde balkon parapetlerinde sesin davranışları [55]

2.1.4 Sahne Tasarımı

Salonlarda akustik performansın belirleyicisi olan alan sahnedir [23]. Ses kaynağının çıkış noktası olan sahne, müzisyenlerin birbirlerini net olarak duyacağı ve dinleyicilerin deneyimlerine yakın büyüklüklerde yansısim alacağı şekilde tasarlanmalıdır [56].

Akustik açıdan iyi bir sahne;

- Enstrümanlardan çıkan sesleri toplamalı,
- Sesleri sahnede harmanlamalı,
- Sesleri dinleyici alanına yüksek ses kalitesi ile iletmeli
- Ses enerjisinin bir bölümünü icracılara geri göndermelidir [36].

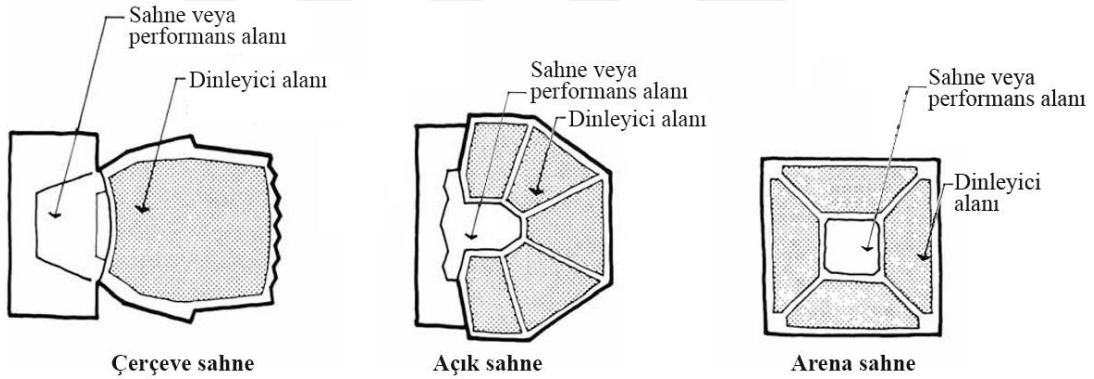
Eserlerin düzgün icrası, icracıların sahne üzerinde işittikleri ile ilişkili olduğundan sahne, icracıların birbirlerini düzgün duymalarını sağlamak durumundadır. Bununla birlikte icracıların sahnede rahat bir biçimde konumlanması salonun akustik durumunu etkileyecek önemli bir unsurdur [56]. Beranek [58] icracı başına 1,9 m²'lik bir sahne alanı önermektedir fakat Barron [19] tarafından bu miktar keman çalan icracılar için oldukça cömert bir miktar olarak görülmekte ve toplam platform alanını tahmin etmek için ortalama bir rakam olarak önerilmektedir. Barron [19] ise bu değerleri,

- Küçük yaylılar ve nefesliler için 1,25 m²,
- Büyük yaylılar ve nefesliler için 1,5 m²,
- Kontrbaslar için 1,8 m² ve
- Timpani için 10 m² olarak belirlemiştir.

Ayrıca 100 kişilik bir orkestra için yaklaşık 150 m²'lik bir alana ihtiyaç duyulacağını belirterek, icracı başına 1,5 m²'lik bir sahne alanını önermiştir [19].

Sahne tasarımında amaç icracı ve dinleyici arasındaki bağlantının doğru kurgulanmasını sağlamaktır. Bu kapsamda pek çok sahne biçimi denenmiştir, en çok kullanılan sahne tipleri,

- Çerçeve (Proscenium) sahne,
- Açık (Çevreli) sahne,
- Arena sahne [34] (Şekil 2.21),
- Değişken sahne biçimindedir [55].



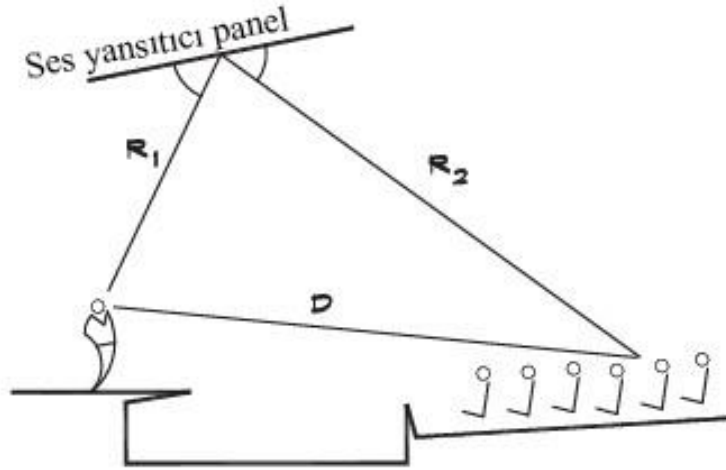
Şekil 2.21 Sahne tipleri ve dinleyici alanıyla ilişkisi [34]

2.1.5 Tavan Tasarımı

Salon tasarımında ele alınması gereken bir diğer önemli konu da tavan tasarımıdır. Tavan tasarımı yansıyan seslerin salonun arka kısımlarına ulaştırılabilmesi için oldukça önemlidir. Örneğin, konuşma işlevli salonlarda konuşmanın anlaşılabilirliğinin sağlanabilmesi için dinleyicilere erken yansımaların yönlendirilmesi gerekmektedir ve bunun için tavana uygun yansıtıcı paneller yerleştirilmelidir. Yerleştirilen bu paneller aracılığıyla dolaysız sesten sonra gelen erken yansımalar dinleyicilere yönlendirilir ve erken ses düzeyinin yükselmesi sağlanır. Böylece erken ses düzeyinin yükselmesiyle, geç sesler için daha az enerji kalır. Bu durum ise konuşmanın anlaşılabilirliği açısından aranan olumlu bir

sonuçtur. Geç seslerin enerjilerinin yüksek oluşu, yansıma süresi değerinin de yüksek olduğu anlamına gelir ve bu da müzik için istenen bir durumdur çünkü müziğe doygunluk kazandırır. Gereğinden yüksek yansıma süresinin bulunduğu salonlar için konuşmanın anlaşılabilirliğinden ve müziğin netliğinden bahsedilemez. Tavan tasarımı, erken ses enerjisini etkilemesi ve erken ses enerjisi oranının da pek çok parametre üzerinde etkili olması sebebiyle üzerinde çalışılması gereken önemli bir konudur [18].

Tavanda yer alan yansıtıcıların dışbükey, doğrusal veya hareket edebilir nitelikte tasarlanması ve uygun ölçütlerle uygulanmış olması hem işitsel hem de görsel açıdan olumlu sonuçlar vermektedir (Şekil 2.22). Bu yansıtıcı yüzeyler aynı zamanda dolaysız ses ile yansımış sesler arasındaki zaman gecikmesi farkını en aza düşürme işlevini üstlenmektedirler. Bu noktada dolaysız ses ile yansımış ses arasındaki zaman farkının uzunluğu, yankı denen akustik kusurun oluşmasına sebep olabilmektedir (Şekil 2.23) [62].



Şekil 2.22 Düz tavan paneli tasarımı [40]

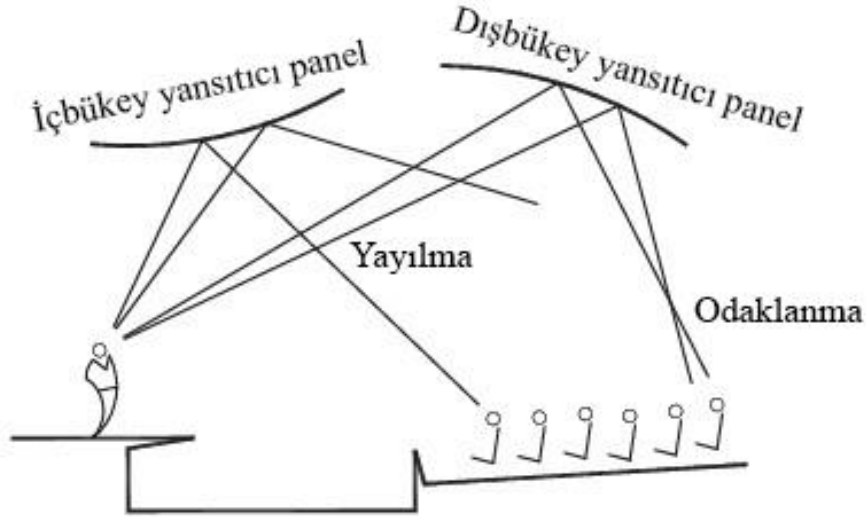
Dolaysız ses ile yansımış ses arasındaki zaman gecikmesi farkı aşağıda yer alan bağıntı ile hesaplanabilmektedir [40].

$$T = \frac{(R_1 + R_2 - D)}{0,34} \quad (2.5)$$

T : Zaman gecikmesi (ms)

$R_1 + R_2$: Yansıma mesafesi (m)

D : Kaynak – dinleyici uzaklığı (m)



Şekil 2.23 İçbükey ve dışbükey tavan paneli tasarımı [40]

Ses, salon içerisinde tavana çarparak dinleyiciye ulaşmaktadır. Bu nedenle, tavan sesi homojen bir biçimde dağıtabilmek için salon formuna göre doğru bir biçimde seçilmelidir [23]. Salon tavanları için,

- Düz tavan,
- Kademeli düz tavan,
- Parçalanmış tavan,
- İçbükey tavan ve,
- Dışbükey tavan biçiminde kullanımlar mevcuttur.

Dışbükey, kademeli ve parçalı tavan tasarımları en sık tercih edilenleridir.

Tavan şekli ve yüksekliği, salonun kullanım amacına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin Şekil 2.24'te yer alan düz tavanın bir salonda tüm dinleyici alanını kapsayan faydalı ses yansımaları sağladığı görülmektedir. Aynı şekilde, tavanda yapılan yönlendirme ile faydalı tavan yansımalarının alanı arttırılmakta ve böylece orta ve arka kısımlarda yer alan dinleyiciler iki tavan düzleminden de yansımaları almaktadırlar [34].

Salonlarda ortalama tavan yüksekliği H , orta frekanslı yansıma süresi RT ile yaklaşık olarak ilişkilendirilebilir:

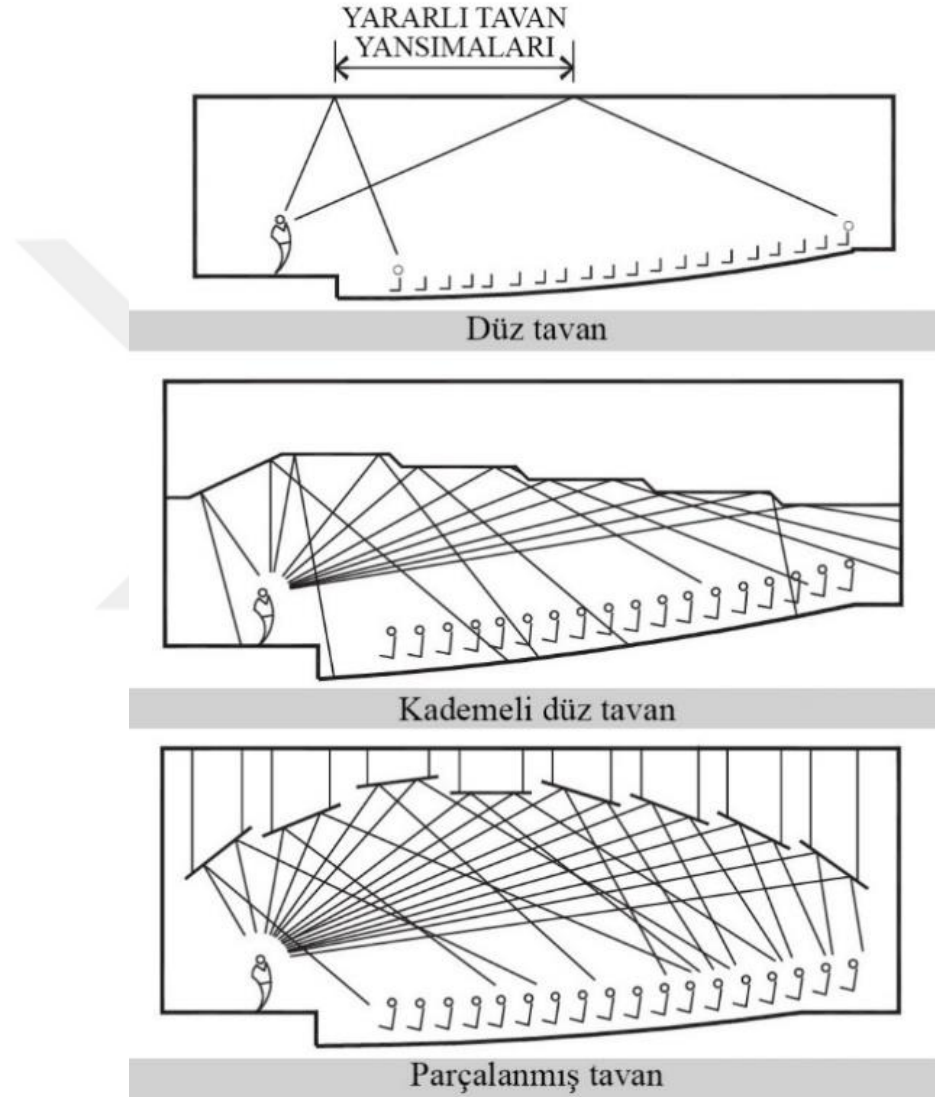
$$H = 20 \times RT \quad (2.6)$$

H : Tavan yüksekliği (m)

RT : Orta frekanslı yansıma süresi (sn)

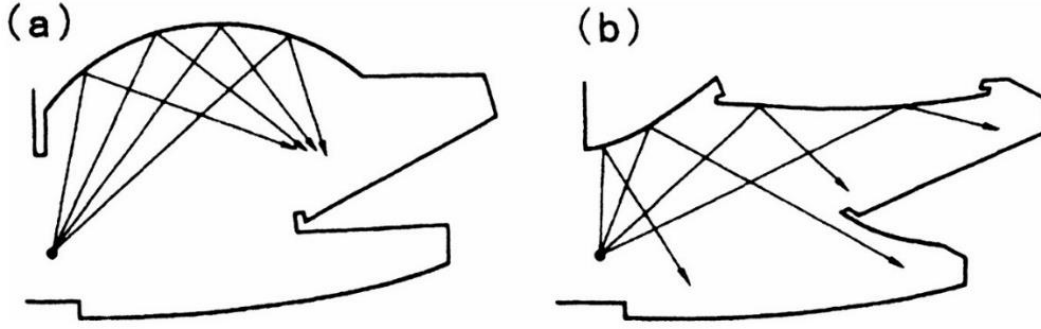
Ayrıca; konuşma işlevli salonlar için alçak tavanların, müzikal işlevli salonlar için ise yüksek tavanların tercih edilmesi önerilmektedir [23].

Düz tavan tasarımları, tavan yüzeyinden tüm dinleyicilere yararlı yansımaların ulaştırıldığı koşullarda kullanılabilir. Tüm dinleyicilere yararlı yansımaların ulaştırılamadığı veya tasarımın gelişmesinin istendiği koşullarda tavan kademelendirilebilir, parçalanabilir ve yüksekliği arttırılabilir (Şekil 2.24) [40].



Şekil 2.24 Düz, kademeli ve parçalanmış tavan uygulamaları [40]

Tavan tasarımında düz biçimlerin yanında, içbükey ve dışbükey biçimlerin kullanılması da mümkündür [39]. Ancak, içbükey tavan biçiminde akustik kusurlardan biri olan odaklanma meydana gelebilmektedir. Bu sorun dışbükey biçimlerin salonda kombinasyonu ile çözümlenebilmektedir [60].



Şekil 2.25 İçbükey ve dışbükey tavan tasarımları (a:içbükey, b:dışbükey) [39].

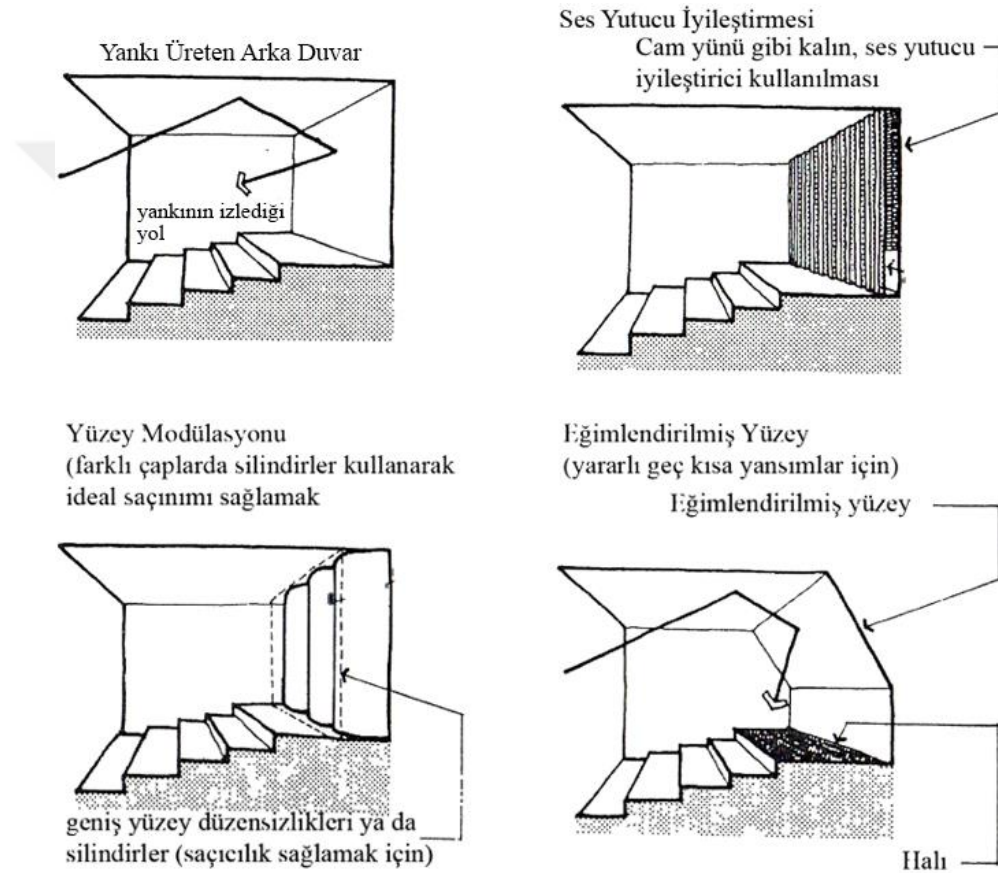
2.1.6 Arka ve Yan Duvarların Tasarımı

Salonların işlevlerine uygun akustik konfor koşullarını sağlayabilmesi için salon içerisinde uygun yansıma alanlarının oluşması önemlidir [41]. Konuşma gibi bir işlev için yan duvarlar aracılığıyla oluşturulmuş yansımalar, müzik işlevinde olduğu kadar önem taşımaz. Bu noktada salonun kullanım amacına yani barındırdığı işleve göre yanal yansımaların ne derece etkili olduğu belirlenebilmekte ve yan duvarlar bu kapsamda tasarlanabilmektedir. Salon formları arasında karşılıklı gelen duvarların oluşturduğu dar ve paralel yüzeyler çok yoğun yansıma alanları oluşturur ve bu yansımalar arka kısımlara geç ulaştığı için bu bölgelerde yankı akustik kusurunu oluşturur [23].

Ses, düzgün veya dağınık yansıma yapabilmektedir ve bu yüzey gerecinin özelliklerine göre değişebilmektedir. Ses pürüzsüz bir yüzeye çarptığında düzgün yansıma yaparken, pürüzlü ve düzensiz yüzeylere çarptığında dağınık yansıma yapmaktadır ve dağınık yansıma aracılığıyla sesin hacim içerisinde homojen dağılımı sağlanabilmektedir. Tamamen pürüzsüz yüzey kullanımı sert ses yansımalarına neden olmakta ve müzikal işlevli salonlar için bu durum istenmeyen negatif bir etki oluşturmaktadır [23]. Tam tersi, tamamen pürüzlü yüzeylerle oluşturulmuş dağınık yansımaların sağlandığı salonlar da sesin her noktadan geldiği hissini oluşturarak kaynak noktasının algılanmasını güçleştirir ve bu durum konuşma işlevinin gerçekleştirilmesi halinde akustik açıdan olumsuz bir etki yaratır. Yan ve arka duvarlarda sesin hacim içerisinde homojen ve doğru bir biçimde algılanabilmesi için yüzey gereçlerinin; salonun işlevi dikkate alınarak dengeli düzeylerde yansımalarla zemin oluşturacak, düzgün veya yayınlık yansıma yapacak nitelikte tasarlanması gereklidir [63].

Düz ve yansıtıcı yüzey gereci kaplı arka duvarlar; orta ve geniş büyüklükteki salonlarda yankı, istenmeyen ve geciken yansımalar, kaynak yakınında odaklanma gibi akustik kusurları meydana getirebilmektedir [55]. Bu kusurların önüne geçebilmek için salon içerisinde bazı önlemler alınabilmektedir. Bunlar:

- Arka duvarlar ses yutucu malzeme ile kaplanabilir [13].
- Arka duvar ve tavan arasındaki köşe pahlanabilir [55].
- Dağıtıcılık sağlayabilmek için duvar yüzeylerine farklı çaplarda silindirler kaplanabilir [53].



Şekil 2.26 Arka duvarda akustik kusurları önlemek için yapılan uygulamalar [13]

2.2 Hacim Akustiği Parametreleri

Kapalı bir hacim içerisinde sesin her yöne eşit dağılmasının ve ulaşmasının kendi kendine gerçekleşmesi beklenemez [41]. Mimaride akustik tasarım kavramının ve mekânlar için ihtiyaç duyulan akustik konfor gereksinimlerinin ve parametrelerinin ortaya çıkışı bundan olabilir [41].

Akustik konfor gereksinimleri yani parametreler, mekânın işlevine göre değişkenlik göstermektedir. Konuşma işlevinin gerçekleştiği bir mekânda anlaşılabilirlik, netlik gibi kavramlar oldukça önemliken; müzikal işlevlerin gerçekleştirildiği salonlarda sesin canlılığı, sıcaklığı önemlidir. Benzer bir örnekle, konuşma işlevli salonlarda kaynağın yönünün ve bulunduğu noktanın dinleyici tarafından algılanabilir olması istenirken, müzikal işlevli salonlarda dinleyici ses tarafından sarmalanma ihtiyacı hissederek.

Bir mekânda akustik kaliteden bahsederken yalnızca dinleyicilerin akustik konfor beklentilerine yanıt verebilen parametrelerden bahsedilmez [41]. İcracıların da salondan beklediği akustik konfor gereksinimleri bulunmaktadır. İcracıların birbirlerinin sesini duyabilmeleri, bir arada ve kaliteli bir icra gerçekleştirebilmeleri salon akustiğinin uygun koşullarda sağlanabilmesi açısından önemlidir. Herbert von Karajan, 1943'te yapılan Berlin Staatsoper salonu için yazdığı eleştirisinde de benzer bir durumdan bahsederek, salon akustiğinin icracıların iyi birer icra sergilemeleri hususunda yetersiz kalarak uygun parametreleri sağlayamadığını söylemiş ve şöyle demiştir: “Gerçekleştirdiğim dört konserin ardından şu sonuca varmak zorunda kalıyorum ki bu kurulum içerisinde benden beklenen performansı gerçekleştirmem mümkün değildir.” [64].

Salonlarda akustik konforun sağlanması adına kullanılan parametreler öznel ve nesnel olmak üzere iki grupta ele alınmaktadırlar [18]. Uzun bir dönem öznel parametreler yardımıyla değerlendirmeler yapılmışsa da öznel parametreler, değerlendirme yapan dinleyicinin işitsel yetisine, hassasiyetine, yaşına, eğitime ve psikolojisine göre değiştiğinden nesnel parametrelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Nesnel parametrelerin geliştirilmesi ise ancak modern akustiğin gelişmesi ve teknolojinin ilerlemesi ile sağlanabilmiştir [18]. Nesnel parametreler, dinleyicilerin değişkenlik gösteren beğenilerine bağlı olarak ortaya konan öznel parametreleri bilimsel bir biçimde ölçmeye ve değerlendirmeye olanak tanımaktadırlar. Böylece salonların akustik tasarımında, bilimsel verilerin elde edilmesi mümkün olmaktadır [18]. Bilimsel veriler kişiler arasında farklılık göstermeyeceklerinden ve herkesçe kabul edilebilir olduklarından, hacim akustiği parametreleri için önce nesnel parametreleri anlamak ve tanılamak; ardından nesnel parametrelerin ışığında öznel parametreleri kavramak daha doğru bir yaklaşım olacaktır [18].

2.2.1 Nesnel Hacim Akustiği Parametreleri

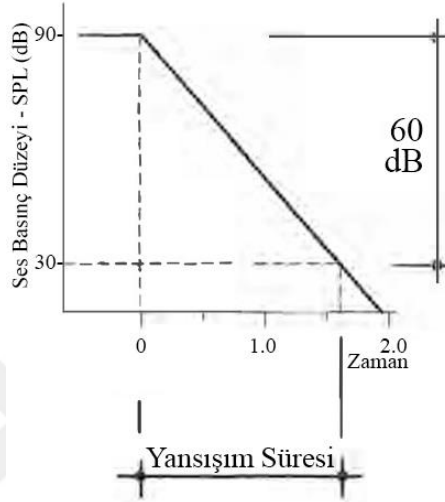
Salonun akustik konfor gereksinimlerine yanıt vermek üzere geliştirilen nesnel parametreler; ses enerjisinin gelişme ve sönme bölümleri, basınç düzeyi, yanal yansımalarla ilişkisi ve konuşmanın anlaşılabilirliğine bağlı olmak üzere beş alt başlıkta incelenebilirler. Bunlar aşağıda yer aldığı biçimiyle gruplandırılabilirler [18].

- Ses Enerjisinin Gelişme Bölümü ile İlişkili Parametreler
 - Açıklık – Definition (D_{50}) [36]
 - Netlik – Clarity (C_{50}/C_{80})
- Ses Enerjisinin Sönme Bölümü ile İlişkili Parametreler
 - Yansıma Süresi – Reverberation Time (RT)
 - Erken Düşme Süresi – Early Decay Time (EDT)
- Ses Basınç Düzeyi ile İlişkili Parametreler
 - Güç / Toplam Ses Düzeyi – Strength /Total Sound Level (G)
- Konuşmanın Anlaşılabilirliği ile İlişkili Parametreler
 - Sinyal Gürültü Oranı – Signal Noise Ratio (S/N) [70]
 - Konuşma İletim İndeksi – Speech Transmission Index (STI)
 - Arka Plan Gürültüsü – Noise Criteria (NC) [70]
 - Varlık Etkisi [36].

2.2.1.1 Yansıma Süresi – Reverberation Time (RT)

Ses kaynağının açılmasıyla dolaysız ses, ilk yansımalar ve yansımış sesler hacmi doldurur. Salonda yer alan yüzeyler, mobilyalar, insanlar vb. gereçler aracılığıyla yansıyan ve yutulan seslerin düzeylerindeki eşitlenme ile hacim içerisinde bir denge konumuna ulaşılır ve ses kaynağı açık kaldığı sürece ses düzeyinde bir değişim gözlemlenmez. Ses kaynağı kapatıldıktan sonra ise ses düzeyi zamanla azalmaya başlar. Bu azalma süresi hacmin yansıtıcılık ve yutuculuk özelliğine göre değişkenlik gösterir, bazı hacimlerde daha kısarken bazı hacimlerde daha uzundur. Bir hacimde yer alan yansımış ses hacmin herhangi bir yüzeyine çarparak geri yansıdığında karşılaştığı yüzeyin yutuculuk özelliğine bağlı olarak enerjisinin bir bölümünü kaybeder. Birbirini takip eden yansımaların ardından ses, enerjisinin büyük bir bölümü kaybederek söner [18]. Yansıma süresi ise, bir ses kaynağının kapatılmasından sonra sesin 60 dB azalmasına ya da enerjisinin milyonda bire

düşmesine kadar geçen süreyi ifade eder (Şekil 2.27) [34]. Pratikte ise, -5 ile -35 dB arasındaki 30 dB’lik düşüşün iki katını ifade etmektedir [53]. Yansıma süresinin, ses kaynağının çıkardığı sesin gücü 60 dB’lik düşüşü gözlemlemeye yetecek kadar yüksek olmasa dahi tespit edilebilir olduğu bilinmelidir çünkü yansıma süresi 125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz oktav bantlarının ortalarına denk gelen belirli frekanslar için tespit edilebilmektedir [49].



Şekil 2.27 Yansıma süresi [53]

Yansıma süresi, 1895-1900 yılları arasında Walter C. Sabine tarafında ortaya konulan bir kavramdır [34]. Yapımı 1895 yılında tamamlanan “Yeni Fogg Sanat Müzesi” oditoryumunda konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili oluşan akustik problemlerin çözümü için Sabine’e başvurulması neticesinde, Harvard Üniversitesi’nin üç oditoryumunda Sabine tarafından yapılan çeşitli deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu deneylerden birinde Sabine, çalıştığı oditoryuma 7 ila 8 cm aralığındaki kalınlıklarda yastıklar getirmiş, hacimdeki yastık sayısının artmasıyla yansıma süresinin düştüğünü saptamıştır. Çalışmanın başında 5 sn’lik yansıma süresi bulunan hacme, 550 adet yastık yerleştirilmesiyle süre 1 sn’ye kadar azaltılmıştır. Sabine yaptığı çalışmaların sonucunda malzemelerin ses yutuculuklarıyla ilgili bir teori ortaya koymuş, bu yutuculukların sesin azalması ile ilişkisine değinmiş ve hacimdeki yansıma süresinin saptanmasıyla ilişkili bir formül geliştirmiştir [40].

$$RT = 0,16 \times V / \sum A \quad (2.7)$$

$$\sum A = A_y + A_h + A_b \text{ ve,} \quad (2.8)$$

$$A_y = (S_1 \times \alpha_1) + (S_2 \times \alpha_2) + (S_3 \times \alpha_3) + \dots + (S_n \times \alpha_n) \quad (2.9)$$

eşitliği biçiminde ifade edilir [15]. Burada bahsedilen,

RT: Yansıma süresi

V: Hacim

$\sum A$: Hacmin toplam yutuculuğu

A_y : Hacmin yüzeylerinin toplam yutuculuğu

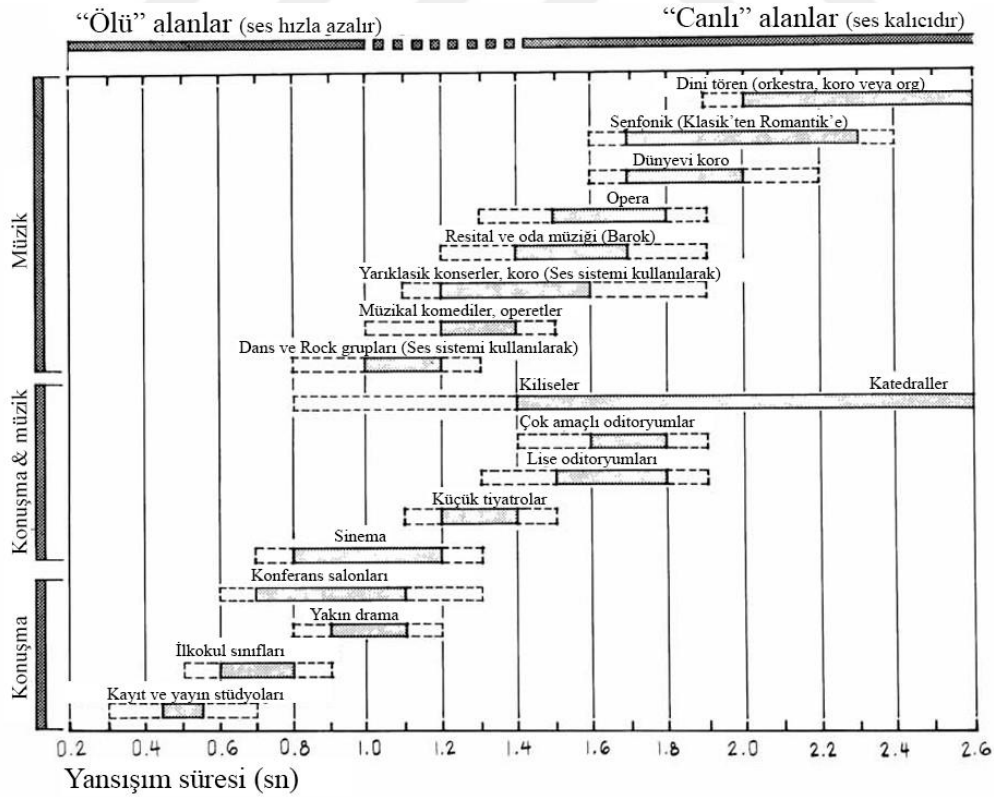
S_n : n malzeme ile kaplı yüzeyin alanı (m^2)

α_n : n malzeme ile kaplı yüzeyin ses yutma katsayısı

A_h : Hacimdeki havanın toplam yutuculuğu

A_b : Hacimdeki bireylerin toplam yutuculuğu

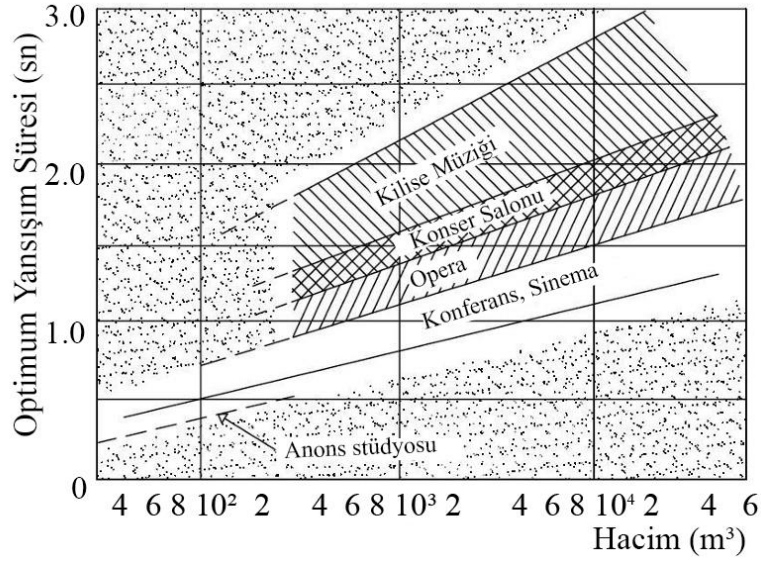
Yansıma süresi hacmin büyüklüğüne ve kullanım amacına yani barındırdığı işleve göre değişiklik göstermektedir. Farklı işlevler için farklı yansıma süresi önerileri bulunmaktadır (Şekil 2.28) [34].



Şekil 2.28 İşleve bağlı önerilen yansıma süreleri [34]

Şekil 2.28’de görülebildiği gibi konuşma işlevli hacimler için önerilen yansımam süresi değeri 0.2 ile 1.3 sn aralığında, niteliğe bağılı olarak değışmektedir. Müzikal işlevli hacimler için ise bu değeri, müzikal işlevin niteliğine göre 0,8 ile 2,6 sn arasında değışmektedir.

Benzer bir biçimde, hacim büyüklüklerine bağılı olarak önerilen optimum yansımam süresi değeri de bahsetmek mümkündür (Şekil 2.29).



Şekil 2.29 Hacmin büyüklüğü ve işlevine bağılı önerilen yansımam süreleri [39]

Barron’a göre, 500 Hz frekansı için konuşma işlevli salonlarda 0,7-1,0 sn aralığında yansımam süresi değeri kabul edilebilir olurken, bu değeri müzikal işlevli salonlarda 1,8-2,2 sn aralığında olmaktadır (Tablo 2.2) [19].

Tablo 2.2 Müzik türüne bağılı olarak önerilen yansımam süreleri [40]

Müzik Türü	Yansımam Süresi (sn)
Org müziği	>2,5
Romantik klasik müzik	1,8-2,2
Erken klasik müzik	1,6-1,8
Opera	1,3-1,8
Oda müziği	1,4-1,7
Drama, tiyatro	0,7-1,0

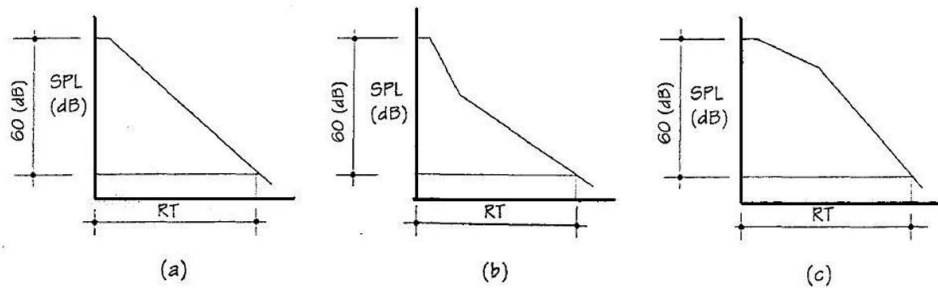
2.2.1.2 Erken Düşme Süresi – Early Decay Time (EDT)

Erken düşme süresi, yansımam süresinden farklı olarak ses kaynağı kapatıldıktan sonraki ilk 10 dB’lik düşüş için geçen süreyi göz önüne alır ve tıpkı yansımam

süresinde olduğu gibi ses enerjisinin sönmesi ile ilişkili parametrelerden biridir [41][18]. Sesin düzgün yayıldığı bir salon için RT ve EDT değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğunu söylemek mümkündür [18]. Öznel yansıım açısından EDT'nin RT'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir [19].

Erken Düşme Süresi hacimdeki ses düzeyinin 0'dan -10 dB'e düşmesi için geçen süresinin 6 katına eşittir [53]. Bunun nedeni 10 dB'lik erken sönme süresinin yansıım süresi için gerekli olan 60 dB'lik düşüşün altıda biri olması şeklinde açıklanabilmektedir [41].

Sesin düzgün yayılım gösterdiği salonlarda sönme düzgün ve doğrusal bir biçimdedir. Ancak sesin salon içindeki yayılımında düzgünsüzlüklerin gözlemlendiği salonlarda RT değerleri sayısal olarak aynı olsa dahi sönme grafikleri birbirlerinden farklı olmaktadır (Şekil 2.30) [53].



Şekil 2.30 Aynı RT'ye sahip salonlarda değişen sönme grafikleri [53]

Şekil 2.30'da görüldüğü gibi grafik (a), tam yayınık ses alanının oluştuğu, oransal düşüşün gözlemlendiği bir sönme grafiğidir. EDT ve RT değerleri aynıdır. Benzer biçimde ilk 20 dB'lik düşüş ve 30 dB'lik düşüş için geçen süreler de aynıdır. Yani, $RT = T_{20} = T_{30}$ olduğu söylenebilir.

Grafik (b) ise EDT ve RT değerlerinin değişkenlik gösterdiği, dağınık ses alanının bulunduğu, oransal düşüşün saptanamadığı sönme grafiğidir. Burada ilk 20 dB'lik düşüş için geçen süre, 30 dB'lik düşüş için geçen süreden küçüktür. Yani,

$T_{20} < T_{30}$ olduğu söylenebilmektedir [36]. Burada erken sesler hızla düşerken, geç sesler yavaş düşmektedir [18]. Salonda sesin netliği ve dolgunluğu özellikleri sağlanmış olur [53].

Grafik (c) benzer bir biçimde grafik (b)'ye yakındır. Burada da EDT ve RT değerleri değişkenlik gösterir ve dağınık ses alanı bulunur. Oransal bir düşüş söz

konusu değildir. İlk 20 dB'lik düşüş için geçen süre ise, 30 dB'lik düşüş için geçen süreden büyüktür. Yani,

$T_{20} > T_{30}$ olduğu söylenebilmektedir. Grafik (b)'nin tersine, burada EDT değeri yüksek iken RT değeri düşüktür. Böyle bir durumda sesin netliğinde azalmalar gözlemlenirken dolgunluğunun da sağlanamadığı söylenebilir [53].

EDT erken yansımalarla ilişkilidir. RT ise pek çok yansımadan etkilenir. EDT erken yansımalar ile olan ilişkisinden ötürü, benzer bir şekilde hacmin geometrisi ile de ilişkilendirilebilmektedir fakat RT pek çok yansımadan etkilendiği için hacmin geometrisinden bağımsızdır [53].

Konser salonlarında 500 Hz ve 1000 Hz frekanslarında tam yayınık ses alanının gözlemlendiği durumlarda EDT_{mid} değeri ile RT_{mid} değerleri arasında farklılık gözlemlenmez. Dağınık ses alanının olduğu yani kırıklı sönme grafiklerinin gözlemlendiği durumlar için EDT_{mid} değeri RT_{mid} değerinin yaklaşık 1,1 katı biçimindedir [53].

$$EDT_{mid} = 1,1 \times T_{30} \quad (2.10)$$

$$RT_{mid} = RT_{500} + RT_{1000} / 2 \quad (2.11)$$

Berane [58]'in yapmış olduğu çalışmalar incelendiğinde de akustik açıdan en başarılı sayılan salonların, sözü edilen 1,1'lik oranı koruduğu gözlemlenmektedir [18]. Gade [65] ise yaptığı çalışmada, EDT ve RT arasındaki ilişkiyi biraz daha farklı yorumlamıştır.

$$EDT_{mid} = 0,2 + (1,1 \times RT_{mid}) \quad [65]. \quad (2.12)$$

Hacimler için literatüre göre önerilen çeşitli EDT değerleri bulunmaktadır. Tablo 2.3'te görülebildiği üzere Barron [19] 1,8 ile 2,2 gibi bir aralık önermişken, Mehta [53] EDT'yi RT'ye bağlı bir büyüklük olarak tanımlamıştır.

Tablo 2.3 Hacimlerde önerilen EDT değerleri [41][67]

Literatür	Önerilen EDT Değerleri
Barron	1,8 - 2,2 sn
TS EN ISO 3382	1 – 3 sn
Mehta	1,1 x RT_{mid}

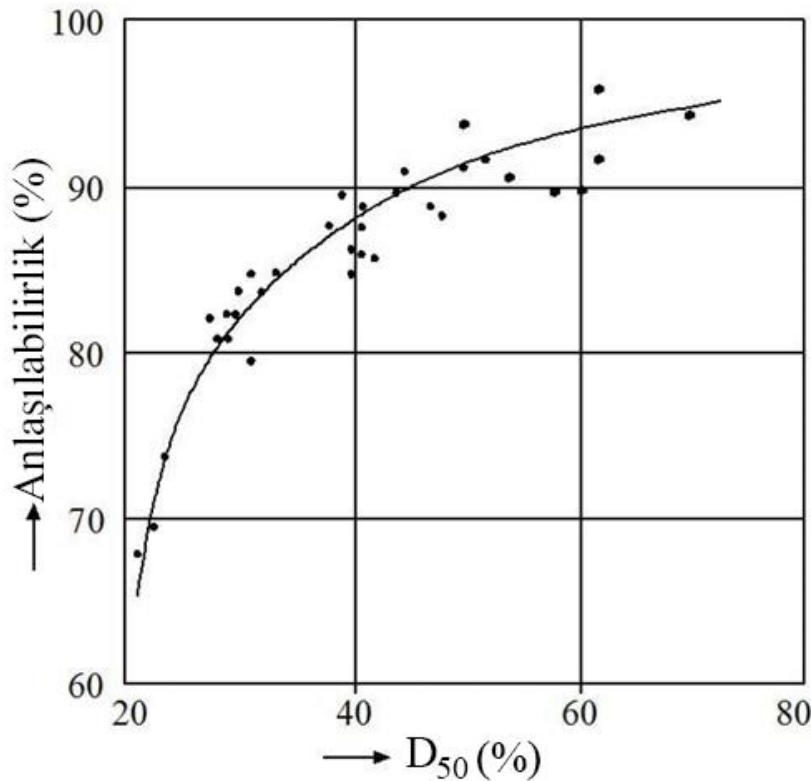
2.2.1.3 Açıklık – Definition (D₅₀)

Konuşmanın anlaşılabilirliğini ölçmede kullanılan en eski parametrelerden biri olarak Açıklık, Erken Enerji Oranı ya da Ayırt Edilebilirlik olarak da bilinir. İlk olarak Thiele tarafından ortaya konulan bu parametre, ses enerjisinin gelişme bölümü ile ilgilidir ve hacmin yanıtı ile ilişkilidir [18]. Dolaysız sesten sonraki ilk 50 ms’lik zaman dilimi içerisinde dinleyici noktasına ulaşan ilk yansımaların enerjisinin, yine dinleyiciye ulaşan toplam ses enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır [19].

$$D_{50} = \int_0^{0.05} p^2(t)dt / \int_0^{\infty} p^2(t)dt \quad (2.13)$$

p: Dinleyici noktasının “t” anındaki anlık ses basıncı

Şekil 2.31’de Açıklık parametresinin, konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilişkisine değinilmiştir.



Şekil 2.31 D₅₀ parametresi ve anlaşılabilirlik ilişkisi [66]

Şekil 2.31’e bakıldığında, D₅₀ parametresinin artmasıyla anlaşılabilirliğin arttığı görülebilmektedir. D₅₀ parametresinin %50’yi aşan oranları %90’a varan

anlaşılabilirlik sağlamaktadır [66]. Bu sebeple D_{50} parametresinin %50'yi aşan değerleri kabul edilebilir değerler olmaktadır [18].

2.2.1.4 Netlik – Clarity (C_{50}/C_{80})

Bu parametre, konuşmanın anlaşılabilirliği için ortaya konulan D_{50} parametresinden yola çıkılarak ortaya konmuştur [19]. D_{50} parametresinde kullanılan 50 ms'lik sürenin 80 ms'ye çıkarılmasıyla, müzik için gerekli olan ses netliği ve yansıması arasındaki dengeyi ifade etmeyi sağlar [18]. Tanım olarak, ilk 80 ms içinde gelen ses enerjilerinin, 80 ms sonrasında gelen ses enerjilerine oranı biçiminde ifade edilir [19]. Reichardt'ın önerisiyle ortaya konan bu parametre literatürde “erken sesin geç sene oranı” yani “early-to-late sound index” biçiminde de yer almaktadır [18].

$$C_{80} = 10 \log \left(\int_0^{0.08} p^2(t) dt / \int_0^{\infty} p^2(t) dt \right) \text{ dB} \quad (2.14)$$

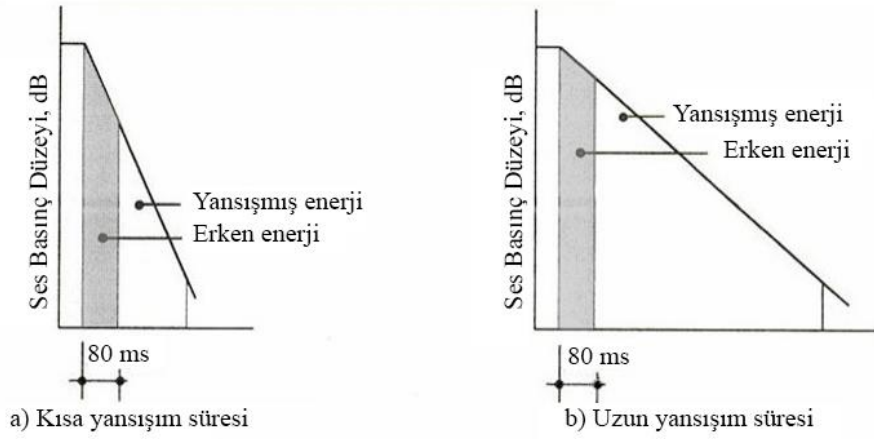
p : Dinleyici noktasının “ t ” anındaki anlık ses basıncı

Netlik parametresi için verilen formülde yer alan 80 ms yerine 50 ms yazıldığında, konuşmanın anlaşılabilirliğinde de kullanılabilen C_{50} parametresi ortaya çıkmaktadır ve bu parametre doğrudan D_{50} parametresi ile ilişkidir [67].

$$C_{50} = 10 \log(D_{50}/1 - D_{50}) \text{ dB} \quad (2.15)$$

Bu ilişkiden ötürü ölçümler sırasında sadece birinin ölçülmesi yeterlidir. Bir diğeri, ölçüm verileri ile hesaplanabilmektedir [67]. Konuşma işlevli hacimler için “ $C_{50} \geq -2 \text{ dB}$ ” şartı aranır [36].

Netlik parametresinin, yukarıda yer alan formülüyle elde edilen değerlerinin küçük ve pozitif bir sayı olması durumu salonun kuru olduğunu, küçük ve negatif çıkması durumu ise salonun canlı olduğunu ifade etmektedir ve yansıma arttıkça netlik azalmaktadır [41]. Şekil 2.32’de görülebildiği üzere, kısa yansıma süresinin var olduğu salonlarda, 80 ms’de gelen erken ses enerjisinin yansımış ses enerjisine oranında yüksek netlik varken, uzun yansıma süresinde 80 ms’de gelen erken ses enerjisinin yansımış ses enerjisine oranında düşük netlik vardır.



Şekil 2.32 Yansıma süresi ve netlik arasındaki ilişki [41]

Yansımanın olmadığı durumlarda C_{80} pozitif değerlerindeyken, yansımanın yüksek olduğu durumlarda negatif değerler almaktadır. Erken ve geç ses enerjilerinin eşit olduğu durumlarda ise $C_{80} = 0$ dB değerini almaktadır [18]. Beranek [58]'e göre, C_{80} için uygun değer aralıkları -4 dB ile +4 dB arasında değişmekteyken, literatürde yer alan uygun değerler de Tablo 2.4'te görülebilmektedir.

Tablo 2.4 Netlik parametresi için kabul edilebilir değerler [53][40][19][67]

Literatür	Önerilen C_{80} Değerleri
Barron	(-2) – (+2)
Long	(-4) – (0)
Mehta	(-4) – (+1)
TS EN ISO 3382	(-5) – (+5)

Netlik değeri ile benzer bir parametre de H (Hallabstand) parametresidir. Direkt sesin yansımış sese oranı biçiminde ifade edilir [41]. Netlik değeri -2 dB ile +2dB arasında olduğunda, netlik arttıkça yansımış ses oranı azalmakta, H değeri artmaktadır. H parametresi yansıma, netlik ve uzamsallık parametreleri arasında bağlantı kurmaktadır [41].

2.2.1.5 Güç / Toplam Ses Düzeyi – Strength / Total Sound Level (G)

Toplam ses düzeyi diğer bir ismiyle Güç parametresi hacim içerisinde ölçülen ses basınç düzeyinin, aynı kaynağın yansımatsız bir hacimde kaynaktan 10 m uzak mesafede ölçülen ses basınç düzeyi arasındaki fark olarak tanımlanır [19]. Daha kısa bir tanımla toplam ses basınç düzeyinin 10 m ötedeki dolaysız ses basınç düzeyine göre ölçümü olarak söylenebilmektedir [18]. Tanımından da anlaşılacağı üzere ses basınç düzeyi ile ilişkili bir parametredir.

$$G = 10 \log \int_0^\infty p^2(t)dt / \int_0^\infty p_A^2(t)dt \text{ dB} \quad (2.16)$$

Bir hacimde elde edilen güç değerini, diğerleriyle karşılaştırabilmek için 500 ve 1000 Hz'deki ortalama ses yüksekliği değerlerini tanımlayan G_{mid} ifadesi kullanılmaktadır [50]. Ses güçlülüğü dolaysız ses ve yansıyan sesin gücünden meydana gelir. Dolaysız ses hacmin bir fonksiyonuyken, yansıyan ses yansıma süresini ve EDT'yi ifade eder. Bu nedenle G_{mid} hacim ile ters orantılıyken, EDT ile doğru orantılıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

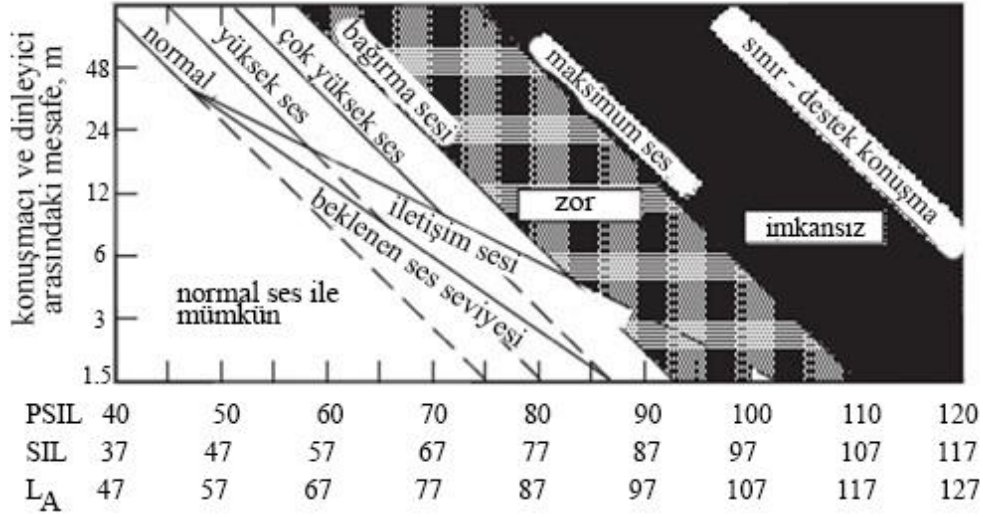
$$G_{mid} = 10 \log \frac{EDT_{mid}}{v} + 44 \quad (2.17)$$

Ses güçlülüğü, dinleyicinin kaynağa olan mesafesine, hacmin büyüklüğüne, yansıma süresinin orta frekanslardaki değerlerine ve erken yansımaları destekleyen yansıtıcı yüzeylere bağlıdır [41].

Barron [19]'a göre, Güç parametresinin kabul edilebilir değer aralığı 0 dB ile +10 dB arasında değişmektedir. Beranek [58]'e göre ise, konser salonları için bu değer +4 dB ile +5,5 dB arasında değişmektedir.

2.2.1.6 Sinyal Gürültü Oranı – Signal Noise Ratio (S/N)

Sinyal gürültü oranı, konuşmanın anlaşılabilirliği için oldukça önemli bir parametredir ve anlaşılabilirliğin kilit noktasıdır [70]. Sinyal gürültü oranı, konuşma frekanslarındaki gürültüyü inceleyerek parazitler hakkında kesin tahminlerde bulunulmasını sağlamaktadır. Ses Parazit Seviyesi – Speech Interference Level (SIL), konuşmayı maskeleyen muhtemel olan arka plan gürültülerinin ölçümünü vermektedir. 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz oktav bantlarındaki gürültülerin aritmetik ortalamaları yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada elde edilen SIL değeri ile, beklenen ses basınç değerlerinin karşılaştırılması sonucunda ise “sinyal/gürültü oranı” elde edilebilmektedir [70]. Şekil 2.33'te anlaşılabilirlik için, farklı gürültü seviyelerindeki tahmin edilebilir mesafeler gösterilmektedir fakat burada yapılan analizlerin düz gürültü spektrumu, sabit konuşma seviyesi ve yansısız bir ortam için yapıldığı unutulmamalıdır [40].

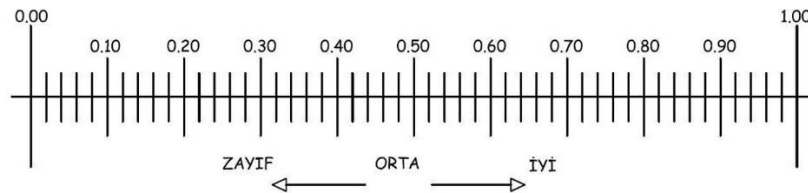


Şekil 2.33 Konuşma iletişiminin tanımlandığı grafik [40]

Tercih Edilen Ses Parazit Seviyesi – Preferred Speech Interference Level (PSIL), SIL’den farklı olarak 500, 1000 ve 2000 Hz oktav bantlarında yer alan gürültü seviyesinin aritmetik ortalaması ile hesaplanan bir ölçüttür. Gürültünün varlığı halinde konuşmanın anlaşılabilirliğini tahmin etmek için PSIL de kullanılabilmektedir [40].

2.2.1.7 Konuşma İletim İndeksi – Speech Transmission Index (STI)

Konuşmacının dinleyici tarafından ne oranda anlaşılır olduğunu belirleyen bu parametre, Steeneken ve Houtgast tarafından geliştirilmiştir [40][18]. Zamanla STI parametresinin karmaşık hesaplama yöntemini kolaylaştırmak adına hızlı STI anlamında kullanılan Rapid STI yani RASTI parametresi geliştirilmiştir. STI ve RASTI parametrelerinin değerlendirme yöntemi Şekil 2.34’te yer almaktadır. Şekil 2.35’te ise, STI ve anlaşılabilirlik yüzdesi arasındaki ilişkiyi gösteren grafiğe yer verilmiştir.



Şekil 2.34 STI – RASTI değerlerinin gösteriminde referans grafiği [18]

Long [40]'a göre, STI değerleri beş ayrı aralık üzerinde değerlendirilmektedir ve bu aralıklar Şekil 2.35'te de görülebildiği gibi aşağıda da yer almaktadır.

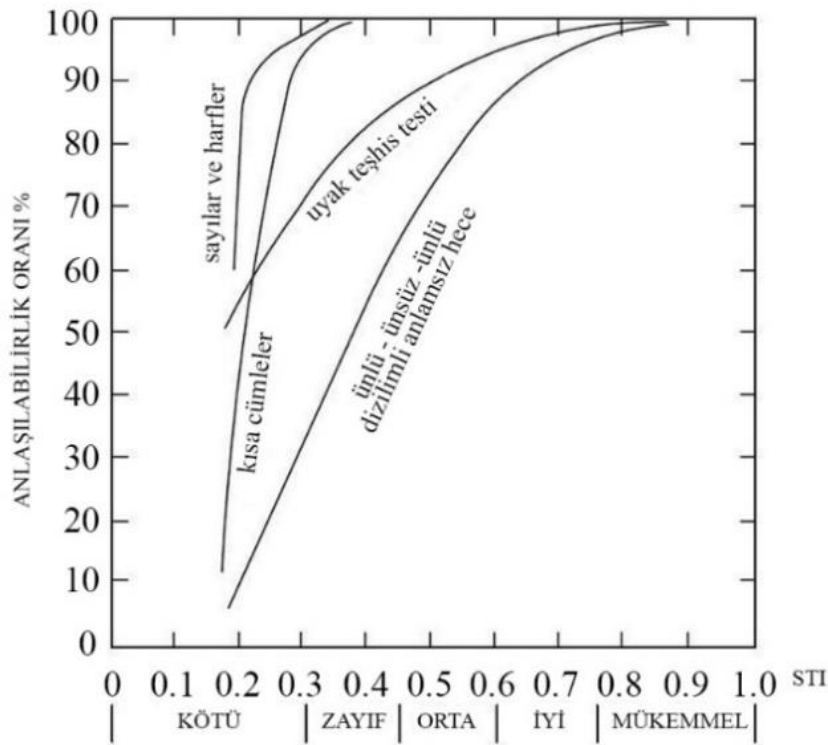
$0.00 < STI < 0.30$ ise **kötü**

$0.30 < STI < 0.45$ ise **zayıf**

$0.45 < STI < 0.60$ ise **orta**

$0.60 < STI < 0.75$ ise **iyi**

$0.75 < STI < 1.00$ ise **mükemmel**



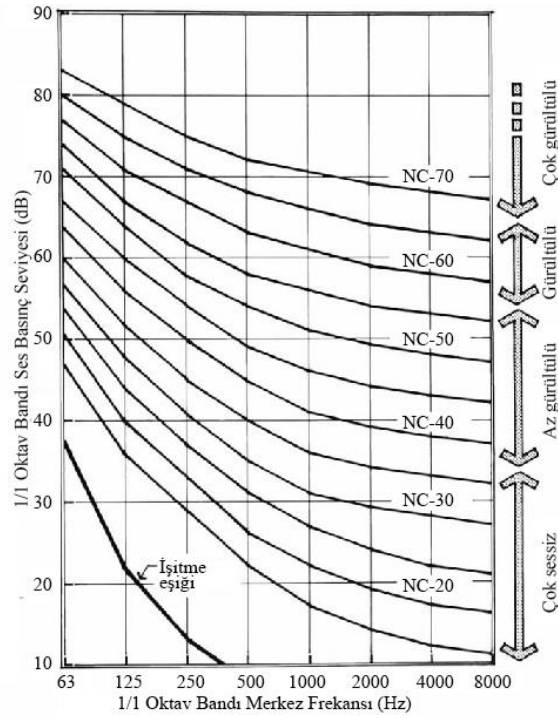
Şekil 2.35 Anlaşılabilirlik oranı ve STI arasındaki ilişki [40]

2.2.1.8 Arka Plan Gürültüsü – Noise Criteria (NC)

Arka plan gürültüsü, küçük sınıflarda ve ders salonlarında 35 dBA (NC 30), daha büyük toplantı salonlarında ise 30 dBA (NC 25) olacak biçimde tasarlanmaktadır [70]. Bu farklılığın nedeni daha büyük alanlarda daha büyük ses yüksekliği kayıplarının olmasıdır. Bazı akustikçiler verimli bir anlaşılabilirlik için alınan ses seviyesinin arka plan gürültüsünden en az 25 dB kadar yüksek olmasını önermektedirler [40]. Konferans salonları için Beranek'in [58] önerdiği değer NC 25 eğrisi değerleridir.

Tablo 2.5 Bazı işlevler için önerilen NC değerleri [34]

Hacmin İşlevi	Tercih Edilen Gürültü Kriteri Aralığı	Eş değer dBA seviyesi
Konser Salonu	<NC-20	<30
Yayın ve Kayıt Stüdyoları		
Büyük Oditoryumlar		
Küçük Oditoryumlar	NC-20 ve NC-30	30-38
Tiyatrolar		
Büyük Konferans Salonları		

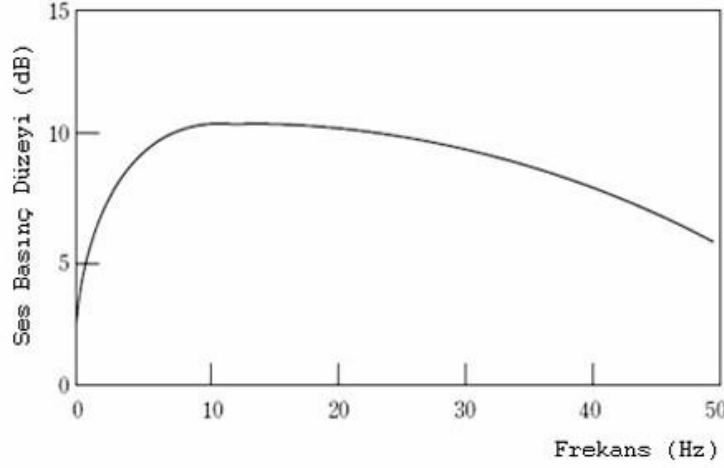


Şekil 2.36 NC eğrileri [34]

2.2.1.9 Varlık Etkisi

İşitsel algılama sistemine göre, dolaysız sestten sonra 50 ms içerisinde her yönden kulağa ulaşan ilk yansımalar algılanır ve bir araya toplanarak dolaysız ses ile birleşir. Dolaysız ses ile birleşen ilk yansımalar, işitilen sese katkıda bulunarak düzeyini arttırırken, dinleyici için de hacmi daha büyük algılamasına neden olur [14]. İşitsel algılama sistemi için bu birleşme optimum olarak 25-30 ms zaman aralığı içerisinde gerçekleşmelidir ve bu zaman aralığı Haas Bölgesi olarak isimlendirilir. 50 ile 80 ms aralığı ve sonrasında ilk yansımalar, dolaysız sestten bağımsız ve baskın yansıma olarak algılanır. Bu durum doğrultululuğun bozulmasına neden olur. Söz konusu bu etkiyi ilk kez Helmut Haas tanımlamış ve buna Varlık Etkisi adını vermiştir [72]. Varlık Etkisi, dinleyicilerin kulaklarına

ulaşan gecikmiş sesin bir gecikme olarak algılanabilmesi için dolaysız sestən 10 dB civarında daha yüksek olması veya 25 ms’den daha önce veya sonra dinleyiciye ulaşması gerektiğini belirtir [34][14]. Hacimlerde dolaysız sestən sonraki 1 ile 35 ms zaman aralığında işitilen ilk yansımaların, dolaysız ses üzerinde hem düzey artışı hem de imgesel konfor bakımından olumlu etkileri bulunmaktadır [72].



Şekil 2.37 Varlık Etkisi [72]

Salonlarda, salonun ne kadarlık bir bölümünün varlık etkisi açısından uygun durumda olduğunu belirlemek için bir büyüklükten söz edilmektedir [36].

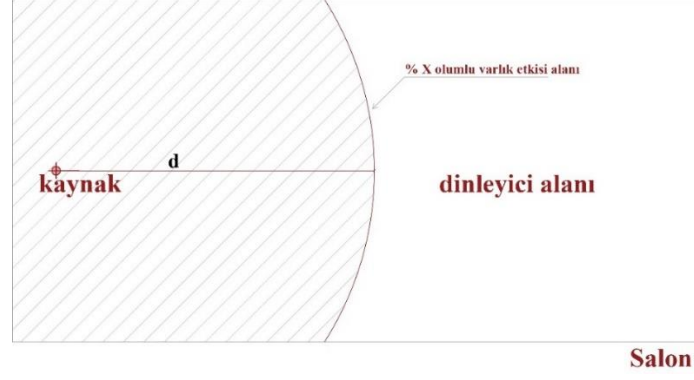
$$d = \sqrt{\frac{15V}{100\pi RT}} \quad (2.18)$$

RT: Yansıım süresi

V: Hacim

d: Varlık etkisinin sağlandığı en uzun uzaklık

Varlık etkisinin sağlandığı salon alanı, yukarıda yer alan denklem üzerinde de görüldüğü üzere salonun yansıım süresi ile ilişkilidir. Yansıım süresindeki artış, varlık etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Denklem yardımıyla elde edilen “*d*” değeri, varlık etkisinin sağlandığı en uzun uzaklıktır. Salondaki etkiyi saptayabilmek adına kaynaktan “*d*” mesafe uzaklıkta bir yay çizilerek salonun %x’lik bir bölümünün varlık etkisinden olumlu yararlandığı yorumunda bulunulur (Şekil 2.38). Varlık etkisi, konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli bir kriterdir. Ayrıca varlık etkisi açısından yansımış ses düzeyi dolaysız sestən en fazla 11.7 dB fazla olabilir [36].



Şekil 2.38 Salonlarda varlık etkisi açısından olumlu alanların belirlenmesi [36]

2.2.2 Öznel Hacim Akustiği Parametreleri

Öznel parametreler dinleyici beğenisine, işitsel duyusuna, eğitim seviyesine ve kültür düzeyine dayalı olan ve kişiden kişiye değişim gösteren parametrelerdir. Bu parametreler aşağıda yer aldığı biçimde sıralanabilmektedirler [36].

- Canlılık – Liveness / Reverberance
- Belirginlik / Netlik – Definition/Clarity
- Mekânsal Algılama – Spatial Impression [18]
 - Algılanan Kaynak Genişliği – Apparent Source Width (ASW)
 - Dinleyicinin Kuşatılması – Listener Envelopment (LEV)
- Gürlük – Loudness

2.2.2.1 Canlılık – Liveness / Reverberance

Canlılık, yansımanın öznel bir özelliğidir. Teknik olarak 250 Hz’in üzerindeki orta ve yüksek frekanslardaki yansıma süresine bağlıdır [49]. Yansıma süresinin yüksek olduğu hacimler “canlı” olarak adlandırılmaktadır ve belirli bir miktar ses dolgunluğunun varlığından söz edilebilmektedir [50]. Eğer salon hacmi, salonu dolduran dinleyici alanına göre büyükse ve salon iç yüzeyleri yansıtıcı gereçler ile kaplı ise salon canlı olarak algılanmaktadır [49]. Yansıma süresinin orta frekanslardaki değeri canlılığı tanımlamak için uygun bir gösterge olabilmektedir. Yüksek frekansların ise canlılık ile ilişkisi çok azdır. Salonun canlı olarak ifadesi için orta frekanslardaki yansıma süresi değerlerinin yaklaşık 1,8-2,0 sn arasında olması gerekir [50]. Bu değerler de müzikal işlevli salonlarda optimum yansıma süresi olarak önerilmiş değerlerdir. Dolayısıyla canlılık ve buna bağlı olarak yüksek yansıma süresi değerleri müzikal işlevli salonlar için aranan hacim akustiği parametrelerindendir.

2.2.2.2 Belirginlik / Netlik – Definition / Clarity

Hem müzikal hem de konuşma işlevleri için önemli parametrelerden biri olan belirginliğin düşey ve yatay olmak üzere iki çeşidinden söz edilebilmektedir [18]. Yatay belirginlik, birbiri ardına gelen seslerin, birbirlerinden ayrılabilmesi yani ayırt edilebilir olmaları halidir Müzik için bu tempo ya da nota tekrarı gibi özellikler olabilir. İcracı yatay belirginliği etkileyen bu özellikleri kendi istekleri doğrultusunda belirleyebilmektedir. Akustik olarak yatay belirginliği etkileyen ölçütler ise yansıma süresi ve erken seslerin sesliliklerinin yansımış seslerin sesliliklerine oranı biçimindedir. Burada bahsedilen erken sesler ve yansımış seslerin sesin dolgunluğu için belirleyici etkenler olduklarından sesin dolgunluğunun yatay belirginlik ile ters orantılı olduğundan söz edilebilir [49]. Nesnel parametrelerden biri olan Netlik kısmında da benzer bir durumdan söz edilmiştir.

Düşey belirginlik, çalınan seslerin birbirlerinden ayrı olarak algılanmasını ifade eder. Oda'nın akustiğine, icracıya, dinleyicinin işitme düzeyine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Netlik parametresi, konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemlidir. Konuşma işlevli salonlarda yüksek netlik değerleri istenir. Bu durum da yansıma süresi değerlerinin kısalığı anlamına gelmektedir.

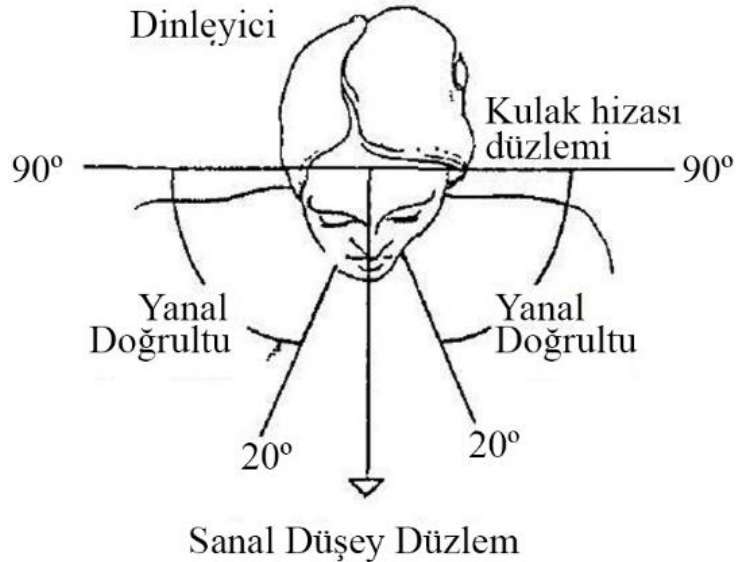
2.2.2.3 Mekânsal Algılama – Spatial Impression

Bu konu hakkındaki ilk çalışmalar A. H. Marshall tarafından yapılmıştır [18]. Marshall yaptığı çalışmalarında “mekânsal duyarlılık” olarak bahsettiği bu kavram ile erken yanal yansımaların etkisinden bahsetmiş ve bu etkinin dinleyiciler üzerinde kuşatılmışlık hissi oluşturarak salonun akustik konforunu arttırmaya yönelik bir etki yarattığının üzerinde durmuştur. Daha sonraları “mekânsal algılama” için iki öznel ögenin varlığından bahsedilmiş ve dinleyicinin kuşatılmasının erken yanal yansılardan bağımsız olduğu öne sürülmüştür. Yapılan çalışmalar ile dinleyicinin kuşatılmasının geç yansımış seslerin iki kulak arasındaki uyumsuzluğuna bağlı olduğunu belirleyen akustikçiler, daha sonraki yıllarda mekânsal algılamanın iki öznel ögesi ise, “Algılanan Kaynak Genişliği (ASW)” ve “Dinleyicinin Kuşatılması (LEV) biçimindeki tanımlamalar olarak literatüre kazandırılmışlardır [68]. Çok daha sonraki yıllarda ise, “Dinleyicinin Kuşatılması” parametresinin geç yanal sesler ile ilişkili olduğu ispatlanmıştır.

- **Algılanan Kaynak Genişliği – Apparent Source Width (ASW)**

Akustikçiler bir kukla kafasının kulaklarına iki mikrofon yerleştirerek, “Kulaklararası Çapraz Kolerasyon Çarpanı – Inter Aural Cross Corelation (IACC)” katsayısını ölçmüşlerdir. Bu katsayı yardımıyla Algılanan Kaynak Genişliği parametresi belirlenebilmektedir [18]. $IACC_{E3}$ dinleyicilerin kulaklarına herhangi bir anda gelen seslerin farkını ölçmek için kullanılan bir parametredir. Yanal sesler dinleyicilerin kulaklarından birine diğerinden daha geç ulaşabilmektedir. Bu nedenle iki kulaktaki ses birbirinden farklı olmaktadır. Parametrede yer alan “E” ilk 80 ms içerisinde gelen erken sesleri ve “3” ise ölçümün 500, 1000 ve 2000 Hz oktav bantlarında gerçekleştiğini anlatmaktadır. İki kulağa gelen seslerin birbirinden tamamen farklı olduğu durumlarda $IACC_{E3}$ değeri 0.0 olmakta, iki kulakta da aynı şekilde algılandığı durumlarda 1.0 olmaktadır [18]. 1.0 değeri mekânsal algılamanın olmadığını anlatır [49].

Yansımaların dinleyicilere yan duvarlar aracılığıyla yani yanal doğrultudan gelmesi, kaynağın geniş olarak algılanmasını sağlar. Yanal doğrultu ise, dinleyicinin bakış doğrultusundan geçen sanal düşey düzlem ile yapılan 20° ’lik açıdan başlayıp kulak hizasından geçen düzlem ile biten tüm alanı kapsar (Şekil 2.39) [53].



Şekil 2.39 Yanal yansımaların geliş açıları [53]

- **Dinleyicinin Kuşatılması – Listener Envelopment (LEV)**

Dinleyicinin Kuşatılması, yansımış seslerin dinleyiciyi kuşatması ve dinleyicinin kendisini ses ile çevrelenmiş hissetmesi olarak tanımlanmakta ve daha çok müzikal işlevli salonların akustik tasarımında aranan konfor parametrelerinden biri olmaktadır [18][36]. Akustikçilere göre Dinleyicinin Kuşatılması parametresi yansıma süresi, C_{80} , geç yanal seslerin düzeyi ve geç seslerin geliş açılarının dağılımıyla ilişkilidir ve bunlar arasında geç seslerin açısal dağılımı ve geç yanal seslerin düzeyi parametreleri en büyük etkiye sahip olanlardır.

2.2.2.4 Gürlük – Loudness

Gürlük bir diğer adıyla seslilik, bir ses enerjisinin o sesi paylaşacak dinleyici sayısına bölünmesini ifade etmektedir. Bir hacim içerisinde ses enerjisi insanlar veya yüzeyler ile karşılaştığında enerjisinin bir bölümünü kaybeder. Bu durum insan veya yüzey yutuculuğuyla gerçekleşir. Bir dinleyicinin işitebildiği gürlük ise, erken ve yansımış ses olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [18]. Erken sesin gürlüğü, dolaysız ses enerjisiyle dolaysız sesten sonraki ilk 80 ms içerisinde yansımış seslerin enerjilerinin toplamı biçiminde belirlenebilmektedir. Yansımış sesin gürlüğü ise 80 ms sonrasında gelen seslerin enerjilerinin toplamı biçimindedir [49].

Gürlük üç mimari özellik ile ilişkilidir:

- Dinleyici ve kaynak arasındaki mesafe,
- Erken ses enerjisini dinleyicilere ulaştıracak yansıtıcı yüzeylerin varlığı,
- Dinleyici alanı ve orta frekanstaki RT değeri [18].

Bir enstrümandan veya konuşmacıdan çıkıp dinleyiciye ulaşan ilk ses dolaysız ses olmaktadır ve dolaysız sesin düzeyi salonun arka kısımlarına doğru gidildikçe azalmaktadır. Dinleyici kaynak arasındaki uzaklık ile doğru orantılı olarak bu azalma da artmaktadır. Ses düzeyindeki düşüşün önüne geçebilmek ve salondaki erken sesleri dinleyicilere ulaştırabilmek adına yansıtıcı panel kullanımı gerçekleştirilebilir. Erken seslerin etkili olabilmeleri ve sonrasında bir yankı kusuru oluşturmamaları için dinleyiciye ilk 50-80 ms aralığı içerisinde ulaşmış olmaları gerekmektedir.

Gürlüğü etkileyen bir faktör de yansıma süresinin dinleyici alanına oranıdır. RT değeri yükseldikçe, gürlük de yükselir ancak RT salonda icra edilen işlevin netlik

parametresi ile dengelenmelidir. Gürlük, RT ile doğru orantılı iken, hacmin büyüklüğü ile ters orantılıdır [53].

2.2.3 Parametrelerin Kabul Edilebilir Sınır Değerlerinin Saptanması

Hacimlerin öznel akustik koşullarını, nesnel veriler yardımıyla ortaya koymaya yönelik geliştirilen ölçülebilir parametrelerin kabul edilebilir optimum değer aralıklarını ve tolerans sınırlarını ortaya koymak, hacim akustiği alanında yapılan çalışmalarda sıklıkla rastlanan ve araştırmacıların üzerinde önemle durdukları konulardandır [50].

Hacim akustiği parametrelerinin icra türüne ve salon hacmine bağlı olarak değişebilen değerleri bulunmaktadır. Örneğin küçük müzik gösterilerinin sergilendiği salonlar için RT değeri 1,5 s olarak önerilirken, senfoni için bu değer 2-2,4 s arası değişmektedir. Diğer hacim akustiği parametreleri için de iki icra türüne göre önerilen farklı aralık değerleri Tablo 2.6’da gösterilmektedir.

Tablo 2.6 Farklı icra çeşitleri ve hacim büyüklükleri için hacim akustiği parametrelerinin önerilen değerleri [69][70]

Parametre	Sembol	Küçük Müzik Gösterileri	Senfoni
Salon Boyutu	V/N	2500 m ³ / 300 kişi	25000 m ³ / 2000 kişi
Yansıma Süresi	RT (s)	1,5 s	2,0 ≤ RT ≤ 2,4 s
Erken Düşme Süresi	EDT	1,4 s	2,2 s
Netlik	C (dB)	3 dB	- 1 dB
Güç	G (dB)	10 dB	3 dB

Tablo 2.7’de Odeon isimli simülasyon yazılımında hacim akustiği parametrelerinin tavsiye edilen değerlerine yer verilirken, Tablo 2.8’de çeşitli akustikçiler tarafından ortaya konmuş; salon işlevi ve büyüklüğüne göre değişiklik gösteren, çalışma kapsamında ele alınan nesnel hacim akustiği parametrelerinin değer aralıkları ve onların öznel parametreleriyle olan ilişkilerine yer verilmiştir.

Tablo 2.7 Hacim akustiği parametrelerinin Odeon’da önerilen değerleri [43]

Nesnel Hacim Akustiği Parametresi	Sembol	Önerilen Değerleri
Yansıma Süresi – Reverberation Time	RT (s)	1,7 ≤ RT ≤ 2,3 sn
Netlik – Clarity	C (dB)	1- ≤ C ≤ +3 dB
Güç – Strength	G (dB)	G ≥ 3 dB
Erken Yanal Enerji Oranı – Early Lateral Energy Fraction	LF (%)	LF ≥ 0.25 dB

Tablo 2.8 Hacim akustiği parametreleri için optimum değerler

Parametre	Sembol	Özel Etki	Hacmin İşlevi	Optimum Tolerans Aralığı	Kaynak
Yansıma Süresi <i>Reverberation Time</i>	RT (s)	Canlılık [50] Açıklık [74] Parlaklık [50]	Konser Salonu / Orkestral Müzik	1,8 - 2,2 s	Mehta [53]
			Konser Salonu / Hafif Müzik	1,4 - 1,8 s	
			Konferans Salonu	0,4 - 1,0 s	
			Oda Müziği	1,5 s	Rossing [75]
			Senfoni	2,0 - 2,4 s	
			Opera	1,4 - 1,8 s	
			Konser Salonu	2,5 - 3,5 s	Long [40]
			Sınıf /Konferans Salonu	> 1,0 s	
			Konser Salonu / Klasik Müzik	1,8 - 2,2 s	Barron [19]
			Opera	1,3 - 1,8 s	
			Drama Tiyatrosu	0,7 - 10 s	
			Konser Salonu	1,5 - 2,2 s	Beranek [49]
			Konferans Salonu	0,6 -1,2 s	DIN - 18041 [89]
			Konser Salonu	1,0 - 1,5 s	
			Konferans Salonu	0,6 - 1,0 s	ISO - 3382 [67]
			Konser Salonu	1,0 - 1,5 s	
Erken Düşme Süresi <i>Early Decay Time</i>	EDT (s)	Canlılık [50] Açıklık [74]	Konser / Konferans Salonu	+ %10 x RT s	Mehta [53]
			Oda Müziği	1,4 s	Rossing [75]
			Senfoni	2,2 s	
			Konser / Konferans Salonu	1,0 - 3,0 s	ISO - 3382 [67]
			Konser Salonu	+ 0,3 + RT s	Long [40]
Açıklık <i>Definition</i>	D ₅₀ (%)	Anlaşılabilirlik [50][74]	Konuşma / Konferans / Tiyatro	1,8 - 2,2 s	Barron [19]
				0,34	Cremer [73]
				> 0,5	Kuttruff [66]
				0,56	Bradley [77]
				0,4 - 0,6	Gimenez [78]
				0,45 - 0,55	Hilbert [79]
				≥ 0,5	DIN - 18041 [89]
			Konser / Konferans Salonu	0,3 - 0,7	ISO - 3382 [67]

Tablo 2.8 Hacim akustiği parametreleri için optimum değerler (devamı)

Parametre	Sembol	Öznel Etki	Hacmin İşlevi	Optimum Tolerans Aralığı	Kaynak
Netlik <i>Clarity</i>	C_{80} (dB) C_{50} (dB)	Açıklık [74] Netlik [74]	Konser / Konferans Salonu	(-4) - (+1) dB	Mehta [53]
			Oda Müziği	3 dB	Rossing [75]
			Senfoni	(-1) - (+0,5) dB	
			Konser Salonu	(-2) - (+4) dB	DIN - 18041 [89]
			Konferans Salonu	(+3) - (+10) dB	
			Konser / Konferans Salonu	(-5) - (+5) dB	ISO - 3382 [67]
				(-4) - 0 dB	Long [40]
			Konser Salonu	(-2) - (+2) dB	Barron [19]
			Konser / Konferans Salonu	(-5) - (+3) dB	Kuttruff [66]
Güç <i>Strength</i>	G (dB)	Ses yüksekliği [74] Samimilik [50]	Konser / Konferans Salonu	4 - 5,5 dB	Mehta [53]
			Oda Müziği	10 dB	Rossing [75]
			Senfoni	3 dB	
			Konser / Konferans Salonu	4 - 5,5 dB	Long [40]
				(-2) - (+10) dB	ISO - 3382 [67]
			Konser Salonu	> 0 dB	Barron [19]
Merkez Zamanı <i>Center Time</i>	T_s (ms)	Canlılık [50] Açıklık [50] Netlik [74]	Konser / Konferans Salonu	(-3) - 5 dB	Nagata [80]
				> 130	Cremer [73]
				60 - 260 ms	ISO - 3382 [67]
Erken Yanal Enerji Oranı <i>Early Lateral Energy Fraction</i>	LF (%)	Mekânsal Algılama [50] Müzikle Kuşatılmışlık [50]	Konser / Konferans Salonu	10 ms	Rossing [75]
				0,1 - 0,35	Barron [19]
				0,35 - 0,40	Hilbert [79]
				0,2	Gimenez [78]
			Oda Müziği	0,15 - 0,2	Rossing [75]
			Senfoni	0,2 - 0,25	

Tablo 2.8 Hacim akustiği parametreleri için optimum değerler (devamı)

Parametre	Sembol	Özel Etki	Hacmin İşlevi	Optimum Tolerans Aralığı	Kaynak
İlk Ulaşım Gecikmesi <i>Initial Time Delay Gap</i>	ITDG (ms)	Belirginlik [74] Samimilik [50]	Konser Salonu	< 25 ms	Beranek [49]
			Konser / Konferans Salonu	16 - 31 ms	Mehta [53]
				< 20 ms	Long [40]
Konuşma İletim İndeksi <i>Speech Transmission Index</i>	STI	Belirginlik Anlaşılabilirlik	Konuşma / Konferans / Tiyatro	≥ 0,6	Rossing [75]
				≥ 0,5	ISO - 3382 [67]
				≥ 0,6	DIN - 18041 [89]
				≥ 0,6	Long [40]
Telaffuz İndeksi <i>Articulation Index</i>	AI	Anlaşılabilirlik	Konuşma / Konferans / Tiyatro	≥ 0,3	Beranek [58]
Arka Plan Gürültüsü <i>Noise Criteria</i>	NC	Anlaşılabilirlik	Konuşma / Konferans / Tiyatro	NC 15 - NC 20	Mehta [53]
			Küçük Salonlar	≥ NC 20	Long [40]
			Büyük Salonlar	≥ NC 15	
			Konser Salonu / Opera	< NC 20	Egan [34]
			Konferans Salonu	NC 20 - NC 30	
Erken Yansıma Süresi <i>Early Reflection Time</i>	STearly	Birliktelik	Konser / Konferans Salonu	0,25 - 0,40 sn	Mehta [53]
				0,25 - 0,40 sn	Long [40]
				0,25 - 0,35 sn	Egan [34]
				0,25 - 0,40 sn	ISO - 3382 [67]
				0,25 - 0,35 sn	DIN - 18041 [89]
Geç Yansıma Süresi <i>Late Reflection Time</i>	STlate	Destek	Konser / Konferans Salonu	0,4 - 0,6 sn	Mehta [53]
				0,4 - 0,8 sn	Long [40]
				0,4 - 0,8 sn	Egan [34]
				0,3 - 0,8 sn	ISO - 3382 [67]
				0,3 - 0,7 sn	DIN - 18041 [89]

2.3 Konuşmanın Anlaşılabilirliğini Etkileyen Parametreler

Konuşma işlevli hacimler için, hacmin akustik açıdan başarılı kabul edilebilmesinin temel koşulunun konuşmanın anlaşılabilmesi olduğu söylenebilir [55]. Tüm dinleyicilerin, sahnedeki konuşmacıyı hiç zorlanmadan, yorulmadan işitebilmeleri; konuşulanları eksiksiz, açık ve doğru bir biçimde algılayabilmeleri gerekmektedir. Ancak böyle bir durum hacmin konuşma işlevini gerçekleştirmek üzere uygun akustik koşulları büyük oranda sağlayabildiği anlamını taşır.

Konuşma hızlı bir tempoya sahip olan ses biçimidir. Düzenli ve düzensiz seslerden meydana gelir [36]. Konuşmayı oluşturan alçak frekanslı sesli harfler düzenli, yüksek frekanslı sessiz harfler ise düzensiz seslerdir [31][838].

Düzenli sesler temel bir frekansı bulunan tek bir yalın ses olabildiği gibi ve temel bir frekansı ve bu frekansın uyumlularından oluşan karmaşık seslerden oluşabilmektedirler [31]. Yalın sesler genelde yapay olarak elde edilirken, karmaşık seslerde spektrumun enerji dağılımı ve devrimi belirli bir kuralı içerir [31][55]. Örneğin, bir tel iki ucundan çekilip bırakıldığında birbirini uyum içinde takip eden belirli salınım hareketleri yapar ve ses meydana getirir. Telden çıkacak en kalın sesin frekansı telin boyu ile doğru orantılı olur. Bu durumda sesin dalga boyu, tel uzunluğunun iki katı biçimindedir. Tel eş zamanlı olarak sanki tam ortasından bağlanmış gibi bir salınım hareketi yapar ve yine bir ses oluşturur. Bu sesin dalga boyu telin uzunluğuna eşit ve frekansı ise iki katı şeklinde olur. Tüm bunlar olurken, tel üçte biri bağlanmışçasına bir salınım hareketi daha yapar. Burada meydana gelen sesin dalga boyu telin uzunluğunun $3/2$ si kadarken frekansı ilkinin üç katı kadar olur. Bu durumda oluşan seslerden frekansı en düşük olan kalın ses temel ses diğer bir ismiyle birinci uyumlu (harmonik) ses olarak isimlendirilirken, ikinci ses ikinci uyumlu, üçüncü ses ise üçüncü uyumlu olarak adlandırılır. Bunlar sesin harmonikleridir [31]. Müzikal sesler düzenli seslerdir ve düzenli seslerin belirli notaları bulunur [38].

Düzensiz sesler ise, notası tam olarak belirlenemeyen, spektrumundaki enerji dağılımı gelişigüzel olan seslerdir [38]. Genelde gürültü olarak nitelendirilmektedirler [31]. Genelde bu tür seslerde çok ince ve çok kalın sesler bir arada bulunmakta ve aralarında bir uyum ya da devirsellik söz konusu olmamaktadır [38].

Konuşmanın anlaşılabilirliği sessiz harflerin yeterli derecede algılanabilmesi ile ilişkilidir. Çünkü sözcüklere anlamını veren sessiz harflerdir. Örneğin “konuşma” sözcüğündeki sesli harfler atıldığında, geriye kalan k,n,ş ve m harflerinin yan yana dizilimiyle konuşma sözcüğü anlaşılabilirken; sessiz harfler atıldığında geriye kalan o, u ve a harflerinin yan yana varlığı konuşma sözcüğünü anlamaya yetmemektedir. Sessiz harfler yüksek frekanslıdır ve yüksek frekanslı sesler, hacim içerisinde alçak frekanslı sesler tarafından kolayca maskelenme özelliğine sahiptirler [55]. Hacimde var olan arka plan gürültüsü genellikle alçak frekanslı seslerden meydana gelmektedir ve bu sebeple, yüksek frekanslı sesleri kolayca maskeleyerek anlaşılabilirliğin azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda, konuşma işlevli salonlarda anlaşılabilirliğin sağlamanın temel gereksiniminin yüksek frekanslı seslerin dinleyicilere yeterli düzeyde ulaştırılması olduğu söylenebilmektedir [15][38].

Anlaşılabilirliğin maskeleyici bir gürültünün noksanlığı, konuşma sesinin kulağa yeterli düzeyde ulaşabilmesi, yansıma süresinin hecelerin birbirini maskelemesinin önüne geçebilecek düzeyde kısa ve önerilen aralıklar içerisinde olması gibi akustik koşullara ve bunların yanında konuşmacının konuşma tarzına (belirli bir hızda ve belirgin) bağlı olduğu söylenebilmektedir [15]. Başka bir bakışla anlaşılabilirlik, ses gücü ve berraklık olarak tanımlanabilmektedir [35].

Konuşmanın anlaşılabilirliği, konferans salonu, tiyatro salonu, oditoryum, sınıf, derslik gibi konuşmanın temel işlev olarak var olduğu hacimlerde en önemli tasarım kriterleridir [55].

Konuşmanın anlaşılabilirliği hacmin belirli özelliklerine bağlıdır. Bunlar:

- Hacmin biçimi (*Bakınız, Bölüm 2.1.1*)
- Hacmin büyüklüğü (*Bakınız, Bölüm 2.1.2*)
- Hacmi sınırlandıran yüzeylerin ve iç mekân düzenlemesinde kullanılan malzemelerin akustik özellikleri
- Hacimdeki oturma düzeni ve dinleyici sayısı (*Bakınız, Bölüm 2.1.3*)

Hacmin özellikleri, hacim içerisinde icra edilecek işleve göre değişkenlik gösterebilmekte ve hacmin konuşmanın anlaşılabilirliği açısından uygun biçim, büyüklük ve kapasiteye sahip olması gerekmektedir.

Konuşma işlevinin gerçekleştirildiği ve konuşmanın anlaşılabilirliğinin birincil derecede önem arz ettiği hacimlerden beklenen belirli özellikler bulunmaktadır. Bunlar da sırasıyla aşağıdaki gibidir [55]:

- Hacmin her noktasında yeterli ses yüksekliği sağlanmış olmalıdır. Bu noktada istenen ses yüksekliğini elde edebilmek için döşeme kademelendirilebilir, konuşmacının bulunduğu sahne platformu yükseltilebilir ve ses dalgasının ulaşmasının güçleştiği derin balkon gibi yapı elemanlarının tasarımından kaçınılabilir (*Bakınız, Bölüm 2.1.4*).
- Ses dalgasının dinleyiciye ulaşmak için kat ettiği mesafe, ses enerjisinin büyük bir bölümünün kaybına yol açmayacak uzaklıkta tasarlanmalıdır. Genelde kaynak-dinleyici uzaklığı 10-12 m olarak istenir [36].
- Hacmin tüm bölümlerine ses homojen bir biçimde dağılmalı, düzgün yayılmışlık sağlanmalıdır. Yanıt eğrisi mümkün olduğunca düz bir çizgi halinde ilerlemelidir.
- Dinleyici alanı, konuşmacının konumlanışına bağlı olarak 140°'den fazla açılandırılmamalıdır. Burada konuşmanın doğrultululuk özelliğinden ötürü, 140°'yi aşan açılendirma durumlarında oturma alanının yan bölümlerindeki dinleyicilerde ses düzeylerinde düşme görülür (*Bakınız, Bölüm 2.1.2.2*).
- Hacmin büyüklüğü ve işlevine uygun, önerilen aralıklardaki yansıma süresi değerleri frekansa göre sağlanmalıdır.
- Arka plan gürültüsü, konuşmanın anlaşılabilirliğinin önüne geçmeyecek düzeyde tutulmalıdır. Konferans salonları için önerilen değerler NC15-NC30 arasındadır (*Bakınız, Tablo 2.8*).
- Akustik kusurlar (yankı, vurgusal yankı, odaklanma, distorsiyon, akustik gölge) önlenmelidir (*Bakınız, Bölüm 2.4*) [40].

3

KONFERANS SALONLARINDA AKUSTİK TASARIM: ATATÜRK KÜLTÜR MERKEZİ ÖRNEĞİ, TEKİRDAĞ

Konferans salonları konuşmanın anlaşılabilirliğinin son derece önem arz ettiği salonlar olduklarından mimari tasarım aşamasından itibaren üzerinde özenle çalışılması gereken alanlardan biridir. Hacimde sağlıklı bir akustik tasarımın üç koşulu bulunmaktadır:

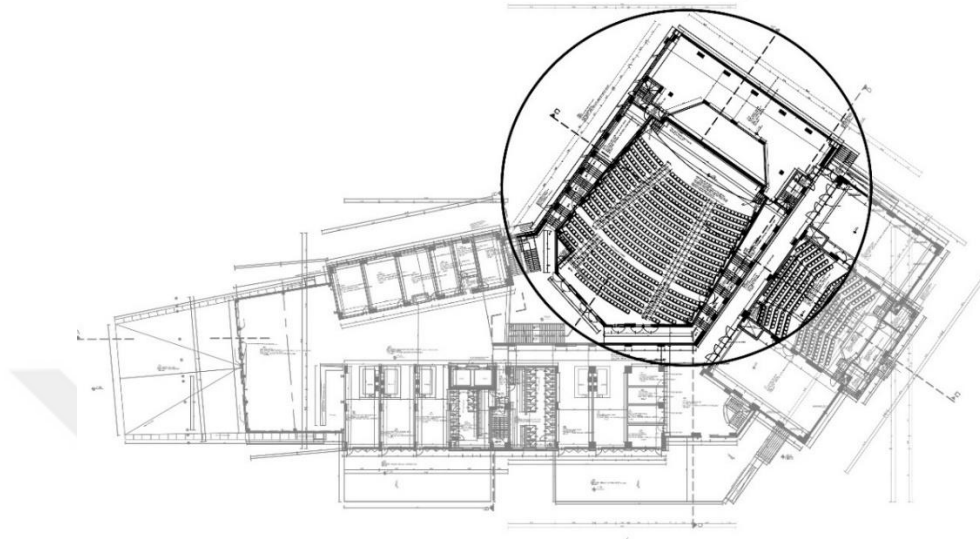
- 1- Mimari akustik tasarım parametrelerine uygun salon ve sahne tasarımı,
- 2- Hacim akustiği parametrelerinin kabul edilebilir değerlerinin salon genelinde ve sahnede sağlanması,
- 3- Sahne ve salonda akustik kusurlardan arınmışlık.

Bu çalışma kapsamında ele alınan Tekirdağ ili, Çerkezköy ilçesi, Atatürk Kültür Merkezi içerisinde yer alan konferans salonu, mevcut akustik konfor koşullarının uygunluğu açısından yukarıda sözü geçen üç başlık altında incelenmiştir. Şekil 3.1 'de sözü geçen salonun bulunduğu binanın uydu görüntüsüne yer verilmişken, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te konferans salonuna dair kat planlarına yer verilmiştir.



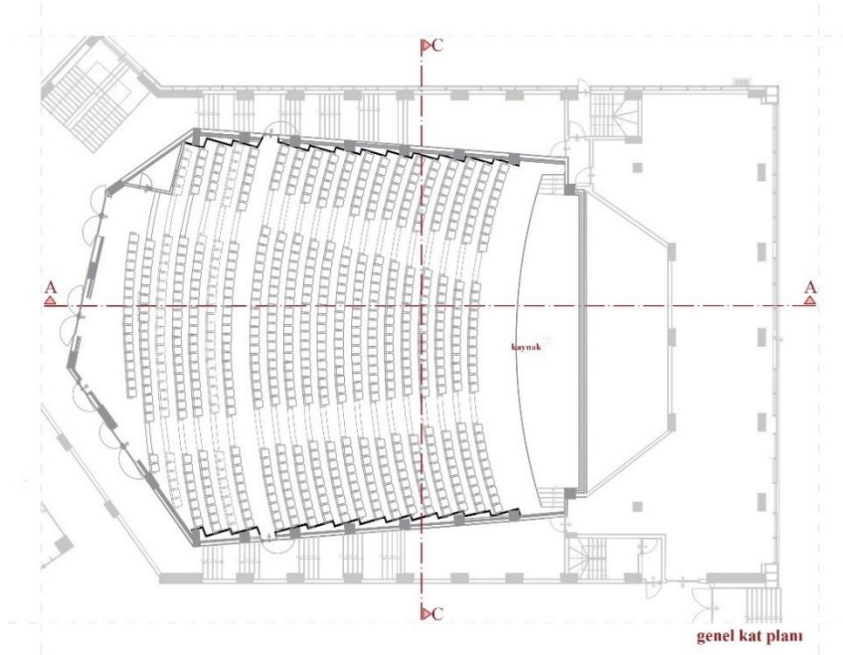
Şekil 3.1 Atatürk Kültür Merkezi uydu görüntüsü [32]

Şekil 3.1 incelendiğinde kültür merkezinin şehrin daha az yoğun olan bölgesinde yer aldığı bu sebeple şehir içi gürültüsünden daha az etkilendiği, buna göre yola bakan geniş cephesinden ötürü yol gürültüsünden yüksek derecede etkilendiği yorumunda bulunulabilmektedir.



Şekil 3.2 Kültür merkezi kat planı [30]

Şekil 3.2’de yer alan kat planı incelendiğinde kültür merkezi içerisinde yer alan konferans salonunun yola bakan cephede yer almadığı, dolayısıyla yapının diğer bölümlerine göre yol gürültüsünden daha az etkilendiği söylenebilmektedir.

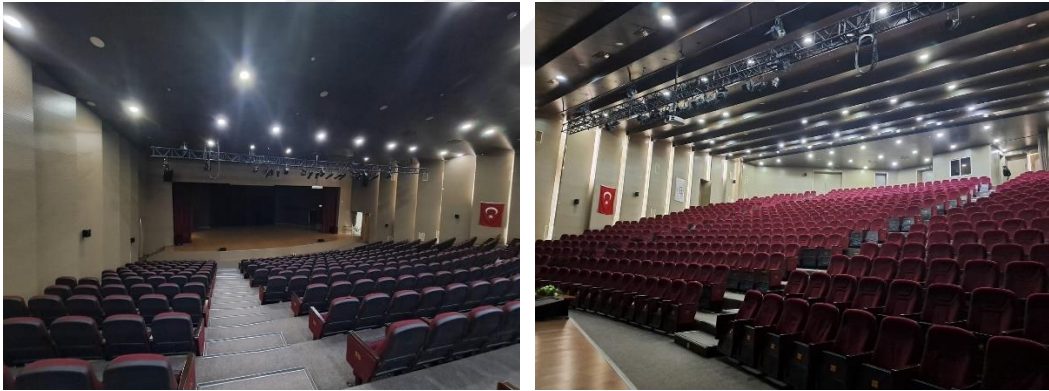


Şekil 3.3 Konferans salonu kat planı [30]

Şekil 3.3'te konferans salonuna dair kat planına yer verilmiştir. Konferans salonunun sahne dinleyici alanını saran bir kabuğu bulunurken, kulis ve sahne arkası alanları saran ikinci bir kabuğun olduğu görülebilmektedir. Yine bu kapsamda incelendiğinde, konferans salonunu etkileyen dış gürültü düzeylerinin kabul edilebilir olduğu öngörülmektedir. Tam ve kesin değerlendirme için alanda ölçümler yapılmalıdır.

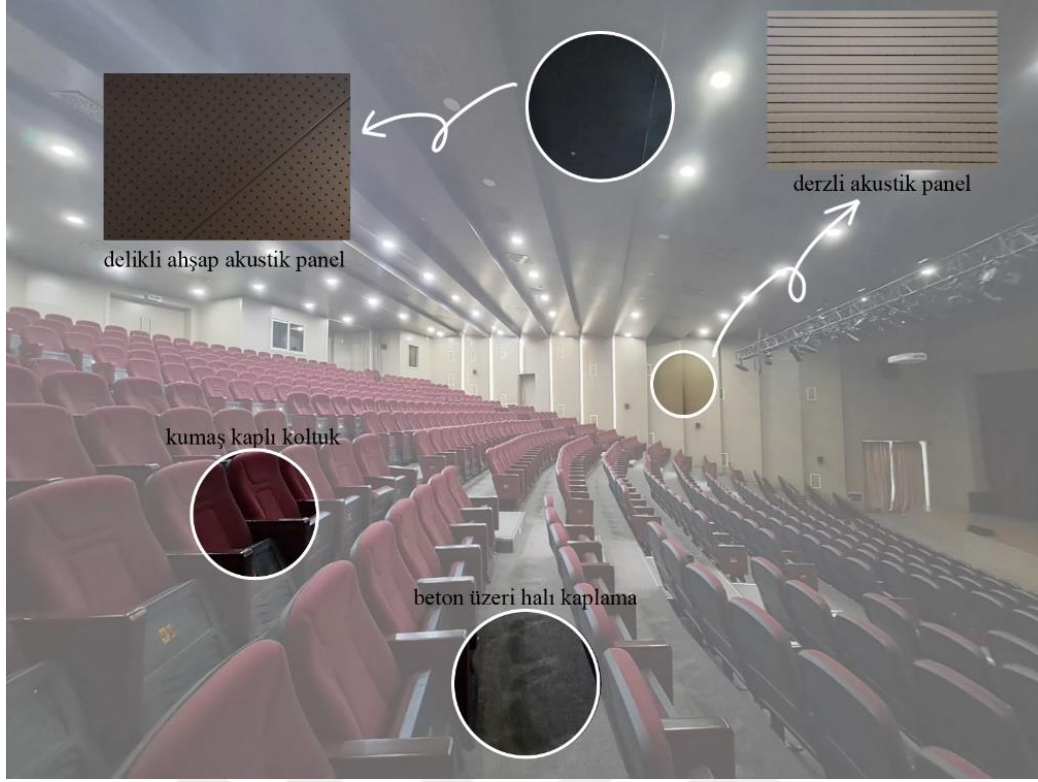
3.1 Akustik Konfor Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonu, 735 kişilik bir dinleyici kapasitesine ve yelpaze biçimli oturma düzenine sahiptir. Plan tipi incelendiğinde, iyileştirilmiş yanal yansıtıcı ters yelpaze veya diğer adıyla elmas plan tipinin uygulandığı görülebilmektedir (Şekil 3.3). Dinleyici alanı ise yaklaşık 23x30 m ebatlarında, dar bir açıyla ilerleyen yelpaze şemasındadır. Yaklaşık 625 m²'lik bir alan ve 4560 m³'lük bir hacme sahiptir [30]. Yine kat planı incelendiğinde yan duvarlarda yer alan kırıklı yüzeyler aracılığıyla sesin salon içerisinde dağılımın gerçekleştirildiği söylenebilmektedir. Şekil 3.4'te salona dair güncel fotoğraflara yer verilmektedir.



Şekil 3.4 Konferans salonu güncel fotoğrafları

Salonda kullanılan yüzey gereçleri incelendiğinde duvarda derzli akustik ahşap panellerin, tavanda delikli ahşap panellerin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.5). Ayrıca salonda zemin kaplaması olarak halı kullanılmıştır ve koltuklar kumaş kaplıdır.



Şekil 3.5 Konferans salonunda yer alan yüzey gereçleri

3.1.1 Mimari Tasarım Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Mimari tasarım parametreleri, mimari tasarımın akustik konfor koşullarıyla ilişkisini ortaya koyar. Sağlıklı bir akustik tasarımın ön koşulu işlev ile uyumlu mimari tasarımı ortaya koymaktır. Akustik konforun belirleyicisi olan mimari tasarım parametreleri; hacmin büyüklüğü, biçimi, dinleyici alanı tasarımı, sahne tasarımı, tavan, arka ve yan duvarların tasarımı gibi alt başlıklardan oluşmaktadır (*Bakınız, Bölüm 2.1*).

3.1.1.1 Hacim Büyüklüğü

Her salonun kullanım amacına göre değişen ve önerilen hacim büyüklükleri bulunmaktadır. Akustikçiler yaptıkları çalışmalarında, değişen salon işlevleri için farklı değerlerde dinleyici başına düşen hacim büyüklükleri önermişlerdir (*Bakınız, Bölüm 2.1.1*). Konuşma işlevli salonlar için dinleyici başına düşen hacmin 4 ila 6 m³ arasında olması önerilirken; konser salonları için bu büyüklüklerin 8 ila 10 m³ arasında olması önerilmektedir (Tablo 2.1). Bunun sebebi, konser salonları için hacmin büyük olmasının yüksek yansıma süresi değerleri sağlamasında gerekli olması ve uzak yüzeylerden olan gecikmiş yansımalar aracılığı ile müziğin canlılığına katkı sağlamasıdır.

AKM Konferans Salonu 735 kişilik bir dinleyici kapasitesine ve 4560 m³'lük bir hacme sahiptir.

Hacim büyüklüğü ve dinleyici sayısı ilişkisi aşağıdaki büyüklüğü ile ilişkilendirilmiştir.

$$N_{max} = 1,54 \times V^{0,75} [20]. \quad (2.1)$$

Bu denkleme göre ise,

$N_{max} = 1,54 \times 4560^{0,75}$ biçiminde olmakta ve,

$N_{max} \cong 854$ olarak belirlenmektedir.

$N_{max} > N_{mev}$ olduğundan, hacim büyüklüğü ve maksimum dinleyici kapasitesi ilişkisinin kabul edilebilir aralıklar arasında olduğu söylenebilmektedir. Öte yandan, konuşma işlevli salonlar için önerilen 4-6 m³'lük optimum hacim büyüklüğü aralıkları ele alındığında [39],

$V_{kişi} = 4560/735$ şeklinde ve,

$V_{kişi} \cong 6,20$ olmaktadır. Bu durumda ise, hacmin işlevi ve dinleyici başına düşen hacim büyüklüğü ilişkisi değerlendirmesi yapıldığında, akustik açıdan gerekli hacim büyüklüğünün kabul edilebilir koşullara yakın olduğu görülmektedir.

3.1.1.2 Hacmin Biçimi

Hacmin biçimi, salonun akustik karakterini belirleyen önemli parametrelerden biridir ve tıpkı hacim büyüklüğünde olduğu gibi hacmin kullanım amacına yani işlevine göre önerilen çeşitli hacim biçimleri bulunmaktadır (*Bakınız, Bölüm 2.1.2*).

Konuşma işlevli salonlar için kaynak- dinleyici arasındaki mesafe, dolaysız sesin dinleyiciye ulaşması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle bu tür konuşma odaklı işlevlerin gerçekleştirildiği hacimlerde yelpaze plan tipi kullanılması önerilir.

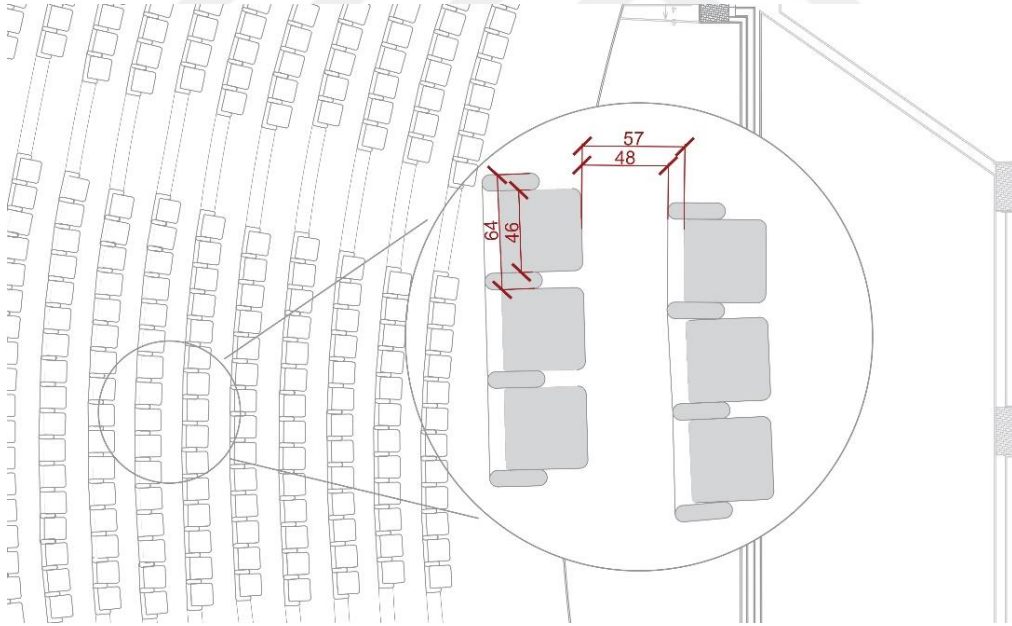
Müzikal işlevli salonlar için ise, büyük hacimler ve yüksek yanal yansımalar istenir. Dikdörtgen plan tipi, yelpaze plan tipine göre yanal yansımaları üretmede oldukça başarılıdır. Bu nedenle, müzikal işlevli salonlar için önerilen plan tipi dikdörtgen olmaktadır.

Ele alınan konferans salonu incelendiğinde, iyileştirilmiş yanal yansıtıcı ters yelpaze veya diğer adlarıyla elmas ya da altıgen plan tipine sahip olduğu

görülmektedir. Dolayısıyla plan tipi hacmin işlevi ile ilişkilidir ve kabul edilebilirdir. Bununla birlikte, konuşma işlevli salonlar için yanıl yansımaların, müzikal işlevli salonlara görece daha az önem taşıdığı bilinmektedir. Yan duvarlarda yer alan kırıklı yüzeylerin yansıyan sesin dolaysız sestem daha yüksek olduğu durumlarda kaynak yönünün algılanmasını zorlaştıracığı bilinmelidir. Bu da konuşma işlevli salonlarda akustik açıdan istenen bir durum değildir. Yan duvarların dağıtıcılık etkisine “Arka ve Yan duvarların Tasarımı” başlığı altında değinilecektir.

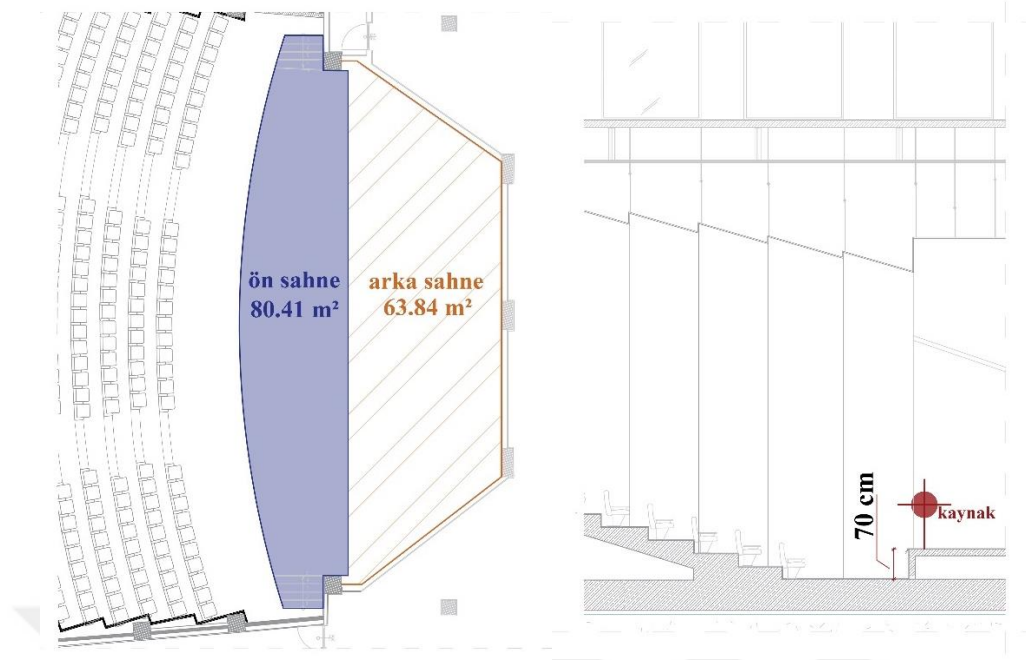
3.1.1.3 Dinleyici Alanı Tasarımı

Dinleyici alanı tasarımında salonun kullanım amacı gözetilmeksizin tüm dinleyicilerin sahneyi net bir biçimde görebilmeleri ve sesleri kesintisiz bir biçimde işitebilmeleri önemlidir. Önerilen koltuk genişlikleri 55-60 cm aralığındayken, koltuklar arası mesafeler 45-60 cm aralığında olmaktadır. Salonun mevcut durumundaki oturma düzenine bakıldığında koltuk genişliklerinin 64 cm olduğu, koltuklar arası mesafenin ise 48 cm olduğu görülmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Dinleyici koltuk büyüklüğü ve koltuklar arası mesafeler

Dinleyicilerin sahneyi kesintisiz bir biçimde görebilmeleri ve dolaysız sesleri sağlıklı bir biçimde diğer dinleyiciler tarafından engellenmeden işitebilmeleri için dinleyici alanının kademelendirilmesi gerekmektedir. Oturan bir dinleyicinin zeminden yüksekliği 1,10 m kabul edilirken, arka sırada yer alan dinleyici ile göz



Şekil 3.8 Sahne büyüklüğü ve yüksekliği

3.1.1.5 Tavan Tasarımı

Konuşma işlevli salonlar için alçak tavan kullanımı tercih edilmektedir [36]. Burada dinleyici başına düşen alana bağlı olarak bir değerlendirme yapılarak ideal tavan yükseklikleri belirlenebilmekte ve mevcut durum ile karşılaştırılabilmektedir. 735 kişilik dinleyici kapasitesine sahip bu salonda, dinleyici başına düşen hacim büyüklükleri 4 ila 6 m³ arasında önerilmektedir. O halde salonun toplam hacmi;

$$(4 \times 735) m^3 \leq V_{\text{önerilen}} \leq (6 \times 735) m^3, \quad (3.1)$$

$2970 m^3 \leq V_{\text{önerilen}} \leq 4410 m^3$ aralığında olmalıdır.

Salon 625 m²'lik bir taban alanına sahip olduğundan uygun tavan yüksekliği,

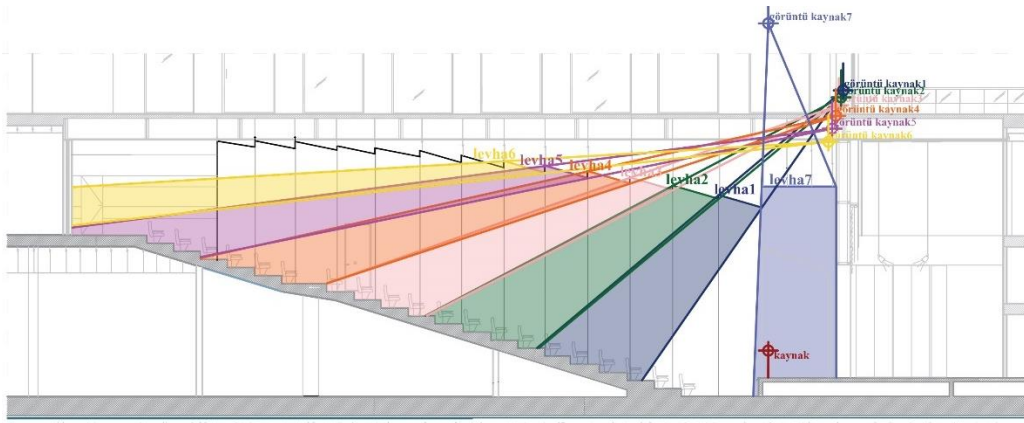
$$(2970/625) m \leq H_{\text{önerilen}} \leq (4410/625) m,$$

$4,75 m \leq H_{\text{önerilen}} \leq 7,05 m$ aralığında olmalıdır. Salonun mevcut durumundaki ortalama tavan yüksekliği değerlendirilmeye alındığında bu değer yaklaşık 7,35 m biçiminde olduğu görülmektedir ve kabul edilebilir değerlere yakın olduğu yorumu yapılabilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Salonun ortalama tavan yüksekliği

Tavan tasarımı incelendiğine kademeli tavan tasarımı uygulamasının gerçekleştirildiği görülebilmektedir. Konuşma işlevli salonlar için tavan tasarımı oldukça önemlidir. Tavanda yer alan levhalar aracılığıyla dolaysız sesin arkadaki dinleyicilere ulaştırılması ve bu sayede dinleyicilerin dolaysız sesten maksimum derecede yararlanabilmesi sağlanmalıdır. Kademeli tavan tasarımı aracılığıyla, ilk yansımaların dinleyici alanına düzgün dağılması ve böylece konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önem taşıyan dolaysız sesin salon genelinde etkili olması sağlanmaktadır. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, tavan tasarımında kullanılan kademeli sistem, salonun pek çok bölgesine yansıyan sesleri ulaştırabilmektedir.



Şekil 3.10 Tavanda yer alan levhalara ait yansımalar örgüleri

Burada tasarlanan tavan levhalarının boyutlarının 3,5 m altında olmaması ve böylece alçak frekanslardaki sesleri de yansıtabilmeleri istenir. Levhaların boyutları incelendiğinde bu boyutların 1,6 ila 1,8 m arasında değiştiği dolayısıyla

3.1.2 Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi

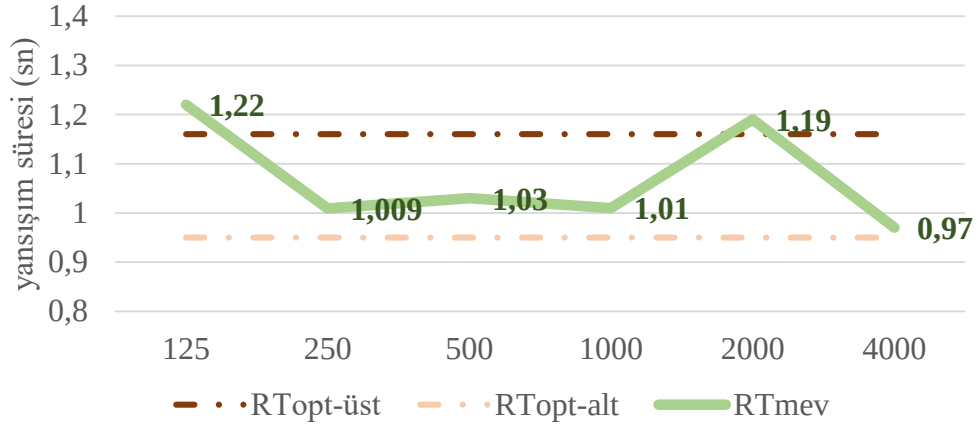
Konuşma işlevli salonlar için dikkatle değerlendirilmesi gereken belirli hacim akustiği parametreleri bulunmaktadır. Bu bölümde salon kuramsal açıdan yansıma süresi, ses basınç düzeyi, varlık kriteri gibi parametreler açısından incelenecek, hacim içerisinde akustik açıdan gerekli düzenlemelerin yapılması sonrasında simülasyon yöntemi yardımıyla hacim değerlendirilecektir.

3.1.2.1 Hacmin Optimum ve Mevcut Yansıma Sürelerinin Belirlenmesi

Her hacmin işlevi ve büyüklüğüne bağlı olarak sağlaması gereken optimum yansıma süresi değerleri bulunmaktadır (*Bakınız, Bölüm 2.2.1.1*). Konferans salonları için önerilen optimum yansıma süresi, yani 500 Hz frekanstaki değeri 1,05 sn kadar olmaktadır (Şekil 2.29). Salonun mevcut durumu içerisinde Sabine Yöntemi aracılığıyla yansıma süresi değerlendirmesi yapıldığında Tablo 3.1’de ve Şekil 3.12’de yer alan değerler elde edilmektedir.

Tablo 3.1 Hacmin mevcut yansıma süresinin belirlenmesi

SALON YANSIŞIM SÜRESİ (RT_{opt})													
GEREÇLER	n	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
Dinleyici: 735 kişi	adet	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$
Ab hesabı													
İnsan (Dinleyici)	490,0	0,23	112,7	0,33	161,7	0,38	186,2	0,38	186,2	0,39	191,1	0,39	191,1
Kumaş kaplı koltuk	245,0	0,25	61,25	0,32	78,4	0,28	68,6	0,31	151,9	0,33	80,85	0,33	80,85
Ab; Toplam			173,9		240,1		254,8		338,1		271,9		271,9
Ay hesabı													
GEREÇLER	S	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
	m ²	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$	α	$\alpha x S$
Derzli ahşap panel [77]	630,3	0,20	126,0	0,15	94,54	0,12	75,63	0,10	63,03	0,08	50,42	0,07	44,12
Delikli ahşap panel [97]	451,7	0,56	252,9	0,77	347,8	0,63	284,58	0,43	194,2	0,26	117,4	0,25	112,9
Serbest halı [15]	405,5	0,09	36,50	0,08	32,44	0,21	85,17	0,26	105,4	0,27	109,5	0,37	150,0
Parke kaplama [15]	144,2	0,05	7,21	0,04	5,77	0,03	4,33	0,03	4,33	0,03	4,33	0,03	4,33
Boyalı duvar [15]	208,8	0,01	2,09	0,01	2,09	0,02	4,18	0,02	4,18	0,02	4,18	0,03	6,26
Ay; Toplam			424,8		482,6		453,8		371,2		285,8		317,6
Ah hesabı													
GEREÇLER	V (m ³)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
V = 4560 m ³	4m ³	m	4mV	m	4mV	m	4mV	m	4mV	m	4mV	m	4mV
Katsayı (4V)	18240	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0008	14,59	0,003	54,72	0,0088	160,5
Ah; Toplam			0,00		0,00		0,00		14,59		54,72		160,5
A (Ab+Ah+Ay)			598,7		722,7		708,6		723,9		612,5		750,1
Yansıma Süresi Hesabı RT_{mev}													
GEREÇLER	Katsayı	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		A	V/A	A	V/A	A	V/A	A	V/A	A	V/A	A	V/A
V/A	4560,	598,7	7,62	722,7	6,31	708,6	6,43	723,9	6,30	612,5	7,44	750,1	6,08
$RT = 0,16V/A$	0,16		1,22		1,009		1,03		1,01		1,19		0,97
Optimum Yansıma Süresi (T_{opt})													
GEREÇLER	RT_{opt}	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
0,99 < RT_{opt} < 1,21 sn		1,05		1,05		1,05		1,05		1,05		1,05	
$RT_{opt-üst}$		1,16		1,16		1,16		1,16		1,16		1,16	
$RT_{opt-alt}$		0,945		0,945		0,945		0,945		0,945		0,945	

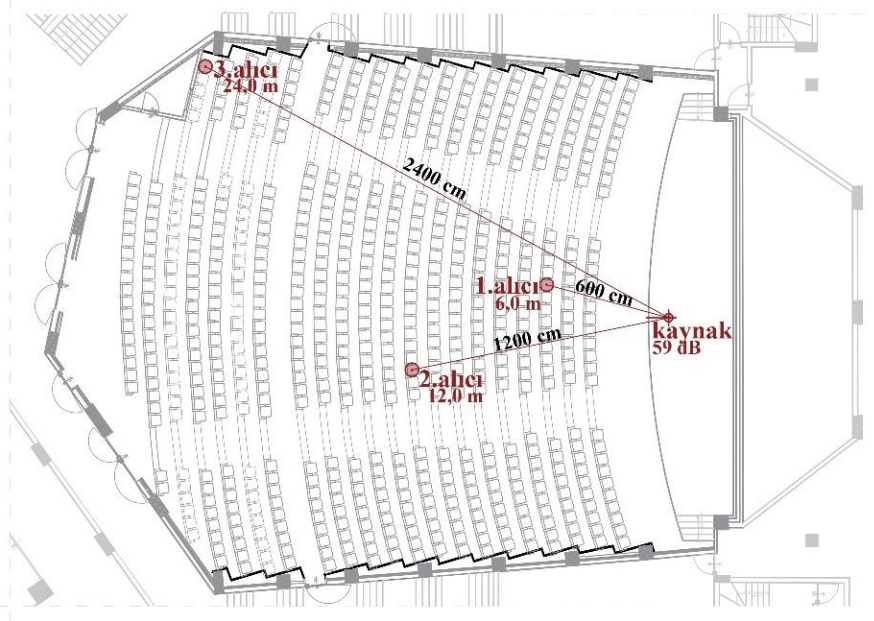


Şekil 3.12 Hacmin mevcut yansıma süresinin belirlenmesi

Şekil 3.12’de salonun mevcut yansıma süreleri değerlendirildiğinde, 125 Hz ve 2000 Hz frekansları için sonuçların kabul edilebilir değerlerin üzerinde kaldığı görülmektedir. Salonun ortalama yansıma süresi değeri ise 1,07 sn olmaktadır.

3.1.2.2 Farklı Dinleyici Noktalarındaki Ses Basınç Düzeylerinin Hesaplanması

Salonda yapılan kuramsal hesaplamalarda önde, ortada ve arkada olmak üzere üç farklı dinleyici noktasında ses basınç düzeyleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada sahne üzerinde konumlanan kaynağın ses düzeyi 59 dB olarak kabul edilmiş, sırasıyla 6, 12 ve 24 m uzaklıklarda bulunan üç farklı dinleyici için dolaysız ve yansımış ses düzeyleri hesaplanmıştır (Tablo 3.2).



Şekil 3.13 Salonda dinleyici noktaları

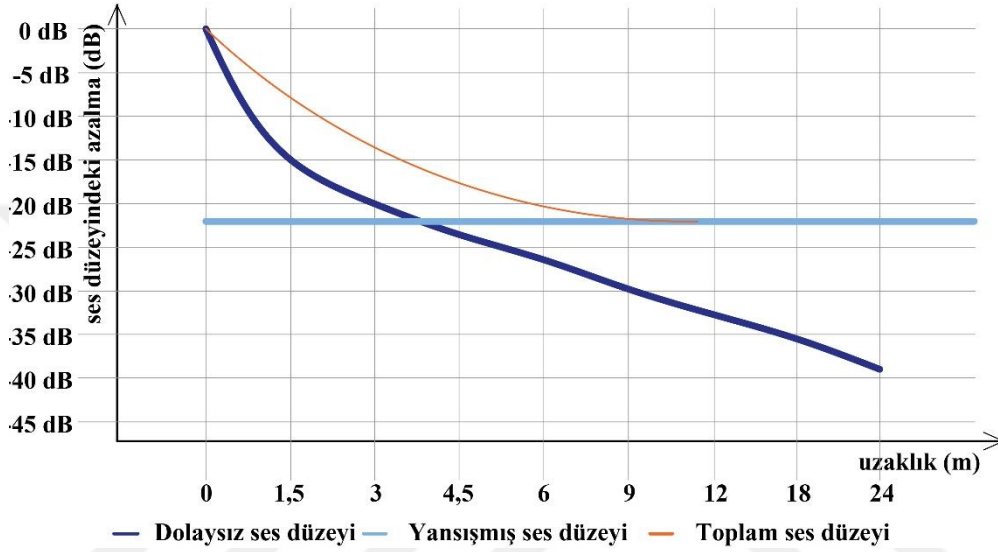
Teorik yöntemle yapılan bu çalışmada yansımaların etkisi, simülasyon aracılığıyla yapılan hesaplamalara göre çok daha azdır. Buradaki veriler, varlık kriteri, S/N oranı gibi diğer hacim akustiği parametrelerini kuramsal açıdan değerlendirmek üzere kullanılmıştır.

Tablo 3.2 Farklı dinleyici noktalarında ses basınç düzeylerinin hesaplanması [29]

1. dinleyici (Kaynaktan 6 m uzaklık)							
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Toplam
L _w	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	67,0 dB
L _d (dB)	32,8 dB	32,9 dB	32,7 dB	33,0 dB	33,4 dB	33,8 dB	41,1 dB
L _y (dB)	37,2 dB	36,4 dB	36,5 dB	36,4 dB	37,1 dB	36,3 dB	44,7 dB
L _p (dB)	40,2 dB	40,4 dB	40,0 dB	39,5 dB	39,6 dB	39,2 dB	47,4 dB
dBA farkı	-16	-8,5	-3	0	1	1	-
L_p dB(A)	24,2 dB(A)	31,9 dB(A)	37,0 dB(A)	39,5 dB(A)	40,6 dB(A)	40,2 dB(A)	45,6 dB(A)
2. dinleyici (Kaynaktan 12 m uzaklık)							
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Toplam
L _w	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	67,0 dB
L _d (dB)	26,8 dB	26,9 dB	26,7 dB	27,0 dB	27,4 dB	27,7 dB	34,9 dB
L _y (dB)	37,2 dB	36,4 dB	36,5 dB	36,4 dB	37,1 dB	36,3 dB	45,2 dB
L _p (dB)	38,2 dB	37,8 dB	37,7 dB	37,4 dB	37,9 dB	37,2 dB	46,2 dB
dBA farkı	-16	-8,5	-3	0	1	1	-
L_p dB(A)	22,2 dB(A)	29,3 dB(A)	34,7 dB(A)	37,4 dB(A)	38,9 dB(A)	38,2 dB(A)	44,9 dB(A)
3. dinleyici (Kaynaktan 24 m uzaklık)							
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
L _w	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	59,0 dB	67,0 dB
L _d (dB)	20,7 dB	20,9 dB	20,7 dB	20,9 dB	21,4 dB	21,7 dB	28,9 dB
L _y (dB)	37,2 dB	36,4 dB	36,5 dB	36,4 dB	37,1 dB	36,3 dB	45,7 dB
L _p (dB)	37,5 dB	36,8 dB	36,8 dB	36,7 dB	37,3 dB	36,5 dB	45,5 dB
dBA farkı	-16	-8,5	-3	0	1	1	-
L_p dB(A)	21,5 dB(A)	28,3 dB(A)	33,8 dB(A)	36,7 dB(A)	38,3 dB(A)	37,5 dB(A)	40,3 dB(A)

59 dB ses basınç düzeyine sahip kaynaktan 6 m uzaklıkta ve 125 Hz oktav bandında dinleyiciye ulaşan dolaysız sesin düzeyi 33 dB, toplam ses düzeyi 46 dB; 12 m uzaklıkta dinleyiciye ulaşan dolaysız sesin düzeyi 27 dB, toplam ses düzeyi 45 dB; 24 m uzaklıkta dinleyiciye ulaşan dolaysız sesin düzeyi 21 dB, toplam ses düzeyi 41 dB olmaktadır. Burada görüldüğü gibi, kaynaktan olan uzaklık her iki katına

ulaştığında dolaysız sesin düzeyi 6 dB azalmaktadır fakat buna rağmen toplam ses düzeyindeki azalma 6 dB'den daha azdır. Bu durumda, yansımış sesin dinleyiciye ulaşan toplam ses düzeyini olumlu yönde etkilediği ve dinleyiciye ulaşan sesi düzeyini arttırdığı söylenebilmektedir. Bununla birlikte kaynak dinleyici uzaklığına bağlı olmaksızın yansımış sesin düzeyi tüm dinleyiciler için 37 dB olmaktadır. Şekil 3.14'te kaynak dinleyici arası uzaklığa bağlı olarak yansımış sesin dolaysız sese katkısı görülebilmektedir.



Şekil 3.14 Dolaysız-yansımış-toplam ses düzeyinin uzaklığa bağlı değişimi

3.1.2.3 Varlık Etkisi ve Sağlandığı Alanın Sınırlarının Belirlenmesi

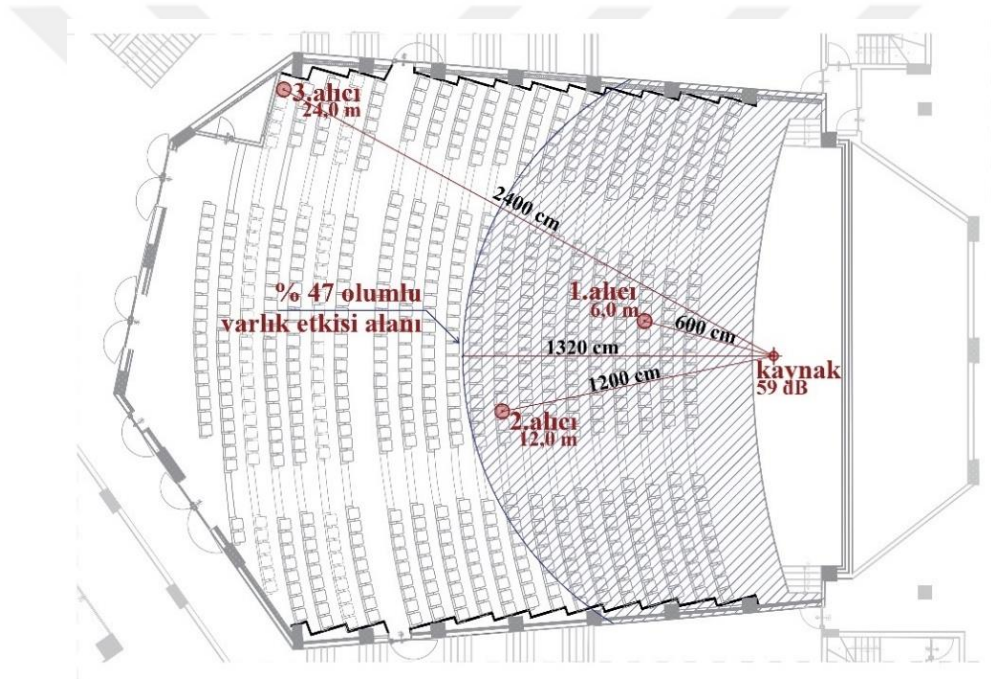
Doğal akustik koşulların sağlandığı salonlarda, dolaysız ses kaynaktan uzaklaştıkça azalır ve bu nedenle varlık etkisinin gerçekleştirilmesi de zorlaşmaktadır. Salon içerisinde varlık ölçütünün sağlanabildiği alanı tanımlamak için,

$$d = \sqrt{\frac{15V}{100\pi RT}} \quad (2.18)$$

denklemini kullanılmaktadır. Alanın sınırları ilk yansımalar ile genişletilebildiğinden ötürü bu denklem ile hesaplanandan daha geniş bir alanda sağlanabildiği unutulmamalıdır. Burada RT değeri 500 ve 1000 Hz frekanslarındaki yansımın sürelerinin ortalaması biçimindedir. Öyleyse,

$$d = \sqrt{\frac{15 \times 4560}{100 \times 3,14 \times \left(\frac{1,03 + 1,01}{2}\right)}}$$

$d = 14,6$ m olmaktadır. Bu durumda salonda ilk 14,6 m'lik mesafe içerisinde konumlanan dinleyiciler varlık etkisinden yararlanabilmekte ve kaynağın yerini algılamakta güçlük çekmemektedirler. Bu durumda bu bölgelerin varlık etkisi açısından olumlu bölgeler oldukları söylenebilmektedir. Buna ek olarak, varlık etkisinin sağlanabilmesi açısından yansımış ses düzeyinin dolaysız ses düzeyinden en fazla 11.7 dB fazla olması istenir. 14,6 m'lik mesafe içerisinde inceleme yapıldığında, 125 Hz oktav bandındaki değerleri için bu farkın 12,1 dB olduğu görülmektedir. Tüm frekanslarda istenen farkın aşılması için 13,2 m'lik bir varlık etkisi alanından söz edilebilmektedir. Bu da salonun %47'lik bir kısmında varlık etkisinin sağlanabildiği görülmektedir (Şekil 3.15). Doğru levha tasarımı ile ilk yansımalar aracılığıyla varlık etkisinin sınırlarının genişletilmesi mümkündür.



Şekil 3.15 Salonda varlık etkisinin sağlandığı alanlar

3.1.3 Akustik Kusurların Oluşumunun Değerlendirilmesi

Hacim içerisinde uygun akustik koşullarının sağlanmasının bir diğer önemli gereksinimi ise hacmin akustik kusurlardan arınmış olmasıdır. Hacim içerisinde istenmeyen akustik kusurlar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Maskeleme,
- Yankı,
- Akustik gölge,
- Distorsiyon,

- Düzgün yayılmamışlık,
- Vurgusal yankı,
- Odaklanma.

3.1.3.1 Maskeleme

Maskeleme, hacim içerisinde yer alan iki sestten birinin diğerinin işitilebilmesini engellemesi olayıdır [41]. Bir başka deyişle bir sesin kendisinin takip eden başka bir ses tarafından örtülmesidir [18]. İki sesin düzey farklarının 10 dB'i aşması durumunda gerçekleşir. Daha çok yansıma süresi uzun olan hacimlerde, yansımış sesin dolaysız sestten fazla olması durumunda gerçekleşmektedir.

Salonun mevcut durumu Şekil 3.13'te belirtilen üç dinleyici için incelendiğinde, 1. Dinleyici için maskeleme söz konusu olmazken; 2. Dinleyici için 125 Hz oktav bandında maskeleme ihtimali görülebilmektedir (Tablo 3.3). 3. Dinleyici için ise, tüm frekanslar için yansımış sesin dolaysız sesi maskelemesi söz konusudur fakat bu durumdan bir akustik kusur olarak söz etmek, kaynak - dinleyici uzaklığı arttıkça dolaysız sesin azalması ve yansımış sesin dolaysız sesi beslemesinden ötürü mümkün olmayabilmektedir. Şekil 3.14'te de yansıyan sesin dolaysız sese katkısı grafik biçiminde gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Dolaysız ve yansımış ses düzeyleri arasındaki farklar

1. dinleyici (Kaynaktan 6 m uzaklık)						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ld(dB)	32,8 dB	32,9 dB	32,7 dB	33,0 dB	33,4 dB	33,8 dB
Ly (dB)	37,2 dB	36,4 dB	36,5 dB	36,4 dB	37,1 dB	36,3 dB
Düzyer farkı	4,5	3,5	3,8	3,4	3,7	2,5
2. dinleyici (Kaynaktan 12 m uzaklık)						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ld(dB)	26,8 dB	26,9 dB	26,7 dB	27,0 dB	27,4 dB	27,7 dB
Ly (dB)	37,2 dB	36,4 dB	36,5 dB	36,4 dB	37,1 dB	36,3 dB
Düzyer farkı	10,5	9,6	9,8	9,5	9,8	8,5
3. dinleyici (Kaynaktan 24 m uzaklık)						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ld(dB)	20,7 dB	20,9 dB	20,7 dB	20,9 dB	21,4 dB	21,7 dB
Ly (dB)	37,2 dB	36,4 dB	36,5 dB	36,4 dB	37,1 dB	36,3 dB
Düzyer farkı	16,5	15,6	15,8	15,5	15,8	14,6

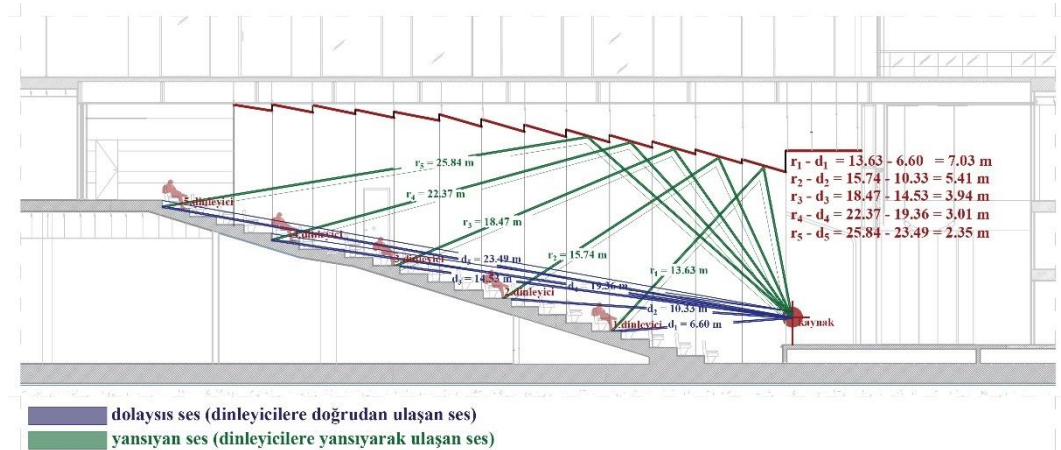
3.1.3.2 Yankı

Bir sesin süresinden bağımsız bir biçimde insan kulağındaki etkisi 1/15 sn kadardır. Bu nedenle bu süre içerisinde kulağa peşi sıra ulaşan birden fazla çok kısa süreli ses aynı sesin uzaması gibi işitilir [73]. Ses yansımasının insandaki duyulanması üç şekilde gerçekleşir. Bunlar:

- 1- Ses kaynağından doğrudan kulağa ulaşan dolaysız ses ile,
- 2- Dolaysız sesin bir yüzeye çarpması ile yansıyan ve kulağa dolaysız sesin peşi sıra ulaşan ses ile,
- 3- Dolaysız sesin bir yüzeye çarpması ile yansıyan ve kulağa ulaşan sesin, dolaysız sestten çok sonra kulağa ulaşması ile gerçekleşir.

İkinci biçimdeki duyulanmada, dolaysız ses ve yansıyan ses arasındaki uzaklık 22 m'den azken, üçüncü biçimdeki duyulanmada bu mesafe 34 m'nin üzerindedir. Uzaklık farkının 22 ile 34 m arasında olması halinde, duyulanma sesin biçimine bağlı olarak ses uzaması ya da yankı olarak gerçekleşmektedir [55]. Konuşma işlevli hacimler için ise dolaysız ses ve yansıyan ses arasındaki yol farkının 14 m'yi aşmaması istenir [55].

Şekil 3.10'da tavanda yer alan levhaların salon içerisinde yansıma örgülerine yer verilmiştir. Bu levhalar aracılığıyla yansıyan seslerin dolaysız ses ile arasındaki yol farkı Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Tavan levhalarında yankı etüdü

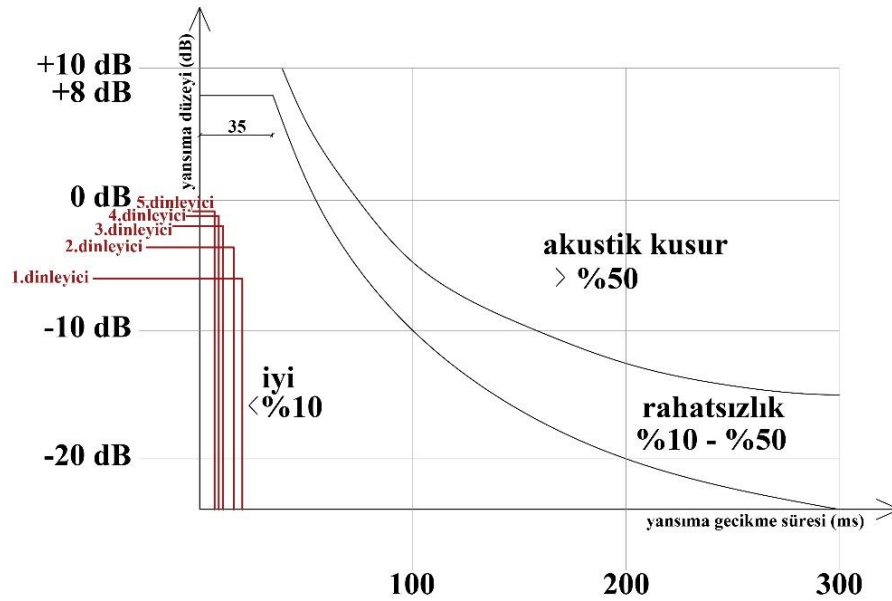
Şekil 3.16'da görülebildiği üzere tavanda yer alan levhalar aracılığıyla salona yayılan yansıymış sesin dolaysız ses ile arasındaki yol farkı 14 m'den azdır. Dolayısıyla yankı tehlikesinin görülmediği söylenebilmektedir.

Benzer bir biçimde hacim içerisindeki yansıma düzeyleri incelenerek Hass kriteri açısından değerlendirme yapılabilir. Beş dinleyiciye ulaşan dolaysız ve yansımış sesler ile ilişkili olarak yansıma gecikme süresi ve yansıma düzeyi ile ilişkili belirlemeler yapılabilmektedir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Yansıma gecikme süreleri ve yansıma düzeylerinin belirlenmesi

Dinleyici	Yansıma Gecikme Süresi (ms)	Yansıma Düzeyi (dB)
1. dinleyici	20 ms	-6,2 dB
2. dinleyici	16 ms	-3,6 dB
3. dinleyici	11 ms	-2,08 dB
4. dinleyici	9 ms	-1,25 dB
5. dinleyici	7 ms	-0,82 dB

Haas kriteri açısından bakıldığında her dinleyici için yansıma gecikmesi ve yansıma gecikme süresi incelemesi yapıldığında hacmin %10'luk bir dilimde kalarak iyi bir koşul olarak değerlendirilebileceği söylenebilmektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Salondaki yansımaların Haas kriteri açısından değerlendirilmesi

3.1.3.3 Akustik Gölge

Yüzeylerin oluşturdukları engeller sonucundan yüzey alt bölgelerine dolaysız ya da yararlı yansımaların ulaşmasının mümkün olmadığı akustik kusur durumudur [74]. Salon içerisinde yer alan levhaların oluşturdukları yansıma örgüleri, hacim içerisinde belirli bölgelerde yansıyan sestən yararlanılamadığını göstermektedir (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11).

3.1.3.4 Distorsiyon

Bir hacimde yansıım süresinin frekansa bağı değerleri arasında önemli derecede farklılıklar söz konusu olduğunda o hacimde distorsiyon ortaya çıkabilir, ses bazı frekanslarda biçim değıştirebilir veya maskelenebilir [22]. Genel anlamıyla yansıım süresinin frekansa bağı olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde olması distorsiyon olasılığını azaltsa da konuşma işlevli salonlarda böyle bir akustik kusurun meydana gelmemesi için alçak frekanslardaki yansıım süresi değıerlerinin yüksek frekanslardaki yansıım süresi değıerlerine yakın değıerlerde olması yani yanıt eğrisinin neredeyse düz bir çizgi halinde devam edebiliyor olması istenir [36].

Salonda Sabine Yöntemi ile yapılan yansıım süresi değıerlendirilmelerinde tüm frekanslarda gözlemlenen bariz farklılıklar nedeniyle hacmin distorsiyon oluşumunu azaltmada yeterli performansı gösteremeyeceğı söylenebilmektedir (Şekil 3.12).

3.1.3.5 Diğıer Akustik Kusurlar

Düzgün yayılmamışlık, ses alanının hacim içerisinde noktadan noktaya farklılık göstermesi durumudur. Konuşma işlevli salonlarda, konuşmanın anlaşılabilirliğini etkileyen önemli bir kusurdur. Hacmin arka bölgelerindeki ses düzeyi ve ön bölgelerindeki ses düzeyinin birbirine olabildiğıince yakın olması, sesin hacim içerisinde her noktaya homojen bir biçimde dağılması önemli bir kriterdir. Hacim içerisindeki belirli dinleyici noktalarında yapılan değıerlendirmelerde frekanslara bağı olarak incelemeler yapıldığında her üç dinleyiciye de her frekans için ulaşan sesin düzeyinin birbirine yakın olduğu görölmektedir.

Vurgusal yankı genel olarak birbirine paralel iki yansıtıcı yüzeyin var olduğu hacimlerde meydana gelen, ses düzeyinde sık ya da seyrek biçimde tekrarların görölüğü akustik kusurdur [41]. Salonun mevcut durumu değıerlendirildiğinde yan duvarlar arasında bir paralellik bulunmadığı ve duvarlarda yer alan kademeli paneller yardımıyla sesin dağıtılmasının sağlandığı görölebilmektedir.

Daha çok kubbeli ve içbükey formların kullanıldığı hacimlerde meydana gelen bir akustik kusur olan odaklanma, içbükey formlar nedeniyle sesin bir noktada ya da küçük bir alanda toplanmalarına neden olmaktadır. Bu durum da ses yoğunluğunun artmasına ve ikinci bir kaynağın varlığı algısına sebep olur [41]. Yine salonun

mevcut durumu değerlendirildiğinde hacim içerisine odaklanma kusurunun meydana gelme olasılığının düşüklüğünden söz edilebilmektedir.

3.2 Hacim Akustiği Parametrelerinin İyileştirilmesine Dair Öneriler ve Değerlendirmeler

Salonun mevcut akustik koşulları incelendiğinde hacmin biçiminin işlevi ile uyumlu olduğu değerlendirilmekteyken, dinleyici başına düşen hacim büyüklüğünün kabul edilebilir sınırlara yakın olduğu söylenmektedir.

Dinleyici alanı tasarımı için yapılan değerlendirmelerde; dinleyici alanı için mevcutta var olan eğimin akustik açıdan yeterli kalmadığı, dinleyicilerin birbirlerinin görüş açılarını ve dolayısıyla işitme açılarını engelledikleri söylenebilmektedir. Yapılan etütlerde salon için gerekli dinleyici alanı kademelendirmesinin salon yüksekliğinin arttırılmasına neden olacağı görülmektedir. Salon tavan yüksekliğindeki bu artış, hacim büyüklüğünü arttırmakta ve zaten kabul edilebilir sınırların üzerinde olan kişi başına düşen hacim miktarını arttırarak olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple salon içerisinde gerekli kademelendirmeyi sağlamak ve kişi başına düşen hacmi dengede tutmak adına balkon tasarımı önerilmektedir.

Salon tavanında yer alan levhalar değerlendirmeye alındığında, levhaların küçük boyutları nedeniyle alçak frekanslardaki sesleri yansıtmada yetersiz kaldıkları görülmektedir. Bunlara ek olarak yapılan ışın diyagramlarında, levhaların yansıtma açılarının olumlu olduğu görülmektedir. Yan duvarlarda yer alan levhalar ise konuşma amaçlı salonların tasarımında yanal yansımaların etkilerine müzikal işlevli salonlara göre daha az ihtiyaç duyulmasından ve hatta fazlasının kaynak yönün algılanmasını güçleştirmesinden ötürü pek istenen bir durum değildir.

Bölüm 3.1’de yapılan tüm değerlendirmeler esas alığında salon hacim biçiminde herhangi bir değişiklik yapılmazken; hacim büyüklüğü, dinleyici alanı, tavan, arka ve yan duvarların tasarımı alanlarında düzenlemeler yapılmıştır.

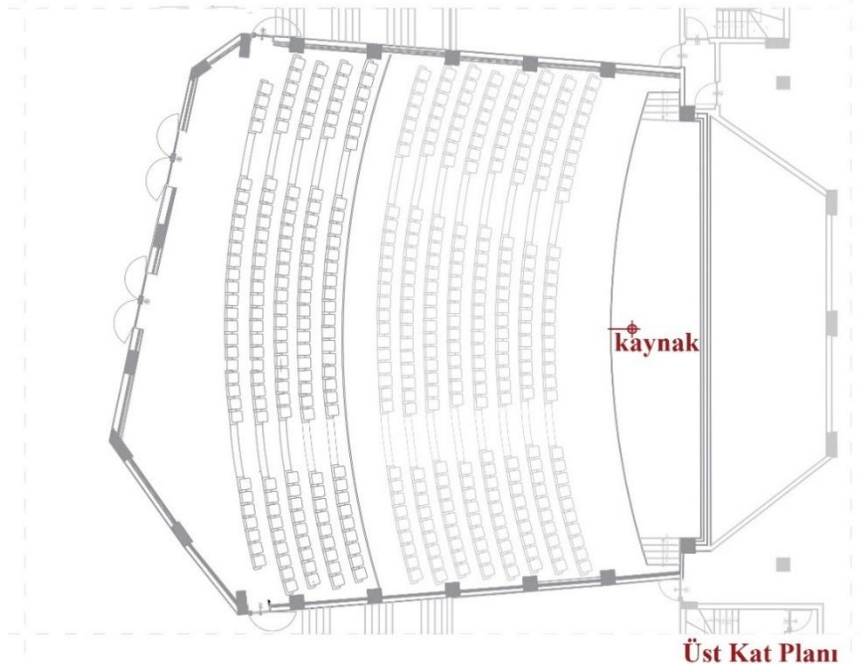
3.2.1 Mimari Tasarım Parametrelerine Dair Öneriler

Salonun hacim büyüklüğü ile ilgili yapılan etütlerde kabul edilebilir sınır değerlerin 4 ila 6 m³ arasında olduğu bilinmektedir. Yapılan etütlerde salon hacim büyüklüğü 3735,65 m³, dinleyici sayısı 670 kişi olarak güncellenmiştir. Dinleyici başına düşen

hacim büyüklüğü 5,57 m³ olarak yenilenerek kabul edilebilir sınır aralıkları içerisine alınmıştır. Salon taban alanı 625,00 m²'den 437,25 m²'ye güncellenmiştir (Şekil 3.18 ve Şekil 3.19).



Şekil 3.18 Salonun iyileştirilmiş zemin kat planı



Şekil 3.19 Salonun balkon planı

Ortalama tavan yüksekliği 7,40 m olarak belirlenmiştir. Dinleyici kaynak uzaklığını azaltmak ve uygun dinleyici alanı kademelendirmesini sağlamak adına balkon

Technical diagram of a theater stage and seating area, illustrating sightlines and dimensions for audience seating.

Seating Area Dimensions:

- Top row height: 250 cm
- Top row width: 685 cm
- Bottom row height: 440 cm
- Bottom row width: 685 cm
- Bottom row depth: 100 cm

Seating Area Labels:

- 183 kişilik balkon dinleyici alanı (183-person balcony seating area)
- 487 kişilik zemin dinleyici alanı (487-person ground seating area)

Stage Dimensions and Sightlines:

- Stage width: 350 cm
- Stage depth: 450 cm
- Stage height: 560 cm
- Stage width at bottom: 1230 cm
- Stage depth at bottom: 100 cm
- Stage height at bottom: 100 cm
- Stage width at top: 100 cm
- Stage depth at top: 100 cm
- Stage height at top: 100 cm
- Stage width at bottom: 1230 cm
- Stage depth at bottom: 100 cm
- Stage height at bottom: 100 cm
- Stage width at top: 100 cm
- Stage depth at top: 100 cm
- Stage height at top: 100 cm

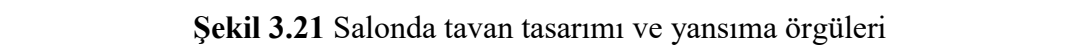
Angles and Sightlines:

- Angle 1: 23°
- Angle 2: 28°

Other Labels:

- 685 cm < 2 x 440 cm
- 685 cm < 880 cm
- Kaynak (Source)

Tavanda yer alan levhaların yansıma örgüsü ise Şekil 3.21’de değerlendirilmiştir. Salonun mevcut tasarımında yer alan levhaların boyutları 3,5 m ve üzeri olacak biçimde güncellenmiştir.



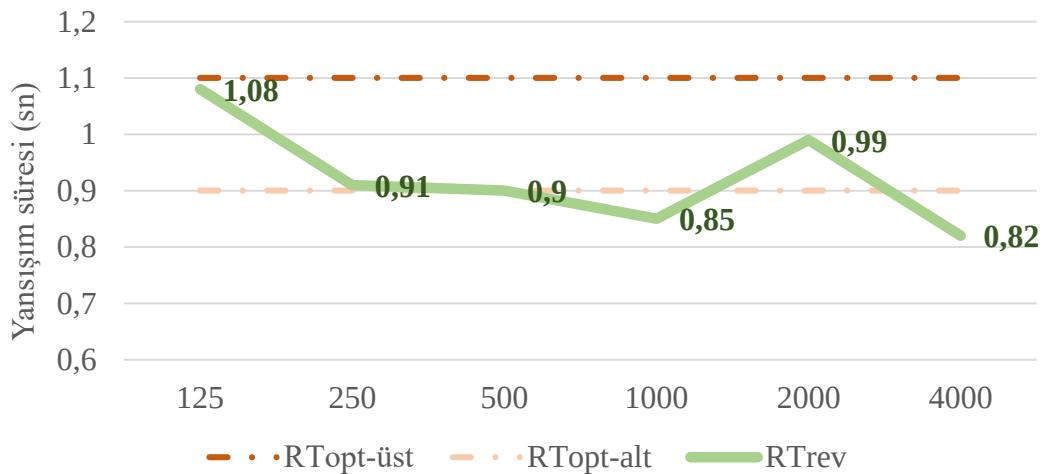
3.2.2 Öneriler Sonrası Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi

3.2.2.1 Yansıma Süresi

Her hacmin işlevi ve büyüklüğüne bağlı olarak sağlaması gereken optimum yansıma süresi değerlerinin varlığından daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Hacim büyüklüğü değiştikçe hacim içerisinde sağlanması gereken kabul edilebilir aralıklardaki yansıma süresi değerleri de değişmektedir.

Salonun mevcut akustik koşullarının iyileştirilmesi adına yapılan çalışmalarda 4560,0 m³'lük salon hacmi küçültülerek 3735,65 m³'e ulaştırılmıştır. Hacmin büyüklüğünde meydana gelen bu değişim, hacim içerisinde sağlanması gereken optimum yansıma süresi değerini de etkilemiş ve daha öncesinde 1,05 olarak okunan bu değer çalışmanın bu bölümünde 1,00 olarak kabul edilmiştir.

Sabine yöntemi ile yapılan çalışmalarda, salonun yansıma süresi değerleri Şekil 3.22'de yer aldığı gibidir. Salonun mevcut durumundaki yansıma süresi değerleri incelendiğinde, 125 Hz ve 2000 Hz oktav bantlarındaki değerlerinin kabul edilebilir sınırların üzerinde kaldığı görülmektedir (Şekil 3.12). Mimari Tasarım parametrelerinde yapılan iyileştirmeler sonrasında ise salonun yansıma süresi değerleri için yine benzer sonuçlara ulaşılmıştır. (Şekil 3.22). Tüm bu değerlendirmelerin sonunda konuşma işlevli salonlar için hacim büyüklüğünün, yansıma süresinin belirlenmesinde önemli bir etken olduğu böylece görülebilmektedir.



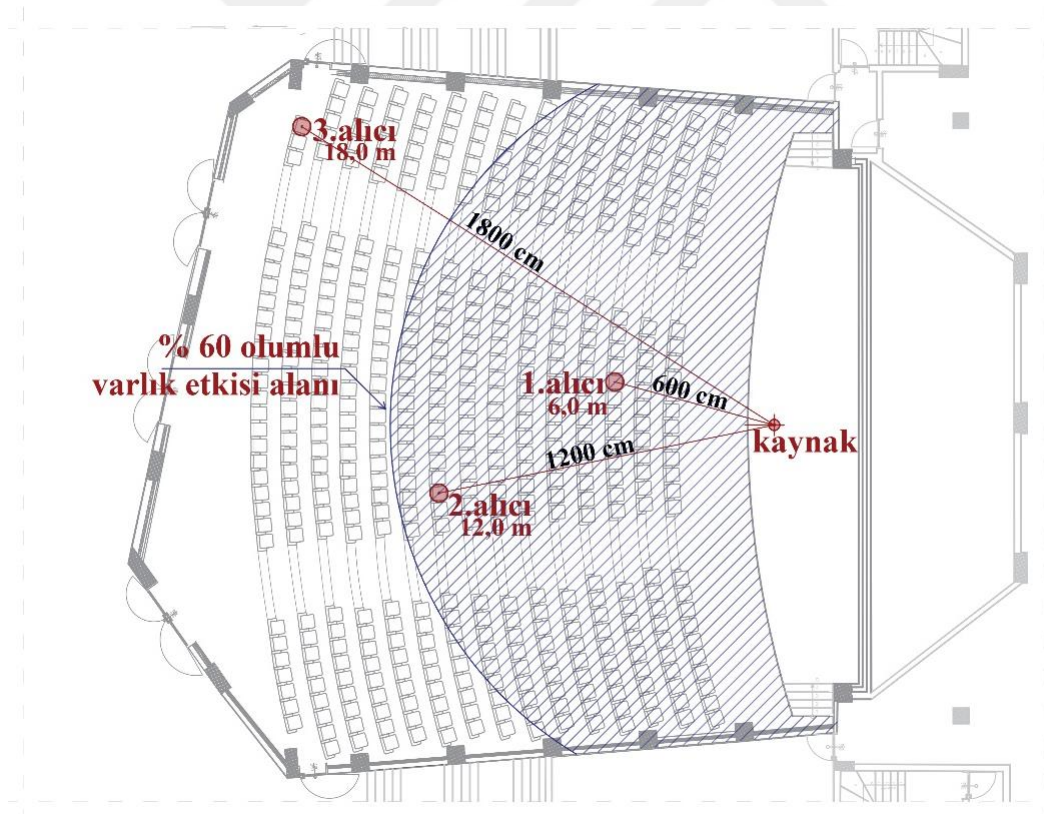
Şekil 3.22 İyileştirme sonrası yansıma süresi (Mevcut yüzey gereçleri kullanılmıştır.)

3.2.2.2 Varlık Etkisi ve Sağlandığı Alanın Sınırlarının Belirlenmesi

Salonun mevcut akustik koşulları içerisinde varlık etkisinin olumlu alanı %47 olarak belirlenmiştir. Mimari tasarım parametrelerinin iyileştirilmesiyle salon hacminde ve yansıma süresindeki değişimler varlık etkisinden yararlanılan alanı değiştirmektedir.

$$d = \sqrt{\frac{15x3735}{100x3,14x(\frac{0,90+0,85}{2})}} \quad (2.18)$$

$d = 14,27$ m olmaktadır. Bu durumda salonda ilk $14,27$ m'lik mesafe içerisinde konumlanan dinleyiciler varlık etkisinden yararlanabilmekte ve kaynağın yerini algılamakta güçlük çekmemektedirler. Varlık etkisinin sağlanabilmesi açısından yansıyan ses düzeyinin dolaysız ses düzeyinden en fazla 11.7 dB fazla olması istenir. Tüm frekanslarda istenen farkın aşılması için $12,4$ m'lik bir varlık etkisi alanından söz edilebilmektedir. Bu da salonun %60'lık bir kısmında varlık etkisinin sağlanabildiği görülmektedir (Şekil 3.23).

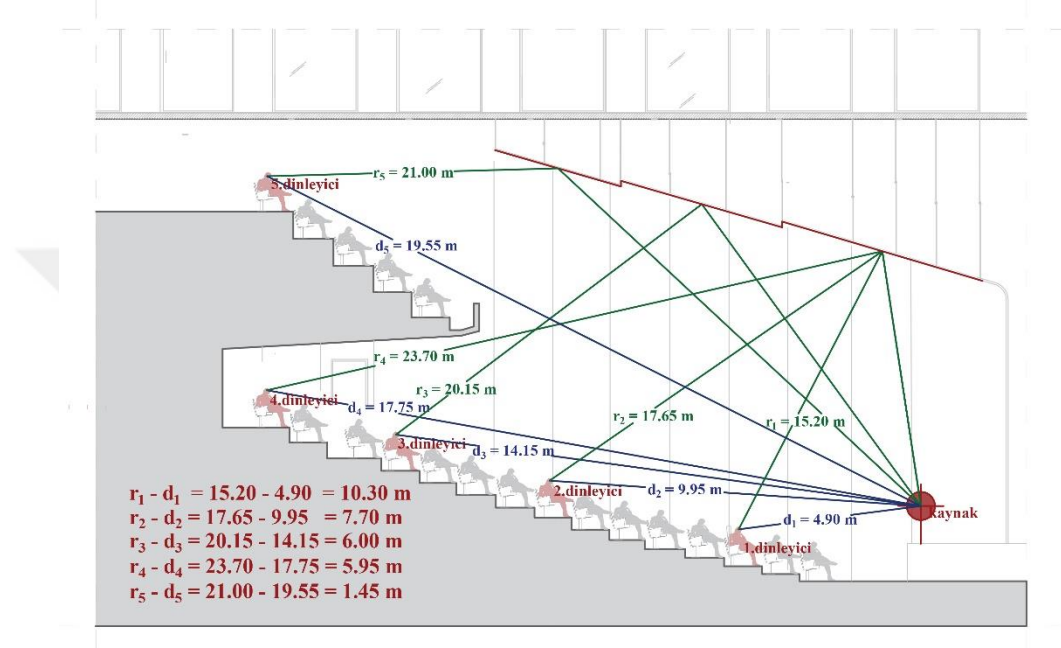


Şekil 3.23 Salonda varlık etkisinin sağlandığı alanlar

3.2.3 Öneriler Sonrası Akustik Kusurların Oluşumunun Değerlendirilmesi

3.2.3.1 Yankı

Salondaki iyileştirmeler sırasında tavan levhalarında yapılan değişimler, levhaların yansımaya örgülerini ve dolaysız ses ve yansıyan ses arasındaki yol farkı büyüklüklerini değiştirmiştir. Yeniden yapılan yankı etüdünün sonuçları Şekil 3.24'te yer almaktadır.



Şekil 3.24 Tavan levhalarında yankı etüdü

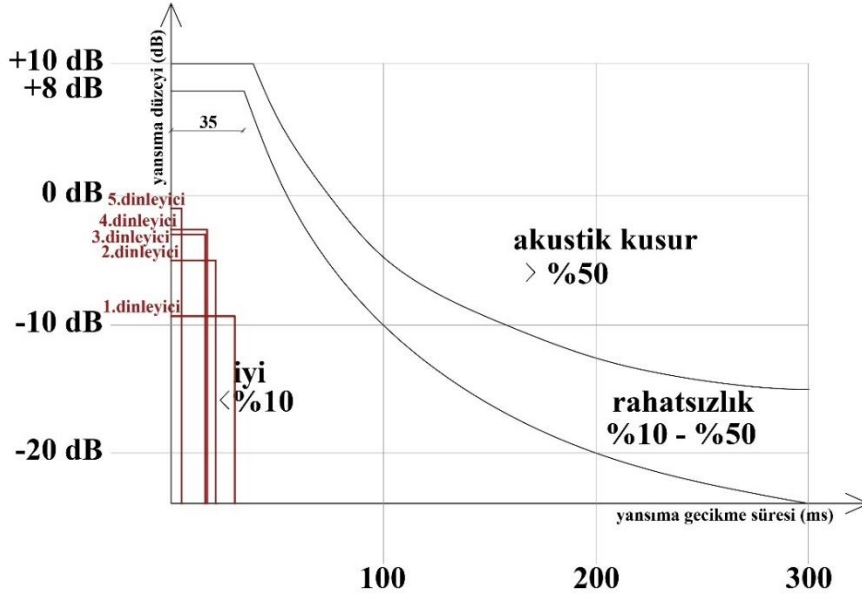
Yansıyan sesin dolaysız ses ile arasındaki yol farkı 14 m'den azdır. Dolayısıyla iyileştirme sonrası etütlerde de yankı tehlikesinin görülmediği söylenebilmektedir.

Hacim içerisindeki yansımaya düzeyleri incelenerek Hass kriteri açısından değerlendirme yapıldığında, beş dinleyiciye ulaşan dolaysız ve yansımış sesler ile ilişkili olarak yansımaya gecikme süresi ve yansımaya düzeyi ile ilişkili veriler Tablo 3.5'te görülebilmektedir.

Tablo 3.5 Yansımaya gecikme süreleri ve yansımaya düzeylerinin belirlenmesi

Dinleyici	Yansımaya Gecikme Süresi (ms)	Yansımaya Düzeyi (dB)
1. dinleyici	29 ms	-9,83 dB
2. dinleyici	22 ms	-4,97 dB
3. dinleyici	17 ms	-3,07 dB
4. dinleyici	17 ms	-2,51 dB
5. dinleyici	4 ms	-0,62 dB

Haas kriteri değerlendirildiğinde, her dinleyici için yansıma gecikmeleri ve yansıma gecikme süreleri hacmin %10'luk bir dilimde kalmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 Salondaki yansımaların Haas kriteri açısından değerlendirilmesi

Salonun mevcut durumu ve öneriler sonrası akustik konfor koşullarına dair genel bir değerlendirme Tablo 3.6'da mevcuttur.

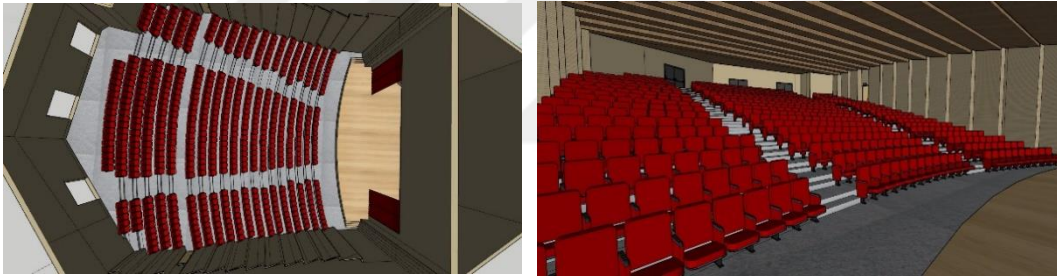
Tablo 3.6 Salonda mevcut durumu ve öneriler sonrası akustik konfor parametreleri

Başlık	Parametreler	Mevcut Salon Tasarımı	Önerilen Salon Tasarımı
Mimari Tasarım Parametreleri	Hacmin Biçimi	İyileştirilmiş Yanal Yansıtıcı Ters Yelpaze (Elmas plan tipi)	Ters Yelpaze (Elmas plan tipi)
	Hacmin Büyüklüğü	4560 m ³	3735 m ³
	Dinleyici Sayısı	735 kişi	670 kişi
	Dinleyici başına düşen hacim	6,2 kişi/m ³	5,57 kişi/m ³
	Son Dinleyici Görüş Açısı	11 derece	23 derece
	Balkon Altı Dinleyici Görüş Açısı	-	36 derece
	Salon Uzunluğu	27,20 m	20,80 m
	Sahne Büyüklüğü	144,25 m ²	144,25 m ²
	Tavandaki Levha Uzunluğu	1,6 m	3,5 m – 5,6 m
	Ortalama Tavan Yüksekliği	7,35 m	7,40 m
Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Yansıma Süresi	1,05 sn	1,00 sn
	Ortalama Yansıma Süresi	1,07 sn	0,92 sn
	Varlık Etkisinin Sağlandığı Alan	%47	%60
	En büyük yansıma gecikmesi süresi	20 ms	29 ms
	En küçük yansıma gecikme süresi	7 ms	4 ms
Akustik Kusurların Oluşumu	Yankı	Yok	Yok
	Akustik Gölge	Var	Yok
	Distorsiyon	Var	Var
	Maskeleme	Var	Var

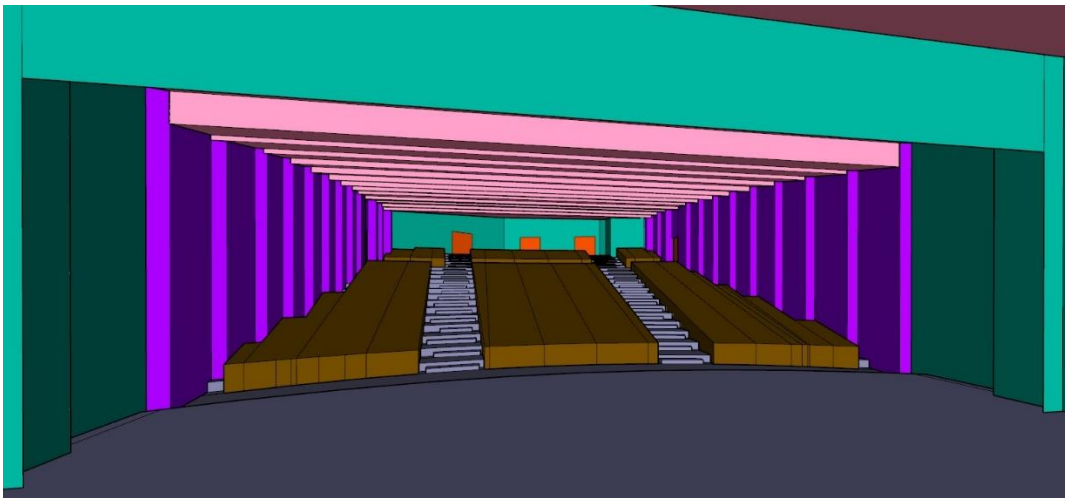
3.3 Salonda Hacim Akustiği Parametrelerinin Simölasyon Aracılığıyla Değerlendirilmesi

Hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan simölasyon çalışmaları iki ayrı bölümde değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki, salonun mevcut tasarımına bağlı hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi, bir diğer i se önerilen tasarımına bağlı hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi şeklinde dir. Her iki bölümde de öncelikle “SketchUp Pro 2022” isimli yazılım ile salonun üç boyutlu katı modeli oluşturulmuş ve bu üç boyutlu katı model “Odeon” ismi verilen hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesinde kullanılan simölasyon yazılımına 3ds formatında aktarılmıştır.

Salonun mevcut tasarımı için oluşturulan üç boyutlu modele ait görseller şekil 3.26’da gösterilmektedir. Bu modeller Odeon yazılımında kullanılmak üzere şekil 3.27’ye görüldüğü haliyle basitleştirilmiş ve bu sayede salonun akustik benzetimi oluşturulmuştur.

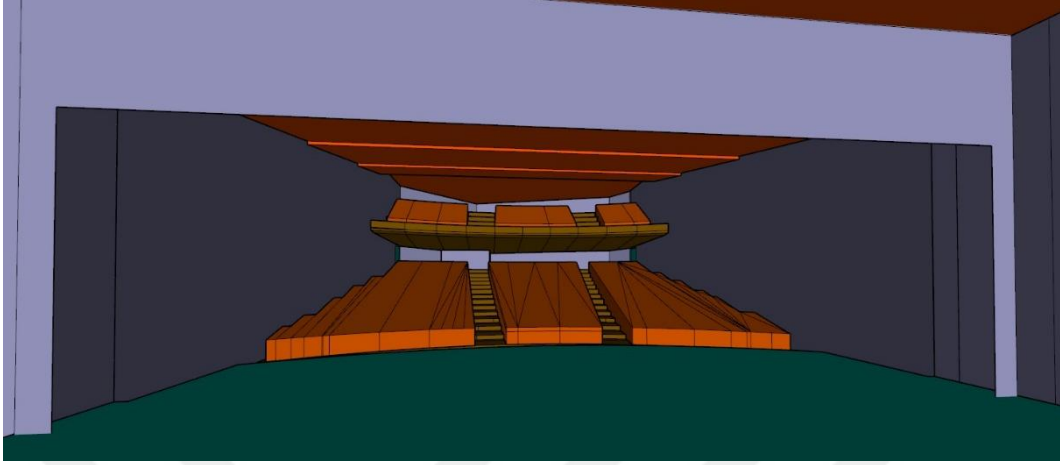


şekil 3.26 Salonun mevcut tasarımının üç boyutlu modeli



şekil 3.27 Salonun mevcut tasarımının Odeon’a aktarılacak üç boyutlu modeli

Salonun önerilen tasarımına dair üç boyutlu görsel Şekil 3.28’de yer almaktadır. Buradaki görsel Şekil 3.27’de olduğu gibi Odeon’a aktarıma uygun nitelikte hazırlanmıştır.



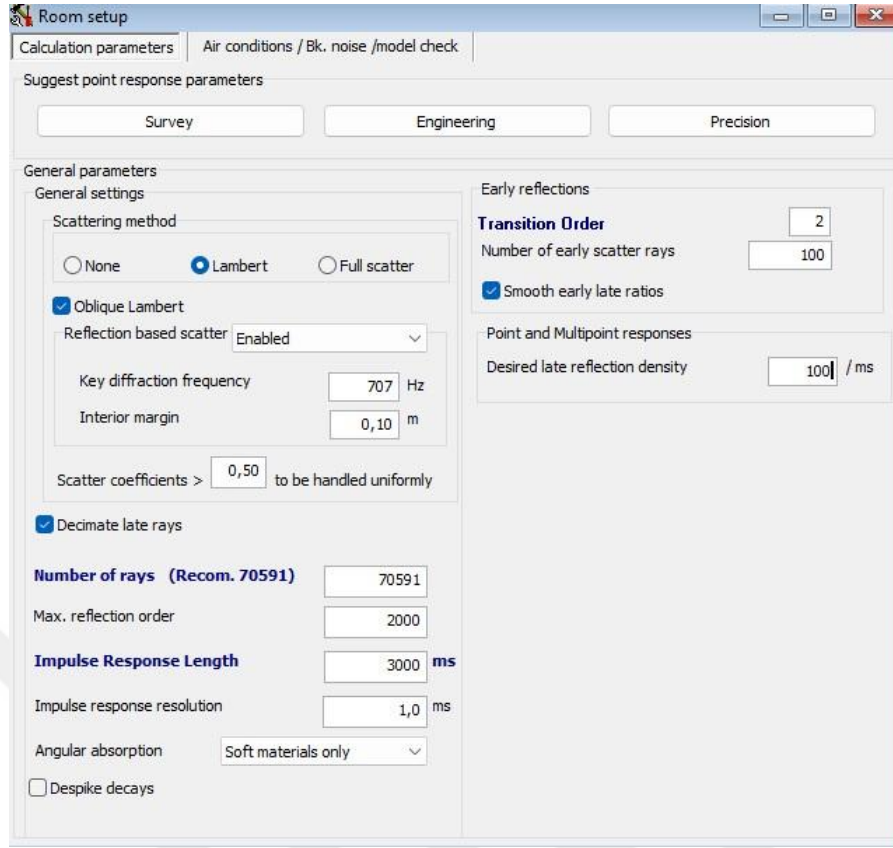
Şekil 3.28 Salonun önerilen tasarımının Odeon’a aktarılacak üç boyutlu modeli

3.3.1 Salonun Mevcut Tasarımında Hacim Akustiği Parametreleri

Salonun 3ds formatında hazırlanan üç boyutlu modeli Odeon yazılımına aktarılmış, akustik modeli oluşturulmuştur. Hacim akustiği parametreleri ile ilişkili hesaplamaların yapılmasından önce hacmin koşullarına dair belirli kabullerin yapılması sonrasında kaynak ve dinleyici noktalarının belirlenmesi, yüzey malzemelerinin atanması, sızdırmazlık kontrolünün yapılması gibi adımların tamamlanmış olması gerekmektedir.

3.3.1.1 Simülasyon (Akustik Benzetim) ile İlgili Kabuller

İlk olarak Odeon yazılımı üzerinde “Room Setup” başlığı altında “number of late rays”, “impulse response length”, “maximum reflection order”, “impulse response resolution” ve “transition order” özellikleri için belirli kabuller ve ayarlamalar yapılmıştır. Burada, “number of late rays” yazılımdaki “engineering” ayarı ile belirlenirken, “impulse response length” en uzun yansıma süresine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Diğer kabuller için yazılımın var sayılan değerleri esas alınmıştır. Bunlara ilave olarak sıcaklık 20°C ve bağıl nem %50 olarak kabul edilmiş; arka plan gürültü düzeyi ise NC-20 eğrisi olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29 Akustik benzetime dair Odeon yazılımı üzerinde yapılan kabuller

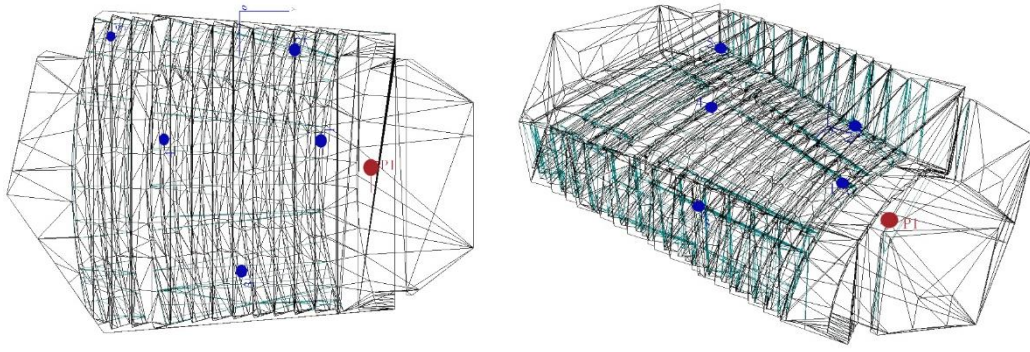
3.3.1.2 Kaynak-Dinleyici Noktalarının Belirlenmesi ve Malzeme Tanımı

Yapılan ayarlamaların ardından salon üzerinde belirli bir kaynak noktası ve farklı bölgelerde dinleyici noktaları belirlenmiştir. Kaynak noktası sahne üzerinde yaklaşık 1,5 m yükseklikte Odeon yazılımı içerisinde yer alan “normal konuşma” sesi olarak tercih edilmiştir. Kaynağın frekansa bağlı ses gücü Tablo 3.7’de görülmektedir.

Tablo 3.7 Kaynağın ses gücünün frekansa bağlı düzeyleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
60,7 dB	60,9 dB	65,3 dB	69,0 dB	63,0 dB	55,8 dB	49,8 dB	44,5 dB

Beş adet dinleyici noktası bulundukları yerden yaklaşık 1,0 m yükseklikte olmak üzere hacmin belirli bölgelerine yerleştirilmiştir. Dinleyici noktalarının birbirlerine yakın olmamasına dikkat edilmiş ve sahne önü ya da arka bölgede yer almalarına bağlı olarak değişen durumların da tespit edilebilmesi için bu noktalara da dinleyiciler yerleştirilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30 Salonun akustik benzetiminde kaynak ve dinleyici noktalarının belirlenmesi

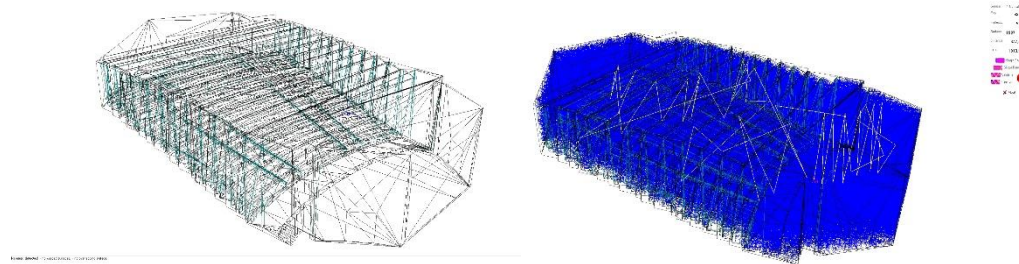
Salonun iç yüzeylerine daha önce Sabine Yöntemi ile yansıma süresinin hesaplanması sırasında atanan malzemeler atanmıştır. Lambert dağıtıcılık yöntemi kullanılmış, yazılım arayüzünde önerilen dağıtıcılık oranları ve Long'un yüzey derinliğine bağlı olarak önerdiği düşük, orta ve yüksek dağıtıcılık oranları dikkate alınmış; yüzeylere 0,05 ile 0,7 arası değişen büyüklüklerde dağıtıcılık katsayıları tanımlanmıştır (Tablo 3.8).

Tablo 3.8 Yüzeylerin orta frekanslardaki dağıtıcılık katsayılarına dair kabuller

Yüzey Özelliği	Dağıtıcılık Katsayısı
Dinleyici Alanı	0,5-0,7
Düz Boyalı Duvar	0,05
Açık Derz Boşluklu Yüzeyler	0,2
Sahne Alanı	0,3

3.3.1.3 Benzetimde Geometrik Hataların Taranması ve Sızdırmazlık Testi

Yapılan çalışmaların ardından “3D Geometry Debugger” komutu ile yüzeydeki geometrik hataların analizi yapılmış, herhangi bir yüzey hatası ile karşılaşılmamıştır. Daha sonra ise “3D Investigate Rays” komutu ile ışın sızdırmazlık testi yapılarak akustik benzetim kontrol edilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Geometri hataları ve ışın sızdırmazlık testleri

3.3.1.4 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmalarda belirlen beş adet dinleyici ve bir kaynak noktası için RT, EDT, SPL, C₅₀, C₈₀, D₅₀ ve STI parametreleri hesaplanmıştır. İlgili parametrelere dair sonuçlar tüm dinleyiciler için Tablo 3.9’da verilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına dair ortalama değerler ise Tablo 3.10’da görülmektedir.

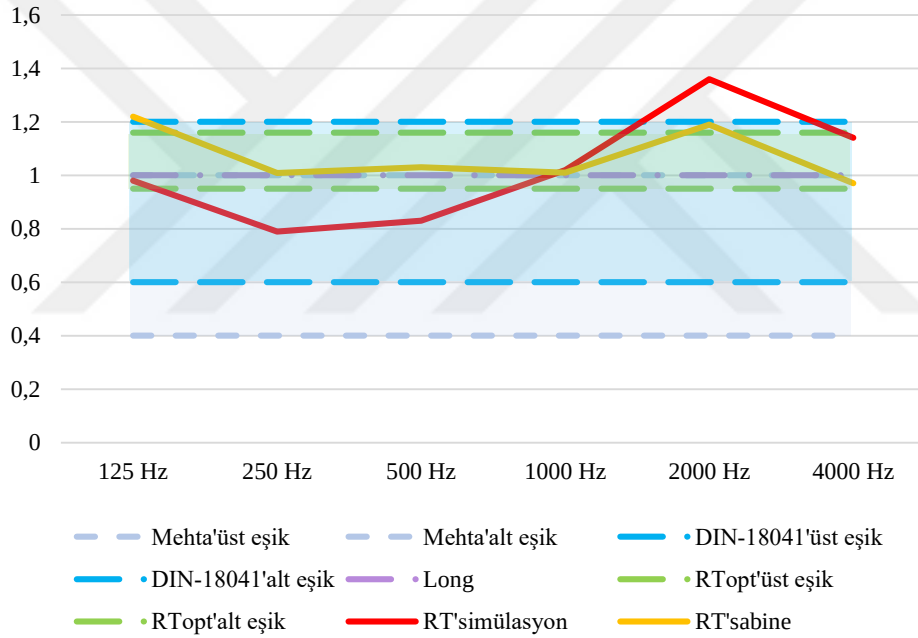
Tablo 3.9 Farklı dinleyici noktaları için simülasyon sonuçları (Mevcut mimari tasarım ve yüzey gereçleri kullanılmıştır. *Küçük müzikal etkinlikler için C₈₀ parametresi de hesaplanmıştır.*)

		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1. Dinleyici	RT (s)	0,81	0,94	0,78	0,81	1,01	1,36	1,14	0,76
	EDT (s)	0,92	1,08	0,78	0,96	1,28	1,56	1,37	0,93
	SPL (dB)	40,7	41,3	45,1	48,9	43,4	37,1	29,4	23,5
	C ₅₀ (dB)	5,3	3,7	5,8	4,5	2,7	0,5	1,6	4,8
	C ₈₀ (dB)	7,8	6,3	9	7,5	5	2,5	3,8	7,6
	D ₅₀	0,77	0,7	0,79	0,74	0,65	0,53	0,59	0,75
	STI	0,59							
2. Dinleyici	RT (s)	0,91	0,94	0,75	0,82	1,02	1,35	1,12	0,76
	EDT (s)	0,98	1,1	0,88	0,99	1,14	1,42	1,22	0,86
	SPL (dB)	36,2	37,1	39,9	43,9	39,3	33,9	26	18,8
	C ₅₀ (dB)	0,35	-0,5	0,7	-0,35	-1,8	-3,1	-2,1	0,7
	C ₈₀ (dB)	4,3	3,1	5,2	3,7	1,8	0,1	1,1	4,2
	D ₅₀	0,52	0,47	0,54	0,48	0,4	0,33	0,38	0,54
	STI	0,45							
3. Dinleyici	RT (s)	0,84	0,94	0,85	0,87	1	1,34	1,11	0,74
	EDT (s)	0,86	1,02	0,79	0,92	1,17	1,49	1,26	0,85
	SPL (dB)	34,9	36,1	39	43,3	38,7	33,1	25,2	17,8
	C ₅₀ (dB)	1,0	0,0	1,9	0,9	-0,7	-2,3	-1,4	1,4
	C ₈₀ (dB)	4,2	3,1	5,3	4,1	2,2	0,3	1,4	4,7
	D ₅₀	0,56	0,5	0,61	0,55	0,46	0,37	0,42	0,58
	STI	0,45							
4. Dinleyici	RT (s)	0,8	0,92	0,81	0,83	1,03	1,37	1,14	0,75
	EDT (s)	0,91	1,05	0,81	0,89	1,15	1,47	1,22	0,87
	SPL (dB)	33	34,4	37,2	41,9	37,4	31,7	23,6	15,7
	C ₅₀ (dB)	-0,2	-1,2	0,9	0,0	-1,8	-3,7	-2,7	0,0
	C ₈₀ (dB)	3,1	2	4	3,2	1,3	-0,7	0,4	3,4
	D ₅₀	0,49	0,43	0,55	0,5	0,4	0,3	0,35	0,5
	STI	0,4							
5. Dinleyici	RT (s)	1,19	1,15	0,75	0,81	1,04	1,37	1,18	0,76
	EDT (s)	0,72	0,79	0,66	0,69	0,93	1,21	1	0,62
	SPL (dB)	33	34,2	37,1	41,5	37	31,2	23,2	14,9
	C ₅₀ (dB)	-1,9	-1,9	-1,4	-1,4	-1,9	-3,3	-2,5	-2,3
	C ₈₀ (dB)	5,5	4,5	6,2	5,5	3,8	1,9	3	5,8
	D ₅₀	0,39	0,39	0,42	0,42	0,39	0,32	0,36	0,47
	STI	0,47							

Tablo 3.10 Simülasyon sonuçlarının 5 adet alıcı noktasına göre ortalama değerleri
(mevcut mimari tasarım ve yüzey gereçleri kullanılmıştır.)

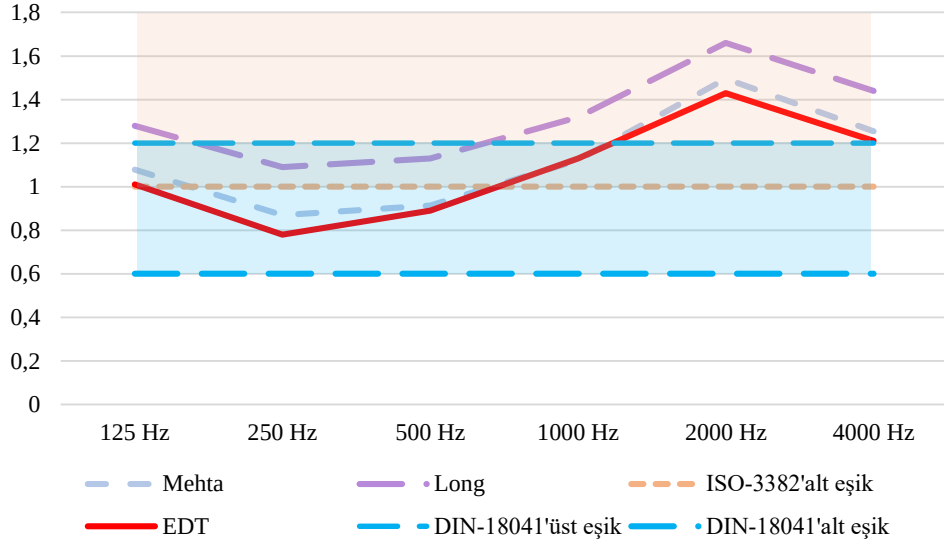
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
RT (s)	0,91	0,98	0,79	0,83	1,02	1,36	1,14	0,76
EDT (s)	0,88	1,01	0,78	0,89	1,13	1,43	1,21	0,83
C₅₀ (dB)	0,9	0,0	1,6	0,7	-0,7	-2,4	-1,4	0,9
C₈₀ (dB)	5	3,8	5,9	4,8	2,8	0,8	2	5,1
D₅₀	0,54	0,5	0,58	0,54	0,46	0,37	0,42	0,57
STI	0,47							

Tablo 3.9’da ve Tablo 3.10’da yer alan simülasyon sonuçlarını daha iyi değerlendirebilmek adına, parametrelerin daha önce Tablo 2.8’de yer verilen önerilen sınır değerlerinden faydalanılmıştır.



Şekil 3.32 RT'nin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması

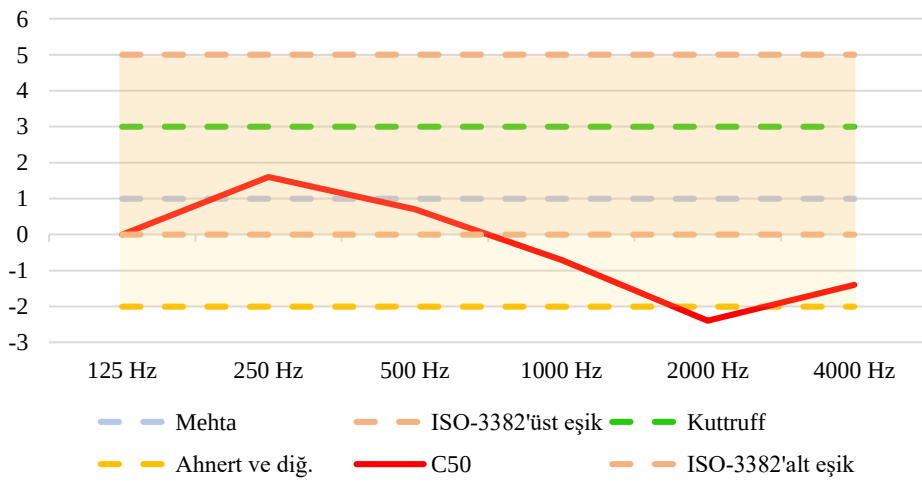
Şekil 3.32’de yer alan veriler incelendiğinde RT’nin pek çok frekans için, hacim büyüklüğüne bağlı olarak önerilen sınır değerlerinin üzerinde veya altında kaldığı görülmektedir. Aynı zamanda daha önce Sabine Yöntemi ile elde edilen çalışmalarda da değerlendirildiği üzere, frekanslara göre yansıma süresi değerlerinde büyük farklılıkların bulunması yani yanıt eğrisindeki düzgünsüzlük, distorsiyon akustik kusurunun oluşumunu büyük ölçüde arttırmaktadır.



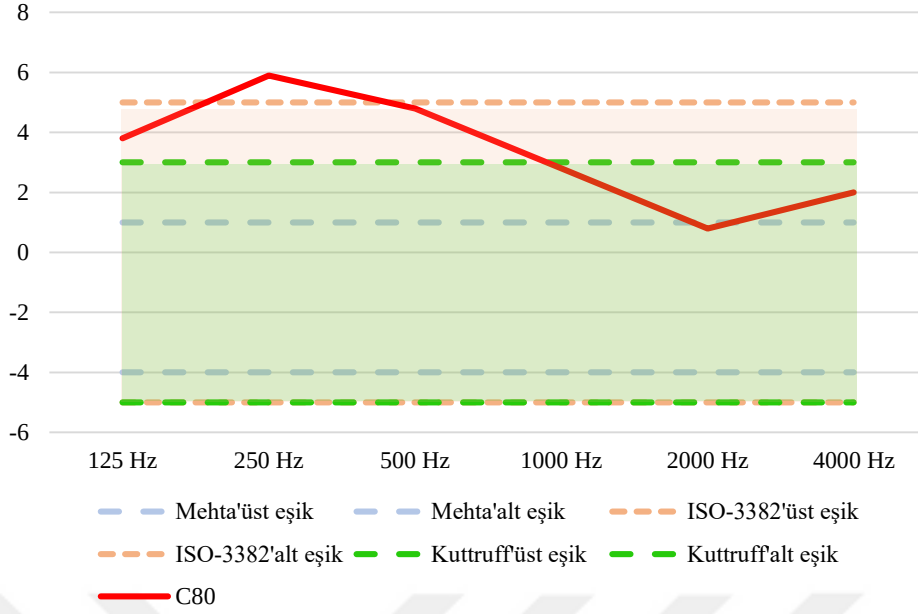
Şekil 3.33 EDT değerlerinin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması

Şekil 3.33'te görüldüğü üzere, simülasyon aracılığıyla hesaplamaları yapılan EDT değerleri bazı frekanslarda literatürde önerilen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Ölçülen EDT değerleri, ISO-3382'ye göre 250-500 Hz frekanslarında önerilen aralıkların dışında kalırken; Mehta'nın önerdiği büyüklüklere göre kabul edilebilir düzeyde olmaktadır. Bununla birlikte Long'a göre bu değerlerin önerilen sınırların altında kaldığı söylenebilmektedir.

C_{50} parametresi simülasyon aracılığıyla değerlendirildiğinde 2000 Hz hariç tüm frekanslarda elde edilen sonuçların konuşma için kabul edilen en düşük değer -2 dB ile en yüksek değer +5 dB arasında kaldığı görülmektedir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34 C_{50} parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması

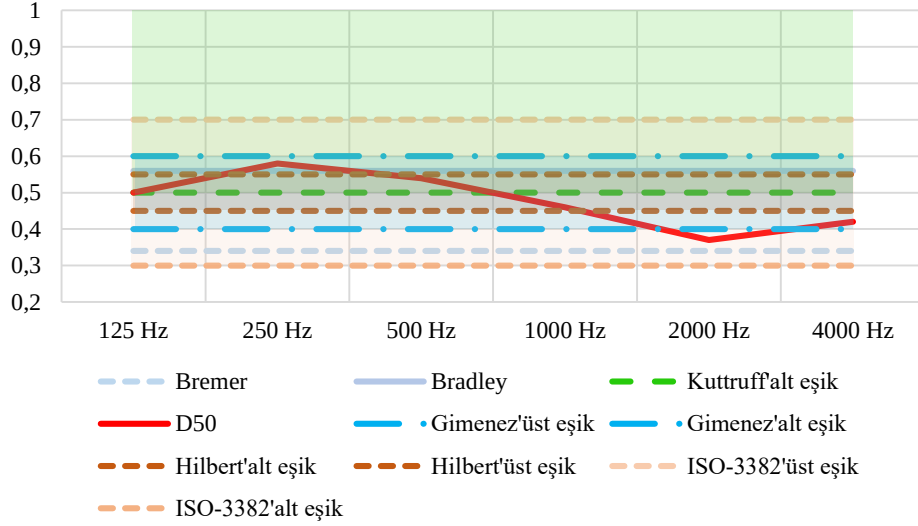


Şekil 3.35 C₈₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması

C₈₀ parametresinin simülasyon aracılığıyla hesaplanan değerleri Şekil 3.35'te görülebilmektedir. ISO-3382'ye göre bu değerler -5 dB ile +5 dB arasında değişebilmektedir. Hacimde yapılan akustik benzetim çalışmasının sonuçları incelendiğinde ise 250 Hz frekansta bu değer +5 dB'in üzerinde olduğu ve sınır değerleri aştığı söylenebilmektedir. Bunun dışında çoğunlukla negatif değerlerde olması beklenen C₈₀ parametresi tüm frekans değerleri için pozitif değerlerdedir.

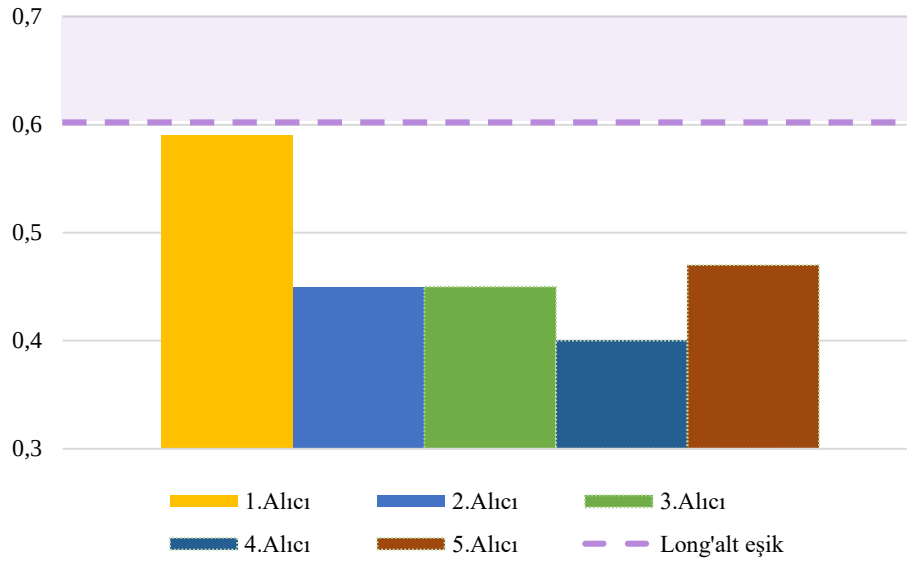
D₅₀ parametresi ise konuşma işlevli salonlar için önemli bir parametredir ve Şekil 3.36'da görülebildiği gibi yapılan simülasyon çalışmalarında bu değer belirlenen 5 adet alıcı noktası için 0,37 - 0,58 arasında değişen büyüklüklerde olmaktadır. Bunlara ek olarak, en arkada yer alan alıcı ve önde yer alan uzak yan alıcı için konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önem taşıyan 250 Hz - 2000 Hz frekanslardaki ortalama değerler karşılaştırılmıştır. En yakın alıcı olan 1 numaralı alıcı için ortalama D₅₀ değeri 0,68'dir. 5 numaralı en arkada yer alan alıcı için ise ortalama D₅₀ değeri 0,39'dur. En yakın alıcıya oranla %43'lük bir azalma söz konusudur. 2 numaralı ve önde yer alan uzak yan alıcı için ise bu değer 0,44'tür. Burada ise en yakın alıcıya oranla %36'luk bir azalma söz konusudur (Tablo 3.9).

Literatürde önerilen sınır değerlere dair incelemeler yapıldığında genel anlamda kabul edilebilir değerlere yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.36 D₅₀ parametresinin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması

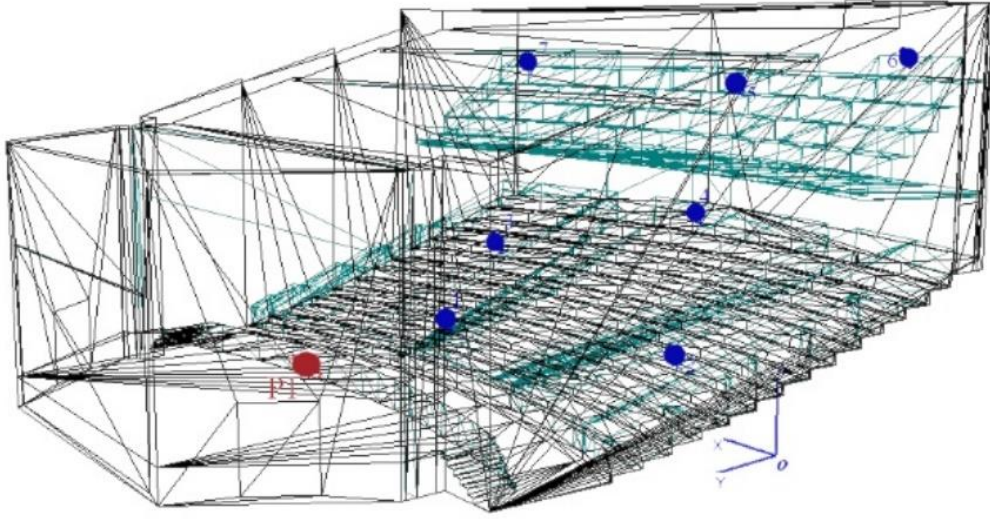
STI parametresi için yapılan değerlendirmelerde 0,60 değerinden büyük sonuçların hacim için iyi olarak nitelendirilebileceği bilinmektedir. Yapılan simülasyon çalışmalarında ise tüm dinleyiciler için bu değer 0,6'tan düşük olduğu görülmektedir. Bu değerler Tablo 3.9'dan 0,45 - 0,59 aralığında okunmaktadır. Long'a göre 0,45 ile 0,60 arası değişen STI değerlerine sahip hacimler anlaşılabilirlik açısından orta düzeyde hacimler olarak değerlendirilmektedir. Bu hacim STI parametresi açısından incelendiğinde sınır değerlerin altında sonuçlar vermekte ve yetersiz görülmektedir.



Şekil 3.37 STI parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması

3.3.2 Önerilen Mimari Tasarımda Hacim Akustiği Parametreleri

Salonun önerilen tasarımına bağlı hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi bölümünde de tıpkı mevcut tasarımın değerlendirilmesi aşamasında olduğu gibi salonun 3ds formatında üç boyutlu bir katı modeli oluşturulmuş, bu katı model “Odeon” isimli yazılıma aktarılmıştır. Aktarım sonrasında yazılım üzerinde daha önceki simülasyon ile benzer “Room Setup” ayarları yapılmış ve kaynak-dinleyici noktaları belirlenmiştir. Kaynak-dinleyici noktalarının belirlenmesinde, dinleyici noktalarının sahne önü-ortası ve arkasında olması durumu dikkate alınmış; bunlara ek olarak dinleyicilerin balkon altında ve balkonda bulunması koşulları değerlendirilmiştir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 Önerilen tasarımda kaynak ve dinleyici noktaları

Kaynak gücü mevcut tasarımın değerlendirilmesi durumunda kullanılan kaynak gücüyle aynıdır. Yapılan çalışmalarda aynı yüzey gereçleri kullanılmış, benzer dağıtıcılık oranlarına yer verilmiştir.

3.3.2.1 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

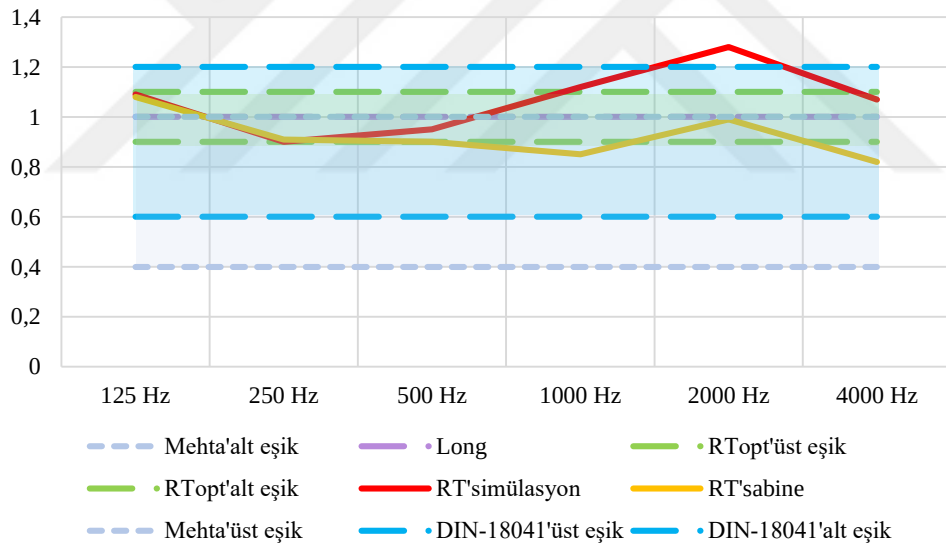
Yapılan simülasyon çalışmalarında yedi adet dinleyici ve bir adet kaynak noktası için RT, EDT, C₅₀, C₈₀, D₅₀ ve STI parametreleri hesaplanmıştır. İlgili parametrelerin ortalama sonuçlarına dair elde edilen veriler Tablo 3.11’de görülebilmektedir.

Tablo 3.11 Simülasyon sonuçlarının 7 adet alıcı noktasına göre ortalama değerleri
(öneri mimari tasarım ve mevcut yüzey gereçleri kullanılmıştır.)

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
RT (s)	0,99	1,09	0,9	0,95	1,12	1,28	1,07	0,72
EDT (s)	0,86	0,97	0,78	0,81	0,99	1,15	0,99	0,68
C₅₀ (dB)	1,8	1,0	2,7	2,1	0,7	-0,5	0,3	2,7
C₈₀ (dB)	5	4,2	6,1	5,4	3,9	2,5	3,5	6,6
D₅₀	0,6	0,56	0,65	0,62	0,54	0,47	0,52	0,65
STI	0,6							

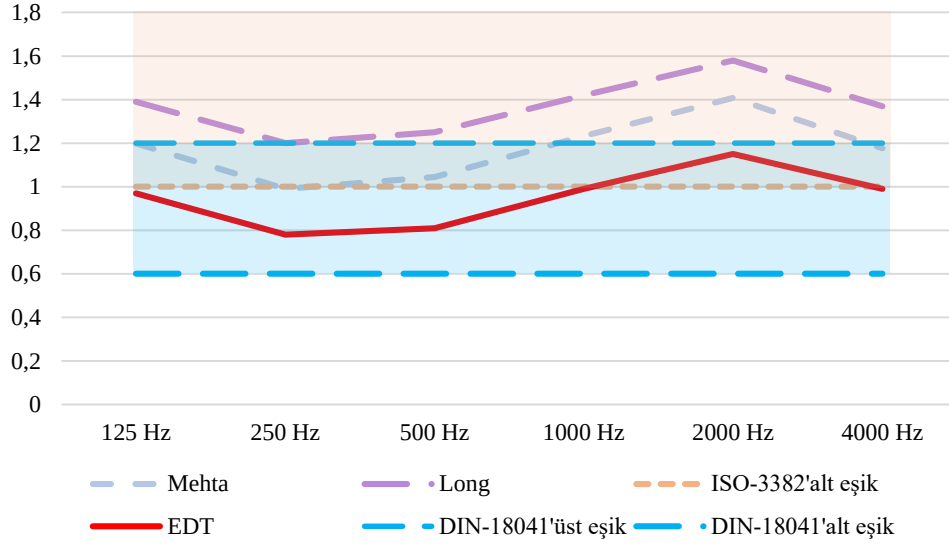
Tablo 3.11’de yer alan sonuçlar yine mevcut tasarımın değerlendirilmesi aşamasında olduğu gibi Tablo 2.8’de yer alan önerilen sınır değerlerin sağlanması kapsamında değerlendirilebilmektedir.

Şekil 3.39’da yer alan veriler incelendiğinde RT’nin 125-1000-2000 ve 4000 Hz frekanslar için hacim büyüklüğüne bağlı olarak önerilen sınır değerlerinin üzerinde kaldığı görülmektedir.



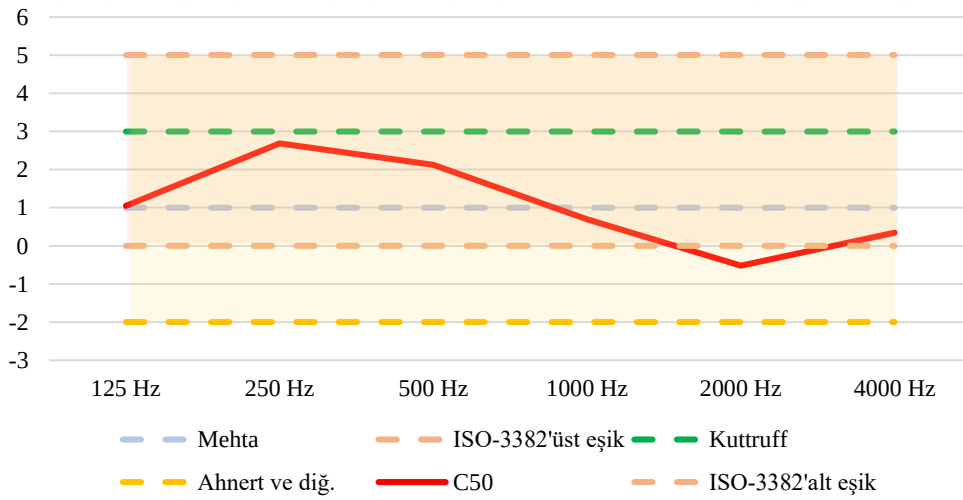
Şekil 3.39 RT'nin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması

Şekil 3.40'ta yer alan ve simülasyon aracılığıyla hesaplamaları yapılan EDT değerleri önerilen tasarım koşulları için de neredeyse tüm frekanslarda literatürde önerilen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Ölçülen EDT değerleri ISO-3382'ye göre 1000-2000 ve 4000 Hz frekanslarında önerilen aralıklarda kalırken, literatürde önerilen diğer değerlere göre daha düşük olmaktadır.



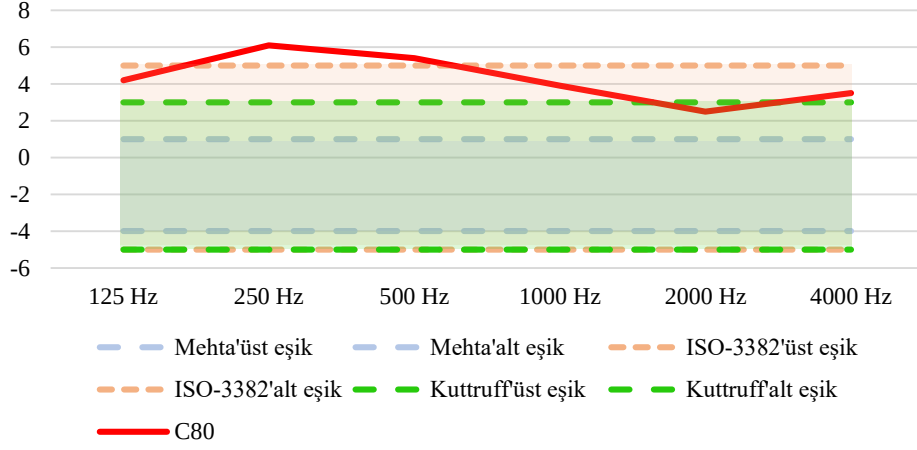
Şekil 3.40 EDT değerlerinin önerilen sınır değerler ile karşılaştırılması

C_{50} parametresine dair yapılan değerlendirmeler sonucu Şekil 3.41’de yer almaktadır. Konuşmanın anlaşılabilirliği için C_{50} parametresinin en düşük değerinin -2 dB olması gerekirken, genellikle pozitif değerleri tercih edilirdir. Şekil 3.41’de yer alan grafikte ise C_{50} parametresinin 2000 Hz hariç tüm frekanslardaki değerlerinin pozitif olduğu görülmektedir.



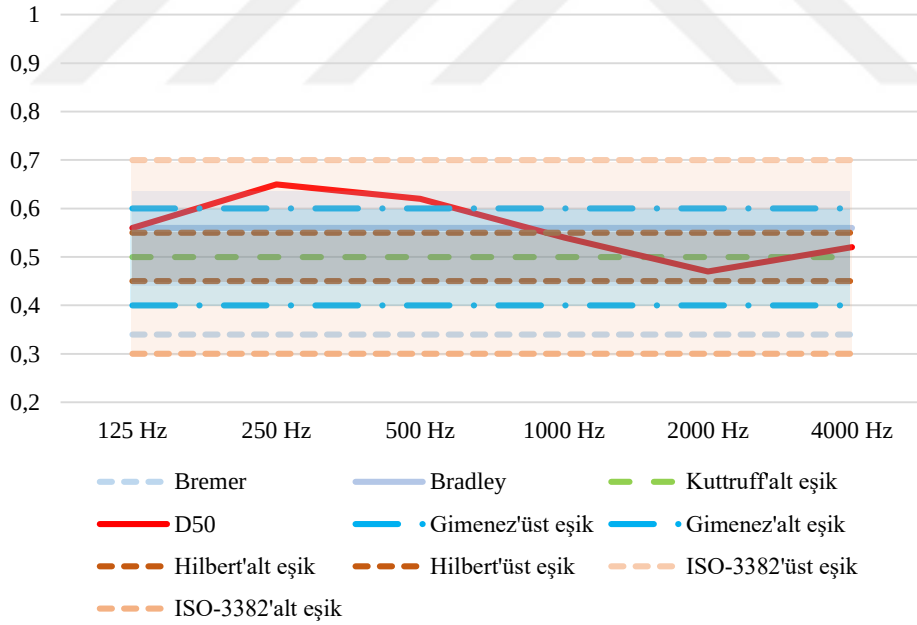
Şekil 3.41 C_{50} parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması

C_{80} parametresinin simülasyon aracılığıyla hesaplanan değerleri Şekil 3.42’de görülebilmektedir. Hacimde yapılan akustik benzetim çalışmasının sonuçları incelendiğinde çoğunlukla negatif değerlerde olması beklenen C_{80} parametresinin tüm frekans değerleri için pozitif değerlerde olduğu, literatürde önerilen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.42 C₈₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması

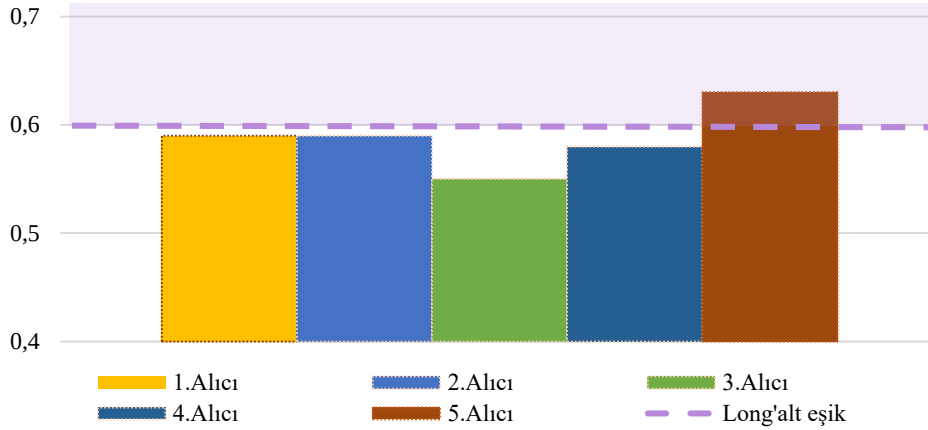
Şekil 3.43'te yer alan D₅₀ parametresi 0,47 - 0,65 arasında değişen büyüklüklerde olmaktadır. ISO-3382'ye göre değerlendirme yapıldığında, sonuçların tüm frekanslarda sınır değer aralıklarının içerisinde kaldığı görülmektedir. Literatürde yer alan diğer değerler için ise genel anlamda kabul edilebilir olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 3.43 D₅₀ parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması

STI parametresi için yapılan değerlendirmelerde değer aralığının 0,56-0,63 arasında olduğu görülmektedir. Mimari tasarımda yapılan iyileştirmeler sonucunda bu hacmin STI parametresi açısından sınır değerlere yakın sonuçlar verdiği fakat

bazı frekanslarda ISO-3382'e göre alt sınır olan 0,6'nın altında kaldığı görülmektedir. (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 STI parametresinin önerilen sınır değerleri ile karşılaştırılması

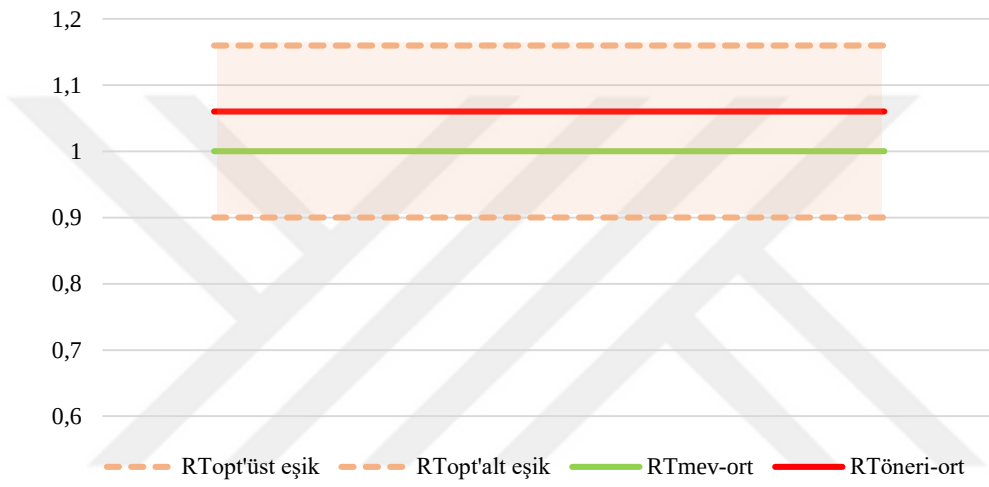
3.3.3 Hacim Akustiği Parametrelerinin Mevcut ve Önerilen Tasarım Koşulları Açısından Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonuna dair yapılan değerlendirmelerde mimari tasarımın akustik karakter ile uyumsuz bazı tasarım kararlarını barındırdığı saptanmış, bu tasarım kararları yeni bir mimari öneriyle iyileştirilmiştir. Yapılan iyileştirmelerin ardından her iki tasarım için simülasyon yazılımı aracılığıyla hacim akustiği parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları incelendiğinde her iki tasarımın uygun akustik koşulları sağlama konusunda yetersiz olduğu, hacmin tüm yüzey gereçlerinin yeniden ele alınarak hacmin karakterine uygun akustik tasarımın yapılması gerektiği görülmektedir.

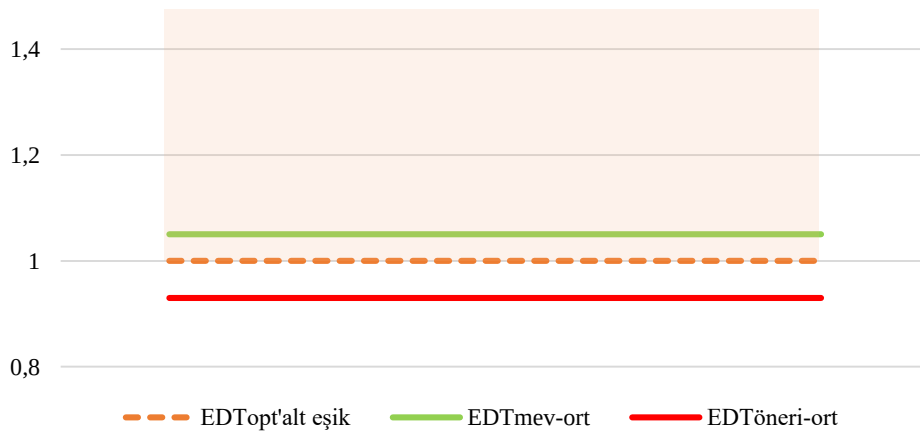
Konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önem taşıyan 250 Hz - 2000 Hz arası frekanslardaki hacim akustiği parametrelerinin ortalama değerlerinin literatürdeki önerilen aralıkları ile karşılaştırılması Tablo 3.12'de görülmektedir. Şekil 3.45 ve devamındakiler incelendiğinde, mimari tasarımda alınan kararların hacmin akustik koşullarına etkisi görülebilmektedir. Hacmin mevcut tasarımıyla gerçekleştirilen çalışmalarda hacmin akustik kimliğiyle uyumlu olmayan RT, EDT, C₅₀, C₈₀ ve D₅₀ değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte konuşmanın anlaşılabilirliği için önemli olan STI parametresinin ise hacmin mimari tasarımında yapılan iyileştirmeler sonucunda artarak kabul edilebilir sınırlara yaklaştırıldığı söylenebilmektedir.

Tablo 3.12 Simülasyon sonuçlarının konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli olan 250-2000 Hz için ortalama değerleri

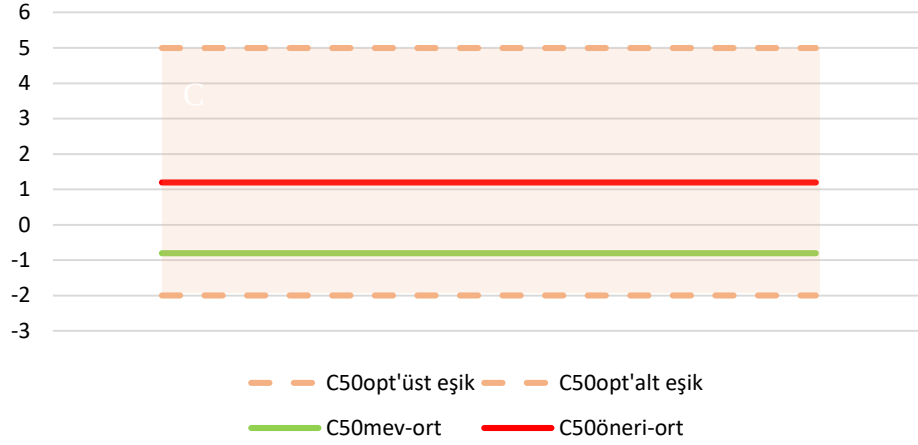
	Mevcut Tasarım					Önerilen Tasarım				
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Ortalama	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	Ortalama
RT (s)	0,79	0,83	1,02	1,36	1	0,9	0,95	1,12	1,28	1,06
EDT (s)	0,78	0,89	1,13	1,43	1,05	0,78	0,81	0,99	1,15	0,93
C₅₀ (dB)	1,6	0,7	-0,7	-2,4	-0,8	2,7	2,1	0,7	-0,5	1,2
C₈₀ (dB)	5,9	4,8	2,8	0,8	3,57	6,1	5,4	3,9	2,5	4,4
D₅₀	0,58	0,54	0,46	0,37	0,48	0,65	0,62	0,54	0,47	0,57



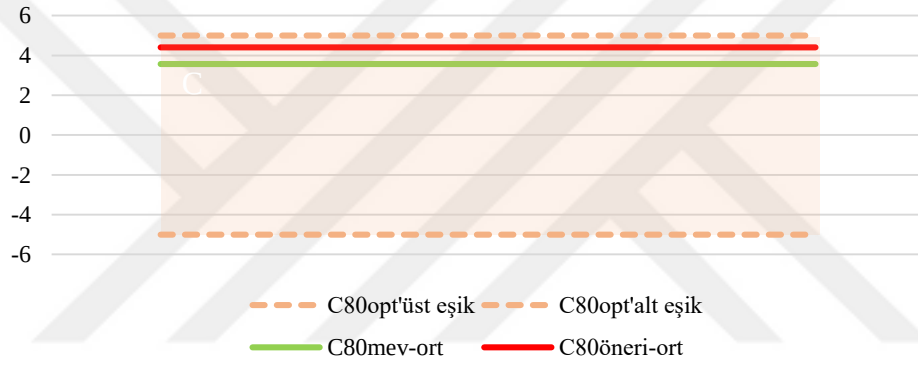
Şekil 3.45 RT parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması



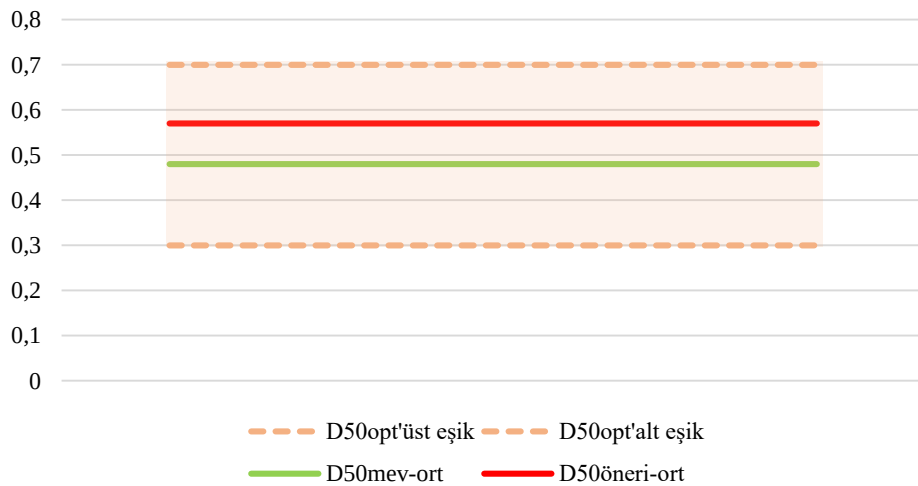
Şekil 3.46 EDT parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması



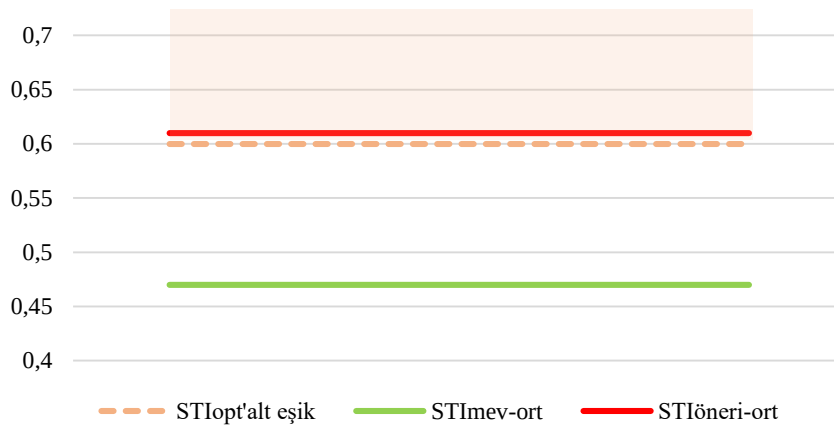
Şekil 3.47 C_{50} parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması



Şekil 3.48 C_{80} parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması



Şekil 3.49 D_{50} parametresinin 250-2000 Hz için ortalama değerinin mevcut ve önerilen tasarımda referans değerler ile karşılaştırılması



Tablo 3.13’te yer alan veriler incelendiğinde mevcut tasarım için elde edilen simülasyon sonuçlarının bazı parametreler için kabul edilebilir değerlerde olduğu görülürken, bazı parametreler için sınır değerlerin dışında kaldığı görülmektedir. Konuşma işlevli hacimlerde D_{50} ve STI parametreleri önem taşımaktadır. Mevcut tasarım koşullarında “uygun değil” olarak değerlendirilen bu parametrelerin iyileştirilerek uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerleri	Sübjektif Ayrım Aralığı	Mevcut Tasarım Analizi	Değerlendirme
RT	0,95 - 1,15 sn [39]	%5	1,02	UYGUN
EDT	0,6 - 1,2 sn [89]	%5	1,07	UYGUN
C ₅₀	> -2 dB [88]	0,5 dB	-0,36 dB	UYGUN
C ₈₀	-5 dB; +5 dB [67]	0,5 dB	3,35 dB	UYGUN
D ₅₀	> 0,50 [66] (tüm frekanslarda)	%5	125 Hz 0,5	UYGUN
			250 Hz 0,58	UYGUN
			500 Hz 0,54	UYGUN
			1000 Hz 0,46	UYGUN DEĞİL
			2000 Hz 0,37	UYGUN DEĞİL
			4000 Hz 0,42	UYGUN DEĞİL
STI	≥ 0,60 [40]	-	0,47	UYGUN DEĞİL

Tablo 3.14 Önerilen tasarımda hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerleri	Sübjektif Ayırım Aralığı	Önerilen Tasarım Analizi	Değerlendirme
RT	0,9 - 1,10 sn [39]	%5	1,06	UYGUN
EDT	0,6 - 1,2 sn [89]	%5	0,94	UYGUN DEĞİL
C₅₀	> -2 dB [88]	0,5 dB	1,06 dB	UYGUN
C₈₀	-5 dB; +5 dB [67]	0,5 dB	4,26 dB	UYGUN
D₅₀	> 0,50 [66] (tüm frekanslarda)	%5	125 Hz 0,56	UYGUN
			250 Hz 0,65	UYGUN
			500 Hz 0,62	UYGUN
			1000 Hz 0,54	UYGUN
			2000 Hz 0,42	UYGUN DEĞİL
			4000 Hz 0,52	UYGUN
STI	≥ 0,60 [40]	-	0,6	UYGUN

Yapılan çalışmalarda mimari tasarım parametrelerinde yapılan değişimlerin konuşmanın anlaşılabilirliğinin etkili olduğu hacimlerde, hacmin akustik karakterini ve konfor koşullarını belirlemede önemli bir etkisinin bulunduğu görülmektedir. Dinleyici ve kaynak arası uzaklığın azalması konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli bir etkidir. Her iki tasarım koşulu için yapılan bu değerlendirmelerde kaynak-dinleyici arasındaki mesafeyi azaltmak adına yapılan balkon tasarımı önerisinin, STI değerini arttırarak konuşmanın anlaşılabilirliğine katkı sağladığı görülebilmektedir. Benzer bir biçimde hacmin büyüklüğü ve dinleyici başında düşen hacim büyüklüğü ile ilgili yapılan düzenlemeler sonrasında da D₅₀ parametresinin pek çok frekans için %50 eşliğini aştığı ya da aşmaya çok yakın değerlere ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla zaten literatürde benzeri gerçekleştirilen çalışmalar ile pek bilinir bir bilgi olan “mimari tasarımın akustik konfor koşullarına olan etkisi” bu değerlendirmeler kapsamında da tekrar saptanmıştır. Çalışmanın bu aşamasından sonra ele alınacak yöntem ise hacmin önerilen tasarımıyla yeniden değerlendirilmesi; öneri yüzey gereçleri oluşturularak yansıma süresi ve diğer hacim akustiği parametrelerinin uygun koşullara yaklaştırılmasını sağlamaktır.

4

SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜZEY GEREÇLERİYLE AKUSTİK TASARIM: ATATÜRK KÜLTÜR MERKEZİ ÖRNEĞİ, TEKİRDAĞ

4.1 Yüzey Gereci Seçimini Etkileyen Parametreler

Bilim ve teknolojiadaki gelişmeler yapı malzemelerinin çeşitliğinde artışa, geleneksel malzeme teknolojisinde yeniliklere ve geleneksel malzemelerin yeni değerlendirmeler ile çeşitlenerek yeniden kullanılabilirliğine olanak sağlamıştır. Yapı malzemelerindeki bu çeşitlilikler ürün seçim ve değerlendirme aşamalarını zorlaştırmakta, doğru ürünün tercih edilebilmesi adına çeşitli parametrelere duyulan ihtiyacı arttırmaktadır [76]. Bu parametreler *teknik*, *estetik*, *ekonomik* ve *sosyal* parametreler olarak sınıflandırılabilmekte ve seçim kriterleri bu parametreler ışığında belirlenebilmektedir.

Teknik parametreler, malzemenin mukavemet dayanımı, yangın direnci, ısıl-görsel-akustik özellikleri gibi konu başlıklarını içerisinde barındırırken; *estetik parametreler* renk, doku, esneklik gibi özelliklerini kapsamaktadır. *Ekonomik parametreler* ise, malzemenin maliyet açısından uygunluğunu, kolay erişilebilir ve kullanılabilir olmasını tariflerken; *sosyal parametreler* malzemenin üretim aşamasında çevre ve enerji ile olan ilişkisine değinir; geri dönüştürülebilir olması ve öz kaynak kullanımı gibi başlıklar ile ilişkilendirilir. Kısaca sürdürülebilir tasarım parametreleri olarak aktarılabilmektedir (Şekil 4.1).

Malzeme seçimlerinde bu parametrelerin bir tanesinin tek başına bir kriter olarak dikkate alınması yetersizdir. Sürdürülebilir hedeflere yönelik tasarlanan bir yapı için malzeme seçiminde sosyal parametrelerin yanı sıra ekonomik, teknik ve estetik parametreler de değerlendirmeye alınmalıdır. Sürdürülebilir bir tasarım için bir malzemede aranan kriterler yalnızca insan sağlığı ve konforu açısından olumlu

olması ile değil bunun yanı sıra, doğa ve çevre ile etkileşimli; mukavemet dayanımı ve yangın direnci yüksek, kolay erişilebilir, kullanılabilir, ulaşılabilir, onarılabilir ve taşınabilir olması; esnek ve estetik olması, uzun kullanım ömrüne ve çoklu kullanım olanağına sahip olması; düşük maliyetli olması vb. gibi alt parametreler ile ilişkili olmalıdır.



Şekil 4.1 Malzeme seçimini etkileyen parametreler [76]

Teknik parametreler açısından yeterli bir malzeme,

- Mukavemet dayanımı yüksek olmalı,
- Doğal güçlere karşı koruma sağlamalı,
- Basınç dayanımı yüksek olmalı,
- Yanmaya karşı direnci yüksek olmalı,
- Alevlenebilirlik özelliği düşük olmalı,
- Duman yayma kapasitesi kısıtlı olmalı,
- Isı, su, ses geçirgenliği uygun olmalıdır.

Estetik parametreler ise,

- Çevreye, dokuya, tasarıma uyum sağlayan,
- Estetik kaygılara doğru cevaplar veren, malzemeler tarafından sağlanan bir parametredir.

Bir malzemenin *ekonomik parametreler* açısından yeterli olması;

- Uygun teknik performansı sağlaması,
- Az miktarda enerji kullanımını hedeflemesi,
- Kısa ve uzun dönem masrafları açısından uygun maliyetli olması,

- Toplumun her kesimi tarafından kolayca elde edilebilir, erişilebilir olması,
- Üretim sahasından uygulama sahasına kolay taşınabilmesi,
- Kolay bakım ve onarım işçiliği sunması,
- Üretimnin büyük yatırım ve karmaşık teknoloji gerektirmemesi gibi alt parametreleri büyük ölçüde sağladığı anlamına gelmektedir.

Son olarak *sosyal parametreleri* sağlayan parametreler,

- Doğal ve yerel ya da atık dönüşümlü hammadde kullanımı,
- Az enerji tüketimi, enerjinin etkin kullanımı,
- İnsan sağlığı ve konforu açısından yararlı malzeme kullanımı,
- Yerel dokuya ve çevreye uygun, daha az zarar verme eğilimli hammadde kullanımı açısından yeterli malzemelerdir.

Bu bölümde yapılacak çalışmalarda amaç, sürdürülebilir malzemelerin bir hacmin akustik konforunu belirlerken kullanılabilirliğini değerlendirmek; bu değerlendirmeyi yaparken malzemenin sürdürülebilir olmasının yanı sıra sözü geçen teknik, estetik ve ekonomik parametreler ışığında da değerlendirilebilmesini sağlamaktır.

4.2 Salonda Sürdürülebilir Yüzey Gereçleri Kullanımıyla

Uygun Akustik Ortamın Sağlanması

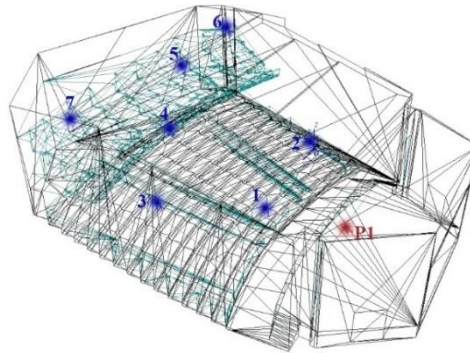
Salon üzerinde yapılan analiz çalışmalarında tercih edilen yüzey gereçlerinin yansıtıcılık ve yutuculuk özellikleri açısından neredeyse eşit dağılımlara sahip oldukları söylenebilmektedir. Mevcut ve önerilen tasarımlar ile elde edilen yansıma sürelerinin hacmin akustik konfor gereksinimlerini karşılama açısından yetersiz olduğu görülmektedir. Aynı zamanda mimari tasarım parametrelerinde yapılan öneriler hacmin akustik karakterine olumlu bir etki oluşturmaktadır. Salonun yansıma süresinin belirlenmesinde kapladıkları yüzey alanlarının büyüklükleri sebebiyle döşeme, duvar ve tavanda yer alan yüzey gereçlerinin büyük ölçüde etkisi bulunmaktadır. Buradan yola çıkarak bu bölümde yapılan çalışmalarda hacim için önerilen tasarım kabul görmüş ve bu tasarımda döşeme, duvar ve tavan malzemeleri için yüzey gereci önerileri geliştirilmiştir.

Daha önceki bölümlerde elde edilen veriler incelendiğinde salonun yansıma süresi değerlerinin her iki tasarımda da (mevcut ve önerilen) akustik açıdan uygun sınırlar

içerisinde kalmadığı, frekanslara bağlı olarak birbirlerinden oldukça uzak uçlarda sonuçlar vererek hacmin yanıt eğrisinin düzgünsüzlüğüne neden oldukları görülmekte ve buna bağlı distorsiyon kusurunun var olabileceği söylenebilmektedir. Bu bölümde yapılan çalışmalarda hacmin tüm yüzey gereçleri yeniden ele alınmış, sürdürülebilir yüzey gereçlerin hacim içerisine ne derece entegre edilebileceği tartışılmıştır. Literatür taraması bölümünde pek çoğuna yer verilen sürdürülebilir yüzey gereçleri salonun yansım süresini belirlemede kullanılmış, Odeon programı aracılığıyla akustik benzetimler oluşturulmuş ve ilgili parametreler hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar ise mimari tasarım parametrelerinde yapılan öneriler sonrası oluşan yeni hacim akustiği parametre değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

4.2.1 Tasarım Denemeleri

Bu bölümde yer alan yüzey gereci önerileri salon üzerinde yapılan değerlendirmeler yardımı ile daha önceki bölümlerde önerilmiş ve değiştirilmiş tasarımı üzerinde yapılmıştır (*Bakınız, Bölüm 3.2.1*). Yapılan öneriler için Odeon simülasyon yazılımı aracılığıyla akustik benzetimler oluşturulmuş; bu akustik benzetimler üzerinde kaynak ve dinleyici noktaları belirlenmiş; her bir öneri için hem “grid response” yöntemi ile tüm dinleyici alanında hem de belirlenen kaynak ve dinleyici noktalarında hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Odeon arayüzünde tüm tasarımlar için kaynak-dinleyici noktaları

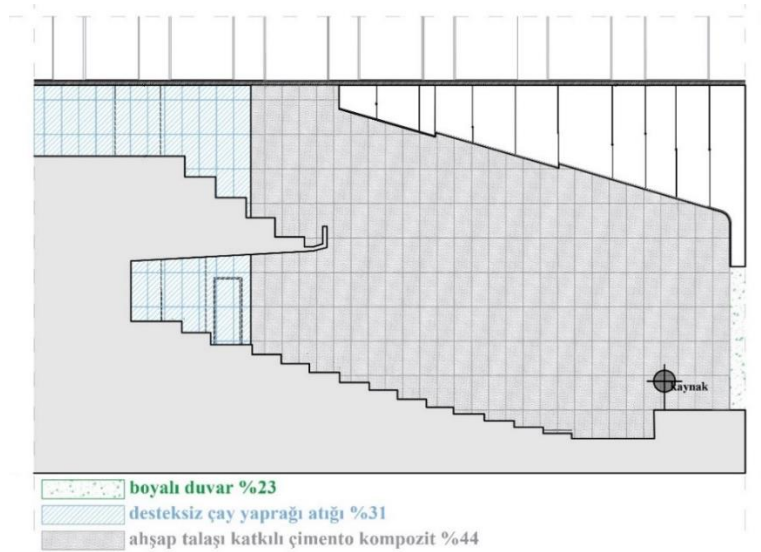
Yüzey gereci tercihlerinde sürdürülebilir malzemelerin kullanımına özen gösterilmiş; bu malzemelerin kullanımı ile akustik konfor koşullarının sağlanması koşulu bir arada değerlendirilmiştir. Burada amaç, salonda yer alan halı ve hatta koltuklar dahil tüm malzemeleri sürdürülebilir alternatifleri ile güncellemek fakat bunu yaparken salonun gereksinim duyduğu akustik konfor koşullarını sağlayabilmektir. Sürdürülebilirlik ve mimaride akustik tasarım kavramlarının

bütünleşik bir yaklaşım ile ele alınabilmesi için tüm yüzey gereçlerinin ve hatta onların renk ve doku özelliklerinin birbirleriyle uyumunun da mümkün olduğunca sürdürülebilirlik kavramını destekleyecek nitelikte olması gerekmektedir.

4.2.1.1 Tasarım Denemesi 1

Yeni yüzey gereçleri önerileri, mimari tasarım parametrelerinde yapılan öneriler üzerinden sürdürülmüş, salonun mimari tasarımı Tablo 3.6’da yer aldığı biçimiyle korunmuştur. Burada daha önceki bölümlerde mimari tasarım parametreleri üzerinde yapılan öneriler ile salon parametreleri iyileştirilmiş, salon hacmi 3735 m³, dinleyici sayısı 670 kişi ve dinleyici başına düşen hacim 5,57 kişi/m³ olarak güncellenmiştir. Sahne yüksekliği 1,00 m olarak kabul edilmiş, dinleyici alanı eğimi düzenlenmiş ve giderek artan uygun bir eğim ile arttırılmıştır. Dinleyici alanındaki artan eğim tavan yüksekliğinin arttırılmasını gerektirmiş ve konuşma işlevli hacimler için yüksek tavanın istenen bir durum olmamasından ötürü, dinleyici sayısını yüksek tutmak adına balkon tasarımı uygulaması yapılmış, tavan yüksekliği ortalama 7,40 m olarak belirlenmiştir.

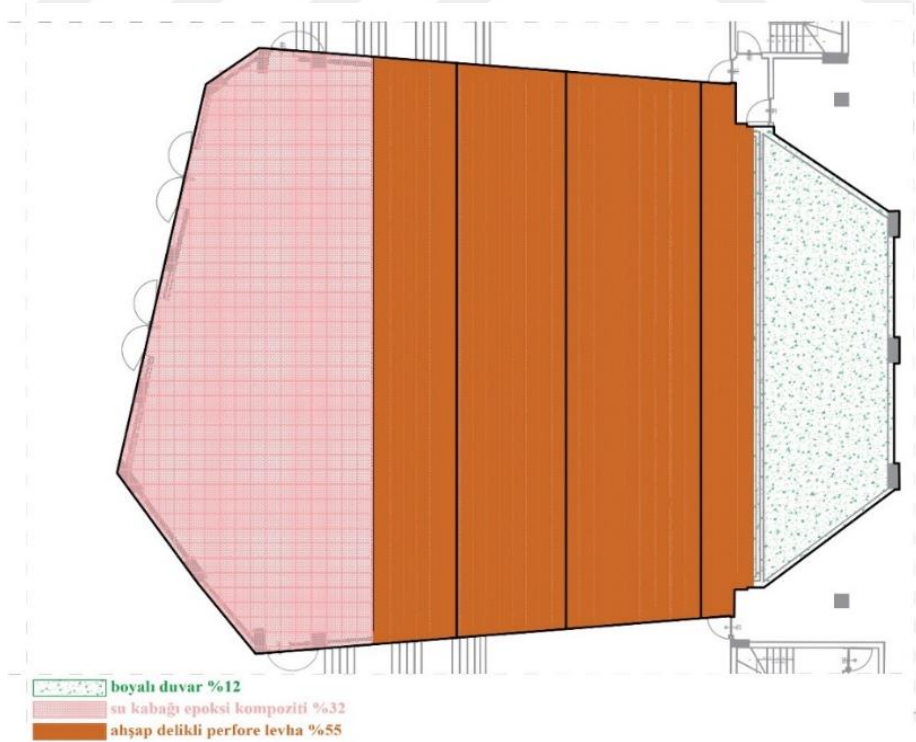
Yapılan ilk tasarım denemesinde duvarda yer alan yüzey gereçlerinin %31’lik bir bölümü sürdürülebilir yüzey gereçlerinden olan çay yaprağı atıklarından üretilmiş levhalar ile %44’lük bir bölümü ahşap talaşı katkılı çimento kompozit levhalar ile kaplanmıştır. Kalan %23’lük bölüm ise düz boyalı duvar olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Deneme 1 için duvarda malzeme kullanımları

Benzer bir biçimde tavanın %32'lik bir bölümü su kabağı liflerinden üretilmiş epoksi kompozitler ile kaplanırken, %55'lik kısmı ise ahşap delikli levha ile kaplanmıştır. Yine kalan %12'lik bölümüne ise boya uygulaması yapılmıştır (Şekil 4.4).

Duvar ve tavan yüzeyleri için yapılan öneriler ile sürdürülebilir yüzey gereçlerinin hacmin akustik konforuna etkisi incelenmiştir. Başta da belirtildiği gibi sürdürülebilirlik ve mimaride akustik tasarım süreçlerinin bütünleşik bir biçimde ele alınabilmesi için tüm yüzeylerin sürdürülebilir malzemeler ya da alternatiflerine göre daha az zararlı malzemeler ile kaplanması, hacim içerisinde bu tip yüzey gereçlerinin kullanılması önemlidir. Yapılan bu çalışma sırasında sürdürülebilir olarak tanımlanan bazı yüzey gereçleri hacmin yutuculuğunu belirlemeye yönelik çalışmalarda kullanılmıştır. Bu kapsamda ele alınan yüzey gereçlerinin pek çoğunun yüksek frekanslarda etkili ses yutma performanslarına sahip olduğu görülmüş; hacim içerisinde frekansa bağlı yutuculukları dengeleyebilmek adına düşük frekanslarda da etkili performans gösterebilecek sürdürülebilir olmasa dahi doğal malzemeleri hammaddesi olarak kullanan, daha az zararlı endüstri ürünü malzemeler hacim içerisinde kullanılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Deneme 1 için tavana malzeme kullanımları

Burada yapılan çalışmalarda kullanılan yüzey gereçleri ve kullanım yerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Deneme 1 için tercih edilen yüzey gereçleri ve kullanım yerleri

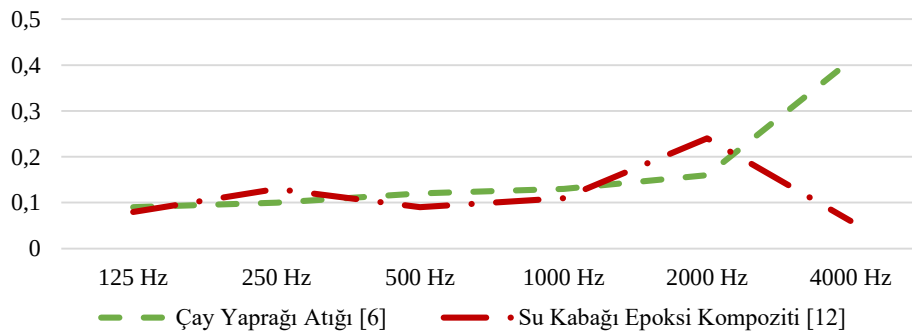
Yüzey Gereci	Kullanım Yeri
Kumaş [15]	Koltuk
Çay Yapağı Atığı [6]	Duvar
Boya [15]	Duvar/Tavan
Ahşap Talaşı Katkılı Çimento Levha [15]	Duvar
4F 28A KD kodlu Delikli Levha [77]	Tavan
Su Kabağı Epoksi Kompoziti [12]	Tavan
Halı [15]	Döşeme
Parke [15]	Sahne

▪ Çay Yapağı Atığı

Çay yapağı atıkları ile yapılan çalışmalarda çeşitli levhalar oluşturulmuş, bunların bir kısmı pamuk ile desteklenirken bir kısmı desteksiz olarak değerlendirilmiştir. Yüzey gereci için ele alınan çay yapağı atıklarından oluşmuş levhalar ise 10 mm kalınlığında ve desteksizdir. Şekil 4.3’te levhaya dair empedans tüpü yöntemi ile elde edilmiş ses yutma katsayısı değerleri görülmektedir [6].

▪ Su Kabağı Epoksi Kompoziti

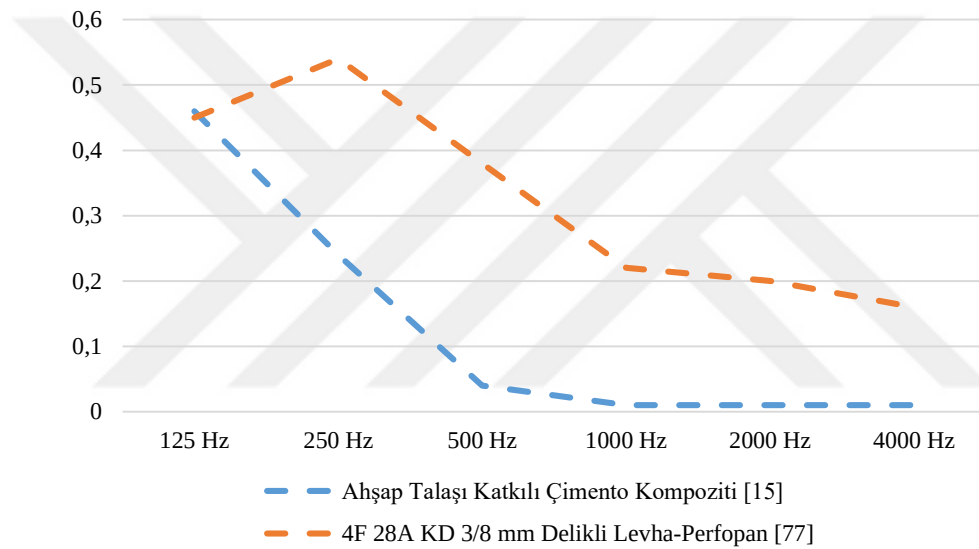
Su kabağı lifleri ile yapılan çalışmalarda ise epoksi karışımı ve su kabağının belirli yoğunluklardaki kompozit karışımları akustik performansları açısından testler gerçekleştirilmiştir. Deneme 1 için ise yüzey gereci olarak kalınlığı 10 mm olan %10 lif oranına sahip ürün kullanılmıştır. Şekil 4.5’te kompozite dair yansıma odası yöntemi ile elde edilmiş ses yutma katsayısı değerleri görülmektedir.



Şekil 4.5 Deneme 1 için sürdürülebilir yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları

■ Ahşap Talaşı Katkılı Çimento Kompoziti ve 4F 28A KD kodlu Delikli Levha

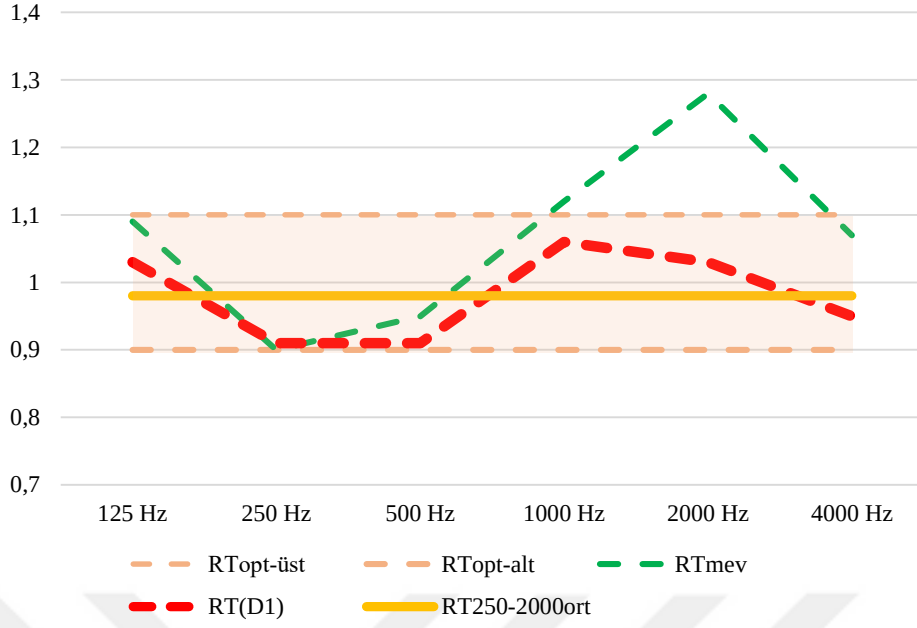
Sürdürülebilir yüzey gereçleri olarak belirlenen çay yaprağı atığı ve su kabağı epoksi kompozitleri yüksek frekanslarda yüksek yutuculuk değerlerine sahiptir. Konuşma işlevli hacimler için tüm frekanslardaki toplam yutuculukların birbirine yakın sonuçlar veriyor olması, hacmin yanıt eğrisinin düz bir çizgi halinde devam etmesi istenir. Yüzey gereci olarak tercih edilen sürdürülebilir malzemelerin yüksek frekanslardaki yutuculuklarını dengeleyebilmek adına düşük frekanslarda yüksek yutuculuk değerlerine sahip yüzey gereçlerinin seçimi gerekmektedir. Bu noktada tercih edilen yüzey gereçlerinin düşük frekanslardaki yüksek yutuculuk değerleri Şekil 4.6’da yer almaktadır.



Şekil 4.6 Deneme 1 için endüstri üretimi yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları

- **Belirli Alıcı Noktalarında Simülasyon Yardımıyla Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Yüzey gereçlerinde yapılan değişikliklerin ardından hacmin toplam yutuculuğu ve yansıma süresi değerleri değişmiş, değişen bu değerlere bağlı olarak diğer parametrelerde de değişiklikler görülmüştür. Şekil 4.7’de Deneme 1 için Odeon aracılığıyla oluşturulan akustik benzetim vasıtasıyla elde edilen yansıma süresi değerleri görülmektedir.



Şekil 4.7 Deneme 1 için hacmin yansıma süresi

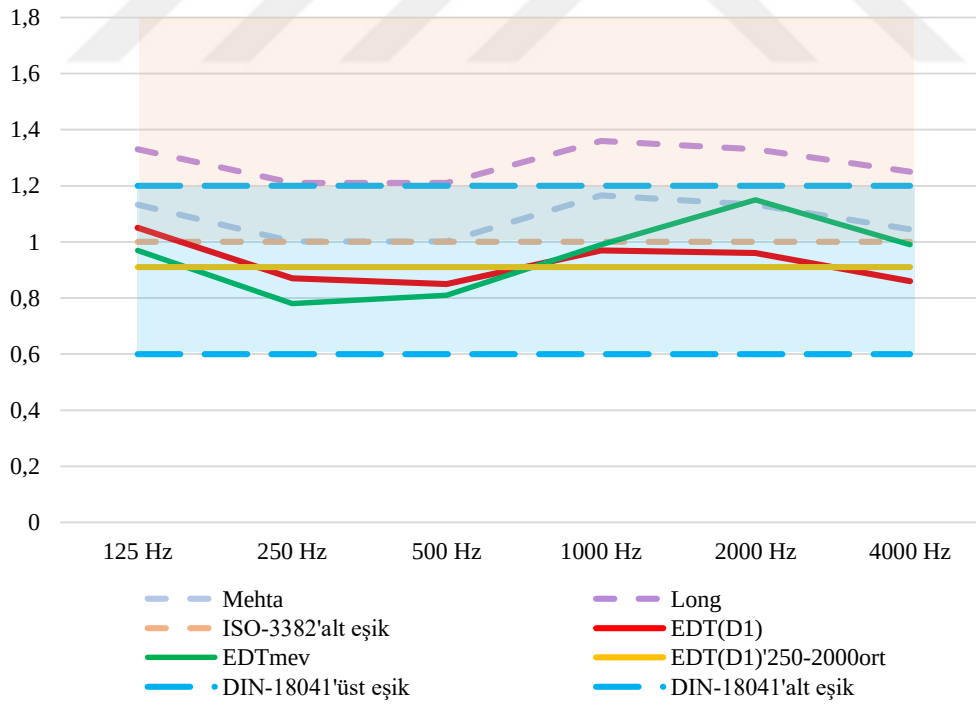
Tablo 3.11’de mimari tasarım parametrelerine dair önerilerin yapıldığı ilk tasarımda mevcut yüzey gereçleri ile yansıma süresi verilerinin elde edildiği görülmektedir (*Bakınız, Bölüm 3.3.2.*). Şekil 4.7’de RT_{mev} olarak tanımlanan değerler bu verilerden elde edilmiştir. RT_{mev} ve $RT_{öneri1}$ değerleri incelendiğinde salonun mevcut durumunda bazı frekanslar için yansıma süresi değerlerinin optimum aralıkların dışında kaldığı görülmektedir. Deneme 1 için elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise tüm frekanslarda yansıma süresinin optimum aralıklar içerisinde kaldığı görülmektedir. Daha önceki bölümlerde yapılan değerlendirmelerde frekanslara bağlı yansıma süresi değerlerinde büyük farklılıklar saptanmış, bu farklılıkların olası distorsiyon kusurlarına sebep olabileceği söylenmiştir. Deneme 1 için elde edilen sonuçlar incelendiğinde frekanslar arası farkların kabul edilebilir sınırlara yaklaştığı görülmektedir fakat istenilen düzeye ulaşamadığı söylenebilmektedir. Bu olumsuzluklara rağmen Deneme 1, sürdürülebilir yüzey gereçleri kullanımıyla hacim içerisinde uygun yansıma süresi değerlerini sağlamıştır. Simülasyon aracılığıyla yapılan incelemelerde diğer hacim akustiği parametrelerine dair veriler de elde edilmiştir (Tablo 4.2 ve Tablo 4.3). Elde edilen veriler incelendiğinde C_{50} , C_{80} , D_{50} ve STI parametrelerinin optimum aralıklar arasında kaldığı görülmüştür.

Tablo 4.2 Deneme 1 için hacim akustiği parametreleri sonuçları

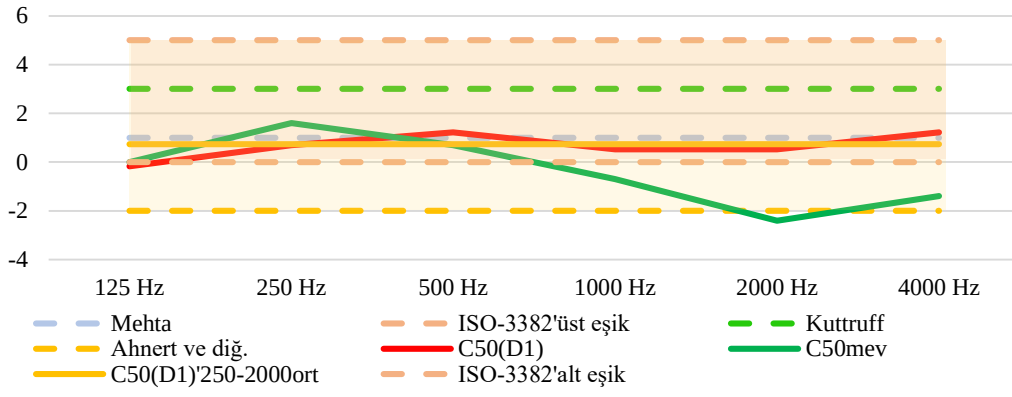
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RT (s)	1,03	0,91	0,91	1,06	1,03	0,95
EDT (s)	1,05	0,87	0,85	0,97	0,96	0,86
C₅₀ (dB)	-0,2	0,7	1,2	0,5	0,5	1,2
C₈₀ (dB)	2,8	4,1	4,5	3,6	3,7	4,5
D₅₀	0,49	0,54	0,57	0,53	0,53	0,57
STI	0,54					

Tablo 4.3 Deneme 1 için hacim akustiği parametrelerinin 250-2000 Hz ortalama sonuçları

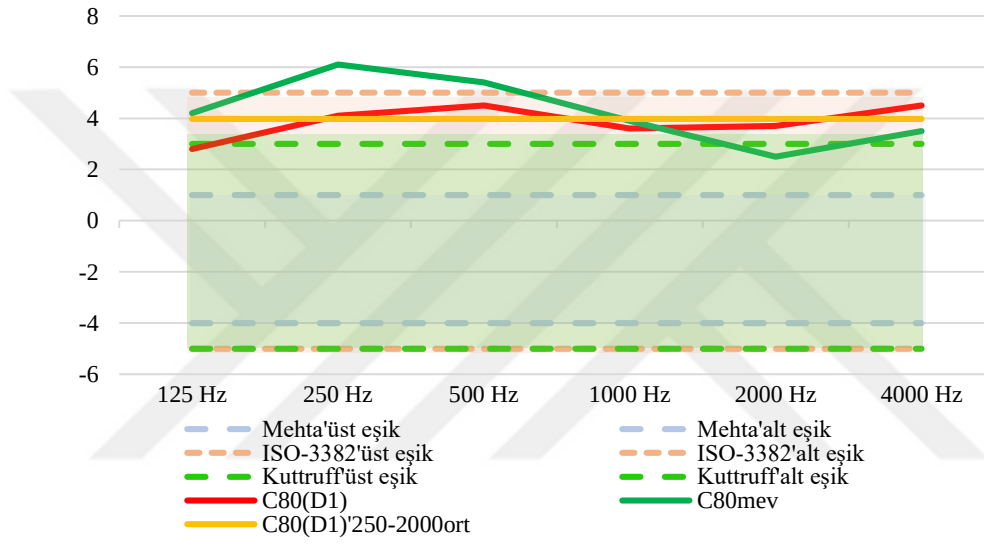
	Ortalama
RT (s)	0,98
EDT (s)	0,91
C₅₀ (dB)	0,70
C₈₀ (dB)	3,98
D₅₀	0,54
STI	0,54



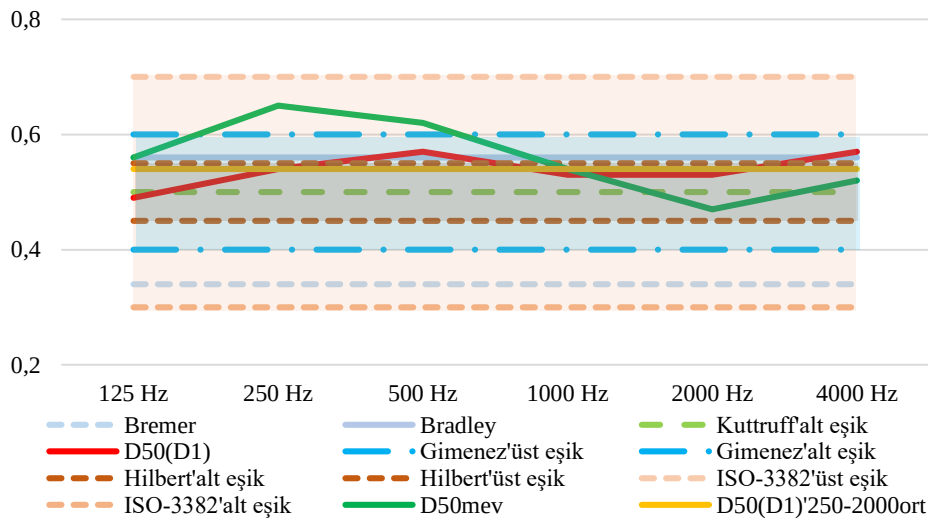
Şekil 4.8 Deneme 1 için EDT değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması



Şekil 4.9 Deneme 1 için C_{50} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

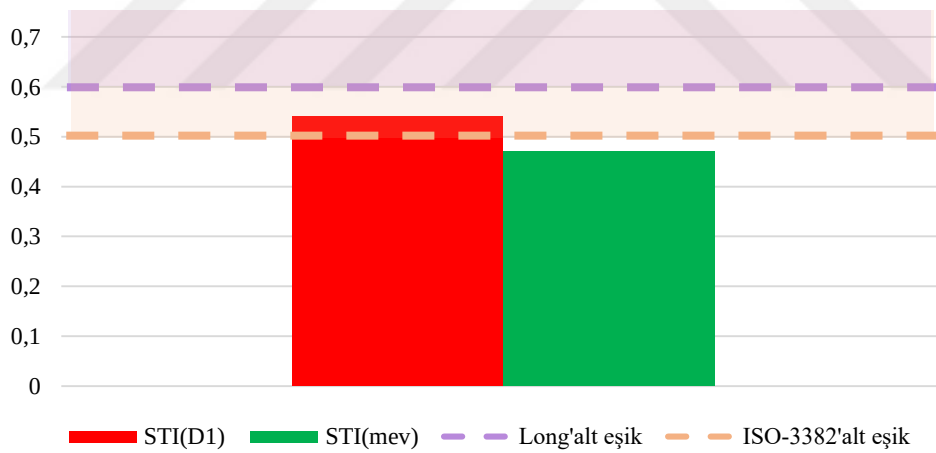


Şekil 4.10 Deneme 1 için C_{80} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması



Şekil 4.11 Deneme 1 için D_{50} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

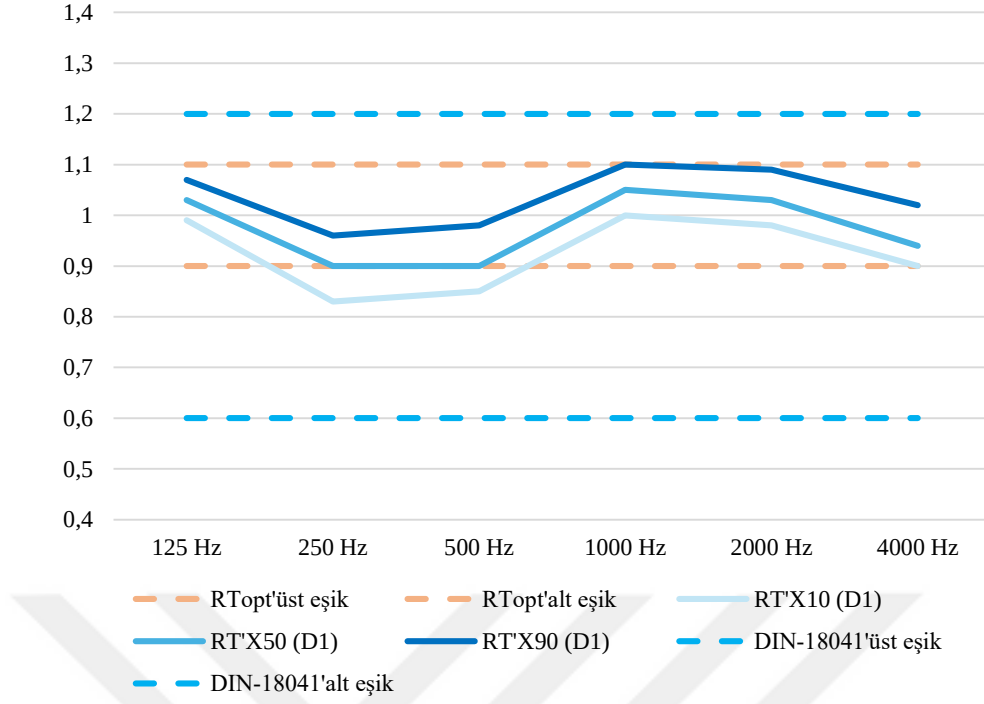
Deneme 1 için yapılan hacim akustiği parametreleri değerlendirmelerinde C_{50} , C_{80} ve D_{50} parametrelerinin mevcut duruma göre önerilen sınır değerler aralıklarında kaldıkları görülmüştür. C_{50} parametresi mevcut durumda 2000 Hz için sınır değerlerin altında kalmaktadır. Deneme 1 için elde edilen veriler incelendiğinde tüm frekanslarda önerilen sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir fakat 125 Hz, 1000 Hz ve 2000 Hz değerleri için negatif değerlerde sonuçlar elde edilmiştir. C_{80} parametresi mevcut durumda 250 ve 500 Hz için sınırların üzerinde sonuçlar vermiş, bu sonuçlar Deneme 1 için sınır aralıkları içerisinde kalmıştır. Benzer bir biçimde D_{50} parametresi için mevcut sonuçlar incelendiğinde bazı frekanslarda çeşitli akustikçiler tarafından önerilen farklı sınır değer aralıklarının dışında kaldığı görülürken, Deneme 1 için elde edilen sonuçlar literatürde önerilen sınır değerlerin arasında kalmıştır. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak hacmin sürdürülebilir yüzey gereci kullanımıyla uygun akustik koşullara mevcut durumuna göre çok daha yakın olduğu söylenebilmektedir. Tablo 4.2’de yapılan incelemede STI parametresinin de en az değer olan 0.54 değerinde olduğu, dolayısıyla kabul edilebilir değerin altında olduğu görülebilmektedir.



Şekil 4.12 Deneme 1 için STI değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

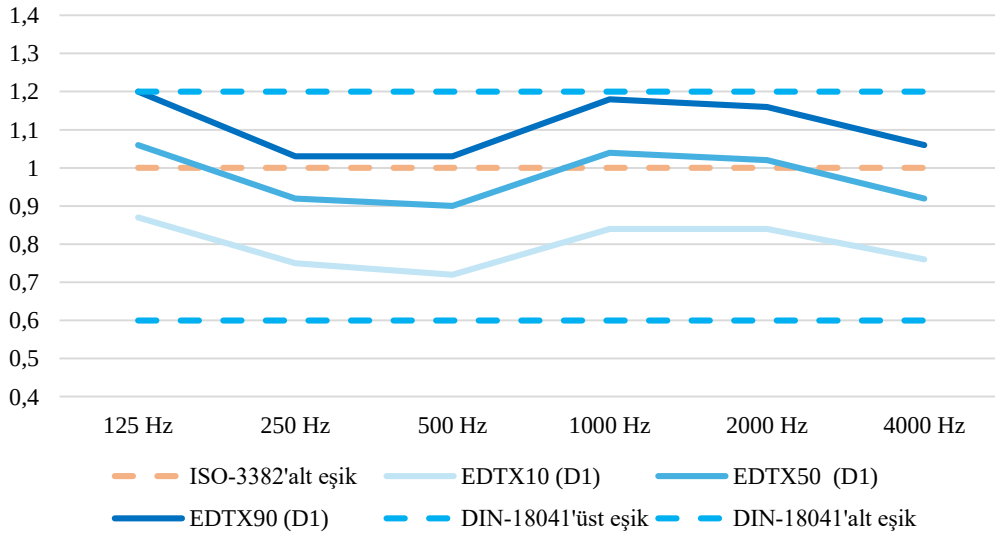
- Tüm Dinleyici Alanında Simülasyon Aracıyla Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılım yöntemi ile tüm frekanslar için alanın %50’si ve %90’ına bağlı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 4.13’te yer alan sonuçlara bakıldığında dinleyici alanının %50’si ve %90’ında yansıma süresi değerleri tüm frekanslarda optimum aralıkta kalmakta, %10’luk bir bölümünde 250-500 Hz değerleri alt eşik sınırının biraz altında olmaktadır.

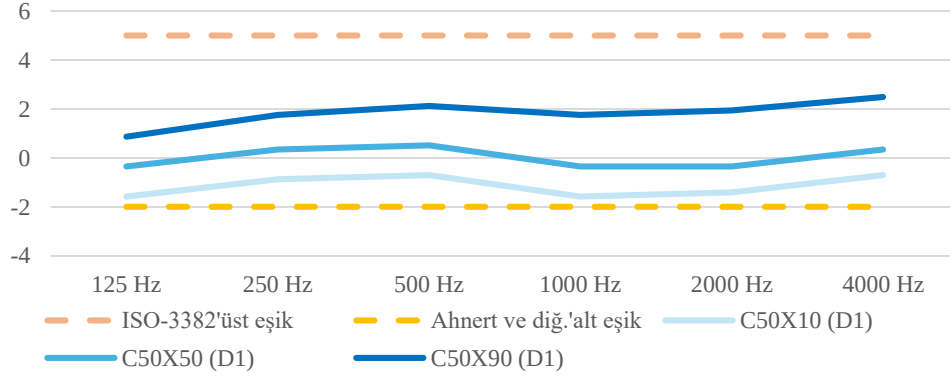


Şekil 4.13 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı RT değerleri

Şekil 4.14'te ise EDT'nin dinleyici alanının %10'u ila %90'ı arasında değişen istatistiksel verilerine yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde alanın %90'ındaki en az değerlerin bu optimum aralıklar içerisinde kaldığı görülmektedir. Alanın %10'u ve %50'sindeki en az değerler ise 250-500 Hz için optimum aralıkların altında kalmaktadır.

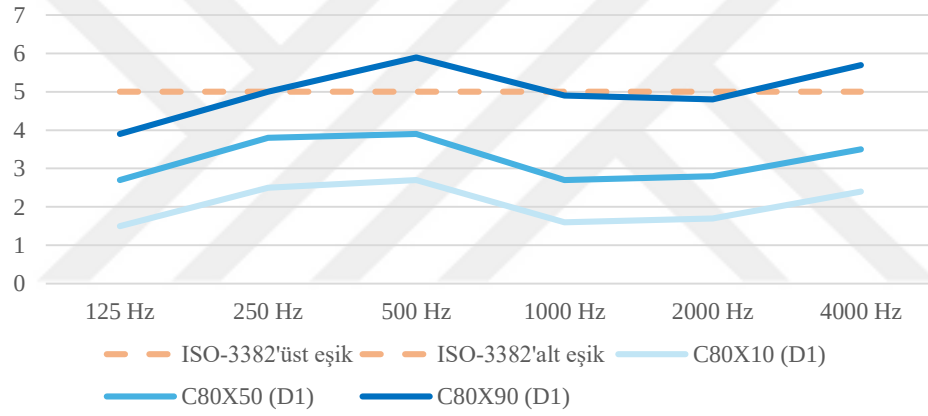


Şekil 4.14 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı EDT değerleri

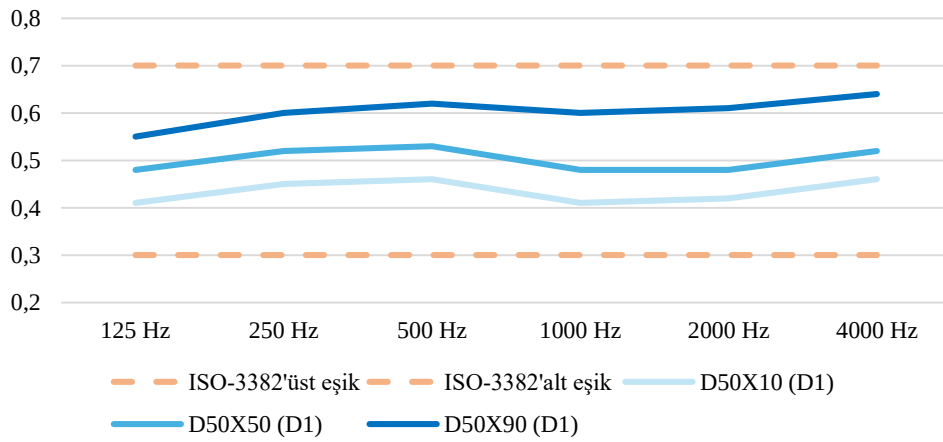


Şekil 4.15 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{50} değerleri

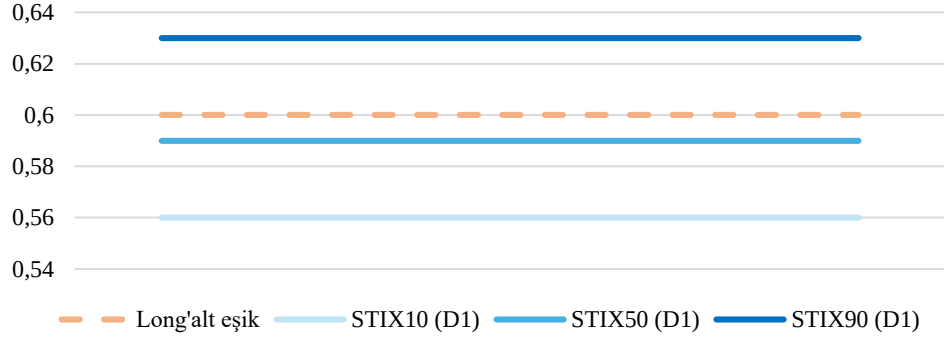
Şekil 4.15'teki veriler incelendiğinde C_{50} parametresinin dinleyici alanının %10'unda en az -1,6 dB değerinde olduğu görülmektedir. Tüm frekanslar için alanın %10, %50 ve %90'ında elde edilen sonuçlar optimum aralıklar içerisinde.



Şekil 4.16 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{80} değerleri



Şekil 4.17 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı D_{50} değerleri



Şekil 4.18 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı STI değerleri

Şekil 4.16'daki veriler incelendiğinde C_{80} parametresinin dinleyici alanının %10'unda en az 1,5 dB değerinde olduğu görülmektedir. Şekil 4.17 incelendiğinde D_{50} değerlerinin tüm frekanslar için dinleyici alanının %10'u, %50'si ve %90'unda optimum aralıkta olduğu görülmektedir. STI parametresi alanın %90'unda en az 0,63 değerindeyken, alanın %50'sinde 0,59; %10'unda 0,56 şeklindedir (Şekil 4.18).

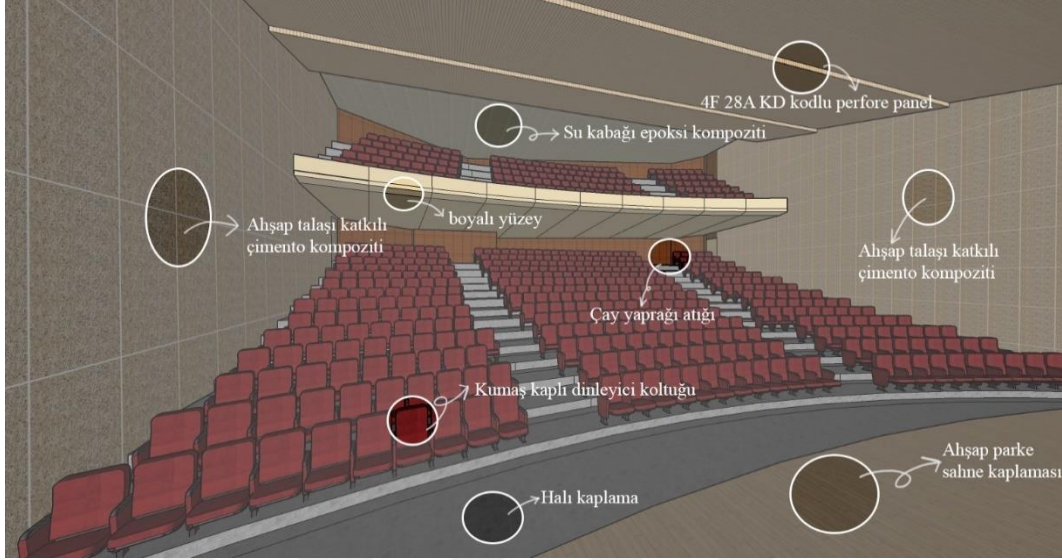
Tablo 4.4'te Deneme 1 sonrasında hacim akustiği parametrelerine dair yapılan değerlendirmeler yer almaktadır. Sonuçlara bakıldığında bazı parametreler için kabul edilebilir değerlerin elde edildiği görülmektedir. Bazı parametreler içinse sınır değerlerin dışında kaldığı görülmektedir. Konuşma işlevli hacimlerde önem taşıyan D_{50} ve STI parametreleri bu parametreler arasındadır.

Tablo 4.4 Deneme 1 için hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerleri	Sübjektif Ayrım Aralığı	Deneme 1 için Analiz Sonuçları		Değerlendirme
RT	0,9 - 1,10 sn [39]	%5	0,98		UYGUN
EDT	0,6 - 1,2 sn [89]	%5	0,92		UYGUN
C_{50}	> -2 dB [88]	0,5 dB	0,67 dB		UYGUN
C_{80}	-5 dB; +5 dB [67]	0,5 dB	3,87 dB		UYGUN
D_{50}	> 0,50 [66] (tüm frekanslarda)	%5	125 Hz	0,49	UYGUN DEĞİL
			250 Hz	0,54	UYGUN
			500 Hz	0,57	UYGUN
			1000 Hz	0,53	UYGUN
			2000 Hz	0,53	UYGUN
			4000 Hz	0,57	UYGUN
STI	$\geq 0,60$ [40]	-	0,54		UYGUN DEĞİL

- **Katı Model Yardımıyla Yüzey Gereçlerinin Tasviri**

Tasarım Denemesi 1 için önerilen malzemeler Şekil 4.19 ve devamında yer alan 3D modeller yardımıyla tasvir edilmiştir.



Şekil 4.19 Tasarım Denemesi 1 için 3D model yöntemiyle malzeme tasviri

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi dinleyici alanı döşeme kaplaması halı iken koltuklar kumaş kaplıdır. Duvarda ahşap talaşı katkılı çimento kompoziti ve çay yaprağı atığı kullanılmıştır. Tavanda ise 4F 28A KD kodlu delikli panel ve su kabağı epoksi kompoziti kullanılmıştır. Sahne döşemesi ahşap parkedir. Balkon altı ise boyalı yüzey olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.20 Tasarım Denemesi 1 için yapılan modelleme çalışması



Şekil 4.21 Tasarım Denemesi 1 3D modelinde balkon



Şekil 4.22 Tasarım Denemesi 1 3D modeli

- **Yüzey Gereçlerinin Malzeme Seçim parametreleri Açısından Değerlendirilmesi**

Zaman içerisinde yapı sektörünün gelişmesiyle birlikte yeni yapı malzemeleri ve yapım tekniklerinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Kullanıcılar ve üreticiler için daha çevreci ve sürdürülebilir malzeme arayışı ortaya çıkmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınan mimaride akustik amaçlı kullanılabilirliği değerlendirilen malzemeler birer doğal kaynak olmaları, üretim süreçlerinde çevreye zararlarının endüstriyel ürünlere oranla çok daha az olması, bir ürünün atık malzemesinden üretilmeleri yani yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir olmaları, düşük karbon salınımı ile insan sağlığı ve konforu açısından bakıldığında pek çok malzemeye göre daha az zararlı olmaları, yerel malzemeler olduklarından ötürü kolay erişilebilirliğin sağladığı ucuz nakliye ve üretim maliyetleri gibi sebeplerle

sürdürülebilir malzemeler olarak değerlendirilmişlerdir. Fakat malzeme seçiminde tek parametre malzemenin sürdürülebilir olması değildir. Bir malzemenin seçilebilir olması için yüksek yangın direnci ve mukavemet dayanımı göstermesi; kolay kullanılabilir, kolay erişilebilir, uygun maliyetli olması ve estetik kaygılara cevap vermesi istenir.

Tasarım Denemesi 1 kapsamında ele alınan malzemeler için bu parametreler ışığında yapılan değerlendirmeler Tablo 4.5'te görülmektedir. Sürdürülebilir olarak tercih edilen çay yaprağı atığının eldesi çay üretimi ile ilişkilidir. Çay ise yetiştiği coğrafi koşullar ve ülkemizin bu coğrafi koşullara uygun bölgelerinin yoğunluğu sebebiyle kolay erişilebilir ve elde edilebilir olmaktadır. Ülkemiz Dünya çay alanları bakımından 8. sıradayken, çay üretimi bakımından 4.sırada, çay verimliliği bakımından ise 1.sıradadır [82]. Dolayısıyla çay üretiminin ve verimliliğinin yüksek olduğu ülkemizde çay yaprağı atığı eldesinin erişilebilir olduğu söylenebilmektedir. Su kabağı lifi için benzer bir yorum yapılırsa bu ürünün kolay erişilebilen özellikle Türkiye'de olmak üzere pek çok ülkede yetiştirilen, düşük maliyetli bir ürün olduğu söylenebilmektedir [12]. Dolayısıyla her iki malzeme de sürdürülebilir olmalarının yanı sıra erişilebilirlik ve maliyet açısından uygun malzemelerdir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5'te yer alan malzemeler malzeme seçimi parametreleri kapsamında değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre sürdürülebilir olarak tercih edilen yüzey gereçlerinin maliyet açısından uygun olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu malzemelerin endüstri ürünü malzemelere göre daha düşük mukavemet derecelerine sahip oldukları görülmektedir. Yangın direnci açısından bakıldığında ise bu malzemelerin yine iyi birer performans gösteremedikleri söylenebilmektedir. Bu kapsamda bir değerlendirme yapılması gerekirse bu tür malzemelerin yangın çıkması halinde yangının kolay ulaşabileceği alanlarda kullanılmaması daha uygun olacaktır. Örneğin, Tasarım Denemesi 1 kapsamında yapılan çalışmada duvarda kullanılan çay yaprağı atığı panelleri çabuk yanıcıdır. Duvarın yüksek bölümlerinde uygulanması ya da tavanda yer alması yangın açısından daha olumludur. Kullanılabilir olması açısından değerlendirmek gerekirse lifli malzemeler ya da atıklar aracılığıyla üretilen paneller, estetik görüntü kaygısı barındırması sebebiyle; endüstri ürünü yüzey gereçlerine göre daha az kullanılabilir. Son olarak erişilebilirlik tüm malzemeler için olumludur.

Tablo 4.5 Yüzey gereçlerinin karşılaştırılması

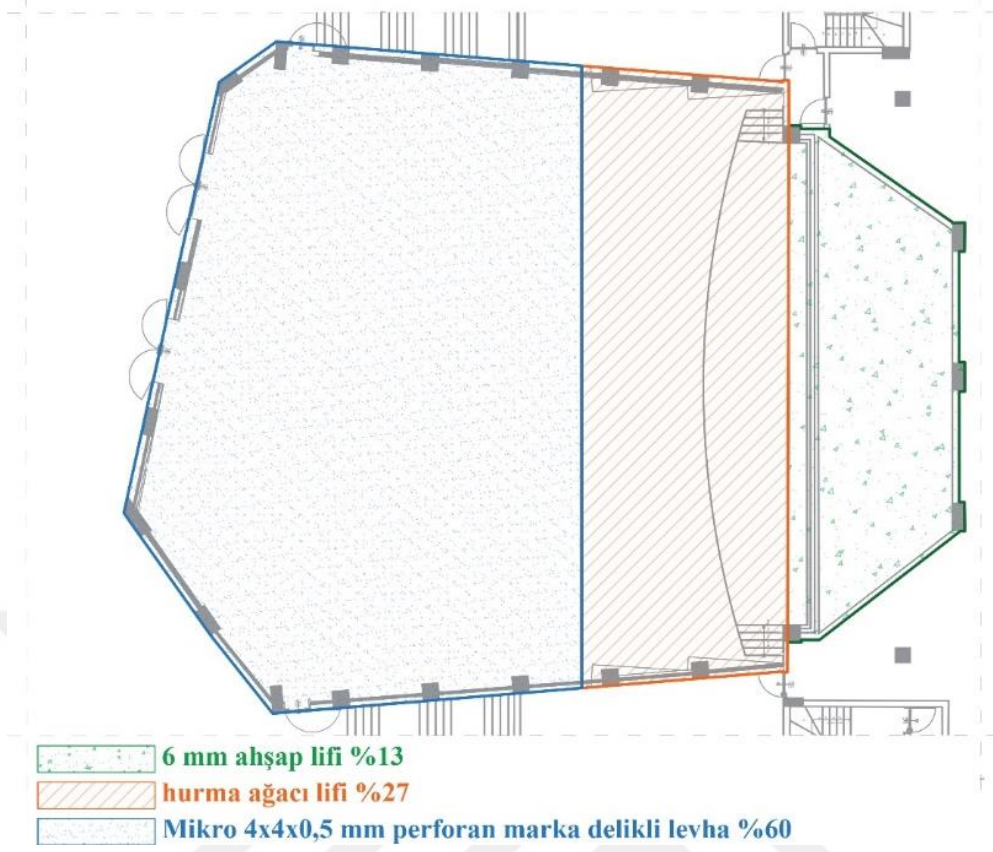
Malzeme	Seçim Parametreleri					
	Sürdürülebilir	Mukavemet Derecesi	Yangın Direnci ⁵	Erişilebilir	Kullanılabilir	Maliyet ¹
4F 28A KD kodlu ahşap delikli panel	Kısmen	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Evet	1586,50 TL/m ²² [77]
Çay yaprağı atığı	Evet	Düşük	Düşük	Yüksek	Kısmen	17 TL/kg ³ [84]
Ahşap talaşı katkılı çimento kompoziti	Kısmen	Yüksek	Düşük	Yüksek	Evet	1319,50 TL/m ² [83]
Su kabağı epoksi kompoziti	Evet	Düşük	Düşük	Yüksek	Kısmen	165 TL/adet ⁴ [85]
Boyali duvar yüzeyi	Hayır	Yüksek	Orta	Yüksek	Evet	66 TL/m ² [86]

¹ 2024 yılı verilerinden elde edilmiştir.
² 14 Ağustos 2024 tarihli panel fiyatı 42 Euro/m² şeklindedir. (1 Euro ≈ 37,77 TL*6 Ekim 2024 tarihli kur alınmıştır.)
³ 2024 yılı çay alım fiyatı belirtilmiştir. Panel üretimi, atık malzeme kullanımı maliyetleri dahil değildir.
⁴ Kabak lifi adet fiyatıdır. Epoksi kompozit üretimi maliyeti dahil değildir.
⁵ Malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Kesin sonuçlar için yangın direnci kapsamında daha detaylı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

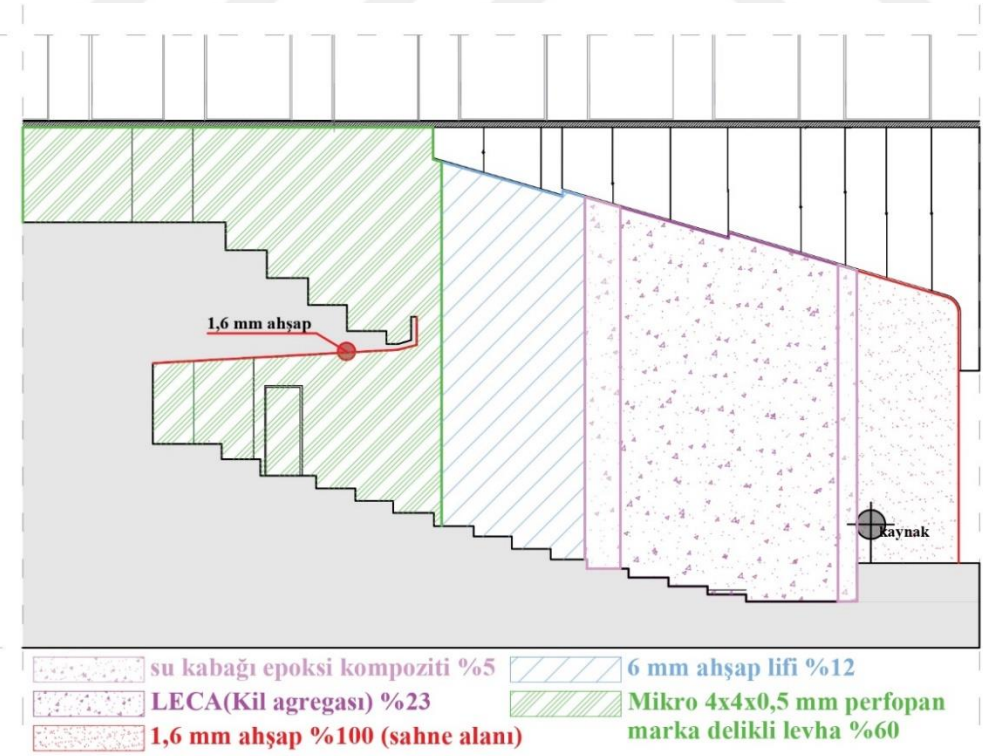
4.2.1.2 Tasarım Denemesi 2

Yapılan ikinci tasarım denemesinde de RT değerleri için optimum aralıklar sağlanmışken; EDT, C₅₀, ve D₅₀ parametrelerine ait değerlerin bazı frekanslarda optimum aralıkların dışında kaldığı, bazılarında da kabul edilebilir sınırdı oldukları söylenebilmektedir. EDT parametresi ilk yansımalar ile ilişkilidir. Bu nedenle Tasarım 2 denemesi ile yansıtıcı özellik gösteren yüzey gereçlerine, kaynağa yakın konumlarda yer verilmiş ve kaynağa yakın yan duvarlara dağıtıcılık özelliği göstermesi amaçlanarak levhalar konulmuştur. Böylece EDT parametresinin olumlu sonuçlarının gözlemine dair bir tasarım denemesi geliştirilmiştir.

İkinci tasarım denemesinde tavanın %60'lık bölümü ahşap delikli levha ile %13'lük bölümü 6 mm ahşap lifi ile %27'lik bir bölümü de hurma ağacı lifleriyle üretilen levhalar ile kaplanmıştır. (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Deneme 2 için tavanda malzeme kullanımları



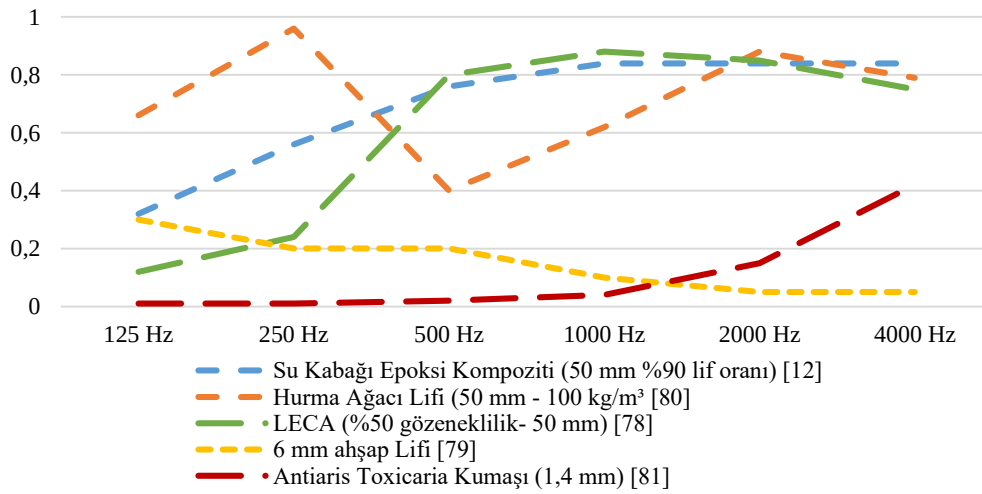
Şekil 4.24 Deneme 2 için duvarda malzeme kullanımları

Duvarın %5'lik bir bölümü su kabağı liflerinden üretilmiş epoksi kompozitler ile kaplanırken, %23'lük kısmı genişletilmiş kil agregalarıyla üretilmiş levhalar ve %12'lik bölümü 6 mm ahşap lifinden imal edilmiş levhalar ile kaplanmıştır. %60'lık duvar arkası bölümü yine tavanda kullanılan aynı özellikteki delikli levhalar ile kaplanmıştır (Şekil 4.24). Tüm bu kullanımlara ek olarak salon koltukları *Antiaris Toxicaria* isimli botanik ağacından üretilen ses yutucu kumaşlar ile kaplanmıştır. Aynı zamanda yapılan çalışmalarda salonun 2/3'lük bölümünün dolu olduğu varsayılarak çalışmalar yürütülmüştür.

Tablo 4.6 Deneme 2 için tercih edilen yüzey gereçleri ve kullanım yerleri

Yüzey Gereci	Kullanım Yeri
Antiaris toxicaria kumaşı [81]	Koltuk
Mikro 4x4x0,5 mm delikli levha [77]	Duvar/Tavan
6 mm ahşap lifi [79]	Duvar/Tavan
Hurma ağacı lifi [80]	Tavan
Leca [78]	Duvar
Su kabağı epoksi kompoziti [12]	Duvar
1,6 mm ahşap [79]	Duvar
Halı [79]	Döşeme
Parke [79]	Sahne

- Su Kabağı Epoksi Kompoziti, Hurma Ağacı Lifi Kumaş Paneli, LECA (Hafif Genişletilmiş Kil Agregası), Ahşap Lifi ve Antiaris Toxicaria Kumaşı

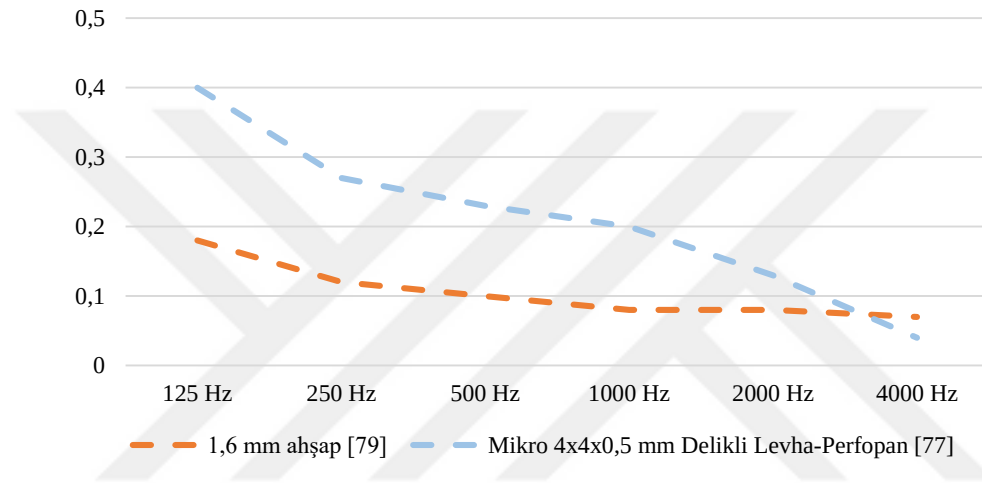


Şekil 4.25 Deneme 2 için sürdürülebilir yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları

Deneme 2 sırasında yüzey gereci olarak çok sayıda sürdürülebilir malzeme kullanılmıştır. Bunlardan biri olan su kabağı epoksi 50 mm kalınlıkta ve %90 lif oranına sahiptir. Hurma ağacı lifleri için ise kalınlık yine 50 mm ve yoğunluk 100 kg/m³ şeklindedir. LECA için ürün özellikleri %50 gözeneklilik oranı ve 50 mm kalınlık şeklindedir (Şekil 4.25).

- 1,6 mm Ahşap ve Mikro 4x4x0,5mm kodlu Delikli Levha

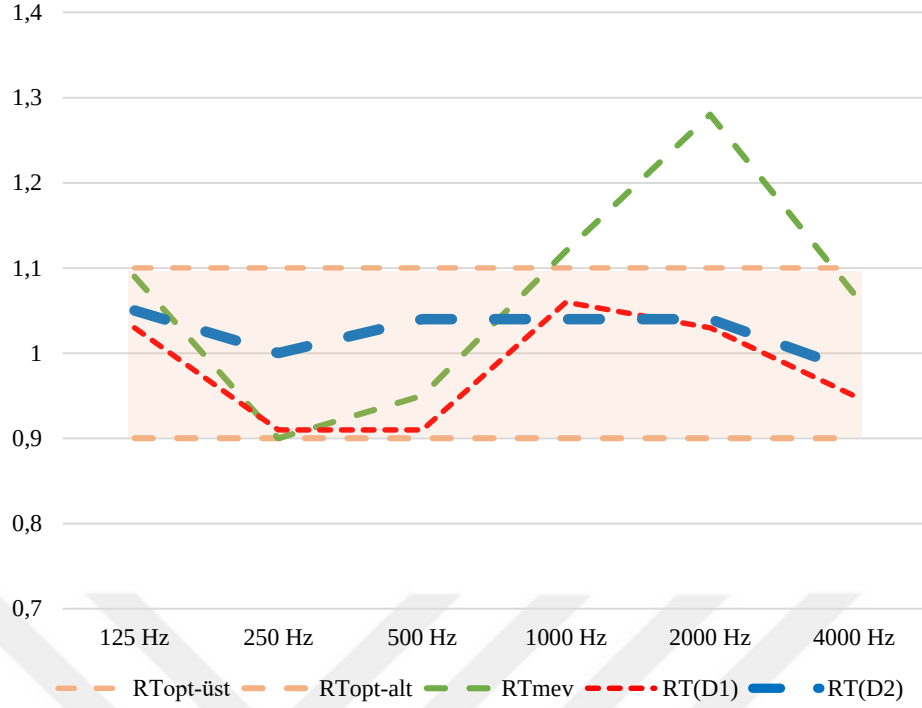
Deneme 2 kapsamında tercih edilen malzemeler 1,6 mm ahşap ve delikli paneller şeklindedir. Bu levhalara dair ses yutma katsayıları Şekil 4.26’da görülmektedir.



Şekil 4.26 Deneme 2 için endüstri üretimi yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları

- **Belirli Alıcı Noktalarında Simülasyon Yardımıyla Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Şekil 4.27’de Deneme 2 kapsamında kullanılan yüzey gereçleriyle elde edilen yansım süresi değerleri görülmektedir. Deneme 2 için elde edilen yansım süresi değerleri ilk deneme sonuçları ile karşılaştırıldığında, Deneme 2’deki frekansa bağlı sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda olası distorsiyon bozukluklarının oluşma ihtimalinin giderek azaldığı söylenebilmektedir. Konuşma işlevli hacimler için gerekli olan düzgün yanıt eğrisi koşuluna yaklaşıldığı söylenebilmektedir. Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de diğer hacim akustiği parametrelerine dair verilere yer verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde C₅₀, C₈₀, D₅₀ ve STI parametrelerinin optimum aralıklar arasında kaldığı görülmüştür.



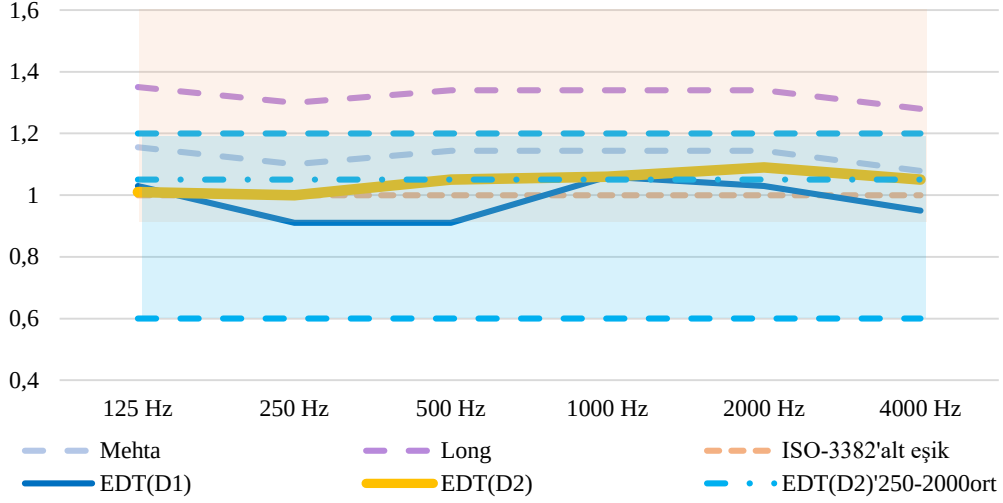
Şekil 4.27 Deneme 2 için hacmin yansıma süresi

Tablo 4.7 Deneme 2 için hacim akustiği parametreleri sonuçları

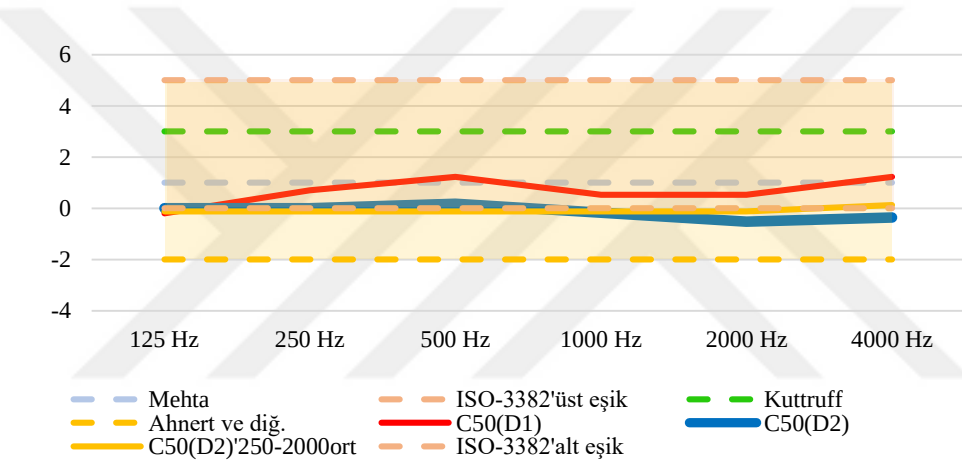
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RT (s)	1,05	1,00	1,04	1,04	1,04	0,98
EDT (s)	1,01	1,00	1,05	1,06	1,09	1,05
C₅₀ (dB)	0,0	0,0	0,2	-0,2	-0,5	-0,35
C₈₀ (dB)	3,2	3,0	3,0	2,7	2,4	2,6
D₅₀	0,50	0,50	0,51	0,49	0,47	0,48
STI	0,47					

Tablo 4.8 Deneme 2 için hacim akustiği parametrelerinin 250-2000 Hz ortalama sonuçları

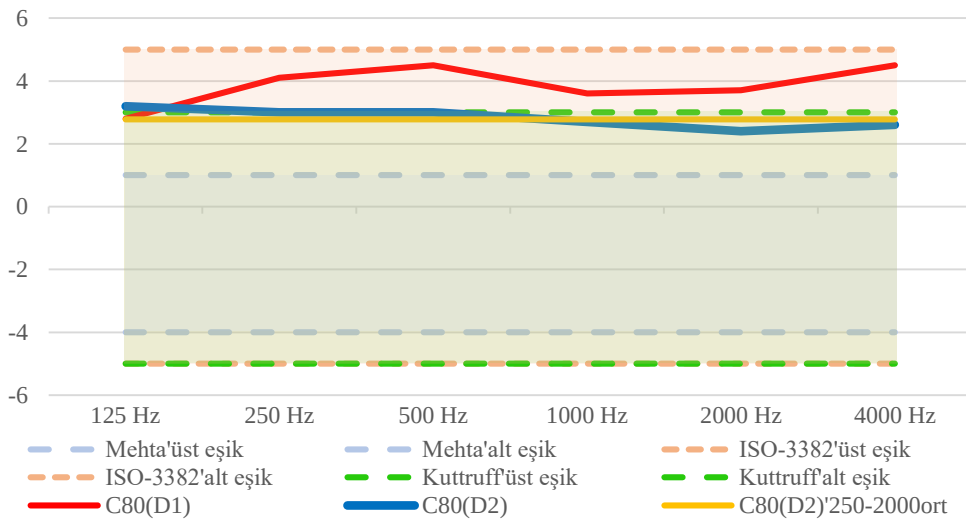
	250-2000 Hz Ortalama
RT (s)	1,03
EDT (s)	1,05
C₅₀ (dB)	0,02
C₈₀ (dB)	2,78
D₅₀	0,49
STI	0,47



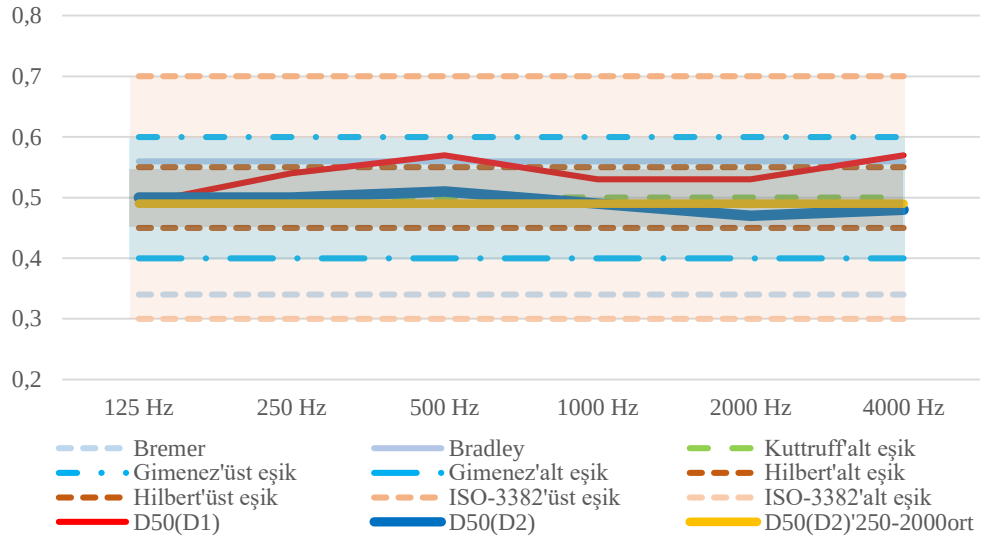
Şekil 4.28 Deneme 2 için EDT değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması



Şekil 4.29 Deneme 2 için C₅₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

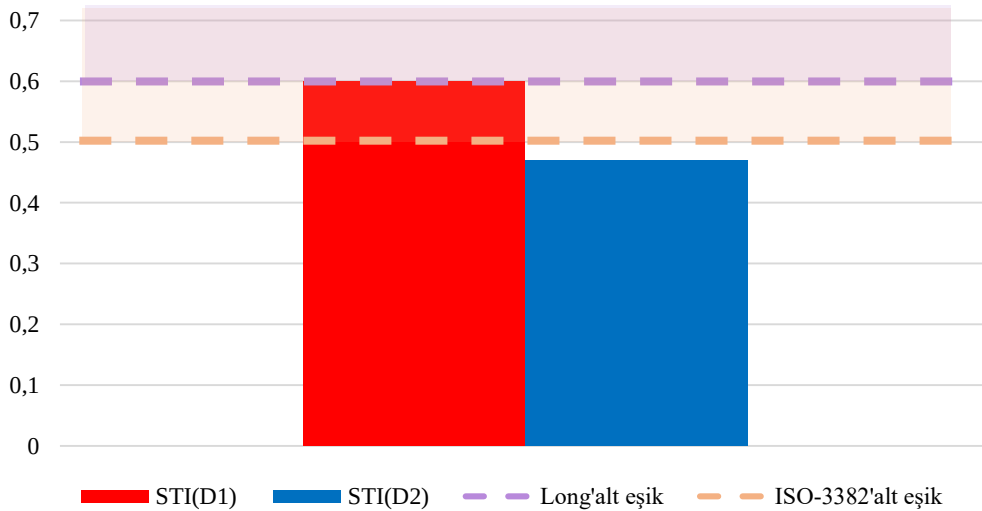


Şekil 4.30 Deneme 2 için C₈₀ değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması



Şekil 4.31 Deneme 2 için D_{50} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

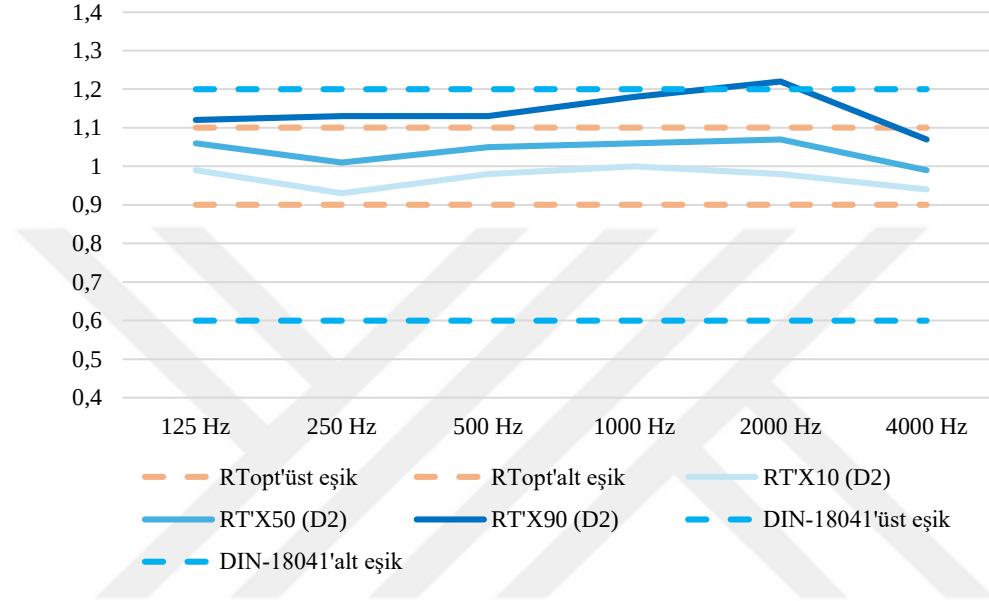
Deneme 2’de elde edilen hacim akustiği parametreleri sonuçları değerlendirildiğinde EDT, C_{50} , C_{80} ve D_{50} parametrelerinin önerilen sınır aralıkları içerisinde kaldıkları görülmektedir. C_{50} parametresinin 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz frekanslardaki değerleri negatiftir. C_{50} parametresinin konuşma amaçlı hacimlerde -2 dB’den daha büyük olması gerektiği ve pozitif değerlerde olmasının tercih edildiği bilinmektedir. Deneme 2 aracılığıyla elde edilen değerlerin literatürde önerilen sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir. Bu parametrelerin yanında hacmin STI açısından olumlu sonuç vermediği görülebilmektedir.



Şekil 4.32 Deneme 2 için STI değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

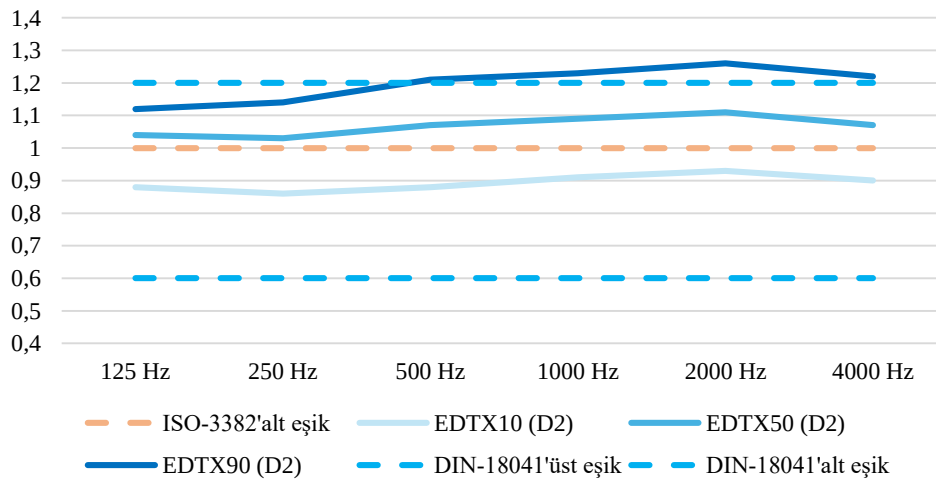
- **Tüm Dinleyici Alanında Simülasyon Yardımıyla Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Deneme 2’de tüm dinleyici alanında elde edilen sonuçlar Şekil 4.33 ve devamında yer almaktadır. RT değerlerine göre alanın %10’u ve %50 sinde değerler optimum aralıklar arasında kalıyorken, alanın %90’ında çoğu frekans için değerler optimum aralığın üzerinde olmaktadır.

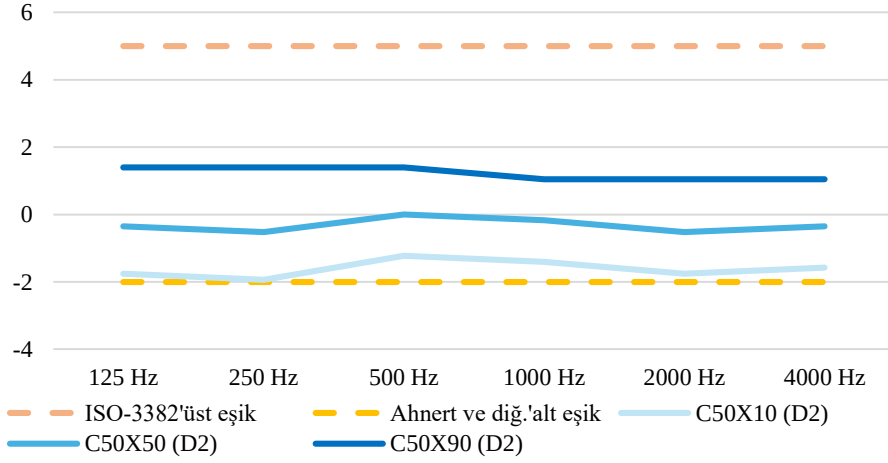


Şekil 4.33 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı RT değerleri

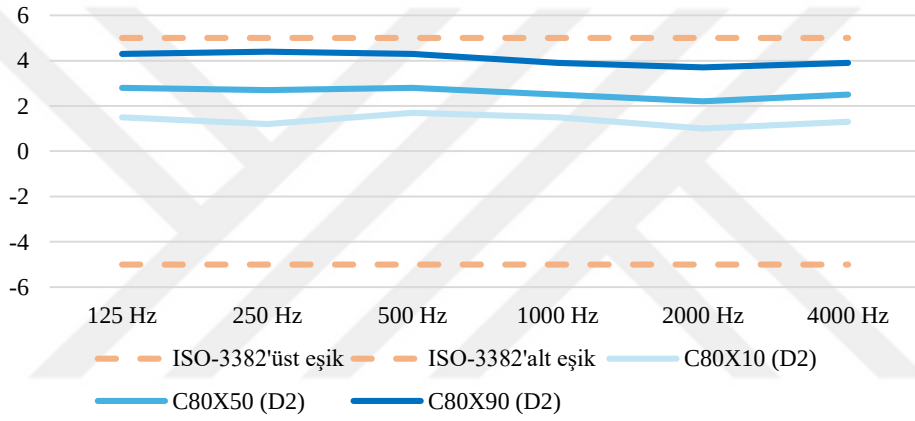
Şekil 4.34’te EDT değerleri incelendiğinde alanın yalnızca %10’unda istenen değerleri sağlayamadığı görülmektedir.



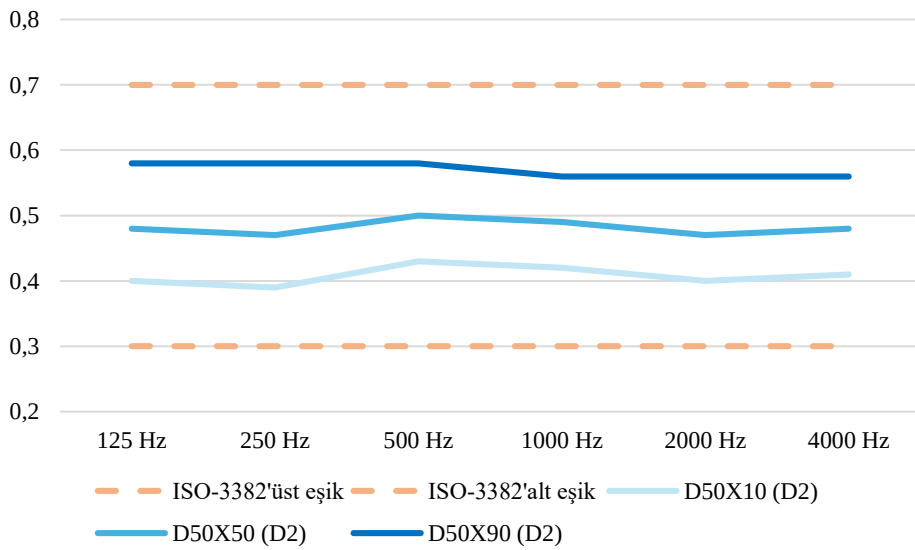
Şekil 4.34 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı EDT değerleri



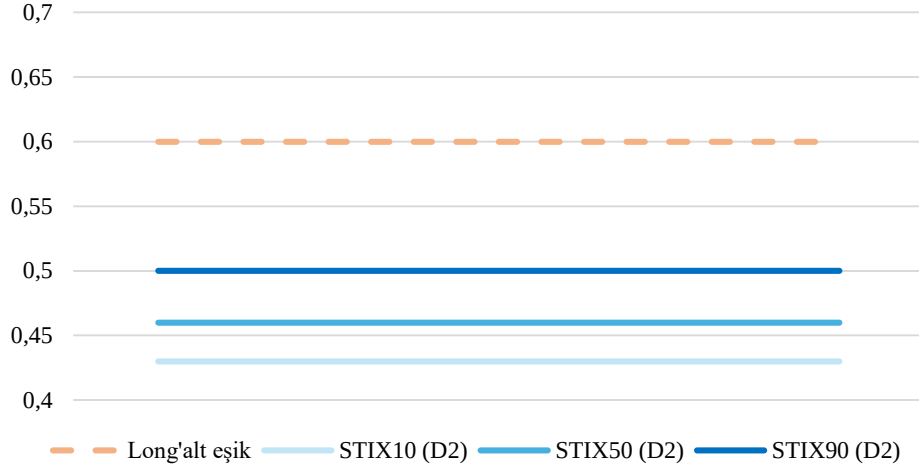
Şekil 4.35 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{50} değerleri



Şekil 4.36 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{80} değerleri



Şekil 4.37 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı D_{50} değerleri



Şekil 4.38 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı STI değerleri

Şekil 4.34 ve beraberindekiler incelendiğinde C_{50} ve C_{80} parametresi açısından alanın %10'u, %50'si ve %90'ında tüm frekanslar için optimum aralıklar içerisinde kalmaktadır. D_{50} parametresi için de benzer biçimde tüm dinleyici alanlarında optimum aralıklar içerisinde kaldığı görülmektedir. STI parametresi açısından ise olumsuz sonuçlar vermektedir.

Deneme 2 kapsamında yapılan çalışmalarda bazı parametreler için olumlu sonuçlar elde edilirken, bazı parametreler için istenilen değer aralıklarında sonuçlar elde edilememiştir. D_{50} ve STI gibi konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli sayılan parametreler için salon akustiği yetersiz gelmektedir.

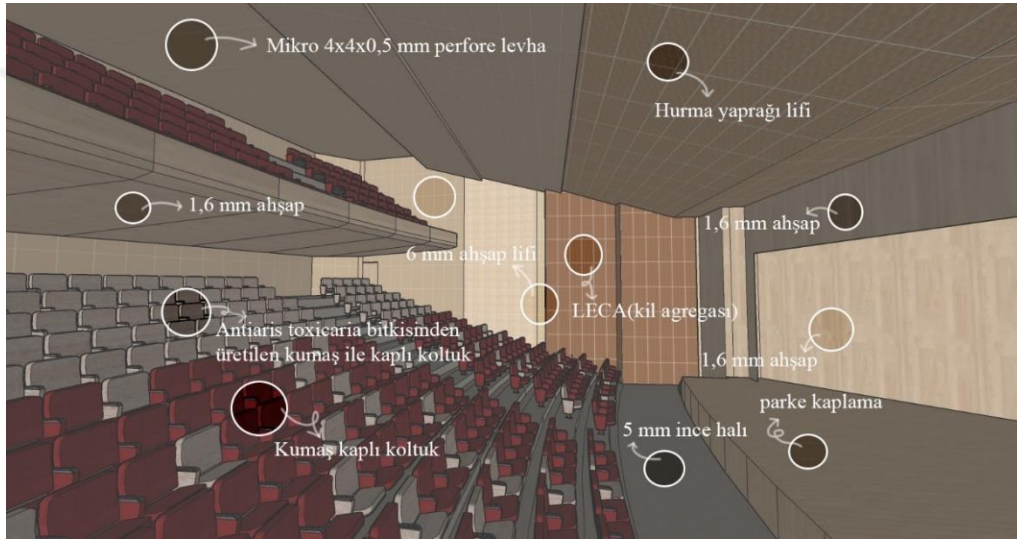
Tablo 4.9 Deneme 2 için hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerleri	Sübjektif Ayırım Aralığı	Deneme 2 için Analiz Sonuçları		Değerlendirme
RT	0,9 - 1,10 sn [39]	%5	1,03		UYGUN
EDT	0,6 - 1,2 sn [89]	%5	1,05		UYGUN
C_{50}	> -2 dB [88]	0,5 dB	-0,02 dB		UYGUN
C_{80}	-5 dB; +5 dB [67]	0,5 dB	2,78 dB		UYGUN
D_{50}	> 0,50 [66] (tüm frekanslarda)	%5	125 Hz	0,5	UYGUN
			250 Hz	0,5	UYGUN
			500 Hz	0,51	UYGUN
			1000 Hz	0,49	UYGUN DEĞİL
			2000 Hz	0,47	UYGUN DEĞİL
			4000 Hz	0,48	UYGUN DEĞİL
STI	$\geq 0,60$ [40]	-	0,47		UYGUN DEĞİL

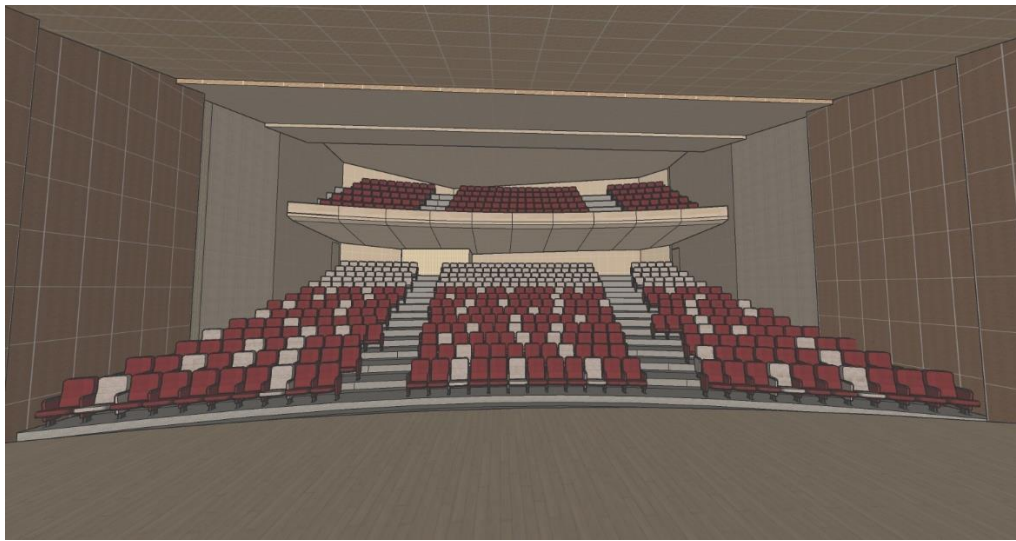
Bunun en büyük nedeni salonun yansışım sürelerinde frekanslar arası ayrımların fazla oluşu, yüksek yasışım süresi değerlerinin elde edilmesi şeklinde söylenebilmektedir. Dolayısıyla Deneme 3'te salon için kabul edilebilir en düşük yansışım süresi değeri sağlanmaya çalışılmış ve frekanslar arası ayrımların azaltılması amaçlanmıştır.

- **Katı Model Yardımıyla Yüzey Gereçlerinin Tasviri**

Şekil 4.39 ve devamındaki şekillerde Deneme 2 kapsamında önerilen malzemelerin 3D modelleme yöntemi ile tasvirlerine yer verilmiştir. Kullanılan malzemeler olası sonuçları ile betimlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.39 Tasarım Denemesi 2 için malzemelerin salondaki tasviri



Şekil 4.40 Tasarım Denemesi 2 için 3D model

- **Yüzey Gereçlerinin Malzeme Seçim Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi**

Deneme 2’de ele alınan malzemeler için malzeme seçimi parametreleri açısından yapılan değerlendirmeler Tablo 4.10’da görülmektedir. Tasarım Denemesi 2’de su kabağı epoksi kompozitlerinin farklı yoğunluklardaki oranı duvarın %5’lik bir kısmında kullanılmıştır.

Tablo 4.10’da yer alan sonuçlar incelendiğinde sürdürülebilir yüzey gereçlerinin maliyet açısından daha olumlu sonuçlar verdikleri, erişilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından endüstri ürünü malzemelere göre kabul edilebilir biçimde oldukları, yangın direnci ve mukavemet konularında ise kimi zaman olumsuz sonuçlar verdikleri görülmektedir.

Tablo 4.10 Yüzey gereçlerinin karşılaştırılması

Malzeme	Seçim Parametreleri					
	Sürdürülebilir	Mukavemet Derecesi	Yangın Direnci ⁴	Erişilebilir	Kullanılabilir	Maliyet ¹
Antiaris Toxicaria bitkisinden üretilmiş kumaş	Evet	Düşük	Düşük	Düşük	Evet	-
Microx4x4x0,5 mm kodlu ahşap delikli panel	Kısmen	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Evet	4531,25 TL/m ²² [77]
6 mm ahşap lifi	Evet	Düşük	Düşük	Yüksek	Evet	-
Hurma ağacı lifi	Evet	Düşük	Düşük	Düşük	Evet	-
Su kabağı epoksi kompoziti	Evet	Düşük	Düşük	Yüksek	Kısmen	165 TL/adet ³ [85]
1,6 mm ahşap	Kısmen	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Evet	2100 TL/m ² [90]

¹ 2024 yılı verilerinden elde edilmiştir.

² 22 Kasım 2024 tarihli panel fiyatı 125 Euro/m² şeklindedir. (1 Euro ≈ 36,25 TL*17 Kasım 2024 tarihli kur alınmıştır.)

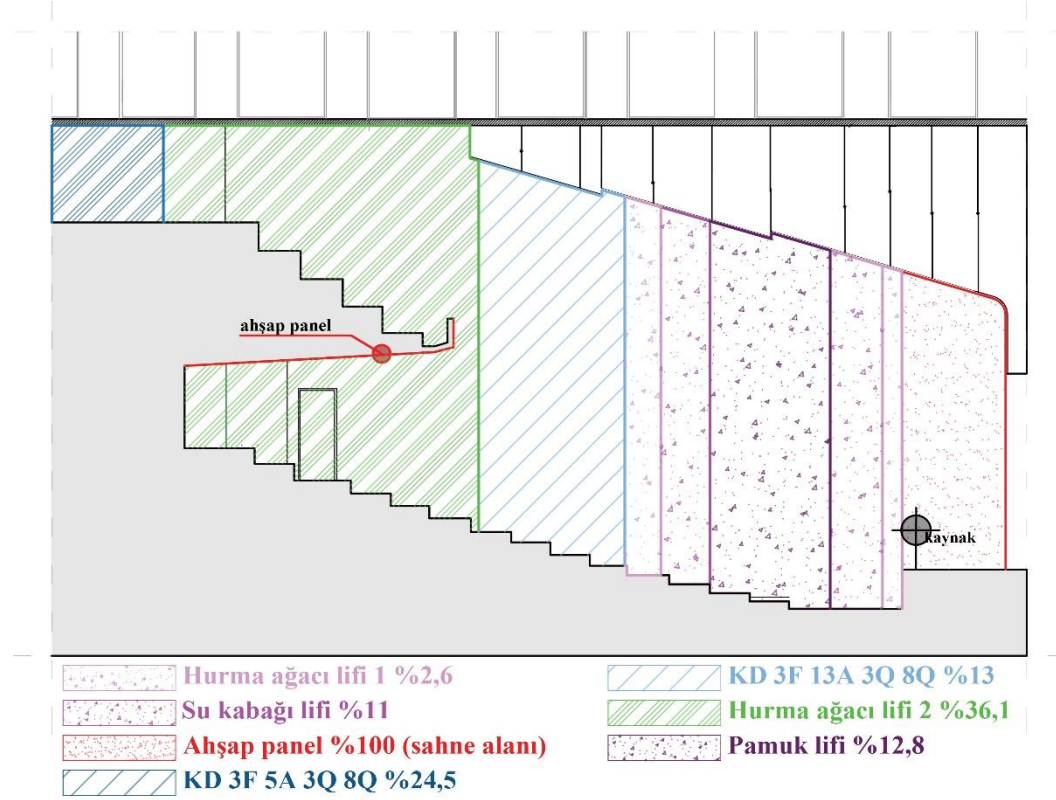
³ Kabak lifi adet fiyatıdır. Epoksi kompozit üretimi maliyeti dahil değildir.

⁴ Malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Kesin sonuçlar için yangın direnci kapsamında daha detaylı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

4.2.1.3 Tasarım Denemesi 3

Üçüncü tasarım denemesinde duvarın %36,1’lik bölümünde hurma ağacı liflerinden üretilmiş levhalar kullanılmıştır. Kullanılan bu levhalar 100 kg/m³ yoğunluğa ve 50 mm kalınlığa sahiptir. Yine aynı yoğunlukta fakat kalınlığı 30 mm olan hurma ağacı liflerinden üretilen ikinci levhalar duvarın %2,6’lık bölümünde

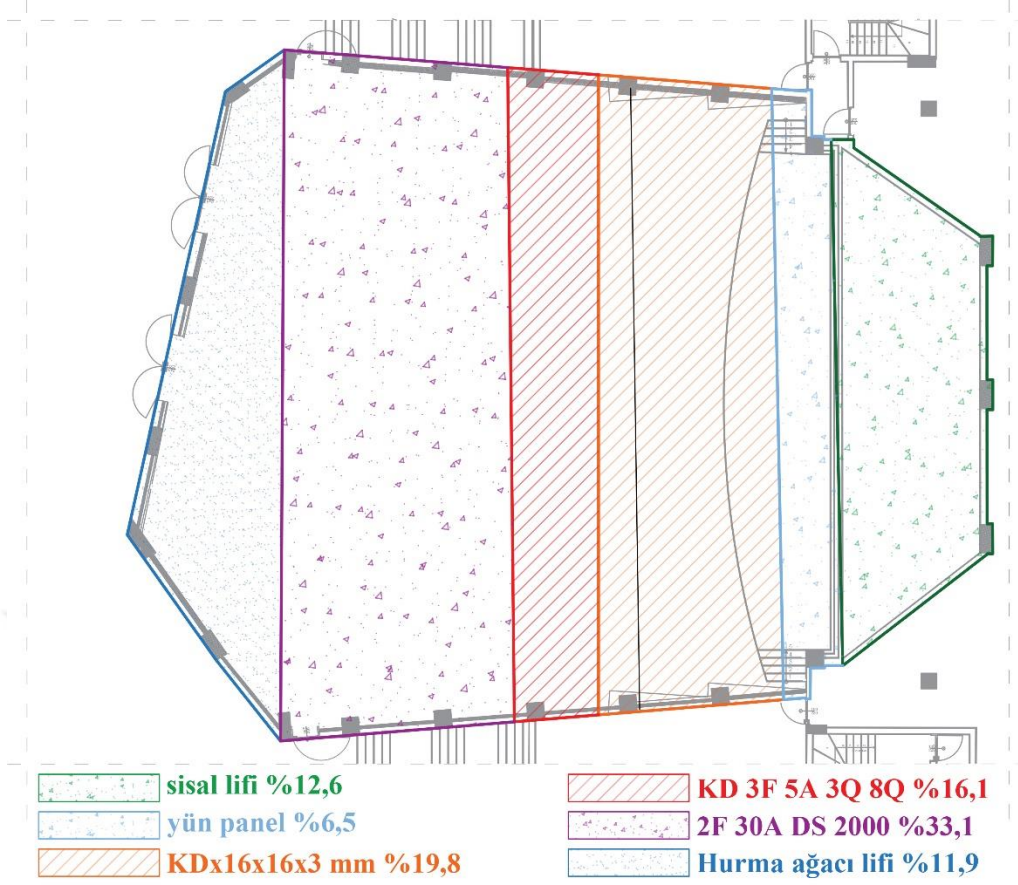
yer almıştır. Duvarın %11’lik bölümlerinde su kabağı epoksi kompozitlerinin %70 yoğunlukta ve 50 mm kalınlıktaki ürünü uygulanmıştır. 35 mm kalınlığında polyester katkılı pamuk lifi kompoziti ise duvarın %12,8’lik bir bölümünde uygulanmıştır. Duvarın geriye kalan bölümünde KD 3F 13A 3Q 8Q ve KD 3F 5A 3Q 8Q kodlu delikli levhalar kullanılmıştır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 Deneme 3 için duvarda malzeme kullanımları

Tavanın %12,6’lık bir bölümü sisal liflerinden üretilmiş levhalar ile kaplanırken, %6,5’luk kısmı geri dönüştürülmüş atıklardan üretilmiş yün levhalar ile kaplanmıştır. Tavanın %11,9’luk bölümünde ise duvarda uygulanan 100 kg/m³ yoğunluğa ve 50 mm kalınlığa sahip hurma ağacı lifinden yapılmış levhalar kullanılmıştır. Geriye kalan yüzeyler ahşap delikli levhalar ile kaplanmıştır (Şekil 4.42).

Duvar ve tavan malzemelerine ek olarak balkon zemin kaplaması için geri dönüştürülmüş atıklardan üretilmiş 5 mm kalınlığında halı kullanılmıştır. Kullanılan bu halı alanın %34’üne denk gelmektedir. Alanın geri kalan %66’lık kısmı beton üzeri 8 mm ince halı ile kaplanmıştır. Sahne alanı ise %100 ahşap parke kaplıdır.



Şekil 4.42 Deneme 3 için tavanda malzeme kullanımları

Yapılan çalışmalarda kullanılan yüzey gereçleri ve kullanım yerleri Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 Deneme 3 için tercih edilen yüzey gereçleri ve kullanım yerleri

Yüzey Gereci	Kullanım Yeri
Kumaş [15]	Koltuk
Hurma ağacı lifi [80]	Duvar/Tavan
Su kabağı epoksi kompoziti [12]	Duvar
Ahşap panel [79]	Duvar
KD 3F 5A 3Q 8Q delikli levha [77]	Duvar/Tavan
KD 3F 13A 3Q 8Q delikli levha [77]	Duvar
Pamuk lifi [9]	Duvar
5 mm halı [92]	Döşeme
Halı [15]	Döşeme
Parke [79]	Sahne
Atık malzemeden yün panel [92]	Tavan
KDx16x16x3 mm delikli levha [77]	Tavan
Sisal lifi [91]	Tavan
2F 30A DS 2000 delikli levha [77]	Tavan

▪ Hurma Ağacı Lifi

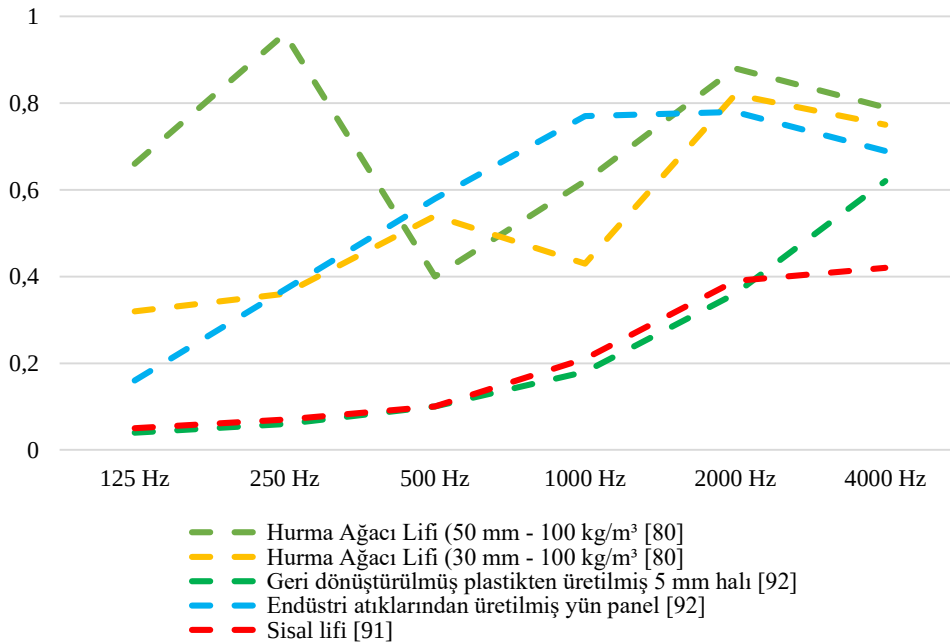
Deneme 3 kapsamında hurma ağacı liflerinin iki farklı kalınlıkta, aynı lif yoğunluğuna sahip levhaları tavan ve duvar yüzeylerinde kullanılmıştır. Kullanılan hurma ağacı lifi panelleri 100 kg/m^3 yoğunluğa sahipken, 30 ve 50 mm olmak üzere iki farklı kalınlıktadır [80]. 50 mm kalınlığındaki levhalar duvarın %36,1'lik bir alanını kaplarken, 30 mm kalınlığındaki levhalar %2,6'lık bir kısmında yer almaktadır.

▪ Su Kabağı Epoksi Kompoziti

Deneme 3 için yüzey gereci olarak kalınlığı 50 mm olan %70 lif oranına sahip ürün kullanılmıştır. Bu levha duvarın %11'lik bir bölümünde uygulanmıştır.

▪ Pamuk Lifi

Pamuk yerel bir malzeme ve doğal bir ses yutucudur. Küçük ve Korkmaz 2012'de yaptıkları çalışmalarında pamuk ve polyester karışımı ile ürettikleri levhaların ses yutuculuk performanslarını incelemişlerdir. Deneme 3'te ise pamuk lifi levhaları duvarın yaklaşık %13'lük bir bölümünde uygulanmış ve salonda akustik konforun sağlanması amaçlanmıştır. Şekil 4.43'teki grafikte levhanın frekansa bağlı ses yutma katsayıları yer almaktadır.



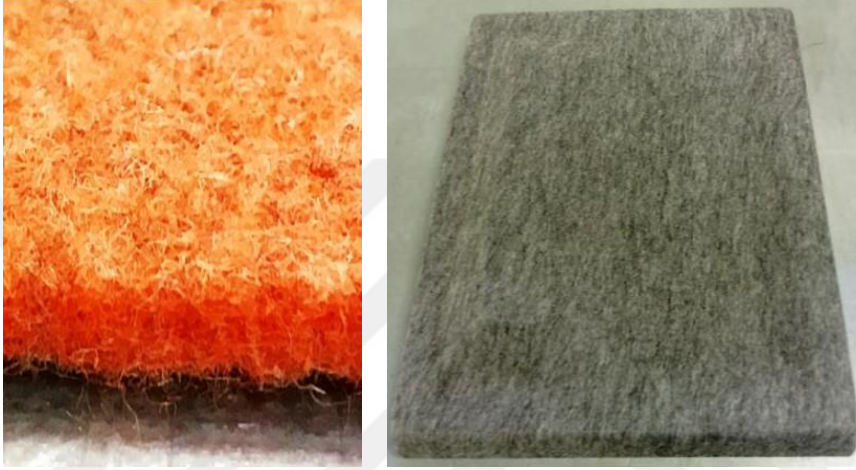
Şekil 4.43 Deneme 3 için sürdürülebilir yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları

- Geri Dönüştürülmüş Plastikten Üretilmiş 5 mm Halı

5 mm kalınlığında, geri dönüştürülmüş plastikten üretilen halılar salonun balkon döşeme kaplaması olarak kullanılmıştır (Şekil 4.44). Salon döşeme yüzeylerinin %34'ü bu ürün ile kaplanmıştır.

- Yün Endüstrisi Atıklarından Yapılmış Yün Panel

Tavanın %6,5'lik bölümünde kullanılan yün panelleri 5 mm kalınlığa sahip ve düşük yoğunluktadır. Şekil 4.44'te elde edilen yün panelin görseli bulunmaktadır.



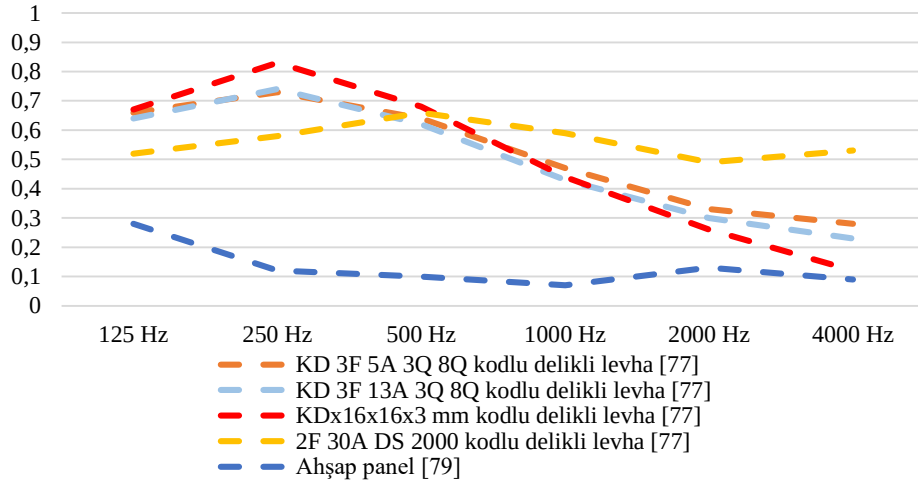
Şekil 4.44 Geri dönüştürülmüş plastikten üretilen 5 mm halı (solda) ve endüstriyel atıklardan üretilmiş 5 mm yün panel (sağda) [92]

- Sisal Lifi

Sisal lifinden üretilmiş paneller tavanın %12,6'lık bölümünde kullanılmıştır. 125, 250 ve 500 Hz frekanslarda 0,10'dan daha düşük yutuculuk değerlerine sahiptir. 1000, 2000 ve 4000 Hz için ise 0,21-0,42 arasında yutuculuk değerlerine sahiptir (Şekil 4.43).

- Ahşap Delikli Levhalar

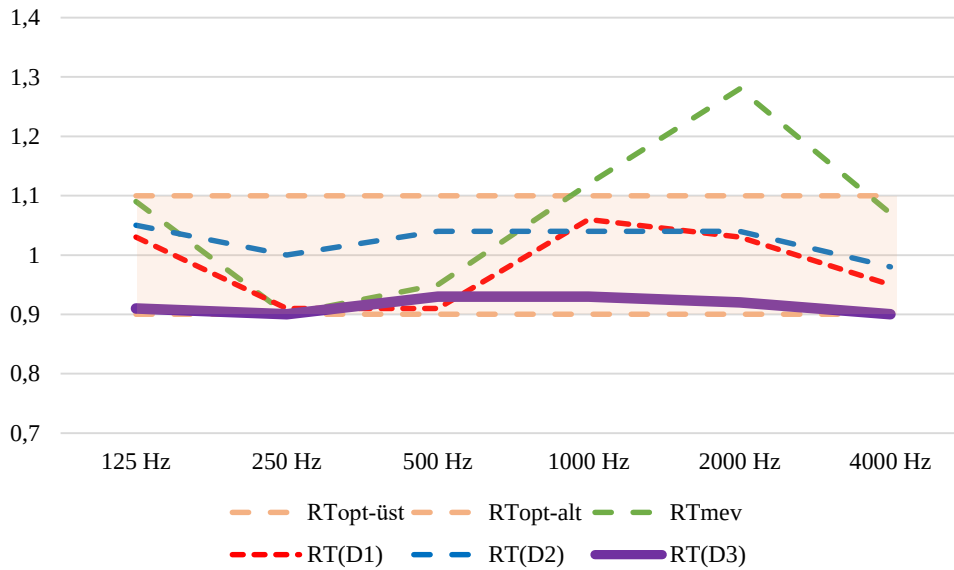
Deneme 3 için salonun duvar ve tavan yüzeylerinde farklı yutuculuk oranlarına sahip çeşitli akustik paneller kullanılmıştır. Kullanılan bu paneller, yüksek frekanslarda yüksek yutuculuk değerlerine sahip gözenekli gereçlerin aksine düşük frekanslarda yüksek yutuculuk değerlerine sahiptir. Bu sayede hacimde düzgün yanıt eğrisinin oluşturulması amaçlanmıştır. Kullanılan panellere dair yutuculuk değerleri Şekil 4.45'te yer almaktadır.



Şekil 4.45 Deneme 3 için endüstri üretimi yüzey gereçlerinin ses yutma katsayıları

- **Belirli Alıcı Noktalarında Simülasyon Yardımıyla Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Deneme 3'te kullanılan yüzey gereçleri ile elde edilen yansım süreleri Şekil 4.46'da verilmiştir. Yapılan çalışmalarda yansım süresi değeri en düşük optimum değere yakın tutulmaya ve frekanslar arası yansım süresi farkları azaltılmaya çalışılmıştır. Böylece daha önceki yüzey gereci denemelerinde olumsuz sonuç veren ve konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli birer parametre olan D_{50} ve STI parametreleri için olumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.46 Deneme 3 için hacmin yansım süresi

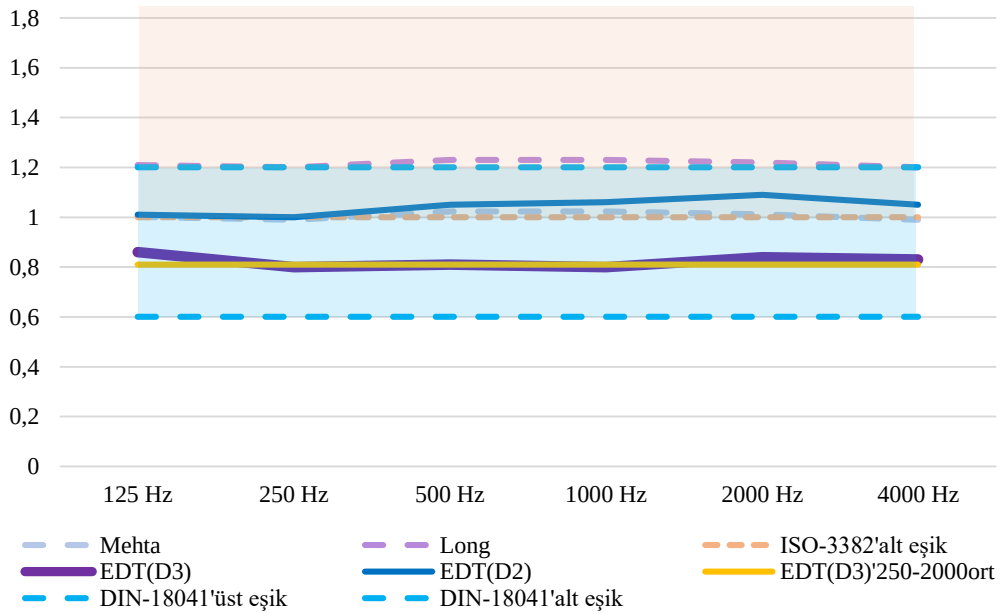
Simülasyon aracılığıyla yapılan çalışmalarda C_{50} , C_{80} , D_{50} ve STI parametrelerine dair veriler elde edilmiştir (Tablo 4.12 ve Tablo 4.13). Elde edilen veriler incelendiğinde C_{50} , C_{80} , D_{50} ve STI parametrelerinin kabul edilebilir sınırlar arasında kaldığı görülmüştür.

Tablo 4.12 Deneme 3 için hacim akustiği parametreleri sonuçları

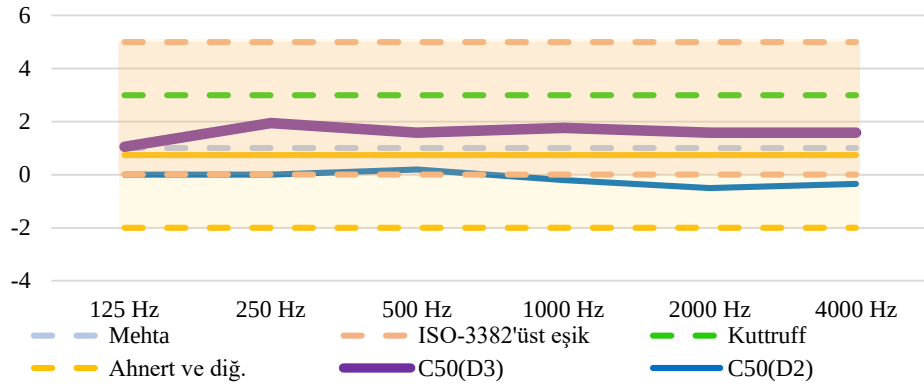
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RT (s)	0,91	0,90	0,93	0,93	0,92	0,90
EDT (s)	0,86	0,80	0,81	0,80	0,84	0,83
C_{50} (dB)	1,05	1,94	1,58	1,76	1,58	1,58
C_{80} (dB)	4,50	5,30	5,00	5,20	4,90	4,90
D_{50}	0,56	0,61	0,59	0,60	0,59	0,59
STI	0,62					

Tablo 4.13 Deneme 3 için hacim akustiği parametrelerinin 250-2000 Hz ortalama sonuçları

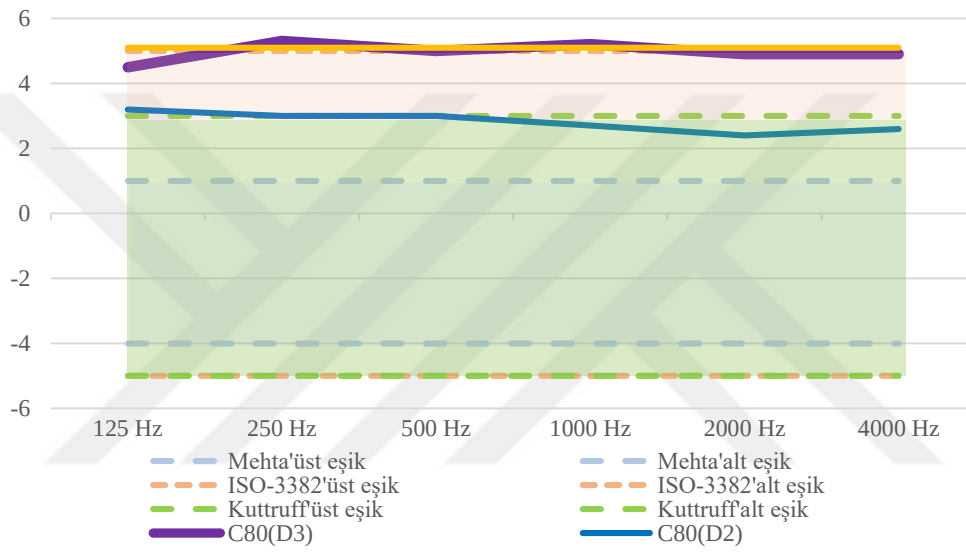
	Ortalama
RT (s)	0,92
EDT (s)	0,81
C_{50} (dB)	1,72
C_{80} (dB)	5,10
D_{50}	0,60
STI	0,62



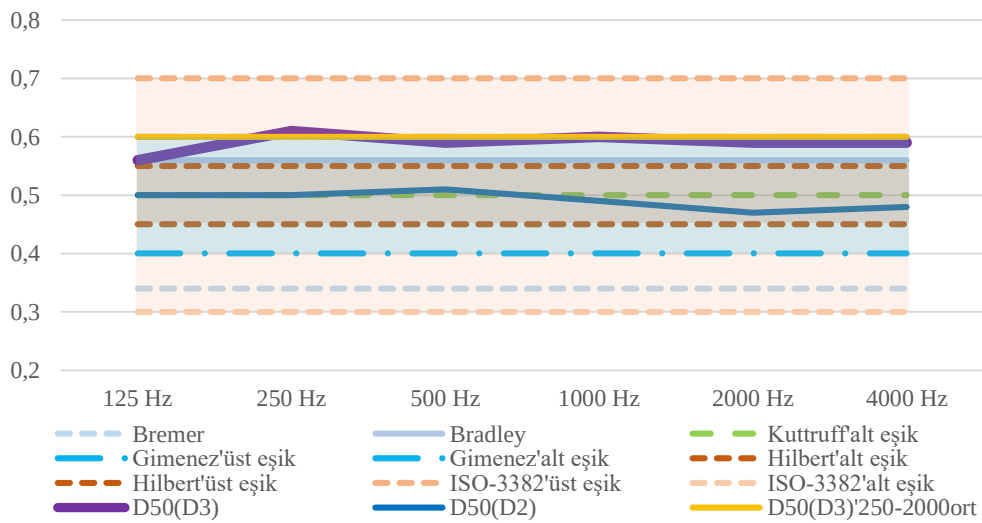
Şekil 4.47 Deneme 3 için EDT değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması



Şekil 4.48 Deneme 3 için C_{50} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

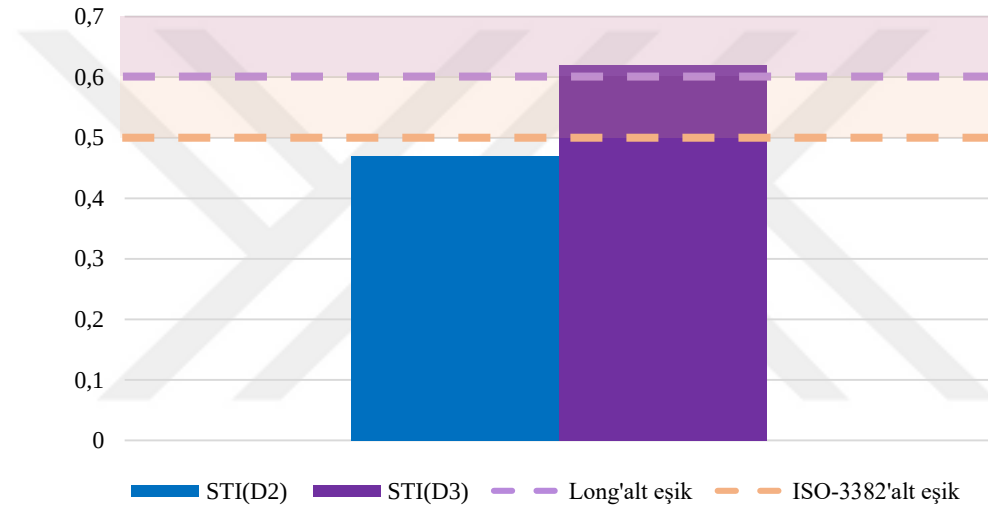


Şekil 4.49 Deneme 3 için C_{80} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması



Şekil 4.50 Deneme 3 için D_{50} değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

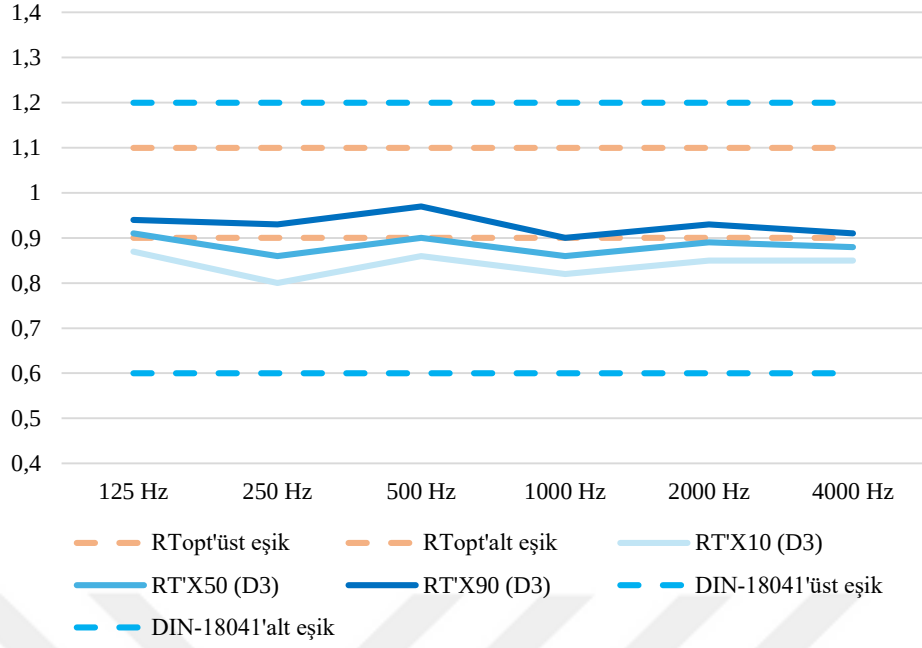
Deneme 3 için elde edilen hacim akustiği parametreleri sonuçları değerlendirildiğinde EDT, C_{50} , C_{80} ve D_{50} parametrelerinin önerilen sınır aralıkları içerisinde kaldığı görülmektedir. C_{50} parametresi tüm frekanslarda pozitif değerlerini almış, optimum aralıklar içerisinde kalmıştır. C_{80} parametresi 250 Hz ve 1000 Hz’de optimum aralıkların üstündedir fakat salon daha çok konuşma işlevinin gerçekleştirildiği bir hacim olduğundan ve bazı durumlarda küçük müzikal etkinliklere ev sahipliği yaptığından bu sınır kabul edilebilirdir. D_{50} ve STI parametreleri için ise tüm değerler kabul edilebilir sınırların üzerindedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında dört ayrı tasarım denemesinin en iyi sonucunun üçüncü deneme sonunda elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.51 Deneme 3 için STI değerlerinin sınır değerler ile karşılaştırılması

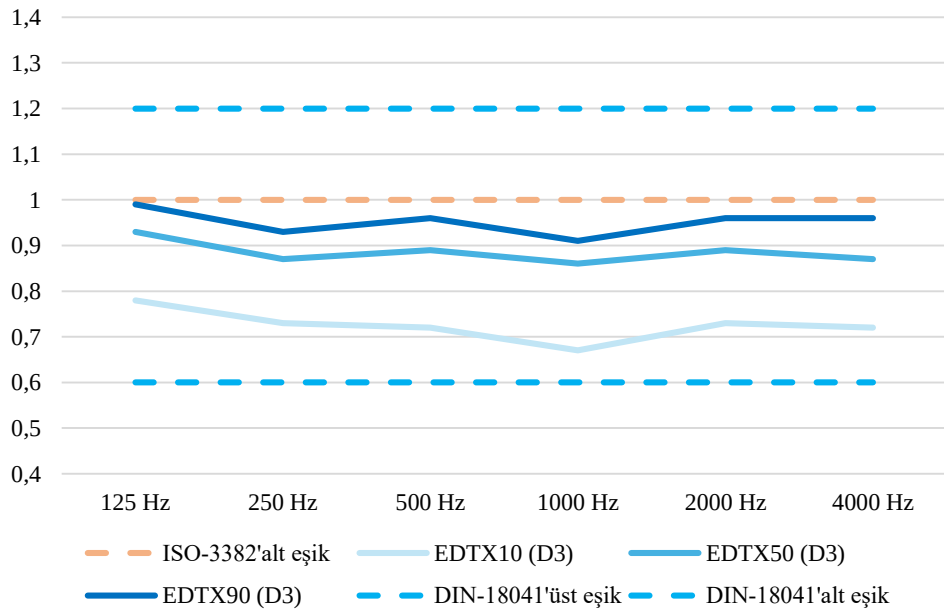
- Tüm Dinleyici Alanında Simülasyon Aracıyla Hacim Akustiği Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılım yöntemi ile tüm frekanslar için alanın %10'u, %50'si ve %90'ına bağlı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 4.52 ve devamında elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Yansıma süresi için yapılan değerlendirmelerde alanın %10'u ve %50'sinde önerilen sınır değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. Ancak, yansıma süresinin düşük değerleri yüksek STI değerleri sağladığından RT değerleri salon için uygun olarak değerlendirilmektedir (Şekil 4.52).

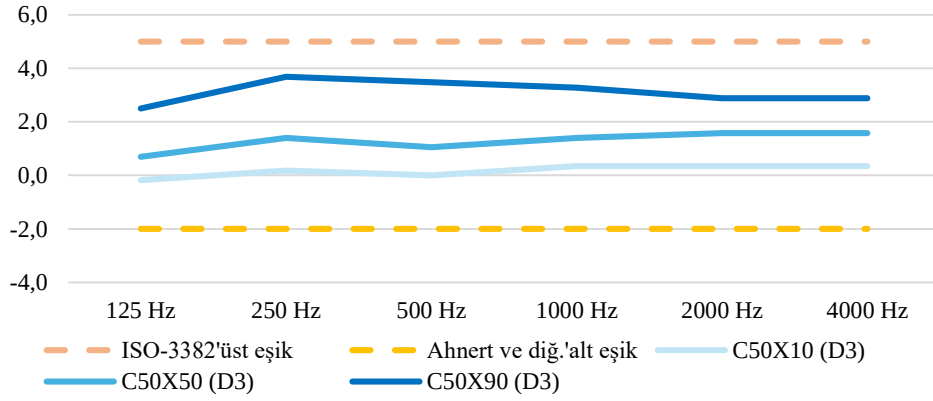


Şekil 4.52 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı RT değerleri

Şekil 4.53'te ise EDT'nin dinleyici alanının %10'u ila %90'ı arasında değişen istatistiksel verilerine yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ISO-3382'e göre alanın %10'u, %50'si ve %90'ında yapılan tüm değerlendirmelerde sınır değerlerin altında kaldığı görülmüştür. DIN-18041'e göre önerilen sınır değer aralıkları içerisinde kalmaktadır.



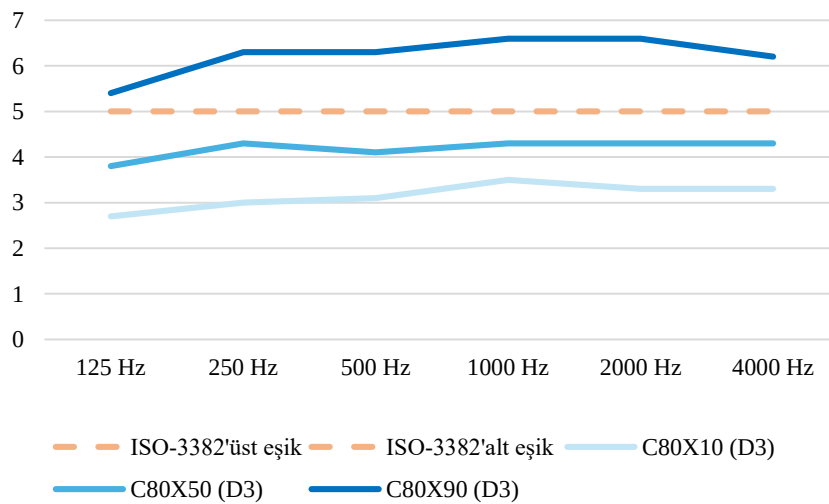
Şekil 4.53 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı EDT değerleri



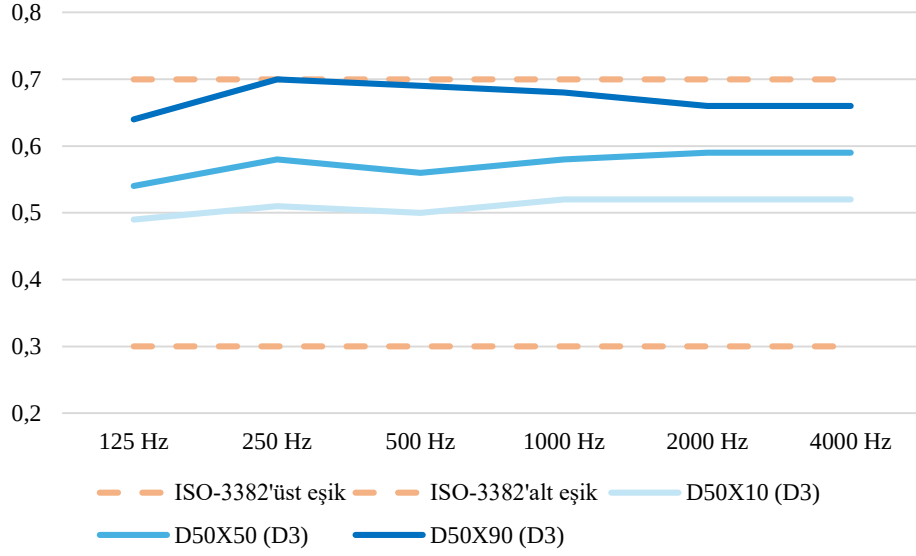
Şekil 4.54 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{50} değerleri

Şekil 4.54'teki veriler incelendiğinde C_{50} parametresinin dinleyici alanının %10'unda en az -0,2 dB değerinde olduğu görülmektedir. Tüm frekanslar için alanın %10'u, %50'si ve %90'ında elde edilen sonuçlar önerilen sınır değerler içerisinde.

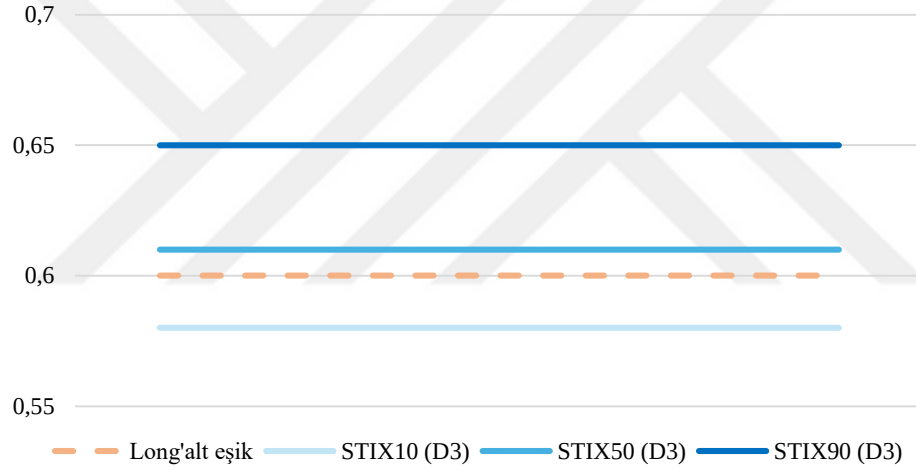
Şekil 4.55'teki veriler incelendiğinde C_{80} parametresinin dinleyici alanının %10'unda en az 2,7 dB değerinde olduğu görülmektedir. Alanın %90'ında ise en fazla 6,6 dB olduğu görülmektedir. Tasarımı ele alınan salon konuşma işlevi ağırlıklı olduğundan C_{80} parametresi için elde edilen sonuçlar kabul edilebilirdir. Çalışmanın bu aşamasında salon, küçük müzikal etkinliklere ev sahipliği yapıp yapamayacağı açısından değerlendirilmiş, C_{80} parametresi bu sebeple çalışma kapsamına alınmıştır.



Şekil 4.55 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı C_{80} değerleri



Şekil 4.56 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı D_{50} değerleri



Şekil 4.57 Tüm dinleyici alanında istatistiksel dağılıma bağlı STI değerleri

Şekil 4.56 incelendiğinde D_{50} değerlerinin tüm frekanslar için dinleyici alanının %10'u, %50'si ve %90'ında önerilen sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir. Yalnızca alanın %10'unda ve 125 Hz değerinde 0,49 değerine ulaşan D_{50} parametresi kabul edilebilirdir. STI parametresi alanın %90'ında en az 0,63 değerindeyken, alanın %50'sinde 0,59; %10'unda 0,56 şeklindedir (Şekil 4.57).

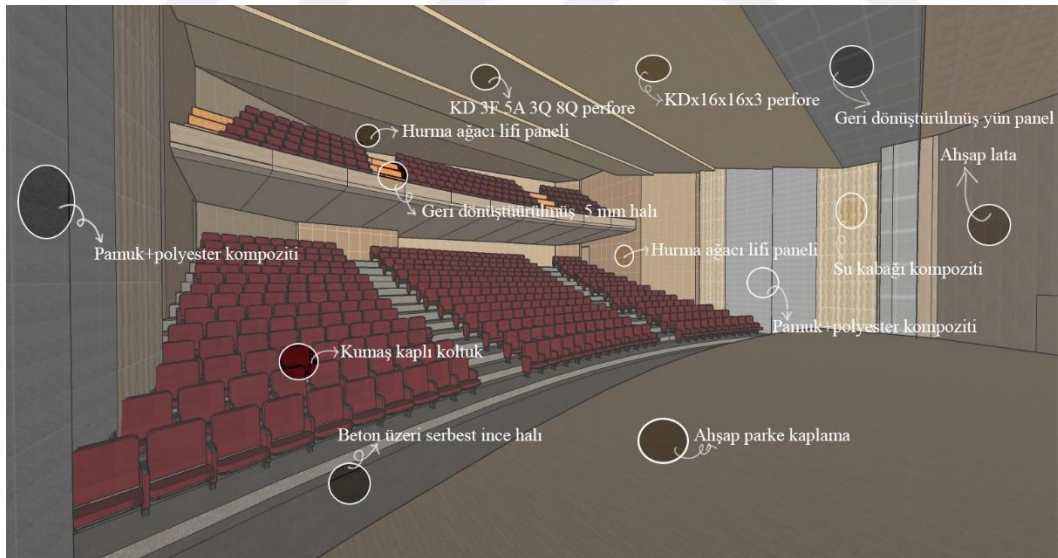
Tablo 4.14'te, Deneme 3 sonrasında hacim akustiği parametrelerine dair yapılan değerlendirmeler yer almaktadır. Sonuçlara bakıldığında tüm parametreler için kabul edilebilir değerlerin elde edildiği görülmektedir. Konuşma işlevli hacimlerde önem taşıyan D_{50} ve STI parametreleri Deneme 3 sonrasında olumlu sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.14 Deneme 3 için hacim akustiği parametrelerinin değerlendirilmesi

Hacim Akustiği Parametreleri	Optimum Değerleri	Sübjektif Ayırım Aralığı	Deneme 3 için Analiz Sonuçları		Değerlendirme
RT	0,9 - 1,10 sn [39]	%5	0,92		UYGUN
EDT	0,6 - 1,2 sn [89]	%5	0,82		UYGUN
C₅₀	> -2 dB [88]	0,5 dB	1,58 dB		UYGUN
C₈₀	-5 dB; +5 dB [67]	0,5 dB	4,97 dB		UYGUN
D₅₀	> 0,50 [66]	%5	125 Hz	0,56	UYGUN
			250 Hz	0,61	UYGUN
			500 Hz	0,59	UYGUN
			1000 Hz	0,6	UYGUN
			2000 Hz	0,59	UYGUN
			4000 Hz	0,59	UYGUN
STI	≥ 0,60 [40]	-	0,62		UYGUN

- Katı Model Yardımıyla Yüzey Gereçlerinin Tasviri**

Tasarım Denemesi 3 için önerilen malzemeler Şekil 4.58 ve devamında yer alan 3D modeller yardımıyla tasvir edilmiştir.



Şekil 4.58 Tasarım Denemesi 3 için 3D model yöntemiyle malzeme tasviri

Şekil 4.58’de görüldüğü gibi döşemede iki farklı halı kaplaması kullanılmıştır. Duvarda su kabağı epoksi kompoziti, pamuk+polyester kompoziti paneli, hurma ağacı lifi paneli, KD 3F 13A 3Q 8Q ve KD 3F 5A 3Q 8Q kodlu delikli paneller kullanılmıştır. Tavanda ise sisal lifi paneli, geri dönüştürülmüş atıklardan üretilmiş yün panel, hurma ağacı lifi, KDx16x16x3, 2F 30A DS2000 ve KD 3F 5A 3Q 8Q

kodlu delikli paneller kullanılmıştır. Sahne döşemesi için ahşap panel kullanılmıştır. Balkon altı yüzeyi ve sahne alanı ahşap levha kaplıdır.



Şekil 4.59 Tasarım Denemesi 3 3D modeli

- **Yüzey Gereçlerinin Malzeme Seçim parametreleri Açısından Değerlendirilmesi**

Deneme 3'te ele alınan malzemeler için malzeme seçimi parametreleri açısından yapılan değerlendirmeler Tablo 4.15'te görülmektedir.

Tablo 4.15'te yer alan sonuçlar incelendiğinde sürdürülebilir yüzey gereçlerinin maliyet açısından daha olumlu sonuçlar verdikleri, erişilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından endüstri ürünü malzemelere göre kabul edilebilir biçimde oldukları, yangın direnci ve mukavemet konularında ise kimi zaman olumsuz sonuçlar verdikleri görülmektedir. Sisal tropikal bölgelerin önemli lif bitkilerinden biridir dolayısıyla ülkemizin coğrafi koşullarında yetiştirilememektedir [95]. Tropikal bir bitki olduğundan ve farklı coğrafyalarda yetiştiğinden erişilebilirliği ele alınan diğer malzemelere göre daha düşüktür. Su kabağı lifi bilindiği üzere Türkiye'de olmak üzere pek çok ülkede yetiştirilen düşük maliyetli bir üründür [12]. Hurma ağacı ise ülkemizin güney ve güneybatı bölgelerinde yetiştirilmektedir [96]. Dolayısıyla su kabağı ve hurma lifleri erişilebilirlik, ulaşılabilirlik açısından olumlu malzemelerdir (Tablo 4.15). Tablo 4.15'te görüldüğü üzere lifli malzemelerin mukavemet ve yangın direnci endüstri üretimi malzemelere göre daha düşüktür. Bununla birlikte kullanılabilirlik tüm malzeme çeşitleri için hemen hemen benzer sonuçlardadır. Doğal liflerden veya atık malzemelerden üretilmiş paneller sürdürülebilir olmalarının yanında maliyet ve kullanılabilirlik açısından da

uygundur. Endüstri üretimi malzemeler ise mukavemet ve yangın direnci açısından sürdürülebilir malzemelere göre daha olumlu sonuçlar vermektedir.

Tablo 4.15 Yüzey gereçlerinin karşılaştırılması

Malzeme	Seçim Parametreleri					
	Sürdürülebilir	Mukavemet Derecesi	Yangın Direnci ¹⁰	Erişilebilir	Kullanılabilir	Maliyet ¹
Sisal lifi	Evet	Düşük	Yüksek	Düşük	Evet	61,39 TL/kg ² [93]
Hurma ağacı lifi	Evet	Düşük	Yüksek	Yüksek	Kısmen	-
Atıklardan üretilmiş yün panel	Evet	Düşük	Yüksek	Yüksek	Evet	*5
Pamuk lifi	Evet	Düşük	Yüksek	Yüksek	Evet	306,25 TL/kg ³ [94]
Su kabağı epoksi kompoziti	Evet	Düşük	Yüksek	Yüksek	Kısmen	165 TL/adet ⁴ [85]
Atıklardan üretilmiş 5 mm halı	Evet	Düşük	Yüksek	Yüksek	Evet	*5
KDx16x16x 3 mm delikli levha	Kısmen	Yüksek	Düşük	Yüksek	Evet	1266,87 TL/m ²⁶ [77]
KD 3F 5A 3Q 8Q delikli levha	Kısmen	Yüksek	Düşük	Yüksek	Evet	2352,76 TL/m ²⁷ [77]
KD 3F 13A 3Q 8Q delikli levha	Kısmen	Yüksek	Düşük	Yüksek	Evet	2244,17 TL/m ²⁸ [77]
2F 30A DS2000 delikli levha	Kısmen	Yüksek	Düşük	Yüksek	Evet	1303,07 TL/m ²⁹ [77]
Ahşap panel	Kısmen	Yüksek	Düşük	Yüksek	Evet	2100 TL/m ² [90]

¹ 2024 yılı verilerinden elde edilmiştir.

² Kilogram fiyatı verilmiştir. Ham sisal lifinin işlem görmemiş fiyatıdır.

³ Kilogram fiyatı verilmiştir. Ham pamuk lifinin işlem görmemiş fiyatıdır.

⁴ Kabak lifi adet fiyatıdır. Epoksi kompozit üretimi maliyeti dahil değildir.

⁵ Atık malzemeden üretildikleri için yalnızca işçilik maliyeti bulunmaktadır.

⁶ 22 Kasım 2024 tarihli panel fiyatı 35 Euro/m² şeklindedir. (1 Euro ≈ 36,20 TL*22 Kasım 2024 tarihli kur alınmıştır.)

⁷ 22 Kasım 2024 tarihli panel fiyatı 65 Euro/m² şeklindedir. (1 Euro ≈ 36,20 TL*22 Kasım 2024 tarihli kur alınmıştır.)

⁸ 22 Kasım 2024 tarihli panel fiyatı 62 Euro/m² şeklindedir. (1 Euro ≈ 36,20 TL*22 Kasım 2024 tarihli kur alınmıştır.)

⁹ 22 Kasım 2024 tarihli panel fiyatı 36 Euro/m² şeklindedir. (1 Euro ≈ 36,20 TL*22 Kasım 2024 tarihli kur alınmıştır.)

¹⁰ Malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Kesin sonuçlar için yangın direnci kapsamında daha detaylı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

5 SONUÇ

Tez çalışmasının bu son bölümünde çalışma kapsamında yapılanlara ve elde edilen sonuçlara yer verilmiş, bu sonuçlar üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Toplam beş bölümden oluşan bu çalışmanın ilk bölümünde “Giriş” başlığı altında sürdürülebilir mimarlık ve mimaride akustik tasarımın bütünleşik ilişkisine değinilmiş; çalışmanın amacı, kapsamı, yöntemi ve hipotezine yer verilmiş ve sonrasında çalışmanın konusu olan sürdürülebilir yapı malzemelerinin mimaride akustik amaçlı kullanılabilirliğinin incelenmesi açısından literatürde yer bulmuş destekleyici çalışmalardan bahsedilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda sürdürülebilir sayılabilecek doğal lifli malzemelerden ve geri dönüştürülmüş atıklardan üretilmiş ses yutucu panellerin empedans tüpü veya yansıma odası yöntemi ile elde edilmiş ses yutma katsayılarına yer verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise “Salon Mimarisinde Akustik Konfor Parametreleri” başlığı altında akustik konforu etkileyen mimari tasarım parametrelerine, bu parametrelerin nesnel ve öznel hacim akustiği parametreleri ile ilişkisine değinilmiştir. Ele alınan parametrelerin kabul edilebilir, önerilen sınır aralıklarına dair değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde “Konferans Salonlarında Akustik Tasarım: Atatürk Kültür Merkezi Örneği, Tekirdağ” başlığı altında bu çalışma kapsamında ele alınan Tekirdağ ili, Çerkezköy ilçesinde yer alan bir konferans salonunun genel mimari özelliklerine dair tanımlamalar yapılmıştır. Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonu genellikle konferans, tiyatro, sempozyum vb. gibi konuşma ağırlıklı etkinliklere ev sahipliği yaparken yer yer küçük müzikal etkinlikler ve törenler için de kullanılmaktadır. Genel olarak kullanım ağırlığı ise yapılış amacını taşıyan konferans salonu niteliğidir. 735 kişilik seyirci kapasitesine, 625 m² alana ve 4560 m³ hacme sahiptir. Çalışmanın üçüncü bölümü kapsamında salonun akustik açıdan değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar aşağıdaki biçimiyle sıralanmaktadır.

- Salonun mevcut tasarımı üzerinde yapılan çalışmalar:
 - Yapılan ilk değerlendirme kapsamında konferans salonunun ilçe içerisindeki konumu ve çevresel gürültü faktörlerinin etkisi incelenmiştir. Salonun kat planlarına yer verilmiş; kapasitesine, alanına ve hacmine dair sayısal verilerden söz edilmiştir. Salonda yüzey gereci olarak kullanılan malzemelerin özellikleri ve tanımları yapılmış, görsellerine yer verilmiştir.
 - Daha sonra salonun mevcut durumu özelinde mimari tasarım parametrelerine dair değerlendirmelerde bulunulmuş; hacmin büyüklüğü, hacmin biçimi, dinleyici alanı tasarımı, sahne tasarımı, tavan tasarımı, arka ve yan duvar tasarımı gibi başlıklara ayrılan altı adet alt parametrenin salonun işlevi ile ilişkisi irdelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde salonun konuşma işlevi için önerilen hacim büyüklüklerinin üzerinde bir hacim/kişi oranına sahip olduğu fakat bu oranın sınır değerlere yakınlığı sebebiyle kabul edilebilir olduğu söylenmiştir. Hacim biçimi ile ilgili yapılan değerlendirmelerde salonun iyileştirilmiş yanal yansıtıcılı ters yelpaze plan tipine sahip olduğu belirtilmiş ve bu plan tipinin konuşma işlevli hacimler için uygun görüldüğü söylenmiştir. Dinleyici alanı tasarımı için mevcut oturma düzenine sair değerlendirmeler yapılarak koltuk büyüklükleri, koltuklar arası uzaklıklara dair değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 3.6). Burada yapılan değerlendirmelerde ise dinleyici alanına kesintisiz bir görüş ve işitme açısı sunabilmek adına salonda var olan kademelendirmenin yetersizliğine değinilmiş, mevcut durumu için olması gereken kademelendirmeye dair öneride bulunulmuştur. Fakat yapılan kademelendirme önerisi ile hacim giderek büyüyeceğinden ve konuşma için önerilen sınır büyüklüklerinden uzaklaşacağından, önerilen bu kademelendirmenin beraberinde balkon çözümü getirilmesi gerektiği söylenmiştir. Sahne, tavan, arka ve yan duvarların tasarımı kapsamında salonda yansıma örgüsü etütleri yapılmış, akustik gölge alanları belirlenmiş; yansıtıcı görev gören tavan levhalarının düşük frekanslarda yansıtıcılık özelliği göstermek açısından yetersiz kaldığı söylenmiştir (Şekil 3.10 ve 3.11). Sonrasında ise hacim akustiği parametrelerine dair kuramsal bir değerlendirme yapılmış; yapılan bu kuramsal değerlendirmede Sabine Yöntemi aracılığı ile hacmin yansıma süresi hesaplanmış, hacim büyüklüğü ve işlevi ile ilişkili optimum yansıma süresi değeri ve sınır aralıkları

belirlenmiş; farklı dinleyici noktalarındaki ses basınç düzeylerine yer verilmiştir. Varlık kriteri açısından kuramsal hesaplama yöntemi ile bir değerlendirme yapılmış, ilk yansımalar ile bu alanın genişleyebileceğinden söz edilmiştir. Hacmin mevcut durumu için akustik kusur oluşumları değerlendirilmiş; maskeleme, yankı, akustik gölge, distorsiyon gibi kusurların varlığı kuramsal bir yaklaşım yöntemi ile ele alınmıştır.

- Salon için önerilen tasarım üzerinde yapılan çalışmalar:
 - Salonun mevcut tasarımı üzerinde yapılan mimari tasarım ve hacim akustiği parametrelerine dair yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen olumsuz koşulları iyileştirme amacıyla mimari tasarım parametrelerine dair öneriler yapılmıştır. Yapılan önerilen kapsamında;
 - ❖ Hacim büyüklüğü işlevi ile ilişkili olarak önerilen sınır aralıklarına getirilmiş, kişi başına düşen hacim $5,57 \text{ m}^3/\text{kişi}$ olarak güncellenmiştir. Toplam kişi sayısı 670; toplam alan $437,25 \text{ m}^2$ ve toplam hacim $3736,65 \text{ m}^3$ olarak güncellenmiştir. Tavan yüksekliği $7,40 \text{ m}$ olarak yeniden düzenlenmiştir.
 - ❖ Kaynak-dinleyici uzaklığını azaltmak adına salonda balkon tasarımı önerilmiş, işleve uygun balkon büyüklüğünden bahsedilmiştir.
 - ❖ Mevcut durumda $0,70 \text{ m}$ olarak belirlenen sahne yüksekliği $1,00 \text{ m}$ olarak güncellenmiştir.
 - ❖ Tavanda yer alan yansıtıcı levhalar için öneri yeni levhalar oluşturulmuş; bu yeni levhaların yansıma örgüleri etüt edilmiş; minimum levha büyüklüğü $3,50 \text{ m}$ olarak belirlenerek $125 \text{ Hz} - 4000 \text{ Hz}$ arası tüm frekanslarda yansıtma özelliği göstermesi amaçlanmıştır (Şekil3.21).
 - Mimari tasarım parametrelerinde yapılan öneriler sonrasında mevcut yüzey gereçlerinin kullanımı ile salonun yansıma süresi değerleri Sabine Yöntemi aracılığıyla yeniden hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sırasında salonun hacmi ve işlevi ile ilişkili olarak optimum yansıma süresi belirlenmiş ve sınır aralıkları saptanmıştır (Şekil 3.22). Yansıma süresindeki değişim sonrasında varlık etkisi ve sağladığı alanın sınırları yeniden değerlendirilmiş ve ilk yansımalarla bu alanın genişletilebileceği tekrar vurgulanmıştır. Mevcut durumda %47'lik bir varlık alanından söz edilirken öneriler sonrası hacimde bu değer %60'a çıkarılmıştır. Salonun mevcut

durumunda olduğu gibi akustik kusur oluşumları yeniden değerlendirilmiştir (*Bakınız, Bölüm 3.2.3*).

- Salonun mevcut ve önerilen tasarımına ilişkin değerlendirmeler aşamasında yapılan çalışmalar:
 - Salonun mevcut ve önerilen tasarımlarına ilişkin kuram yöntem ile değerlendirmeler Tablo 3.6’da gösterilmiştir.
 - Her iki tasarım için hacim akustiği parametreleri simülasyon yöntemi aracılığıyla ele alınmış ve karşılaştırılmıştır (*Bakınız, Bölüm 3.3*).
 - ❖ Salonun mevcut tasarımına dair yapılan simülasyon çalışmalarında beş adet alıcı noktası için RT, EDT, SPL, C₅₀, C₈₀, D₅₀ ve STI parametreleri hesaplanmıştır. Mevcut tasarım için elde edilen sonuçlarda salonun konuşmanın anlaşılabilirliği açısından önemli olan C₅₀, D₅₀ ve STI parametreleri için yetersiz olduğu görülmüştür (Tablo 3.9 ve Tablo 3.13). Grafik yöntemi ile yapılan değerlendirmelerde parametrelere dair önerilen sınır değerlere ve elde edilen sonuçlara yer verilmiş, mevcut tasarım sonuçlarının önerilen sınır değerleri ile ilişkisi irdelenmiştir.
 - ❖ Salonun önerilen tasarımında yapılan simülasyon çalışmalarında mevcut tasarımda ele alınan parametreler aynı dinleyici noktaları ve kaynak gücü ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonuçlarında C₅₀ parametresi için önerilen sınır aralıklarına yakın değerlerin elde edildiği, dolayısıyla kabul edilebilir aralıklar içerisinde olduğu görülmüştür. Mevcut tasarıma göre önerilen tasarımda D₅₀ ve STI parametreleri için olumlu sonuçların elde edildiği görülmüştür (Tablo 3.11 ve Tablo 3.14).
 - ❖ Her iki tasarım için tüm parametrelerin 250 Hz-2000 Hz ortalama değerleri grafik yöntemi ile değerlendirilmiş ve optimum aralıkları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde mimari tasarım parametrelerinde yapılan iyileştirmelerin hacim akustiği parametrelerini olumlu yönde etkilediği görülmüş ve daha sonraki yüzey gereci çalışmalarında salonun önerilen tasarımı üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde “Sürdürülebilir Yüzey Gereçleriyle Akustik Tasarım: Atatürk Kültür Merkezi Örneği, Tekirdağ” başlığı ile sürdürülebilir yüzey gereçlerinin akustik amaçlı kullanılabilirliği, üçüncü bölüm kapsamında değerlendirmesi yapılan salon üzerinde ele alınmıştır. Yapılan çalışmalarda çeşitli yüzey gereçleri kullanılarak salon için üç alternatif tasarım oluşturulmuş ve simülasyon yöntemi aracılığıyla hacim akustiği parametreleri hesaplanmıştır. Her bir tasarım denemesi için üç boyutlu modelleme yöntemi ile yüzey gereçlerinin tasviri yapılmaya çalışılmış ve yüzey gereçleri malzeme seçimi parametreleri açısından değerlendirilmiştir.

- İlk olarak malzeme seçimi parametreleri belirlenmiş, bir malzemenin tasarım, inşa ve kullanım aşamalarında tabii tutulduğu değerlendirme kriterlerine yer verilmiştir. Bu parametreler teknik, ekonomik, estetik ve sosyal olmak üzere dört ana başlıkta toplanmış; sürdürülebilirlik, mukavemet dayanımı, yangın direnci, erişilebilirlik, kullanılabilirlik ve maliyet gibi alt başlıklara ayrılmıştır. Her bir tasarım denemesi için kullanılan malzemeler bu altı ayrı alt başlık açısından değerlendirilmiştir.
- Salonda sürdürülebilir yüzey gereçlerinin kullanımı ile uygun akustik ortamın sağlanması aşamasında üç ayrı tasarım oluşturulmuştur.
 - İlk tasarım önerisinde çay yaprağı atığı ve su kabağı epoksi kompoziti olmak üzere iki ayrı sürdürülebilir yüzey gereci kullanılmış; bu yüzey gereçleri belirli oranlarda salonun duvar ve tavan yüzeylerinde uygulanmıştır (Tablo 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

Simülasyon yöntemi ile yapılan çalışmalarda Deneme 1 kapsamında belirli alıcı noktalarında ve tüm dinleyici alanında olmak üzere salonda RT, EDT, C₅₀, C₈₀ ve STI parametreleri hesaplanmış; Şekil 4.8 ve devamında grafik yöntemi ile bu parametrelerin önerilen sınır değerler ile ilişkisi incelenmiştir. Yapılan ilk denemenin sonunda EDT D₅₀ ve STI parametreleri için uygun sonuçlar elde edilememiştir. Diğer parametreler açısından elde edilen sonuçlar ise olumludur (Tablo 4.4).

Elde edilen sonuçların akabinde salonda katı model yöntemi aracılığıyla kullanılan yüzey gereçlerinin tasviri yapılmaya çalışılmıştır.

Deneme 1 için kullanılan malzemelere dair son değerlendirmede ise yüzey gereçleri malzeme seçimi parametreleri açısından değerlendirilmiş;

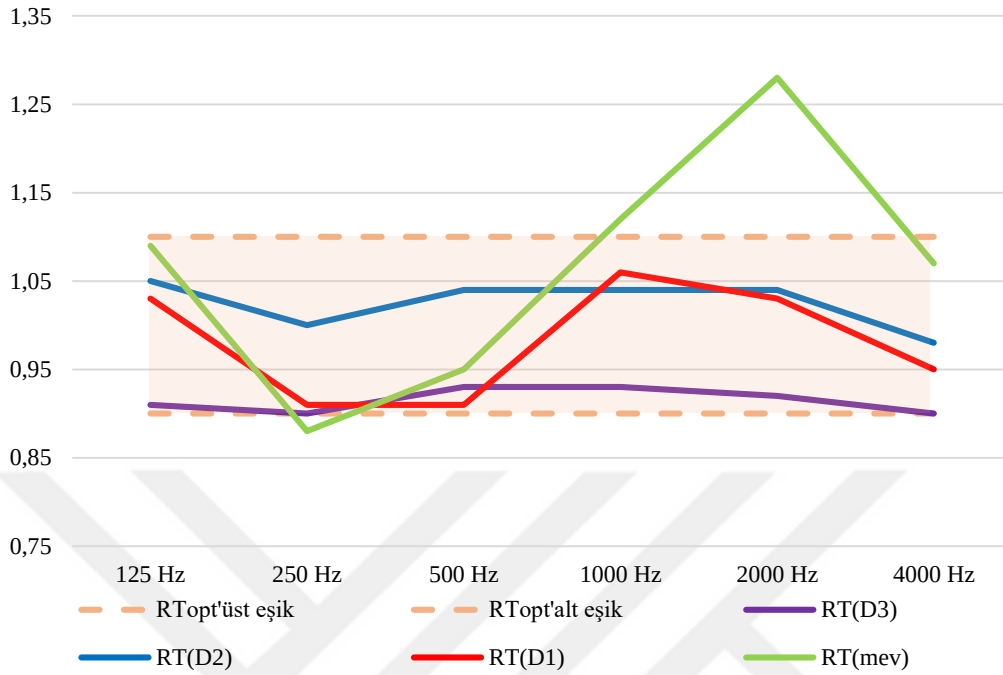
sürdürülebilir yüzey gereçleri endüstri üretimi yüzey gereçlerine göre bu parametreler ışığında karşılaştırılmıştır.

- Deneme 2 için yapılan çalışmada, ahşap lifi, hurma ağacı lifi, su kabağı epoksi kompoziti ve leca kullanılarak salonda uygun akustik ortamın sağlanması amaçlanmıştır. Tablo 4.7’de simülasyon aracılığıyla elde edilen hacim akustiği parametreleri sonuçları görülmektedir. Deneme 2 aracılığıyla elde edilen sonuçlara bakıldığında, D_{50} ve STI parametreleri için uygun sonuçların elde edilemediği görülmektedir (Tablo 4.9). Fakat Deneme 2’nin diğer tasarım denemelerinden farkı elde edilen yansıma süresi değerlerinin frekanslar arası ayrımlarının ilk iki denemeye göre daha az olması ve olası distorsiyon kusurlarının azaltılmasıdır.
- Son tasarım denemesi olan Deneme 3’te ise, hurma ağacı lifi, su kabağı epoksi kompoziti, pamuk lifi+polyester paneli, sisal lifi, atıklardan üretilmiş yün panel ve geri dönüştürülmüş plastikten yapılmış 5 mm halı kullanılmıştır (Şekil 4.41 ve Şekil 4.42). Şekil 4.46’da bu malzemelerin kullanımı ile elde edilen yansıma süresi değerleri yer almaktadır. Bu değerlere bakıldığında tüm frekanslar için sınır değerler aralığında kalan sonuçların elde edildiği görülmektedir. Diğer hacim akustiği parametrelerine dair elde edilen sonuçlar ise Tablo 4.12’de görülmektedir. Tüm hacim akustiği parametrelerinde elde edilen değer sınır aralıkları içerisinde kalmıştır (Tablo 4.12). Dolayısıyla Deneme 3 sonucunda hacimde uygun akustik koşullar sağlanmıştır. Malzemelerin malzeme seçimi parametrelerine göre yapılan değerlendirmelerinde ise Deneme 1, Deneme 2 ve Deneme 3’te elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar ile karşılaşılmıştır.

5.1 Bulguların Değerlendirilmesi

Çalışmanın son bölümü olan bu bölümde ise ilk dört bölümde elde edilen sonuçlara değinilmiş ve çalışma ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada, literatüre kazandırılmış doğal lifli ve geri dönüştürülerek üretilmiş ses yutucu malzemelerin bir konferans salonunun akustik tasarımında kullanılabilirliği incelenmiştir. Beş bölümden oluşan çalışmanın tüm aşamalarında her parametre ayrı ayrı hesaplama yapılmış, yapılan çalışmalar sonucunda hacim için uygun mimari tasarım kararları alınmış, alınan bu kararların ardında sürdürülebilir yüzey

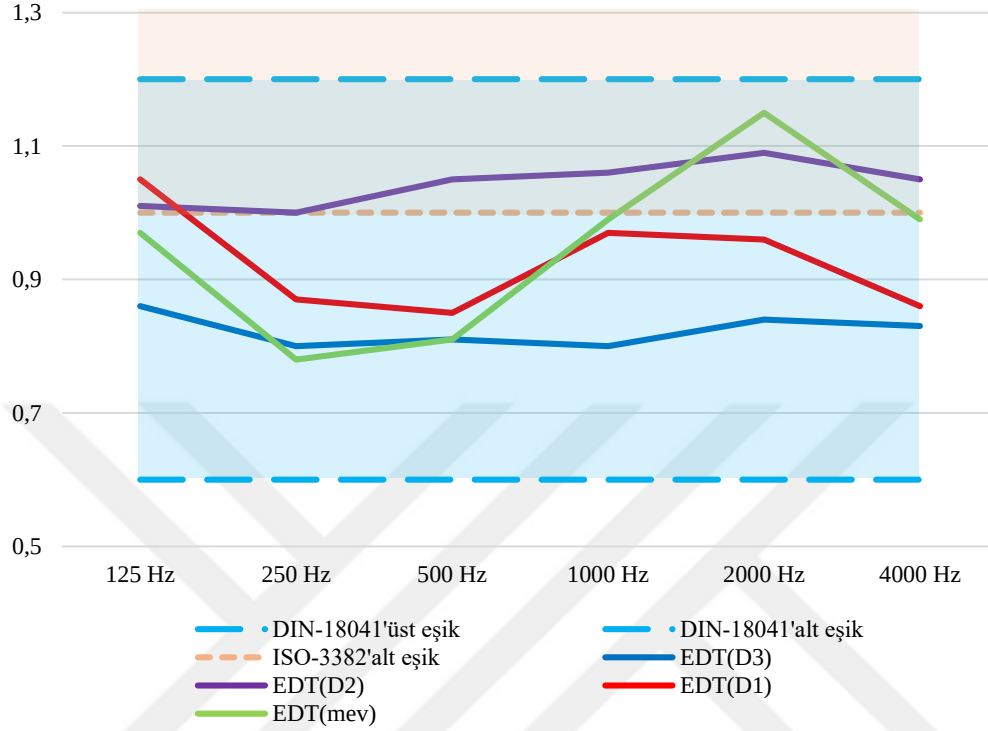
gereci kullanımı ile hacimde uygun akustik ortam sağlanmıştır. Tüm deneme çalışmalarının sonunda elde edilen RT değerleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Tüm denemeler için RT parametresinin sonuçları

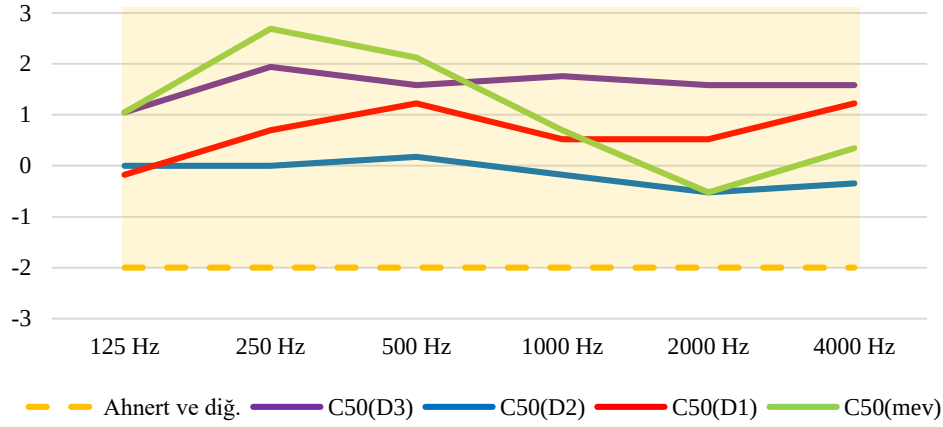
Şekil 5.1’de üç farklı tasarım denemesine ait sonuçlar yer almaktadır. Salonun mevcut durumuna bakıldığında yansıma süresi değerlerinin 250 Hz ve 4000 Hz’de önerilen sınır aralıkların üzerinde kaldığı görülmektedir. Aynı zamanda konuşma işlevli hacimler için yansıma süresinin frekanslar arası ayrımının az olması, düzgün bir yanıt eğrisinin oluşması beklenir. Dolayısıyla salon mevcut durumunda hem uygun yansıma süresi değerlerine sahip değildir hem de frekanslar arası ayrım oldukça fazladır. Deneme 1 kapsamında elde edilen sonuçlara bakıldığında yansıma süresi değerlerinin tüm frekanslar için optimum aralıklar içerisinde kaldığı ve frekanslar arası ayrımın azaldığı görülmektedir. Fakat salon bu hali ile uygun yansıma değerlerine sahip olmasına rağmen konuşma işlevli bir hacim için düzgün yanıt eğrisi sağlayamayacağından uygun değildir. Deneme 2’de ise frekanslar arası ayrım oldukça az ve yansıma süresi değerleri önerilen sınır aralıkları içerisinde. Fakat Deneme 2’deki yüksek yansıma süresi değerleri, diğer parametreleri olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle STI parametresinin yüksek yansıma süresi değerlerindeki düşük sonuçları, yansıma süresi değerlerinin önerilen sınır aralıklarının en alt sınırına yakın olarak belirlenmesi gerektiğini anlatmaktadır. Bu sebeple yapılan üç deneme arasında en olumlu sonucu Deneme

3 vermektedir. Hem önerilen sınır aralıkları içerisinde en alt sınıra oldukça yakındır hem de bu düşük yansıma süresi değerleri sebebi ile yüksek STI değerleri elde edilmektedir.



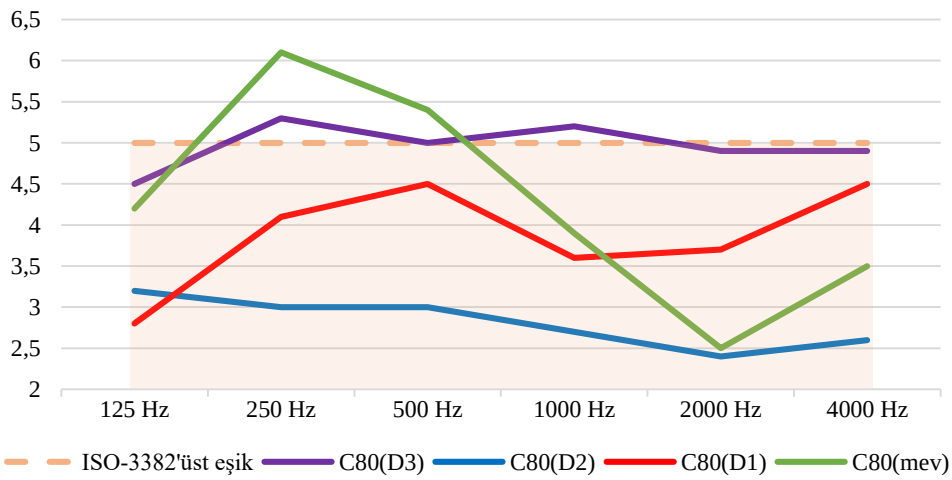
Şekil 5.2 Tüm denemeler için EDT parametresinin sonuçları

Şekil 5.2’de tüm denemeler sonucu elde edilen EDT değerlerine dair sonuçlar yer almaktadır. Salonun mevcut durumuna dair yapılan hesaplamalarda EDT değerlerinin 2000 Hz hariç tüm frekanslarda ISO -3382’de önerilen en düşük sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir. Fakat DIN-18041’de önerilen 0,6-1,2 sn değer aralığının içerisinde kalmaktadır. Genel olarak EDT değerlerinin RT değerlerine yakınlığı istendiğinden ve salonun mevcut durumundaki RT değerleri olumsuz olarak değerlendirildiğinden elde edilen EDT değerleri de olumsuzdur. Deneme 1’de kullanılan yüzey gereçleriyle elde edilen EDT değerlerine bakıldığında elde edilen tüm değerlerin ISO-3382’de belirtilen alt sınırdan düşük olduğu görülürken, DIN-18041’e göre önerilen sınır aralıklarındadır. RT değerlerine yakın sonuçların elde edilmesi nedeniyle Deneme 1 için elde edilen EDT değerleri olumludur. Deneme 2 ve Deneme 3 kapsamında elde edilen sonuçlar için de benzer yorumları yapmak mümkündür. RT değerleri açısından en olumlu sonucu veren Deneme 3, EDT parametresi açısından da olumludur.



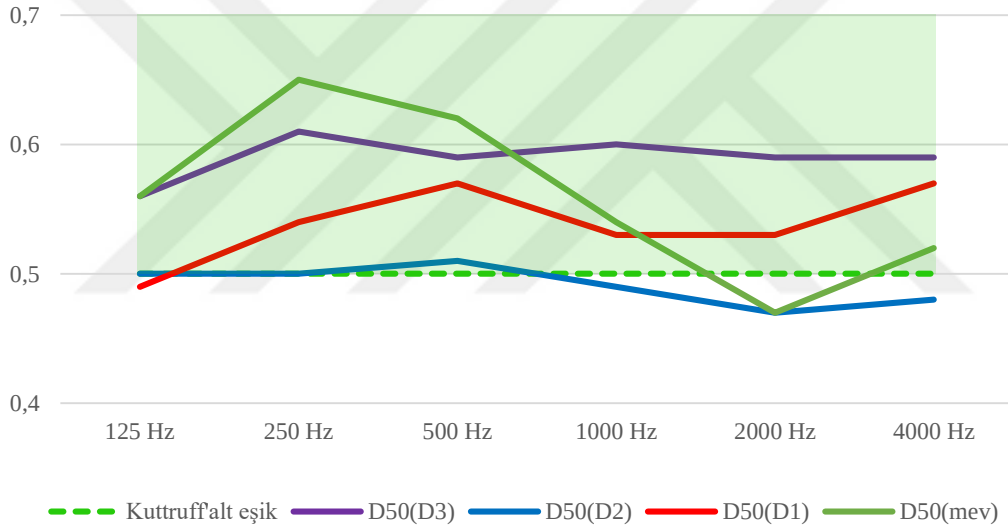
Şekil 5.3 Tüm denemeler için C_{50} parametresinin sonuçları

C_{50} parametresinin tüm tasarım denemelerindeki sonuçları Şekil 5.3'te görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde tüm tasarım denemeleri için alt eşik olan -2 dB'in üzerinde C_{50} sonuçları elde edildiği görülmektedir. Konuşma işlevli hacimler için C_{50} parametresinin pozitif değerlerde olması istenir, çünkü C_{50} parametresinin negatif değerleri D_{50} parametresinin 0,50 değerinden daha düşük olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla salonun mevcut durumu değerlendirmeye alındığında C_{50} parametresinin 2000 Hz frekansta negatif değerlerde olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Deneme 1 için 125 Hz'de ve Deneme 2 için 2000 Hz'de benzer negatif sonuçlar görülmektedir. Deneme 3'teki pozitif C_{50} değerleri konuşmanın anlaşılabilirliği açısından olumlu ve önemlidir.



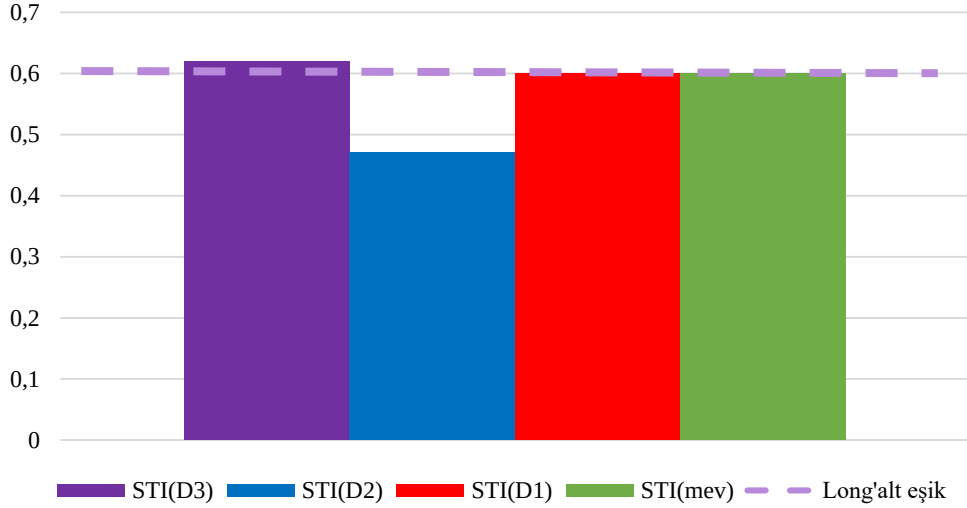
Şekil 5.4 Tüm denemeler için C_{80} parametresinin sonuçları

C_{80} parametresi müzik işlevli salonlar için tercih edilen bir hacim akustiği parametresidir. Konferans salonları veya konuşma işlevli hacimler için önerilen parametre C_{50} parametresidir. Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonu yapılışı itibariyle bir konferans salonu olarak tasarlanmıştır fakat yer yer küçük müzikal etkinliklere de ev sahipliği yapmaktadır. Bu sebeple çalışmanın bu noktasında C_{80} parametresi de değerlendirilmeye alınmış fakat salonun asıl amacı konuşma amaçlı işlevleri uygun akustik koşullarda yerine getirmek olduğu için elde edilen veriler olumlu kabul edilmiştir. Salonun mevcut tasarımında C_{80} parametresinin 250 Hz ve 500 Hz’de önerilen sınır değerin üzerinde kaldığı görülmektedir. Yapılan tasarım denemelerinde ise C_{80} parametresi Deneme 3 hariç sınır aralıklar içerisinde kalmaktadır. Deneme 3 için ise sınır değerlerinin biraz üzerine çıkan C_{80} parametresi ayırım eşiğinin 0,5 dB olması sebebi ile kabul edilebilirdir.



Şekil 5.5 Tüm denemeler için D_{50} parametresinin sonuçları

Şekil 5.5’te D_{50} parametresinin tüm tasarım denemelerinde elde edilen sonuçları görülmektedir. D_{50} parametresi konuşmanın anlaşılabilirliğini etkileyen önemli bir parametredir ve tüm frekanslardaki değerlerinin 0,5 üzerinde olması istenir. Dolayısıyla herhangi bir frekanstaki 0,5’ten düşük değeri D_{50} parametresinin olumsuz olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Şekil 5.5’e göre salonun mevcut tasarımı, Deneme 1 ve Deneme 2 için D_{50} parametresi olumsuz sonuçlar vermektedir. Deneme 3 için ise tüm frekanslardaki değeri 0,5’ten büyük ve dolayısıyla olumludur.



Şekil 5.6 Tüm denemeler için STI parametresinin sonuçları

STI parametresi konuşmanın anlaşılabilirliğini etkileyen önemli parametrelerden bir diğeridir. Konuşma işlevli hacimlerde iyi bir anlaşılabilirlik için 0,6'dan büyük değerlerde olması istenir. Salonun mevcut tasarımında STI parametresinin 0,6 olduğu ve bu sonucun Deneme 1 için de devam ettiği görülmektedir. Deneme 2 için ise STI parametresi olumsuzdur. Deneme 3'te STI parametresinin 0,62 değerine ulaşarak en olumlu sonucu elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan tüm tasarım denemelerinde ele alınan hacim akustiği parametreleri için genel bir değerlendirme Tablo 5.1'de yer almaktadır. Bu tabloda yapılan değerlendirmede RT parametresi önceki tablolardaki ortalama değerlerinin aksine frekanslar arası ayrımları ve düzgün yanıt eğrisi oluşturmaları açısından değerlendirilmiş, olumlu ya da olumsuz sonucu buna göre ele alınmıştır. EDT parametresi için de benzer durum söz konusudur. C_{50} parametresi ise önerilen sınır aralıklarında olmasının yanı sıra tüm frekanslarda pozitif değerlerinin olup olmaması açısından değerlendirilmiş, bu bağlamda sonuçlandırılmıştır. D_{50} parametresi ise yine önerilen sınır aralıklarının içerisinde kalmasının yanı sıra tüm frekanslardaki değerlerinin 0,5 ve üzerinde olması açısından değerlendirilmiştir. STI parametresi için ise en düşük sınır değeri 0,6'tır, tüm değerlendirmeler bu bağlamda ele alınmıştır. Tablo 5.1'de görüldüğü üzere Deneme 1'de ortalama RT değeri önerilen sınır aralıkları içerisindeyken frekansa bağlı ayrımlarının subjektif ayırım eşiğinin üzerinde olması sebebiyle olumsuzdur. Deneme 2 için de benzer sonuçlar söz konusudur. Tabloya bakıldığında her denemede frekansa bağlı ayrımların azalarak uygun akustik koşulların sağlanması açısından olumlu sonuçlar

verdiği söylenebilmektedir. C_{50} parametresi için yapılan değerlendirmelerde ise tüm frekanslarda olumlu sonuçların Deneme 3'te elde edildiği görülmektedir. D_{50} parametresi için de benzer bir sonuç söz konusudur. STI parametresi Deneme 1 ve Deneme 3'te olumludur.

Tablo 5.1'e bakıldığında tüm parametreler için olumlu sonuçlar Deneme 3 kapsamında elde edilmiş ve sürdürülebilir yüzey gereci kullanımı ile hacimde uygun akustik koşullar sağlanmıştır.



Tablo 5.1 Tüm parametrelerin frekanslara bağlı olarak değerlendirilmesi

Hacim Akustiği Parametreleri	Önerilen Sınır Aralıkları	Sübjektif Ayrım Eşiği	Mevcut Tasarım				Deneme 1				Deneme 2				Deneme 3			
			Parametre Değerleri		Sınır Değerine Uzaklığı	Sonuç	Parametre Değerleri		Sınır Değerine Uzaklığı	Sonuç	Parametre Değerleri		Sınır Değerine Uzaklığı	Sonuç	Parametre Değerleri		Sınır Değerine Uzaklığı	Sonuç
RT	0,9 - 1,10 sn [39]	%5 = 0,05 sn	125 Hz	1,09 sn	-0,19	X	125 Hz	1,03 sn	-0,12	X	125 Hz	1,05 sn	-0,07	X	125 Hz	0,91 sn	-0,01	✓
			250 Hz	0,90 sn	0,00	✓	250 Hz	0,91 sn	0,00	✓	250 Hz	1,00 sn	-0,02	✓	250 Hz	0,90 sn	0,00	✓
			500 Hz	0,95 sn	-0,05	✓	500 Hz	0,91 sn	0,00	✓	500 Hz	1,04 sn	-0,06	X	500 Hz	0,93 sn	-0,03	✓
			1000 Hz	1,12 sn	-0,22	X	1000 Hz	1,06 sn	-0,15	X	1000 Hz	1,04 sn	-0,06	X	1000 Hz	0,93 sn	-0,03	✓
			2000 Hz	1,28 sn	-0,38	X	2000 Hz	1,03 sn	0,12	X	2000 Hz	1,04 sn	-0,06	X	2000 Hz	0,92 sn	-0,02	✓
			4000 Hz	1,07 sn	0,17	X	4000 Hz	0,95 sn	0,04	✓	4000 Hz	0,98 sn	0,00	✓	4000 Hz	0,93 sn	-0,03	✓
EDT	0,6 - 1,20 sn [89]	%5 = 0,05 sn	125 Hz	1,09 sn	-0,19	X	125 Hz	1,03 sn	-0,12	X	125 Hz	1,05 sn	-0,07	X	125 Hz	0,91 sn	-0,01	✓
			250 Hz	0,90 sn	0,00	✓	250 Hz	0,91 sn	0,00	✓	250 Hz	1,00 sn	-0,02	✓	250 Hz	0,90 sn	0,00	✓
			500 Hz	0,95 sn	-0,05	✓	500 Hz	0,91 sn	0,00	✓	500 Hz	1,04 sn	-0,06	X	500 Hz	0,93 sn	-0,03	✓
			1000 Hz	1,12 sn	-0,22	X	1000 Hz	1,06 sn	-0,15	X	1000 Hz	1,04 sn	-0,06	X	1000 Hz	0,93 sn	-0,03	✓
			2000 Hz	1,28 sn	-0,38	X	2000 Hz	1,03 sn	0,12	X	2000 Hz	1,04 sn	-0,06	X	2000 Hz	0,92 sn	-0,02	✓
			4000 Hz	1,07 sn	0,17	X	4000 Hz	0,95 sn	0,04	✓	4000 Hz	0,98 sn	0,00	✓	4000 Hz	0,93 sn	-0,03	✓
C ₅₀	> 0 dB [67]	0,5 dB	125 Hz	1,05 dB	1,05	✓	125 Hz	-0,20 dB	-0,20	X	125 Hz	0,00 dB	0,00	✓	125 Hz	1,05 dB	1,05	✓
			250 Hz	2,70 dB	2,70	✓	250 Hz	0,70 dB	0,70	✓	250 Hz	0,00 dB	0,00	✓	250 Hz	1,95 dB	1,95	✓
			500 Hz	2,10 dB	2,10	✓	500 Hz	1,20 dB	1,20	✓	500 Hz	0,20 dB	0,20	✓	500 Hz	1,60 dB	1,60	✓
			1000 Hz	0,70 dB	0,70	✓	1000 Hz	0,50 dB	0,50	✓	1000 Hz	-0,20 dB	-0,20	X	1000 Hz	1,75 dB	1,75	✓
			2000 Hz	-0,50 dB	-0,50	X	2000 Hz	0,50 dB	0,50	✓	2000 Hz	-0,50 dB	-0,50	X	2000 Hz	1,60 dB	1,60	✓
			4000 Hz	0,35 dB	0,35	✓	4000 Hz	1,20 dB	1,20	✓	4000 Hz	0,35 dB	0,35	X	4000 Hz	1,60 dB	1,60	✓
C ₈₀	< 5 dB [67] > -5 dB [67]	0,5 dB	125 Hz	4,20 dB	0,80	✓	125 Hz	2,80 dB	2,20	✓	125 Hz	3,20 dB	1,80	✓	125 Hz	4,50 dB	0,50	✓
			250 Hz	6,10 dB	-1,10	X	250 Hz	4,10 dB	0,90	✓	250 Hz	3,00 dB	2,00	✓	250 Hz	5,30 dB	-0,30	✓
			500 Hz	5,40 dB	-0,40	✓	500 Hz	4,50 dB	0,50	✓	500 Hz	3,00 dB	2,00	✓	500 Hz	5,00 dB	0,00	✓
			1000 Hz	3,90 dB	1,10	✓	1000 Hz	3,60 dB	1,40	✓	1000 Hz	2,70 dB	2,30	✓	1000 Hz	5,00 dB	0,00	✓
			2000 Hz	2,50 dB	2,50	✓	2000 Hz	3,70 dB	1,30	✓	2000 Hz	2,40 dB	2,60	✓	2000 Hz	4,90 dB	0,10	✓
			4000 Hz	3,50 dB	1,50	✓	4000 Hz	4,50 dB	0,50	✓	4000 Hz	2,60 dB	2,40	✓	4000 Hz	4,90 dB	0,10	✓
D ₅₀	> 0,50 [66]	%5	125 Hz	0,56	0,06	✓	125 Hz	0,49	-0,01	X	125 Hz	0,5	0,00	✓	125 Hz	0,56	0,06	✓
			250 Hz	0,65	0,15	✓	250 Hz	0,54	0,04	✓	250 Hz	0,5	0,00	✓	250 Hz	0,61	0,11	✓
			500 Hz	0,62	0,12	✓	500 Hz	0,57	0,07	✓	500 Hz	0,51	0,01	✓	500 Hz	0,59	0,09	✓
			1000 Hz	0,54	0,04	✓	1000 Hz	0,53	0,03	✓	1000 Hz	0,49	-0,01	X	1000 Hz	0,6	0,10	✓
			2000 Hz	0,47	-0,03	X	2000 Hz	0,53	0,03	✓	2000 Hz	0,47	-0,03	X	2000 Hz	0,59	0,09	✓
			4000 Hz	0,52	0,02	✓	4000 Hz	0,57	0,07	✓	4000 Hz	0,48	-0,02	X	4000 Hz	0,59	0,09	✓
STI	≥ 0,60 [40]	-	0,6			✓	0,6			✓	0,47			X	0,62			✓

Salonda sürdürülebilir yüzey gereçlerinin kullanımıyla uygun akustik ortamın sağlanması yalnızca o malzemenin sürdürülebilir olması ile ilişkili değildir. Bir malzemenin tasarım aşamasında kullanımı için yalnız sürdürülebilir olması yeterli değildir. Malzemenin seçim parametreleri açısından da yeterli olması gerekmektedir. Örneğin yangına karşı direncinin yüksek olması, üretim ve tüketim maliyetlerinin düşük olması, kullanım kolaylığı sağlaması ve uzun ömürlü kullanım imkânı sunması gibi malzeme seçimi parametreleri bir malzemenin tasarım aşamasındaki seçimini kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan endüstri üretimi veya sürdürülebilir olarak nitelendirilen yüzey gereçlerinin tümü bu malzeme seçimi parametreleri açısından değerlendirmeye alınmıştır. Tablo 5.2’de yer alan verilere bakıldığında sürdürülebilir yüzey gereçlerinin mukavemet dayanımı ve yangın direnci açısından zayıf oldukları buna karşılık erişilebilirlik, kullanılabilirlik ve maliyet açısından güçlü oldukları görülmektedir. Fakat burada uzun kullanım ömrü için yüksek dayanım ve yangın direnci gereklidir. Sürdürülebilir yüzey gereçleri darbe dayanımı zayıflıkları nedeniyle uzun kullanım ömrüne sahip olmayabilir. Bu durum bu tür malzemelerin kısa sürede yenilenmek durumunda kalmalarına ve dolayısıyla yüksek maliyet harcamalarına neden olur.

Bu tür malzemeler yüksek yanıcılık, yayılım ve duman oluşturmaları sebebiyle kimyasal yangın geciktiriciler ile güçlendirilebilir. Bu durum hem yüksek maliyetlere sebep olabilir hem de malzemenin sürdürülebilir karakterini ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilir. Yüksek yanıcılık özelliği gösteren sürdürülebilir malzemeler salon içerisinde erişimin kolay olmadığı daha yüksek konumlarda, yayıcılığı geciktirecek bölgelerde kullanılmalıdır.

Sürdürülebilir malzemelerin olumlu bir yanı ise hafif olmaları sebebiyle kolay taşınabilmesi ve kolay montajlanabilmesidir. Bu da montaj ve taşımacılık maliyetlerini azaltan bir etkidir. Dolayısıyla bu tür malzemeler endüstri üretimi malzemelere göre daha ekonomiktir.

Tablo 5.2 Çalışma kapsamında kullanılan tüm malzemelerin malzeme seçimi parametreleri açısından değerlendirilmesi

Malzeme	Seçim Parametreleri																												Genel Değerlendirme						
	Sürdürülebilirlik				Mukavemet Derecesi					Yangın Direnci ¹				Erişilebilirlik				Kullanılabilirlik					Maliyet												
	Yerel hammadde kaynağı	Geri dönüşüm potansiyeli	Uzun ömürlülük	Düşük enerji tüketimi	Sonuç	Çekmeye dayanım	Bükülmeye dayanım	Esneklik	Neme dayanım	İşlenebilirlik	Sonuç	Düşük yamıcılık	Düşük yayılma hızı	Düşük duman oluşumu	Yönetmeliğe uygunluk	Sonuç	Hammadde erişimi	Hammadde taşınımı	Pazarlama/tedarik zinciri	Sonuç	Montaj kolaylığı	Estetik çeşitlilik	Darbe dayanımı	Nem dayanımı	Hafiflik	Sonuç	Düşük hammadde maliyeti	Düşük üretim maliyeti		Montaj maliyeti	Taşımacılık maliyeti	Düşük pazar fiyatı	Sonuç		
4F 28A KD ahşap delikli panel	•		•		X	•	•			•	•	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•	•			X		•			•	X	-
Çay yaprağı atığı	•	•		•	✓		•	•	•	•	X					X	•	•	•	•	✓	•	•		•	•	✓	•		•	•		•	✓	✓
Ahşap talaşı katkılı çimento kompoziti			•		X	•	•			•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•	•			X		•			•	X	-
Boyalı duvar yüzeyi					X		•			•	✓	•	•	•	•	✓				•	✓		•	•				X		•			•	X	-
KDx16x16x2 mm ahşap delikli panel	•		•		X	•	•			•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•	•			X		•			•	X	-
Ahşap lata	•				X	•	•			•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•	•			X		•			•	X	-
Antiaris Toxicaria bitkisi kumaşı		•		•	✓			•	•	•	X					X		•		X	•	•		•	•	•	✓			•	•		•	X	X
Microx4x4x0,5 mm ahşap delikli panel	•		•		X	•	•	•	•	•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•	•			X		•			•	X	-
LECA (Hafif Genleştirilmiş Kil Agregası)	•			•	✓	•				•	X					X	•	•		✓	•	•			•	✓	•		•	•	•		✓	✓	
6 mm ahşap lifi	•	•	•	•	✓			•	•	•	X					X	•	•	•	✓	•	•		•	•	✓	•			•	•		✓	✓	
1,6 mm ahşap	•		•		X	•	•			•	✓	•	•	•	•	✓			•	✓		•	•	•			X		•			•	X	-	
Sisal lifi		•		•	✓			•	•	•	X					X		•		X	•	•		•	•	✓				•	•		✓	X	
Hurma ağacı lifi	•	•		•	✓					•	X					X				✓	•	•		•	•	✓	•			•	•		✓	✓	
Atıklardan üretilmiş yün panel	•	•		•	✓			•	•	•	X					X	•	•		✓	•	•		•	•	✓	•			•	•		✓	✓	
Pamuk lifi	•	•		•	✓			•	•	•	X					X	•	•		✓	•	•		•	•	✓	•			•	•		✓	✓	
Su kabağı epoksi kompoziti	•	•		•	✓					•	X					X	•	•		✓	•	•		•	•	✓	•			•	•		✓	✓	
Atıklardan üretilmiş 5 mm halı	•			•	✓			•	•	•	X					X	•	•		✓	•	•		•	•	✓	•			•	•		✓	✓	
KDx16x16x3 mm delikli levha			•		X	•	•	•		•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•			X		•			•	X	-	
KD 3F 5A 3Q 8Q delikli levha	•		•		X	•	•			•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•			X		•				•	X	-
KD 3F 13A 3Q 8Q delikli levha	•		•		X	•	•			•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•			X		•				•	X	-
2F 30A DS2000 delikli levha	•		•		X	•	•			•	✓	•	•	•	•	✓	•		•	•	✓		•	•			X		•			•	X	-	
¹ Malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Kesin sonuçlar için yangın direnci kapsamında daha detaylı araştırmaların yapılması gerekmektedir.																																			

¹ Malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Kesin sonuçlar için yangın direnci kapsamında daha detaylı araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Tablo 5.3 Malzemelerin ses yutuculuk performansları açısından değerlendirilmesi (yeşil tarama: sürdürülebilir malzeme)

Malzeme	Kalınlık	Ses Yutma Katsayıları ¹						Yutuculuk Özelliği			
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Alçak Frekans	Orta Frekans	Yüksek Frekans	Eşit Ağırlıklı
4F 28A KD kodlu ahşap perfore panel	20 mm	0,45	0,54	0,38	0,22	0,20	0,16	•			
Çay yaprağı atığı	10 mm	0,09	0,10	0,12	0,13	0,16	0,41			•	
Ahşap talaşı katkılı çimento kompoziti	8 mm	0,46	0,24	0,04	0,01	0,01	0,01	•			
Su kabağı epoksi kompoziti	10 mm	0,08	0,13	0,09	0,11	0,24	0,06		•		
Antiaris Toxicaria bitki kumaşı	1,4 mm	0,01	0,01	0,02	0,04	0,15	0,42			•	
Microx4x4x0,5 mm kodlu ahşap perfore panel	20 mm	0,40	0,27	0,23	0,20	0,13	0,04	•			
Ahşap lifi	6 mm	0,30	0,20	0,20	0,10	0,05	0,05	•			
Ahşap panel	1,6 mm	0,18	0,12	0,10	0,08	0,08	0,07	•			
LECA (Hafif Genleştirilmiş Kil Agregası)	50 mm	0,12	0,24	0,80	0,88	0,85	0,75			•	
Su kabağı epoksi kompoziti	50 mm	0,32	0,56	0,76	0,84	0,84	0,84			•	
Hurma ağacı lifi	50 mm	0,66	0,96	0,40	0,62	0,88	0,79				•
Sisal lifi	50 mm	0,05	0,07	0,10	0,21	0,39	0,42			•	
Hurma ağacı lifi	30 mm	0,32	0,36	0,54	0,43	0,82	0,75			•	
Atıklardan üretilmiş yün panel	5 mm	0,16	0,37	0,58	0,77	0,78	0,69		•		
Pamuk lifi	35 mm	0,06	0,11	0,15	0,25	0,41	0,48			•	
Su kabağı epoksi kompoziti	50 mm	0,26	0,44	0,52	0,84	0,84	0,88			•	
Atıklardan üretilmiş halı	5 mm	0,04	0,06	0,10	0,18	0,36	0,62			•	
KDx16x16x3 mm perfore levha	20 mm	0,67	0,83	0,68	0,44	0,26	0,12	•			
KD 3F 5A 3Q 8Q perfore levha	20 mm	0,66	0,73	0,64	0,47	0,33	0,28	•			
KD 3F 13A 3Q 8Q perfore levha	20 mm	0,64	0,74	0,62	0,43	0,30	0,23	•			
2F 30A DS2000 perfore levha	20 mm	0,52	0,58	0,66	0,59	0,49	0,53				•

¹ Malzemenin yüzey özelliklerine, kalınlıklarına ve tespit biçimlerine göre değişkenlik gösterecektir.

Yapılan literatür çalışmalarında bazı malzemelere ait empedans tüpü ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan tasarım denemelerinde hacmin yansıma süresi hesaplanırken kullanılan yüzey gereçlerinin ses yutma katsayılarının ölçüm yöntemlerine bağlı olarak yansıma odası ve empedans tüpü ölçüm sonuçları bir arada kullanılmıştır. Ancak yansıma süresi hesabı ve akustik simülasyon çalışmaları yapılırken yansıma odası ölçüm sonuçlarının kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olduğu bilinmelidir.

5.2 Sonuç

Bu tez çalışması kapsamında, konuşma işlevli hacimler olan konferans salonlarının tasarımıyla ilgili tasarım ve hacim akustiği parametrelerine yer verilmiş, seçili bir salon üzerinde mimari tasarım parametrelerinde çeşitli düzenlemeler yapılmış; hacmin büyüklüğü 4560 m³'ten 3735 m³'e düşürülmüş, dinleyici sayısı 735 iken 670 olarak güncellenmiş ve kişi başına düşen hacim büyüklüğü hacmin işlevine bağlı olarak önerilen sınırlar arasına alınmıştır. Dinleyici alanındaki tasarım değişiklikleri ile son dinleyici görüş açısı 11°'den 23°'ye çıkarılmıştır. Tasarımda kaynak-dinleyici uzaklığını azaltmak adına balkon uygulamasına gidilmiş böylece 27 m olan salon uzunluğu, 20 m'ye düşürülmüştür. Mevcut salon tasarımında tavanda yer alan ve uzunlukları en fazla 1,50 m'yi bulan tavan levhaları tüm frekanslarda gerekli yansımaları sağlayabilmeleri adına 3,50 m ile 5,60 m arası değişen büyüklüklere ulaştırılmış ve ışın etütleri ile yansıma örgüleri belirlenmiştir. Salon mimarisinde yapılan tüm bu tasarım değişikliklerinin ardından hacim akustiği parametreleri yeniden hesaplanmış ve sürdürülebilir yüzey gereçleri ile salonda uygun akustik ortam oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi tarafından yapımı üstlenilen, Tekirdağ ili, Çerkezköy ilçesinde yer alan Atatürk Kültür Merkezi konferans salonu örnek proje olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında salonun kuramsal yaklaşımlar ile mimari ve hacim akustiği parametreleri irdelenmiş, simülasyon programı desteği ile hacim akustiği parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yeni yüzey gereci önerileri getirilerek salonda uygun akustik ortamın oluşumu sağlanmıştır (*Bakınız, Bölüm 4.2.1*).

Bu tez çalışmasının sonunda, konferans salonlarında akustik konfor koşullarının sağlanması için planlama ve tasarımla ilgili önerilen yaklaşımlar ve sürdürülebilir yüzey gereci kullanımı ile salonda uygun akustik konforun sağlanmasına yönelik kriterler aşağıdaki gibidir:

- Konferans salonu tasarımında dış gürültü etkeninden uzak bölgeler tercih edilmeli, araç hareketinin sık olduğu otoyol, demiryolu, endüstri alanları gibi bölgelerin tercihinden kaçınılmalıdır.

- Hacmin işlevine uygun hacim biçimi tercih edilmelidir. Bu biçim, konuşma işlevli hacimler için yelpaze plan tipi ve türevleri; müzikal işlevli salonlar için dikdörtgen plan tipi olmaktadır.
- Hacmin işlevine uygun hacim büyüklüğü tercih edilmelidir. Konuşma işlevli salonlar için kişi başına düşen hacim 4-6 m³/kişi sınırları arasında olmaktadır.
- Dinleyici alanı tasarımında dinleyicinin görüş açıları etüt edilmeli, bu etütlere bağlı kademelendirme sağlanmalı, öndeki dinleyiciler arkadaki dinleyicinin görüş ve işitme açısını kesmemelidir. Oturma grupları arasındaki koltuk-boşluk tasarımı uygun sınırlar içerisinde olmalı, dinleyicinin sahnedeki mimik ve hareketleri görmesi sağlanmalıdır. Kaynak dinleyici uzaklığı 20-25 m olmalıdır (*Bakınız, Bölüm 3.1.1.3*).
- Dinleyici sayısının arttırılmasının istendiği durumlarda balkon çözümleri getirilmeli dinleyici-sahne uzaklığı korunmalıdır. Balkon altı derinliği, konuşma işlevli salonlar için istenen sınır aralıklarında olmalı, akustik gölge oluşumuna neden olmayacak derinlikte tasarlanmalı, balkon derinliği balkon yüksekliğinin 2 katını aşmamalıdır.
- Görüş açısını genişletmek amacıyla derinliği fazla dikdörtgen biçimler yerine genişleyerek açılan yelpaze biçimli tasarımlar tercih edilmeli, bu tasarımlar çerçeve sahne tipiyle desteklenmelidir. İyi bir dinleyici görüş açısı için sahne yüksekliği en az 1.00 m olmalıdır.
- Sahne yakını ve tavanda yer alan yansıtıcı levhalar salonun arka bölgelerine sesi ulaştıracak şekilde tasarlanmalı, tüm frekanslarda sesi yansıtmalı ve en az 3.50 m genişliğinde olmalıdır.
- Konuşma işlevli hacimlerde yüksek tavanlar salon hacminin gereğinden fazla büyümesine neden olarak yansıma süresinin ve uzamasına ve konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz etkileyebilecek gecikmiş ilk yansımalarla neden olabilir, bu nedenle yüksek tavanlardan kaçınılmalı; tavan yükseklikleri olabildiğince azaltılmalıdır.
- Salon arka duvarları geç yansımaların oluşumuna engel olmak amacıyla yutucu yüzey gereçleri ile kaplanmalıdır.
- Odaklanma akustik kusurunun oluşumunu önlemek adına dairesel yüzeylerden kaçınılmalı, bu yüzeylerin varlığı durumunda saçıcı/dağıtıcı özellikte yüzey gereçleri kullanılmalıdır.

- Salon tasarım aşamasında akustik modeli oluşturularak simülasyonlar aracılığıyla denemeler yapılmalı, RT, EDT, C₅₀, D₅₀ ve STI gibi hacim akustiği parametrelerinin önerilen sınır değerleri karşılaması için salonun genel geometrisi, dinleyici alanı tasarımı, sahne tasarımı ile yansıtıcı, yutucu ve dağıtıcı nitelikteki akustik geçişlerinin konumlarının belirlenmesi gibi tasarım kararları bu süreçte değerlendirilmelidir. (Bakınız, Bölüm 2.2.3).
- Konuşmanın anlaşılabilirliğinin istendiği hacimlerde yansıma sürelerinin frekanslar arası ayrımları azaltılmalı, maskelenme kusur önlenmelidir. STI parametresi minimum 0,6 düzeyinde olmalı, D₅₀ tüm frekanslarda 0,5'nin üzerine çıkarılmalı ve C₅₀ pozitif değerlerinde olmalıdır.
- Mimaride akustik tasarım insan sağlığı ve konforu açısından uygun akustik konfor koşullarının oluşumunu ve kaliteli bir işitme konforu sağlamayı amaçladığından yüzey gereçlerinin kullanımı da benzer bir amaçla ele alınmalı, insan sağlığı ve konforu açısından olumsuz etkileri bulunan endüstri üretimi yüzey gereci kullanımından kaçınılmalıdır.
- Yüksek yutuculuk değerleri sağlayan plastik malzemelerin yerine, benzer yutuculuk değerlerine sahip doğal lifli kompozitlerin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.
- Doğal lifli malzeme kullanımıyla ortaya çıkan düşük yangın direnci ve düşük mukavemet dayanımı gibi seçim parametrelerine uygun olmayan sonuçlara yönelik alternatif çözümler getirilmeli, malzemeler en az zararı oluşturacak biçimde kullanılmalıdır.
- Yanıcılık ve yayılma özelliği bulunan doğal lifli malzemeler salon içerisinde olası yangın durumlarında ulaşımı zor yüksek bölgelerde konumlandırılmalıdır. Bu tür malzemelerin tümü bir arada kullanılmamalı, malzemeler yayılmayı yavaşlatıcı/önleyici ara malzemeler ile bölünerek salon içerisinde dağıtılmalıdır. Koltuk, halı gibi yüzeylerde bu tür malzemelerin kullanımından kaçınılmalı, olası yangın olaylarında yayıcılık ve duman oluşumu azaltılmalıdır.
- Doğal lifli malzemeler, çeşitli kimyasal malzemeler yardımı ile yangın direnci konusunda güçlendirilmeli, literatürde yer alan çalışmalar bu amaçla desteklenmelidir. Kullanılan kimyasallar malzemenin sürdürülebilir

yapısına zarar vermemeli, insan sağlığı ve konforunu olumsuz açıda etkilememelidir.

- Yapılan bu çalışmada olduğu gibi tek başına bir malzemenin ya da birkaç malzemenin hacim akustiğı alanındaki uygulamalarıyla sürdürülebilirlik yaklaşımını desteklemesi beklenmemeli, konu bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Literatür araştırmalarında yer alan doğal lifli malzemeler düşük frekanslardaki düşük yutuculukları ve yüksek frekanslardaki yüksek yutuculukları nedeniyle konuşma işlevli hacimlerde salonun tümünde uygulanmak için yeterli değildir. Tüm salonda bu malzemelerin uygulanması frekanslar arası ayrımların yüksek olduğu RT değerlerinin elde edilmesine neden olduğundan ve bu durum konuşmanın anlaşılabilirliğini olumsuz; düşük frekanslar için yüksek yutuculuk sağlayabilecek alternatif malzemeler geliştirilmelidir.
- Salonda kullanımı tercih edilen sürdürülebilir malzemelerin darbeye karşı dayanımı güçlendirilmeli, kullanım ömürleri uzatılarak olası yenileme maliyetleri azaltılmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalarda görüldüğü üzere, AKM konferans salonunun mimari ve hacim akustiğı parametreleri kapsamında incelemesi yapılarak bir salonun akustik açıdan değerlendirilmesi için gerekli olan uygulamalar kuramsal hesap ve simülasyon yöntemleri aracılığıyla anlatılmıştır. Sürdürülebilir yüzey gereçlerinin mimaride akustik amaçlı kullanılabilirliğine yönelik tasarım denemeleri yapılmış, literatüre kazandırılan yüzey gereçlerinin salon üzerindeki uygulamaları ile salonda akustik konfor sağlanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan üç adet tasarım denemesi sonucuna bakıldığında, literatüre kazandırılan ses yutucu sürdürülebilir yüzey gereçlerinin konuşma işlevli salonlarda uygun akustik ortamı oluşturma amaçıyla kullanılabildiği, fakat bu kullanımın müzikal işlevli salonlar için daha iyi sonuçlar verebileceği söylenebilmektedir. Sürdürülebilir yüzey gereçlerinin yutma çarpanlarının frekanslar arası ayrımının fazla olması, salonda bütüncül bir yaklaşım ile tüm yüzeylerin sürdürülebilir şekilde tasarlanması kaygısının bulunması gibi nedenlerden ötürü elde edilen RT değerleri arasında frekanslar arası ayrımlar oluşmaktadır. Konuşma işlevli hacimlerde bu ayrımın en düşük düzeyde olması istendiğinden ve bu tür ayrımların müzikal işlevli hacimlerde müziğin hareketine

katkısından ötürü, konuşmanın anlaşılabilirliğinin önem arz etmediği mekân ve salonlarda kullanımının daha kolay olduğu söylenebilmektedir.

Doğal lifli sürdürülebilir yüzey gereçlerini yine sürdürülebilir süreçlerle üretilmiş ahşap titreşen levhalarla birlikte kullanmak hacimde düzgün yanıt eğrisinin oluşturulması açısından olumlu bir seçenek olmaktadır. Bu tür malzemeler, titreşen levhaların arkasında lifli yutucu gereç olarak kullanıldıklarında geniş frekans aralıklarında yutuculuk sağlayabilmektedir.

İlerleyen çalışmalarda, bu çalışma kapsamında ele alınan sürdürülebilir yüzey gereçlerinin düşük frekanslarda yüksek yutuculuk değerleri elde edilebilen (düşük frekanslarda daha iyi yutuculuk performansı gösterebilen) ve frekanslara bağlı düşük yutuculuk ayrımı sonuçları verebilen (geniş frekans aralığında yutma çarpanları kabul edilebilir değerlerde olan) alternatiflerinin araştırma konusu olması ve bu malzemelerin eksik görüldükleri malzeme seçimi parametreleri açısından daha fazla geliştirilmesi ve uygulanabilirliklerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] G. Akın, “Paleolitik Çağ’da insanın barınma yerleri,” içinde *Paleolitik’ten Kalkolitik Çağ’a Barınma ve Yerleşim Yerleri*, 1.Baskı, Ankara, Türkiye: Alter Yayıncılık, 2018, ss. 20-25, 43-61.
- [2] Google İstatistik, “Sustainability trends,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://trends.google.com.tr/trends/explore?date=2004-01-01%202023-08-06&q=sustainability,green%20building,energy%20efficient%20building%20design,solar%20architecture,biophilic%20design&hl=tr> [Erişim tarihi: 6 Ağustos 2023]
- [3] B. Vision A, M. A. Mbishida ve T. Danjuma, “Acoustic property of NBRRI interlocking compressed stabilized earth blocks (ICSEB): A sustainable alternative for building materials,” *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, cilt 8, no. 2, ss. 89-95, Haziran 2023. doi: 10.47481/jscmt.1294558 [Çevrimiçi]. Erişim: <https://jscmt.yildiz.edu.tr/storage/upload/pdfs/1688628654-en.pdf> [Erişim tarihi: 12 Temmuz 2023]
- [4] M. Neusser, F. Dolezal ve M. Wurm, “Evaluation of the acoustic and environmental performance of different wall structures with particular emphasis on straw,” *Journal of Building Engineering*, cilt 66, no.44, ss. 1-20, Ocak 2023. doi: 10.1016/j.job.2023.105922.
- [5] T. Koizumi, N. Tsujuchi ve A. Adachi, “The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers,” *WIT Transactions on The Built Environment*, Dearborn, 19-21 Ağustos 2002, ss.157-166. doi: 10.2495/HPS020161.
- [6] S. Ersoy ve H. Küçük, “Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties,” *Applied Acoustics*, cilt 70, no.1, ss. 215-220, 2009. doi: 10.1016/j.apacoust.2007.12.005
- [7] M. H. Fouladi, M. J. M. Nor, M. Ayub ve Z. A. Leman, “Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel,” *Applied Acoustics*, cilt 71, no. 3, ss. 241-249, 2010. doi: 10.1016/j.apacoust.2009.09.003.
- [8] A. Veerakumar ve N. Selvakumar, “A preliminary investigation on kapok/polypropylene nonwoven composite for sound absorption,” *Indian Journal Of Fibre & Textile Research*, cilt 37, no.4, ss. 385-388, 2012.
- [9] M. Küçük ve Y. Korkmaz, “The effect of physical parameters on sound absorption properties of natural fiber mixed nonwoven composites,” *Textile Research Journal*, cilt 82, ss. 2043-2053, 2012. doi: 10.1177/0040517512441987.

- [10] U. Berardi ve G. Iannace, “Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications,” *Building and Environment*, cilt 94, ss. 840–852, 2015. doi:10.1016/j.buildenv.2015.05.029.
- [11] A. Putra, K. H. Or, M. Z. Selamat, M. J. M. Nor, M. H. Hassan ve I. Prasetyo, “Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibres,” *Applied Acoustics*, cilt 136, ss. 9–15, 2018. doi: 10.1016/j.apacoust.2018.01.029.
- [12] O. Keskin, “Doğal lifli kompozitlerin ses yutma performanslarının belirlenmesinde laboratuvar çalışması ve yapay zekâ yaklaşımı: Su babağı lifleri-epoksi kompoziti örneği,” Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2021.
- [13] Ses Yalıtım Rehberi, “Ses Yalıtımı – Teknik Bilgiler,” [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.sesyalitimrehberi.com/teknik-bilgiler.htm> [Erişim tarihi: 30 Nisan 2023].
- [14] A. Yavuz, “Ses kayıt stüdyosu tasarımı ve mimari akustik,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [15] Ş. Sirel, *Yapı Akustiği I Temel Bilgiler*, 2. Baskı. İstanbul, Türkiye: İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, 1980.
- [16] *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik*, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/05/20170531-7.htm> [Erişim tarihi: 12 Ekim 2023].
- [17] B. Munster, “Beyond control / Acoustics of sound recording control rooms-past, present and future,” Yüksek Lisans Tezi, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Netherlands, 2003.
- [18] Z. Kurtulan, “M.S.G.S.Ü. Sedat Hakkı Eldem Oditoryumunun hacim akustiği açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [19] M. Barron, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, 2.Baskı, New York, USA: Spon Press, 2010. ISBN: 9780419177104.
- [20] Ş. Sirel, *Hacim Akustiğinde Yansıma Süresi*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, 1981.
- [21] O. Şimşek, “Çok amaçlı salonlarda değiştirilebilir akustik Tasarım: Sinema Anadolu çok amaçlı salonu örneği,” *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, cilt 9, no. 2, ss. 360-370, 2021. doi: 10.21541/apjes.750212.
- [22] A. Budak, “Atatürk Kültür Merkezi Büyük salonunun akustik açıdan performansının değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1994.
- [23] B. Şarkışla Aydın, “Çok amaçlı salonların akustik açıdan incelenmesi: Mersin’de 3 örnek,” Yüksek Lisans Tezi, Toros Üniversitesi, Mersin, 2022.
- [24] L. L. Doelle, *Acoustics in Architectural Design*, Ottawa: National Research Council, 1995.
- [25] Ş. Sirel, *Yapı Fiziği*, 1992. [Çevrimiçi] Erişim: <https://sazisirel.com/booklets/insaat-yapifizi.pdf> [Erişim tarihi: 28 Mart 2023].

- [26] A. B. Gültekin ve S. Yavaşbatmaz, “Sustainable design of tall buildings,” *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers Gradevinar*, cilt 65, no.5, ss. 449-461, 2013. doi: 10.14256/JCE.772.2012.
- [27] E. Sakınç, “Sürdürülebilirlik bağlamında yapı fiziği konularının tasarıma etkilerinin incelenmesi,” içinde *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, İstanbul: Y.T.Ü. Kütüphane Dokümantasyon Merkezi, ss. 1-12, 2010.
- [28] F. Berber, “Ekolojik malzemenin tasarımıdaki yeri ve ekolojik malzemeyle konut tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [29] B. B. Monson and E. J. Hunter, B. H. Story “Horizontal directivity of low- and high-frequency energy in speech and singing,” *Journal of the Acoustical Society of America*, cilt 132, no.1, ss. 433–441, 2012. [Çevrimiçi]. Erişim: [Horizontal directivity of low- and high-frequency energy in speech and singing - PMC \(nih.gov\)](https://pubs.aip.org/jasa/article/132/1/433/1012121) [Erişim tarihi: 09 Haziran 2024].
- [30] D. Yalçın, *Atatürk Kültür Merkezi Konferans Salonu Mimari Projesi*, 2023. [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2023].
- [31] N. Yüğrük Akdağ, “Gürültü Denetimi 1-2 Ders Notları,” [PDF Belgesi], Erişim: <https://avesis.yildiz.edu.tr/nakdag/dokumanlar> [Erişim tarihi: 24 Kasım 2022].
- [32] Yandex, “Çerkezköy Atatürk Kültür Merkezi,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://yandex.com.tr/harita/107954/kapakli/satellite/?ll=28.000855%2C41.277804&z=18> [Erişim tarihi: 28 Mayıs 2024].
- [33] L. L. Doelle, *Environmental Acoustics*, USA: McGraw- Hill, ss. 23-98, 1972.
- [34] M. D. Egan, *Architectural Acoustics*, New York: Mc Graw Hill Book Company, 2007.
- [35] J. E. Moore, *Design For Good Acoustics and Noise Control*, London: Macmillan Education LTD, ss.138-205, 1988.
- [36] F. Z. Yüksel Can, M. N. İlgürel, “Oditoryum Akustiği 2022-2023 Güz Yarıyılı Ders Notları,” [PDF Belgesi], Erişim: <https://avesis.yildiz.edu.tr/milgurel/dokumanlar> [Erişim tarihi: 17 Kasım 2023].
- [37] M. Kavraz, *Salonların Mimari ve Akustik Açısından Tasarım Süreçleri: Gürültü Kontrolü*, 1.Baskı, Ankara, Türkiye: Gece Kitaplığı, 2019.
- [38] V. O. Knudsen ve C. M. Harris, *Acoustical Designing in Architecture*, USA: Acoustical Society of America, 1988.
- [39] Z. Maekawa, J.H. Rindel ve P. Lord, *Environmental and Architectural Acoustics*, 2. Basım, New York: Taylor & Francis e-Library, 2011. ISBN: 9780203931356
- [40] M. Long, *Architectural Acoustics*, Hollanda: Elsevier Academic Press, 2006.
- [41] B. Aytaç, “Konser salonlarının akustik konfor gereksinimleri üzerinden İzmit’te yer alan üç performans mekânının incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2023.

- [42] A. Abdou, R. W. Guy, "Spatial information of sound fields for room acoustic evaluation and diagnosis," *Journal of the Acoustical Society of America*, cilt 100, no. 5, ss. 3215-3226, 1996. doi:10.1121/1.417205.
- [43] C. L. Christensen, *Odeon Room Acoustics Program Version 7.0*, User Manual, Denmark, 2005.
- [44] S. Toktaş, "Çok amaçlı salonların akustik açıdan değerlendirilmesi: Fırat Üniversitesi Atatürk Kültür Merkezi örneği," Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, 2011.
- [45] B. Dalgıç, "Konser salonlarının mimari tasarım ilkelerinin ele alınması: Atatürk Kültür Merkezi Cumhurbaşkanlığı Senfoni Orkestrası Konser Salonu örneği," Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, 2022.
- [46] Y. Kwon ve W. G. Siebein, "Chronological analysis of architectural and acoustical indices in music performance halls," *Journal of the Acoustical Society of America*, cilt 121, no. 5, ss. 2691-2699, 2007. doi:10.1121/1.2713663.
- [47] W. J. Cavanaugh, G. C. Tocci, J. A. Wilkes ve P. Robinson, "Architectural acoustics: Principles and practice," *Noise Control Engineering Journal*, cilt 58, no. 5, ss. 557, 2010. doi:10.3397/1.3475507.
- [48] M. Nagata, "What we have learned from the listening experiences in concert halls," *Applied Acoustics*, cilt. 31, no.1-3, ss. 29-45, 1990. doi: 10.1016/003-682X(90)90052-V.
- [49] L. L. Beranek, *Concert and Opera Halls: How They Sound*, Acoustical Society of America, New York, 1996.
- [50] A. Vural, "İstanbul'da bulunan dört konser salonunun akustik açıdan değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [51] G. M. Hilbert, D. E. Baxa, A. A. Seireg, "A criteria for quantitative rating and optimum design of concert halls," *Journal of Acoustical Society of America*, cilt 71, no. 3, ss. 619-629, 1982.
- [52] N. E. Özkartal, "Konser salonlarında akustik konfor parametrelerinin analizi ve bir örnek çalışma," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2011.
- [53] M. Mehta, J. Johnson ve J. Rocafort, *Architectural Acoustics: Principles and Design*, New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- [54] M. Kanat İçöz, "Gösteri salonlarının akustik girdilere göre mekânsal ve yapısal analizi: Konya Selçuklu Kongre Merkezi," Yüksek Lisans Tezi, Necmeddin Erbakan Üniversitesi, Konya, 2020.
- [55] S. G. İlisulu, "Tiyatro salonlarının akustik açıdan değerlendirilmesi ve bir örnek çalışma: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010.
- [56] E. Türk, "İstanbul'daki salonların akustik kalitesinin incelenmesi ve değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [57] M. Bayoğlu, "İç mimaride hacim akustiğinin tasarıma etkileri," Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul, 1998.

- [58] L. L. Beranek, *Music, Acoustics and Architecture*, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1962.
- [59] A. Gimenez ve A. Marin “Analysis and assessment of concert halls,” *Applied Acoustics*, no.25, ss. 241-253, 1988.
- [60] S. Aslantaş, “Değişken akustik tasarım,” Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2020.
- [61] J. S. Bradley, “Predictors of speech intelligibility in rooms,” *Journal of Acoustical Society of America*, cilt 80, no.3, ss. 837-845, 1986. doi:10.1121/1.393907.
- [62] D. Ergin, “Gelişen teknoloji ışığında performans mekânlarında işitsel konfor gereksinimleri ve akustik tasarım yaklaşımları,” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [63] B. Aktı, “Daire planlı ve kubbe bitişli çok amaçlı salonlarda akustik performansın tasarım değişkenleri aracılığıyla simülasyon programında irdelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [64] F. Öziş ve S. Vergili, “Dinleyici-orkestra-müzisyen perspektifinde konser salonlarının akustik tasarım parametreleri,” *Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Dergisi*, no.13, ss. 35-41, 2008.
- [65] A. C. Gade, *Acoustical Survey of Eleven European Concert Halls*, Technical University of Denmark, Lyngby, Report No.44, 1989.
- [66] H. Kuttruff, *Room Acoustics*, Newyork: Elsevier Science Publishing, 1991.
- [67] ISO-3382, *Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters*, Switzerland: International Organization for Standardization, 1997.
- [68] A. H. Marshall ve M. Barron, “Spatial responsiveness in concert halls and the origins of spatial impression,” *Applied Acoustics*, cilt 62, no.2, ss.91-108, 2000. doi: 10.1016/S0003-682X(00)00050-5.
- [69] T. D. Rossing, *Handbook of Acoustics*, ABD, 2007.
- [70] N. N. Çelebi Şeker, “Salonların mimari tasarımının akustik performansa etkileri: Dikdörtgen, fan ve elman salon örnekleri,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [71] L. Cremer, A. H. Müller, ve T. Schultz, *Principles and Applications of Room Acoustics*, cilt 1, London: Applied Science Publishers, 1982.
- [72] A. F. Everest, *The Master Handbook of Acoustics*, 4. Baskı, ABD: McGraw-Hill Book Company, 2001.
- [73] M. Özer, *Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı*, İstanbul: Arpaz Matbaacılık, 1979.
- [74] H. Kul, “Eskişehir’deki salonların akustik envanter çalışması ve A. Ü. AKM Opera ve Bale Salonu’nun akustik konfor değerlendirmesi” Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2018.
- [75] M. Çalışkan, *Gürültü: Temel Kavramlar*, Ankara: Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, 2008.

- [76] Alçıder Yayınları, *Yapı Malzemesi Seçim Kriterleri ve Alçı*, Alçıder, sayı 8, ss.6-11, 2011.
- [77] Perfopan, 2024. [Çevrimiçi] Erişim: <https://www.perfopan.com/> [Erişim tarihi: 07 Eylül 2024].
- [78] F. Asdrubali, S. Schiavoni, ve K. V. Horoshenkov, “A review of sustainable materials for acoustic applications,” *Building Acoustics*, cilt 19, no. 4, ss. 283-312, 2012. doi: 10.1260/1351-010X.19.4.283.
- [79] Odeon Akustik Yazılımı, *Versiyon 9.22 Combined*, [Erişim tarihi: 10 Haziran 2024].
- [80] E.A. Darwish ve M. Midani, “The potential of date palm midribs-based fabric acoustic panels for sustainable interior design,” *Ain Shams Engineering Journal*, cilt 14, no. 6, 2023. doi: 10.1016/j.asej.2022.102100.
- [81] S. Rwawiire, B. Tomkova, J.Militky, L. Hes ve B. M. Kale, “Acoustic and thermal properties of a cellulose nonwoven natural fabric (barkcloth),” *Applied Acoustics*, no. 116, ss. 177-183, 2017.
- [82] Tarımsal Ekonomik ve Politika Geliştirme Enstitüsü, “Çay ürün raporu,” 2023. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/2023%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/%C3%87ay%20%C3%9Cr%C3%BCn%20Raporu%202023-383%20TEPGE.pdf> [Erişim tarihi: 06 Ekim 2024].
- [83] Teknik Akustik, 2024. [Çevrimiçi] Erişim: <https://yanmazsunger.net/urun/heraklit-cimento-esasli-ahsap-yunu/> [Erişim tarihi: 13 Ekim 2024].
- [84] Anadolu Ajansı, 2024. [Çevrimiçi] Erişim: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/2024-yili-yas-cay-alim-fiyati-kilogram-basina-17-lira-olarak-belirlendi/3216836> [Erişim tarihi: 13 Ekim 2024].
- [85] Aktarmarka.com, 2024. [Çevrimiçi] Erişim: <https://aktarmarka.com/kabak-lifi-ham-lif-40-50-cm?srsltid=AfmBOorHZHoCi1yhw6F2326xjqlCDSYt5eqxx1dIFbIEOpwOqsVBrPt6bxU> [Erişim tarihi: 13 Ekim 2024].
- [86] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “2024 Yılı inşaat genel fiyat analizleri,” 2024. [Çevrimiçi] Erişim: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/2--2024-insaat-genel-analizleri-20240123142613.pdf> [Erişim tarihi: 06 Ekim 2024].
- [87] Decoala Web Sayfası, 2024. [Çevrimiçi] Erişim: <https://www.decoala.com/ceviz-akustik-panel> [Erişim tarihi: 13 Ekim 2024].
- [88] W. Ahnert ve S. Schmidt, *EASERA Manual Appendix (Electronic and Acoustic System Evaluation and Response Analysis)*, t.y.
- [89] DIN-18041:2016-03, *Acoustic quality in rooms - Specifications and instructions for the room acoustic design*. Beuth Verlag, Berlin, Germany, 2016.

- [90] Ahşap Yapı Market, 2024. [Çevrimiçi] <https://www.ahsap-yapimarket.com/18-mm-parca-cam-masif-panel-200x60-u3882> [Erişim tarihi: 17 Kasım 2024].
- [91] D.J. Oldham, C.A. Egan ve R.D. Cookson, “Sustainable acoustic absorbers from the biomass,” *Applied Acoustics*, cilt 72, no. 6, ss. 350–363, 2011. doi: 10.1016/j.apacoust.2010.12.009.
- [92] J. Lavrentjev, “Green eco-friendly acoustic materials,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, cilt 1140, no. 1, ss.6, 2021. doi:10.1088/1757-899X/1140/1/012009.
- [93] Indiamart, 2024. [Çevrimiçi] <https://dir.indiamart.com/impcat/sisal-fibre.html> [Erişim tarihi: 21 Kasım 2024].
- [94] Indiamart, 2024. [Çevrimiçi] <https://dir.indiamart.com/impcat/cotton-fibers.html> [Erişim tarihi: 21 Kasım 2024].
- [95] Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri, 2024. [Çevrimiçi] https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/65895/mod_resource/content/1/lif12.pdf [Erişim tarihi: 21 Kasım 2024].
- [96] Vikipedi, “Hurma,” 2024. [Çevrimiçi] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hurma> [Erişim tarihi: 22 Kasım 2024].
- [97] GAAP Akustik, 2024. [Çevrimiçi] <https://www.gaapakustik.com/ahsap-akustik-paneller/d1-ahsap-akustik-panel/> [Erişim tarihi: 02 Şubat 2025]

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. E. Erkan ve M. N. İlgürel, “Sürdürülebilir yapı malzemelerinin mimaride akustik amaçlı kullanılabilirliğinin incelenmesi” içinde 4. *Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi Bildiri Kitabı*, 2024.

