

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SES KAYIT STÜDYOLARINDA AKUSTİK TASARIM

Murat TIRAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Fiziği Programı

Danışman

Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

Ağustos, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SES KAYIT STÜDYOLARINDA AKUSTİK TASARIM

Murat TIRAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 03.08.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

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

Prof. Dr. Ayşe ERDEM AKNESİL, Üye
Altınbaş Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Ses Kayıt Stüdyolarında Akustik Tasarım 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.

Murat TIRAŞ

İmza



Aileme

ve

biricik kızım ve eşime

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışma sürecim boyunca beni yönlendiren, geliştiren ve her zaman yardımcı olan, destekleyen tez danışmanım Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ' a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince katıldığım derslerinde çok şey öğrendiğim Doç. Dr. Mehmet Nuri İLGÜREL'e çok teşekkür ederim.

Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Fiziği bölümünde görev yapan bütün hocalarıma, böyle güzel bir eğitim modeli oluşturdukları için sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini hep yanımda hissettiğim eşim Meltem ÖZEREN TIRAŞ 'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yapılmasında sponsor olan RIST İstanbul şirketi ile Sayın Kerem KESKİN'e teşekkür ederim.

Murat TIRAŞ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xv
ÖZET	xx
ABSTRACT	xxii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	8
1.4 Yöntem	9
2 KONTROL VE KAYIT ODALARINDA AKUSTİK TASARIM	11
2.1 Kontrol Odaları	11
2.2 Kayıt Odaları.....	12
2.3 Ses Kayıt ve Kontrol Odalarında Gürültü Denetimi	12
2.3.1 Gürültü Derecesi (NR)	14
2.3.2 Gürültü Kriteri (NC)	15
2.3.3 Yönetmelik Değerleri.....	15
2.3.4 Gürültü Denetimi Malzemelerin Özellikleri	18
2.4 Hacim Akustiği Parametreleri.....	19
2.4.1 Yansıyan ve Doğrudan Gelen Ses Enerji Oranları.....	20
2.4.2 Hacim Yanıtı.....	20
2.4.3 Tarak Filtre Efeği.....	23
2.4.4 Bas Enerji Oranı.....	24
2.4.5 Mod Yoğunluğu	24
2.4.6 İlk Yansıma Gecikmesi (ITDG).....	25
2.4.7 Yansıma Süresi.....	25
2.4.8 Yansıma Süresinin Ölçülmesi	26
2.4.9 Optimum Yansıma Süresi.....	27
2.4.10 Netlik C 80, C 50	29
2.4.11 Monitör hoparlörlerin yerleşimi.....	30
2.4.12 Oda Modları	33
2.4.13 Oda Oranları	35

2.5 Akustik Ölçümler	35
2.6 Akustik Gereçler.....	37
2.6.1 Ses Yutucu Malzemeler.....	37
2.6.2 Ses Dağıtıcılar.....	44
3 KAYIT VE KONTROL ODASI AKUSTİK TASARIM	46
3.1 Kayıt ve Kontrol Odası Mimari Özellikleri	46
3.2 Kontrol Odası Akustik Tasarım.....	46
3.2.1 Mevcut Akustik Koşulların Değerlendirilmesi	48
3.2.2 İyileştirme Çalışmaları.....	56
3.2.3 Değerlendirme.....	66
3.3 Kayıt Odası Akustik Tasarım	67
3.3.1 Mevcut Akustik Koşulların Değerlendirilmesi	67
3.3.2 İyileştirme Çalışmaları.....	76
3.3.3 Değerlendirme.....	86
3.4 Kontrol ve Kayıt Odası Gürültü Denetimi	87
4 DÜZENLEME ÖNCESİ ve SONRASI HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİNİN ANALİZİ	95
4.1 Kontrol Odası.....	95
4.1.1 Yansıma Süresi.....	95
4.1.2 Netlik Parametresi	111
4.2 Kayıt Odası.....	133
4.2.1 Yansıma Süresi.....	133
4.2.2 Netlik Parametresi	147
5 KONTROL ODASI SİMÜLASYON, HESAP VE SAHA ÖLÇÜMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	166
5.1 Kontrol Odası Simülasyonu	166
5.2 T 30 ve EDT Parametrelerinin Simülasyon, Hesap ve Saha Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	168
5.3 Alıcı Noktalarına Göre Düzenleme Öncesi ve Sonrası Simülasyon ve Saha Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	174
5.3.1 T 30 Karşılaştırması	174
5.3.2 C 80 Karşılaştırması.....	184
6 SONUÇ VE ÖNERİLER	194
6.1 Kontrol Odası.....	194
6.2 Kayıt Odası.....	198

6.3 Genel Sonuçlar.....	202
KAYNAKÇA	204
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	209



SİMGE LİSTESİ

A	Etkin alan
c	Ses hızı
C_{te}	Erken'in geçe indeksi
d	derinlik (inch)
d_{min}	Minimum uzaklık (m)
D_{kritik}	Kritik uzaklık (m)
f	Frekans (Hz)
f_0	Rezonans frekansı (Hz)
h	Yükseklik (m)
l	Uzunluk (m)
L_m	Ortalama ses basınç düzeyi (dB)
N	Mod sayısı
p	Delik yüzdesi
$P(t)$	Ölçüm noktasında ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncı
Q	Ses kaynağının yönselliğİ
R	Hacim sabiti
RT	Yansışım süresi (s)
t	Efektif delik derinliğı (inch)
T_m	Ortanca yansışım süresi (s)
$\bar{T}$	Tahmini beklenen çınlama süresi (s)
V	Hacim
V_0	Referans hacim
w	Genişlik (m)
α	Ortalama yutma arpanı

KISALTMA LİSTESİ

BBC	Britanya Yayın Şirketi (British Broadcasting Corporation)
BR	Bas Oranı (Bass Ratio)
C	EN ISO 717-1'e göre spektrum uyarlama terimi 1
Ctr	EN ISO 717-1'e göre spektrum uyarlama terimi 2
C80,	Netlik
C80(3)	Netlik (500-1000-2000 Hz ortalaması)
DnT	Standard hâle getirilmiş ses seviye farkı [dB]
EBU	Avrupa Yayın Birliği (European Broadcasting Union)
EDT	Erken düşme süresi
GBI	Yeşil Bina Girişimi (Green Building Initiative)
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)
ITDG	İlk Yansıma Gecikmesi (Initial Time delay Gap)
ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union)
LAeq	Eş değer sürekli- A ağırlıklı ses basınç seviyesi[dB]
L'n,w	Sahada normalize edilmiş darbe ses basınç düzeyi [dB]
LEED	Tasarımda Enerji Verimliliğinde Liderlik (Leadership in Energy Efficiency in Design)
NC	Gürültü Kriteri Eğrileri (Noise Criteria)
NR	Gürültü Derecesi Eğrileri (Noise Rating)
PVC	Polivinül Klorür
RC	Oda Kriterleri (Room Criteria)
RFZ	Yansıma Serbest Bölgesi (Reflection Free Zone)
QRD	Quadratic Residue Diffuser

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 İzlenen yöntem basamakları.....	9
Şekil 2.1 Malzemelerin ses izolasyon performansları [28]	18
Şekil 2.2 Hacim yanıt eğrisinin tolerans sınırları [24]	21
Şekil 2.3 Hacim yanıt eğrisinin tolerans sınırları [23]	21
Şekil 2.4 Yapı yüzeylerinin hacim yanıtına etkisi (devamı) [22]	23
Şekil 2.5 Tarak filtre efekti [29]	24
Şekil 2.6 İlk yansıma noktalarına uygulanan ses yutucu malzemeler [29]	25
Şekil 2.7 ITU R-1116 standardına göre optimum yansıma süresi aralığı [24] ...	28
Şekil 2.8 EBU Tech 3276 standardına göre optimum yansıma süresi aralığı [23]	28
Şekil 2.9 BBC optimum yansıma süresi değerleri [31]	29
Şekil 2.10 Hoparlör M ile referans dinleme düzenlemesi ve monofonik ses sistemleri için izin verilen dinleme alanı [24]	31
Şekil 2.11 Stereofonik ses sistemleri için L ve R hoparlörlerle dinleme düzenlemesi [24]	32
Şekil 2.12 Çok kanallı ses sistemleri için L/C/R ve LS/RS hoparlörleriyle dinleme düzenlemesi [24]	33
Şekil 2.13 Kumaş perdenin sert yüzeyden 48 mm uzaklıktaki ses yutma katsayıları [36]	39
Şekil 2.14 Helmholtz rezonatör panel ses yutuculukları [34]	41
Şekil 2.15 Q Faktörü [29]	42
Şekil 2.16 Delikli yüzey ses yutucu malzeme uzaklığına göre ses yutum etkisi [26]	43
Şekil 2.17 7 asal sayısına göre oluşturulmuş QRD difüzör [41]	45
Şekil 3.1 Kayıt ve kontrol odası plan.....	46
Şekil 3.2 Kontrol odası ölçüm planı	48
Şekil 3.3 Kontrol odası düzenleme öncesi iç mekân görseli.....	48
Şekil 3.4 Kontrol odası düzenleme öncesi yansıma süresi değerleri.....	49
Şekil 3.5 Kontrol odasının Bolt alanı açısından değerlendirilmesi (x: Kontrol odası oda oranı)	51
Şekil 3.6 Notalara göre kontrol odası mod dağılımı [43]	55
Şekil 3.7 Kontrol 1/3 oktav frekans aralığında mod sayıları (Bonello kriteri)	56
Şekil 3.8 QRD 1120 dağıtıcı yüzey (difüzör).....	58
Şekil 3.9 Kontrol odası düzenleme sonrası görseli	58
Şekil 3.10 Düzenleme sonrası kontrol odası yansıma süreleri	61
Şekil 3.11 Kontrol odası düzenleme öncesi, sonrası T30 ve sonrası hesaplanan yansıma süresi.....	62
Şekil 3.12 Kontrol odası hacim akustiği tasarım	65
Şekil 3.13 Kayıt odası ölçüm planı	67
Şekil 3.14 Düzenleme öncesi kayıt odası yansıma süreleri	69
Şekil 3.15 Kayıt odası düzenleme öncesi dışardan görünüşü	70
Şekil 3.16 Kayıt odasının Bolt alanı açısından değerlendirilmesi (x: Kayıt odası oda oranı)	72
Şekil 3.17 Notalara göre kayıt odası mod dağılımı [43]	76

Şekil 3.18 Kayıt odası 1/3 oktav frekans aralığında mod sayıları (Bonello Kriteri)	76
Şekil 3.19 QRD 1120 dağıtıcı yüzey (difüzör).....	79
Şekil 3.20 Kayıt odası yan duvar köşe düzenleme.....	80
Şekil 3.21 Kayıt odası yan duvar Helmholtz panel yerleşimi	80
Şekil 3.22 Kayıt odası tavan helmholtz panel yerleşimi	81
Şekil 3.23 Kayıt odası düzenleme sonrası fotoğraf.....	81
Şekil 3.24 Düzenleme sonrası kayıt odası yansıma süreleri	82
Şekil 3.25 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süreleri	83
Şekil 3.26 Plan üzerinde gösterim duvar kodları.....	89
Şekil 3.27 Kesit üzerinde gösterim – döşeme kodları	90
Şekil 3.28 İç Bölme duvarlarda istenen ve sağlanacağı öngörülen en düşük ses yalıtım değerleri	93
Şekil 3.29 Döşemelerde istenen ve sağlanacağı öngörülen hava doğuşlu ses basınç düzeyleri.....	94
Şekil 4.1 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	95
Şekil 4.2 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	97
Şekil 4.3 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	98
Şekil 4.4 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	99
Şekil 4.5 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	100
Şekil 4.6 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	102
Şekil 4.7 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	103
Şekil 4.8 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri.....	104
Şekil 4.9 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması	106
Şekil 4.10 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması.....	107
Şekil 4.11 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma	108
Şekil 4.12 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması.....	109
Şekil 4.13 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması.....	110
Şekil 4.14 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	112
Şekil 4.15 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	113
Şekil 4.16 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	114

Şekil 4.17	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	115
Şekil 4.18	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	116
Şekil 4.19	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	117
Şekil 4.20	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	118
Şekil 4.21	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	119
Şekil 4.22	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	120
Şekil 4.23	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	122
Şekil 4.24	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	123
Şekil 4.25	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	124
Şekil 4.26	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	125
Şekil 4.27	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	126
Şekil 4.28	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	127
Şekil 4.29	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	128
Şekil 4.30	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	130
Şekil 4.31	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	131
Şekil 4.32	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma	132
Şekil 4.33	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri	134
Şekil 4.34	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri	135
Şekil 4.35	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri	136
Şekil 4.36	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri	138
Şekil 4.37	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri	139
Şekil 4.38	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri	140
Şekil 4.39	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması.....	142
Şekil 4.40	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması.....	143

Şekil 4.41	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma	144
Şekil 4.42	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması.....	145
Şekil 4.43	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması.....	146
Şekil 4.44	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası EDT standart sapma.....	147
Şekil 4.45	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	148
Şekil 4.46	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	149
Şekil 4.47	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	150
Şekil 4.48	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	151
Şekil 4.49	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	152
Şekil 4.50	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	153
Şekil 4.51	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	154
Şekil 4.52	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	155
Şekil 4.53	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	156
Şekil 4.54	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	158
Şekil 4.55	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	159
Şekil 4.56	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	160
Şekil 4.57	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	162
Şekil 4.58	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	163
Şekil 4.59	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma	165
Şekil 5.1	Düzenleme öncesi odeon simülasyon ölçüm noktaları.....	167
Şekil 5.2	Düzenleme sonrası odeon simülasyon ölçüm noktaları	168
Şekil 5.3	Düzenleme öncesi T 30 saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	168
Şekil 5.4	Düzenleme öncesi EDT saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	169
Şekil 5.5	Düzenleme sonrası T 30 saha ölçümü, hesap ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	170
Şekil 5.6	Düzenleme sonrası EDT saha Ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	172
Şekil 5.7	Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	174

Şekil 5.8 Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	175
Şekil 5.9 Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	176
Şekil 5.10 Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	177
Şekil 5.11 Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	178
Şekil 5.12 Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	179
Şekil 5.13 Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	180
Şekil 5.14 Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	181
Şekil 5.15 Düzenleme sonrası T 30 sonuçlarının karşılaştırılması	182
Şekil 5.16 Düzenleme sonrası T 30 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması.....	183
Şekil 5.17 Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	184
Şekil 5.18 Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	185
Şekil 5.19 Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	186
Şekil 5.20 Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	187
Şekil 5.21 Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	188
Şekil 5.22 Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	189
Şekil 5.23 Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	190
Şekil 5.24 Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	191
Şekil 5.25 Düzenleme sonrası C 80 sonuçlarının karşılaştırılması	192
Şekil 5.26 Düzenleme sonrası C 80 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması.....	193

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Manchester BBC Stüdyosu yansıma süresi değerleri (1935)	2
Tablo 1.2	Maide Vale BBC Orkestra Stüdyosu yansıma süresi değerleri	4
Tablo 1.3	Maide Vale BBC 2,3,4 ve 5 nolu Stüdyo yansıma süresi değerleri.....	4
Tablo 1.4	BBC Alexander Palace EMI Stüdyoları yansıma süresi değerleri	5
Tablo 2.1	Ses kayıt stüdyolarında kabul edilebilir NR gürültü derecesi değerleri [24]	14
Tablo 2.2	Örnek NR belirleme	15
Tablo 2.3	Ses kayıt stüdyolarında kabul edilebilir NC değerleri	15
Tablo 2.4	Çeşitli bina ve mekan işlevlerine bağlı gürültüye hassasiyet/gürültülülük dereceleri [27]	16
Tablo 2.5	Dış gürültü düzeylerine ve alıcı odası hassasiyet derecesine göre sağlanacak en düşük ses yalıtım değerleri (DnT,A, tr1,2, dB) [27]	16
Tablo 2.6	Kaynak ve alıcı odası özelliklerine göre sağlanacak en düşük hava doğuşlu ses yalıtım değerleri (DnT,A1,2, dB) [27]	17
Tablo 2.7	Kaynak ve alıcı odası özelliklerine göre sağlanacak en yüksek darbe sesi düzeyleri (L'nT,w, dB) [27]	17
Tablo 2.8	Akustik performans sınıfına bağlı izin verilen mekan içi en yüksek gürültü düzeyleri, dB [27]	17
Tablo 2.9	Yansıma süresi formülleri.....	26
Tablo 2.10	BBC optimum yansıma süresi değerleri [31]	29
Tablo 2.11	Konum ve ölçüm sayılarının en küçük değerleri [33]	36
Tablo 2.12	Helmholtz rezonatör panellerin özellikleri	41
Tablo 2.13	Rezonatör yutucularda Q faktörün yutma süresine etkisi [29]	42
Tablo 3.1	Kontrol odası düzenleme öncesi yansıma süresi değerleri	49
Tablo 3.2	Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri.....	50
Tablo 3.3	Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri.....	50
Tablo 3.4	Kontrol odası mod listesi.....	53
Tablo 3.5	Kontrol odası eksensel modlar	54
Tablo 3.6	Delikli rezonatör panel ölçüleri.....	57
Tablo 3.7	Helmholtz panel ve QRD difüzörlerin yutma çarpanları [34]	57
Tablo 3.8	Kontrol odası yansıma süresi hesap cetveli [45]	60
Tablo 3.9	Düzenleme sonrası kontrol odası yansıma süreleri	61
Tablo 3.10	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süreleri	62
Tablo 3.11	Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri	63
Tablo 3.12	Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri	64
Tablo 3.13	Düzenleme öncesi kayıt odası yansıma süreleri	69
Tablo 3.14	Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri	70
Tablo 3.15	Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri	71

Tablo 3.16	Kayıt odası mod listesi	73
Tablo 3.17	Kayıt odası eksensel modlar	75
Tablo 3.18	Delikli rezonatör panel ölçüleri	77
Tablo 3.19	Helmholtz panel ve QRD difüzörlerin yutma çarpanları (Everest & Shea, 2012)	78
Tablo 3.20	Düzenleme sonrası kayıt odası yansıma süreleri	82
Tablo 3.21	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süreleri	83
Tablo 3.22	Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri	85
Tablo 3.23	Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri	85
Tablo 3.24	Gürültü haritası	88
Tablo 3.25	Proje kodları	89
Tablo 3.26	Projedeki sınır değerler ve seçilen yapı elemanları ile sağlanacağı öngörülen değerler	90
Tablo 3.27	İç bölme duvar elemanları	91
Tablo 3.28	Döşeme elemanları	93
Tablo 4.1	Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri	96
Tablo 4.2	Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri	97
Tablo 4.3	Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri	98
Tablo 4.4	Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri	99
Tablo 4.5	Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri	101
Tablo 4.6	Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri	102
Tablo 4.7	Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri	103
Tablo 4.8	Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri	105
Tablo 4.9	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması	106
Tablo 4.10	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması	107
Tablo 4.11	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma ...	108
Tablo 4.12	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması	109
Tablo 4.13	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması	110
Tablo 4.14	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması	112
Tablo 4.15	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması	113

Tablo 4.16	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	114
Tablo 4.17	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	115
Tablo 4.18	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	116
Tablo 4.19	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	117
Tablo 4.20	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	118
Tablo 4.21	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	119
Tablo 4.22	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	121
Tablo 4.23	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	122
Tablo 4.24	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	123
Tablo 4.25	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	124
Tablo 4.26	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	125
Tablo 4.27	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	126
Tablo 4.28	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	127
Tablo 4.29	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	128
Tablo 4.30	Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	130
Tablo 4.31	Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	131
Tablo 4.32	Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma	132
Tablo 4.33	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri	134
Tablo 4.34	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri	135
Tablo 4.35	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri	137
Tablo 4.36	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri	138
Tablo 4.37	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri	139
Tablo 4.38	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri	140
Tablo 4.39	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması.....	142

Tablo 4.40	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması.....	143
Tablo 4.41	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma	144
Tablo 4.42	Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması.....	145
Tablo 4.43	Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması.....	146
Tablo 4.44	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası EDT standart sapma	147
Tablo 4.45	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	148
Tablo 4.46	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	149
Tablo 4.47	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	150
Tablo 4.48	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	151
Tablo 4.49	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	152
Tablo 4.50	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması.....	153
Tablo 4.51	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	154
Tablo 4.52	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	156
Tablo 4.53	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	157
Tablo 4.54	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	158
Tablo 4.55	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması.....	159
Tablo 4.56	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması.....	160
Tablo 4.57	Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	162
Tablo 4.58	Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması.....	163
Tablo 4.59	Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma	165
Tablo 5.1	Odeon oda koşulları.....	166
Tablo 5.2	Odeon hesaplama parametreleleri	167
Tablo 5.3	Düzenleme öncesi T 30 saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	169
Tablo 5.4	Düzenleme öncesi EDT saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	170
Tablo 5.5	Düzenleme sonrası T 30 saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	171
Tablo 5.6	Düzenleme sonrası EDT saha Ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması	172

Tablo 5.7	Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	174
Tablo 5.8	Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	175
Tablo 5.9	Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	176
Tablo 5.10	Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	177
Tablo 5.11	Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	178
Tablo 5.12	Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	179
Tablo 5.13	Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	180
Tablo 5.14	Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	181
Tablo 5.15	Düzenleme sonrası T 30 sonuçlarının karşılaştırılması	182
Tablo 5.16	Düzenleme sonrası T 30 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması.....	183
Tablo 5.17	Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	184
Tablo 5.18	Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	185
Tablo 5.19	Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	186
Tablo 5.20	Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	187
Tablo 5.21	Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	188
Tablo 5.22	Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	189
Tablo 5.23	Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	190
Tablo 5.24	Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	191
Tablo 5.25	Düzenleme sonrası C 80 sonuçlarının karşılaştırılması	192
Tablo 5.26	Düzenleme sonrası C 80 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması.....	193

Ses Kayıt Stüdyolarında Akustik Tasarım

Murat TIRAŞ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

Sesin kapalı ortamlarda dinlenmesi ve kaydedilmesi, konuşma ve müzik seslerinin gelişimiyle beraber bir ihtiyaç haline gelmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ile beraber ses kayıt cihazlarının gelişmesi, insanların sesi daha kaliteli duyma isteklerini arttırmıştır. Gürültüden kaçınmak için girilen kapalı ortamlarda ki sesin kalitesi de odaların akustik özelliklerinden etkilenecek değişmektedir. Sesin doğal halinin duyumunu etkileyen kapalı mekânların akustik özelliklerini belirlemek için birçok hacim akustiği parametresi geliştirilmiştir. Bu parametreler sesin mekâna dağılımını, zamana dağılımını, sönüm şekillerini ortaya koymaktadır. Sesin mekâna ve zamana eşit bir şekilde yayılma isteği bulunmakla beraber bu ideal ortama ulaşmak oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle ses tasarımının yapıldığı ortamlarda hacim akustiği parametrelerinin yaklaşık olarak belirlenen sınır değerler arasında olması yeterli olabilmektedir.

Kapalı mekânların rezonansları, kaydedilen sesin niteliğini değiştirerek, odanın karakterine uygun bir şekilde işitsel bir ortam oluşturmaktadır. Odanın ses karakterinin düzenlenmesi için akustik gereçler kullanılarak oda içinde akustik tasarım yapmak gerekmektedir.

Bu çalışma ses kayıt stüdyolarında yapılacak hacim akustiği tasarımını etkileyen faktörleri belirleyerek, bunların tasarım esnasında kullanımlarının esaslarını ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Bu çalışmada 43 m³ hacimli bir kontrol odası ve 26 m³ hacme sahip bir kayıt odası incelenmiştir. Akustik düzenleme yapılmamış mevcut durumlarının hacim akustiği açısından ölçümleri yapıp değerlendirdikten sonra uluslararası standartlarca belirlenmiş ölçütler gözetilerek hacim akustiği tasarımı yapıp uygulandıktan sonra tekrar saha ölçüm sonuçları alınarak tasarımın başarı durumu değerlendirilmiştir.

KS Akustik Simülasyon programı kullanılarak gürültü denetimi için uygulanabilecek yapı elemanları belirlenmiştir. Odeon 9.2 Combined Akustik Simülasyon programı kullanılarak da küçük hacimlerde hacim akustiği tasarımı belirlenirken simülasyon ve yansıma süresi hesap cetveli kullanımının farkları saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol odası, Kayıt odası, Yansıma süresi, Netlik, Akustik simülasyon



Acoustic Design in Sound Recording Studios

Murat TIRAŞ

Department of Architecture

Master Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ

Listening and recording the sound in closed environments has become a necessity with the development of speech and music sounds. With the advancement of technology, the development of audio recorders has increased people's desire to hear better quality sound. In order to avoid noise, the quality of the sound in indoor environments is also affected by the acoustic properties of the rooms. Many room acoustic parameters have been developed to determine the acoustic properties of indoor spaces that affect the sense of the natural state of sound. These parameters reveal the distribution of sound in space, distribution over time and damping patterns. Although there is a desire for sound to spread equally in space and time, it is very difficult to reach this ideal environment. For this reason, in environments where sound design is made, it may be sufficient for the room acoustic parameters to be between the approximately determined limit values.

The resonances of indoor spaces change the quality of the recorded sound and create an auditory environment in accordance with the character of the room. In order to regulate the sound character of the room, it is necessary to make an acoustic design in the room by using acoustic devices.

This study aimed to determine the factors affecting the design of room acoustics in sound recording studios and to reveal the principles of their use during design. In this study, a control room with a volume of 43 m³ and a recording room with a volume of 26 m³ were examined. After measuring and evaluating the current situations without acoustic regulation in terms of volume acoustics, the design of the design was evaluated by taking the field measurement results again after the room acoustic design was made and applied by considering the criteria determined by international standards.

By using the KS Acoustic Simulation program, the building elements that can be applied for noise control were determined. Using the Odeon 9.2 Combined Acoustic Simulation program, while determining the acoustics design in small rooms, the differences in the use of simulation and reflection time calculation sheet were analysed by comparing them with the field measurement results.

Keywords: Control room, Recording room, Reverberation time, Clarity, Acoustic simulation



1.1 Literatür Özeti

Ses kaydının doğru ve doğal bir şekilde duyulması asıl amaçtır. Sesin kayıt edildiği ortamın akustik özellikleri kaydedilen sese, frekansa bağlı olarak yeni özellikler katar. Çoğu dinleyici bu sebeple sesin orijinal halini duyamaz. Sesin orijinal halini kayıt edebilmek için kayıt odalarının ortam özelliklerini düzgünleştirecek bir şekilde akustik düzenlemesinin yapılması gerekir. Kontrol odalarında ise ses mühendislerinin kaydedilen sesi doğru duyabilmeleri ve buna göre düzenleme yapabilmeleri de oldukça önemlidir. Ses mühendisi her ne kadar kulaklıkla dinleme yaparak mimari akustik özellikleri devre dışı bırakabilse de akustik olarak iyi düzenlenmiş bir odada yapılan miks kadar olumlu sonuç elde edemeyecektir. Dinleyicilerinde bir mekan içerisinde kaydedilen sesi dinleyecekleri düşünüldüğünde, akustik düzenlemesi yapılmış odalar, ses mühendisinin kaydın nasıl duyulacağı ile ilgili doğru öngörülere sahip olarak, miks ve mastering aşamalarında orijinal sesin duyulabilmesi için gerekli müdahaleleri yapmasına olanak sağlayacaktır.

Kapalı bir mekanın akustik özelliklerinin objektif olarak incelenmesi 1895 yılında W.C. Sabin tarafından yansıma süresi formülünün oluşturulması ile başlamıştır. 1930 yılında Eyring ve 1932 yılında Millington yeni yansıma süresi formülleri geliştirmiştir. Kayda değer diğer gelişme 1935 yılında Wentle tarafından iletim düzensizliği olarak tanımlanan parametre olmuştur. Oda içerisine yavaşça değişen frekanslarda sesler verilerek mikrofon ile yüksek hızlı bir kayıt cihazına kayıt edilmiş, analiz edilen seslerin tepe noktalarının toplamından, çukur noktaların toplamı çıkarılarak elde edilen değere iletim düzensizliği parametresi denilmiştir. Bu parametrenin oda ses yutuculuğunun artmasıyla düştüğü gözlenmiştir.

1950 yılında Bolt ve Roop iletim düzensizliği parametresini revize etmiş, birbirine komşu olan tepe ve çukur farklarını alarak incelenen frekans aralığına bölmüş ve bu yeni parametreye frekans düzensizliği denilmiştir. Ancak bu objektif parametreyle subjektif değerlendirmeler arasında bağ kurulamamıştır.

1947 yılında Bolt tarafından oda modlarının istatistiksel dağılımı adlı çalışma yayımlanmış ancak istatistiksel model çakışan modları ve ayrık modları açıklayamadığı için sübjektif olarak değerlendirilememiştir[1].

Watson (1941) sönüm eğrilerinin düzensizliğinin duyulabilir olduğunu ve bu modülasyonlarla sübjektif değerlendirmeler arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir [1] .

BBC stüdyolarının akustik incelemelerinin 1930 lu yıllardan itibaren sürekli olarak yapıldığı görülmektedir. 1933 ve 1934 yılında Cardiff Stüdyoları için yapılan inceleme ve raporda 3 ayrı stüdyo için yapılan öznel ve nesnel değerlendirmeler bulunmaktadır. Orkestra için ayrılan stüdyonun yansıma süresi, boombama gibi faktörler açısından çok iyi olduğu değerlendirilirken, diğer iki stüdyonun yetersiz olduğu değerlendirilmiştir. Orkestra stüdyosunun yansıma süreleri ölçülmüş ve optimum değerler olarak değerlendirilen alt ve orta frekans bölgesi için 1,05 ile 1,27 arasında bulunduğu değerlendirilmiştir [2].

1935 yılında Howe ve McLaren tarafından BBC Manchester stüdyolarının akustik incelemesi yapılmıştır. 5 ayrı stüdyonun akustik özellikleri incelenerek yansıma süreleri ölçülüp hesaplanmıştır.. 4 ve 5 numaralı drama ve efekt stüdyoları mineral yünü ile kaplı olduğu için ölçüm yapılmamıştır. 1 numaralı Büyük Orkestra Stüdyosu, 2 numaralı Konuşma stüdyosu ve 3 numaralı genel amaçlı küçük stüdyoda yansıma süresi ölçümleri yapılmıştır. Ribbon mikrofon kullanılarak yapılan bu ölçümlerde mikrofonun duyarsız tarafı hoparlöre doğru yönlendirilmiş, 0,01 saniye duyarlı elektrik kontrollü saat kullanılmıştır [3].

Tablo 1.1 Manchester BBC stüdyosu yansıma süresi değerleri (1935)

	Hacim	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Büyük Orkestra Stüdyosu	1280m ³	1,24	1,28	1,06	0,94	0,91	0,82	0,77
Konuşma Stüdyosu	36 m ³	0,65	0,62	0,48	0,45	0,36	0,21	0,17
Genel Amaçlı Küçük Stüdyo	130 m ³	0,87	0,93	0,76	0,72	0,71	0,55	0,37

Büyük Orkestra stüdyosu için 1280 m³ hacim için belirlenen optimum yansıma süresi alt ve orta frekanslar için 1,2 saniye ile 1,45 saniye arasındır. Değerler 0,94 saniye ile 1,24 saniye arasında çıkmıştır (Tablo 1.1). Ancak raporda bu stüdyonun akustik performansının başarılı bulunduğu, orkestral dengede bir sorun yaşamayacağı belirtilmiştir.

Konuşma stüdyosunda beklenen optimum alt ve orta frekans yansıma süresi 0,4 saniye olarak belirlenmiş (Tablo 1.1) alt frekans bölgelerindeki yüksek yansıma süresine dikkat çekilmiş, bunun sebebinin 12,5 cm kalınlığındaki tuğla duvarın rezonansı olduğu düşünülmüştür. Konuşma stüdyosu için başarılı bulunmuştur.

Genel amaçlı küçük stüdyo için optimum yansıma süresi 0,65 saniye ile 0,8 saniye arası belirlenmiştir (Tablo 1.1). Uzunluğun genişliğe oranı 2/1 olduğu için kullanışsız olarak nitelendirilmiş, genişliğin hakim boyut olarak kullanılması ve doğru mikrofon konumlandırmalarıyla iyi akustik koşullar elde edilebileceğı belirtilmiştir.

Howe, McLaren ve Newman (1936) tarafından hazırlanan BBC Maide Vale stüdyolarının akustik inceleme raporunda, 5 ayrı stüdyonun yansıma süresi ölçüm sonuçlarını yayınlarak yorumlamışlardır (Tablo 1.2, Tablo 1.3). 6512 m³ hacimli ilk stüdyo BBC senfoni orkestrası için tasarlanmış, 119 icracı bulunabilmektedir. BBC uygulamalarında bu hacim için belirlenen optimum yansıma süresi 1,9-2,4 saniye arasında olduğu belirtilmiştir. Çatı şeklinden dolayı 120 cm ve 240 cm yükseklikte iki ayrı ölçüm yapılmıştır. 5 ayrı mikrofon pozisyonu her yükseklik için kullanılmıştır [4].

Stüdyo 2 ve Stüdyo 3 için hacme bağı olarak belirlenen optimum yansıma süresi 1,33-1,63 saniye arası belirlenmiştir. Yaklaşık aynı hacme sahip bu iki stüdyodan stüdyo 2 kırık duvar yapısına sahiptir. Öznel olarak kırık duvarların yansıma süresi ölçüm sonuçlarına göre daha ölü bir ses ortamı yarattığı ve kafa karıştırıcı bir arka plan oluşturduğu değerlendirilmiştir. Orkestra için kötü bir akustik ortam olduğu, ancak askeri bando için iyi bir akustik ortam olduğu düşünülmüştür [4].

Stüdyo 4 ve Stüdyo 5 için optimum yansıma süresi olarak 1,1-1,3 saniye arası belirlenmiştir. Bu iki stüdyo için yansıma süresini yüksek değerlendirmesi yapılmış,

paralel olmayan duvarların akustik özelliklere bir katkı sağlamadığı düşünülmüştür.

Tablo 1.2 Maide Vale BBC orkestra stüdyosu yansıma süresi değerleri

1 Nolu Stüdyo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
120 cm Yükseklik	3,30	2,83	3,05	2,79	2,24	1,73	1,43	0,95
240 cm yükseklik	---	3,16	3,52	2,71	2,25	1,74	1,32	1,08
Ortalama	---	3,00	3,28	2,75	2,25	1,74	1,37	1,02

Tablo 1.3 Maide Vale BBC 2,3,4 ve 5 nolu stüdyo yansıma süresi değerleri

	Hacim	62 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Stüdyo 2	1713 m ³	3,04	3,13	2,21	1,62	1,64	1,51	1,14	0,82
Stüdyo 3	1781 m ³	4,32	3,05	2,27	1,79	1,76	1,56	1,21	0,89
Stüdyo 4	719 m ³	2,64	2,01	1,81	1,41	1,30	1,17	0,85	0,70
Stüdyo 5	736 m ³	2,44	2,24	2,02	1,44	1,38	1,21	0,83	0,70

1937 yılında Howe, Newman ve McLaren BBC Alexander Palace stüdyolarının akustik özelliklerini incelemiştir. İki ayrı stüdyo için yapılan çalışmada doğru durdurma saati kullanılarak yansıma süresi ölçülmüştür (Tablo 1.4). 35 ile 40 dB arasında bir düşüş süresi yansıma süresi olarak kabul edildiği çalışmada belirtilmiştir. Bu saat kullanımının özellikle 1 saniyenin altında olan yansıma sürelerinde hata verdiği, bu sebeple Neuman Pegelschreiber aparatı kullanılarak ölçüm EMI stüdyosu için tekrarlanmıştır (Tablo1.4). Yenilenen sonuçlarda daha düşük değerler bulunmuştur [5].

Tablo 1.4 BBC Alexander Palace EMI stüdyoları yansıma süresi değerleri

	62 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EMI (Saat Ölçümü)	1,31	1,16	0,93	0,86	0,87	0,78	0,77	0,75
EMI (Neuman aparatu)	1,00	0,92	0,78	0,74	0,79	0,71	0,66	0,50

Neuman' ın geliştirdiği yüksek hızlı ses kaydedici 1936 yılından itibaren BBC araştırmalarında kullanılmıştır. 1939 yılında 2.Dünya savaşının başlamasıyla beraber araştırmalar durmuş, 1946 yılından itibaren birçok yüksek hızlı ses kaydedici cihaz geliştirilmiştir.

Harwood ve Lansdowne stüdyo yüksekliğinin ses kalitesine olan etkisini belirlemek için model bir stüdyonun orijinal tavanını önce %30 ve daha sonra %60 yükselterek yansıma süresi değerlerini belirlemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda stüdyo yüksekliğinin artırılmasının yansıma süresi değerlerini arttırdığı gözlenmiş ve ses yutucu materyaller kullanılarak yansıma süresi değerlerinin ilk durumuna gelmesi gözlenmiştir. Yansıma süresi değerlerinin eşitlendiği durumda ses kalitesinde farklılık bulunmamıştır [6].

Jovanovic (1996) BK Televizyon stüdyolarında akustik iyileştirme çalışmasını yapmıştır. Oda rezonanslarını, arka plan gürültü düzeylerini ve yansıma süresini belirleyip akustik iyileştirme önerisini geliştirmiştir. Yapılan akustik iyileştirme sonucunda elde edilen yeni değerleri paylaşmıştır. İki tip ses yutucu panel tasarlayarak bunları stüdyonun duvarlarına dağıtmış, optimum yansıma süresini elde etmiştir [7].

Stamac ve arkadaşları (1997) bir müzik stüdyosunun kontrol odası için iyileştirme gerçekleştirmişlerdir. Tasarım kriteri olarak ilk 50 ms içinde tonmaystere ulaşan yansımaların doğrudan gelen sese göre 15 dB daha düşük düzeyde olmasını sağlayarak yansımadan bağımsız bölge (RFZ) oluşturmayı hedeflemişlerdir. Bas sesleri yutmak için delikli panel yutucular kullanmış, ses dağıtıcı olarak da N=11 ve N=19 asal sayılarına göre oluşturulmuş QRD difüzörleri tercih etmişlerdir.

Sonuç olarak optimum değerlere ulaşılmış ve sübjektif değerlendirmelerde de oldukça başarılı bulunmuştur [8].

Ses kayıt stüdyolarındaki çeşitli akustik düzenekler kullanılarak uygun akustik koşulların oluşturulması ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kaminska ve arkadaşlarının (2013) yaptığı çalışmada QRD difüzörlerin ses kayıt stüdyolarında vurgusal yankı problemini ortadan kaldırdığını göstermiştir. 7 asal sayısına göre dizayn ettikleri difüzörü stüdyoya uygulayarak hacim yanıtında ki düzelmeyi göstermişlerdir [9].

Rizzi ve Nastasi (2008) alçı duvar yapılarının stüdyolarda ki alt frekans ses yutum performanslarını sorguladıkları çalışmalarında kütle-boşluk-kütle şeklinde konumlandırılan alçı duvarların alt frekans bölgelerinde taş duvar yapılarına göre daha fazla rezone olup, ses yutumu gerçekleştirdiğini göstermiştir. Oda mod frekanslarının etkinliğinin alçı duvar yapılarının olduğu stüdyolarda, alt frekans ses yutumunun daha fazla olmasından dolayı azaldığı görülmüştür [10].

Zhang ve arkadaşlarının (2018) yaptıkları çalışmada bir sanat okulunun kayıt stüdyosunda yaptıkları iyileştirme sonucunda arka plan gürültü seviyesi, yansıma süresi, ve sesin mekan içerisine düzgün dağılımını incelemişlerdir. Ses izolasyonu için kapı ve pencerelerde yenileme yapılmış, mekân içerisinde orta ve üst frekans ses yutucu kumaş kaplı paneller arttırılmış, ses dağıtıcı elemanlar yan duvarlarda kullanılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucu ilk duruma göre iyileştirmelerin sonuç verdiği, arka plan gürültü seviyesinin istenen değerlere geldiği, sesin mekân içerisine dağılımının düzgünleştiği ve yansıma süresi değerlerinin düştüğü görülmüştür. Mekânın farklı noktalarında ölçülen yansıma süresi değerlerinin birbirlerine yakınlığına bakılarak sesin düzgün dağılımı analiz edilmiştir [11].

Hak (2010)' in kontrol odalarının akustik özelliklerinin konser salonlarında yapılan kayıtların algılanması üzerine yaptığı çalışmada, kontrol odalarının akustik tasarımı için ITU standartlarının, konser salonu kayıtlarındaki yansıma süresinin algılanması ve konuşmanın anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi için yeterli olduğunu, kaydın daha detaylı değerlendirilmesinde 0,15 saniyeden daha düşük yansıma süresine ihtiyaç olduğu ve binoral konser salonu kaydının doğru bir genişlik değerlendirilmesi için kulaklık kullanımı gerektiği bulunmuştur [12].

Milan (2005)' in ses kayıt stüdyoları ve kontrol odalarının subjektif değerlendirilmesi için oluşturduğu puan sistemi bazı akustik parametrelerin puanlanması sonucu kayıt stüdyosuna 10 puan üzerinden bir değerlendirme yapmayı sağlamaktadır. Kullandığı parametreler yansıma süresi, oda modlarının dağılımı, arka plan gürültü seviyesi, difüzyon oranı, ayarlanabilir akustik gereçler, canlı-ölü bölge varlığı, düzgün yansımaların varlığı olarak sıralanmıştır [13].

Blaszak' ın yaptığı çalışmada farklı ortalama ses yutum katsayısına sahip odaların Schroder frekansı ve oda mod dağılımı ve kabul edilebilir oda oranlarının genişliğini nasıl değiştirdiğini gözlemlemiştir. Mod dağılımının düzgünlüğünü sadece oda oranlarının değil, ortalama yutuculuk katsayısının da değiştirdiğini belirlemiştir. Daha fazla yutuculuk katsayısının daha düşük Schroder frekans değeri ve daha geniş kabul edilebilir oda oranı oluşturduğunu göstermiştir [14].

Zhou ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada dikdörtgen şekilli bir odanın farklı yutma yüzey dağılımlarına sahip halleri modellenmiş ve uygulanmıştır. Farklı uygulamaların T 20 ve EDT verileri saha ölçümleri ile elde edilmiş ve hesaplama sonucu elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Düzgün dağılımlı ses yutma yüzeylerine sahip odanın yansıma süresi değerlerinin Eyring formülü ile hesaplanan değerlere yakın olduğu gözlemlenmiştir [15].

Rabisse ve arkadaşları oda yüzeylerinin düzensiz yapılarının oluşturduğu sesin dağılma ve saçılma etkilerini ortaya koyacak bir sayısal model oluşturmak için yaptıkları çalışmada teorik sonuçları yarı yankısız odada ki sonuçlar ve normal bir odada ki sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Üç ayrı durum için yansıma sürelerinin 630 Hz' den itibaren benzer çıktıklarını bulmuşlardır [16].

Schmalle ve arkadaşları küçük odalarının doğru bir şekilde simüle edilebilmesi için bir model geliştirmek için yaptıkları çalışmada simülasyon yazılımının hoparlör yerleştirmeleri için kullanılabileceğini gerçek saha ölçümleri ile karşılaştırarak göstermişlerdir [17].

Benny ve Mac Nelly Viktoria Üniversitesi Müzik okulunun kayıt ve kontrol odası akustik düzenlemesini yapmışlardır. Öncelikli olarak vurgusal yankı ve mod dağılımları incelenmiş, ITU standardına göre optimum ulaşılması gereken yansıma süresi değerleri bulunmuştur. Akustik gereç olarak ses yutucu paneller

ve QRD difüzörler kullanılmıştır. Odeon akustik simülasyon programı kullanılarak reflectogram grafikleri çıkarılmıştır. Duvarlara uygulanan çift alçıpanlı duvarların 63 ve 125 Hz bölgelerindeki yansıma süresi değerlerini yükselttiği belirtilmiş, aynı zamanda miks masası ve gözlem penceresinden gelen yansımalar nedeniyle ilk yansıma düzeyinin yeterince aşağı çekilemediği belirtilmiştir [18].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, ses kayıt stüdyoları için hacim akustiği tasarımı etkileyen parametrelerin belirlenmesi ve bu parametrelere yönelik optimum koşulların ortaya konmasıdır. Çalışmada 43 m³ hacimli kontrol odası ve 26 m³ hacimli kayıt odasına sahip bir kayıt stüdyosu değerlendirmeye alınmıştır. Her iki hacmin de mevcut akustik durumları incelenmiş ve uluslararası standartlarca belirlenmiş ölçütler gözetilerek hacim akustiği tasarımı yapıp uygulandıktan sonra tekrar saha ölçüm sonuçları alınarak tasarımın başarı durumu değerlendirilmiştir. Ayrıca ODEON 9.2 Combined akustik simülasyon programı [19] kullanılarak düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası akustik koşullar belirlenmiş ve saha ölçümleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bununla beraber hacimler gürültü denetimi açısından incelenmiş, KS Simülasyon programı kullanılarak, yapılacak uygulamanın gürültü denetimi parametreleri açısından etkinlikleri ortaya konulmuştur.

Bu çalışma ses kayıt ve dinleme ortamlarının gerçek saha koşullarında düzenlenmesi ve raporlanması açısından özgündür. Araştırma içerisindeki bilgilerin, stüdyo kurulumu yapacak kişilere ve araştırmacılara bir veri kaynağı olması hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

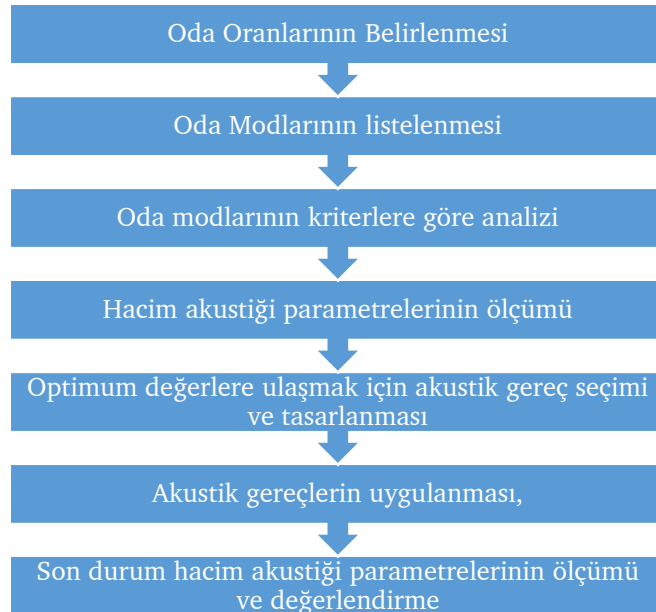
Ses kayıt stüdyolarında bulunan kayıt ve kontrol odalarının hacim akustiği düzenlemelerinin yapılması, bu odalarda alınacak kayıtların ve yapılacak ses düzenlemelerinin sağlıklı olması için gereklidir. Bu odalar için belirlenmiş uluslararası kriterler gözetilerek hacim akustiği tasarımı yapılmalıdır. Bu tür küçük odalarda yansıma süresi, netlik parametrelerinin dışında oda modları da önem kazanmaktadır. Oda modlarının frekans değerlerinin yanında olduğu

eksenlerinde belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle alt frekans bölgelerinde oluşan oda modlarının hacim yanıtına olan etkilerinin incelenmesi ve akustik gereçlerin kullanımı ile bunların etkilerinin azaltılması gereklidir. Akustik gereç olarak kullanılacak helmholtz rezonatör panellerin bu modların etkisini azaltarak, ilgili frekans bölgelerinde ki yansıma sürelerini de azaltacağı düşünülmektedir.

Orta ve üst frekans bölgelerinde yayınlık ses alanı oluşturmak için kullanılacak QRD ve skyliner difüzörlerin ses yutumunu arttıracığı ve bunun sonucu olarak yansıma süresi değerlerini azaltacağı beklenmektedir.

1.4 Yöntem

Kayıt ve kontrol odalarının hacim akustiği tasarımı yapılırken ulaşılması beklenen optimum yansıma süresi değerlerinin elde edilmesi ve oda rezonanslarının yaratacağı olumsuz duyum özelliklerinin giderilmesi için ses yutucu ve dağıtıcı malzemelerin tasarımı ve konumlandırılması önem kazanır. Bu çalışmada kontrol ve kayıt odası olacak iki odanın düzenleme öncesi yansıma süresi ölçümleri yapıp, oda modları belirlenip hacim akustiği tasarımı yapılmıştır. Tasarımın uygulanmasının ardından son ölçümler yapıp planlanan optimum değerlere ulaşıp ulaşılmadığı değerlendirilmiştir. İzlenen yöntem Şekil 1.1’ de sistematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1 İzlenen yöntem basamakları

Sonuçların değeriendirilmesi için saha ölçümü, akustik simülasyon ve yansıım süresi hesap cetveli kullanılarak elde edilen hacim akustiğı parametreleri analiz edilmiştir.



2

KONTROL VE KAYIT ODALARINDA AKUSTİK TASARIM

2.1 Kontrol Odaları

Kontrol odaları sesi işlemek için kayıt ve elektronik işleme ekipmanlarını barındırır. Kontrol odasının en önemli bileşeni ses kanallarının bir ana kayıt cihazına monte edildiği miks konsoludur. Kontrol odası ses işleme için bir çalışma alanı, stüdyonun sosyal merkezi ve ana müşteri sunum alanı olarak işlev görür. Bu nedenle birkaç farklı işlevi yerine getirmesi gerekir.

Stereo veya çok kanallı miks odası olarak kullanılan kontrol odasının bir dizi tasarım özelliği içermesi gerekir [20].

1. NC 15- NC 20 aralığında gürültü kriterine sahip olması
2. Stüdyo ve makine odalarıyla arasında yüksek ses yalıtımı
3. Boyuna merkez çizgisi etrafında eksenel simetri
4. Yeterli yutma ve yansıma kontrolü
5. Miks yapılacak formatlara göre hoparlör yerleşimi
6. İlk yansıma yüzeylerinin miks konumundan uzağa sapması
7. Diyafram emiciler, helmholtz rezonatör paneller veya hoparlör yerleştirme yoluyla bas kontrolü
8. Elektronik cihazların bakımı ve kurulumu için kablo ve ekipman raflarına kolay erişim
9. Stüdyo alanları ile iyi görsel iletişim
10. Yan duvar ve arka duvar difüzyonu
11. Video oynatma ile ses koordinasyonu için video monitörü
12. Stüdyo, kontrol odası ve merkezi depolama alanları arasında ses ve videoyu yönlendirme yeteneği
13. Gürültü ve aşırı termal yük oluşturmeyen depolama ortamı

Kontrol odaları müşteri sunumu ve sosyal merkez olarak aşağıda yer alan özelliklere sahip olmalıdır:

1. Müşteri ve ziyaretçiler için rahat oturma ve iyi görüş açıları

2. Ana stüdyodan konuşma izolasyonu
3. İnternet veya diğer yüksek hızlı bilgisayar bağlantıları dahil olmak üzere elektronik ara yüzler
4. Masa veya sıra gibi düz bir çalışma alanı
5. Özel görüşmeler için ayrı odalar

2.2 Kayıt Odaları

Kayıt odaları müziğin çalındığı ve kaydedildiği bir veya daha fazla odadan oluşur. Müzisyenler aynı anda hazır bulunarak kayıt yapılabilirdiği gibi ayrı ayrı da kayıt alınabilir. Kaydedilmiş müziği bir yerden bir yere elektronik olarak gönderme yeteneği ile müzisyenler, farklı kayıt odalarında performanslarını kaydedebilirler. Müzisyenler aynı anda çalarken, seslerin diğer mikrofonlara akmasını önlemek için ayrı odalar tercih edilebilir. İzolasyon kabinleri farklı akustik ortamların oluşturulmasına yardımcı olabilir.

İyi bir kayıt odası aşağıdaki özellikleri taşımalıdır [20]:

1. NC 10 ile NC 15 arasında bir gürültü kriteri
2. Diğer alanlardan gürültü yalıtımı
3. Vurgusal yankı gibi akustik kusurların önlenmesi
4. Yeterli ses yutumu
5. Yeterli difüzyon
6. Bireysel enstrümanları kaydetmek için izole alanlar
7. Kontrol odası ve kayıt odaları arasında görsel iletişim
8. Bas yankılanmasının ve mod oluşumunun denetimi

2.3 Ses Kayıt ve Kontrol Odalarında Gürültü Denetimi

Ses kayıt stüdyolarında arka plan gürültü seviyesi minimum seviyelerde olmalıdır. İyi bir gürültü denetimi planlamasıyla bunu başarmak mümkün olabilir. Öncelikli olarak stüdyonun konumu şehir ve trafik gürültüsünden uzak bir noktada seçilebilir. Bu sağlanabilirse gürültü kontrolü için harcanacak bütçe azaltılabilir. Ancak müşterilerin ulaşımı açısından genelde ses kayıt stüdyoları şehir merkezlerinde konumlanmayı tercih etmektedir.

Gürültü kontrolünün ilk basamağı mekanları doğru planlamaktır. Birbirine komşu olacak mekanların gürültüye karşı hassasiyet dereceleri önem arz eder. Gürültüye karşı çok hassas olan mekanları komşu olarak planlarsak, gürültü kontrolü için harcayacağımız bütçe artacaktır.

Gürültü kontrolü iki yönlü düşünülmesi gereken bir olaydır. İçeriden dışarıya çıkan ve gürültüye karşı hassas komşuları rahatsız edecek sesin engellenmesi ve içeriden dışarıya giren kayıt ve dinleme ortamındaki faaliyetleri olumsuz etkileyen, dinamik aralığı düşüren gürültünün engellenmesi. Yapacağımız izolasyon iki amaca da hizmet edecektir.

Başarılı bir gürültü kontrolü planlaması için arka plan gürültü seviyesi ile servis ekipmanı gürültü seviyeleri arasında ki ayrımın yapılması gerekir. Arka plan gürültü seviyesi, havalandırma sisteminin mekân içerisinde oluşturduğu gürültü seviyesidir. Servis ekipmanı gürültü seviyesini ise dışarıdaki veya içerideki gürültü kaynakları oluşturur. Bu kaynaklar mekanik ekipmanlar (fanlar, komperasörler, asansörler...) olabileceği gibi dışarıdan gelen komşu etkinliklerin gürültüleri, trafik gürültüsü de olabilir. Arka plan gürültü seviyesi NC veya RC gibi tek bir sayı ile ifade edilen grafiklerle belirlenebilir. Servis ekipmanı gürültü seviyeleri ise bu grafiklerin verdiği değerlerden 5 ile 10 dB arasında daha az değerler de olmalıdır [21].

Profesyonel stüdyolar için arka plan gürültü seviyesi 20 dBA değerinin altında olması gerekir. Bu değeri frekanslara göre takip etmek istersek NR 20 veya NC 20 grafiklerinin altında kalan ses düzeylerini göz önüne almamız gerekir. Kayıt odalarında arka plan gürültü seviyesi 30 dBA seviyelerine gelirse, mikrofon bu sesleri kaydı bozacak seviyede alacak ve kaydın netliği azalacaktır. Bir enstrümanın veya sesin tonundaki çok önemli düşük seviyeli bilgiler maskelenebilecektir. Kontrol odalarında ise en az kayıt odasındaki kadar düşük arka plan gürültü seviyesi hedeflenmelidir. Kontrol odalarında ki yüksek arka plan gürültü düzeyleri kaydın arka plan gürültü seviyesini izlenemez kılacak ve maskeleyecektir [22].

Kontrol odaları için ITU R-BS 1116 ve EBU Tech 3276 standartlarında belirlenen arka plan gürültü seviyeleri NR 10 ve NR 15 eğrileridir. Havalandırma sistemleri

iç mekan ekipman gürültüleri ve dışarıdan gelen gürültülerin oluşturduğu devam eden arka plan gürültü düzeyinin tercihen NR 10 (Tablo 2.1) ile belirlenmiş düzeyleri aşmaması gerekir. Hiçbir koşulda NR15 (Tablo 2.1) eğrisi düzeylerini aşmaması gerektiği belirtilmiştir [23][24].

Tablo 2.1 Ses kayıt stüdyolarında kabul edilebilir NR gürültü derecesi değerleri [24]

NR Eğrileri	Frekans							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	43,4	30,7	21,3	14,5	10,0	6,6	4,2	2,3
15	47,3	35,0	25,9	19,4	15,0	11,7	9,3	7,4

Gürültü denetiminin yapılabilmesi için gürültünün özelliklerini gösterecek fiziksel niceliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar L(1,10,50,90), Leq, LAeq, NR, NC, RC, NCB değerleridir.

2.3.1 Gürültü Derecesi (NR)

Gürültü derecesi veya NR eğrileri, işitme koruması, konuşma iletişimi ve rahatsızlık için kabul edilebilir gürültü düzeylerini belirlemek için Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından geliştirilmiştir. NR eğrileri genel olarak Avrupa da kullanılmaktadır.

Her frekans bandı için geçerli olan NR eğri numarası, o bantta aşılmayan en yüksek sayısal değerdir. Genel NR değeri frekans bantları için belirlenen değerlerin en yükseğidir.

Örneğin 1:1 oktav bantlarında ölçüm sonucuna göre belirlenen NR değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablo 2.2' de gösterilen NR değerlerinden en yüksek NR 62 olduğu için ortamın gürültü derecesi NR 62 olmuştur [25].

Tablo 2.2 Örnek NR belirleme

Frekans	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Oktav bant düzeyi dB	74,1	75,3	68,9	59,6	49,3	42,9	41,0	35,8
NR değeri	NR 49	NR 62	NR 61	NR 51	NR 49	NR 45	NR 47	NR 43

2.3.2 Gürültü Kriteri (NC)

ABD’ de oluşturulan NC eğrileri havalandırma sistemlerinden gelen iç mekan gürültüsünü derecelendirmek için oluşturulmuştur. NC eğrileri boyunca şekillenen gürültü hem gürleme hem de tıslamasesi çıkaracak şekildedir. NC eğrileri, en iyi spektrum şekline sahip olacak şekilde değil, gürültü rahatsız edici olmadan tatmin edici konuşma iletişimine izin verecek şekilde şekillendirilmiştir [26]. Ses kayıt stüdyolarında kabul edilebilir NC değerleri Tablo 2.3’ de ki gibidir.

Tablo 2.3 Ses kayıt stüdyolarında kabul edilebilir NC değerleri

NC Eğrileri	Frekans					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Duyma sınırı	22	13	8	5	3	0
15	36	29	22	17	14	12
20	41	33	26	22	19	17

2.3.3 Yönetmelik Değerleri

Binaların gürültüye karşı korunması yönetmeliğinin eklerinde yer alan tablolar kullanılarak, ses kayıt ve kontrol odalarında olması gereken ses geçiş kaybı ve arka plan gürültü seviyeleri belirlenebilmektedir.

Kayıt ve kontrol odaları için kaynak ve alıcı olma durumu Binaların gürültüye karşı korunması yönetmeliğinin eklerinde yer alan tabloda yüksek gürültülülük derecesi ve alıcı hassasiyeti olarak da 1.derece hassasiyet belirlenmiştir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4 Çeşitli bina ve mekan işlevlerine bağlı gürültüye hassasiyet/gürültülülük dereceleri [27]

BİNA ÖLÇEĞİNDE			MEKAN ÖLÇEĞİNDE		
BİNA İŞLEVİ	KAYNAK OLMASI DURUMU	ALICI OLMASI DURUMU	MEKAN	KAYNAK OLMASI DURUMU	ALICI OLMASI DURUMU
	Gürültülülük Derecesi	Hassasiyet Derecesi		Gürültülülük Derecesi	Hassasiyet Derecesi
Kültürel Tesisler	OG	I	Tiyatro-Konferans Salonları-Oditoryum	YG	I
			Sinema Salonları	YG	I
			Konser Salonları	YG	I
			Müzeler	OG	II
			Kütüphaneler	DG	I
			Müzik-TV Stüdyoları	YG	I
			Sirkülasyon Alanları ¹	OG	III
			Teknik Merkezler	YG	III

Dış gürültü düzeyine göre belirlenen en düşük ses yalıtım değeri olarak alıcı hassasiyeti 1 ‘ e göre L_{gag-22} yalıtım değeri hedef olarak belirlenebilir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5 Dış gürültü düzeylerine ve alıcı odası hassasiyet derecesine göre sağlanacak en düşük ses yalıtım değerleri ($DnT,A, tr1,2$, dB) [27]

ALICI ODASI HASSASİYET	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI ^{3,4}					
	A	B	C	D	E	F
I	L_{gag-14}	L_{gag-18}	L_{gag-22}	L_{gag-26}	L_{gag-30}	L_{gag-34}
II	L_{gag-17}	L_{gag-21}	L_{gag-25}	L_{gag-29}	L_{gag-33}	L_{gag-37}
III	L_{gag-20}	L_{gag-24}	L_{gag-28}	L_{gag-32}	L_{gag-36}	L_{gag-40}

Ses kayıt stüdyoları için Yüksek seviye gürültü ve 1. Derece alıcı hassasiyeti kabul edebiliriz. Bu kabul sonucunda tablodan elde ettiğimiz DnT,A değeri 58 olmaktadır (Tablo 2.6).

Tablo 2.6 Kaynak ve alıcı odası özelliklerine göre sağlanacak en düşük hava doğuşlu ses yalıtım değerleri (DnT,A1,2, dB) [27]

KAYNAK ODASI GÜRÜLTÜLÜLÜK DERECESİ	ALICI ODASI HASSASIYET	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI ^{3,4}					
		A	B	C	D	E	F
Yüksek Seviye Gürültü (YG) $L_{AF,max} > 75$ dB	I	68	64	58	54	50	46
	II	65	61	55	51	47	43
	III	62	58	52	48	44	40

Kaynak odası yüksek gürültü düzeyi için elde edilmesi gereken en yüksek darbe sesi düzeyi 48 olarak belirlenebilir (Tablo 2.7).

Tablo 2.7 Kaynak ve alıcı odası özelliklerine göre sağlanacak en yüksek darbe sesi düzeyleri (L'nT,w, dB) [27]

KAYNAK ODASI GÜRÜLTÜLÜLÜK DERECESİ	AKUSTİK PERFORMANS SINIFI ²					
	A	B	C	D	E	F
Yüksek Seviye Gürültü (YG)	40	44	48	52	56	60
Orta Seviye Gürültü (OG)	46	50	54	58	62	66
Düşük Seviye Gürültü (DG)	50	54	58	62	66	70

Ses kayıt stüdyoları için arka plan gürültü seviyesi yönetmelikte C sınıfı performans için 29 dB kabul edilmiştir (Tablo 2.8).

Tablo 2.8 Akustik performans sınıfına bağlı izin verilen mekan içi en yüksek gürültü düzeyleri, dB [27]

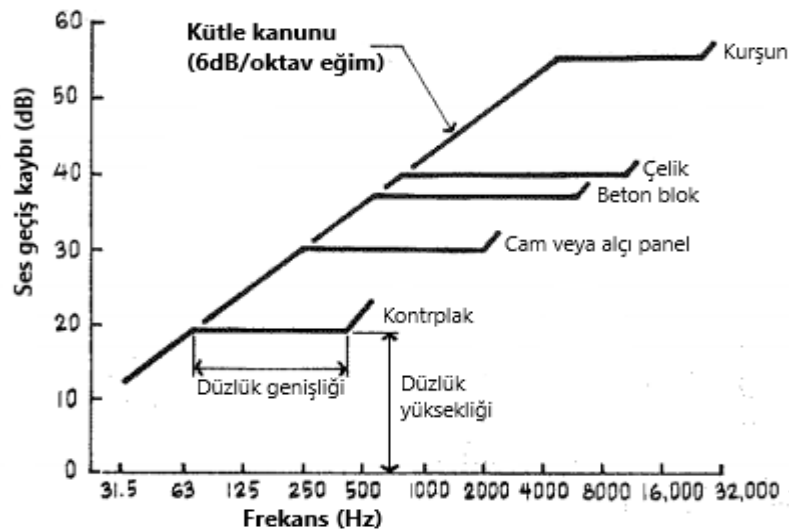
BİNA İŞLEVİ	MEKAN	ZAMAN DİLİMİ Gece: 23.00 – 07.00 Akşam: 19.00 – 23.00 Gündüz: 07.00-19.00	İç gürültü düzeyi, L_{Aeq}^3					
			AKUSTİK PERFORMANS SINIFI					
			A	B	C	D	E	F
Kültürel Tesisler	Tiyatro-Konferans Salonları-Oditoryum	24 saat	31	35	39	43	47	51
	Sinema Salonları	24 saat	31	35	39	43	47	51
	Konser Salonları	24 saat	26	30	34	38	42	46
	Müzeler	Gündüz	36	40	44	48	52	56
	Kütüphaneler	24 saat	31	35	39	43	47	51
	Müzik-TV Stüdyoları	24 saat	21	25	29	33	37	41
	Sirkülasyon Alanları ⁴	24 saat	41	45	49	53	57	61

2.3.4 Gürültü Denetimi Malzemelerin Özellikleri

Ses izolasyonunu sağlamak amacıyla kullanılacak malzemelerin bazı fiziksel özellikleri, malzemenin izolasyon performansını belirlemektedir. Malzemenin kütlesi, katılığı, içsel yutuculuğu izolasyon özelliğini belirlemektedir. Şekil 2.1’de bazı malzemelerin frekansa göre ses geçiş kaybı değerleri görülmektedir [28].

Stüdyolardaki yapı elemanlarının titreşimleri ses yutumuna katkı sağlamaktadır. Duvar, döşeme, tavan elemanlarının öz titreşim frekanslarındaki titreşimler bu frekanslardaki seslerde maksimum yutma oluşturmaktadır. Yapı elemanı içerisindeki titreşimler, oda yansıımından daha uzun olabildiği için tekrar yayılımı gerçekleştirebilmektedir. Stüdyonun akustik düzenlemesi yapılırken öncelikli olarak 200 Hz’in altında bulunan bu titreşimler ölçülmeli ve yansıma katkısı belirlenmelidir. Tekrar yayılımı yapabilecek malzemelerden kaçınılmalıdır. Yapı elemanı titreşimleri ivme ölçerlerle ölçülebilmektedir [1].

Yapı malzemelerinin içine giren seslerin davranışlarını tahmin etmek zorlaşır. Malzemenin özelliklerine göre ses farklı hızlarda yol alır. Bazı malzemelerde iç yutuculuk fazla bazılarında azdır. İç yutuculuğu az olan malzemelerden ses tekrar ortama yayılır. Bu yayılım sonucu anlaşılması zor faz ilişkileri ve ortam içerisinde ses enerjisinin yoğunlaştığı sıcak noktalar oluşabilir.



Şekil 2.1 Malzemelerin ses izolasyon performansları [28]

LED ışıkların kullanılmaya başlanması ile enerji tasarrufu artmıştır. Isıya giden enerjinin azalması, soğutmak için kullanılan enerjiyi azaltmış, aynı zamanda havalandırma ihtiyacını da azaltmıştır. Havalandırmadan kaynaklı gürültü düzeyi de azalmıştır.

Geri dönüştürülebilir malzemelerden yapılan ses yutucu ve dağıtıcı elemanlar, sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Stüdyolarda ihtiyaç duyulan gün ışığını kazanmak adına daha büyük pencereler yapıldığında, akustik ihtiyaçları karşılamak için maliyetler artmaktadır. Camdan kaynaklı ses geçişlerini azaltmak için çift lamine camlar kullanılırken gerekli ses geçiş kaybı değerlerini elde etmek için maliyetler yükselmektedir. Hedeflerin dikkatli planlaması ve önceliklendirmesi önem kazanmaktadır. Bu nedenle LEED (Leadership in Energy Efficiency in Design) ve GBI (Green Building Initiative) gibi kuruluşların önerdiği enerji tasarrufu sağlayan malzemeleri seçmek hem işlevsel olarak akustik ihtiyaçları karşılayacak hem de daha etkili bütçe kullanımını kolaylaştıracaktır [21].

2.4 Hacim Akustiği Parametreleri

Yansıma süresini belirleyen etkenleri hacmin büyüklüğü, yüzey şekilleri, yapı elemanlarının rezonansları, yapı yüzlerinin bitiş malzemeleri, eşyaların ses yutuculuk özellikleri, mekandaki kişi sayısı olarak sıralayabiliriz. Yansıma süresi kapalı mekanın akustik özelliklerini tanımlamak için önemli bir parametre olmakla beraber tek başına yeterli değildir. Özellikle ses kaydı, prodüksiyon, yayıncılık yapılan mekanlarda sesin niteliğini belirlemek için daha fazla parametreye ihtiyaç duyarız. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Yansıyan ve doğrudan gelen ses enerji oranları
- Oda frekans cevabı ve sönüm şekilleri
- Tarak filtre efekti
- Bas enerji oranı
- Mod yoğunluğu
- Ses enerjisinin zaman ve mekan içerisindeki durumu (C80, C50)
- İlk yansıma gecikmeleri

- Mod dağılımı
- Hoparlör yerleşimi

Bu parametreleri küçük kapalı mekanda analiz etmek oldukça zordur. Ölçülmesinde veya simülasyonunda yaşanan zorluklardan dolayı öznel değerlendirmelerle nesnel parametreler arasındaki ilişki de belirlenememiştir. Bu durum yansıma süresinin hesabını ve ölçümünü daha önemli bir hale getirmiştir. Ses kaydı, prodüksiyonu veya playback dinleme yapılan mekanlarda yansıma süresini azaltmak, sinyal-gürültü oranını ve yansiyarak gelen enerjinin doğrudan gelen enerjiye oranını arttırmamızı sağlar.

2.4.1 Yansıyan ve Doğrudan Gelen Ses Enerji Oranları

Yansiyarak gelen enerjinin, doğrudan gelen enerjiye oranının eşitlendiği ses kaynağından uzaklık konumuna kritik uzaklık (2.1) denilmektedir [21].

$$D_{Kritik} = \sqrt{\frac{Q.R}{50}} \quad (2.1)$$

Q: Ses kaynağının yönselliği

R:Hacim sabiti = $\frac{A}{(1-\alpha)}$

A: Etkin alan

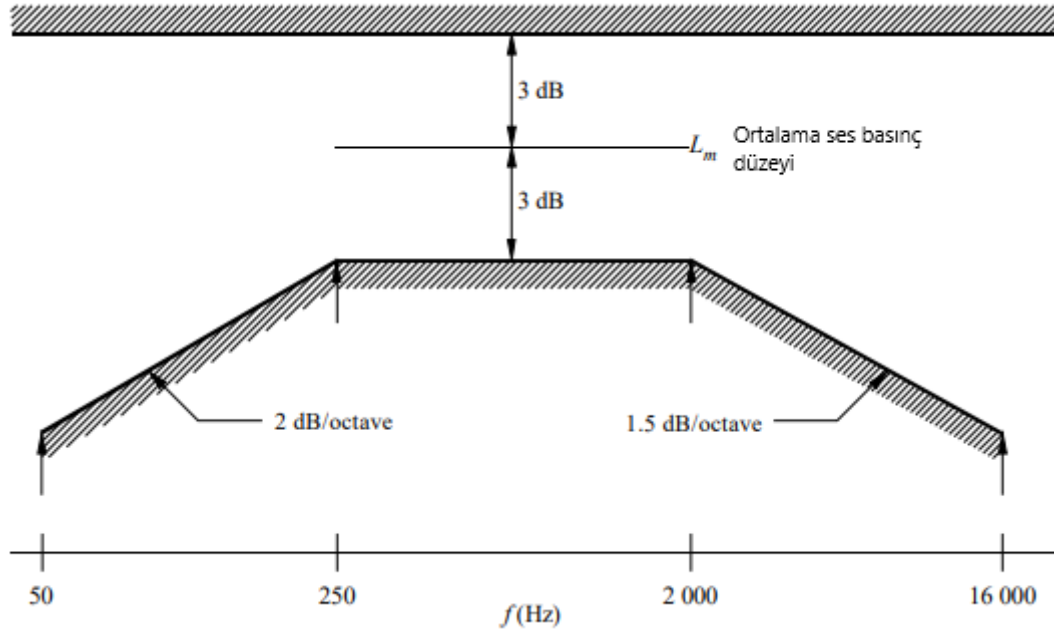
α : Ortalama yutma çarpanı

Anlaşılabilirlik düzeyi doğrudan gelen ses enerjisinin, yansiyarak gelen ses enerjisinden 6 dB fazla olduğu durumda gerçekleşir. Her yöne eşit cevap veren omnidirectional (Q=1) bir mikrofon konumlandırıcaksak ses kaynağından kritik uzaklığın 1/3'ü uzaklığa yerleştirmemiz gerekir. Yönsel bir mikrofon kullanıcaksak 1/2 ile 2/3 uzaklık yeterli olacaktır.

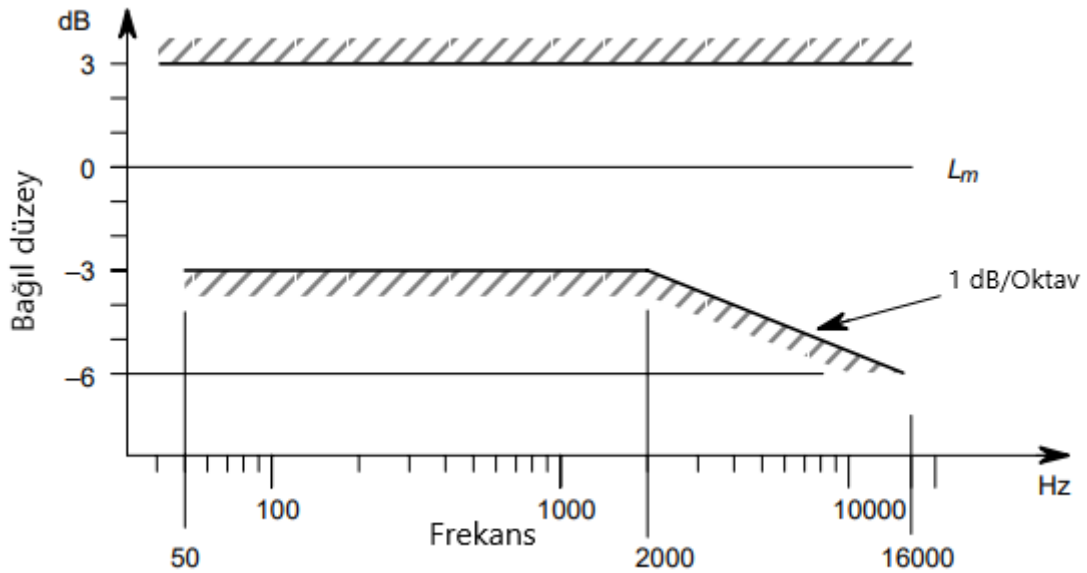
2.4.2 Hacim Yanıtı

Operasyonel oda tepki eğrileri, 50 Hz-16 kHz frekans aralığında pembe gürültü kullanılarak, referans dinleme konumunda her monitör hoparlörü tarafından üretilen ses basıncı seviyelerinin 1/3 merkez oktav frekans aralıklarında ki tepkileri olarak tanımlanır. Ölçülen operasyonel oda yanıt eğrileri için verilen iki

referans değer birbirinden 250 Hz altı frekanslar için farklılıklar içermektedir. ITU (Şekil 2.2) ve EBU (Şekil 2.3) tarafından verilen frekansa bağlı hacim yanıtı tolerans değerleri Şekildeki gibidir [23][24] .



Şekil 2.2 Hacim yanıt eğrisinin tolerans sınırları [24]



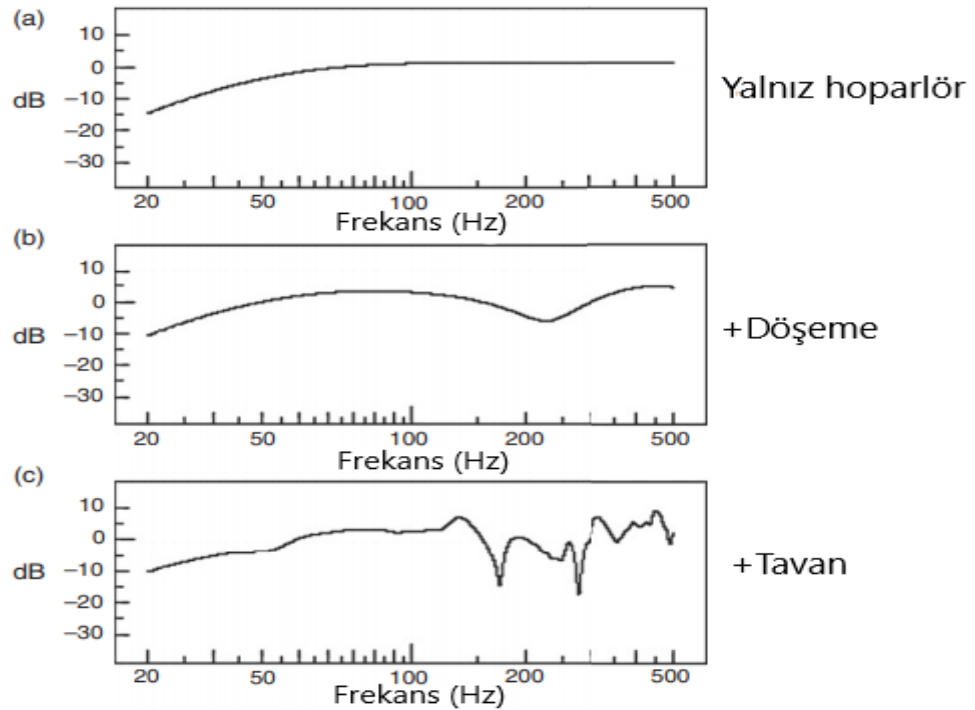
Şekil 2.3 Hacim yanıt eğrisinin tolerans sınırları [23]

Hacim yanıtı elde edilirken kullanılan sinyalin 200 Hz ile 4kHz arasındaki ortalama ses düzeyi L_m olarak alınır. Hacim yanıtı, oda akustik koşulları ve hoparlörün özelliklerinin dinleme koşullarına olan etkisini değerlendirebilmemiz

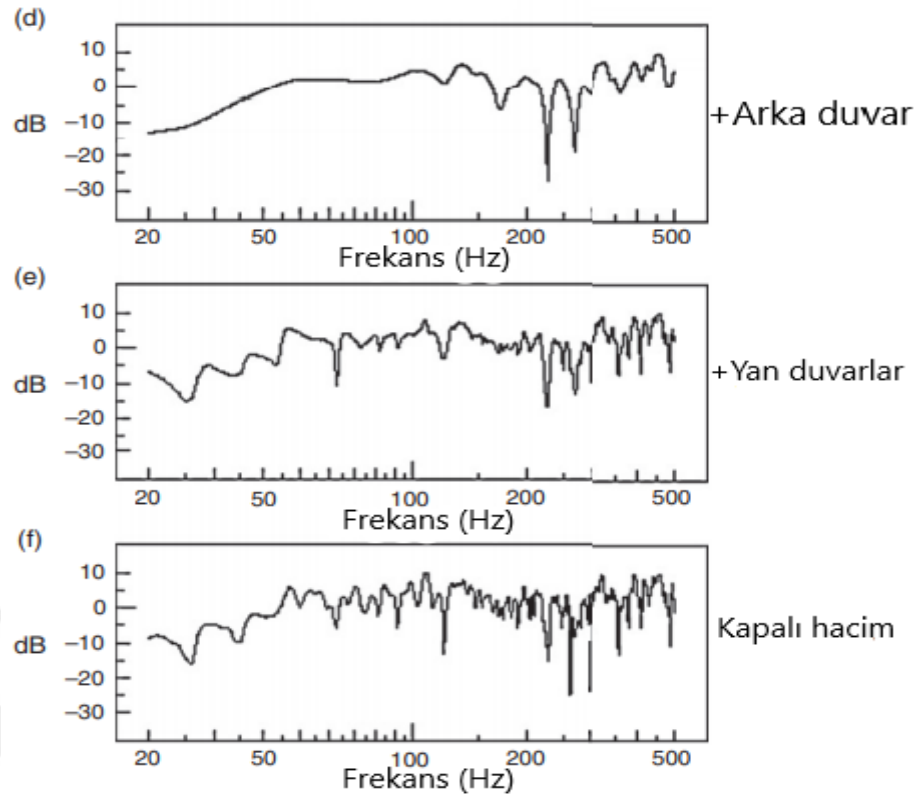
için önemli bir kriterdir. Stereo veya çok kanallı dinleme durumlarında hacim yanıtı her bir hoparlör için birbirine yakın bir nitelikte olması önemlidir. Her bir hoparlör tarafından dinleyici noktasında oluşturulan hacim yanıtının en fazla 2 dB birbirinden farklı olması gerekir.

Hacim yanıtını tolerans sınırları içinde tutmak özellikle alt frekans bölgelerinde ve küçük hacimlerde oldukça zordur. Hacim yanıtını tolerans sınırları içine almak için akustik düzenleme veya hoparlör dinleyici konumlarını düzenlemek gerekebilir. Bu düzenlemeler yapıldığı halde hacim yanıtı tolerans sınırları içine girmediyse elektriksel düzeltme yani ekolayzer kullanılarak tolerans sınırları sağlanmaya çalışılır. Ekolayzer düzenlemelerinin sadece 300 Hz altı için yapılması tavsiye edilmektedir.

Hacim yanıtına yapı yüzlerinin yaptığı katkı Şekil 2.4'de ki gibidir. Yalnız hoparlörün verdiği frekanslara göre ses düzeyi ile oda yüzeylerinin eklenmesiyle oluşan frekans cevapları görülmektedir (Şekil 2.4).



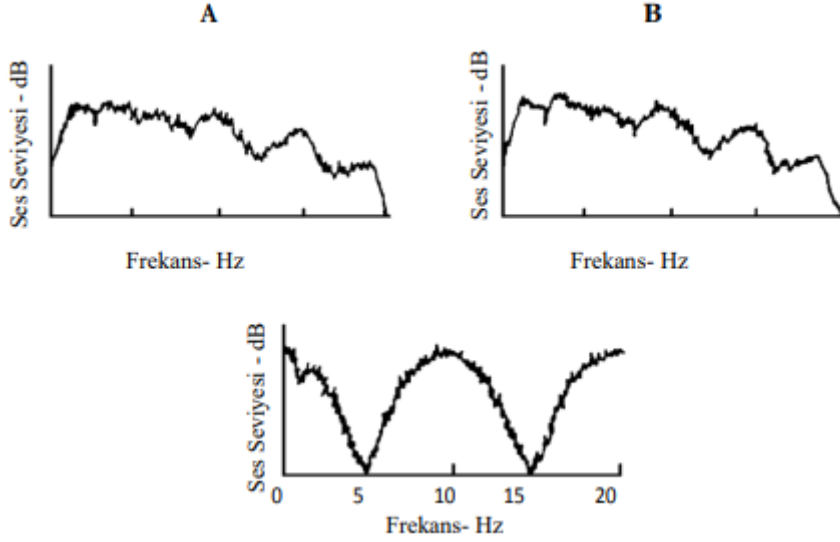
Şekil 2.4 Yapı yüzeylerinin hacim yanıtına etkisi



Şekil 2.4 Yapı yüzeylerinin hacim yanıtına etkisi (devamı) [22]

2.4.3 Tarak Filtre Etkisi

Tarak filtre geciken sinyallerin oluşturduğu bir efekttir. Ses dalgaları ortam içinde herhangi bir noktada karşılaştıklarında birbirlerinin içinden geçerek yollarına devam ederler. Bu geçişler sırasında anlık girişimler oluşur. Ses dalgaları arasındaki faz farkları girişim desenini belirler. Aralarında 180° faz farkı bulunan iki ses dalgası birbirlerini söndürür. İki ses dalgası aynı fazda ise süper pozisyon dediğimiz durum oluşur ki maksimum birleşme oluşur. Aynı şiddetteki iki ses dalgası süper pozisyon durumuna gelirse ses seviyesinde 6 dB artış görülür. Tarak filtre basit sesler arasında görülmez. Belli bir frekans spektrumu içerisindeki kompleks sesler arasında görülür. Konuşma, müzik, pembe gürültü gibi belli bir frekans spektrumunun içinde olan karmaşık seslerin arasında meydana gelir. Şekil 2.5’de anlık bir müzik sinyalinin spektrumunu, B de aynı sinyalin 0.1 ms gecikmiş halini görmekteyiz. C de ise bunların birleşiminin sonucu tarak filtre efektini görmekteyiz.



Şekil 2.5 Tarak filtre efekti [29]

2.4.4 Bas Enerji Oranı

Bas oranı 125 Hz ile 250 Hz yansıma süresi değerlerinin toplamının, 500 Hz ve 1000 Hz yansıma süresi değerlerine bölünmesiyle bulunur (2.2).

$$BR = \frac{RT_{125Hz} + RT_{250Hz}}{RT_{500Hz} + RT_{1000Hz}} \quad (2.2)$$

2.4.5 Mod Yoğunluğu

Belli bir frekansın altında kalan frekans bölgesindeki mod sayısını hesaplamak için aşağıdaki formül (2.3) kullanılır [26].

$$N = \frac{4\pi V f^3}{3c^3} + \frac{\pi S f^2}{4c^2} + \frac{L f}{8c} \quad (2.3)$$

Burada,

$$V = L_x L_y L_z$$

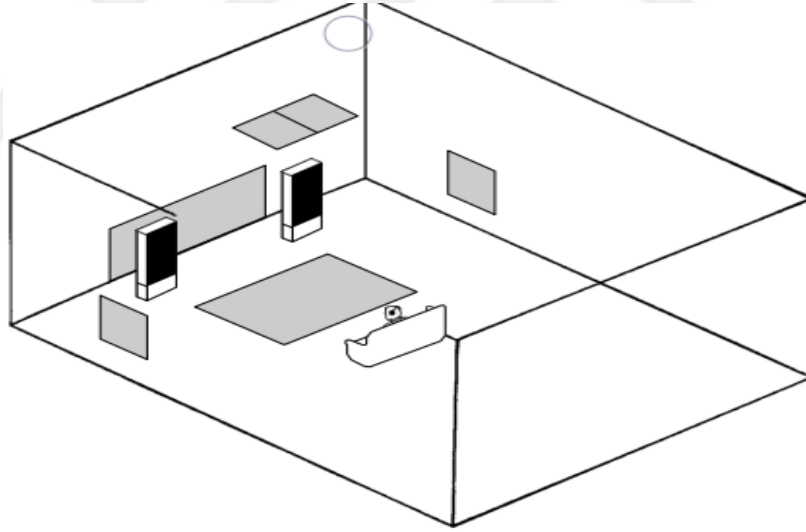
$$S = 2(L_x L_y + L_x L_z + L_y L_z)$$

$$L = 4(L_x + L_y + L_z)$$

şeklindedir.

2.4.6 İlk Yansıma Gecikmesi (ITDG)

Dinleyiciye ilk ulaşan ses doğrudan gelen sestir. Daha sonrasında yansıyan sesler gelir. Doğrudan gelen sesle ilk yansıma sonucu gelen ses arasındaki zaman farkına ilk yansıma gecikmesi denir. Kayıt edilmiş sesin ilk yansıma gecikmelerinin duyulabilmesi için kontrol odalarının ilk yansıma gecikmeleri uzun tutulmalıdır. Bu nedenle oturma pozisyonuna yakın bulunan yüzeylerdeki ilk yansımaların kontrol altına alınarak, ilk yansımanın uzak duvardan olmasını sağlamak gerekir. İlk yansımalarla çok yakın gelen doğrudan ses, odada keskin bir stereo etkisi yaratır ve sonuç olarak sesi bulanıklaştırır. Odaya uygulanacak minimum yutucu malzemeler şekildeki gibidir. Tam olarak uygulanacak yerler bir ayna kullanılarak belirlenebilir. Dinleyicinin oturduğu yerden baktığında duvarlarda tavanda ve yerde gezdirilen aynada hoparlörü gördüğü bölgelere ses yutucu akustik gereçler kullanılır. Hoparlör kırınması nedeni ile oluşacak yansımaları kontrol etmek için iki hoparlörün arasına ses yutucu malzeme uygulanır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 İlk yansıma noktalarına uygulanan ses yutucu malzemeler [29]

2.4.7 Yansıma Süresi

Yansıma süresi sesin 60 dB enerji kaybetmesi için geçen süredir. Kapalı bir mekanın akustik özelliklerinin objektif olarak incelenmesi 1895 yılında W.C. Sabine tarafından yansıma süresi formülünün oluşturulması ile başlamıştır. 1930 yılında Eyring ve 1932 yılında Millington yeni çınlama süresi formülleri geliştirmiştir. Tablo 2.9’da bu formüller gösterilmiştir [30].

Tablo 2.9 Yansısim süresi formülleri

Sabin	Eyring	Millington
$RT = \frac{0,16 V}{A}$	$RT = \frac{0,161V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{a})}$	$RT = \frac{0,16 \cdot V}{\sum_i S_i \cdot \ln(1 - \alpha_i)}$
$A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \alpha_3 \cdot S_3 + \dots$	$\bar{a} = \frac{1}{S} \sum_i S_i \cdot \alpha_i$	$\alpha_i \ll 1$

Bu formüllerden en çok bilinen ve kullanılan Sabin formülüdür. Hesaplama yöntemi ile belirlenecek yansısim süresi için Sabin formülü kullanılır.

2.4.8 Yansısim Süresinin Ölçülmesi

Yansısim Süresi ölçümleri için 60 dB'lik düşüş süresi gözlemlenmelidir. Pratikte 60 dB düşüşün gözlemlenmesi zor olduğundan 10, 20 veya 30 dB lik düşüş süreleri ölçülerek 60 dB düşüşe göre oranlanır. Bu ölçümlerde ilk 5 dB ve son 10 dB düşüş hesaba katılmaz.

2.4.8.1 T 10 Parametresi

10 dB düşüşün ölçülmesi sonucu T10 parametresi bulunur. T10 bulunurken ilk 5 dB düşüşten sonraki 10 dB'lik düşüş süresi ölçülür ve bu değer 6 ile çarpılır. T10 değeri 10 dB'lik düşüş süresinin 6 ile çarpılmış halidir.

2.4.8.2 T 20 Parametresi

20 dB'lik düşüşün ölçülmesi sonucu T20 parametresi bulunur. T20 bulunurken ilk 5 dB düşüşten sonraki 20 dB'lik düşüş süresi ölçülür ve bu değer 3 ile çarpılır. T20 değeri 20 dB'lik düşüş süresinin 3 ile çarpılmış halidir. Art gürültüden önceki 10 dB de hesaba katılmaz. Bu sebepten ötürü T20 ölçümü için en az art gürültü miktarının üzerine 35 dB lik bir değer eklemesi yapılarak ölçüm yapılacak gürültü belirlenmelidir.

2.4.8.3 T 30 Parametresi

30 dB'lik düşüşün ölçülmesi sonucu T30 parametresi bulunur. T30 bulunurken ilk 5 dB düşüşten sonraki 30 dB'lik düşüş süresi ölçülür ve bu değer 2 ile çarpılır. T30

değeri 30 dB'lik düşüş süresinin 2 ile çarpılmış halidir. Art gürültüden önceki 10 dB de hesaba katılmaz. Bu sebepten ötürü T30 ölçümü için en az art gürültü miktarının üzerine 45 dB lik bir değer eklemesi yapılarak ölçüm yapılacak gürültü belirlenmelidir. Örneğin art gürültü 40 dB ise kullanacağımız beyaz veya pembe gürültü en az 85 dB olmalıdır.

2.4.8.4 EDT Parametresi

EDT (Early Decay Time), erken düşme süresi, ilk 10 dB' lik düşüş için geçen süredir. T10 dan farkı ilk 10 dB' lik düşüş süresinde ilk 5 dB de hesaba katılır. EDT ilk olarak 1974 yılında Vilhelm Jordan tarafından öne sürülmüştür. Algılanan yansıma süresi olarak kabul edilir

EDT İlk 10 dB düşüş süresinin 6 ile çarpılmış değeridir. Maskeleme nedeniyle 60 dB düşüş süresini algılayamayız. Devam eden konuşma veya müziğin maskelemesi düşüş sürelerini algılamamızı zorlaştırır. Ancak ilk 10 dB' lik düşüş maskelenmeden algılanabilir. EDT bu anlamda önemli bir parametre olarak kabul edilir.

2.4.9 Optimum Yansıma Süresi

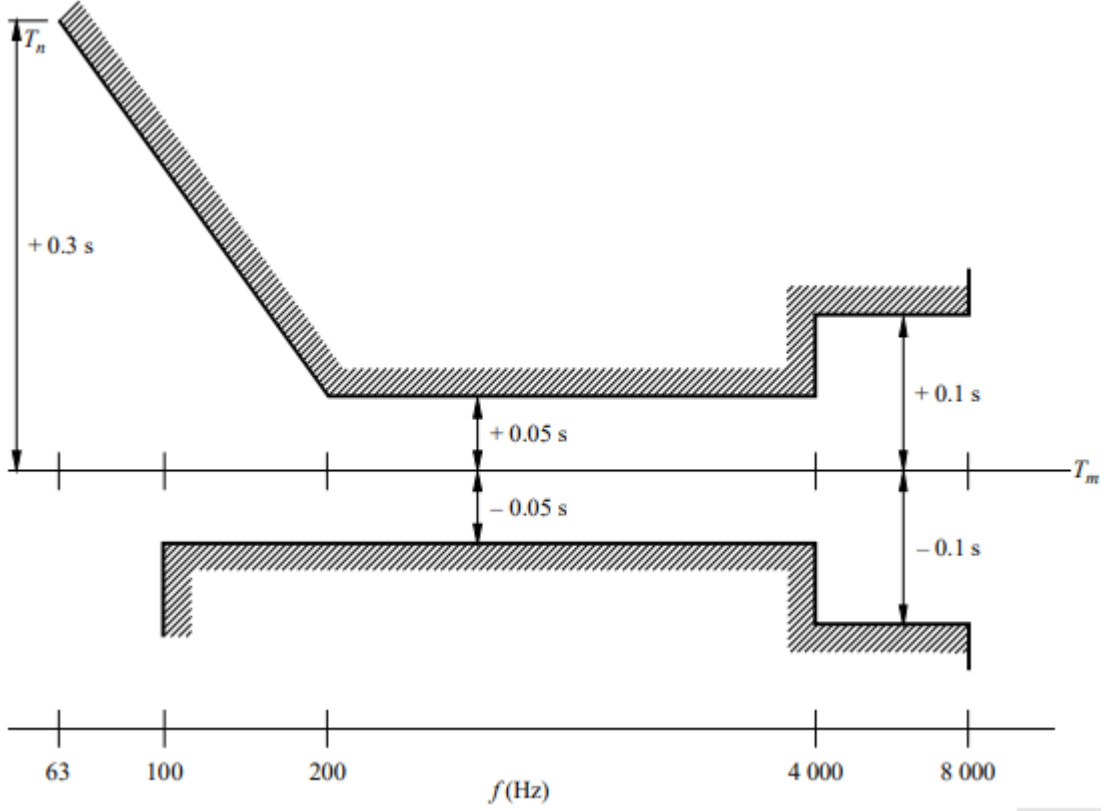
Odanın kullanım özelliğine göre optimum yansıma süresi belirlenir. Kontrol odaları için optimum yansıma süresi belirlerken ITU [24] ve EBU [23] standartlarında yer alan formül (2.4) kullanılabilir. Kayıt odaları için de 2002 yılında BBC tarafından yayımlanan raporda belirlenen optimum yansıma süresi ve tolerans sınırları kullanılabilmektedir [31].

$$T_m = 0,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}} \quad (2.4)$$

V: Hacim (m³)

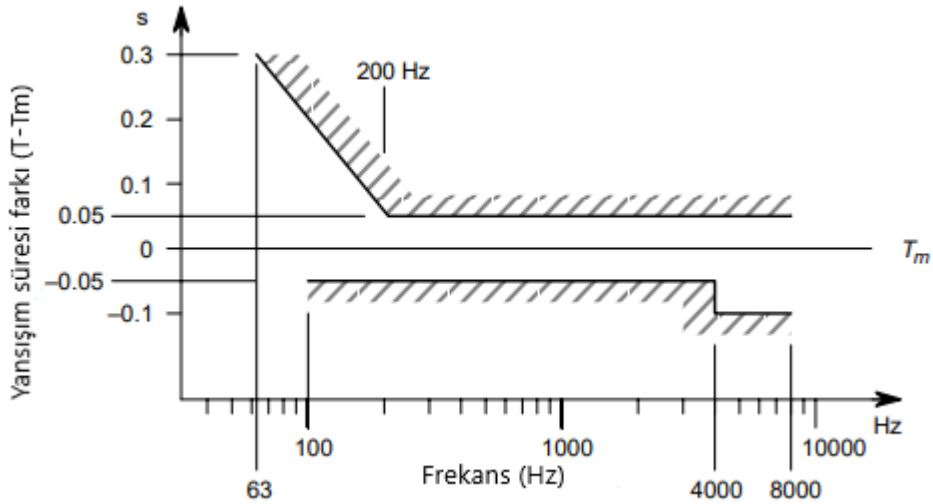
V₀: Referans hacim :100 m³

Frekansa bağlı olarak değişen yansıma süresi değerlerinde alt ve üst tolerans değerleri aşağıdaki gibidir (Şekil 2.7).



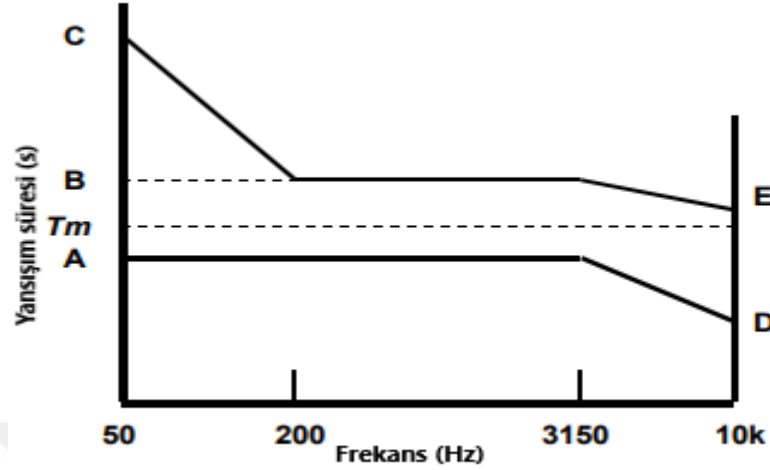
Şekil 2.7 ITU R-1116 standardına göre optimum yansıma süresi aralığı [24]

EBU Tech 3276 standardına göre yansıma süresinin frekansa göre değişen tolerans değerleri de aşağıdaki gibidir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 EBU Tech 3276 standardına göre optimum yansıma süresi aralığı [23]

BBC' nin deneyimlere dayanarak oluşturduğu frekanslara bağlı yansıma süresinin üst ve alt sınır tolerans değeri (Tablo 2.10) aşağıdaki gibidir (Şekil 2.9) [31].



Şekil 2.9 BBC optimum yansıma süresi değeri [31]

Tablo 2.10 BBC optimum yansıma süresi değeri [31]

Alan Türü	T _m	A	B	C	D	E
Dublaj stüdyoları ve kontrol odaları	0.2	0.8	1.2	2.5	0.6	1.0
Diğer kontrol odaları	0.2	0.8	1.2	1.2	0.6	1.0
Büyük müzik stüdyoları	1.6	0.9	1.1	1.1	0.8	1.1
Büyük TV stüdyoları	0.8	0.8	1.1	1.2	0.6	1.0

Bu üç ayrı yansıma süresi tolerans değeri baktığımızda birbirlerinden ufak farklarla ayrıştığı görülmektedir.

2.4.10 Netlik C 80, C 50

Netlik gelen sesin her ayrıntısının algılanmasını tanımlar. Özne olarak sesin temiz olarak duyulması anlamına gelir. Netliğin tersi sesin bulanık algılanmasıdır. Yansımaların geç gelmesi, ses enerjisinin zaman içerisindeki dağılımının düzgün olmaması sesi bulanıklaştırır. Netlik parametresi objektif olarak C 80 ve C 50 değeri ile bulunur. C 80 değeri müzik için kullanılırken, C 50 değeri konuşma için kullanılır.

C 80 ilk 80 ms deki ses enerjisinin, 80 ms den sonraki enerjiye oranıdır. C 50 ilk 50 ms deki ses enerjisinin, 50 ms den sonraki enerjiye oranıdır. Oran büyük olduğunda erken sesler güçlenir, yani ses netleşir.

$$C_{t_e} = 10 \log \frac{\int_0^{t_e} p^2(t) dt}{\int_{t_e}^{\infty} p^2(t) dt} dB \quad [32]$$

Burada

C_{t_e} : Erken'in geçe indeksi

t_e : 50 milisaniye veya 80 milisaniye erken zaman limitleri

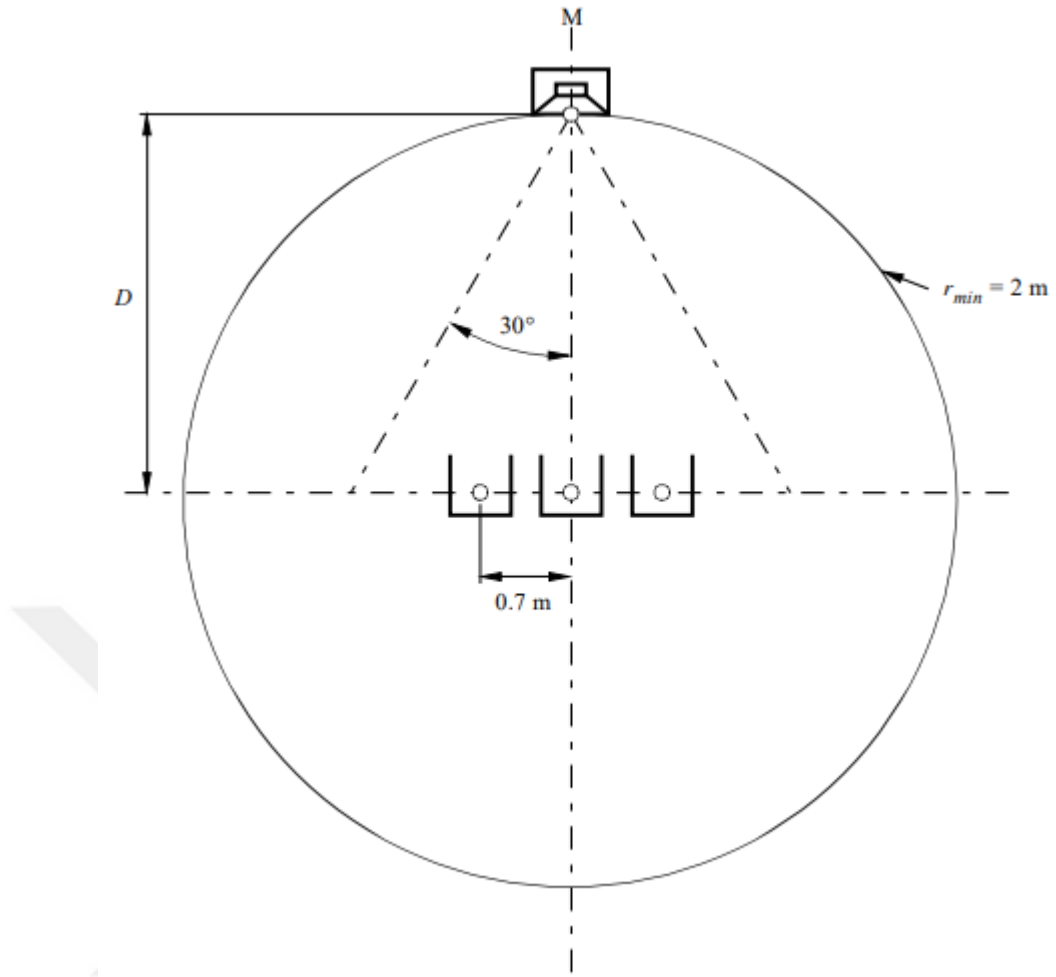
$P(t)$: Ölçüm noktasında ölçülen uyarı cevabının anlık ses basıncı

2.4.11 Monitör hoparlörlerin yerleşimi

Müzik ve drama kayıtları ve post prodüksiyon işlemleri için yüksek kaliteli ses kontrol odaları ve dinleme testlerinin ve 3 ile 7 kişi için yapılan dinleme grup aktivitelerinin yapıldığı referans dinleme odalarının tasarımı, nesnel ölçüm sonuçları ve sübjektif değerlendirme sonuçları dikkate alınarak detaylı bir şekilde yapılmalıdır. Duvarlar, döşeme ve tavan akustik ortamı sınırlayan yapı yüzeyleridir. Bu yüzeylere yapılacak müdahaleler sonucunda standartlarca belirlenmiş uygun akustik ortam meydana getirilebilecektir. Aynı zamanda bu tür dinleme odalarında kullanılan yüksek kaliteli referans monitör hoparlörlerin yerleşimi dinleme deneyimini etkileyecektir. Kaliteli bir dinleme ortamı oluşturmak için kulak yüksekliğinde referans monitörler kullanılmalıdır. Kulak yüksekliğinde belirli bir alandaki sesi kontrol ederek standartlarca belirlenmiş kriterleri sağlamak hedeflenen amaçtır.

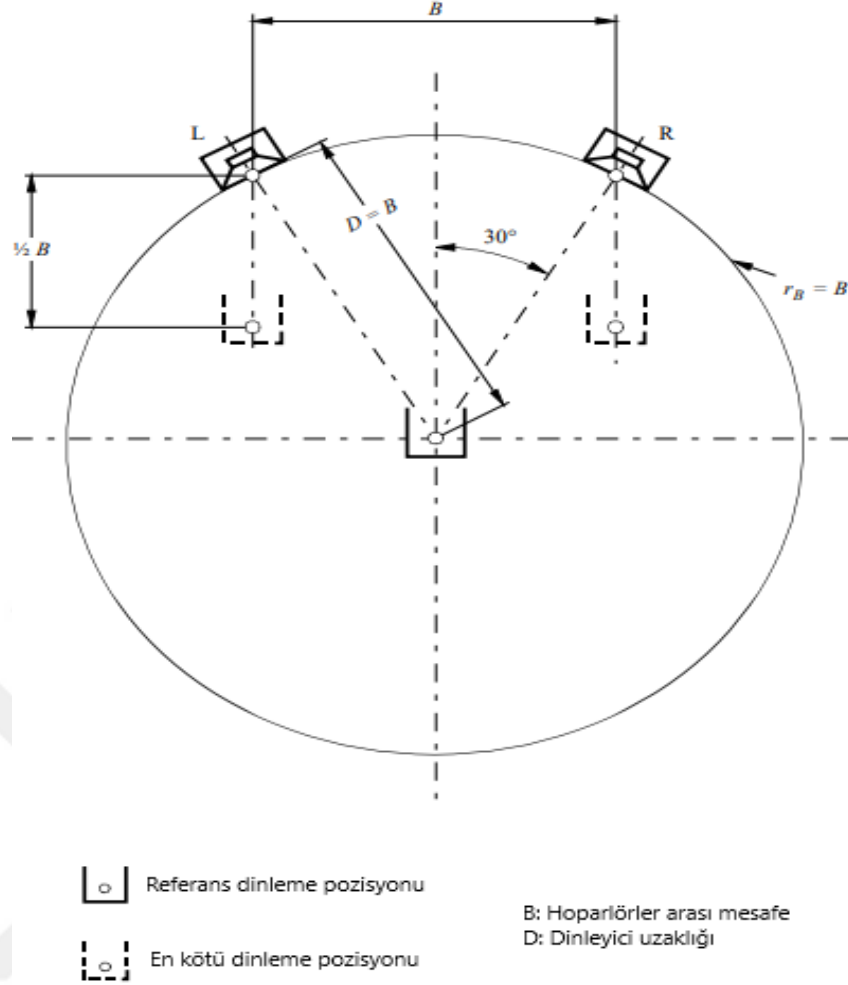
Monitör hoparlörlerin akustik merkezinin yerden 1.2 metre yüksekte olması ve duvarlara gömülü olmadığı durumda duvarlardan en az 1 metre uzakta olması tavsiye edilir. Dinleme pozisyonunun yan duvarlardan ve arka duvardan en az 1.5 metre mesafeli olması gerekir [24] [23].

Referans monitör hoparlörlerin yerleşimi tek kanallı, stereo veya çok kanallı yapılan dinleme düzenlemelerine göre değişim gösterir. Tek kanallı, tek bir referans monitör hoparlörle yapılan dinlemede hoparlör ile dinleyici arasında $\pm 30^\circ$ lik açı içerisinde en az 2 metre mesafe bulunmalıdır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Hoparlör M ile referans dinleme düzenlemesi ve monofonik ses sistemleri için izin verilen dinleme alanı [24]

İki referans monitör yerleşiminin yapıldığı durumda referans monitörler ile dinleyici konumlandırması Şekil 2.11’de ki gibi yapılır. Referans monitörler simetrik şekilde yerleştirilir. İki hoparlör arasındaki uzaklık B, 2-3 metre arasında bir değerde olabilir. Oda boyutları ve tasarımı izin verirse 4 metreye kadar çıkabilir. Dinleyici uzaklığı 2 metreden 1.7B metreye kadar bir değerde olabilir. 60°’lik açı içerisinde dinleme pozisyonu belirlenir. Referans dinleyici konumundan 0.7 metre yarıçaplı bir daire içerisinde dinleme alanı oluşturulması tavsiye edilir. Şekil 2.11’de en kötü dinleme pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Stereofonik ses sistemleri için L ve R hoparlörlerle dinleme düzenlemesi [24]

Çok kanallı stereofonik hoparlör düzenlemesi Şekil 2.12’de ki gibi kurgulanır. Hoparlör taban genişliği B, 2-3 metre arasında olabilir. Uygun tasarlanan bir odada B mesafesi 5 metreye kadar çıkabilir.

Maddeler belli frekanslarda titreşim gerçekleştirirler. Maddelerin titreşim hareketi yaptığı bu frekanslara maddenin öz titreşim frekansı veya rezonans frekansı denir. Örnek olarak tek boyutta tel veya boruyu, iki boyutta plakaları, üç boyutta gerçekleşen titreşim hareketi için de oda içerisindeki havayı verebiliriz. Oda da bulunan duvarlar, eşyalar, kapılar, pencereler ve her türlü maddenin rezonans frekansları bulunmaktadır.

Kapalı hacimdeki hava, katı cisimle aynı fiziksel prensibe göre davranır. Oda duvarlarının akustik özelliklerine, kapalı hacmin şekline, boyutlarına göre değişen frekanslarda oda rezonansları oluşur. Katı gövde ve oda, rezonans olmayan frekanslarda titreşime veya dalgalara zorlanabilir. Ancak bunlar uyarıya sona erdikten sonra rezonans frekanslarına kayacaktır .

Oda modlarının tek boyuttaki durumunu anlayabilmek için karşılıklı iki duvar arasında iki ucu kapalı boru varmış gibi düşünebiliriz. Borunun kapalı uçlarında maksimum basınç noktaları oluşacaktır. İki duvar arasında rezonans olan frekanstaki ses hem sağdan hem de soldan gelen yansımalarının süper pozisyon oluşturması dolayısıyla daha güçlü bir etki oluşturur.

Süper pozisyona giren dalgalar hareket etmiyormuş gibi gözükür. Bunlara duran dalgalar denir. Bu dalgalarda oda boyutlarına göre farklı frekanslarda meydana gelebilir. İki duvar arasındaki mesafe, rezonans olan frekansın yarım dalga boyuna eşittir. Bu frekansın tam katları da rezonans olurlar. Mesela iki duvar arası 4 metre ise dalga boyu 8 metre olan 42.5 Hz ilk mod frekansıdır. İkincisi 85 Hz, üçüncüsü 127.5 Hz dir.

Duvarlar arasındaki oda rezonansları $340/2L$ veya $170/L$ formülü kullanılarak bulunur. Oda rezonansları İngilizce de farklı isimlerle karşımıza çıkabilmektedir. Eigentones, room resonances, permissible frequencies, natural frequencies, modes kelimeleri oda rezonansları için kullanılır.

Eksensel modlar iki yüzeyde, teğetsel modlar dört yüzeyde ve eğik modlar altı yüzeyde dolaşır. Daha az yüzeye temas eden modlar daha az yutulacakları için daha şiddetlidirler. Bu modların hesaplanması için aşağıdaki formül (2.5) kullanılır

$$f_{xyz} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \quad (2.5)$$

Oda içerisinde seslerin analizini yaparken frekanslarına göre bölgelere ayırırız. A, B, C, ve D bölgeleri odanın boyutlarına ve yankılanma sürelerine göre ayrılır. A bölgesi duyulabilir en düşük frekans 16 Hz den başlar ilk eksensel moda kadar devam eder. B bölgesi ilk eksensel moddan başlayıp $F2 = 40180.(RT60/V)$ formülü ile bulduğumuz kesme frekansına (cutoff frequency) kadar devam eder. C bölgesi B nin sonundan başlar 4 F2 de biter. 4 F2 den sonraki bölge de D bölgesidir. A ve B bölgelerinde ses dalga şeklinde düşünülürken D bölgesinde ışın olarak düşünülür. C bölgesinde ise hem ışın hem de dalga olarak düşünebileceğimiz durumlar vardır.

2.4.13 Oda Oranları

Oda oranları, alt frekans bölgesindeki oda modlarının birbirleriyle çakışmaması için birbirleriyle uyumsuz değerlerde olması gerekir. Birbirleriyle basit oran oluşturan oda ölçüleri, düşük frekanslardaki oda mod dağılımlarını olumsuz etkileyecektir. Bolt'un (1946) oluşturduğu oda oranlarının belli bir aralıkta olmasını öngören grafik, oda oranının, düşük frekans mod dağılımı açısından iyi bir durumda olup olmadığını belirlemek için kullanılır.

Kontrol odaları için ITU R.1116 ve EBU tech 3276 standartlarında belirlenen oda oranları (2.6) aynıdır[24][23].

$$\frac{1.1w}{h} \leq \frac{l}{h} \leq \frac{4.5w}{h} - 4 \quad (2.6)$$

Aynı zamanda $l/h < 3$ ve $w/h < 3$ koşulları da sağlanmalıdır.

2.5 Akustik Ölçümler

Akustik parametrelerin belirlenmesi için kayıt ve dinleme ortamlarında ölçümlerin yapılması gerekir. Ölçüm koşulları ölçüm yapılmadan önce belirlenmelidir. Oda içindeki eşyaların yerleri, kişi sayısı, sıcaklık gibi değişkenler olağan koşullarda kullanım şekline göre belirlenmeli ve ölçüm raporunda belirtilmelidir. Ölçüm için

kullanılacak ses kaynağının yayımı mümkün olduğunca her yöne olmalıdır. Mikrofonlar çok yönlü, diyaframı küçük, diyafram çapı tercihen en fazla 13 mm olmalıdır.

Ölçüm konumları ISO 3382-2 ' ye göre 3 farklı şekilde belirlenebilir. Survey, mühendislik ve hassasiyet ölçümleri olarak 3 gruba ayrılan ölçüm yöntemlerinden biri amaca uygun olarak seçilir. Kaynak ve mikrofon konum sayıları Tablo 2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.11 Konum ve ölçüm sayılarının en küçük değerleri [33]

	Survey	Mühendislik	Hassasiyet
Kaynak-mikrofon kombinasyonları	2	6	12
Kaynak konumları	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Mikrofon konumları	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Her konumdaki azalım sayısı (Kesintili gürültü yöntemi)	1	2	3

Kaynak kullanımları odanın normal kullanımına göre seçilebilir. Hiçbir normal kullanım pozisyonu olmayan odalarda, en az bir kaynak pozisyonu köşelerden birinde olmalıdır. Ses kaynağının akustik merkezinin yerden yüksekliği 1,5 metre, mikrofonun yüksekliği ise 1,2 metre olmalıdır. Doğrudan kaynaktan yayılan sesten etkilenmemek için mikrofon konumları kaynağa çok yakın olmamalıdır. Mikrofonlar arası en yakın mesafe aşağıdaki formülle (2.7) hesaplanabilir.

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{c \cdot T}} \quad (2.7)$$

Burada

V: Hacim (m³)

c: Ses hızı (m/s)

$\bar{T}$: Tahmini beklenen çınlama süresi (s)

Yansıma süresinin ölçülmesi için iki yöntem belirlenmiştir. Kesikli gürültü yöntemi ve integrali alınmış uyarı cevabı yöntemi. Kesintili gürültü yöntemi için kullanılan uyarı sinyali geniş bant rastgele veya sözde rastgele gürültü sinyalinden üretilmelidir. Kaynak arka plan gürültü seviyesinin en az 35 dB üzerinde uyarı sinyali üretebilmelidir. T_{30} değeri ölçülecekse arka plan gürültü seviyesinin en az 45 dB üzerinde sinyal üretilmelidir. İntegrali alınmış uyarı cevabı yönteminde MLS sinyaller uyaran olarak kullanılabilir. Ölçüm yapılacak frekans aralığını kapsayacak uyaran sinyalin oluşturmuş olduğu frekans cevabı frekans bantlarında filtrelenerek azalım eğrilerinin eğimlerinden çınlama süreleri tespit edilir [33].

Frekans aralığı ölçüm amacına bağlı olarak değişebilmektedir. Survey yöntemi için frekans aralığı en az 250 Hz ile 2000 Hz arasını kapsamalıdır. Mühendislik ve hassasiyet ölçümlerinde oktav bant aralıklarında 125 Hz ile 4000 Hz arasını kapsamalıdır.

2.6 Akustik Gereçler

Hacim akustiği tasarımı yapılırken akustik gereçlerden yararlanılır. Ses yutucu, dağıtıcı, saçıcı veya yansıtıcı gereçler istenilen akustik ortamı oluşturmak üzere mekanın yüzeylerine uygulanır.

2.6.1 Ses Yutucu Malzemeler

Ses yutucu malzemeler üç kısımda incelenir. Açık gözenekli malzemeler, rezonatörler ve titreşen levhalar.

2.6.1.1 Lifli Açık Gözenekli Malzemeler

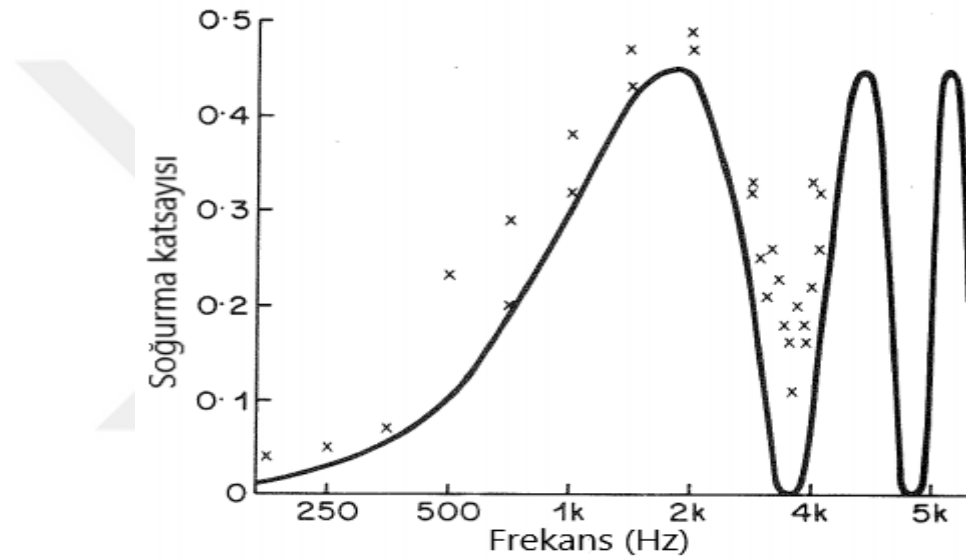
Ses yutucu olarak kullanılan lifli yapıda olan veya açık gözenekleri olan malzemeler sesi hava taneciklerinin sürtünmesi yoluyla yutmaktadır. Lifli malzemelere örnek olarak taş yünü, cam yünü, mineral yünü vb. verilebilir. Açık gözenekli malzeme olarak süngerler kullanılmaktadır. Süngerler sesi yansıtabilir, geçirebilir veya yutabilir. Plastik bazlı süngerler kalın bir yüzeye sahiptirler. Gözenekler birbirine sıkı sıkıya bağlıdır ve sesin geçmesini engelleyerek bariyer

görevi görürler. Materyalin içerisinde daha fazla hava hareketi sağlamak üzere açık gözeneklerin sayısını arttırmak gerekir. Retikülasyon işleminden geçirilen süngerler açık gözeneklere sahip olurlar [34].

Lifli yapıda içinden hava geçebilen malzemeler, sesin taşınmasını sağlayan maddesel ortamın taneciklerinin yaptığı basit harmonik hareketin sonucunda açık gözeneklerde meydana gelen sürtünmeden dolayı sesi yutar. Diğer bir anlatımla ses enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Gözenekli bir yutucu malzemenin etkin bir yutma değeri sağlaması için tanecik hızının yüksek olduğu bir yere konumlandırılması gerekir. Yüksek frekanslı seslerin hava tanecikleri üzerinde yaptığı titreşimler daha hızlı olduğu için yutulmaları daha fazla olmaktadır. Oda sınırını oluşturan duvar, tavan, döşeme yüzeylerinde tanecik hızı genellikle sıfırdır. Bu yüzeylere konulan açık gözenekli yutucuların yüzeyden en uzak noktaları daha iyi bir yutma performansı gösterirler. Malzemenin önemli bir yutma özelliği gösterebilmesi için gelen sesin dalga boyunun onda birinden daha kalın olması gerekir. En fazla yutma özelliği dalga boyunun dörtte birinde görülür [35].

Lifli yapıda bir malzemenin ses yutuculuğu montaj şekliyle de değişir. Duvara doğrudan monte etmek, arkasında boşluk bırakarak yerleştirmek, tavandan dik veya yatay asmak arasında ses yutuculuğu açısından farklılıklar oluşacaktır. Arkasında boşluk bırakmak alt frekans bölgelerindeki yutuculuğu arttıracaktır. Boşluk miktarı büyüdükçe frekans etki alanı da artacaktır. Bunun nedeni lifli yapıda malzemelerin dörtte bir dalga boyunda tanecik hızının maksimum olmasından dolayı en iyi yutma değerlerini göstermesidir. Boşluk miktarı arttıkça ses yutucu malzemenin etkili olduğu dalga boyu aralığı genişleyecektir. Örnek olarak 5 cm kalınlığında bir cam yününün duvardan 10 cm ileriye monte edildiğini düşünürsek, ön yüzünün duvarla arasında ki mesafesi 15 cm olacaktır. Dörtte bir dalga boyu 15 cm olan ses dalgasının $340/0,6 = 566$ Hz olduğunu görürüz. Maksimum yutuculuğu bu frekansta göstermekle beraber tanecik hızı olan diğer frekans bölgelerinde de yutuculuk gösterecektir. Duvara direk monte edilse idi $340/0,2 = 1700$ Hz de maksimum yutuculuk görebilirdik.

Bu konuyla ilgili araştırmalardan birisi BBC tarafından yapılan kumaş kaplı yzeylerin ses yutmaya etkisinin incelendiği çalışmadır. Arkasına konulan sert yzeyele arasında 48 mm boşluk bırakılan kumaş yzeyin yutma katsayıları teorik ve ölüm sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak şekil 2.13' de ki gibi çıkmıştır. Teorik olarak 1/4 dalga boyu uzaklıkta maksimum yutuculuk olacağı düşünülmüş ve bu durum yapılan deneyle kanıtlanmıştır. 48 mm boşluk 1/4 dalga boyu olarak düşünüldüğünde 192 mm en fazla yutmanın gözlemleneceği sesin dalga boyu olacaktır. 1770 Hz' de maksimum olarak 0,48 katsayısı bulunmuştur. 3,5 kHz de de minimum yutma bulunmuştur [36].



şekil 2.13 Kumaş perdenin sert yzeyden 48 mm uzaklıktaki ses yutma katsayıları [36]

2.6.1.2 Helmholtz Rezonatörler

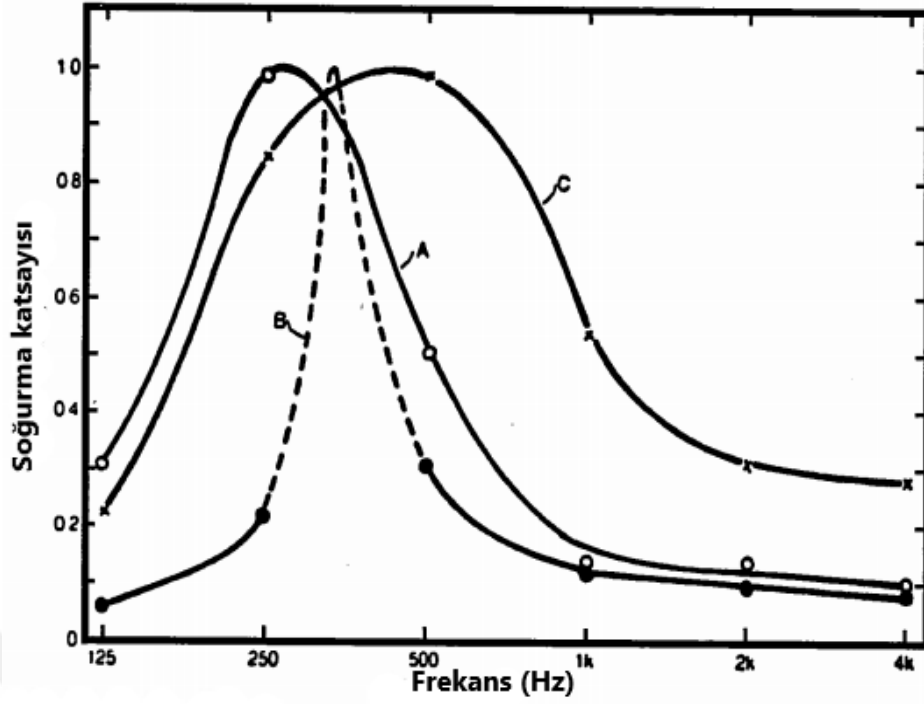
Helmholtz rezonatörler bilinen en eski bas yutuculardır. Antik İşkandinav kiliselerinde dairesel delikli hacimlerin bas yutucu olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Helmholtz rezonatörler boyun kısmındaki hava kütlesi ile i hacimde ki havanın etkileşimi sonucu çalışan bir mekanizmadır. Rezonans frekansının ayarı kritiktir, boyun kısmındaki enerjinin yutulması gerekir. Enerji yutulmazsa ses ortamda kesildikten sonrada rezonatör tarafından tekrar yayınım gerçekleşir. Bu tür kullanım, yansım süresini arttırmak için orta ağ İşkandinav kiliselerinde görülmektedir.

Helmholtz rezonatörler alt frekans bölgelerinde ihtiyaç duyulan yutmayı sağlamak için kullanılır. Rezonatörün boyun kısmındaki hava ağırlığı ile iç hacimdeki havanın etkileşimi sonucu titreşen bir yay sistemi oluşur. Bu titreşimin dengelendiği durum rezonatörün içindeki hava kütesinin öz titreşim frekansı olur. Boyun kısmındaki sürtünme artırılarak yutucu etki arttırılabilir. Boyun açıklığı 1 cm'den büyük olan rezonatörlerde bu sürtünme azalacağı için tekrar yayılan enerji, yutulan enerjiden fazla olur [37].

Öz titreşim frekansını değiştirmek istersek, rezonatör hacmindeki hava kütesini, boyun kalınlığını veya delik çapını değiştiririz. Helmholtz rezonatörlerin öz titreşim frekansı merkez olmak üzere belli bir frekans bant genişliğinde yutma etkisi olabilir. Bu frekans bant genişliği rezonatörün içerisinde kullanacağımız lifli yutucuların ses dalgasını taşıyan hava tanecikleri ile sürtünmesinin sonucunda belirlenir. Cam bir rezonatörün içerisinde çok az sürtünme olacağı için enerjinin büyük kısmı dışarıya doğru saçılır. Bu durumda alt frekans bölgesinde difüzyon sağlar. Rezonatörün yutuculuk bant genişliği çok dar olur ve seçimli bir rezonatör gibi davranır. Helmholtz rezonatörlerin delik kısmının hemen arkasına konulacak hava geçirgen lifli malzemeler yutuculuk bant genişliğini arttırarak daha geniş bir frekans aralığında etkili olur. Ancak yutma katsayıları daha düşük olur.

Şekil 2.14 ve Tablo 2.12'de üç farklı helmholtz rezonatör panelin yutuculuk değerleri görülmektedir. A ile gösterilen grafikte perforasyon yüzdesi düşük ve arkasında taş yünü kullanıldığı için yutuculuk etki alanının bas frekanslara doğru kayarak, frekans bandının genişlediğini görebiliyoruz. B' de ise aynı perforasyon yüzdesiyle arkasında taş yünü olmadan oluşan yutuculuk etkisinin sağa doğru kayarak frekans bant genişliğinin azaldığı görülmektedir. C grafiğinde perforasyon yüzdesi büyük ve taş yünü kullanılması sonucu frekans bant genişliğinin arttığı, frekans etkin değerinin ise orta frekanslara kaydığı belirlenmiştir. Perforasyon yüzdesi arttıkça etkin frekans değeri artmakta, yutucu malzeme kullanımının ise frekans bant genişliğini arttırdığı söylenebilmektedir.



Şekil 2.14 Helmholtz rezonatör panel ses yutuculukları [34]

Tablo 2.12 Helmholtz rezonatör panellerin özellikleri

Grafik	Derinlik	Delikli panel kalınlığı	Delik çapı	Delikler arası mesafe	Delik yüzdesi	Taşıyünü
A	5 cm	4 mm	4 mm	40 mm	0,785 %	Var
B	5 cm	4 mm	4 mm	40 mm	0,785 %	Yok
C	5 cm	4 mm	20 mm	60 mm	8,5 %	Var

Helmholtz rezonatör panellerin etkin olduğu frekans değeri aşağıdaki formülle (2.8) hesaplanabilmektedir.

$$f_0 = 200. \sqrt{\frac{p}{(d). (t)}} \quad (2.8)$$

Burada

f_0 : rezonans frekansı

p: delik yüzdesi

d: derinlik (inch)

t: efektif delik derinliği (inch)

= (panel kalınlığı) + (0,8). (delik çapı)

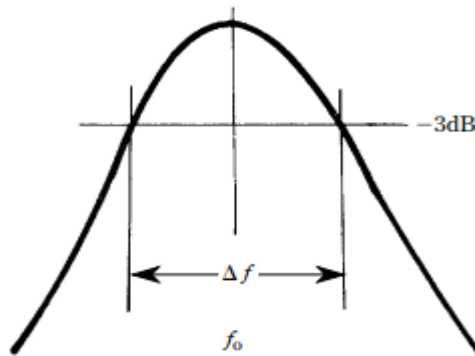
Helmholtz rezonatör gibi rezonansın etkisiyle akustik olarak yankılanan cihazların, kendi renklerini ortama ekleyerek yansıım oluşturma ihtimali bulunmaktadır. Bu tür rezonans yutucuların kendi zaman sabitleri bulunmaktadır. Q faktörü helmholtz rezonatörlerin frekans ayarının keskinliğini bize gösterir. Q faktörünün düşük olması sesin daha hızlı yutulduğunu bize gösterir. Aynı zamanda ses yutma etkisi daha geniş bir frekans bandında etkilidir. Q faktörü yükseldikçe rezonatör ortamın yansıım süresinden sonrada ses vermeye devam edecektir. Bu durum olumsuz bir etki oluşturacaktır. Tablo 2.13’de Q faktörünün rezonatörün içerisinde ki ses yutma süresine etkisini göstermektedir [29].

Tablo 2.13 Rezonatör yutucularda Q faktörün yutma süresine etkisi [29]

Q	f_0	Yutma süresi
100	100 Hz	2.2 s
5	100 Hz	0.11 s
1	100 Hz	0.022 s

Q faktörü (2.9) formülü ile hesaplanmaktadır. şekil 2.15’ de f_0 ve Δf değerleri görölmektedir.

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} \quad (2.9)$$

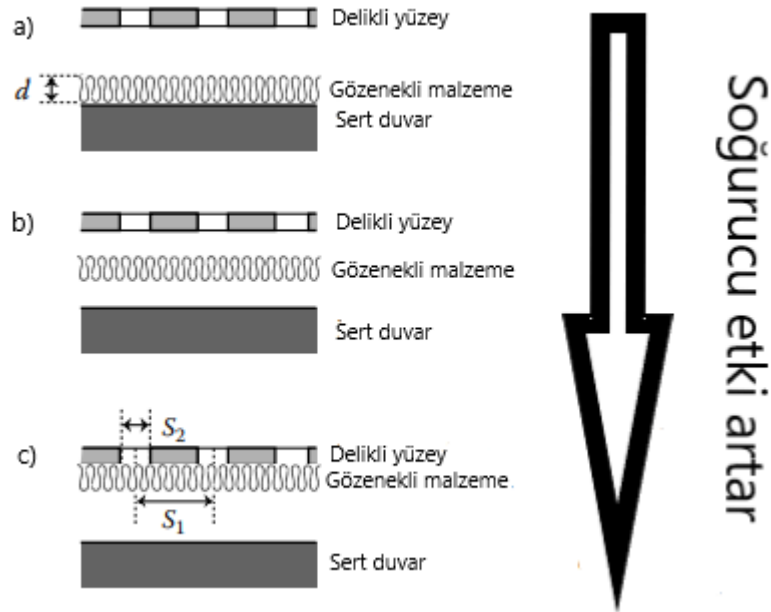


şekil 2.15 Q Faktörü [29]

Helmholtz rezonatörlerin konumu belirlenirken kriterlere uymayan oda modlarının maksimum basınç noktaları göz önüne alınmalıdır. Köşelere ve iki yüzeyin kesiştiği noktalara konan delikli paneller teğetsel ve eğik modları yutarken, duvar yüzeylerine konan paneller eksensel modları yutacaktır [38].

Helmholtz rezonatörlerin ayarlama frekansı rezonatörün şekline bağlı değildir. Aynı $S/L.V$ oranına sahip farklı şekildeki rezonatörlerin ayarlama frekanslarının eşit olduğu görülmüştür. Rezonatörün içerisindeki bölümde meydana gelen duran dalgalar, boyundaki salınım hareketinden bağımsız olarak ek titreşim frekansları oluşturur. Bunlar rezonatörün harmonikleri değildir. İlk duran dalga frekansı temel frekansın birkaç katı olabilir [37].

Yutucu malzemelerin helmholtz panellerin arkasında ki kullanımlarına baktığımızda, en etkin yutuculuk değerlerinin delikli yüzeyin arkasında kullanımı sonucu olduğu görülmüştür (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Delikli yüzey ses yutucu malzeme uzaklığına göre ses yutum etkisi [26]

2.6.1.3 Titreşen Levhalar

Ses dalgaları taşıdıkları ses enerjisi ile yapı içinde bulunan levhaları titreştirir. Bu titreşim sırasında levhanın tespit yerlerindeki sürtünmeler, levhanın içinde meydana gelen sürtünmeler, levhanın arkasında kalan hava tabakasında oluşan sürtünmeler gibi enerji dönüşümleri ile ses enerjisi ısı enerjisine dönüşür.

Levhaların sahip olduğu öz titreşim frekanslarında gelen ses dalgaları levhaları titreştirir [39].

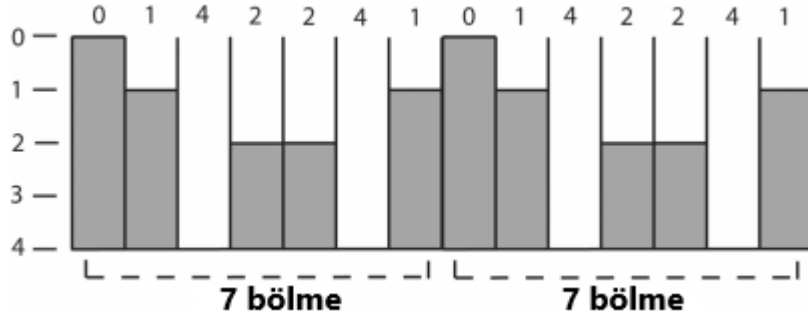
Mimaride yapı yüzlerine uygulanan levhalar boyutlarının büyüklüğünden dolayı öz titreşim frekansı düşük olan parçalardır. Bu sebeple bu tür levhalar pes sesleri tizlerden çok daha fazla yutarlar. Levhaların öz titreşim frekansları moleküler yapılarına, kalınlıklarına, esnekliklerine, yoğunluklarına göre değişir [40].

İnce ve hafif levhaların arkasındaki hava boşluğunda lifli yapıda ses yutucu malzemeler kullanılarak hem yüksek hem de alçak frekanslarda ki seslerin yutulması sağlanır.

2.6.2 Ses Dağıtıcılar

Duvarlarda var olan düzensiz şekiller sesin dalga boyuna bağlı olarak bazı yansıma şekilleri oluşturmasını sağlar. Eğer bu düzensizliklerin boyutları dalga boyundan oldukça küçükse duvar düz bir duvar gibi davranarak düzgün yansıma gerçekleştirir. Düzensizlikler dalga boyuna eşit veya yakın değerlerde ise ses saçılarak yoluna devam eder. Düzensizlikler dalga boyundan çok daha büyükse, düzensiz yüzeylerin her biri ayrı bir düz yüzeymiş gibi davranır .

Ses saçıcı olarak kullanılan QRD yansıma faz ağı bir difüzördür. Farklı derinliklere sahip oyuklardan oluşur. Oyuk derinlikleri difüz etmesini istediğimiz en düşük frekansın dalga boyuna göre belirlenir. Oyuk genişliği en yüksek frekansın dalga boyunun yarısı olacak şekilde oluşturulur. Oyuk derinliklerini asal sayı modlarını kullanarak buluruz. n sayısının karesi alınarak belirlenen asal sayının modundaki değeri derinlik olarak belirlenir. Mesela asal sayı 7' ye göre oluşturacağımız QRD' de $n=0$ için 0, $n=1$ için 1, $n=2$ için $2^2=4$ 'ün mod 7 deki değerine bakarız. $n=3$ için $3^2=9$ ' un mod 7 deki değeri olan 2, $n=4$ için $4^2=16$ ' nın mod 7 deki değeri 2, $n=5$ için $5^2=25$ ' in mod 7 deki değeri 4, $n=6$ için $6^2=36$ 'nın mod 7 deki değeri 1, $n=7$ için $7^2=49$ ' un mod 7 deki değeri 0 kullanılır.



Şekil 2.17 7 asal sayısına göre oluşturulmuş QRD difüzör [41]

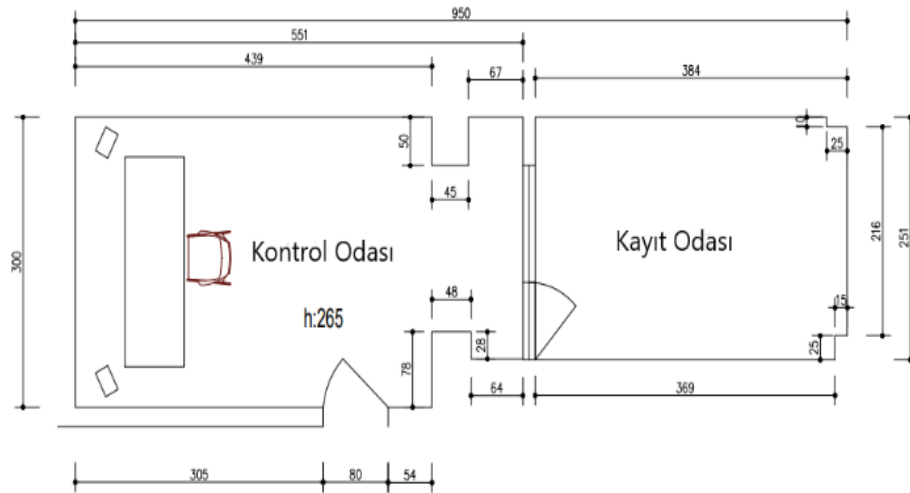


KAYIT VE KONTROL ODASI AKUSTİK TASARIM

3.1 Kayıt ve Kontrol Odası Mimari Özellikleri

Kontrol odasının hacmi 43 m^3 , uzunluğu 5.53 m , genişliği 2.96 m , yüksekliği 2.61 m metredir. Duvarlar tuğla ve alçıpan malzemeden yapılmış, yer döşemesi laminant parkedir. 1 adet ahşap camlı kapı, 1 adet PVC camlı kapı ve bir gözlem penceresi bulunmaktadır. Kontrol odası hacmi sınır değer olarak kabul edilen 42 m^3 üzerinde bir değerdedir.

Kayıt odası 25 m^3 hacme sahip olup hacim büyüklüğü açısından kabul edilen sınır değerlerin altındadır. Uzunluğu 3.7 m , genişliği 2.64 m ve yüksekliği 2.61 m 'dir. Duvarlar tuğla ve alçıpan, yer döşemesi laminant parkedir. Kontrol odası ile komşu 1 adet camlı PVC kapı, gözlem penceresi ve boşluğa bakan 1 adet PVC pencere bulunmaktadır. Şekil 3.1'de kontrol ve kayıt odasının planı yer almaktadır.



Şekil 3.1 Kayıt ve kontrol odası plan

3.2 Kontrol Odası Akustik Tasarım

Kontrol odası akustik tasarımı şekil 1 de gösterilen yöntem izlenerek gerçekleştirilmiştir. Oda oranları ve modları hesaplanıp hacim akustiği açısından uygunluk durumları belirlenmiştir. Mevcut durum yansıma süresi değerlerini belirleyebilmek amacı ile yansıma süresi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Yansıma süresi için T_{30}, T_{20}, T_{10} ve EDT parametreleri ölçülmüştür. Kontrol odaları için optimum yansıma süresi belirlerken ITU ve EBU [24][23] standartlarında yer alan formül (3.1) kullanılmış ve optimum yansıma süresinin frekanslara göre optimum aralıkları belirlenerek değerlendirme yapılmıştır.

$$T_m = 0,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}} = 0,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{42}{100}} = 0,19 \text{ saniye} \quad (3.1)$$

Burada,

V: Hacim (m^3)

V_0 : Referans hacim:100 m^3

şeklindedir.

ISO 3382-2 mühendislik ölçüm yöntemi standartlarına uygun olarak kaynak ve mikrofon konumları belirlenmiştir. Ölçümlerde bir adet hoparlör, hoparlör yükseltici, omnidirectional Behringer ECM8000 ölçüm mikrofonu, mikrofon tripodu, Presonus ses kartı, bilgisayar, ARTA yazılımı [42] kullanılmıştır. Ölçümlerde EDT, T10, T20, T30 parametreleri 63 Hz ile 8000 Hz merkez oktav frekans bant aralığında ölçülmüştür.

Hoparlör yerden 150 cm, mikrofon yerden 120 cm yukarıda olacak şekilde konumlandırılmıştır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, kontrol odası için 2 farklı kaynak ve 4 farklı mikrofon konumu seçilmiştir. Her mikrofon konumunda mikrofon 120° lik açılar yapacak şekilde 3 farklı yön konumu belirlenmiş ve her farklı yön konumunda 3 ölçüm yapılmıştır. Odaya geniş bant beyaz gürültü verilerek, toplam 72 ölçüm yapılmıştır.

Mikrofon konumları arasındaki minimum mesafe ISO 3382-2 de gösterilen formülle (3.2) hesaplanmış mikrofonlar, aralarında en az 1,1 m mesafe olacak şekilde konumlandırılmıştır [33].

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{c \cdot T}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{42}{340,04}} = 1,1 \text{ m} \quad (3.2)$$

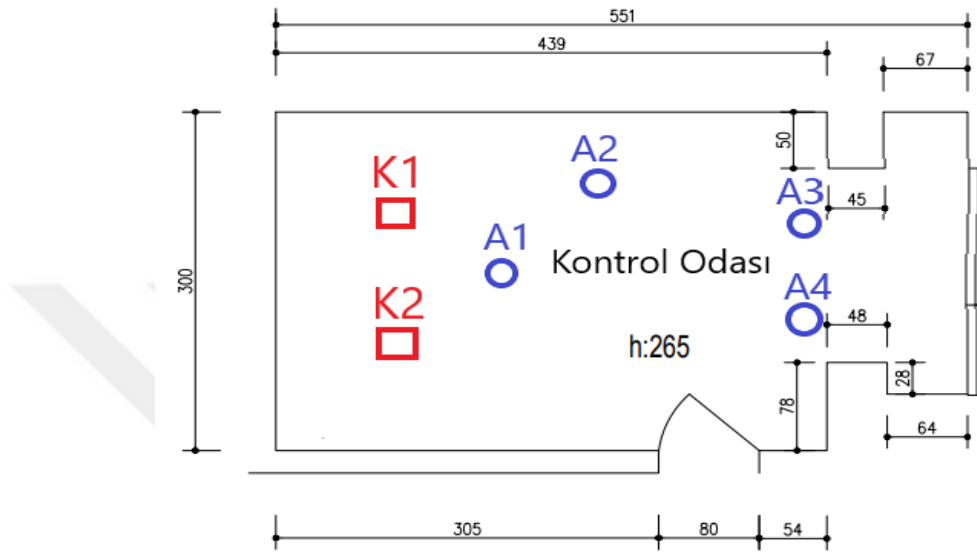
Burada,

V: Hacim (m³)

C: ses hızı: 340m/s

$\bar{T}$: Tahmini yansıma süresi (s)

şeklinde dir.



Şekil 3.2 Kontrol odası ölçüm planı

3.2.1 Mevcut Akustik Koşulların Değerlendirilmesi

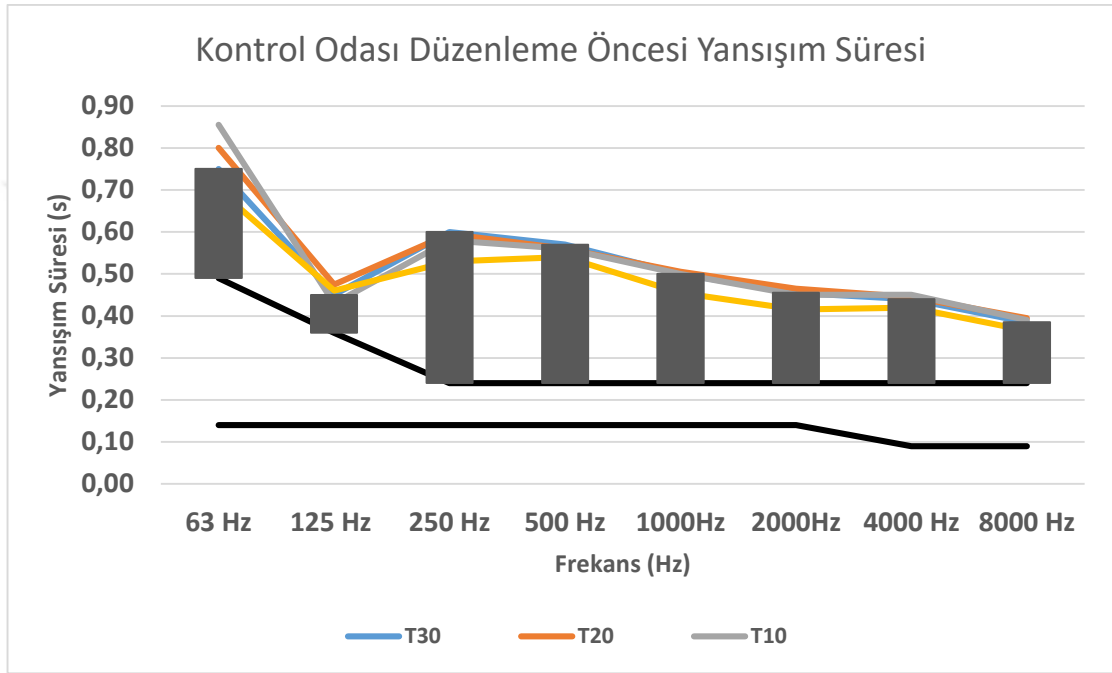
İyileştirme öncesinde kontrol odasının duvarları ve tavanı boş, döşeme parke kaplı bir durumdadır. Şekil 3.3’de iyileştirme öncesi durum görülmektedir.



Şekil 3.3 Kontrol odası düzenleme öncesi iç mekân görseli

3.2.1.1 Yansıma Süresi

İyileştirme öncesi var olan akustik koşulları tespit etmek amacıyla yapılan ölçümler sonucunda kontrol odası için elde edilen T_{30} , T_{20} , T_{10} ve EDT parametrelerinin ortalama değerleri Şekil 3.4'deki gibidir. Her frekans bölgesi için yansıma süreleri sınır değerlerin üstünde kalmış, fark değerler çubuk grafikte gösterilmiştir. Sınır değerlere en yakın merkez oktav frekansı 125 Hz, en uzak olan ise 250 Hz bölgesi olmuştur (Tablo 3.1).



Şekil 3.4 Kontrol odası düzenleme öncesi yansıma süresi değerleri

Tablo 3.1 Kontrol odası düzenleme öncesi yansıma süresi değerleri

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30	0,75	0,45	0,60	0,57	0,50	0,46	0,44	0,39
T20	0,80	0,48	0,60	0,56	0,51	0,47	0,45	0,40
T10	0,86	0,43	0,58	0,56	0,50	0,45	0,45	0,39
EDT	0,70	0,46	0,53	0,54	0,46	0,42	0,42	0,37
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

3.2.1.2 Yansıyan ve Doğrudan Gelen Ses Enerji Oranları

Kontrol odasında doğrudan gelen sesle yansıyarak gelen seslerin enerjilerinin eşit olduğu kritik uzaklığın frekans bölgelerine göre değerleri aşağıdaki tablolardaki gibidir. Yönsellik değeri kullanılacak referans monitörlere göre değişeceği için küresel dağılım için Q değeri 1, en yönsel dağılım için Q değeri 15 kabul edilmiştir. Kritik uzaklık değeri frekanslara göre bu iki değer arasında olacaktır. Düzenleme öncesinde ses kaynağının yönselliğinin 1 kabul edildiği durum tablo 3.2’de ve 15 kabul edildiği durum tablo 3.3’de görülmektedir.

Tablo 3.2 Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Önc. Kontrol Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Etkin Alan (A)	8,50	14,20	11,40	12,20	13,40	14,50	15,20	17,10
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,11	0,18	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22
Hacim Sabiti (R)	9,55	17,41	13,38	14,49	16,22	17,86	18,93	21,98
Kritik Uzaklık (D)	0,44	0,59	0,52	0,54	0,57	0,60	0,62	0,66

Tablo 3.3 Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Önc. Kontrol Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Etkin Alan (A)	8,50	14,20	11,40	12,20	13,40	14,50	15,20	17,10
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,11	0,18	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22
Hacim Sabiti (R)	9,55	17,41	13,38	14,49	16,22	17,86	18,93	21,98
Kritik Uzaklık (D)	1,69	2,29	2,00	2,09	2,21	2,31	2,38	2,57

3.2.1.3 Bas Enerji Oranı

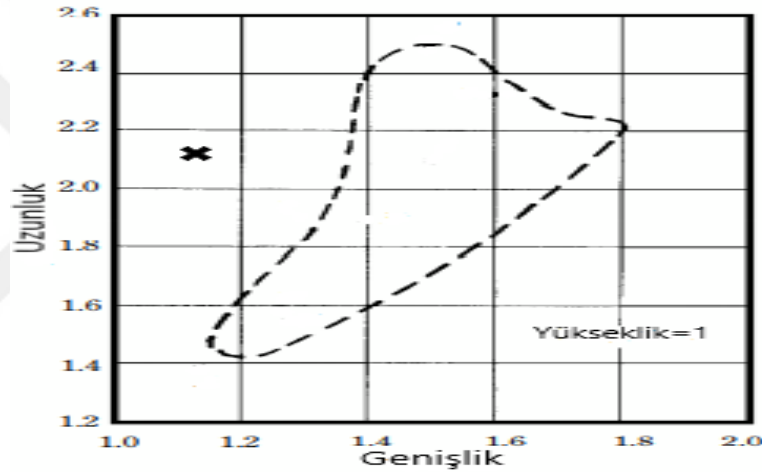
Kontrol odası için düzenleme öncesi T 30 değerleri alınarak elde edilen bas enerji oranı (3.3)

$$BR = \frac{0,45 + 0,6}{0,57 + 0,5} = 0,98 \quad (3.3)$$

bulunmuştur. Bas oranı müzik için alt sınırdadır bulunmaktadır.

3.2.1.4 Kontrol Odası Oda Oranları

Kontrol odası için oda oranları 1: 2,12: 1,13 olarak belirlenmiştir. Bu oran Bolt alanı içinde yer almamaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Kontrol odasının Bolt alanı açısından değerlendirilmesi (x: Kontrol odası oda oranı)

Kontrol odaları için ITU R-BS 1116 ve EBU Tech 3276 standartlarınca belirlenmiş oda oranlarına göre aşağıdaki eşitlik (3.4) sağlanmamaktadır.

$$\begin{aligned} \frac{1.1w}{h} &\leq \frac{l}{h} \leq \frac{4.5w}{h} - 4 = \\ \frac{1,1 \cdot (2,96)}{2,61} &\leq \frac{5,53}{2,61} \leq \frac{4,5 \cdot (2,96)}{2,61} - 4 \quad (3.4) \\ 1,25 &\leq 2,12 \geq 1,1 \end{aligned}$$

Aynı standartlarda belirtilen $l/h < 3$ ve $w/h < 3$ koşulları ise sağlanmaktadır.

$$\frac{5,53}{2,61} < 3 \text{ ve } \frac{2,96}{2,61} < 3$$

Kontrol odasının oda oranları literatürdeki oda oranlarına uymamaktadır. Bu durum oda rezonanslarının düzgün dağılmayacağı öngörüsünü beraberinde getirir de oda rezonansları belirlendikten sonra daha net bir analiz yapılabilmesi olanaklıdır.

3.2.1.5 Kontrol Odası Mod Dağılımı

Kontrol odası eksensel mod dağılımının Tablo 3.4'deki gibi sıralandığını görmekteyiz. Odanın uzun kenarı boyunca oluşan ilk eksensel mod 31 Hz frekansındadır. Daha sonra odanın kısa kenarı boyunca oluşan 57,94 Hz frekansındaki modun geldiği görülmektedir. Bu ilk iki modun eksensel olması ve aralarında herhangi bir modun bulunmaması, aralarındaki frekans mesafesinin 27 Hz civarında olması dolayısıyla hacim yanıtını olumsuz etkileyeceği söylenebilir. Ancak dinleme odasında kullanılacak referans monitörlerin 40 Hz' den başlayan frekanslarda ses üretmesi 31 Hz modunun uyarılmayacağı sonucunu doğurmaktadır [10]. Bu sebeple 31 Hz frekansındaki ilk mod odada booomlama yapmayacaktır. Diğer mod frekansları için detaylı analiz Gilford ve Bonello kriterlerine göre yapılmalıdır.

Oda modlarının problem olmaktan çıkacağı kritik frekans değerine Schröder frekansı denilmektedir. Schröder frekansı oda analizinde mod bölgesi ile orta frekans bölgesini ayırmaktadır. Kontrol odası için kritik frekans değeri (3.5),

$$f_k = 2000 \cdot \sqrt{\frac{T_{60}}{V}} = 2000 \cdot \sqrt{\frac{0,19}{42,73}} = 133 \text{ Hz} \quad (3.5)$$

T_{60} : Yansıma süresi (s)

V: Hacim (m³)

olmaktadır. 133 Hz üstündeki frekanslarda oda modlarının birbirlerine yaklaşması ve hacim yanıtını düzgünleştirmesi beklenmektedir.

Tablo 3.4 Kontrol odası mod listesi

Mod numarası	Mod eksenleri	Mod Frekansı,Hız	Eksensel	Teğetsel	Eğik
1	1,0,0	31,01	x		
2	0,1,0	57,94	x		
3	2,0,0	62,03	x		
4	0,0,1	65,71	x		
5	1,1,0	65,72		x	
6	1,0,1	72,66		x	
7	2,1,0	84,88		x	
8	0,1,1	87,6		x	
9	2,0,1	90,36		x	
10	1,1,1	92,93			x
11	3,0,0	93,04	x		
12	2,1,1	107,34			x
13	3,1,0	109,6		x	
14	3,0,1	113,9		x	
15	0,2,0	115,88	x		
16	1,2,0	119,96		x	
17	4,0,0	124,05	x		
18	3,1,1	127,79			x
19	0,0,2	131,42	x		
20	2,2,0	131,43		x	
21	0,2,1	133,21		x	
22	1,0,2	135,03		x	
23	1,2,1	136,77			x
24	4,1,0	136,91		x	
25	4,0,1	140,38		x	

Gilford Kriteri

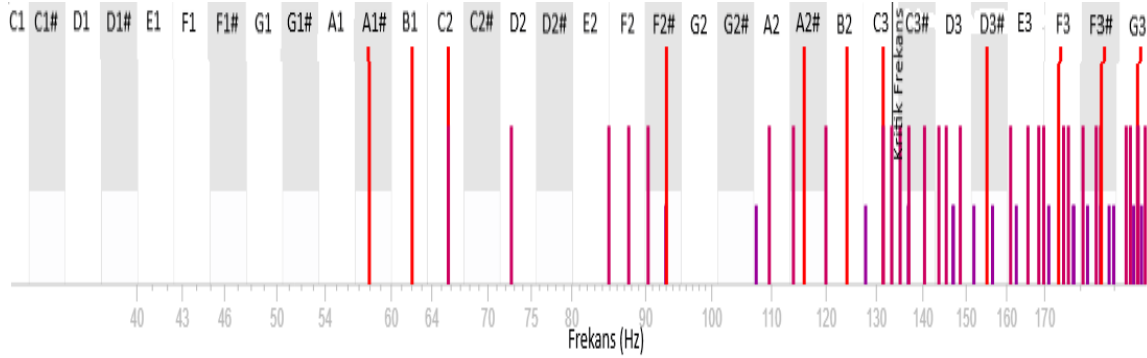
Eksensel modların arasında 20 Hz' den fazla bir boşluk olması veya birbirlerine çok yakın ya da çakışması durumunda renklenme problemi oluşacaktır. Gilford kriteri sadece eksensel modları hesaba katar. Kontrol odası için gilford analizi sonucu tablodaki mod sıralaması ve eksensel modların aralığı Tablo 3.5'deki gibidir.

Tablo 3.5 Kontrol odası eksensel modlar

x=5,53 m f=n.170/L	y=2,96 m f=n.170/L	z=2,61 m f=n.170/L	Mod sıralama	Eksensel mod aralığı	Mod bant genişliği (Düzenleme öncesi)	Mod bant genişliği (Düzenleme sonrası)
31,01 Hz	57,94 Hz	65,71 Hz	31,01	26,93		
62,03 Hz	115,88 Hz	131,42 Hz	57,94	4,09	2,2/0,8=2,75 Hz	2,2/0,75=2,93 Hz
93,04 Hz			62,03	3,68	2,2/0,8=2,75 Hz	2,2/0,75=2,93 Hz
124,05 Hz			65,71	27,33	2,2/0,8=2,75 Hz	2,2/0,75=2,93 Hz
			93,04	22,84	2,2/0,48=4,58 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz
			115,88	8,17	2,2/0,48=4,58 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz
			124,05	7,37	2,2/0,48=4,58 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz
			131,42		2,2/0,48=4,58 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz

Şekil 3.6'daki değerlere göre 57,94 Hz, 62,03 Hz ve 65,71 Hz eksensel modları birbirlerine yeterli uzaklıkta, mod bant genişlikleri içine girmeden sıralanmaktadır. Ancak 93,04 Hz eksensel modu izole bir durumdadır. 65,71 Hz ile 93,04 Hz arasında 4 teğetsel mod bulunmakla beraber aradaki 3 notada herhangi bir rezonans bulunmamaktadır. 93,04 Hz den 115,88 Hz'e kadar olan bölümde de 2 notada da oda rezonansı bulunmamaktadır. Her ne kadar odanın kritik frekansı 133 Hz olsa da modların notalara göre dağılımı ve Gilford kriteride

gözetilerek analiz yapıldığında 115 Hz den sonra mod yoğunluğunun arttığı ve her nota değerinde rezonansların olduğu görülmektedir.

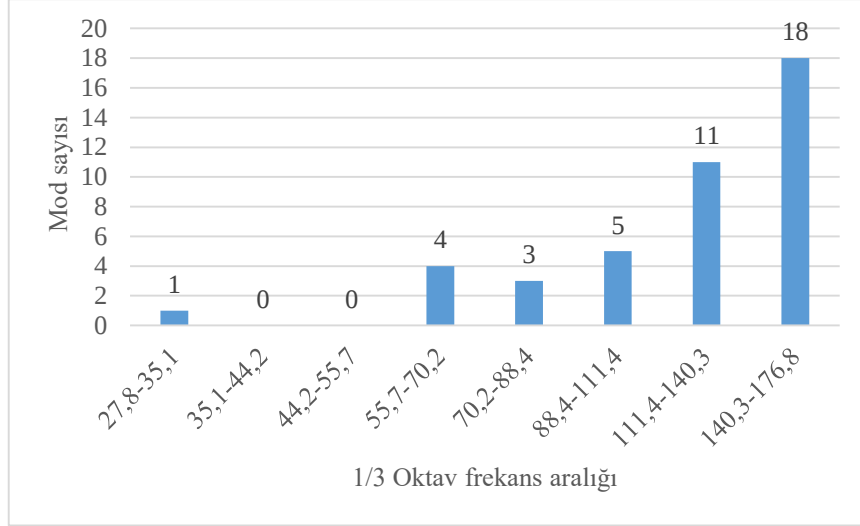


Şekil 3.6 Notalara göre kontrol odası mod dağılımı [43]

Bonello Kriteri

Bonello 1981 yılında yaptığı çalışmada dikdörtgen biçimli odaların mod dağılımlarını bir algoritma içerisinde incelemek istemiş ve bazı sonuçlara ulaşmıştır. Her 1/3 oktav frekans bandındaki mod sayısının, bir önceki 1/3 oktav bandında ki mod sayısına eşit veya daha fazla olması gerektiğini belirlemiştir.

Kontrol odası için bu kriter değerlendirildiğinde Şekil 3.7'deki grafikteki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. 55,7 Hz den itibaren incelendiğinde 55,7 Hz ile 70,2 Hz frekans aralığında 4 mod bulunurken 70,2 Hz ile 88,4 Hz arasında ise 3 mod bulunmaktadır. Daha sonraki 1/3 oktav bantlarında mod dağılımının artarak devam ettiği görülmektedir. Bonello kriterinin 55,7 ile 88,4 Hz arasında oluşmadığı ve mod dağılımının düzgün olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.7 Kontrol 1/3 oktav frekans aralığında mod sayıları (Bonello kriteri)

3.2.2 İyileştirme Çalışmaları

Ölçüm ve hesaplamalar sonucu elde edilen mod ve yansıma süresi verileri analiz edilerek hacim akustiği tasarımı yapılmıştır.

Öncelikli olarak yansıma süresini optimum değer aralığına çekebilmek için yutuculuk hesabı yapılmış, ölçüm sonuçlarından elde edilen yansıma süresi Sabine formülü kullanılarak var olan etkin yutucu alan bulunmuş, ihtiyaç duyulan etkin yutucu alan belirlenerek aradaki fark değer kadar yutucu alan oda modları da düşünülerek hacim iç yüzeylerine uygulanmıştır. Ayrıca, dağıtıcı yüzey gereksinimi nedeni ile yan duvar ve arka duvarda uygulanmak üzere dağıtıcı ve saçıcı yüzey tasarımı yapılmıştır.

Helmholtz Rezonatör Panel Tasarımı

Kontrol odası için yansıma sürelerini optimum değer aralığına getirmek için 3 farklı tipte helmholtz rezonatör paneller formül kullanılarak delik çapı derinlik ve ön panel kalınlığı belirlenerek hedef frekans bölgelerinde etkili olacak şekilde tasarlanarak atölye de yaptırılmıştır. Tablo 3.6'da ölçüleri yer alan rezonatörler, oda modlarının etkin olduğu konumlarda kullanılmıştır. Helmholtz rezonatör panellerin etkin frekansı aşağıdaki formülle (3.6) hesaplanmıştır. Tablo 3.7' de kullanılan helmholtz rezonatör panellerin yutma çarpanları bulunmaktadır.

$$f_0 = 200. \sqrt{\frac{p}{(d).(t)}} \quad (3.6)$$

Burada

f_0 : rezonans frekansı

p: delik yüzdesi

d: derinlik (inch)

t: efektif delik derinliği (inch)

= (panel kalınlığı) + (0,8). (delik çapı) şeklindedir.

Tablo 3.6 Delikli rezonatör panel ölçüleri

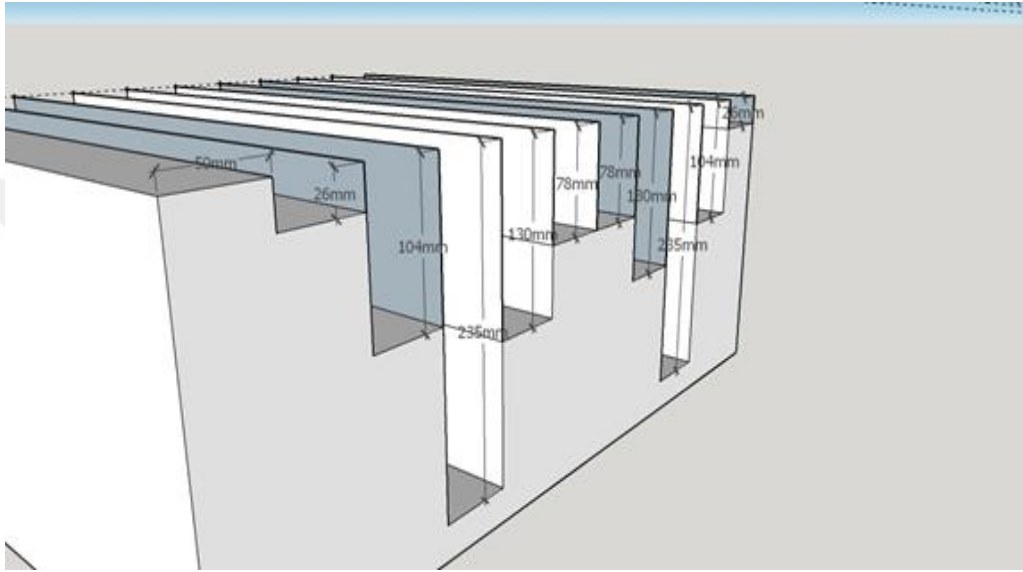
Helmholtz Rezonatör Tasarımı	Tip 1 (5 mm çaplı 64 adet delik)	Tip 2 (7 mm çaplı 81 adet delik)	Tip 3 (12 mm çaplı 81 adet delik)
Delik derinliği (mm)	6	6	6
Efektif delik derinliği (mm)	10,05	11,68	15,54
Delik çapı (mm)	5	7	12
Delik yüzdesi	0,36	0,860	2,540
Derinlik (cm)	10	10	10
Rezonans frekansı (Hz)	96,07	137,77	205,27

Tablo 3.7 Helmholtz panel ve QRD difüzörlerin yutma çarpanları [34]

Yutma katsayıları	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
5 mm delikli Helmholtz panel	0,5	0,9	0,72	0,5	0,2	0,12	0,1	0,08
7 mm delikli Helmholtz panel	0,5	0,99	0,78	0,52	0,2	0,13	0,1	0,08
12 mm delikli Helmholtz panel	0,3	0,85	0,9	0,5	0,2	0,12	0,1	0,09
QRD difüzör panel	0,1	0,2	0,25	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15

QRD 1120 Difüzör Tasarımı

Kontrol odasında sesin daha iyi dağılması için $N=11$ asal sayısına göre tasarlanmış QRD difüzör derinlikleri Şekil 3.8’ deki gibidir. 60 cm x 60 cm boyutlarında olan difüzörlerde, aralık genişliği 5 cm olan toplam 11 aralık vardır. QRD 1120 difüzörün başındaki 11 modelin hangi asal sayıya göre yapıldığını, sonundaki 20 de pinler arası mesafenin kaç inç olduğunu göstermektedir. 2,0 inç yani 5 cm aralık vardır. Etkili olduğu frekans aralığı 421 Hz ile 3846 Hz arasındır.



Şekil 3.8 QRD 1120 dağıtıcı yüzey (difüzör)



Şekil 3.9 Kontrol odası düzenleme sonrası görseli

Kontrol odasının hacim akustiği tasarımı şekil 1.1’ de gösterilen araştırma yöntemi basamaklarına uygun olarak değerlendirilip yapılmıştır. Düzenleme öncesi oda mod dağılımlarına bakıldığında 93 Hz frekansında izole kalmış bir mod tespit edilmiş, ayrıca yansıma sürelerinin her frekans bölgesinde uygun değer aralığının üstünde olduğu görülmüştür. Alt frekans bölgelerindeki durumu düzeltmek için 3 tip helmholtz rezonatör panel tasarlanmıştır. Orta ve üst frekans bölgeleri için 4 cm kalınlığında açık gözenekli sünger üzerine kumaş kaplı paneller ilk yansıma noktalarına ve kolonlara konumlandırılmıştır. Ayrıca arka duvara 1 adet skyliner difüzör ve yan duvara 4 adet 1 boyutlu QRD difüzör yerleştirilmiştir (Şekil 3.9).

Kullanılan QRD difüzörler 11 asal sayısına göre tasarlanmıştır. Orta ve yüksek frekans bölgelerinde sesin zaman ve mekân ölçeğinde dağılacağı ve bu frekans bölgelerindeki seslerin daha fazla yutulacağı düşünülmüştür. Bu nedenle hesaplanan yansıma süresi değerleri optimum aralığın biraz üstünde kalmıştır.

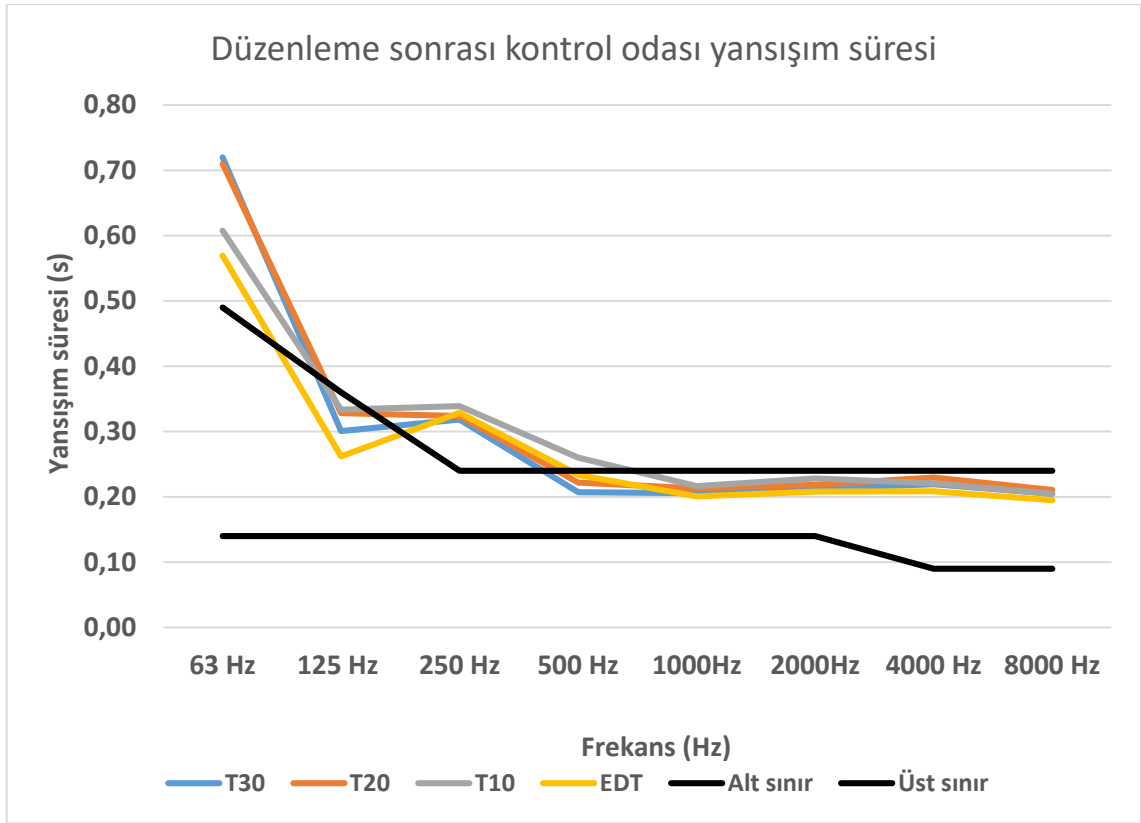
3.2.2.1 Yansıma Süresi

Düzenleme öncesi yansıma sürelerinin ITU standartları kullanılarak belirlenmiş optimum aralığın üstünde olduğu grafikte görülmektedir. 250 Hz dışındaki frekanslarda, elde edilen yansıma süreleri, optimum değerlere yakındır. Yansıma sürelerini uygun aralığa çekmek için, kontrol odasının iç yüzeylerine literatürden yararlanılarak belirlenen ve tablo 3.8’de yutma çarpanları verilen gereçler atanmış ve yansıma süresi hesabı gerçekleştirilmiştir.

Düzenleme sonrası yansıma sürelerinin 125 Hz merkez oktav frekans bölgesi ile 500 Hz ve üzerindeki merkez oktav frekans bölgelerinde tolerans sınır değerleri arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.10). 63 Hz bölgesinde çok az bir iyileşme olduğu, 250 Hz bölgesi sınır değerlerin biraz yukarısında kalsa da ilk duruma göre yansıma süresinin azalım gösterdiği görülmektedir (Tablo 3.9). Miks masası ve diğer eşyaların rezonans ve yansıma etkilerinin beklenen iyileştirme üzerinde olumsuz etkileri olduğu düşünülmektedir [44].

Tablo 3.8 Kontrol odası yansımaları				
	Hacim:	42,73		
AÇIKLAMALAR	MALZEMELER	ALAN (m2)		63
			aS	a
	Yüzeyler : m2			

60

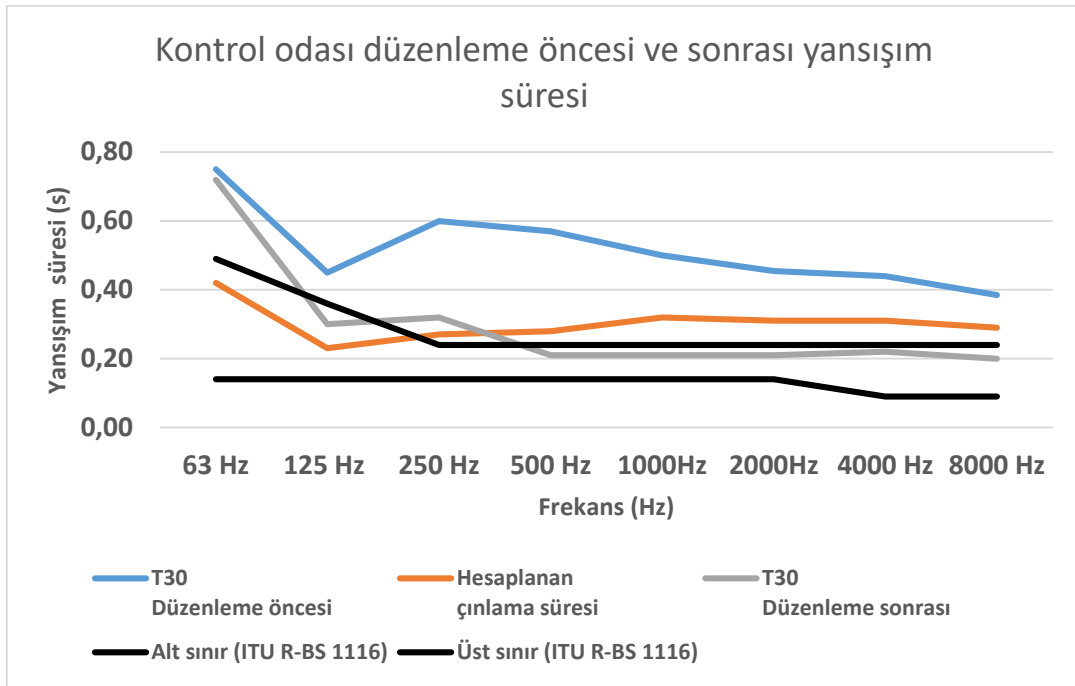


Şekil 3.10 Düzenleme sonrası kontrol odası yansıma süreleri

Tablo 3.9 Düzenleme sonrası kontrol odası yansıma süreleri

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30	0,72	0,30	0,32	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20
T20	0,71	0,33	0,32	0,22	0,21	0,22	0,23	0,21
T10	0,61	0,33	0,34	0,26	0,22	0,23	0,22	0,20
EDT	0,57	0,26	0,33	0,23	0,20	0,21	0,21	0,19
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

Yansıma süresine yönelik, iyileştirme öncesi ve sonrası ölçüm sonuçları ile iyileştirme sonrası hesap sonuçları Şekil 3.11'deki grafikte ve Tablo 3.10' da yer almaktadır.



Şekil 3.11 Kontrol odası düzenleme öncesi, sonrası T30 ve sonrası hesaplanan yansıma süresi

Tablo 3.10 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süreleri

Frekans	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30 Düzenleme öncesi	0,75	0,45	0,60	0,57	0,50	0,46	0,44	0,39
Hesaplanan ortalama süresi	0,42	0,23	0,27	0,28	0,32	0,31	0,31	0,29
T30 Düzenleme sonrası	0,72	0,30	0,32	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

Genel olarak değerlendirildiğinde kullanılan akustik gereçlerin işlevini yerine getirdiği söylenebilir. 125 Hz ve üstündeki frekanslarda iyileştirme düzeyleri tatmin edici bulunmuştur. 250 Hz bölgesi sınır değerlerin biraz üstünde kalmış olsa da ilk duruma göre yansıma süresi yarı yarıya düşmüştür. 63 Hz bölgesinde ise gerekli iyileşme gözlemlenememiştir. Bunun nedeni olarak kontrol odası hacminin küçük olması ve alt frekans seslerin küçük odalarda öngörülemez davranışları olabileceği düşünülmektedir. Bu frekans bölgesinin ölçümünün zorluğu da bu sonuçta etkili olabilir [32]. Öznel olarak değerlendirme yapan oda kullanıcısı olan ve yirmi senelik deneyime sahip tonmayster odanın miks için çok iyi bir duyum oluşturduğunu belirtmiştir [46].

3.2.2.2 Yansıyan ve Doğrudan Gelen Ses Enerji Oranları

Düzenleme sonrasında saha ölçüm sonuçlarından elde edilen T_{30} değerine göre hesaplanmış etkin alan değerleri kullanılarak hesaplanan kritik uzaklık değerleri $Q=1$ için Tablo 3.11’de, $Q=15$ için Tablo 3.12’de görülmektedir.

Tablo 3.11 Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Sonr. Kontrol Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Etkin Alan (A)	9,50	22,7 3	21,4 7	33,0 1	33,26	32,20	31,14	33,44
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,12	0,29	0,28	0,43	0,43	0,42	0,40	0,43
Hacim Sabiti (R)	10,8 3	32,2 4	29,7 6	57,7 5	58,50	55,33	52,26	59,06
Kritik Uzaklık (D)	0,47	0,80	0,77	1,07	1,08	1,05	1,02	1,09

Tablo 3.12 Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Sonr. Kontrol Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Etkin Alan (A)	9,50	22,73	21,47	33,01	33,26	32,20	31,14	33,44
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,12	0,29	0,28	0,43	0,43	0,42	0,40	0,43
Hacim Sabiti (R)	10,83	32,24	29,76	57,75	58,50	55,33	52,26	59,06
Kritik Uzaklık (D)	1,80	3,11	2,99	4,16	4,19	4,07	3,96	4,21

3.2.2.3 Bas Enerji Oranı

Düzenleme sonrası yapılan hesapta

$$BR = \frac{0,3 + 0,32}{0,21 + 0,21} = 1,48$$

bulunmuştur. Bas oranı yapılan düzenleme sonrasında 0,5 değerinde artmıştır.

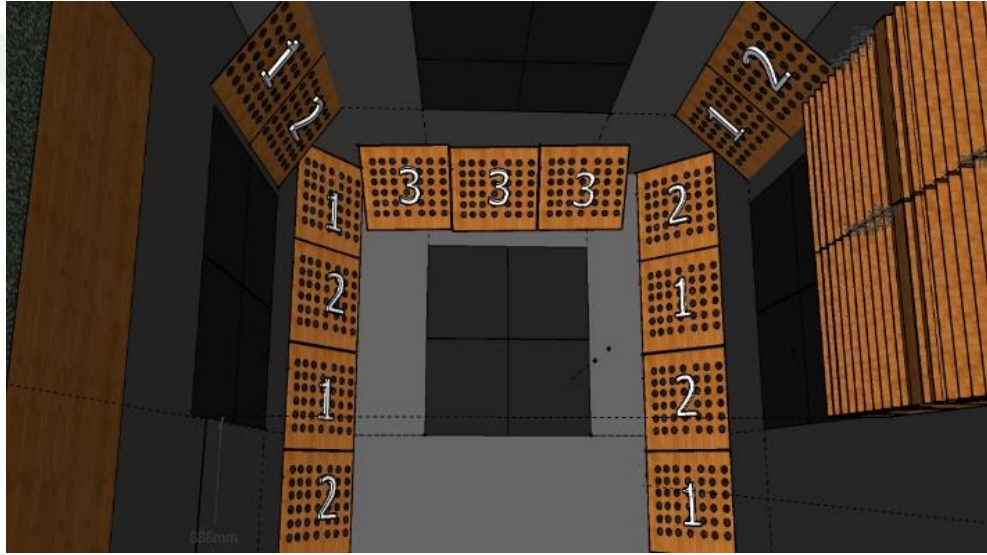
3.2.2.4 İlk Yansıma Gecikmesi (ITDG)

Kontrol odalarında kayıttan dinlenen müzik eserinin kayıt ortamında var olan ilk yansıma gecikmesinin ayırt edilebilmesi için ilk yansıma enerjilerinin azaltılması gerekmektedir. İlk yansımalarla gelen ses dalgalarının enerjisini azaltmak amacıyla ön ve yan duvarlarla, tavana şekilde görüldüğü gibi 5 cm kalınlığında açık gözenekli kumaş kaplı sünger paneller yerleştirilmiştir.

3.2.2.5 Oda Modları

Oda modlarının oluştuğu duvarlar belirlenerek bu modların basınç noktalarının maksimum olduğu yüzeylerde rezonatör paneller yerleştirilmiştir. Şekil 3.12' de görüldüğü gibi Tip 1 ve Tip 2 olarak kodlanan rezonatör paneller kontrol

masasının önündeki köşelere ve yan duvar tavan birleşim noktalarına konulmuştur. Tip 3 rezonatör paneller ise ön duvar tavan birleşim noktalarına yerleştirilmiştir. Bu rezonatör paneller 96 Hz, 137 Hz ve 205 Hz frekanslarına ayarlı, deliklerin arkasında ses yutucu kumaş, panelin 10 cm derinliğindeki iç bölümünün orta noktasında ses yutucu süngerler konulmuştur. Panelin içerisinde ses yutucu malzeme kullanımı sonucu daha geniş bir frekans bandında etkili olması öngörülmüştür. Aynı zamanda rezonatör panelin Q değerinin düşürülerek daha hızlı ses yutuculuğu sağlaması ve bunun sonucu olarak yansıma süresinden daha uzun sürede rezonatör panel tarafından ortama dağıtılacak seslerin önlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.12 Kontrol odası hacim akustiği tasarım

93 Hz uzun kenarın 3.modu olup oda eksensel mod dağılımında izole durumdadır. Tip 1 rezonatörler bu frekansta etkili olup uzun kenara bakan duvar köşelerinde konumlandırılarak bu modun enerjisi azaltılmıştır. Aynı frekans bölgesine yakın durumda bulunan teğetsel modların miks konumunda bulunan kişinin duyumunda etki yaratmaması için yan duvar tavan birleşimlerine de tip 1 ve tip 2 rezonatör paneller yerleştirilmiştir. Tip 1 rezonatör panellerin 63 Hz ve 125 Hz merkez oktav frekans bölgelerinde etkili olacağı öngörülmüştür. Tip 2 rezonatör panellerin 125 Hz bölgesinde daha etkin olacağı, tip 3 rezonatör panellerin ise

250 Hz bölgesinde ve 125 Hz in üst bölgelerinde etkinliği olacağı düşünölmüştür. Düzenleme öncesi yansışım süreleri de dikkate alınarak bu paneller kullanılmıştır.

3.2.3 Değerlendirme

Kontrol odası tasarımı yapılırken literatürde ve uluslararası standartlarda belirlenen hususlar göz önüne alınmış ve tasarım bu hedeflere ulaşmak üzere şekillenmiştir. Öncelikli olarak oda rezonansları incelenmiş, oda mod dağılımları çıkarılmış ve odada meydana gelebilecek renklenme gibi problemlere çözüm üretilmiştir. ITU ve EBU standartlarında yer alan oda oranlarına uymayan odanın, mod dağılımının da düzgün olmadığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda Bolt alanı içerisinde de yer almayan kontrol odasında potansiyel izole oda modlarının renklenme oluşturacağı görölmüştür. Bonello ve Gilford prensiplerine de uymadığı bulunmuştur. Oda modlarından kaynaklanacak problemleri gidermek ve yayınık ses alanı oluşturmak amacıyla ses yutucu ve saçıcı akustik gereçler tasarlanmıştır. Miks yapan kişi için oturma pozisyonunda ilk yansıma gecikme süresini uzatmak için, ilk yansıma noktalarına ses yutucu kumaş kaplı açık gözenekli süngerler yerleştirilmiştir. Oda modlarının yaratacağı alt frekans bölgelerinde ki renklenme problemlerini gidermek ve yansışım süresini düzenlemek amacıyla helmholtz rezonatör paneller ön köşelere ve masa etrafındaki tavan duvar yüzey kesişimlerine yerleştirilmiştir. Yan duvara monte edilen QRD difüzörler yayınık ses alanı oluşturmak için kullanılmıştır. Arka duvara gözlem penceresinin üstüne skyliner difüzör konularak orta ve üst frekans ses saçılmasına fayda sağlanmıştır. Bu difüzörlerin kullanımı sonucu ses daha iyi dağıldığı için ses yutucu yüzeylerin etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

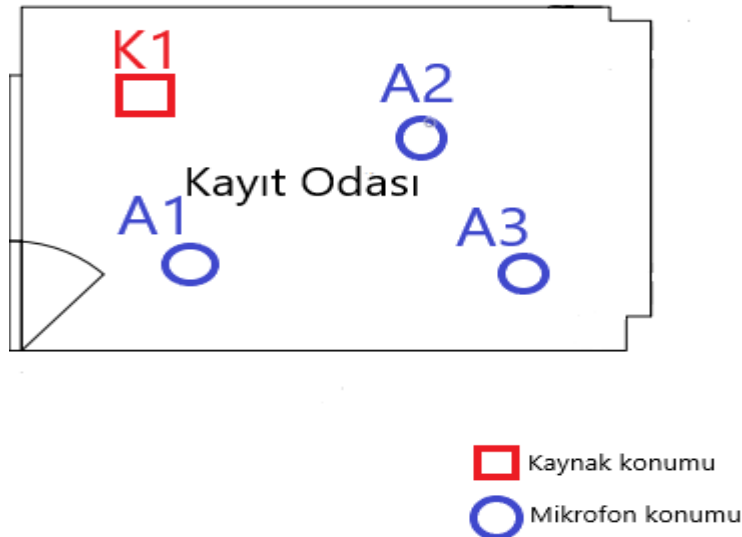
Kontrol odası yansışım süresi düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası ölçümleri karşılaştırıldığında, yansışım süresinin 125 Hz ile 500 Hz ve üstünde optimum aralığa girdiğini, 250 Hz de yansışım süresinin yarıya indiğini ancak yine de sınır değerin üstünde kaldığı bulgu olarak sunulmuştur. Şekil 3.11'deki grafik ve Tablo 3.10'a baktığımızda hedeflerin büyük oranda gerçekleştiğı görölmektedir. 500 Hz ve üstü frekanslar için öngörölen difüzyon etkisinin gerçekleşmesi hesaplama sonucuyla düzenleme sonrası ölçüm sonucunu karşılaştırdığımızda

anlaşılmaktadır. Bulgu olarak koyabileceğimiz bu durum difüzyonun ses yutumuna, yayınık ses alanı yaratarak katkı sağladığını kanıtlamaktadır. Hipotez olarak konulan ve literatürde olan yayınık alan etkisi, bu çalışmada da hesaplanmış ve kanıtlanmıştır. 63 Hz bölgesinde ise hesaplanan değerlere ulaşamamış, Helmholtz panellerin etkisi bu frekans bölgesinde görülmemiştir. Bu durumun iki nedeni olabileceği değerlendirilmiştir. Köşelere konumlandırılan panellerin paralel duvarlar arasında oluşan eksensel modlara etki etmemesi sonucu, alt frekans bölgesinde yansıma süresinin değişmemesi veya bu frekans bölgesinde görebildiğimiz ölçüm zorlukları sonucu 63 Hz bölgesi için yeterli iyileştirme sağlanamamasıdır.

3.3 Kayıt Odası Akustik Tasarım

3.3.1 Mevcut Akustik Koşulların Değerlendirilmesi

Kayıt odası 25,43 m³ hacimli, oldukça küçük bir odadır. Tavan beton, döşeme laminant parkedir. Şekil 3.15’ de görüldüğü gibi pvc cam bir kapı, bir adet gözlem penceresi, havalandırma boşluğuna bakan bir pencere ve bir dolap bulunmaktadır. Odanın mevcut durumunda, dört duvar da kumaş yüzeyli ses yutucu panellerle kaplıdır. Odanın düzenleme öncesi dışardan görünümü Şekil 3.15’deki gibidir.



Şekil 3.13 Kayıt odası ölçüm planı

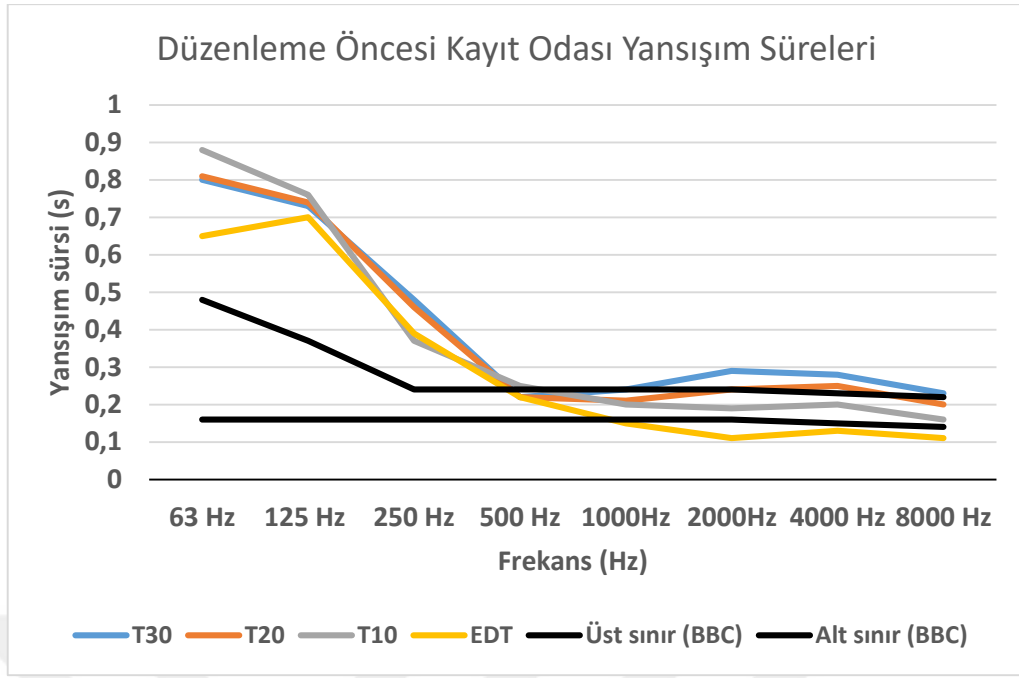
Mevcut akustik koşulların belirlenmesi amacıyla ölçüm planı oluşturulmuştur (Şekil 3.13). ISO 3382-2 mühendislik ölçüm yöntemi standartlarına uygun olarak kaynak ve mikrofon konumları belirlenmiştir. Ölçümlerde bir adet hoparlör, hoparlör yükseltici, omnidirectional Behringer ECM8000 ölçüm mikrofonu, mikrofon tripodu, Presonus ses kartı, bilgisayar, ARTA yazılımı kullanılmıştır.

Ölçümlerde EDT, T10, T20, T30 parametreleri 63 Hz ile 8000 Hz merkez oktav frekans bant aralığında ölçülmüştür.

Hoparlör yerden 150 cm, mikrofon yerden 120 cm yukarıda olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kayıt odası için 1 kaynak ve 3 farklı mikrofon konumu belirlenmiş, her mikrofon konumunda mikrofon 120° lik açılar yapacak şekilde 3 farklı yön konumu belirlenmiş ve her farklı yön konumunda 3 ölçüm yapılmıştır. Toplam 27 ölçüm gerçekleştirilmiştir.

3.3.1.1 Yansıma Süresi

Odanın mevcut durumu için yapılan yansıma süresi ölçüm sonuçları Şekil 3.14 ve Tablo 3.13'de görülmektedir. Ölçüm sonuçlarının 500 Hz' den itibaren optimum sınır değerleri yakın olduğu belirlenmiştir. Dört duvarın da kumaş kaplı süngerlerle kaplı olması, orta ve üst frekans bölgelerinde ses yutumunu arttırmıştır. Ancak alt frekans bölgelerinde bu paneller ses yutumu gerçekleştirmediği için yansıma süreleri orta ve üst frekanslara göre oldukça fazladır. Bu durum, odadaki sesin çamurlu algılanmasına neden olmaktadır. Bas seslerin orta ve yüksek frekans seslere göre daha uzun yansıma sürelerine sahip olması çamurlu algılanmayı sağlamaktadır.



Şekil 3.14 Düzenleme öncesi kayıt odası yansışım süreleri

Tablo 3.13 Düzenleme öncesi kayıt odası yansışım süreleri

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30	0,8	0,73	0,48	0,22	0,24	0,29	0,28	0,23
T20	0,81	0,74	0,46	0,22	0,21	0,24	0,25	0,2
T10	0,88	0,76	0,37	0,25	0,2	0,19	0,2	0,16
EDT	0,65	0,7	0,39	0,22	0,15	0,11	0,13	0,11
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14

Kayıt odası için optimum yansışım süresi 2002 yılında yayınlanan BBC raporuna dayanarak 0,2 saniye olarak belirlenmiştir [31].



Şekil 3.15 Kayıt odası düzenleme öncesi dışardan görünüşü

EDT değerlerinin diğer yansıma sürelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3.14). İlk 10 dB'lik düşüşün daha hızlı olduğu anlamına gelen bu fark dikkate alınarak QRD difüzörlerin ve helmholtz rezonatör panellerin kullanımı sonucu sesin oda içerisinde zamansal dağılımının düzenlenmesi düşünülmüştür.

Dört duvarın kumaş kaplı süngerle kaplı olması sonucu üst ve orta frekans yansıma sürelerinin çok düşük olması, bas oranı parametresini yükseltmektedir. Bu durum da distorsiyon oluşumuna neden olmaktadır.

3.3.1.2 Yansıyan ve Doğrudan Gelen Ses Enerji Oranları

Kayıt odasında doğrudan gelen sesle yansıyarak gelen seslerin enerjilerinin eşit olduğu kritik uzaklığın frekans bölgelerine göre değerleri aşağıdaki tablolardaki gibidir. Düzenleme öncesinde ses kaynağının yönselliğinin 1 kabul edildiği durum Tablo 3.14'de ve 15 kabul edildiği durum Tablo 3.15'de görülmektedir.

Tablo 3.14 Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Önc. Kayıt Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Etkin Alan (A)	5,00	5,50	8,90	18,50	19,40	17,00	16,30	20,40

Tablo 3.14 Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri (devamı)

Düz. Önc. Kayıt Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,06	0,07	0,12	0,24	0,25	0,22	0,21	0,26
Hacim Sabiti (R)	5,35	5,92	10,0 6	24,3 4	25,9 3	21,8 1	20,67	27,74
Kritik Uzaklık (D)	0,33	0,34	0,45	0,70	0,72	0,66	0,64	0,74

Tablo 3.15 Düzenleme öncesi frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Önc. Kayıt Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	15,00	15,00	15,0 0	15,0 0	15,00	15,00	15,0 0	15,00
Etkin Alan (A)	5,00	5,50	8,90	18,5 0	19,40	17,00	16,3 0	20,40
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,06	0,07	0,12	0,24	0,25	0,22	0,21	0,26
Hacim Sabiti (R)	5,35	5,92	10,0 6	24,3 4	25,93	21,81	20,6 7	27,74
Kritik Uzaklık (D)	1,27	1,33	1,74	2,70	2,79	2,56	2,49	2,89

3.3.1.3 Bas Enerji Oranı

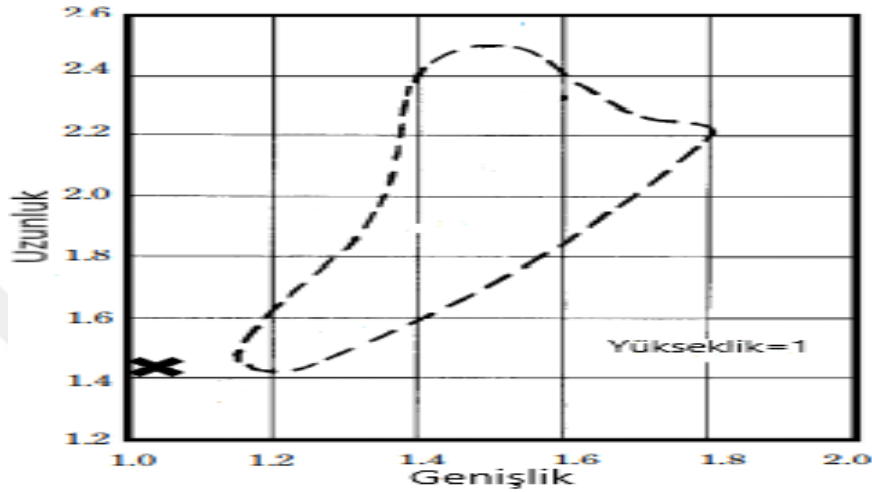
Kayıt odası için düzenleme öncesi T 30 değerleri alınarak elde edilen bas enerji oranı

$$BR = \frac{0,73 + 0,48}{0,22 + 0,24} = 2,63$$

bulunmuştur.

3.3.1.4 Kayıt odası oda oranları

Kayıt odasının boyutları arasındaki oran 1: 1,42: 1,01 olduğu için, Şekil 3.16’da görüldüğü gibi, Bolt oranı açısından uygun değildir. Oda rezonanslarında eksensel mod çakışması bulunmaktadır. 65 Hz ve 131Hz ve 195 Hz frekans bölgelerinde eksensel mod çakışması vardır. Genişlik ve yükseklik ölçülerinin çok yakın olmasından dolayı rezonans probleminin oluşacağı öngörülmüştür.



Şekil 3.16 Kayıt odasının Bolt alanı açısından değerlendirilmesi (x: Kayıt odası oda oranı)

3.3.1.5 Kayıt Odası Mod Dağılımı

Kayıt odasının oda boyutları küçük olduğu için modlar arası frekans fark değerleri oldukça büyük olabilmektedir. Aynı zamanda odanın genişliği ile yüksekliği birbirine çok yakın değerlerde olduğu için bu boyutlarda oluşan eksensel modlar çakışmaktadır.

Kayıt odasının Schröder frekans değeri

$$f_k = 2000 \cdot \sqrt{\frac{T_{60}}{V}} = 2000 \cdot \sqrt{\frac{0,2}{25,49}} = 177 \text{ Hz} \quad (3.7)$$

olarak hesaplanır. 177 Hz altındaki frekanslarda modlardan kaynaklanacak akustik kusurlar gözden geçirilmelidir. Kayıt odası mod listesi aşağıdaki gibidir (Tablo 3.16)

Tablo 3.16 Kayıt odası mod listesi

Mod numarası	Mod eksenleri	Mod Frekansı,Hız	Eksensel	Teğetsel	Eğik
1	1,0,0	46,35	x		
2	0,1,0	64,96	x		
3	0,0,1	65,71	x		
4	1,1,0	79,8		x	
5	1,0,1	80,41		x	
6	0,1,1	92,4		x	
7	2,0,0	92,7	x		
8	1,1,1	103,37			x
9	2,1,0	113,2		x	
10	2,0,1	113,63		x	
11	0,2,0	129,92	x		
12	2,1,1	130,89			x
13	0,0,2	131,42	x		
14	1,2,0	137,94		x	
15	3,0,0	139,05	x		
16	1,0,2	139,35		x	
17	0,2,1	145,6		x	
18	0,1,2	146,6		x	
19	1,2,1	152,8			x
20	3,1,0	153,48		x	
21	1,1,2	153,75			x
22	3,0,1	153,8		x	

Tablo 3.16 Kayıt odası mod listesi (devamı)

Mod numarası	Mod eksenleri	Mod Frekansı,Hız	Eksensel	Teğetsel	Eğik
23	2,2,0	159,61		x	
24	2,0,2	160,82		x	
25	3,1,1	166,95			x
26	2,2,1	172,6			x
27	2,1,2	173,45			x
28	0,2,2	184,8		x	
29	4,0,0	185,41	x		
30	3,2,0	190,31		x	
31	1,2,2	190,52			x
32	3,0,2	191,33		x	
33	0,3,0	194,89	x		
34	4,1,0	196,46		x	
35	4,0,1	196,7		x	

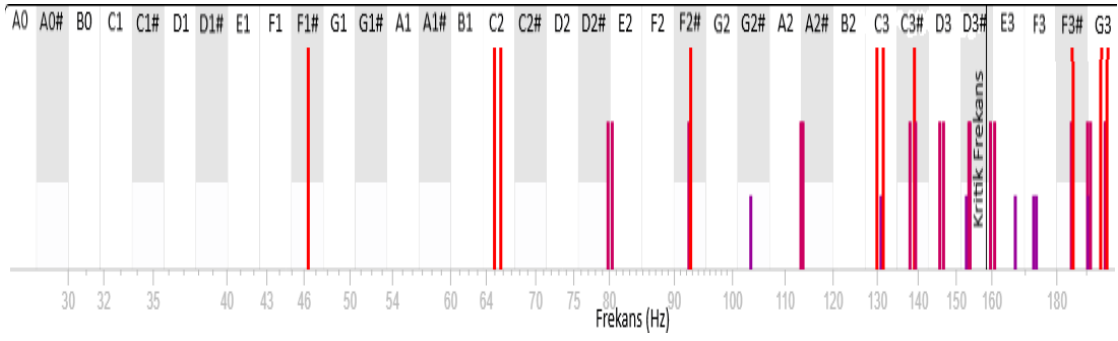
Gilford Kriteri

Kayıt odası için eksensel mod sıralaması Tablo 3.17’de gösterilmiştir. 46,35 Hz frekansında ki ilk eksensel mod izole durumdadır. 64,96 ve 65,71 Hz frekansındaki iki eksensel mod ise birbirlerine çok yakın olmakla beraber mod bant genişlikleri içerisinde kalmaktadır. Gilford kriterine göre eksensel mod çakışması olduğu için renklenme beklenmektedir. Bu frekans bölgesinde boamlama olacaktır. 92,7 Hz yine izole konumdadır. Kendisinden önceki eksensel mod ile 27 Hz, sonraki ile de 37 Hz frekans farkı vardır. 92,7 Hz frekansında da boamlama olması beklenmektedir. 129,92 Hz ile 131,42 Hz eksensel modları da çok yakın ve mod bant genişlikleri içerisinde kalmaktadır. Bu frekans bölgesinde de renklenme olacaktır.

Tablo 3.17 Kayıt odası eksensel modlar

x=3,7 m f=n.170/ L	y=2,64 m f=n.170 /L	z=2,61 m f=n.170 /L	Mod sıralam a	Eksens el mod aralığı	Mod bant genişliği (Düzenleme öncesi)	Mod bant genişliği (Düzenleme sonrası)
46,35 Hz	64,96 Hz	65,71 Hz	46,35	18,61	2,2/0,81=2,71 Hz	2,2/0,62=3,54 Hz
92,7 Hz	129,92 Hz	131,42 Hz	64,96	0,75	2,2/0,81=2,71 Hz	2,2/0,62=3,54 Hz
139,05 Hz	194,89 Hz	197,13 Hz	65,71	26,99	2,2/0,81=2,71 Hz	2,2/0,62=3,54 Hz
185,41 Hz			92,7	37,22	2,2/0,75=2,93 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz
			129,92	1,5	2,2/0,75=2,93 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz
			131,42	7,63	2,2/0,75=2,93 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz
			139,05	46,36	2,2/0,75=2,93 Hz	2,2/0,32=6,87 Hz
			185,41	9,48	2,2/0,46=4,78 Hz	2,2/0,27=8,14 Hz
			194,89	2,24	2,2/0,46=4,78 Hz	2,2/0,27=8,14 Hz
			197,13		2,2/0,46=4,78 Hz	2,2/0,27=8,14 Hz

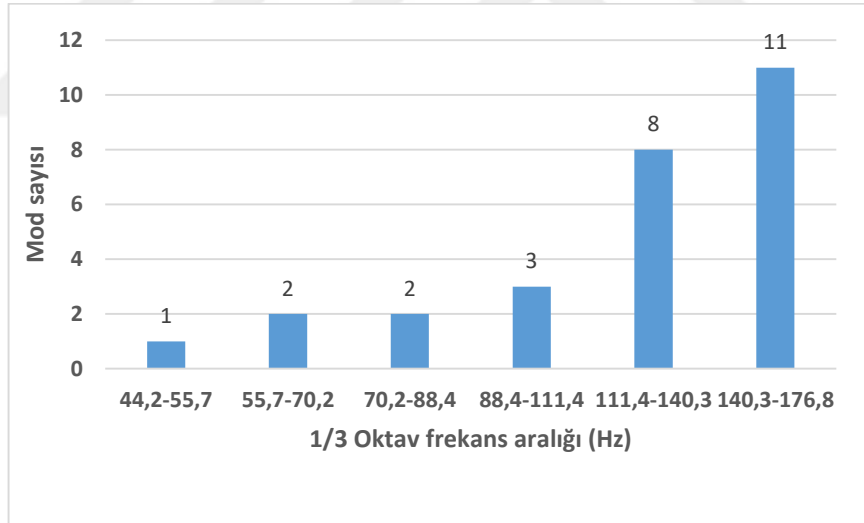
Kayıt odası rezonanslarının nota frekanslarına göre dağılımları Şekil 3.17’ deki gibidir. Şekilde de görüldüğü gibi 139 Hz’ e kadar olan frekanslar birbirinden ayırık, çakışmalar olan bölgeler içermektedir. Odanın küçük olması dolayısıyla bu frekans bölgesinin mümkün olduğunca yutulması gerektiği analiz edilmiştir.



Şekil 3.17 Notalara göre kayıt odası mod dağılımı [43]

Bonello Kriteri

Kayıt odası için Bonello kriteri incelendiğinde Şekil 3.18’ de gösterilen sonuçlara ulaşılmaktadır. 44,2 Hz’ den başlayan 1/3 oktav bantlarında kriterin sağlandığı şekilde görülmektedir. Ancak kayıt odası Bonello kriterini sağlasa da mod çakışmaları ve izole modların varlığı, bu odada renklenme olacağını bize göstermektedir. Bonello kriterinin tek başına mod özelliklerini anlamada yeterli olmayacağı açıktır.



Şekil 3.18 Kayıt odası 1/3 oktav frekans aralığında mod sayıları (Bonello Kriteri)

3.3.2 İyileştirme Çalışmaları

Ölçüm ve hesaplamalar sonucu elde edilen mod ve yansıma süresi verileri analiz edilerek hacim akustiği tasarımı yapılmıştır.

Öncelikli olarak yansıma süresini optimum değer aralığına çekebilmek için yutuculuk hesabı yapılmış, ölçüm sonuçlarından elde edilen yansıma süresi sabit

formülü kullanılarak var olan etkin yutucu alan bulunmuş, ihtiyaç duyulan etkin yutucu alan belirlenerek aradaki fark değer kadar yutucu alan oda modları da düşünülerek hacim iç yüzeylerine uygulanmıştır. Ayrıca, dağıtıcı yüzey gereksinimi nedeni ile yan duvar ve arka duvarda uygulanmak üzere dağıtıcı ve saçıcı yüzey tasarımı yapılmıştır.

Helmholtz Rezonatör Panel Tasarımı

Kontrol odası için yansıma sürelerini optimum değer aralığına getirmek için 3 farklı tipte helmholtz rezonatör paneller formül kullanılarak delik çapı derinlik ve ön panel kalınlığı belirlenerek hedef frekans bölgelerinde etkili olacak şekilde tasarlanarak atölye de yaptırılmıştır. Tablo 3.18’de ölçüleri yer alan rezonatörler, oda modlarının etkin olduğu konumlarda kullanılmıştır. Helmholtz rezonatör panellerin etkin frekansı aşağıdaki formülle (3.8) hesaplanmıştır. Helmholtz rezonatör panellerin yutma çarpanları Tablo 3.19’ da gösterilmiştir.

$$f_0 = 200. \sqrt{\frac{p}{(d).(t)}} \quad (3.8)$$

Burada

f_0 : rezonans frekansı

p: delik yüzdesi

d: derinlik (inch)

t: efektif delik derinliği (inch)

= (panel kalınlığı) + (0,8). (delik çapı)

Tablo 3.18 Delikli rezonatör panel ölçüleri

Helmholtz Rezonatör Tasarımı	Tip 1 (5 mm çaplı 64 adet delik)	Tip 2 (7 mm çaplı 81 adet delik)	Tip 3 (12 mm çaplı 81 adet delik)
Delik derinliği (mm)	6	6	6
Efektif delik derinliği (mm)	10,05	11,68	15,54

Tablo 3.18 Delikli rezonatör panel ölçüleri (devamı)

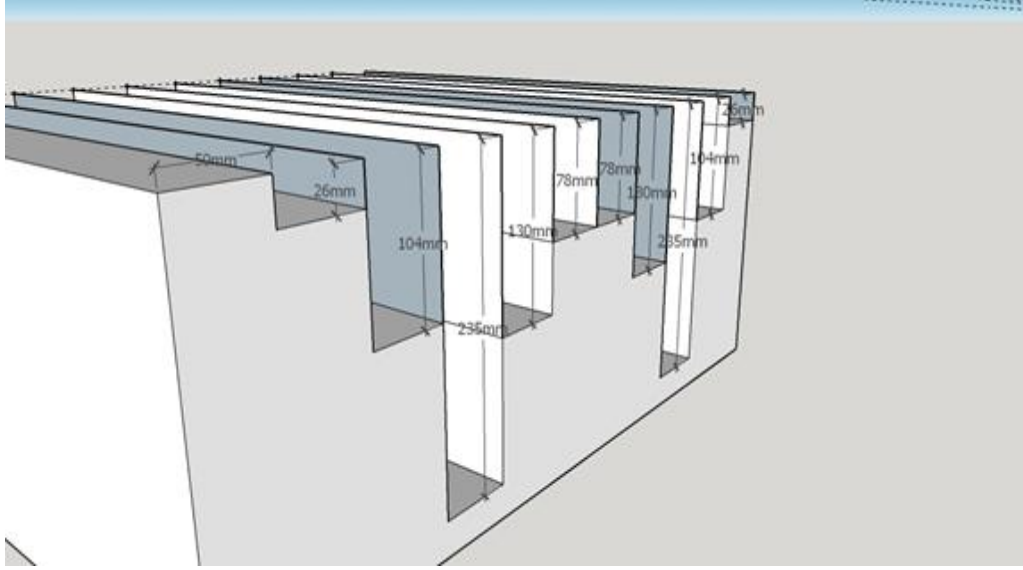
Helmholtz Rezonatör Tasarımı	Tip 1 (5 mm çaplı 64 adet delik)	Tip 2 (7 mm çaplı 81 adet delik)	Tip 3 (12 mm çaplı 81 adet delik)
Delik çapı (mm)	5	7	12
Delik yüzdesi	0,36	0,860	2,540
Derinlik (cm)	10	10	10
Rezonans frekansı (Hz)	96,07	137,77	205,27

Tablo 3.19 Helmholtz panel ve QRD difüzörlerin yutma çarpanları (Everest & Shea, 2012)

Yutma katsayıları	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
5 mm delikli Helmholtz panel	0,5	0,9	0,72	0,5	0,2	0,12	0,1	0,08
7 mm delikli Helmholtz panel	0,5	0,99	0,78	0,52	0,2	0,13	0,1	0,08
12 mm delikli Helmholtz panel	0,3	0,85	0,9	0,5	0,2	0,12	0,1	0,09
QRD difüzör panel	0,1	0,2	0,25	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15

QRD 1120 Difüzör Tasarımı

Kayıt odalarında sesin daha iyi dağılması için $N=11$ asal sayısına göre tasarlanmış QRD difüzör derinlikleri Şekil 3.19’ daki gibidir. 60 cmX60 cm boyutlarında olan difüzörlerde, aralık genişliği 5 cm olan toplam 11 aralık vardır. QRD 1120 difüzörün başındaki 11 modelin hangi asal sayıya göre yapıldığını, sonundaki 20 de pinler arası mesafenin kaç inç olduğunu göstermektedir. 2,0 inç yani 5 cm aralık vardır. Etkili olduğu frekans aralığı 421 Hz ile 3846 Hz arasındır.



Şekil 3.19 QRD 1120 dağıtıcı yüzey (difüzör)

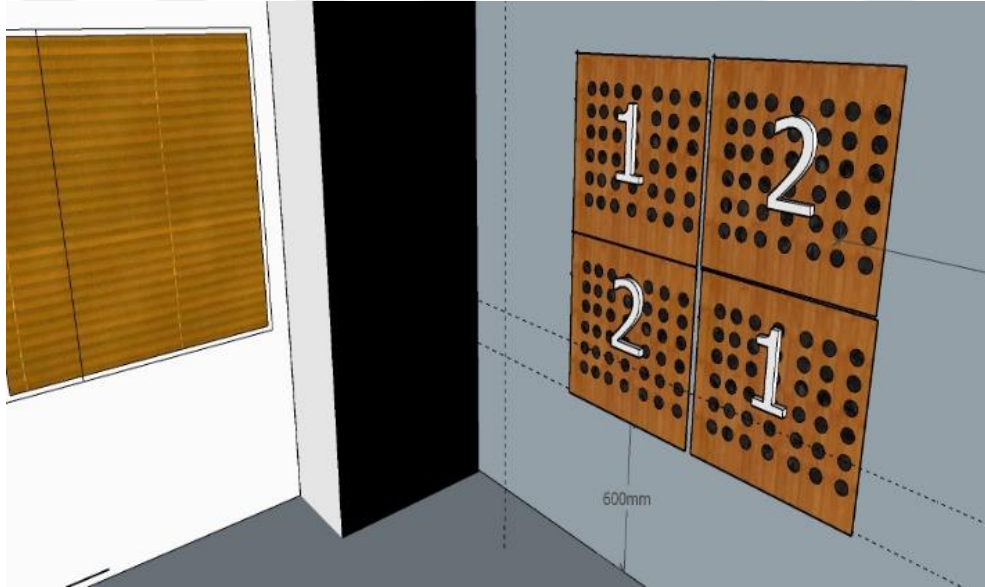
Üst ve orta frekans bölgelerinin yansıma süreleri optimum sınırlar içerisinde bulunduğu için tasarımda bu frekans bölgelerinde etkili olacak malzemeler kullanılmamıştır. Ancak yatay ve dikey olarak konumlandırılan QRD difüzörlerin etkili olduğu orta ve üst frekans bölgesinde sesi daha iyi dağıtacağı için bu frekans bölgelerinde bir miktar ses yutumunun artabileceği düşünülmüştür. Şekil 3.20’ de yan duvar difüzör yerleşimleri ve tip 3 helmholtz panellerin köşe konumlandırılması görülmektedir.

Distorsiyonun düzeltilebilmesi için alt frekanslara etki edecek ses yutucu panellerin kullanılması gerektiği görülmüştür. Alt frekans müdahalesi için seçilen delikli helmholtz panellerin frekans ayarı oda modlarından kaynaklanan sorunlarda gözetilerek, belirlenen sorunlu oda modlarının frekans değerlerine ayarlı, arkasına kullanılacak lifli malzemelerle genişletilmiş bant aralığında etkili olacak şekilde tasarlanmıştır.



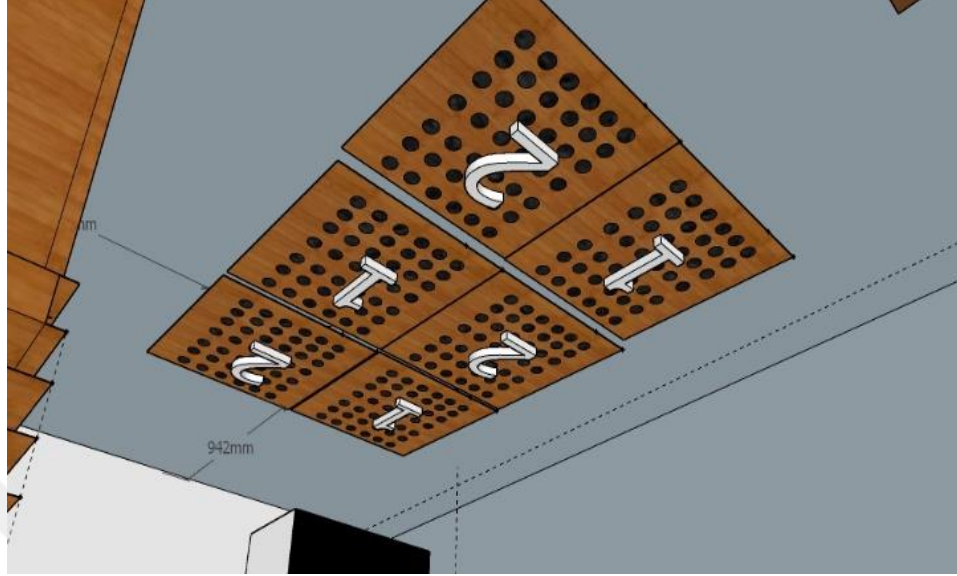
Şekil 3.20 Kayıt odası yan duvar köşe düzenleme

Odanın yüksekliği ve genişliğinin neredeyse aynı olması mod çakışmasına yol açacağı için 65 Hz, 130 Hz ve 195 Hz bölgelerinde etkili olabilecek tip 1 ve tip 2 helmholtz rezonatör paneller bu modların basınç noktalarının yüksek olduğu tavan ve yan duvarlara yerleştirilmiştir. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’ de bu yerleşimler görülmektedir.



Şekil 3.21 Kayıt odası yan duvar Helmholtz panel yerleşimi

Bu yerleşimler sonucunda hem modlardan kaynaklanan renklenme problemine çözüm bulunması, hem de alt frekansların yansıma süresinde azalım hedeflenmiştir.



Şekil 3.22 Kayıt odası tavan helmholtz panel yerleşimi

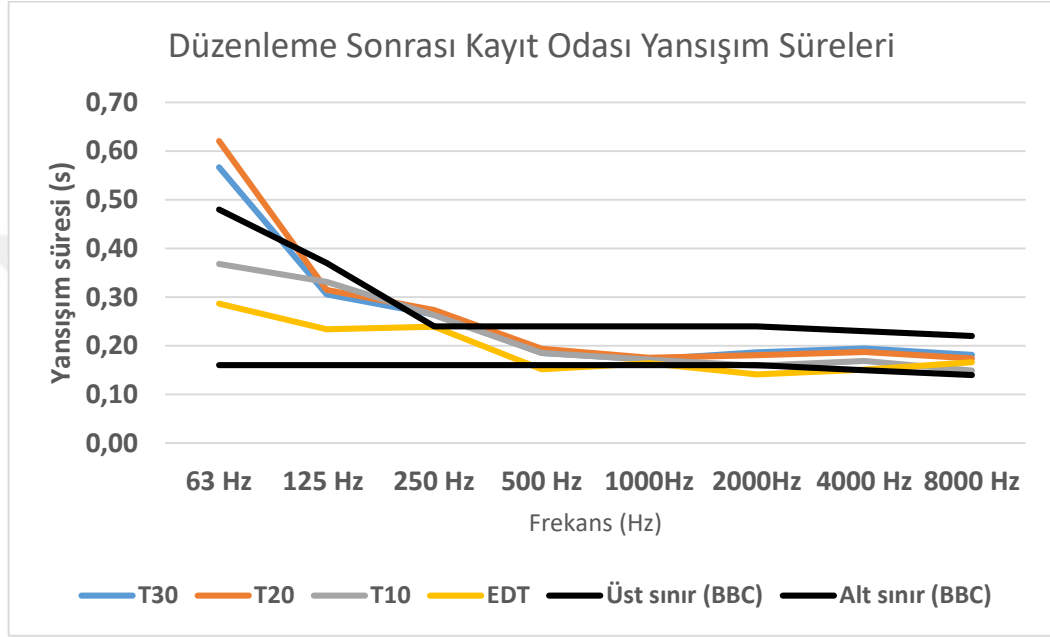
Kayıt odası hacim akustiği tasarımına uygun olarak 14 adet helmholtz panel, 6 adet QRD difüzör ve 1 adet skyliner difüzör odaya uygulanmıştır. Şekil 3.23’ de uygulama sonrası fotoğraf görülmektedir.



Şekil 3.23 Kayıt odası düzenleme sonrası fotoğraf

3.3.2.1 Yansıma Süresi

Düzenleme sonrası yansıma süresi ölçümleri yapılmıştır. T30, T20, T10 ve EDT değerleri ölçülmüştür. T10 ve EDT değerleri bütün frekans bölgelerinde sınır değerler arasında bulunmuştur. T30 ve T20 değerleri 63 Hz bölgesinde sınır değerlerin biraz yukarısında kalmıştır. Şekil 3.24’ de ölçülen yansıma süresi değerlerini grafik halinde, Tablo 3.20’de tablo halinde görülmektedir.

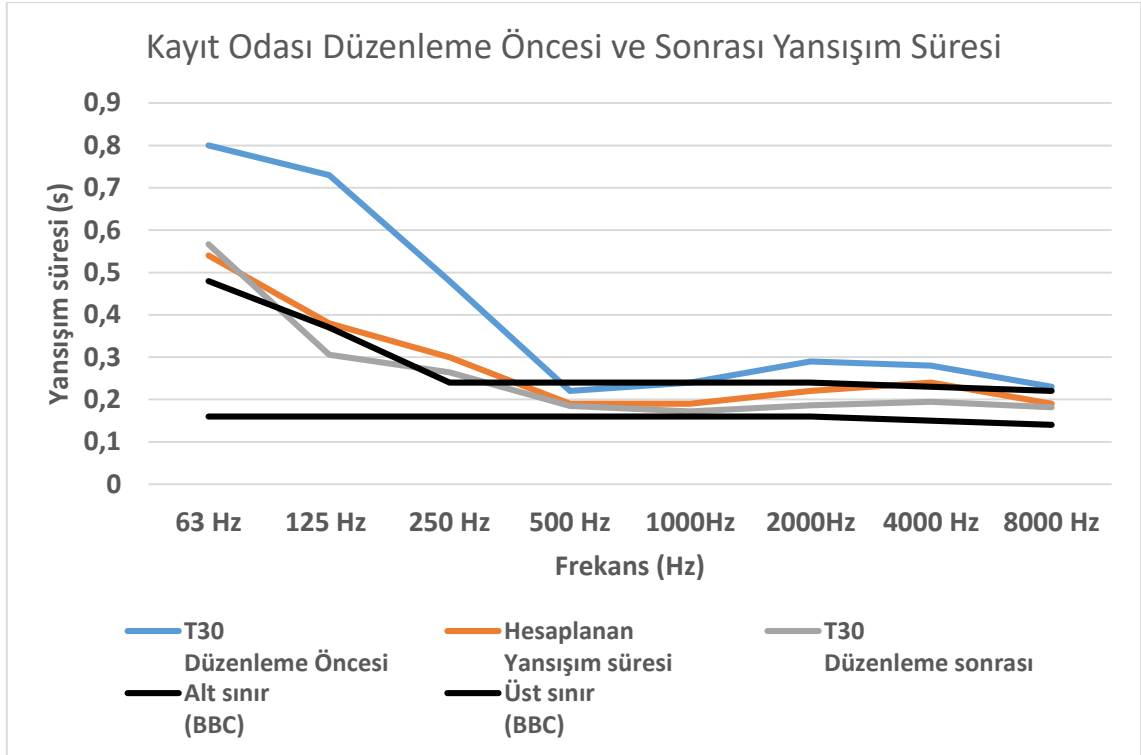


Şekil 3.24 Düzenleme sonrası kayıt odası yansıma süreleri

Tablo 3.20 Düzenleme sonrası kayıt odası yansıma süreleri

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30	0,57	0,31	0,26	0,18	0,17	0,19	0,19	0,18
T20	0,62	0,31	0,27	0,19	0,18	0,18	0,19	0,17
T10	0,37	0,33	0,26	0,19	0,17	0,16	0,17	0,15
EDT	0,29	0,23	0,24	0,15	0,16	0,14	0,15	0,17
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14

Düzenleme öncesi ve sonrası T30 ölçüm sonuçları ile hesaplama sonucu bulunan yansıma süresinin karşılaştırması Şekil 3.25’ deki gibidir.



Şekil 3.25 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süreleri

Düzenleme öncesinde 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde T30 sonuçlarının sınır değerlerin üstünde olduğu, düzenleme sonrasında meydana gelen iyileşme sonucu 125 Hz’ de sınır değerlerin içine girdiği, 250 Hz’ de çok az üstte kaldığı 63 Hz bölgesinde kayda değer bir iyileşme olmasına rağmen sınır değer üstünde kaldığı görülmektedir (Tablo 3.21).

Tablo 3.21 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süreleri

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30 Düzenleme Öncesi	0,8	0,73	0,48	0,22	0,24	0,29	0,28	0,23
Hesaplanan Yansıma süresi	0,54	0,38	0,3	0,19	0,19	0,22	0,24	0,19

Tablo 3.21 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süreleri (devamı)

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T30 Düzenleme sonrası	0,57	0,31	0,26	0,18	0,17	0,19	0,19	0,18
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22

Her ne kadar 63 Hz bölgesinde T30 değeri optimum sınır değer üstünde de olsa T10 ve EDT değeri sınır değer içindedir. Tablo 3.21 değerleri incelendiğinde 250 Hz bölgesinin sınır değer sadece 0,03 saniye üzerinde olduğu, bu sonucun kabul edilebilir olduğu değerlendirilmiştir. Düzenleme öncesinde sınır değerler içerisinde yer alan 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 8000 Hz bölgeleri yapılan düzenlemeden az bir miktar etkilenecek yine sınır değerler içerisinde kalmıştır. Seçilen akustik gereçlerin orta ve yüksek frekans ses yutuculuklarının az olması bu sonucu doğurmuştur. Yan duvara konulan 6 adet QRD difüzör ve arka duvara gözlem penceresinin üstüne konumlandırılan skyliner difüzörün, bu frekans bölgelerinde ki sesleri ortama dağıtması sonucu sınırlı bir yansıma süresi azalımı oluşmuştur. Bu durum tasarım aşamasında düşünülmüş olduğundan sınır değerler korunmuştur. 4000 Hz bölgesinde düzenleme öncesi sınır değer 0,02 saniye tam ortasına yerleşmiştir.

3.3.2.2 Yansıyan ve Doğrudan Gelen Ses Enerji Oranları

Düzenleme sonrasında saha ölçüm sonuçlarından elde edilen T 30 değerine göre hesaplanmış etkin alan değerleri kullanılarak hesaplanan kritik uzaklık değerleri Q=1 için Tablo 3.22’de, Q=15 için Tablo 3.23’de görülmektedir.

Tablo 3.22 Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 1 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Sonr. Kayıt Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Etkin Alan (A)	12,06	22,38	25,88	36,96	39,70	36,63	35,15	37,67
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,16	0,29	0,34	0,48	0,52	0,48	0,46	0,49
Hacim Sabiti (R)	14,30	31,54	38,96	71,04	81,88	69,80	64,64	73,70
Kritik Uzaklık (D)	0,53	0,79	0,88	1,19	1,28	1,18	1,14	1,21

Tablo 3.23 Düzenleme sonrası frekanslara göre yönsellik 15 kabul edilen kritik uzaklık değerleri

Düz. Sonr. Kayıt Odası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Kaynak Yönselliği (Q)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Etkin Alan (A)	12,06	22,38	25,88	36,96	39,70	36,63	35,15	37,67
Ortalama yutma çarpanı (α)	0,16	0,29	0,34	0,48	0,52	0,48	0,46	0,49
Hacim Sabiti (R)	14,30	31,54	38,96	71,04	81,88	69,80	64,64	73,70
Kritik Uzaklık (D)	2,07	3,08	3,42	4,62	4,96	4,58	4,40	4,70

3.3.2.3 Bas Enerji Oranı

Düzenleme sonrası yapılan hesapta

$$BR = \frac{0,31 + 0,26}{0,18 + 0,17} = 1,62$$

bulunmuştur. Bas oranı yapılan düzenleme sonrasında 1,01 değerinde azalmıştır. İlk durumda duvarların kumaş kaplı sünger panellerle kaplı olması orta ve yüksek

frekans seslerin yutulup, bas seslerin güçlü olması sonucunu doğurmuştur. Yapılan düzenleme sonucunda bas yutucu helmholtz panellerin kullanımı sonucu bas oranı düşürülmüştür.

3.3.2.4 Oda Modları

Kayıt odası küçük bir hacim olduğu için mod dağılımlarının düzgün olmayacağı araştırmanın başında belli olmakla beraber, oda oranlarına bakıldığında kritik frekansın altında 65 Hz ve 130 Hz frekanslarında oda rezonanslarının çakıştığı hesaplanmıştır. Oda modlarının 93 Hz ve 139 Hz bölgelerinde ki izole durumlarının da renklenme problemi yaratacağı değerlendirilmiştir. Alt frekans bölgeleri için tasarlanan helmholtz panellerin bu frekans bölgelerinde ki sorunları gidermesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak için helmholtz paneller, sorunun olduğu paralel duvarlar arasına, modların basınç noktalarının maksimum olduğu yerlere monte edilmiştir. Bu yerleşim yapılırken kayıt yapılacak mikrofona konumları göz önüne alınmıştır.

3.3.3 Değerlendirme

Kayıt odasının, kontrol odasına göre çok daha küçük bir hacim olması ve oda genişliği ile yüksekliğinin hemen hemen aynı olması sonucu oda modlarında hem çakışma hem de izole olma durumu ortaya çıkmıştır. Renklenme probleminin ortaya çıkmasını sağlayan bu durumu çözümleyebilmek için kontrol odasında olduğu gibi akustik gereçler kullanılmıştır. Kontrol odasından farklı olarak Helmholtz paneller eksensel modların olduğu duvarlarda kullanılmış, mod çakışmasından kaynaklanan renklenme problemi giderilmiştir. Helmholtz panellerin duvarlarda kullanılması 63 Hz bölgesinde ki yansıma süresinin azalmasına katkı sağlamıştır.

Düzenleme öncesinde kayıt odasında duvarların kumaş kaplı açık gözenekli süngerle kaplanması sonucu 500 Hz ve üstünde optimum aralık değerlerinin içinde olduğu tespit edilmiştir. Planlanan hacim akustiği tasarımı alt frekans bölgelerinin yansıma sürelerinin optimum aralığa çekilerek bas-tiz dengesini sağlamak üzere yapılmıştır. Bu nedenle alt frekans yutuculuğu sağlamak üzere 3

ayrı tip Helmholtz rezonatör panel kullanılmış ve oda modları da gözetilerek konumlandırılmıştır. QRD difüzörler ise yan duvara konumlandırarak yayınlık ses alanı oluşturmak istenmiştir. Şekil 3.25’ de ki sonuçlara baktığımızda yansıma süresinin hesaplanan değerlere yakın olarak gerçekleştiği, sadece 63 Hz bölgesinde biraz yukarıda kaldığı, ancak EDT ve T10 verilerinde bu frekans bölgesinde de optimum değer aralığının sağlandığı bulunmuştur. Orta ve üst frekans bölgesinde ki yansıma süresinin optimum değer aralığında kalacak şekilde azalımı da difüzörlerin hedeflenen yayınlık ses alanını oluşturduğunu göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında, kayıt ve kontrol odalarının akustik tasarımı açısından bir örnek uygulama yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Akustik tasarım için kullanılacak gereçlerin etki alanları ortaya konmuştur. Ses yutucu açık gözenekli malzemelerin kullanımının sadece orta ve yüksek frekans bölgelerinde etki yarattığı, bas seslerin yutulabilmesi için özel rezonatör panellerin kullanılması gerektiği uygulama ile gösterilmiştir. Sesi zamana ve mekâna dağıtan ses saçıcı QRD ve skyliner difüzörlerin yarattığı yayınlık ses alanının orta ve yüksek frekans bölgelerinde ses yutumunu arttırdığı ortaya konmuştur.

Kayıt ve kontrol odalarında sesin doğru duyulup kayıt edilebilmesi için uygun akustik koşulların yaratılması diğer mekân türlerine göre daha fazla önem taşımaktadır. Kayıt edilen ve düzenlenen sesin farklı ortamlarda dinleyecek kişiler tarafından kaliteli bir şekilde duyulması, müzik prodüksiyonunun başarısını belirlemektedir. Kaliteli prodüksiyonların daha fazla kişi tarafından beğenilmesi ve başarıya ulaşmasının birinci basamağı akustik düzenlemesi yapılmış mekânlarda kayıt edilmesi ve düzenlenmesidir. Bu nedenle, bu çalışmada örneklendiği gibi, ses kayıt ve kontrol odalarında, sesin niteliği ve niceliği konusunda daha detaylı analizlerin ve hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

3.4 Kontrol ve Kayıt Odası Gürültü Denetimi

Kontrol ve kayıt odalarında arka plan gürültü seviyesinin NR 15 değerlerine gelebilmesi ve içerideki yüksek ses düzeyinin dışarıda gürültü oluşturmaması için gürültü denetimi planlaması yapmak gerekmektedir. Örnekleminizde yer alan 43 m³ hacimli kontrol odası ile 26 m³ hacimli kayıt odası için gürültü denetimi

tasarımı yapılmıştır. Tasarımda kullanılan duvar, döşeme, tavan bileşenlerinin R_w (C,Ctr) değerleri Binaların akustik tasarımı ve denetlenmesi kılavuzundan elde edilmiştir. Dnt,A değerleri KS Simülasyon programı kullanılarak bulunmuştur.

Öncelikli olarak kayıt ve kontrol odasının bulunduğu binanın çevresel gürültü haritası aşağıda gösterilen İstanbul ili Beşiktaş ilçesi gürültü haritası Büyükşehir Belediyesi web sayfasında bulunan 7 numaralı gürültü haritasından temin edilmiştir (Tablo 3.24). Bina çevresinde 65 dB gürültü seviyesi tespit edilmiştir. Bina aşağıdaki vaziyet planında siyah çizgi ile daire içine alınmıştır.

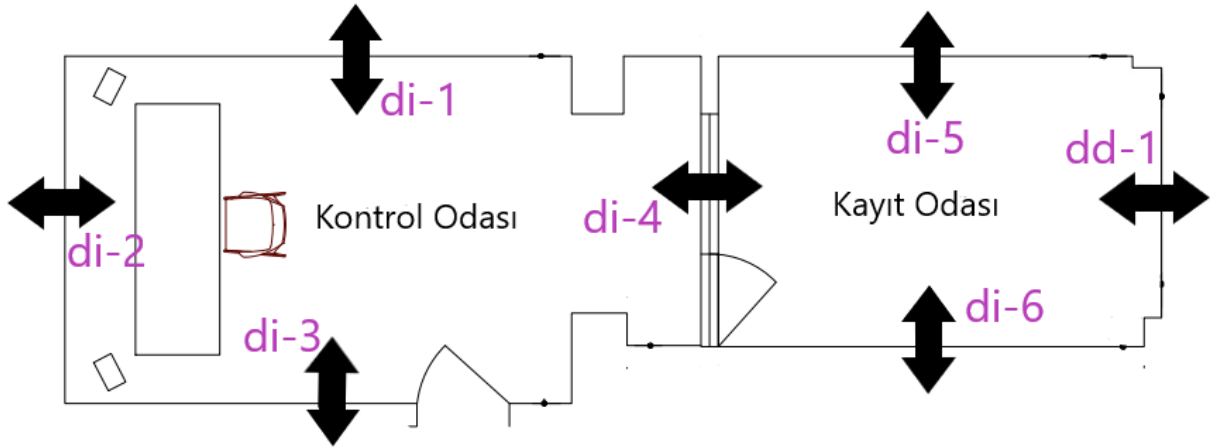
Tablo 3.24 Gürültü haritası

Düze y	Vaziyet Planı	Lejant	Referan s																	
Lgag dBA		Birleştirilmiş Gürültü Düzeyi Haritası: İstanbul AG01_COMBINED (7/11) Combined Noise Level Map: İstanbul AG01_COMBINED (7/11) Lgünlük (dBA) Lday (dBA) Gürültü Düzeyi Bandı Noise Level Band <table><tr><td>55-59</td></tr><tr><td>60-64</td></tr><tr><td>65-69</td></tr><tr><td>70-74</td></tr><tr><td>≥75</td></tr></table> Semboller ve İşaretler Key For Other Map Layers <table><tr><td>Konutlar</td></tr><tr><td>Okullar</td></tr><tr><td>Hastaneler</td></tr><tr><td>Diğer Binalar</td></tr><tr><td>Demiryolları</td></tr><tr><td>Karayolları</td></tr><tr><td>Endüstriyel Alanlar</td></tr><tr><td>Havayolları</td></tr><tr><td>Barrierler</td></tr><tr><td>Hesaplama Alanı</td></tr><tr><td>Agglomerasyon Sınırı</td></tr><tr><td>Mahalle Sınırları</td></tr></table> 1/25000 Eylül 2015 September 2015	55-59	60-64	65-69	70-74	≥75	Konutlar	Okullar	Hastaneler	Diğer Binalar	Demiryolları	Karayolları	Endüstriyel Alanlar	Havayolları	Barrierler	Hesaplama Alanı	Agglomerasyon Sınırı	Mahalle Sınırları	İstanbul ili Beşiktaş ilçesi Gürültü Haritası [47]
55-59																				
60-64																				
65-69																				
70-74																				
≥75																				
Konutlar																				
Okullar																				
Hastaneler																				
Diğer Binalar																				
Demiryolları																				
Karayolları																				
Endüstriyel Alanlar																				
Havayolları																				
Barrierler																				
Hesaplama Alanı																				
Agglomerasyon Sınırı																				
Mahalle Sınırları																				

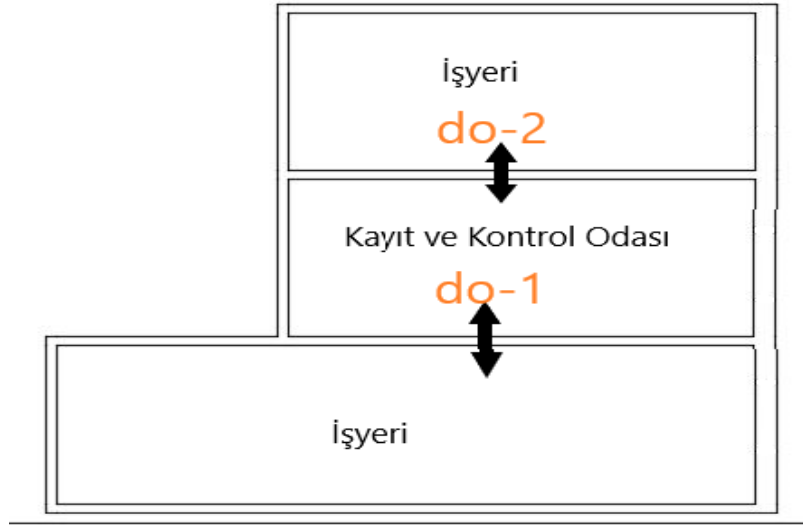
Kayıt ve kontrol odasının yapı elemanlarının kaynak ve alıcı durumlarının belirlenmesi amacıyla Tablo 3.25 ve Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de görülen kodlar verilmiştir.

Tablo 3.25 Proje kodları

Yapı Elemanı	Kod	Kaynak	Alıcı
İç bölme duvarlar	di		
İç duvar 1	di-1	Kontrol odası	Oda
İç duvar 2	di-2	Kontrol odası	Oda
İç duvar 3	di-3	Kontrol odası	Salon
İç duvar 4	di-4	Kontrol odası	Kayıt odası
İç duvar 5	di-5	Kayıt odası	Oda
İç duvar 6	di-6	Kayıt odası	Salon
Döşemeler	do		
Alt kat	do-1	Kontrol odası	İşyeri
Üst kat	do-2	Kontrol odası	İşyeri



Şekil 3.26 Plan üzerinde gösterim duvar kodları



Şekil 3.27 Kesit üzerinde gösterim – döşeme kodları

Binaların gürültüye karşı korunması yönetmeliğinin eklerinde yer alan Tablo 2.6' da daha önce gösterilmiş olan, kaynak pozisyonu yüksek gürültü düzeyi, alıcı odası hassaslık derecesi için 1 düzeyi kabul edilerek sınır Dnt,A değeri olarak 58 dB bulunmuştur [27]. Tablo 3.26'da projedeki sınır değerlerle seçilen yapı elemanı ile sağlanan değerleri duvar ve döşeme kodları ile gösterilmiştir.

Tablo 3.26 Projedeki sınır değerler ve seçilen yapı elemanları ile sağlanacağı öngörülen değerler

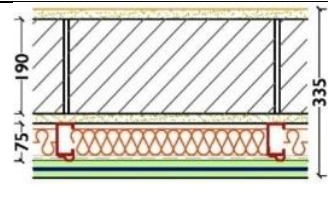
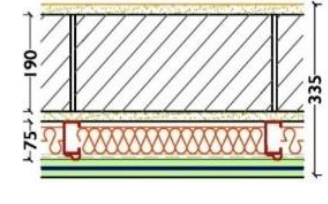
HEDEFLLENEN AKUSTİK PERFORMANS SINIFI: C								
Yapı Elemanı	Kod	Kaynak	Alıcı	En düşük hava doğuşlu ses yalıtım değerleri DnT,A ,dB		En yüksek Darbe sesi düzeyleri L'nTw, dB		Yapı Elemanı Açıklama
				Sınır Değer	Seçilen/Sağlanan Değer	Sınır değer	Seçilen/Sağlanan Değer	
Dış bölme duvar	dd							
	dd-1	Kayıt odası	Apartman boşluğu	58	60,2			
İç bölme duvarlar	di							
	di-1	Kontrol odası	Oda	58	58,2			Tablo 4

Tablo 3.26 Projedeki sınır değerler ve seçilen yapı elemanları ile sağlanacağı öngörülen değerler (devamı)

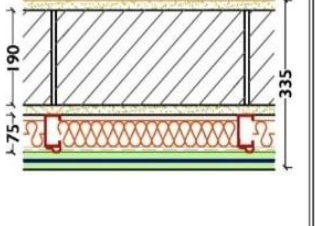
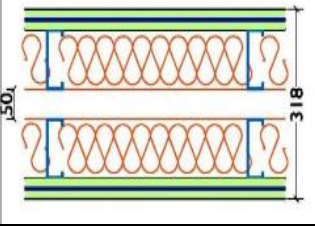
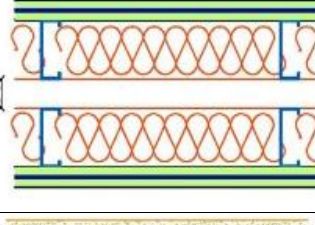
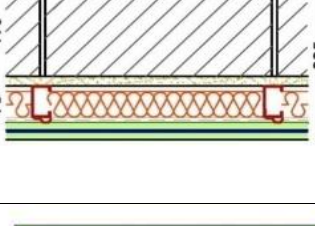
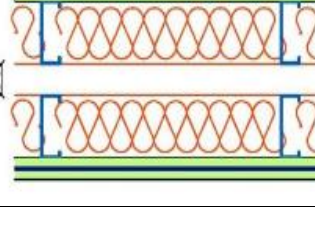
	di-2	Kontrol odası	Oda	58	64,5			Tablo 4
	di-3	Kontrol odası	Salon	58	59,9			Tablo 4
	di-4	Kontrol odası	Kayıt odası	58	63.7			Tablo 5
	di-5	Kayıt odası	Oda	58	59			
	di-6	Kayıt odası	Mutfak	58	58,6			
Döşemeler	do							
	do-1	Kayıt ve Kontrol odası	İşyeri	58	55.4	48	50.3	Tablo 6
	do-2	Kayıt ve Kontrol odası	İşyeri	58	61.7	48	42.9	Tablo 6

İç bölme yapı elemanları ve bunların $R_w(C,Ctr)$ ile $D_{nT,A}$ değerleri Tablo 3.27' de gösterilmiştir.

Tablo 3.27 İç bölme duvar elemanları

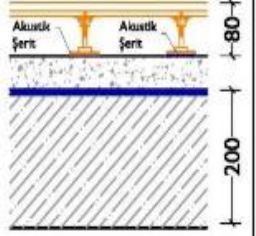
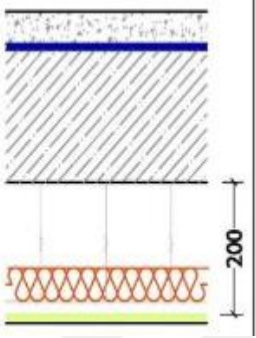
Yapı Elemanı	Duvar Kodu	Yapı Elemanı [48]	$R_w(C,Ctr)$, dB	$D_{nT,A}$, tr ,dB	Referans
	dd-1		72(-4,-15)	60,2	KS Simülasyon raporu
İç Duvarlar	di-1		72 (-4,-15)	58,2	KS Simülasyon raporu

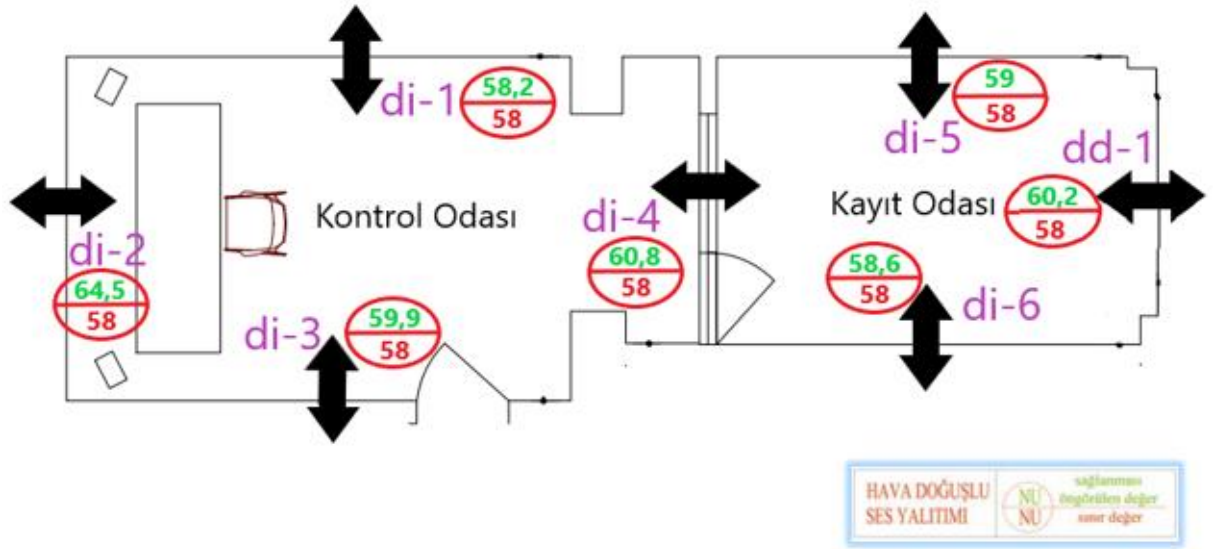
Tablo 3.27 İç bölme duvar elemanları (devamı)

di-2		20 190 20 75 (50) 15 4 15	(kara) sıva tuğla -düşey delikli- - taşıyıcı - (kara) sıva metal dikmeler -esnek bağlantılı (mineralyünü) alçı levha ağır bariyer alçı levha	72 (-4,- 15)	63,4	KS Simülasyon raporu
di-3		15 4 15 100 (80) 50 100 (80) 15 4 15	alçı levha ağır bariyer alçı levha metal dikmeler (mineralyünü) hava boşluğu metal dikmeler (mineralyünü) alçı levha ağır bariyer alçı levha	81 (-14,- 28)	59,9	KS Simülasyon raporu
di-4		15 4 15 100 (80) 50 100 (80) 15 4 15	alçı levha ağır bariyer alçı levha metal dikmeler (mineralyünü) hava boşluğu metal dikmeler (mineralyünü) alçı levha ağır bariyer alçı levha	81 (-14,- 28)	60,8	KS Simülasyon raporu
di-5		20 190 20 75 (50) 15 4 15	(kara) sıva tuğla -düşey delikli- - taşıyıcı - (kara) sıva metal dikmeler -esnek bağlantılı (mineralyünü) alçı levha ağır bariyer alçı levha	72(-4,- 15)	59	KS Simülasyon raporu
di-6		15 4 15 100 (80) 50 100 (80) 15 4 15	alçı levha ağır bariyer alçı levha metal dikmeler (mineralyünü) hava boşluğu metal dikmeler (mineralyünü) alçı levha ağır bariyer alçı levha	81(-14,- 28)	58,6	KS Simülasyon raporu

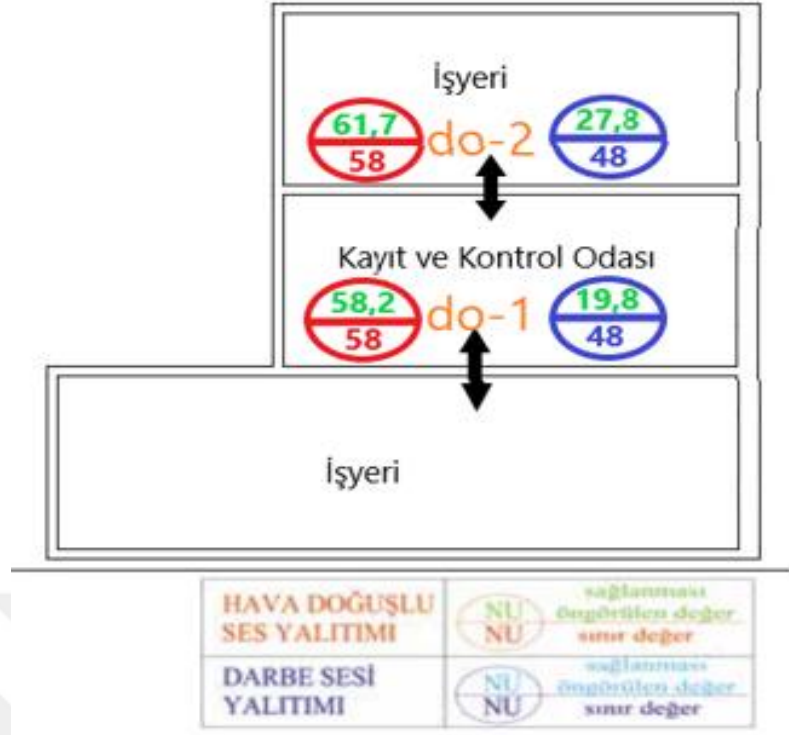
Tablo 3.28' de döşemede kullanılan yapı elemanları ve bunların $R_w(C,C_{tr})$, $D_{nt,A,tr}$, L_{nw} ve L_{ntw} değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.28 Döşeme elemanları

Yapı Eleman 1	Duvar Kodu	Yapı Elemanı [48]	Rw (C,Ctr) ,dB	DnT, A,tr ,dB	L _{nw} (Cl)	L _{ntw}	Referans
Döşemeler	do-1		62 (-1,-5)	58,2	45(12)	27,8	KS Simülasyon Raporu
	do-2		67 (-2,-9)	61.7	38(2)	19,8	KS Simülasyon Raporu



Şekil 3.28 İç Bölme duvarlarda istenen ve sağlanacağı öngörülen en düşük ses yalıtım değerleri



Şekil 3.29 Döşemelerde istenen ve sağlanacağı öngörülen hava doğuşlu ses basınç düzeyleri

Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’ da sınır yalıtım değerleri ile sağlanan değerler plan be kesit üzerinde gösterilmiştir.

Seçilen yapı elemanları ile belirlenen sınır değerlerin üstünde yalıtım değerleri elde edilmiştir. Ses kayıt stüdyolarının ses izolasyonu yapılırken bu yapı elemanları tercih edilirse sınır değerlerin geçilebileceği görülmüştür.

DÜZENLEME ÖNCESİ VE SONRASI HACİM AKUSTİĞİ PARAMETRELERİNİN ANALİZİ

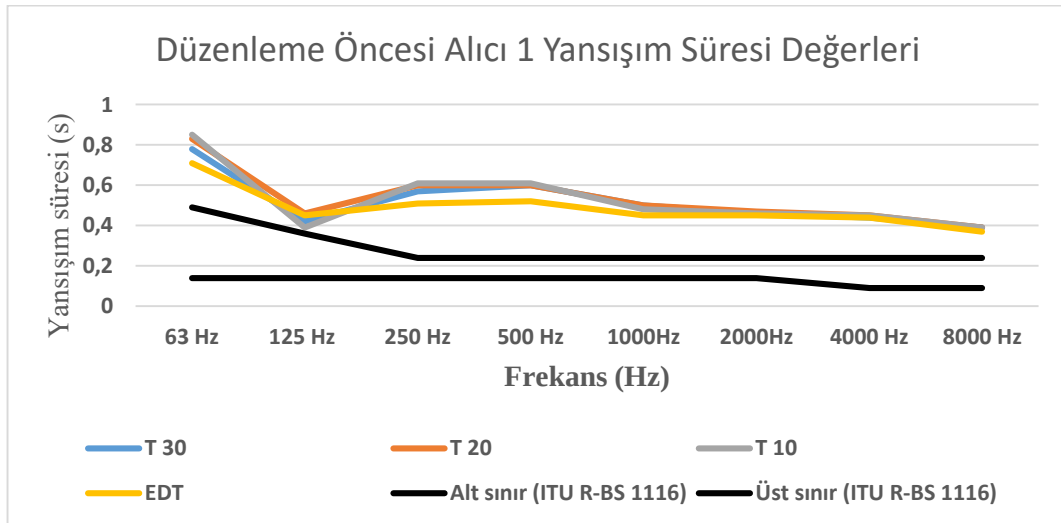
4.1 Kontrol Odası

Kontrol odasının hacim akustiği parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda sesin ortam içerisindeki dağılımının zaman ve mekan açısından dengeli olup olmadığı değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeler düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası durumlar karşılaştırılarak ne kadarlık bir iyileştirme meydana geldiği saptanmaya çalışılacaktır.

4.1.1 Yansıma Süresi

Kontrol odası için alıcı noktalarına göre ölçülen yansıma süresi değerlerinin analizi bu bölümde yapılacaktır. Her bir alıcı noktası için T 30, T 20, T 10 ve EDT değerlerinin birbirlerinden ne kadar farklılaştığı, bu farklılaşma sonucunda sönüm grafiklerinde beklenen düzensizlikler belirlenecektir. Daha sonrasında T 30 ve EDT değerlerinin alıcı noktalarına göre değişimi incelenerek sesin mekâna dağılımı gözlemlenecektir.

4.1.1.1 Sönüm Düzensizlikleri (T30, T20, T10, EDT Karşılaştırması)

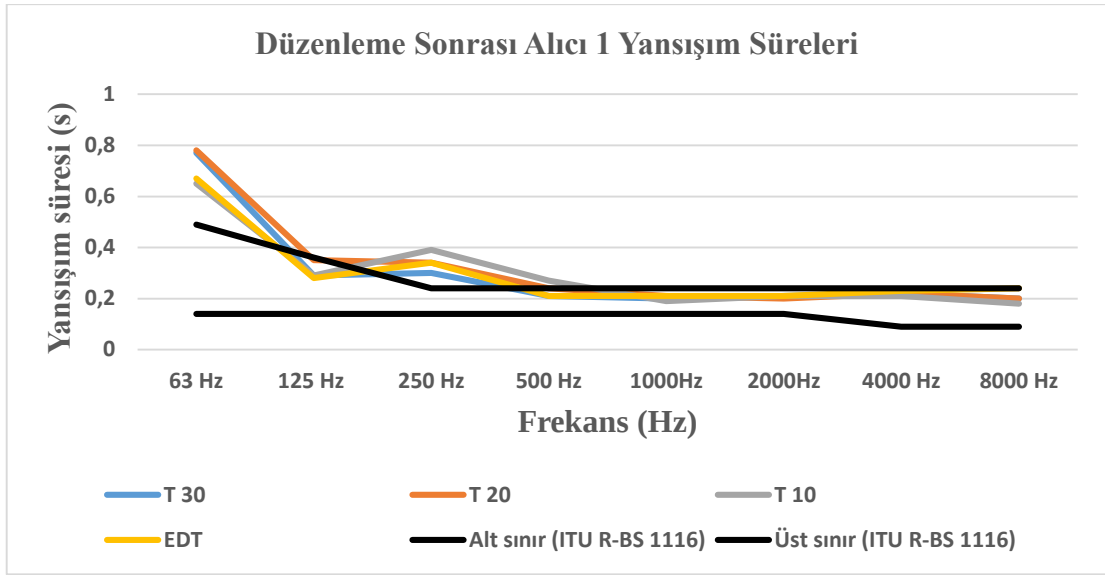


Şekil 4.1 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.1 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,78	0,42	0,57	0,6	0,5	0,46	0,44	0,39
T 20	0,83	0,46	0,6	0,6	0,5	0,47	0,45	0,39
T 10	0,85	0,39	0,61	0,61	0,48	0,46	0,45	0,39
EDT	0,71	0,45	0,51	0,52	0,45	0,45	0,44	0,37
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,06	0,03	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01

Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasında 63 Hz bölgesinde sönüm grafiğinin ilk 10 dB'lik düşüştüktan sonra eğiminin azalarak uzadığını EDT değerlerinin diğer değerlere oranına bakarak söyleyebilmekteyiz (Şekil 4.1). Standart sapmanın 0,06 olması diğer frekans bölgelerine göre daha düzensiz bir sönüm olduğunu göstermektedir. 125 Hz bölgesinde ise EDT değerinin T 10 değerinden yüksek olduğu, T 20 değerinin de T 10 değerinden yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4.1). T 20 değerinin de T 30 değerinden yüksek olmasından dolayı bu frekans bölgesinde sönümün genel olarak dalgalı bir görünüm vermesi beklenebilir. 250 Hz ve 500 Hz bölgelerinde sönümün ilk 10 dB lik kısmının hızlı, diğer kısımların ise daha yavaş ve uyumlu olması öngörülmüştür. Standart sapma değeri 0,05 olmakla beraber, bu değeri EDT'nin diğer parametrelerden daha düşük olmasından kaynaklanmıştır. Diğer frekans bölgelerinde ise standart sapma değerleri düşük ve yansıma süresi değerleri genel olarak uyumlu görülmektedir. Bu bölgelerde sönüm grafiklerinin düzgün olması beklenmektedir.



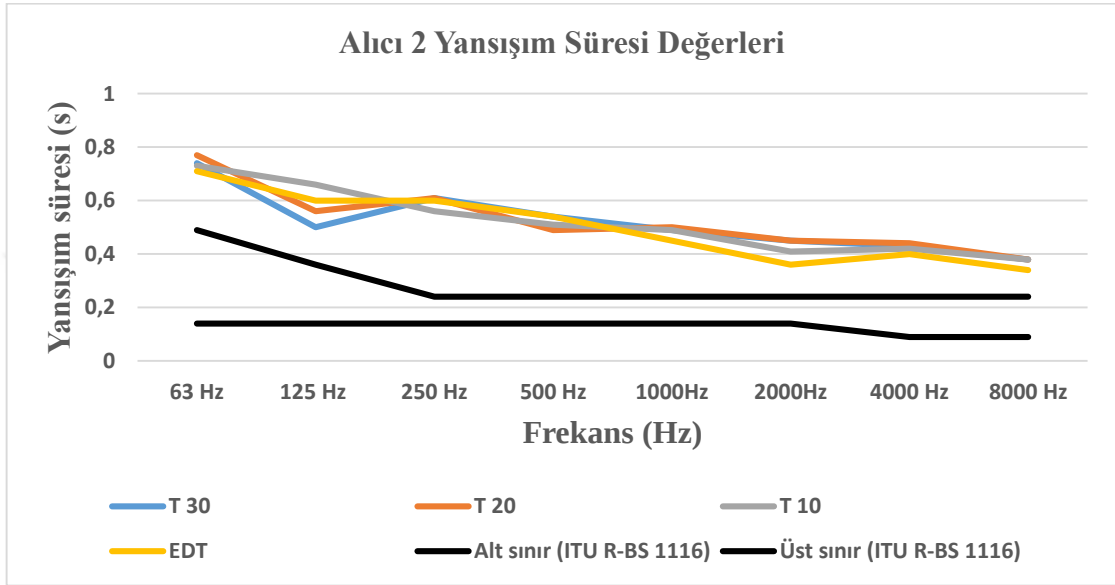
Şekil 4.2 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.2 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,77	0,29	0,3	0,21	0,2	0,21	0,22	0,2
T 20	0,78	0,35	0,34	0,24	0,21	0,2	0,22	0,2
T 10	0,65	0,29	0,39	0,27	0,19	0,21	0,21	0,18
EDT	0,67	0,28	0,34	0,21	0,21	0,21	0,23	0,24
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,07	0,03	0,04	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03

Düzenleme sonrası Alıcı 1 noktasında 63 Hz bölgesinde EDT ve T 10 değerlerinin daha uyumlu ve düşük olduğunu görmekteyiz (Şekil 4.2). Standart sapma değeri ilk duruma göre düzelmese de ilk 15 dB lik düşüşle daha sonraki sönme grafiğinin kendi içinde uyumlu olduğu söylenebilir (Tablo 4.2). Ancak EDT ve T 10 ile T 20 ve T 30 arasındaki süre farkının 100 ms üzerinde olması iki eğimli sönüm grafiği

görebileceğimizi göstermektedir. 125 Hz bölgesinde EDT, T 10 ve T 30' un uyumlu olduğu T 20'nin ise biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. 15 dB ile 25 dB düşüş düzeyi aralığında bir dalgalanma olacağı söylenebilmektedir. 250 Hz ve 500 Hz bölgelerinde sönümün hızlı başlayıp daha sonra yavaşladığı görülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde yansıma süresi değerleri birbirlerine oldukça yakın olduğundan dolayı sönüm grafiklerinin düzgün olması beklenmektedir.

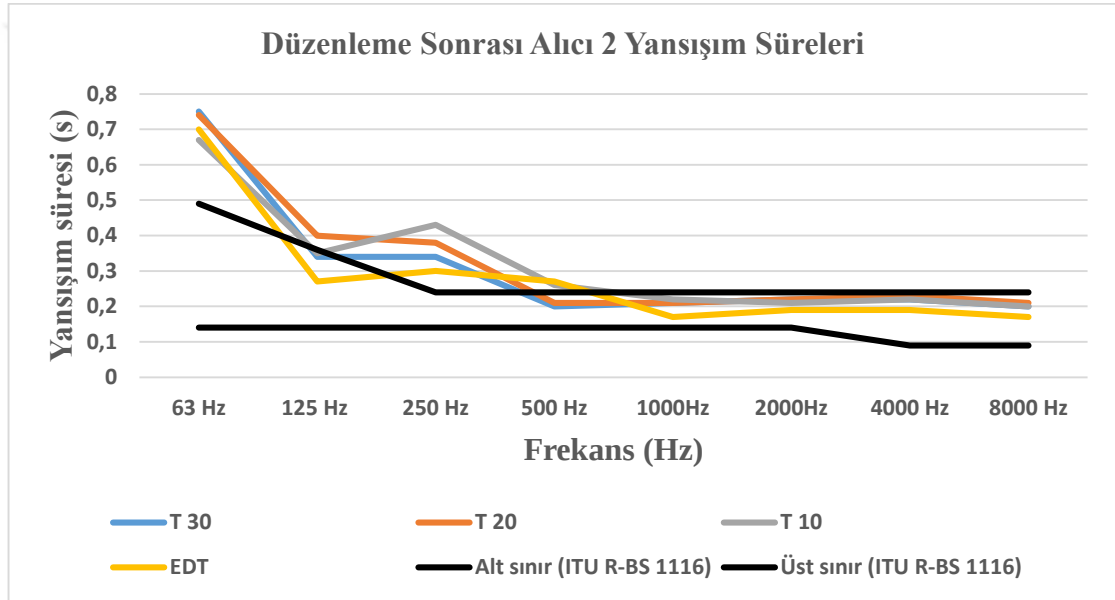


Şekil 4.3 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.3 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,74	0,5	0,61	0,54	0,49	0,45	0,43	0,38
T 20	0,77	0,56	0,61	0,49	0,5	0,45	0,44	0,38
T 10	0,73	0,66	0,56	0,51	0,49	0,41	0,42	0,38
EDT	0,71	0,6	0,6	0,54	0,45	0,36	0,4	0,34
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02

Alıcı 2 noktasına göre düzenleme öncesinde 63 Hz bölgesinde standart sapma değerinin 0,03 olduğu sönüm grafiğinde anlık sapmaların değil, daha yavaş ve küçük düzensizliklerin olacağı öngörülmüştür. 125 Hz bölgesinde ise sönüm grafiğinin eğiminin sürekli değiştiği ve sönüm boyunca devam ettiği gözlenmiştir. 250 Hz bölgesinde 10 dB ile 15 dB düşüş seviyesi aralığında bir düzensizlik olabileceği değerlendirilmiştir. 500 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz ve 8000 Hz bölgelerinde standart sapmanın düşük olması ve yansıma sürelerinin (Şekil 4.3) uyumlu olmasından dolayı sönüm grafiğinin düzgün olması beklenmektedir. 2000 Hz bölgesinde ise sönümün hızlı başlayıp yavaşlayacağı görülmüştür. Standart sapma değeri de 0,04 çıkarak düzensizliği göstermektedir (Tablo 4.3).



Şekil 4.4 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri

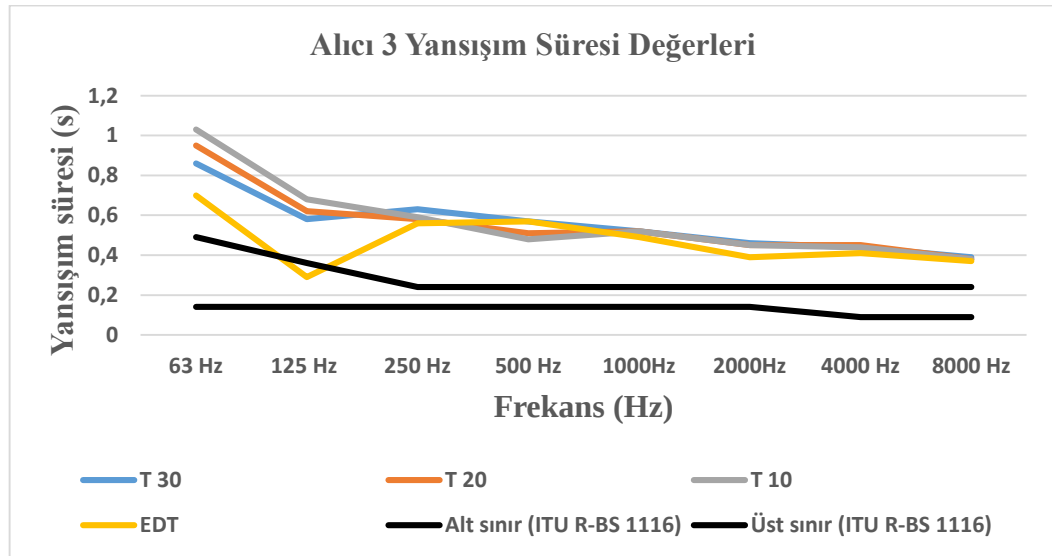
Tablo 4.4 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,75	0,34	0,34	0,2	0,21	0,22	0,22	0,2
T 20	0,74	0,4	0,38	0,21	0,21	0,22	0,23	0,21
T 10	0,67	0,35	0,43	0,26	0,22	0,21	0,22	0,2

Tablo 4.4 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 2 noktasına göre yansışım süresi değerleri (devamı)

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT	0,7	0,27	0,3	0,27	0,17	0,19	0,19	0,17
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,04	0,05	0,06	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02

Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre 63 Hz bölgesinde 15 dB ile 20 dB düşüş bölgesinde eğimin arttığı bunun haricinde sönümün uyumlu olduğu görülmüştür. 125 Hz bölgesinde sönüm şeklinin hızlı başlayarak yavaşladığını 25 dB düşüş seviyesinden sonra tekrar hızlandığı belirlenmiştir. 250 Hz bölgesinde ise genel bir düzensizlik dikkat çekmektedir (Şekil 4.4). Standart sapma değeri de ilk duruma göre 0,02 den 0,06' ya çıkmıştır (Tablo 4.4). 500 Hz bölgesinde sönüm giderek hızlanmıştır. Diğer frekans bölgelerinde ise standart sapma değerleri düşük ve yansışım süresi değerleri uyumlu olduğu için sönüm grafiklerinin düzgün olması beklenmektedir.

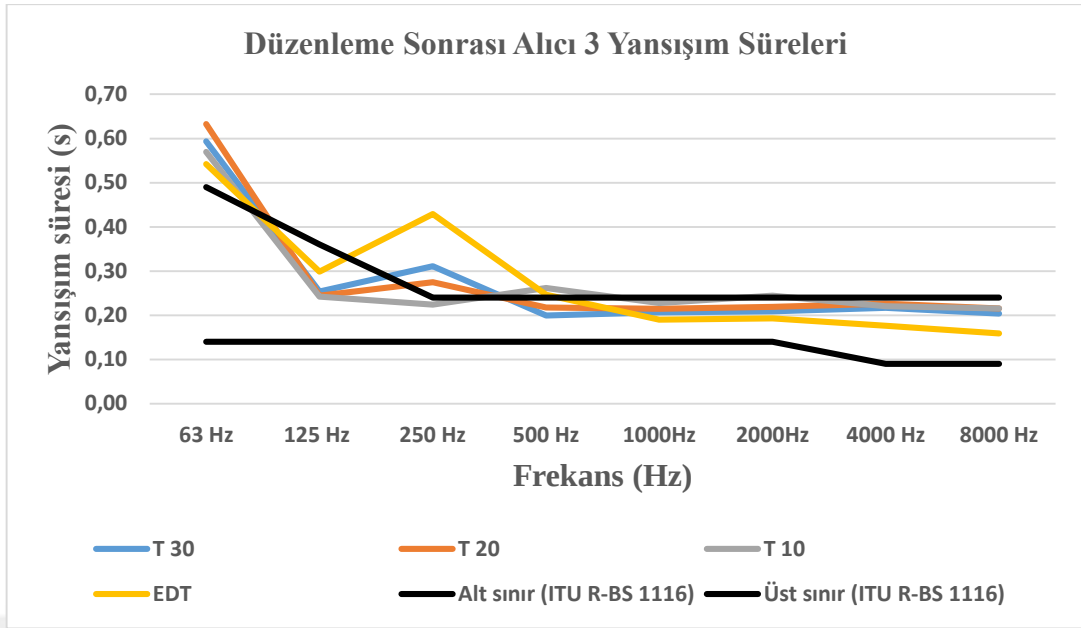


Şekil 4.5 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansışım süresi değerleri

Tablo 4.5 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,86	0,58	0,63	0,57	0,52	0,46	0,44	0,39
T 20	0,95	0,62	0,58	0,51	0,52	0,45	0,45	0,38
T 10	1,03	0,68	0,59	0,48	0,52	0,45	0,44	0,38
EDT	0,7	0,29	0,56	0,57	0,49	0,39	0,41	0,37
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,14	0,17	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,01

Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre 63 Hz bölgesinde standart sapmanın 0,14 olduğu bununla birlikte yansıma süresi değerlerinin birbirinden farklılaştığı görülmüştür (Tablo 4.5). EDT değerinin 0,7 iken T 10 değerinin 1,03 olması 10 dB ile 15 dB arasındaki düşüş grafiğinde eğimin fark edilir düzeyde azalması anlamına geldiği ve bu aralıkta sönüm grafiğinde sert dalgalanmalar olacağı düşünülmüştür (Şekil 4.5). Daha sonrasında T 20 ve T 30 değerlerinin düşüşe geçmesi sönüm eğrisinin eğiminin artacağına işaret etmektedir. 125 Hz bölgesinde de EDT değerinin diğer yansıma süresi değerlerine göre oldukça düşük olması ve standart sapma değerinin 0,17 olması sonucunda sönüm grafiğinin düzgün olamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. 250 Hz bölgesinde sönüm grafiğinde ufak dalgalanmalar olabileceği, 500 Hz bölgesinde ise dalgalanmaların biraz daha büyüyebileceği değerlendirilmiştir. Diğer frekans bölgelerinde genel olarak düzenli sönüm eğrileri beklenebilmektedir.



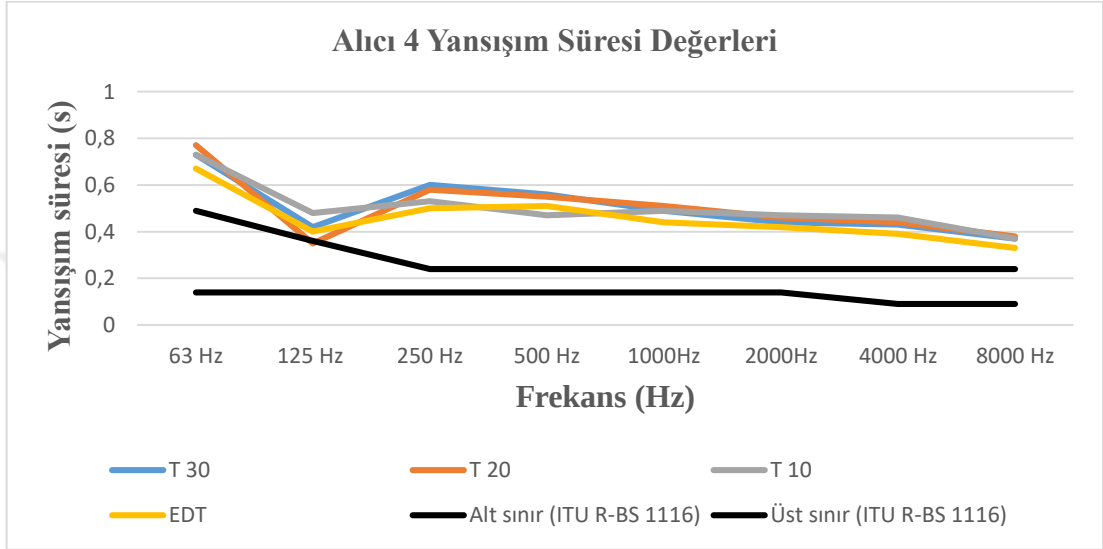
Şekil 4.6 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.6 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,59	0,25	0,31	0,20	0,21	0,21	0,22	0,20
T 20	0,63	0,24	0,27	0,22	0,21	0,22	0,23	0,22
T 10	0,57	0,24	0,22	0,26	0,23	0,24	0,22	0,22
EDT	0,54	0,30	0,43	0,25	0,19	0,19	0,18	0,16
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,04	0,03	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03

Düzenleme sonrasında alıcı 3 noktası için 63 Hz bölgesindeki dağılımın düzeldiği, standart sapma değerinin 0,14' den 0,04'e düştüğü, bu frekans bölgesine göre sönüm eğrisinde daha küçük düzensizliklerin olabileceği görülmektedir. 125 Hz bölgesinde de standart sapma değerinin 0,17'den 0,03' e gerilediği, yansıma süresi değerlerinin birbirlerine yaklaştığı, bu nedenle sönüm eğrisinin

düzgünleştigi belirlenmiştir (Tablo 4.6). 250 Hz bölgesinde ise düzensizliğin arttığı, EDT değerinin 0,43 ve T 10 değerinin 0,22 olması sonucunda ilk 10 dB ile 15 dB arasındaki düşüş grafiğinde ani eğim değişikliği olacağı ve bu bölgede güçlü dalgalanmalar olacağı öngörülmüştür (Şekil 4.6). Diğer frekans bölgelerindeki dağılımların düzgün dağılacağı standart sapma değerlerine bakarak söylenebilmektedir.

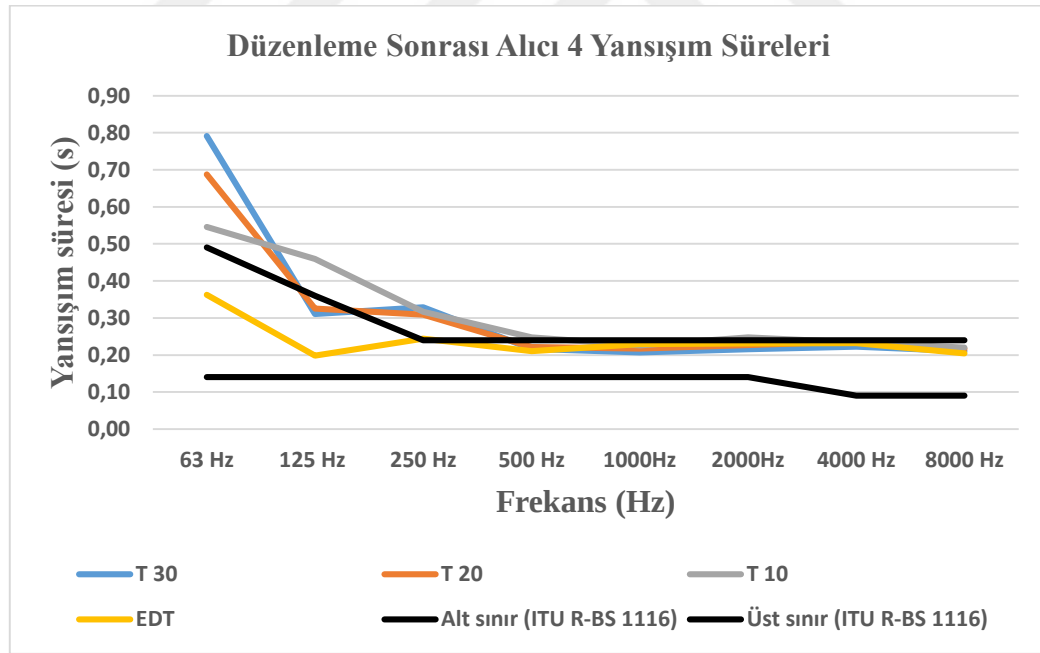


Şekil 4.7 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.7 Düzenleme öncesi kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,73	0,42	0,60	0,56	0,49	0,44	0,43	0,37
T 20	0,77	0,35	0,58	0,55	0,51	0,46	0,44	0,38
T 10	0,73	0,48	0,53	0,47	0,49	0,47	0,46	0,37
EDT	0,67	0,40	0,50	0,51	0,44	0,42	0,39	0,33
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02

Düzenleme öncesi alıcı noktası 4' e göre 63 Hz bölgesinde sönüm grafiğinin ufak dalgalanmalar dışında düzgün olabileceği standart sapma değerine bakarak söylenebilmektedir. 125 Hz bölgesinde ise yansıma süresi değerlerinin birbirinden daha uzak olmasından dolayı sönüm eğrisindeki düzensizliklerin daha fazla olacağı görülmektedir (Şekil 4.7). EDT 0,4 iken T 10 değerinin 0,48, T 20 değerinin 0,35 olması birbirini takip eden düşüş bölümlerinin eğimlerinin hissedilebilir seviyede farklılaştığını göstermektedir (Tablo 4.7). 250 Hz bölgesinde ise daha kademeli olarak yumuşak geçişli düzensizliklerin olacağını birbirini takip eden yansıma süreleri arasındaki fark değerlere bakarak söyleyebiliriz. 500 Hz bölgesinde standart sapma değerinin 0,4 olması ve yansıma süresi değerlerinden EDT ve T 10 değerlerinin T 20 ve T 30 değerlerinden daha düşük seyretmesi sönüm eğrisinin öncelikle hızlı ve daha sonrasında göreceli olarak yavaşlayacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. 1000 Hz ve üstü frekans bölgelerinde ise daha düzenli sönüm grafikleri olacağı standart sapma değerlerine bakarak söylenebilmektedir.



Şekil 4.8 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.8 Düzenleme sonrası kontrol odası alıcı 4 noktasına göre yansıma süresi değerleri

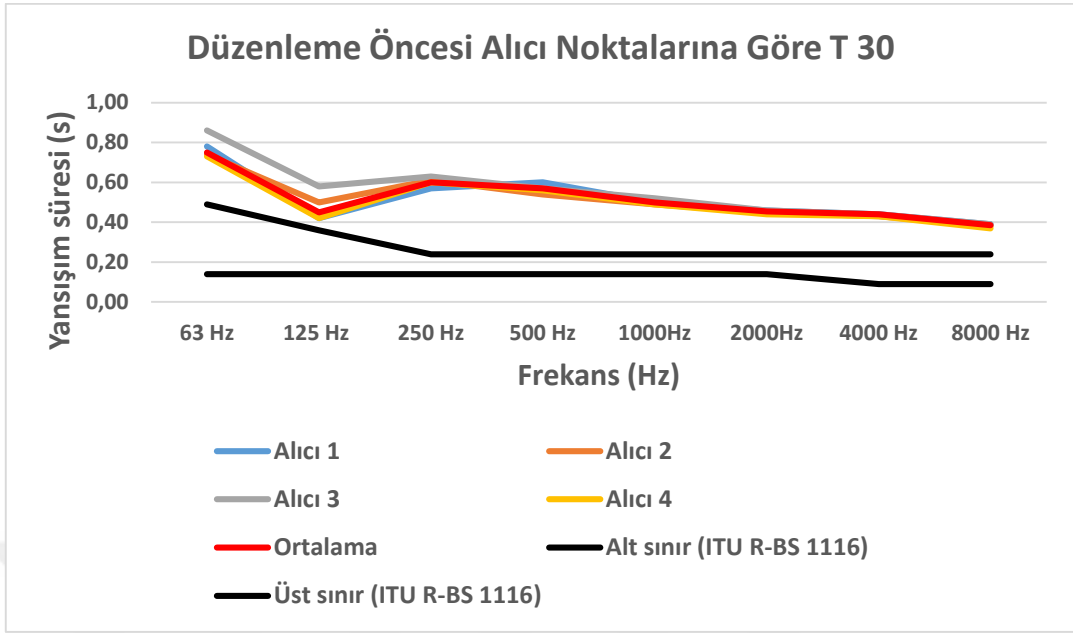
Alıcı 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,79	0,31	0,33	0,22	0,21	0,22	0,22	0,21
T 20	0,69	0,33	0,31	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22
T 10	0,55	0,46	0,32	0,25	0,23	0,25	0,23	0,22
EDT	0,36	0,20	0,24	0,21	0,23	0,23	0,23	0,20
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,19	0,11	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01

Düzenleme sonrası alıcı noktası 4'e göre 63 Hz bölgesinde ilk duruma göre düzensizliğin arttığı standart sapma değerine bakarak söylenebilir. EDT değerinin 0,36, T 10 değerinin 0,55, T 20 değerinin 0,69 ve T 30 değerinin 0,79 olması (Tablo 4.8) sönüm eğrisinin sürekli olarak fark edilir eğim değişikliğine uğradığını ve bunun sonucunda sönüm eğrisinin oldukça düzensiz ve dalgalanmalı olduğunu göstermektedir. 125 Hz bölgesinde de benzer bir şekilde ilk duruma göre düzensiz bir yapı ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 4.8). 250 Hz bölgesinde sadece EDT değeri diğer yansıma süresi değerlerinden 0,1 saniye daha düşük olduğu, diğer değerlerin ise hemen hemen aynı olduğu görülmekte, sönüm eğrisinin ilk kısmında bir düzensizlik olabileceği düşünülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde ise standart sapma değerlerinin ilk duruma göre düştüğü ve yansıma süresi değerlerinin daha uyumlu hale geldikleri görülmüştür.

4.1.1.2 Alıcı Noktalarına Göre T 30 ve EDT Karşılaştırmaları

Yansıma süresi parametrelerinden T 30 ve EDT parametrelerinin alıcı noktalarına göre farklılaşma oranlarına bakarak sesin ortam içerisine dağılımı analiz edilecektir.

Alıcı Noktalarına Göre T 30 Karşılaştırması



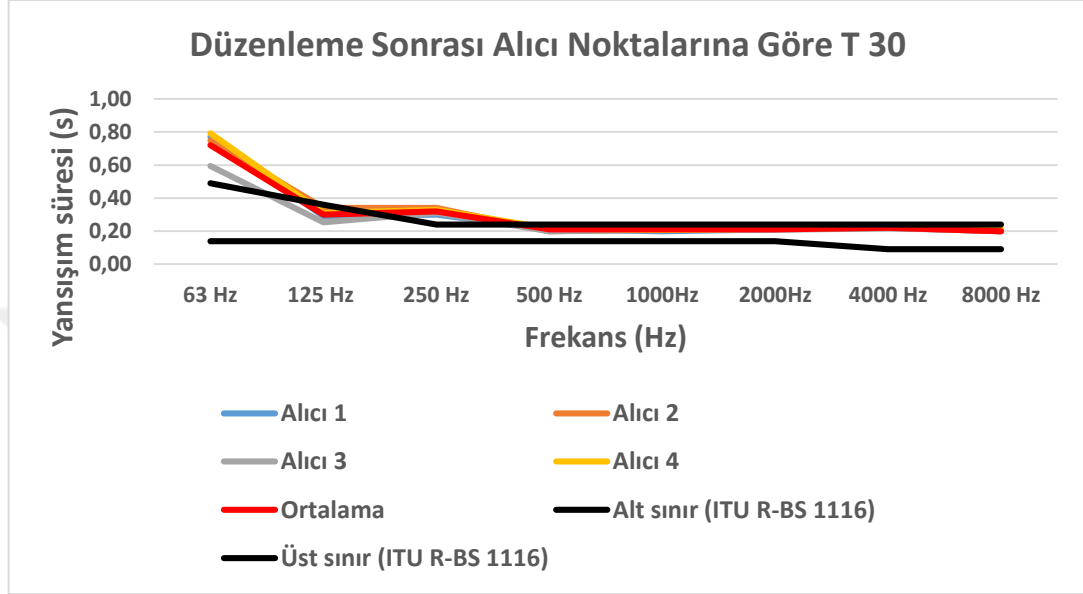
Şekil 4.9 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

Tablo 4.9 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

T30	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,78	0,42	0,57	0,60	0,50	0,46	0,44	0,39
Alıcı 2	0,74	0,50	0,61	0,54	0,49	0,45	0,43	0,38
Alıcı 3	0,86	0,58	0,63	0,57	0,52	0,46	0,44	0,39
Alıcı 4	0,73	0,42	0,60	0,56	0,49	0,44	0,43	0,37
Ortalama	0,75	0,45	0,60	0,57	0,50	0,46	0,44	0,39
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,05	0,07	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01

Düzenleme öncesinde T 30 değerlerine bakarak 250 Hz ve üstünde sesin mekan içerisine dağılımının düzgün olduğunu, 63 Hz ve 125 Hz bölgelerinde dağılımın

farklılaştığını Şekil 4.9 ve Tablo 4.9'a bakarak söyleyebiliriz. 63 Hz bölgesinde alıcı 2 ve alıcı 4 noktalarının T 30 değerlerinin ortalamaya yakın olduğunu, alıcı 3 noktasının asıl farkı yarattığını görmekteyiz. 125 Hz bölgesinde ise alıcı 1 ve alıcı 4 noktalarının ortalamaya yakın olduğunu, alıcı 3 noktasının ise farklılaştığını anlamaktayız.

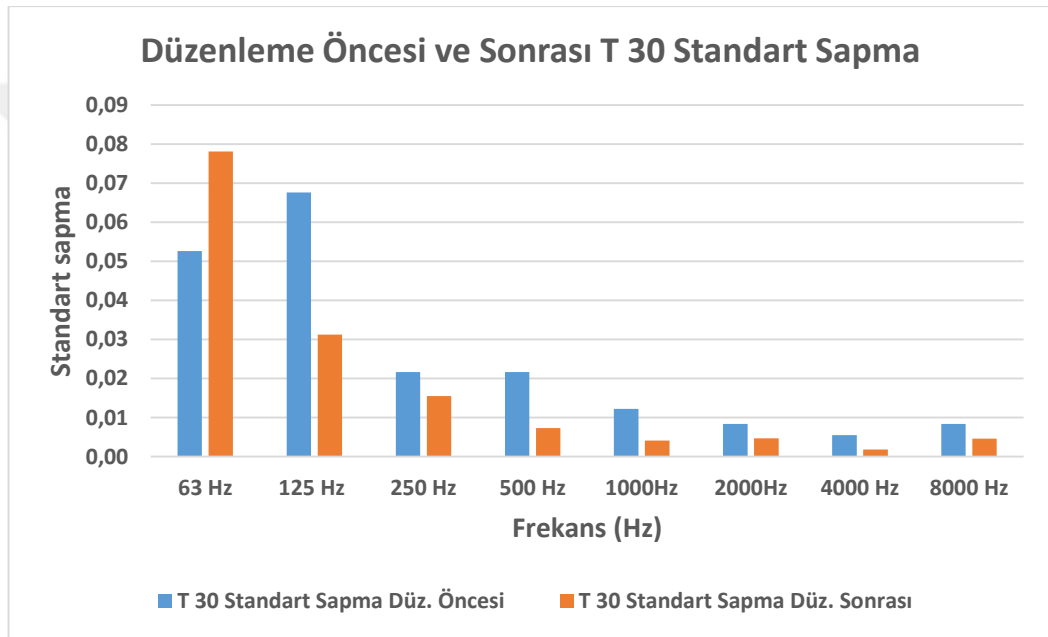


Şekil 4.10 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

Tablo 4.10 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

T30	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,77	0,29	0,30	0,21	0,20	0,21	0,22	0,20
Alıcı 2	0,75	0,34	0,34	0,20	0,21	0,22	0,22	0,20
Alıcı 3	0,59	0,25	0,31	0,20	0,21	0,21	0,22	0,20
Alıcı 4	0,79	0,31	0,33	0,22	0,21	0,22	0,22	0,21
Ortalama	0,72	0,30	0,32	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Düzenleme sonrasında 63 Hz bölgesinde alıcı 1,2 ve 4' ün T 30 değerlerinin birbirine yakın olduğu ancak alıcı 3' ün diğer noktalara göre ortalama 0,16 saniye daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10). Bu frekans bölgesinde standart sapma değeri alıcı 3' ün farklılaşmasından dolayı 0,08 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.10). 125 Hz bölgesinde ise standart sapmanın 0,07 'den 0,03' e düştüğü sesin mekânsal dağılımının düzeldiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.11). Diğer frekans bölgelerinde de standart sapma değerlerinin mekânsal dağılım açısından çok iyi sonuçlar verdiği Tablo 4.11'de görülmektedir. 1000 Hz ve üstünde standart sapma 0,0 değerlerine gerilemiştir.

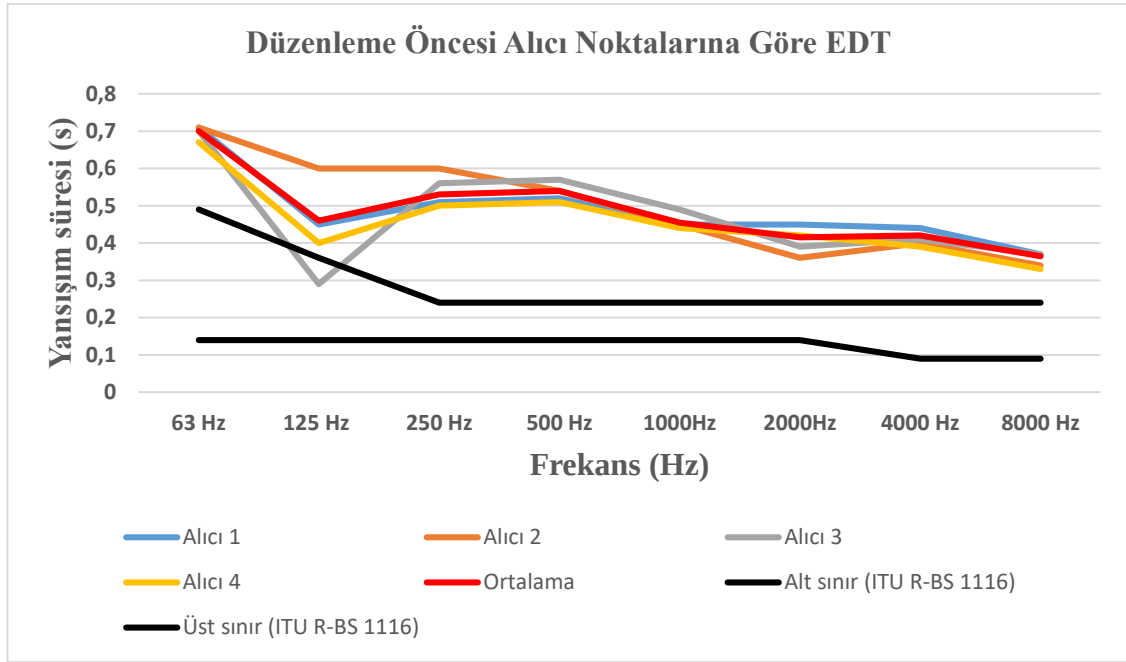


Şekil 4.11 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma

Tablo 4.11 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma

Standart Sapma	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30 Standart Sapma Düz. Öncesi	0,05	0,07	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
T 30 Standart Sapma Düz. Sonrası	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Alıcı Noktalarına Göre EDT Karşılaştırması

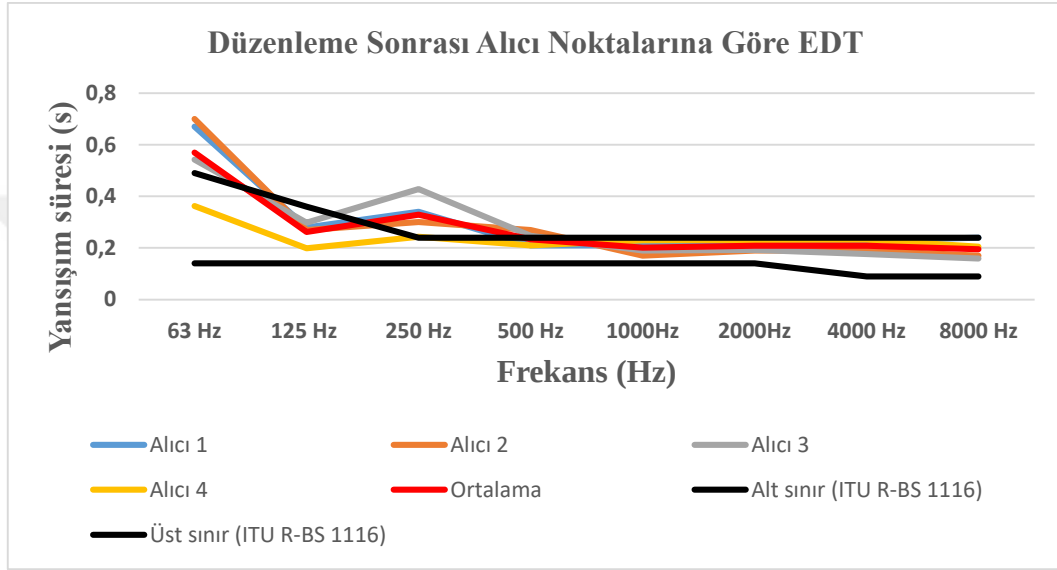


Şekil 4.12 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

Tablo 4.12 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

EDT	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,71	0,45	0,51	0,52	0,45	0,45	0,44	0,37
Alıcı 2	0,71	0,6	0,6	0,54	0,45	0,36	0,4	0,34
Alıcı 3	0,7	0,29	0,56	0,57	0,49	0,39	0,41	0,37
Alıcı 4	0,67	0,4	0,5	0,51	0,44	0,42	0,39	0,33
Ortalama	0,70	0,46	0,53	0,54	0,46	0,42	0,42	0,37
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,02	0,11	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02

Düzenleme öncesinde EDT değerlerine bakarak 63 Hz ve 500 Hz üstündeki frekans bölgelerinde sesin mekan içerisine dağılımının düzgün olduğunu, 125 Hz bölgesinde dağılımın farklılaştığını Şekil 4.12 ve Tablo 4.12'ye bakarak söyleyebiliriz. 125 Hz bölgesinde bütün alıcı noktalarının birbirinden farklılaştığını ve standart sapma değerinin 0,11 olduğunu grafik ve tablodan görmekteyiz. 250 Hz bölgesinde ise alıcı 1 ve alıcı 4 noktalarının ortalamaya yakın olduğunu, alıcı 2 noktasının ise farklılaştığını anlamaktayız.



Şekil 4.13 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

Tablo 4.13 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

EDT	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,67	0,28	0,34	0,21	0,21	0,21	0,23	0,24
Alıcı 2	0,7	0,27	0,3	0,27	0,17	0,19	0,19	0,17
Alıcı 3	0,54	0,30	0,43	0,25	0,19	0,19	0,18	0,16
Alıcı 4	0,36	0,20	0,24	0,21	0,23	0,23	0,23	0,20
Ortalama	0,57	0,26	0,33	0,23	0,20	0,21	0,21	0,19
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09

Tablo 4.13 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması (devamı)

Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Standart Sapma	0,13	0,04	0,07	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03

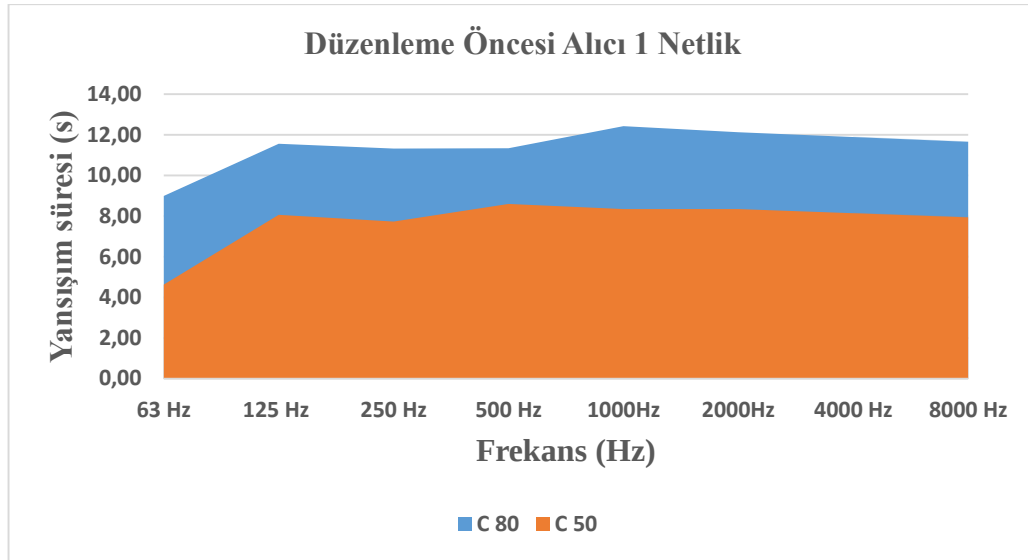
Düzenleme sonrasında 63 Hz bölgesinde alıcı 1 ve 2'nin T 30 değerlerinin birbirine yakın olduğu ancak alıcı 4' ün ortalama değerden 0,21 saniye daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 4.13). Bu frekans bölgesinde standart sapma değeri 0,13 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.13). 125 Hz bölgesinde ise standart sapmanın 0,1 'den 0,04' e gerilediği, sesin mekânsal dağılımının düzeldiği gözlemlenmiştir. 250 Hz bölgesinde standart sapma değeri 0,04 puan artmış, ancak alıcı 1 ve 2 noktaları ortalamaya yakın değerler göstermiştir. Diğer frekans bölgelerinde de standart sapma değerlerinin mekânsal dağılım açısından iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.1.2 Netlik Parametresi

Alıcı noktalarında ki netlik parametreleri enerjinin zamana göre dağılımı konusunda bilgi vermektedir. Odanın belli bir noktasından geçen ses dalgalarının enerjilerinin zaman içerisinde nasıl dağıldıklarını analiz edebilmemiz için C 80 ve C 50 parametrelerinin birbirlerine göre durumları incelenecektir. Aynı zamanda düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası netlik parametrelerinde meydana gelen değişimler gözlemlenecektir.

4.1.2.1 C 80 ile C 50 Karşılaştırması

Sesin ortam içerisinde zamana yayılış enerjilerini analiz etmek için C 80 ve C 50 parametrelerinin birbirlerine karşı durumları ve C 80 ve C 50 grafiklerinin benzerlikleri ve farklılıkları ortaya konularak analiz edilecektir. İlk 50 ms ve sonraki enerjinin, ilk 80 ms ve sonrasındaki enerjiye göre durumlarına bakarak sesin zaman göre yayılım şeklinin düzgünlüğü değerlendirilecektir.

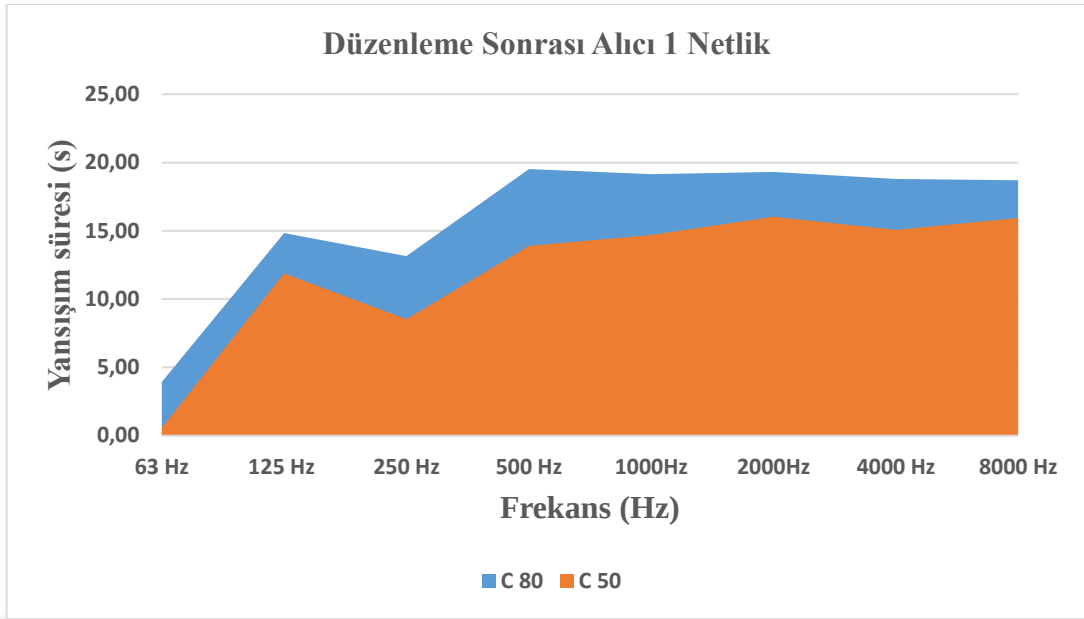


Şekil 4.14 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.14 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	8,99	11,56	11,33	11,34	12,43	12,13	11,89	11,65
C 50	4,63	8,07	7,73	8,60	8,34	8,35	8,14	7,93
C80-C50	4,36	3,49	3,60	2,74	4,09	3,78	3,75	3,72

Düzenleme öncesi alıcı noktası 1'e göre enerjinin zaman içindeki dağılımının 63 Hz bölgesinde diğer frekans bölgelerine göre daha düşük olduğunu görmekteyiz (Tablo 4.14). 125 Hz ve yukarısında enerji dağılım düzeylerinin hem C 50 hem de C 80 açısından benzer olduğu görülmektedir (Şekil 4.14). Sadece 500 Hz bölgesinde enerji akışının 50 ms ile 80 ms arasında yavaşladığı söylenebilmektedir.

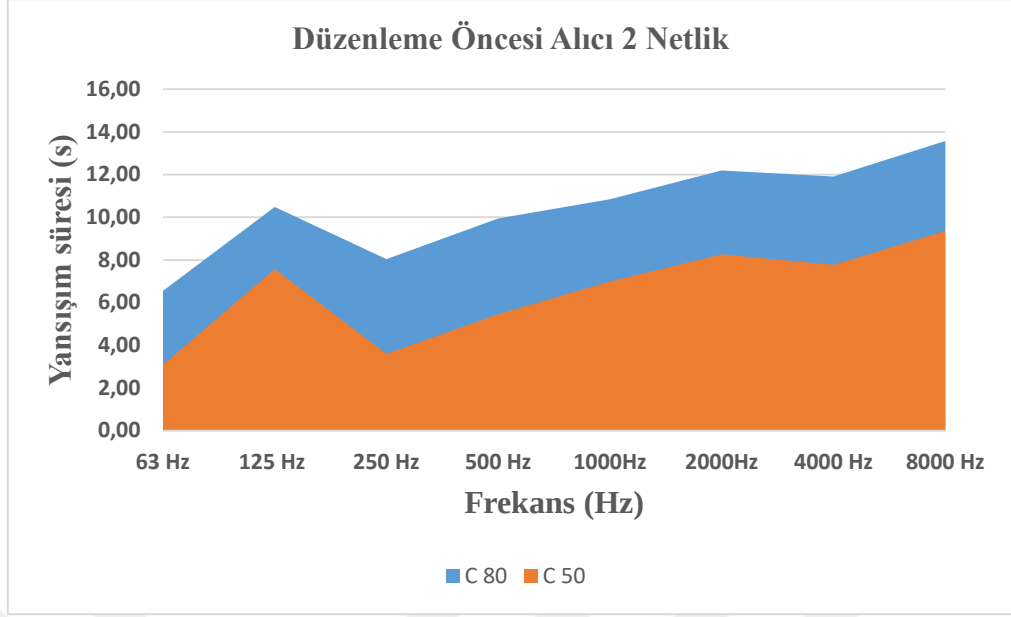


Şekil 4.15 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.15 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	3,94	14,83	13,15	19,52	19,16	19,32	18,81	18,70
C 50	0,57	11,87	8,52	13,91	14,70	16,03	15,08	15,93
C 80-C50	3,37	2,96	4,63	5,61	4,46	3,29	3,73	2,77

Düzenleme sonrasında alıcı noktası 1' e göre 63 Hz bölgesindeki değerlerin düştüğü, 500 Hz bölgesinde ki 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji akışının arttığı, C 50 ile C 80 grafiklerinin benzer oldukları görülmektedir (Şekil 4.15). 63 Hz dışında ki bölgelerde hem C 50 değerlerinin hem de C 80 değerlerinin arttığı görülmektedir (Tablo 4.15).

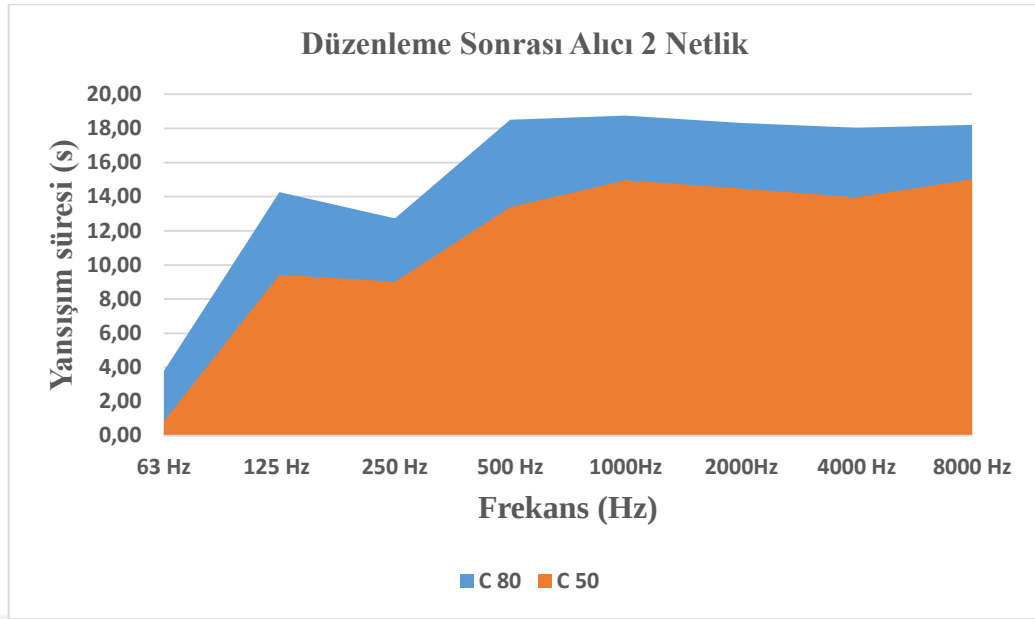


Şekil 4.16 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.16 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	6,56	10,49	8,04	9,95	10,85	12,20	11,90	13,57
C 50	3,08	7,57	3,60	5,46	6,98	8,26	7,76	9,36
C 80-C 50	3,47	2,91	4,44	4,49	3,87	3,93	4,14	4,21

Düzenleme öncesi alıcı noktası 2' ye göre C 80 ve C 50 grafiklerinin benzer oldukları (Şekil 4.16), 63 Hz bölgesinin netlik değerlerinin daha düşük olduğu, 125 Hz bölgesinde ise 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji farkının daha az olduğu görülmektedir (Tablo 4.16). Diğer frekans bölgelerinde 50 ms ile 80 ms arası enerji geçişlerinin birbirlerine benzedikleri söylenebilmektedir.

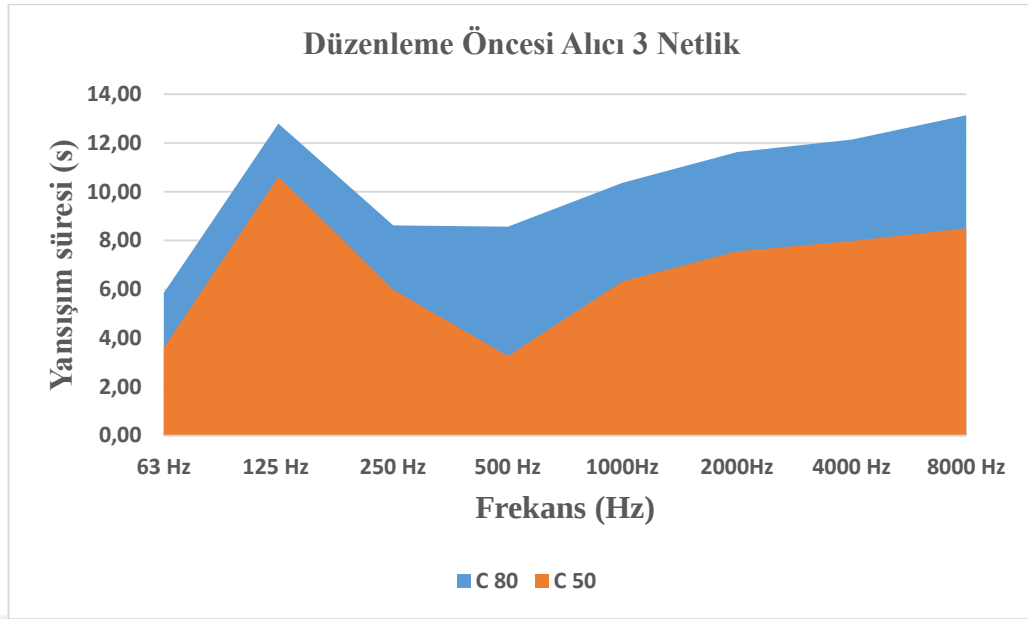


Şekil 4.17 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.17 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	3,79	14,28	12,72	18,51	18,76	18,32	18,05	18,20
C 50	0,83	9,44	9,01	13,39	14,97	14,48	13,96	15,01
C 80- C 50	2,96	4,84	3,71	5,12	3,79	3,83	4,08	3,19

Düzenleme sonrasında alıcı noktası 2' ye göre 63 Hz bölgesinde netlik değerleri azalırken diğer frekans bölgelerinde arttığı görülmektedir. Enerjinin 50 ms ile 80 ms arasındaki dağılımına baktığımızda 500 Hz ' de en fazla, 63 Hz' de de en az olduğu, diğer frekans bölgelerinde benzer oldukları gözlemlenmiştir (Tablo 4.17). C 50 ile C 80 grafikleri birbirlerine benzer durumdadır (Şekil 4.17).

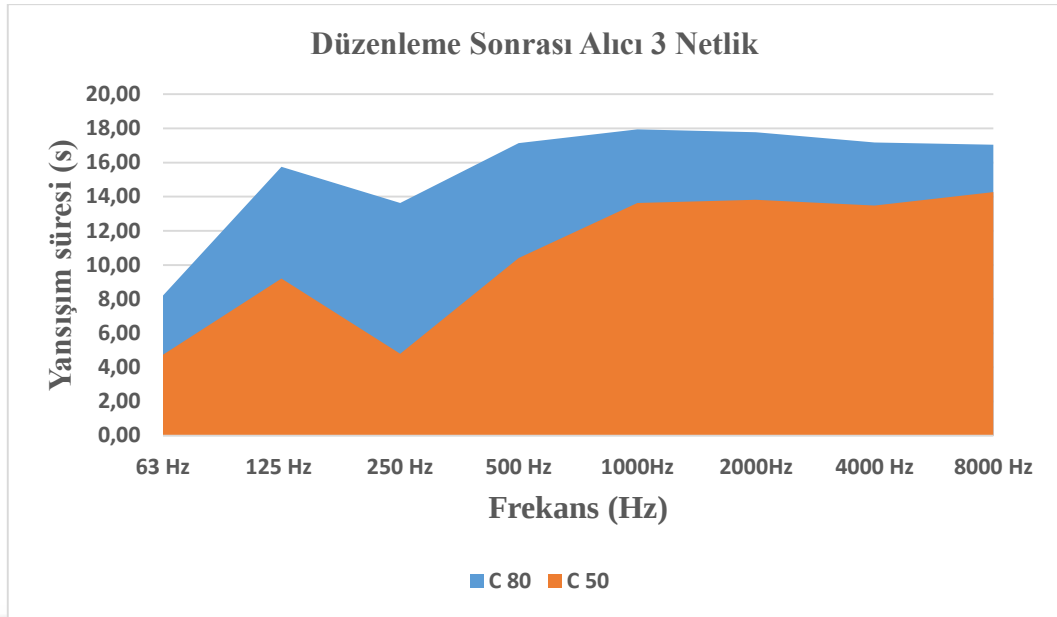


Şekil 4.18 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.18 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	5,85	12,80	8,62	8,56	10,37	11,63	12,14	13,14
C 50	3,61	10,62	5,98	3,26	6,32	7,55	7,98	8,51
C 80- C 50	2,24	2,18	2,63	5,30	4,05	4,08	4,15	4,64

Düzenleme öncesinde alıcı noktası 3' e göre C 80 ve C 50 grafiklerinin 500 Hz bölgesi dışında benzediğini, 500 Hz bölgesinde C 50 değerinin diğer frekanslara göre en düşük değer aldığını (Tablo 4.18) ve 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji akımının en yüksek olduğunu anlamaktayız. 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde 50 ms ile 80 ms arası enerjinin diğer frekans bölgelerine göre daha düşük kaldığını grafikten görmekteyiz (Şekil 4.18).

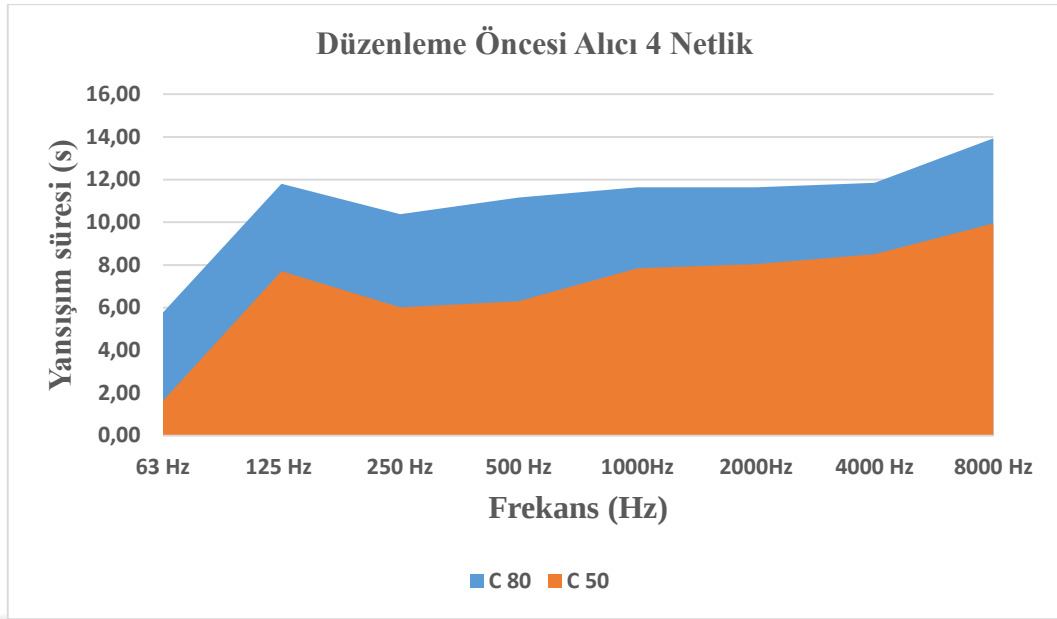


Şekil 4.19 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.19 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	8,21	15,75	13,63	17,13	17,95	17,78	17,18	17,05
C 50	4,75	9,21	4,79	10,40	13,64	13,82	13,49	14,27
C 80-C 50	3,47	6,55	8,83	6,73	4,31	3,96	3,69	2,78

Düzenleme sonrası alıcı noktası 3' e göre 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji akışı 63Hz ile 1000 Hz arasındaki frekanslarda artmış, 2000 Hz ile 8000 Hz arasındaki frekans bölgelerinde azalmıştır (Tablo 4.19). 250 Hz bölgesinde 50 ms ile 80 ms arasındaki enerjinin en fazla, 8000 Hz bölgesinde ise en az olduğu görülmektedir. C 80 ve C 50 grafikleri 250 Hz dışında benzemektedir (Şekil 4.19).

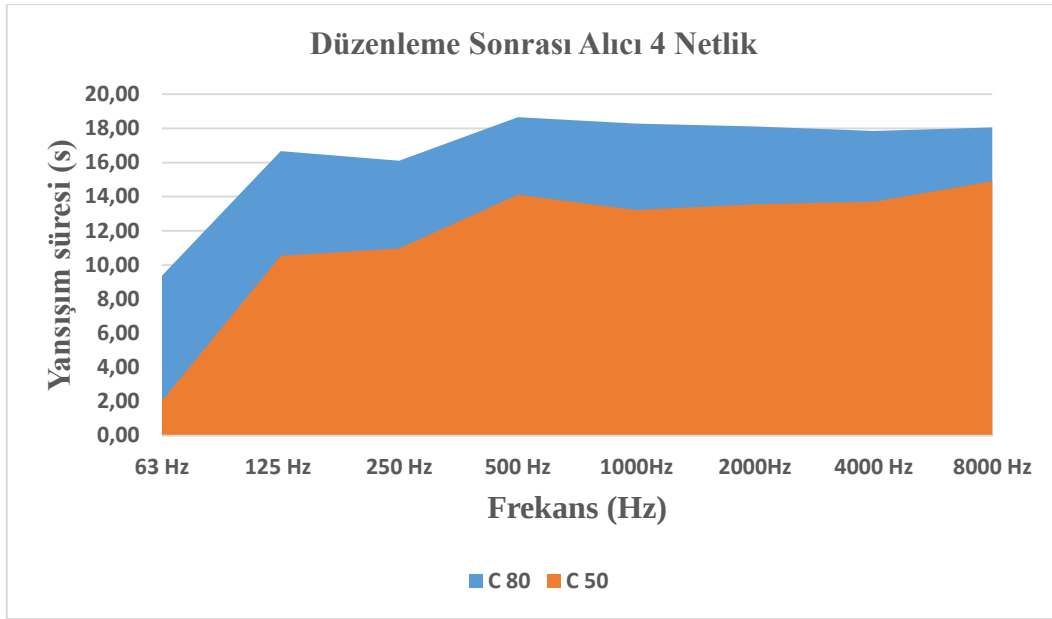


Şekil 4.20 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.20 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	5,78	11,81	10,38	11,16	11,64	11,63	11,85	13,94
C 50	1,63	7,70	6,02	6,29	7,84	8,04	8,51	9,95
C80- C 50	4,14	4,11	4,37	4,87	3,80	3,59	3,34	3,99

Düzenleme öncesi alıcı noktası 4' e göre 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji akışının frekanslara göre benzerlik gösterdiği, C 50 ile C 80 grafiklerinin birbirlerine benzedikleri görülmektedir (Şekil 4.20). 63 Hz bölgesindeki C 50 ve C 80 değerleri diğer frekans bölgelerine göre daha düşük kalmıştır (Tablo 4.20).



Şekil 4.21 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.21 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre netlik karşılaştırması

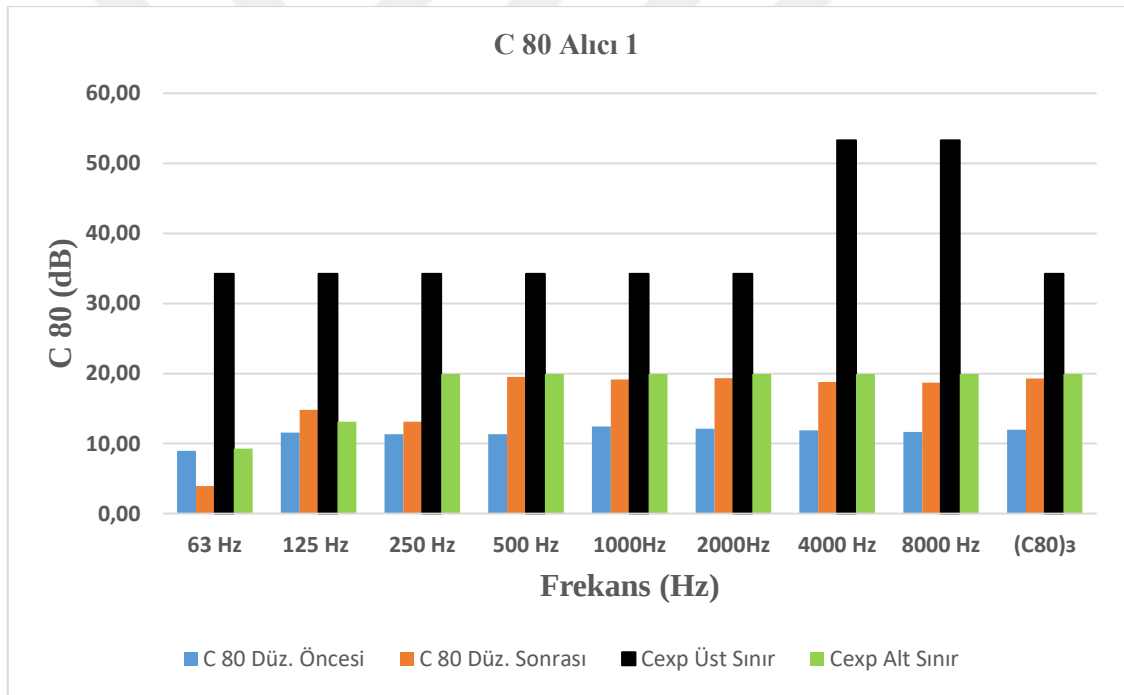
Alıcı 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	9,37	16,67	16,11	18,66	18,28	18,11	17,85	18,07
C 50	2,03	10,53	10,96	14,13	13,21	13,56	13,71	14,91
C 80- C 50	7,33	6,15	5,15	4,54	5,07	4,55	4,14	3,15

Düzenleme sonrası alıcı noktası 4' e göre 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji oranlarının 500 Hz ve 8000 Hz dışında arttığını, mutlak olarak da C 50 ve C 80 değerlerinin bütün frekans bölgelerinde artış gösterdiğini Şekil 4.21 ve Tablo 4.21'de görmekteyiz. 50 ms ile 80 ms arası enerjinin en fazla olduğu frekans 63 Hz bölgesi, en düşük olduğu frekans ise 8000 Hz bölgesidir. C 80 ve C 50 grafikleri birbirlerine benzerdir (Şekil 4.21).

4.1.2.2 Alıcı Noktalarına Göre C 80 ve C 50

Düzenleme öncesi ve sonrası netlik parametrelerinin karşılaştırılması sonucu sesin netlik değerlerinin ne oranda değiştiği analiz edilecektir. Her ne kadar C 80 verileri müzik için daha önemli olsa da C 50 değerlerinin de analizi yapılarak ilk 50 ms’ de ki enerjinin zamana yayılış biçimi değerlendirilecektir. C 80 değerleri için Cexp formülünden elde edilen sınır değerler kullanılacaktır. Cexp için ITU R-BS 1116 standardında belirlenmiş yansıma süresi alt ve üst sınır değerler kullanılmıştır.

$$C_{exp} = 10\log \left[\exp \left(\frac{1,104}{T} \right) - 1 \right] \quad [49] \quad (4.1)$$

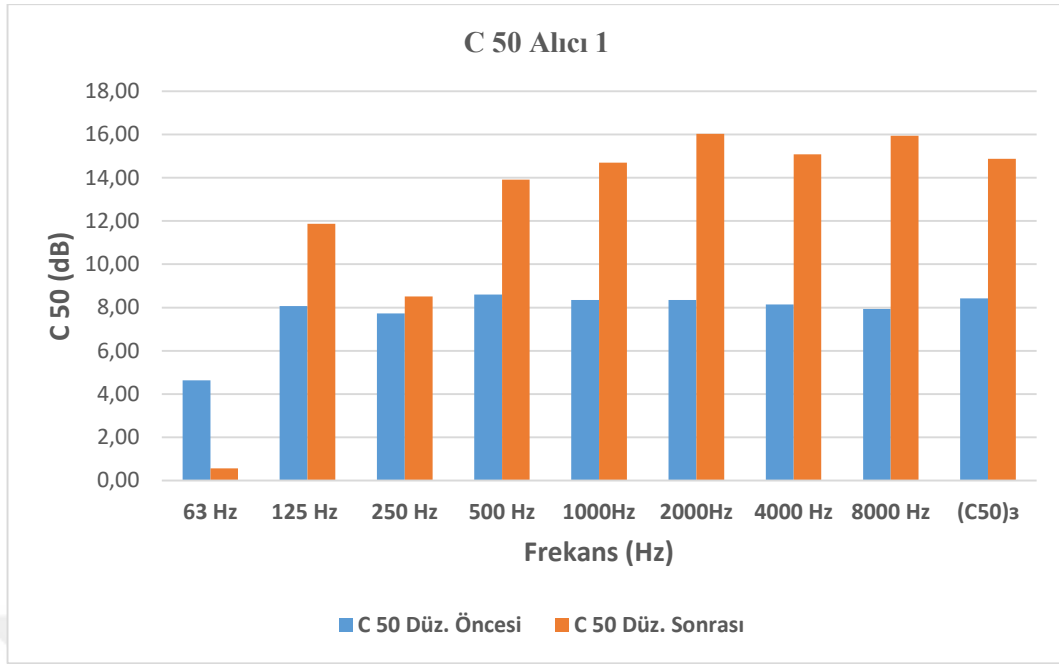


Şekil 4.22 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.22 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	(C80) ₃
C 80 Düz. Öncesi	8,99	11,56	11,33	11,34	12,43	12,13	11,89	11,65	11,97
C 80 Düz. Sonrası	3,94	14,83	13,15	19,52	19,16	19,32	18,81	18,70	19,30
Cexp Üst Sınır	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	53,27	53,27	34,25
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93
C80 DS-C80 DÖ	-5,05	3,27	1,81	8,17	6,72	7,19	6,92	7,05	7,33

Şekil 4.22 ve Tablo 4.22’de görülen düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası C 80 değerlerinde 63 Hz dışında bir artma görülmektedir. 63 Hz bölgesinde 5 dB’ lik bir azalış görülürken 500 Hz ile 8000 Hz arasında ortalama 7 dB’ lik artışlar gözlemlenmiştir. 250 Hz bölgesinde bu artış 1,81 dB ile sınırlı kalmıştır. Düzenleme sonrasında $C80_3$ parametresinin 7,36 dB artış gösterdiği belirlenmiştir. Düzenleme öncesinde sadece 125 Hz bölgesinde Cexp sınır değeri geçilirken, düzenleme sonrasında 63 Hz ve 250 Hz dışında sınır değerlere yaklaşılmıştır.



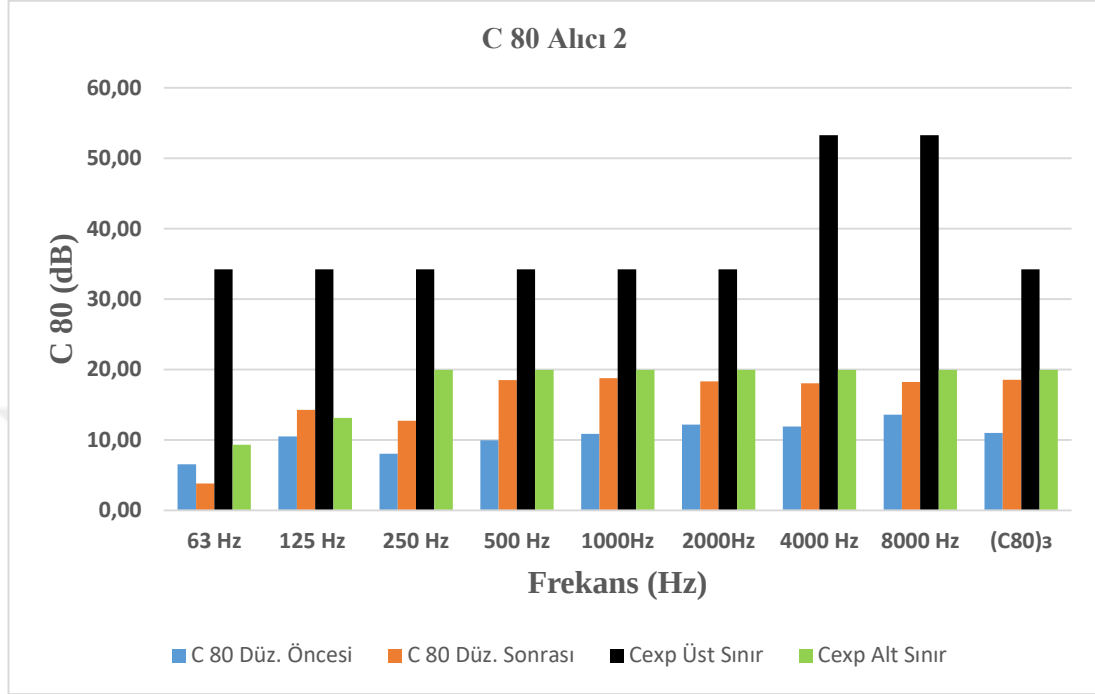
Şekil 4.23 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Tablo 4.23 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	(C50) ₃
C 50 Düz. Öncesi	4,63	8,07	7,73	8,60	8,34	8,35	8,14	7,93	8,43
C 50 Düz. Sonrası	0,57	11,87	8,52	13,91	14,70	16,03	15,08	15,93	14,88
C50 DS-C50 DÖ	- 4,06	3,80	0,79	5,30	6,36	7,68	6,94	8,00	6,45

Şekil 4.23 ve Tablo 4.23’de görüldüğü gibi alıcı noktası 1’ e göre C 50 parametresinin düzenleme öncesi ve sonrası değerlerinin 63 Hz bölgesi dışında artış gösterdiği, 63 Hz bölgesinde ise 4 dB’ lik bir azalış olduğu belirlenmiştir. 500 Hz ile 8000 Hz arasında artış miktarlarının 5,3 dB ile 8 dB arasında olduğu, 250

Hz' de ise 0,79 dB ile sınırlı kaldığı görülmüştür. $C50_3$ parametresinin 6,45 dB artış gösterdiği belirlenmiştir.

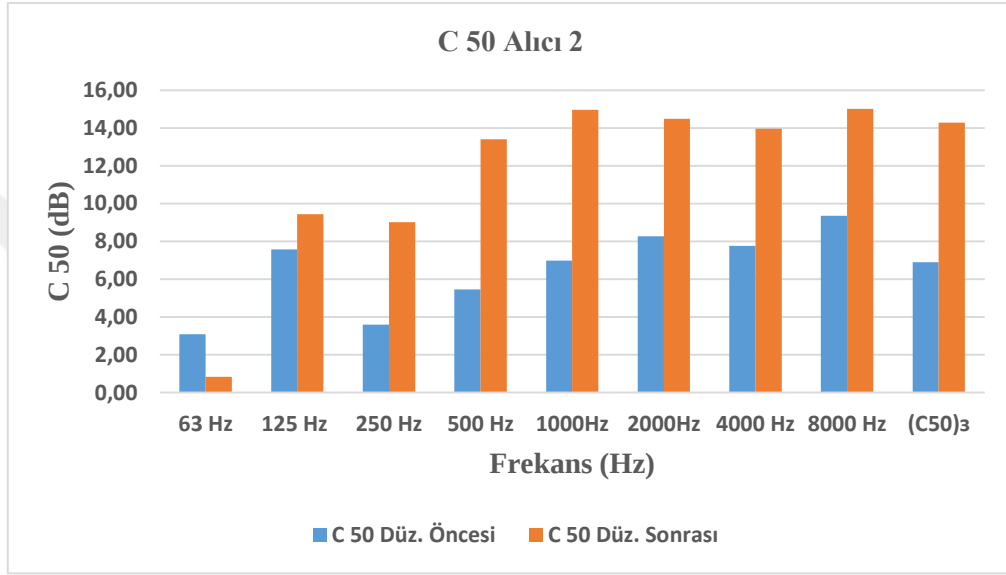


Şekil 4.24 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.24 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	(C80)3
C 80 Düz. Öncesi	6,56	10,49	8,04	9,95	10,85	12,20	11,90	13,57	11,00
C 80 Düz. Sonrası	3,79	14,28	12,72	18,51	18,76	18,32	18,05	18,20	18,53
Cexp Üst Sınır	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	53,27	53,27	34,25
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93
C80 DS-C80 DÖ	-2,77	3,79	4,68	8,56	7,91	6,12	6,14	4,63	7,53

Şekil 4.24 ve Tablo 4.24’de görülen düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası C 80 değerlerinde 63 Hz dışında bir artma görülmektedir. 63 Hz bölgesinde 2,77 dB’lik bir azalış görülürken 125 Hz ile 8000 Hz 3,79 dB ile 8,56 dB arasında farklı oranlarda artışlar gözlemlenmiştir. Düzenleme sonrasında $C80_3$ parametresinin 7,53 dB artış gösterdiği belirlenmiştir. Düzenleme öncesinde bütün frekans bölgelerinde sınır değerinin altında kalınırken, düzenleme sonrasında 63 Hz ve 250 Hz dışında sınır değerlere yaklaşılmıştır.



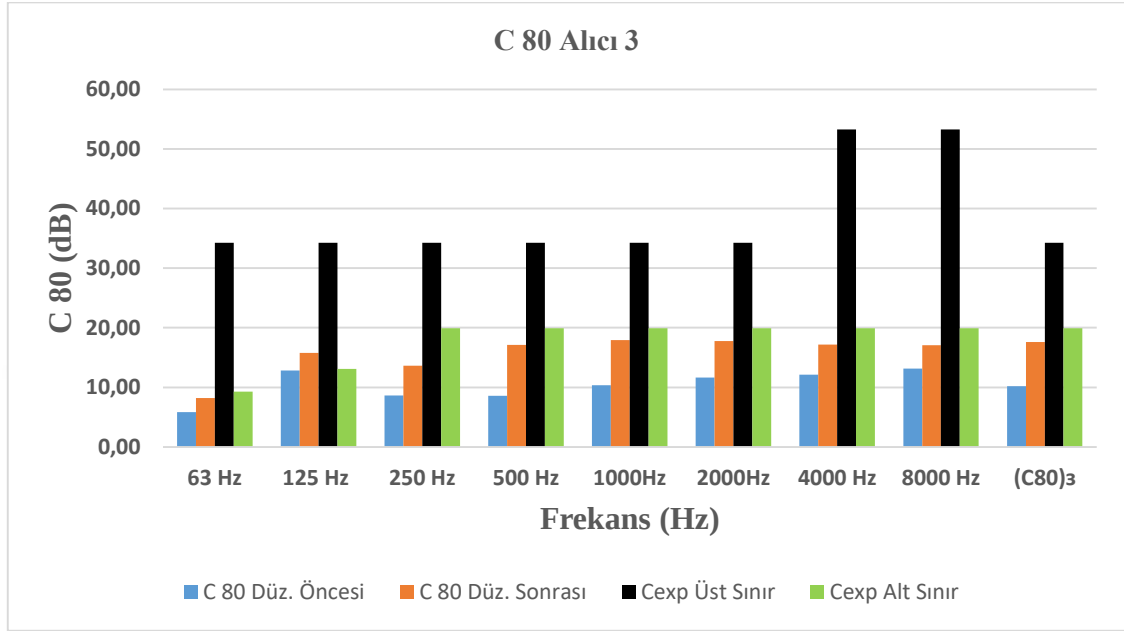
Şekil 4.25 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Tablo 4.25 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	(C50) ₃
C 50 Düz. Öncesi	3,08	7,57	3,60	5,46	6,98	8,26	7,76	9,36	6,90
C 50 Düz. Sonrası	0,83	9,44	9,01	13,39	14,97	14,48	13,96	15,01	14,28
C50 DS-C50 DÖ	-2,25	1,86	5,41	7,94	7,99	6,22	6,20	5,66	7,38

Şekil 4.25 ve tablo 4.25’de görüldüğü gibi alıcı noktası 2’ ye göre C 50 parametresinin düzenleme öncesi ve sonrası değerlerinin 63 Hz bölgesi dışında

artış gösterdiği, 63 Hz bölgesinde ise 2,25 dB' lik bir azalış olduğu belirlenmiştir. 250 Hz ile 8000 Hz arasında artış miktarlarının 5,41 dB ile 7,94 dB arasında olduğu, 125 Hz' de ise 1,86 dB ile sınırlı kaldığı görülmüştür. C50₃ parametresinin 7,38 dB artış gösterdiği belirlenmiştir.

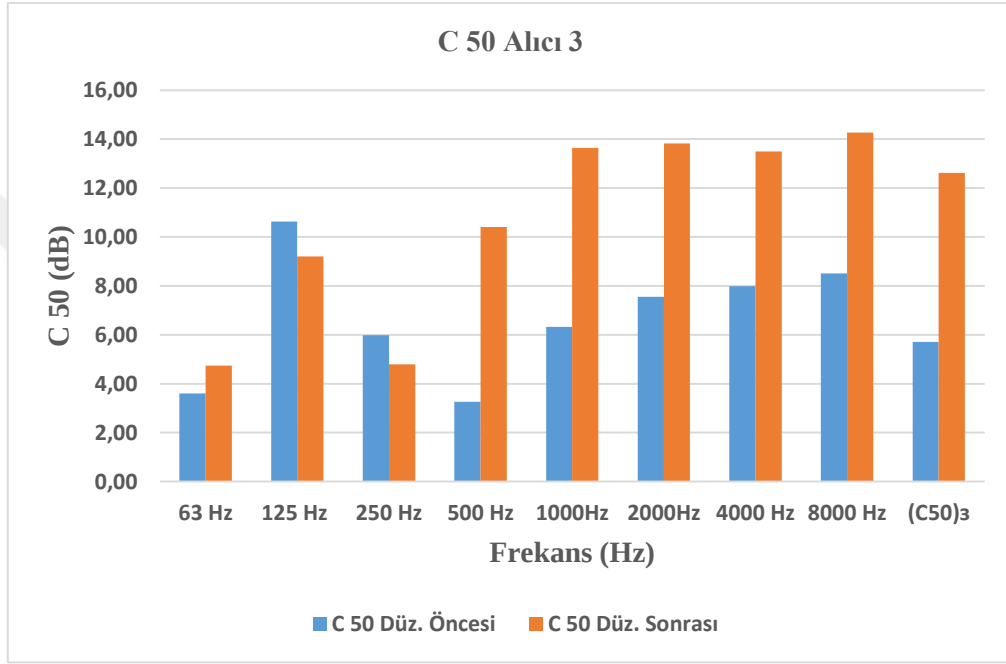


Şekil 4.26 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.26 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	(C80) ₃
C 80 Düz. Öncesi	5,85	12,80	8,62	8,56	10,37	11,63	12,14	13,14	10,19
C 80 Düz. Sonrası	8,21	15,75	13,63	17,13	17,95	17,78	17,18	17,05	17,62
Cexp Üst Sınır	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	53,27	53,27	34,25
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93
C80 DS-C80 DÖ	2,36	2,95	5,01	8,57	7,58	6,15	5,05	3,90	7,43

Şekil 4.26 ve Tablo 4.26’da görülen alıcı noktası 3 için düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası C 80 değerlerinde bütün frekans bölgelerinde artış gösterdiği belirlenmiştir. 63 Hz bölgesinde 2,36 dB’ lik bir artış görülürken 500 Hz bölgesinde 8,57 dB ile en yüksek artış görülmüştür. Düzenleme sonrasında $C80_3$ parametresinin 7,49 dB artış gösterdiği belirlenmiştir. Düzenleme öncesinde sadece 125 Hz bölgesinde Cexp sınır değere yaklaşılmış, düzenleme sonrasında 250 Hz dışında sınır değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir.

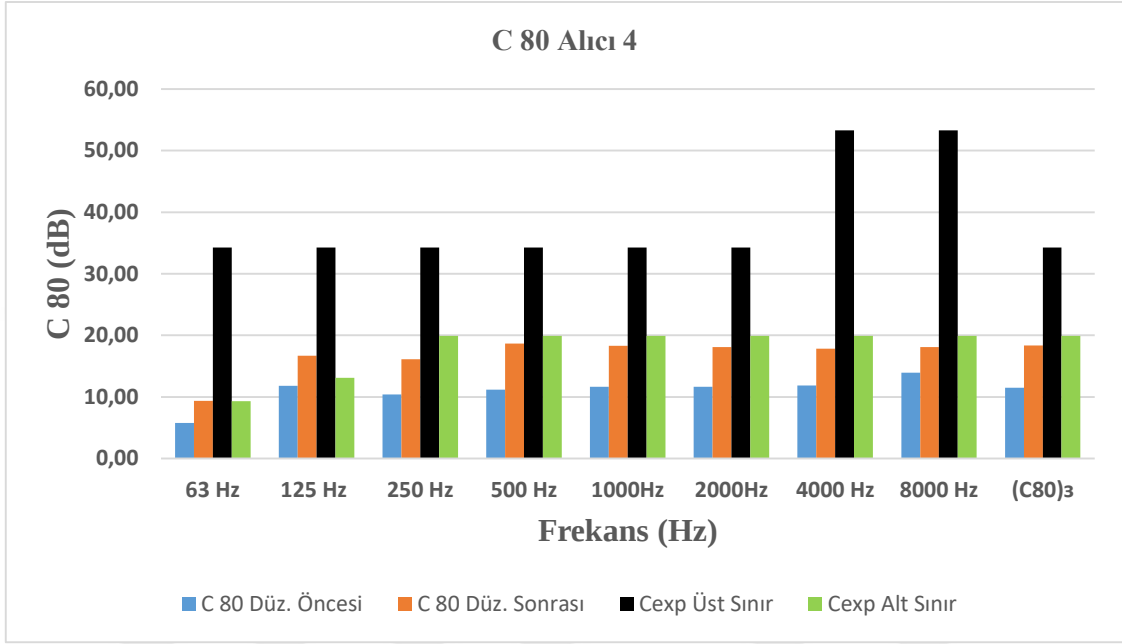


Şekil 4.27 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Tablo 4.27 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz	(C50) ₃
C 50 Düz. Öncesi	3,61	10,62	5,98	3,26	6,32	7,55	7,98	8,51	5,71
C 50 Düz. Sonrası	4,75	9,21	4,79	10,40	13,64	13,82	13,49	14,27	12,62
C50 DS-C50 DÖ	1,14	-1,42	-1,19	7,14	7,32	6,27	5,51	5,76	6,91

Şekil 4.27 ve Tablo 4.27’de görüldüğü gibi alıcı noktası 3’ e göre C 50 parametresinin düzenleme öncesi ve sonrası değerlerinin 125 Hz ve 250 Hz bölgeleri dışında artış gösterdiği belirlenmiştir. 250 Hz ile 8000 Hz arasında artış miktarlarının 5,51 dB ile 7,32 dB arasında olduğu, 63 Hz’ de ise 1,14 dB ile sınırlı kaldığı görülmüştür. $C50_3$ parametresinin 6,91 dB artış gösterdiği belirlenmiştir.

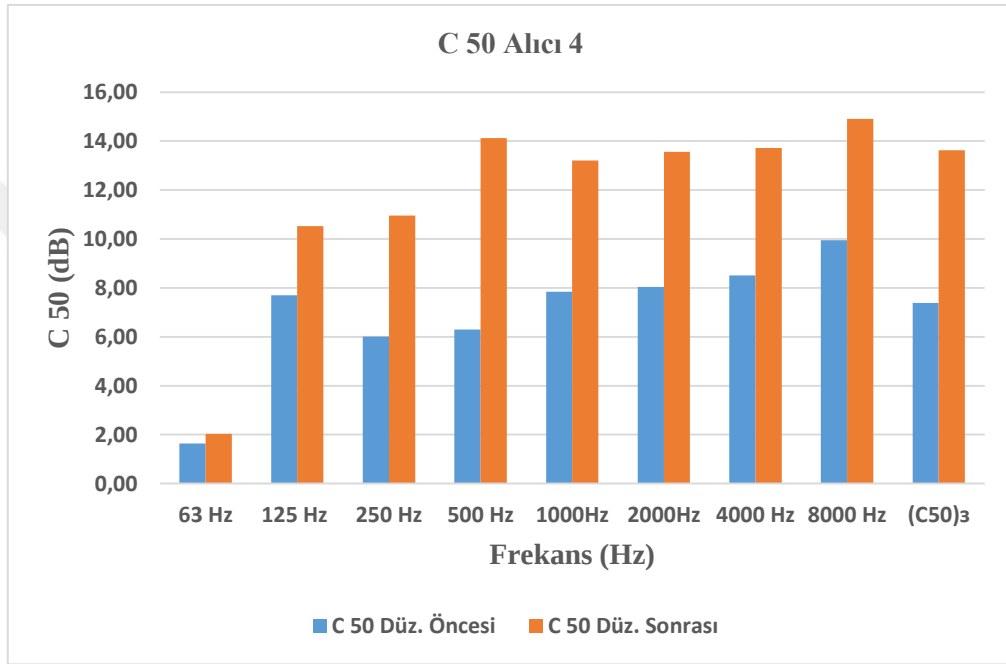


Şekil 4.28 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.28 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Alıcı 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz	(C80) ₃
C 80 Düz. Öncesi	5,78	11,81	10,38	11,16	11,64	11,63	11,85	13,94	11,48
C 80 Düz. Sonrası	9,37	16,67	16,11	18,66	18,28	18,11	17,85	18,07	18,35
Cexp Üst Sınır	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	53,27	53,27	34,25
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93
C80 DS-C80 DÖ	3,59	4,86	5,73	7,50	6,65	6,48	6,00	4,13	6,87

Şekil 4.28 ve Tablo 4.28’de görülen alıcı noktası 4 için düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası C 80 değerlerinde bütün frekans bölgelerinde artış gösterdiği belirlenmiştir. 63 Hz bölgesinde 3,59 dB’ lik bir artış görülürken 500 Hz bölgesinde 7,5 dB ile en yüksek artış görülmüştür. Düzenleme sonrasında $C80_3$ parametresinin 6,87 dB artış gösterdiği belirlenmiştir. Düzenleme öncesinde sadece 125 Hz bölgesinde Cexp sınır değere yaklaşılmış, düzenleme sonrasında 250 Hz dışında sınır değerlere yakın sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.29 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Tablo 4.29 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 4 noktasına göre C 50 karşılaştırması

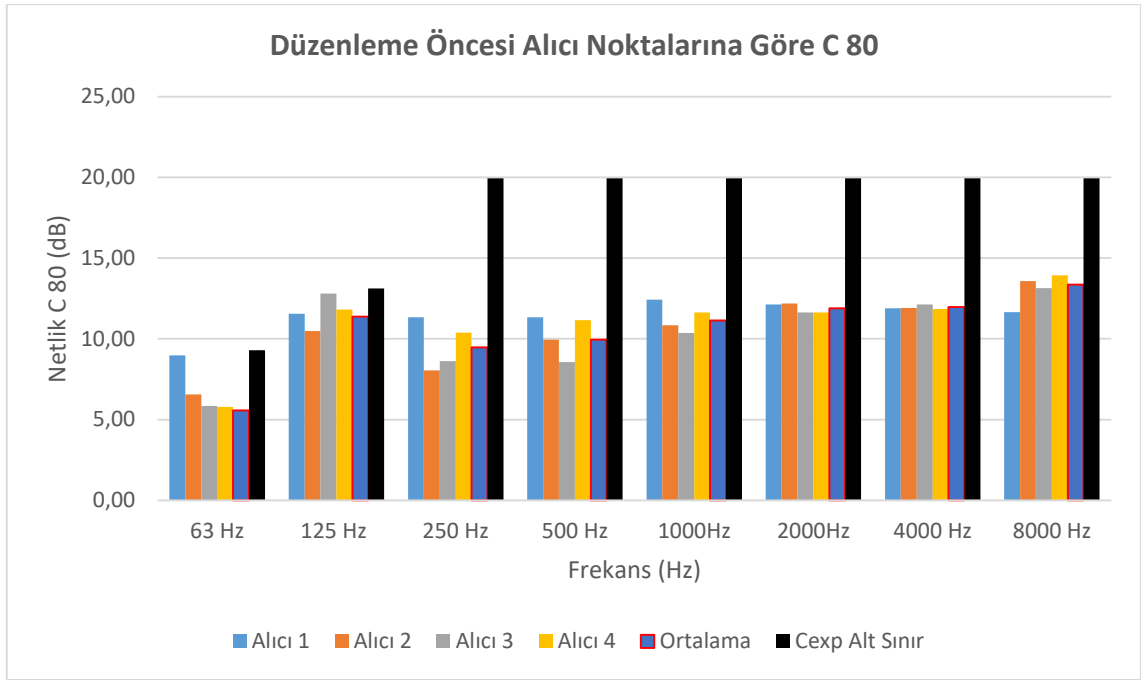
Alıcı 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz	(C50) ₃
C 50 Düz. Öncesi	1,63	7,70	6,02	6,29	7,84	8,04	8,51	9,95	7,39
C 50 Düz. Sonrası	2,03	10,53	10,96	14,13	13,21	13,56	13,71	14,91	13,63
C50 DS-C50 DÖ	0,40	2,82	4,95	7,83	5,37	5,52	5,21	4,96	6,24

Şekil 4.29 ve Tablo 4.29’da görülen alıcı noktası 4 için düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası C 50 değerlerinde bütün frekans bölgelerinde artış gösterdiği belirlenmiştir. 63 Hz bölgesinde 0,4 dB’ lik bir artış görülürken 500 Hz bölgesinde 7,83 dB ile en yüksek artış görülmüştür. $C50_3$ parametresinin 6,24 dB artış gösterdiği belirlenmiştir.

$C80_3$ ve $C50_3$ parametreleri için bütün alıcı noktalarında düzenleme öncesine göre düzenleme sonrasında ortalama 7 dB’lik artışlar görülmüştür. 63 Hz bölgesi için alıcı 1 ve alıcı 2 de C 80 ve C 50 değerlerinin azaldığı, alıcı 3 ve alıcı 4 noktaları için ufak artışlar gösterdiği belirlenmiştir. Sadece alıcı 3 noktası için C 50 değeri 125 Hz ve 250 Hz frekans bölgelerinde azalmış, diğer alıcı noktaları için hem C 80 hem de C 50 değerleri 125 Hz-8000 Hz aralığında artış göstermiştir. Cexp sınır değerlere düzenleme öncesine göre bütün frekans bölgelerinde yaklaşmıştır. Bu sonuçlara bakarak yapılan hacim akustiği düzenlemesinin yansıma sürelerini azaltırken netlik parametrelerini arttırdığı yorumu yapılabilmektedir.

4.1.2.3 C 80 Netlik Parametresinin Alıcı Noktalarına Göre Dağılımı

Ses enerjisinin odaya zaman içerisinde eşit dağılıp dağılmadığını gözlemlemek üzere alıcı noktalarının C 80 değerleri ile ortalama değerin olduğu tablolar analiz edilecektir. Alıcı noktaları C 80 değerlerinin ortalama değerden ne kadar farklılaştıklarını belirlemek üzere standart sapmalarla karşılaştırılacaktır. Cexp alt sınır değerine göre düzenleme öncesi ve sonrası durum analiz edilecektir.



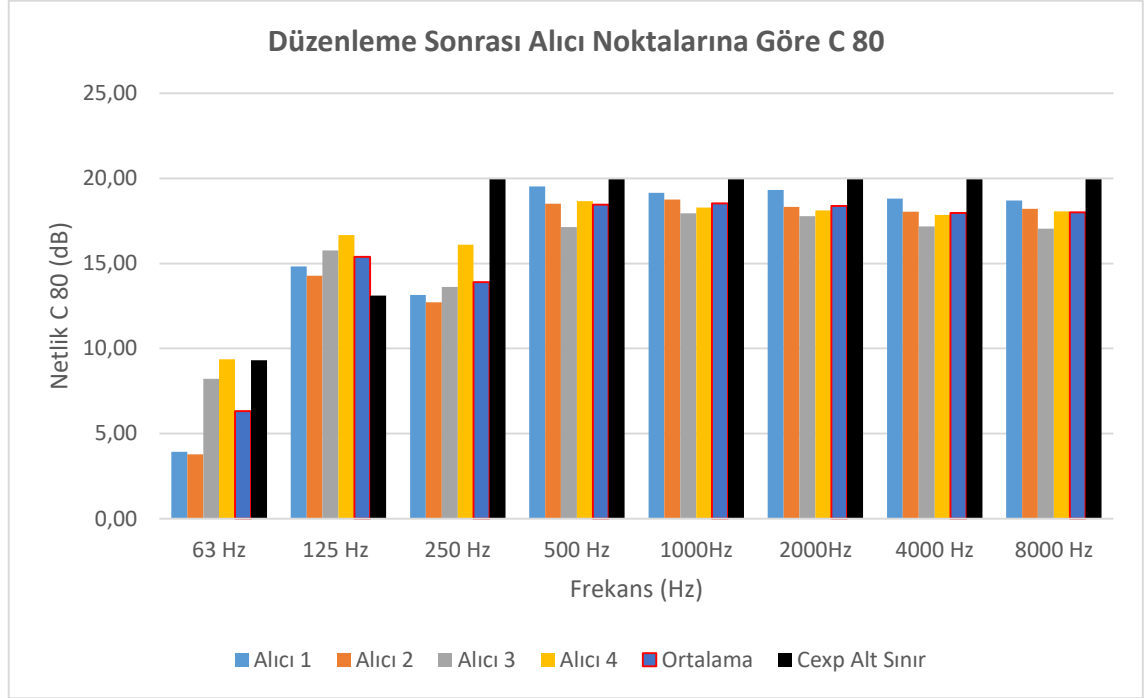
Şekil 4.30 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.30 Kontrol odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	8,99	11,56	11,33	11,34	12,43	12,13	11,89	11,65
Alıcı 2	6,56	10,49	8,04	9,95	10,85	12,20	11,90	13,57
Alıcı 3	5,85	12,80	8,62	8,56	10,37	11,63	12,14	13,14
Alıcı 4	5,78	11,81	10,38	11,16	11,64	11,63	11,85	13,94
Ortalama	5,56	11,37	9,47	9,95	11,14	11,90	11,98	13,36
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93
Standart Sapma	1,42	0,83	1,32	1,12	0,79	0,27	0,11	0,88

Düzenleme öncesi 63 Hz bölgesinde alıcı 1 noktasının diğer alıcı noktalarına göre daha yüksek C 80 değerine sahip olmasından dolayı standart sapmanın 1,65 olduğu görülmektedir (Tablo 4.30). Bu frekans bölgesi için alıcı 2,3 ve 4 noktalarında enerjinin zamana göre dağılımının düzgün olduğu söylenebilmektedir (Şekil 4.30). 2000 ve 4000 Hz bölgelerinde dağılımın düzgün

olduğu, diğer frekans bölgelerinde ise uyumsuzluklar olduğu belirlenmiştir. C 80 değerleri düzenleme öncesinde bütün alıcı noktaları için frekanslara göre belirlenen Cexp alt sınır değerinin altındadır.

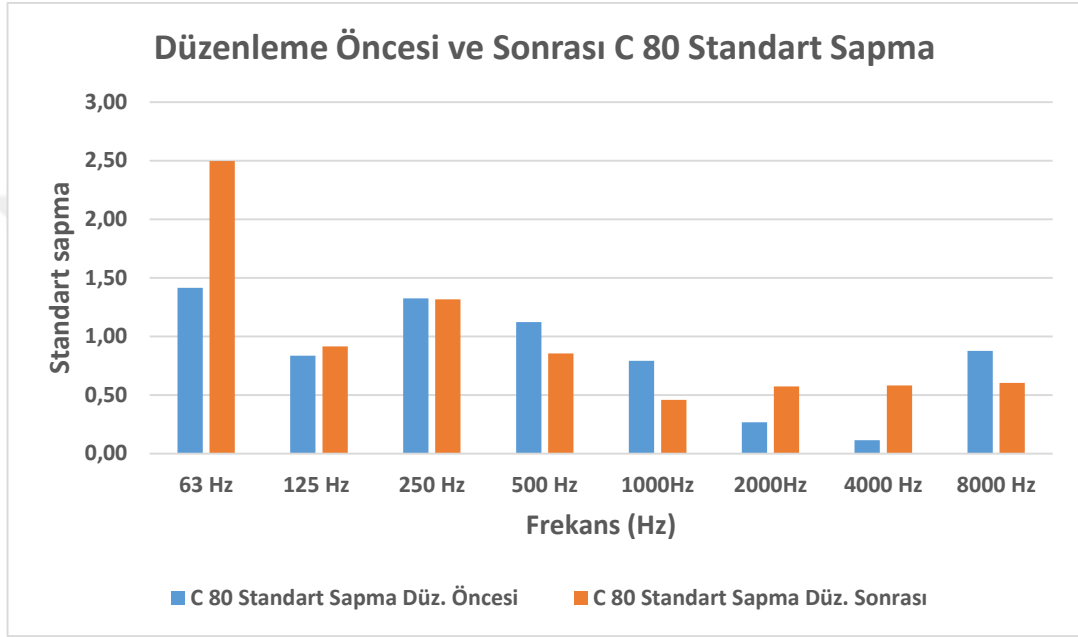


Şekil 4.31 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.31 Kontrol odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	3,94	14,83	13,15	19,52	19,16	19,32	18,81	18,70
Alıcı 2	3,79	14,28	12,72	18,51	18,76	18,32	18,05	18,20
Alıcı 3	8,21	15,75	13,63	17,13	17,95	17,78	17,18	17,05
Alıcı 4	9,37	16,67	16,11	18,66	18,28	18,11	17,85	18,07
Ortalama	6,33	15,38	13,90	18,46	18,54	18,38	17,97	18,00
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93
Standart Sapma	2,50	0,91	1,32	0,85	0,46	0,57	0,58	0,60

Düzenleme sonrasında 63 Hz bölgesinde enerjinin ortama zaman içerisinde eşit dağılmadığını, ilk duruma göre standart sapma değerinin arttığını Şekil 4.31 ve Tablo 4.31’den görmekteyiz. Diğer frekans bölgelerinde dağılımın ilk duruma göre daha iyi olduğu söylenebilir. 2000 Hz ve 4000 Hz’ de standart sapma değerleri artış gösterse de mutlak olarak dağılım kötü duruma gelmemiştir. Düzenleme sonrasında 250 Hz dışında sınır değerlere yaklaşılmış bazı alıcı noktaları için geçilmiştir.



Şekil 4.32 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma

Tablo 4.32 Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma

C 80 Standart Sapma	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80 Standart Sapma Düz. Öncesi	1,42	0,83	1,32	1,12	0,79	0,27	0,11	0,88
C 80 Standart Sapma Düz. Sonrası	2,50	0,91	1,32	0,85	0,46	0,57	0,58	0,60

Şekil 4.32 ve Tablo 4.32’den görüldüğü gibi düzenleme sonrasında enerjinin ortama zaman içerisindeki dağılımının 63 Hz dışında düzgün olduğu gözlenmiştir.

Yapılan düzenleme içerisinde ki helmholtz paneller 125 Hz ve 250 Hz' deki dağılımı düzenlerken, QRD difüzörler 500 Hz ve üstünde etkili olmuştur.

4.2 Kayıt Odası

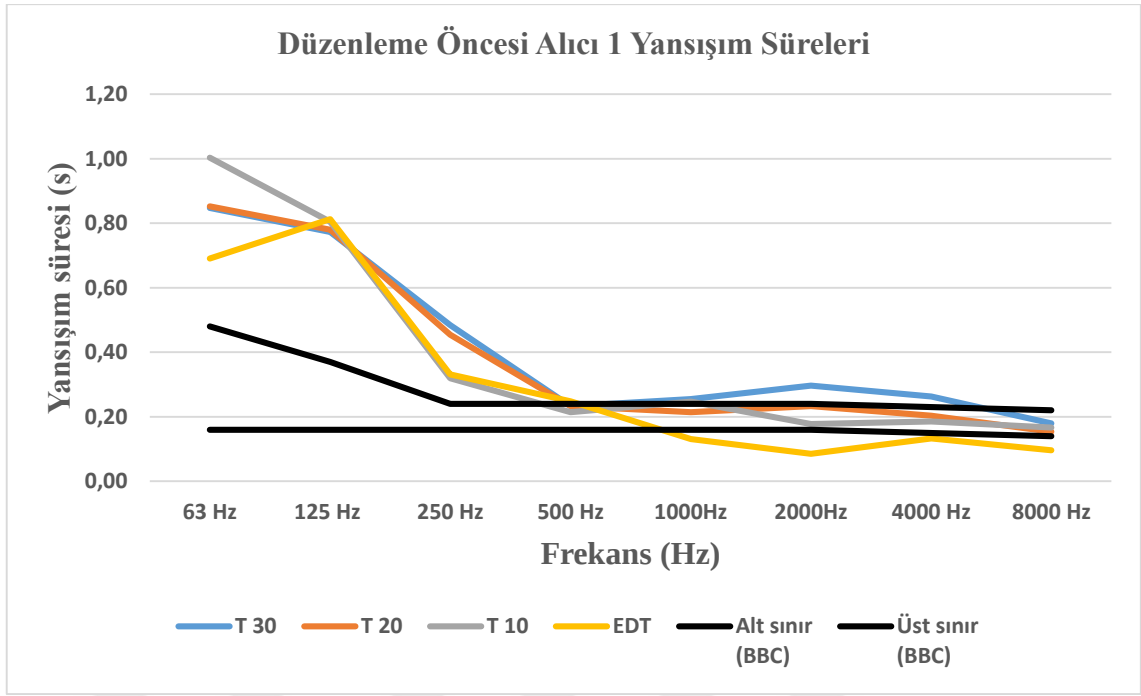
Kayıt odasının hacim akustiği parametrelerinin karşılaştırılması sonucunda sesin ortam içerisindeki dağılımının zaman ve mekan açısından dengeli olup olmadığı değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeler düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası durumlar karşılaştırılarak ne kadarlık bir iyileştirme meydana geldiği saptanmaya çalışılacaktır.

4.2.1 Yansıma Süresi

Kontrol odası için alıcı noktalarına göre ölçülen yansıma süresi değerlerinin analizi bu bölümde yapılacaktır. Her bir alıcı noktası için T 30, T 20, T 10 ve EDT değerlerinin birbirlerinden ne kadar farklılaştığı, bu farklılaşma sonucunda sönüm grafiklerinde beklenen düzensizlikler belirlenecektir. T 30 ve EDT değerlerinin alıcı noktalarına göre değişimi incelenerek sesin mekâna dağılımı gözlemlenecektir.

4.2.1.1 Sönüm Düzensizlikleri (T30, T20, T10, EDT Karşılaştırması)

Kayıt odası için alıcı noktalarına göre ölçülen yansıma süresi değerlerinin analizi bu bölümde yapılmıştır. T 30, T 20, T 10 ve EDT değerlerinin birbirlerinden ne kadar farklılaştığı, bu farklılaşma sonucunda sönüm grafiklerinde beklenen düzensizlikler belirlenmiştir.



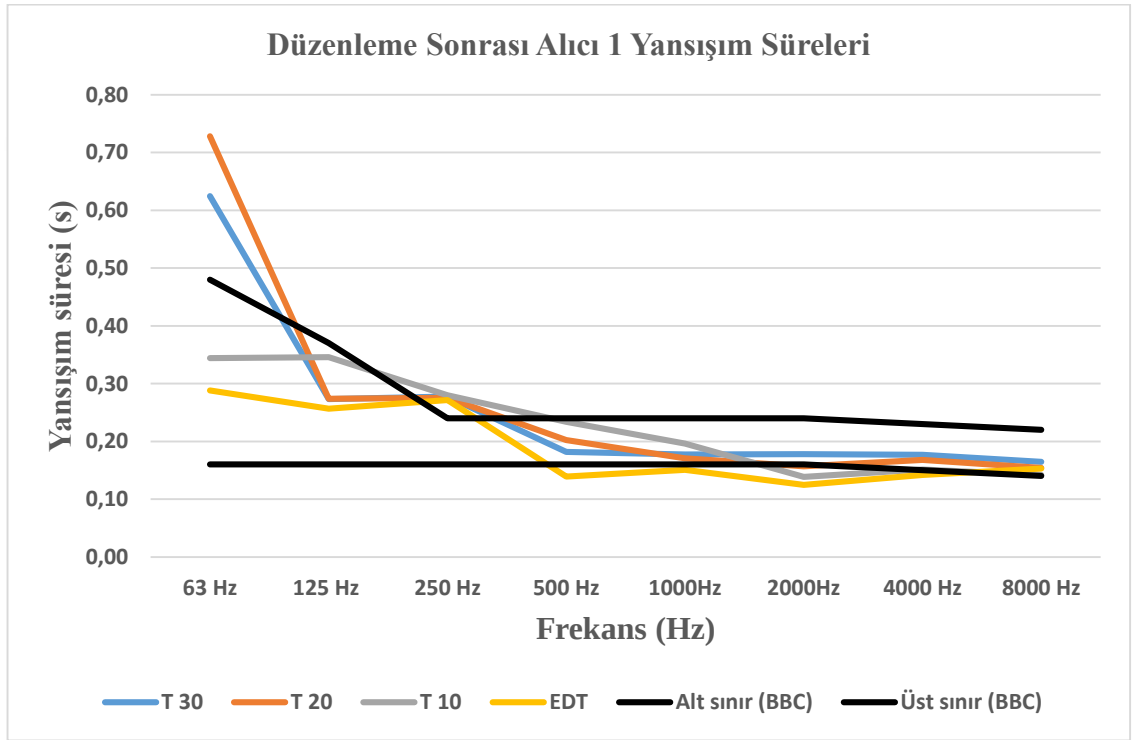
Şekil 4.33 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.33 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,85	0,77	0,48	0,23	0,25	0,30	0,26	0,18
T 20	0,85	0,78	0,45	0,23	0,21	0,23	0,20	0,15
T 10	1,00	0,80	0,32	0,21	0,25	0,18	0,19	0,17
EDT	0,69	0,81	0,33	0,25	0,13	0,09	0,13	0,10
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,13	0,02	0,08	0,01	0,06	0,09	0,05	0,04

Düzenleme öncesinde alıcı 1 noktasında 63 Hz bölgesinde sönüm grafiğinin ilk 10 dB' lik düşüşten sonra eğiminin azalarak uzadığını EDT değerlerinin diğer değerlere oranına bakarak söyleyebilmekteyiz. Standart sapmanın 0,13 olması

diğer frekans bölgelerine göre daha düzensiz bir sönüm olduğunu göstermektedir. 250 Hz bölgesinde ise EDT ve T 10 değerlerinin aynı, T 20 ve T 30 değerlerinin birbirine yakın ve EDT ve T 10 dan fazla olmasından dolayı ilk 15 dB’ den sonra sönüm grafiğinin eğiminin azalarak yansıma süresinin uzayacağı görülmektedir (Şekil 4.33). Bu durumda bu frekans bölgesinde sönüm grafiğinin düzensizlikler barındıracağı söylenebilmektedir. 125 Hz ve 500 Hz ve dışında diğer frekans bölgelerinde EDT değerlerinin diğer yansıma süresi değerlerinden daha düşük kaldığı, ve standart sapma değerlerini yükselttiği belirlenmiştir (Tablo 4.33).



Şekil 4.34 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

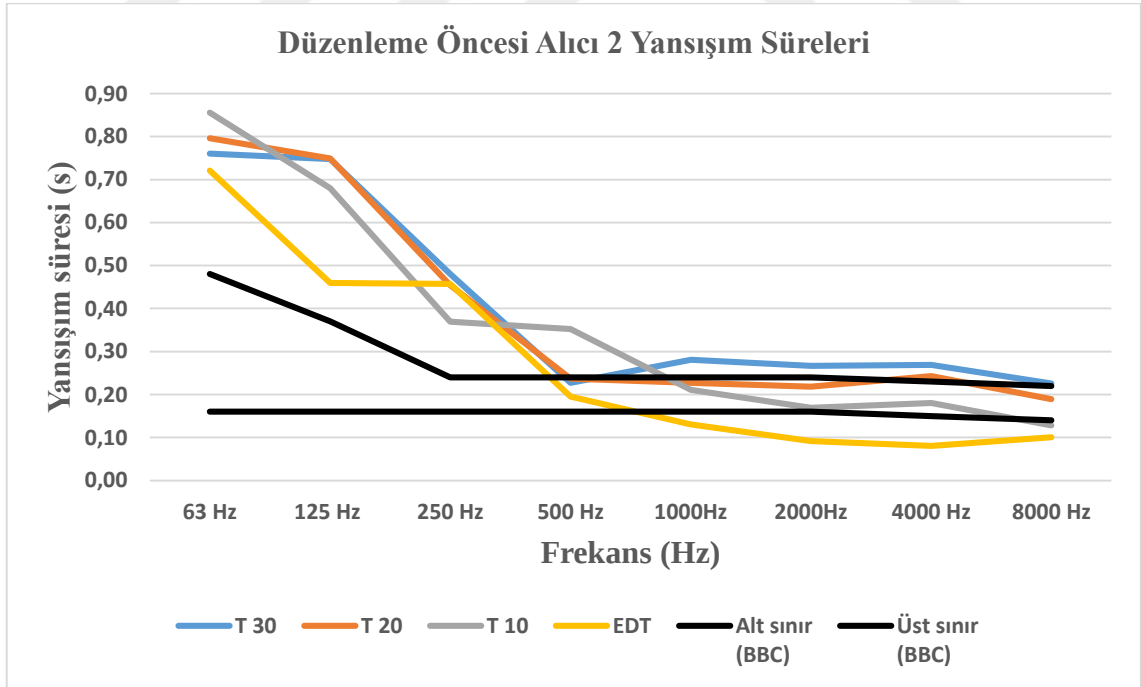
Tablo 4.34 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,62	0,27	0,28	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16
T 20	0,73	0,27	0,28	0,20	0,17	0,16	0,17	0,15
T 10	0,34	0,35	0,28	0,23	0,20	0,14	0,15	0,14

Tablo 4.34 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 1 noktasına göre yansışım süresi değerleri (devamı)

EDT	0,29	0,26	0,27	0,14	0,15	0,12	0,14	0,15
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,21	0,04	0,00	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01

Düzenleme sonrasında Alıcı 1 noktasında 63 Hz bölgesinde EDT ve T 10 değerlerinin daha uyumlu ve düşük olduğunu görmekteyiz (Şekil 4.34). EDT değerinin sınır değerler aralığında kalması olumlu olsa da T 20 ve T 30 ile bu kadar farklılaşması sönüm eğrisinin düzgün olmayacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. EDT ve T 10 ile T 20 ve T 30 arasındaki süre farkının 0,4 s civarında olması iki eğimli sönüm grafiği görebileceğimizi göstermektedir (Tablo 4.34). İlk durumla karşılaştırdığımızda 63 Hz dışında standart sapma değerlerinin iyileştiği ve bunun sonucunda alıcı 1 noktası için düzgün sönüm eğrilerinin görüleceği söylenebilmektedir.

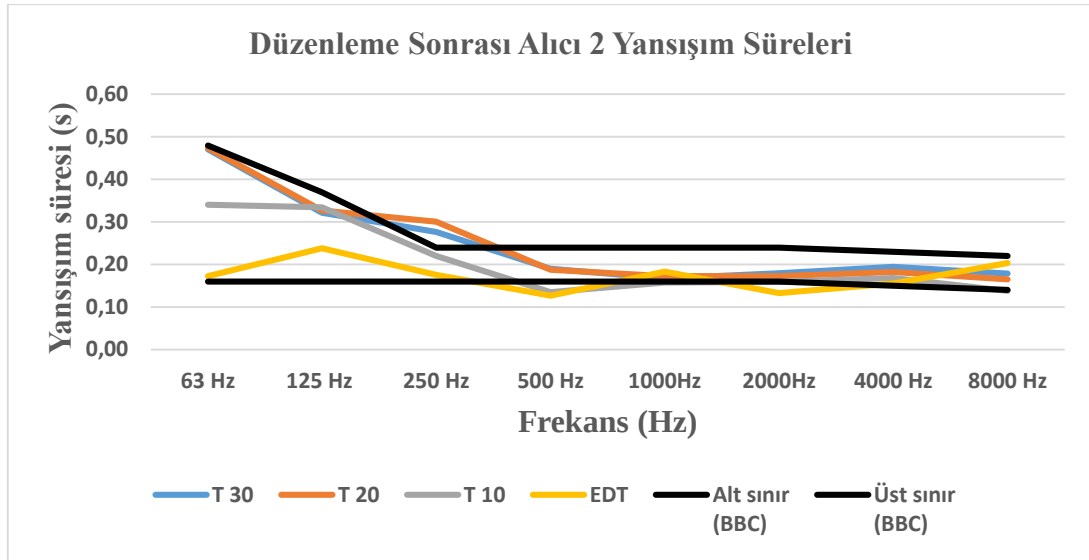


Şekil 4.35 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansışım süresi değerleri

Tablo 4.35 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansısim süresi değerleri

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,76	0,75	0,48	0,23	0,28	0,27	0,27	0,23
T 20	0,80	0,75	0,45	0,24	0,23	0,22	0,24	0,19
T 10	0,86	0,68	0,37	0,35	0,21	0,17	0,18	0,13
EDT	0,72	0,46	0,46	0,20	0,13	0,09	0,08	0,10
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,06	0,14	0,05	0,07	0,06	0,07	0,08	0,06

Düzenleme öncesinde alıcı 1 noktasında 63 Hz bölgesinde sönüm grafiğinin ilk 10 dB' lik düşüşten sonra eğiminin azalarak uzadığını, 15 dB düşüş düzeyinden sonra tekrar daha yavaş bir şekilde kısaldığını EDT değerlerinin diğer değerlere oranına bakarak söyleyebilmekteyiz. 125 Hz bölgesinde ise EDT değerinin diğer yansısim süresi değerlerinden düşük olması standart sapma değerinin 0,14 olması sonucunu doğurmuştur. 250 Hz ve 500 Hz bölgelerinde T 10 değerinin diğer yansısim süresi değerlerinden farklılaştığı Tablo 4.35'de görülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde ise EDT değerinin T 10, T 20 ve T 30 değerlerinden düşük kaldığı, bu nedenle standart sapma değerlerinin de yüksek çıktığı belirlenmiştir (Şekil 4.35).



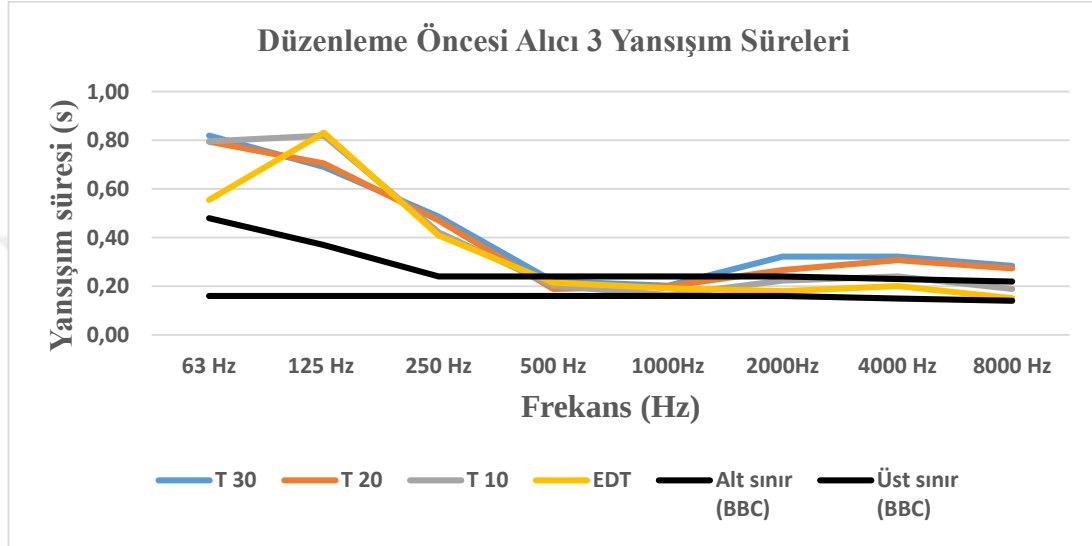
Şekil 4.36 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.36 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 2 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,47	0,32	0,28	0,19	0,17	0,18	0,19	0,18
T 20	0,47	0,33	0,30	0,19	0,17	0,17	0,18	0,17
T 10	0,34	0,33	0,22	0,13	0,16	0,16	0,17	0,14
EDT	0,17	0,24	0,18	0,13	0,18	0,13	0,16	0,20
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,14	0,05	0,06	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03

Düzenleme sonrasında Alıcı 2 noktası 63 Hz bölgesinde EDT değerinin çok düşük olması ve T 10 değerinin de T 20 ve T 30' dan 0,13 saniye daha düşük kalması sonucu standart sapma değerinin 0,14 olması sonucunu doğurmuştur (Tablo 4.36). Bu frekans bölgesinde sönüm hızlı bir şekilde başlayıp düşüş grafiği boyunca sert yavaşlamalar göstermesi beklenebilmektedir. 125 Hz bölgesinde EDT değerinin (Şekil 4.36) diğer yansıma süresi değerlerine göre düşük kaldığı ancak

T 10, T 20 ve T 30 değerlerinin aynı olmasından dolayı sönüm eğrisinin başlangıcında dalgalanma olacağı öngörülmüştür. 250 Hz bölgesinde ise standart sapmanın 0,06 olmasının yanında yansıma süresi değerlerinin farklılaşması sönümde düzensizlikler olacağını göstermektedir. Diğer frekans bölgelerinde ilk duruma göre iyileşmelerin olduğu, standart sapma değerlerinin düştüğü görülmüştür.

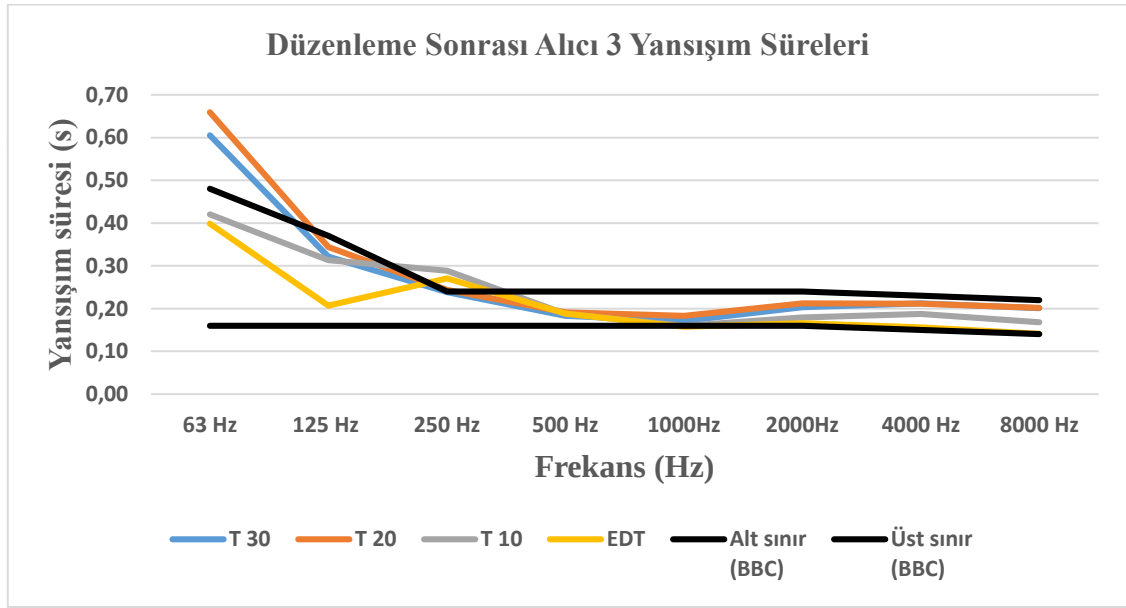


Şekil 4.37 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.37 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,82	0,69	0,49	0,22	0,20	0,32	0,32	0,28
T 20	0,79	0,71	0,47	0,19	0,20	0,27	0,31	0,27
T 10	0,80	0,82	0,42	0,20	0,16	0,22	0,24	0,19
EDT	0,55	0,83	0,41	0,22	0,19	0,18	0,20	0,15
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,12	0,07	0,04	0,01	0,02	0,06	0,06	0,06

Şekil 4.37 ve Tablo 4.37’den düzenleme öncesinde alıcı 3 noktası 63 Hz bölgesinde EDT değerinin diğer yansıma süresi değerlerinden daha düşük olduğu görülmekte, T 10, T 20 ve T 30 değerlerinin birbirine yakın olmasıyla beraber sönüm eğrisinin ilk 10 dB’ lik kısmında hızlı düşüş, daha sonrasında eğimin değişerek yavaşlaması beklenmektedir. EDT değerinin düşük değerinden dolayı standart sapma 0,12 değerini almaktadır. 500 ve 1000 Hz dışındaki frekans bölgelerinde de sönüm eğrisinin düzensizlikler barındıracağı, standart sapma değerlerine bakarak söylenebilmektedir.



Şekil 4.38 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Tablo 4.38 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
T 30	0,61	0,32	0,24	0,18	0,17	0,20	0,21	0,20
T 20	0,66	0,34	0,24	0,19	0,18	0,21	0,21	0,20
T 10	0,42	0,31	0,29	0,19	0,16	0,18	0,19	0,17
EDT	0,40	0,21	0,27	0,19	0,16	0,17	0,16	0,14
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14

Tablo 4.38 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı 3 noktasına göre yansıma süresi değerleri (devamı)

Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,13	0,06	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03

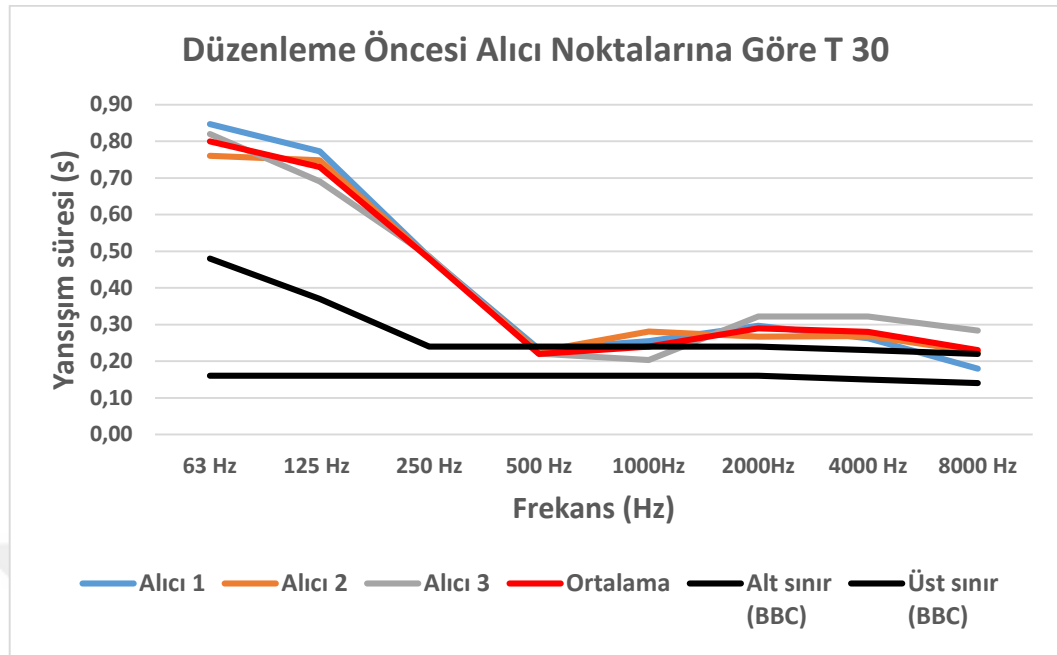
Düzenleme sonrasında alıcı 3 noktası 63 Hz bölgesinde EDT ve T 10 değerlerinin T 20 ve T 30' a göre 0,2 saniye daha düşük olmaları iki eğimli bir sönüm eğrisine işaret etmektedir. Bu frekans bölgesinde sönüm hızlı bir şekilde başlayıp ilk 15 dB' den sonra yavaşlama göstermesi beklenmektedir. 125 Hz bölgesinde EDT değerinin (Şekil 4.38) diğer yansıma süresi değerlerine göre düşük kaldığı ancak T 10, T 20 ve T 30 değerlerinin birbirine yakın olmasından dolayı sönüm eğrisinin başlangıcında dalgalanma olacağı öngörülmüştür. Diğer frekans bölgelerinde ise ilk duruma göre belirgin bir düzelme olduğu standart sapma değerlerine bakılarak söylenebilmektedir (Tablo 4.38).

Bütün alıcı noktalarındaki ilk durum ile düzenleme sonrası durum değerlendirildiğinde yapılan düzenlemenin 125 Hz ve üstü frekanslarda yansıma sürelerinin dağılımını düzelttiğini, sönüm eğrilerinde ki düzensizliklerde iyileştirmeler sağladığını söyleyebiliriz. Standart sapma değerlerinde ki azalmalar bu iyileştirmenin göstergesi olarak kabul edilmektedir.

4.2.1.2 Alıcı Noktalarına Göre T 30 ve EDT Karşılaştırmaları

Yansıma süresi parametrelerinden T 30 ve EDT parametrelerinin alıcı noktalarına göre farklılaşma oranlarına bakarak sesin ortam içerisine dağılımı analiz edilmiştir.

Alıcı Noktalarına Göre T 30 Karşılaştırması

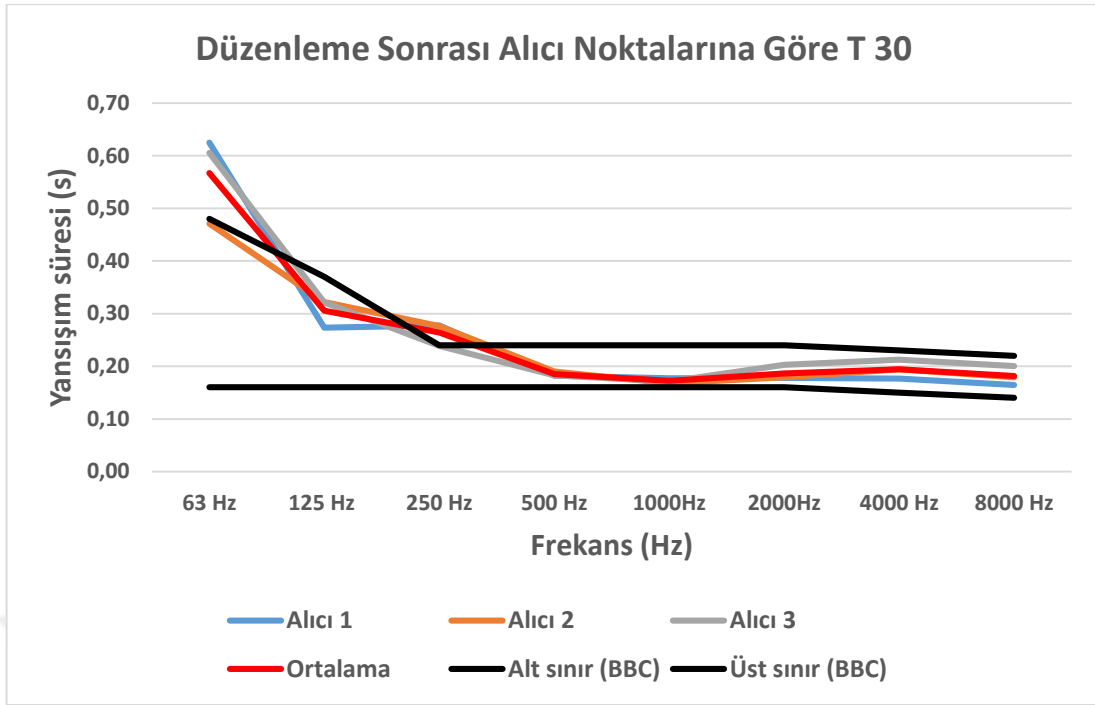


Şekil 4.39 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

Tablo 4.39 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

T30	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,85	0,77	0,48	0,23	0,25	0,30	0,26	0,18
Alıcı 2	0,76	0,75	0,48	0,23	0,28	0,27	0,27	0,23
Alıcı 3	0,82	0,69	0,49	0,22	0,20	0,32	0,32	0,28
Ortalama	0,80	0,73	0,48	0,22	0,24	0,29	0,28	0,23
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,04	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,03	0,04

Düzenleme öncesinde T 30 değerlerine (Tablo 4.39) bakarak 250 Hz ve 500 Hz ses dağılımlarının çok düzgün olduğu, diğer frekans bölgelerinde ise çok ufak farklılıklar olabileceği söylenebilmektedir. Şekil 4.39’da görüldüğü gibi yansıma süresi değerlere birbirine benzemektedir.

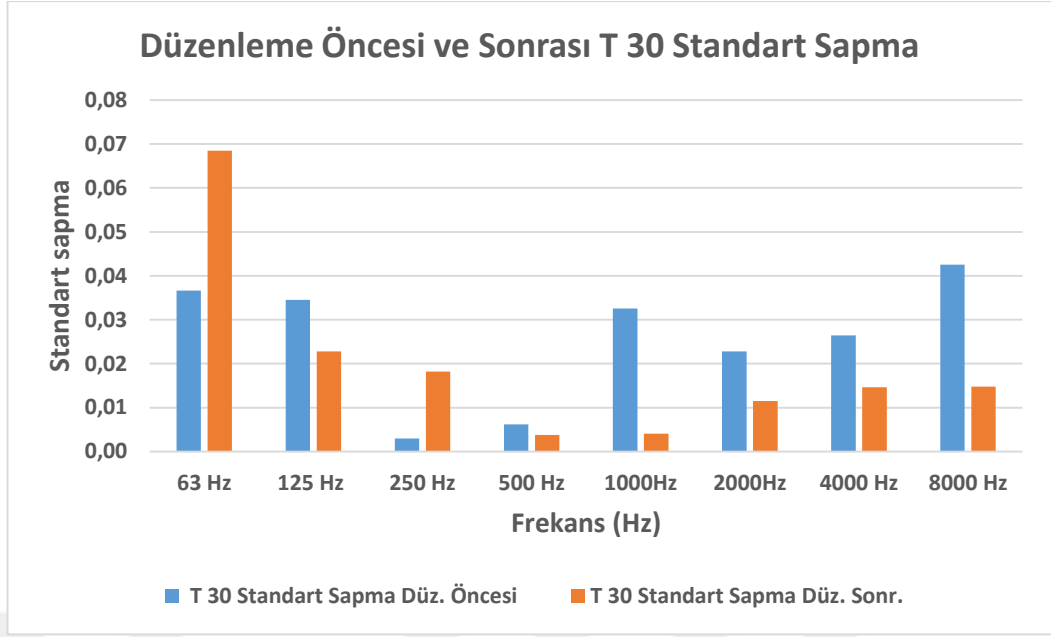


Şekil 4.40 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

Tablo 4.40 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması

T30	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,62	0,27	0,28	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16
Alıcı 2	0,47	0,32	0,28	0,19	0,17	0,18	0,19	0,18
Alıcı 3	0,61	0,32	0,24	0,18	0,17	0,20	0,21	0,20
Ortalama	0,57	0,31	0,26	0,18	0,17	0,19	0,19	0,18
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,07	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01

Şekil 4.40 ve Tablo 4.40’da görüldüğü gibi düzenleme sonrasında T 30 değerlerinin dağılımının 125 Hz ve üzerinde iyileştiği, 63 Hz bölgesinde ise düzensizliğin alıcı noktası 2 de arttığı görülmektedir. Şekil 4.41 ve Tablo 4.41’de görüldüğü gibi 63 Hz ve 250 Hz dışında standart sapma değerleri düşmüştür.

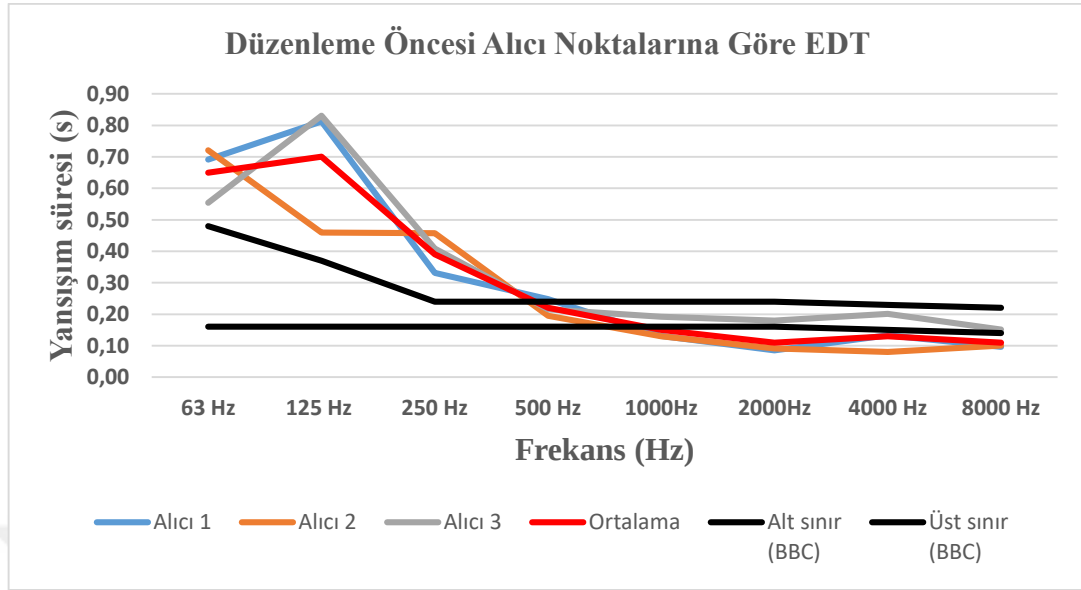


Şekil 4.41 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma

Tablo 4.41 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası T 30 standart sapma

Standart Sapma T 30	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
T 30 Standart Sapma Düz. Öncesi	0,04	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,03	0,04
T 30 Standart Sapma Düz. Sonrası	0,07	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01

Alıcı Noktalarına Göre EDT Karşılaştırması



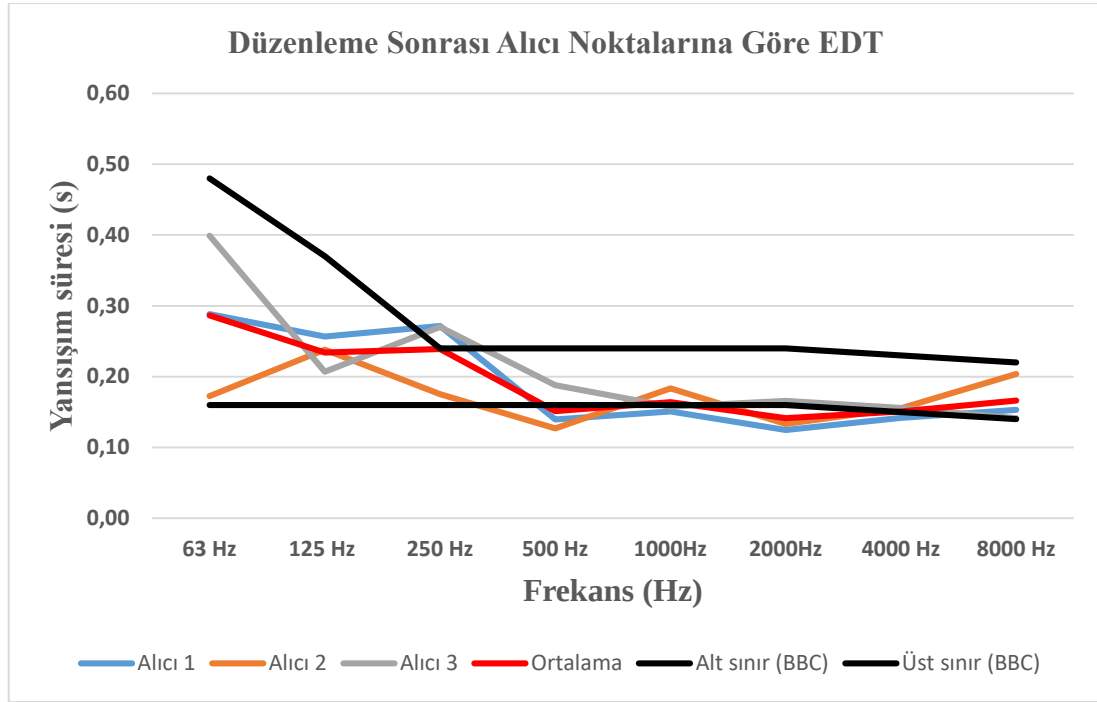
Şekil 4.42 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

Tablo 4.42 Düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

EDT	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,69	0,81	0,33	0,25	0,13	0,09	0,13	0,10
Alıcı 2	0,72	0,46	0,46	0,20	0,13	0,09	0,08	0,10
Alıcı 3	0,55	0,83	0,41	0,22	0,19	0,18	0,20	0,15
Ortalama	0,65	0,70	0,39	0,22	0,15	0,11	0,13	0,11
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,07	0,17	0,05	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03

Şekil 4.42 ve Tablo 4.42’de görülen düzenleme öncesi kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT verilerini karşılaştırdığımızda en büyük düzensizliğin 125 Hz bölgesinde olduğu görülmektedir. Alıcı noktası 2’ nin neredeyse yarı yarıya düşük değer göstermesi standart sapma değerinin yükselmesini sağlamıştır. Diğer frekans

bölgelerinde ki standart sapma değerleri de sesin mekan içerisine düzgün dağılmadığı sonucunu desteklemektedir.



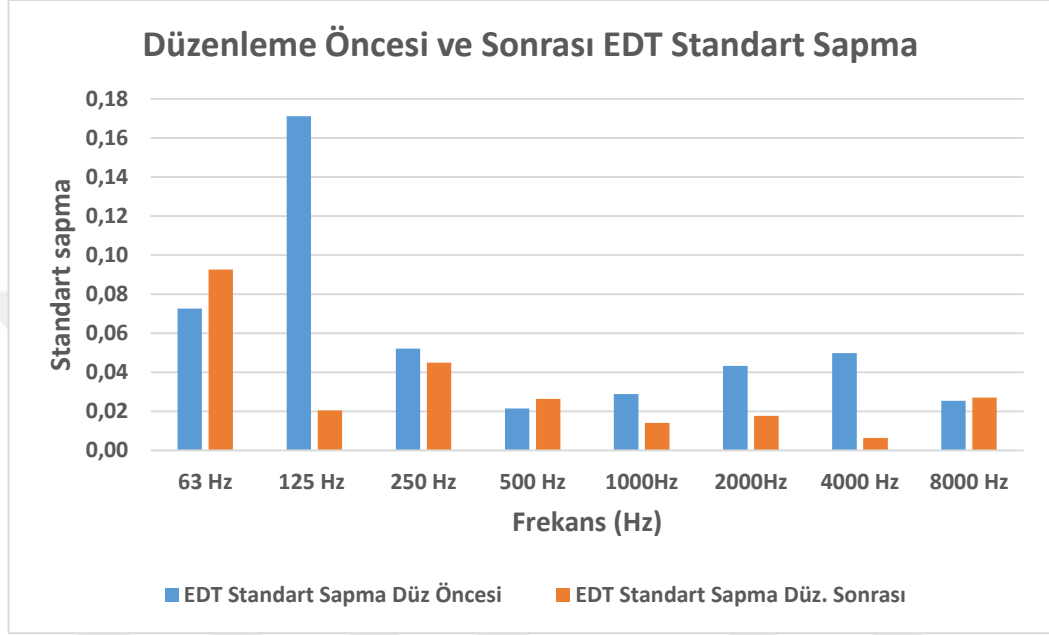
Şekil 4.43 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

Tablo 4.43 Düzenleme sonrası kayıt odası alıcı noktalarına göre EDT karşılaştırması

EDT	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	0,29	0,26	0,27	0,14	0,15	0,12	0,14	0,15
Alıcı 2	0,17	0,24	0,18	0,13	0,18	0,13	0,16	0,20
Alıcı 3	0,40	0,21	0,27	0,19	0,16	0,17	0,16	0,14
Ortalama	0,29	0,23	0,24	0,15	0,16	0,14	0,15	0,17
Alt sınır (BBC)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14
Üst sınır (BBC)	0,48	0,37	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22
Standart Sapma	0,09	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03

Şekil 4.43 ve Tablo 4.43’de görüldüğü gibi düzenleme sonrasında EDT verilerinin alıcı noktalarına göre dağılımının 125 Hz bölgesinde düzenleme öncesine göre çok

iyi duruma geldiği görülmektedir. 63 Hz bölgesinde mekânsal dağılımda düzelme olmadığı standart sapma değerinin 0,02 puan artmasından dolayı söylenebilmektedir. Diğer frekans bölgelerindeki dağılımın ise ilk duruma göre daha düzgün olduğu Şekil 4.44 ve Tablo 4.44’de görüldüğü gibi standart sapma değerlerinin azalmasından dolayı belirlenebilmektedir.



Şekil 4.44 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası EDT standart sapma

Tablo 4.44 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası EDT standart sapma

EDT Standart Sapma	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
EDT Standart Sapma Düz Öncesi	0,07	0,17	0,05	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03
EDT Standart Sapma Düz. Sonrası	0,09	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03

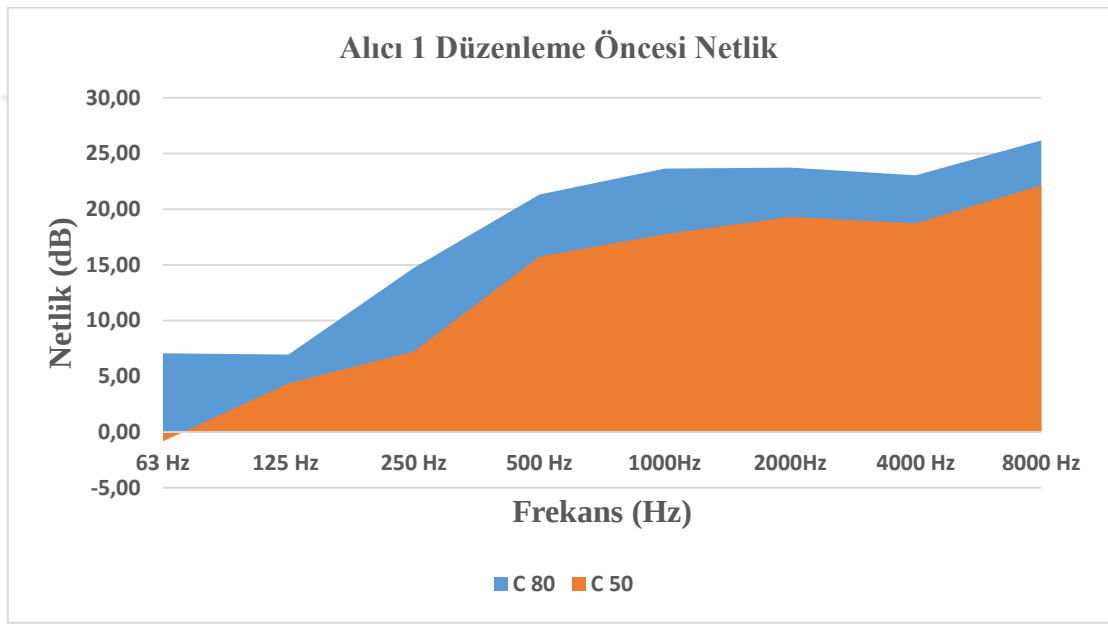
4.2.2 Netlik Parametresi

Alıcı noktalarında ki netlik parametreleri, enerjinin zamana göre dağılımı konusunda bilgi vermektedir. Odanın belli bir noktasından geçen ses dalgalarının enerjilerinin zaman içerisinde nasıl dağıldıklarını analiz edebilmemiz için C 80 ve C 50 parametrelerinin birbirlerine göre durumları incelenecektir. Aynı zamanda

düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası netlik parametrelerinde meydana gelen değişimler gözlemlenecektir.

4.2.2.1 C 80 ile C 50 Karşılaştırması

Sesin ortam içerisinde zamana yayılım enerjilerini analiz etmek için C 80 ve C 50 parametrelerinin birbirlerine karşı durumları ve C 80 ve C 50 grafiklerinin benzerlikleri ve farklılıkları ortaya konularak analiz edilecektir. İlk 50 ms ve sonraki enerjinin, ilk 80 ms ve sonrasındaki enerjiye göre durumlarına bakarak sesin zaman göre yayılım şeklinin düzgünlüğü değerlendirilecektir.

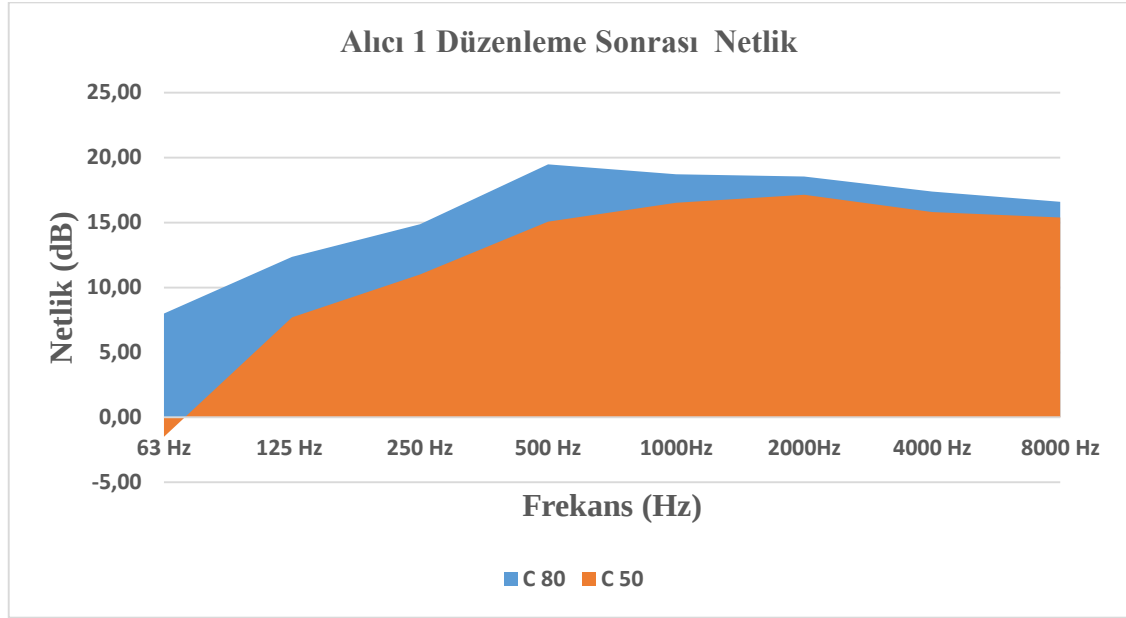


Şekil 4.45 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.45 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	7,05	6,96	14,74	21,32	23,63	23,73	23,04	26,18
C 50	-0,84	4,37	7,23	15,74	17,74	19,30	18,74	22,16
C 80- C 50	7,90	2,59	7,51	5,58	5,89	4,43	4,30	4,02

Şekil 4.45 ve Tablo 4.45’de görüldüğü gibi düzenleme öncesi alıcı noktası 1’e göre enerjinin zaman içindeki dağılımının 63 Hz ‘ den 8000 Hz ‘ e doğru artış gösterdiği, 125 Hz bölgesinde 50 ms ile 80 ms arası enerji geçişinin zayıf olduğunu, 500 Hz ve üstünde benzer olduğunu görmekteyiz.

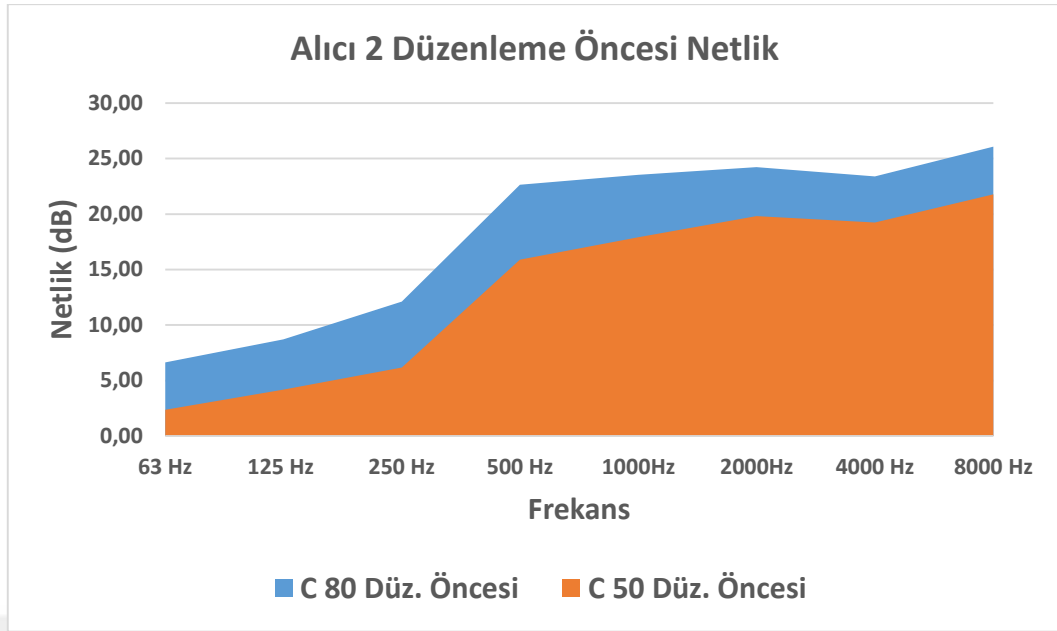


Şekil 4.46 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.46 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	7,99	12,36	14,86	19,48	18,71	18,54	17,38	16,60
C 50	-1,50	7,69	11,00	15,07	16,52	17,14	15,80	15,38
C 80- C 50	9,49	4,67	3,85	4,42	2,19	1,40	1,58	1,21

Şekil 4.46 ve tablo 4.46’da görüldüğü gibi düzenleme sonrasında alıcı 1 noktasına göre 63 Hz’ de C 50 değeri ilk durumda olduğu gibi eksi değer almaktadır. C 80 değeri ise ilk duruma göre artış göstermiştir. 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji oranı artmıştır. 125 Hz’ de 50 ms ile 80 ms arası enerji oranı artmıştır. Diğer frekans bölgelerinde ise azalma söz konusudur. Enerji akışının 50 ms den sonra üst frekanslara doğru gittikçe azaldığı görülmektedir.

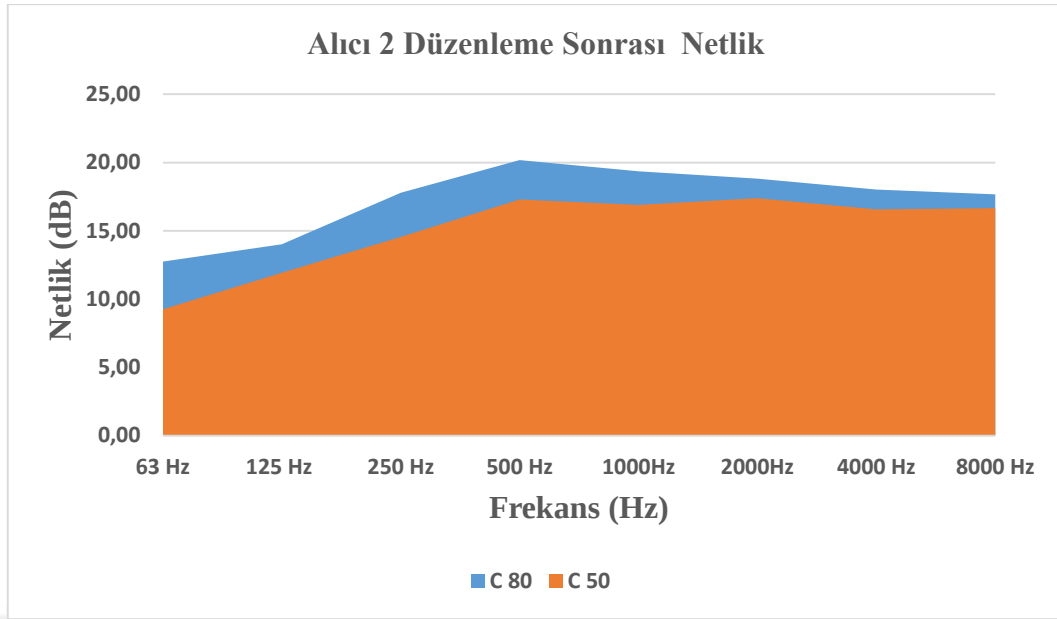


Şekil 4.47 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.47 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80 Düz. Öncesi	6,64	8,72	12,12	22,63	23,53	24,22	23,39	26,07
C 50 Düz. Öncesi	2,38	4,19	6,16	15,88	17,93	19,81	19,24	21,77
C 80-C 50	4,26	4,53	5,96	6,75	5,61	4,42	4,15	4,30

Şekil 4.47 ve tablo 4.47’de görüldüğü gibi düzenleme öncesi alıcı 2 noktasında 50 ms ile 80 ms arası enerji dolaşımının frekanslara göre uyumlu olduğu görülmektedir.

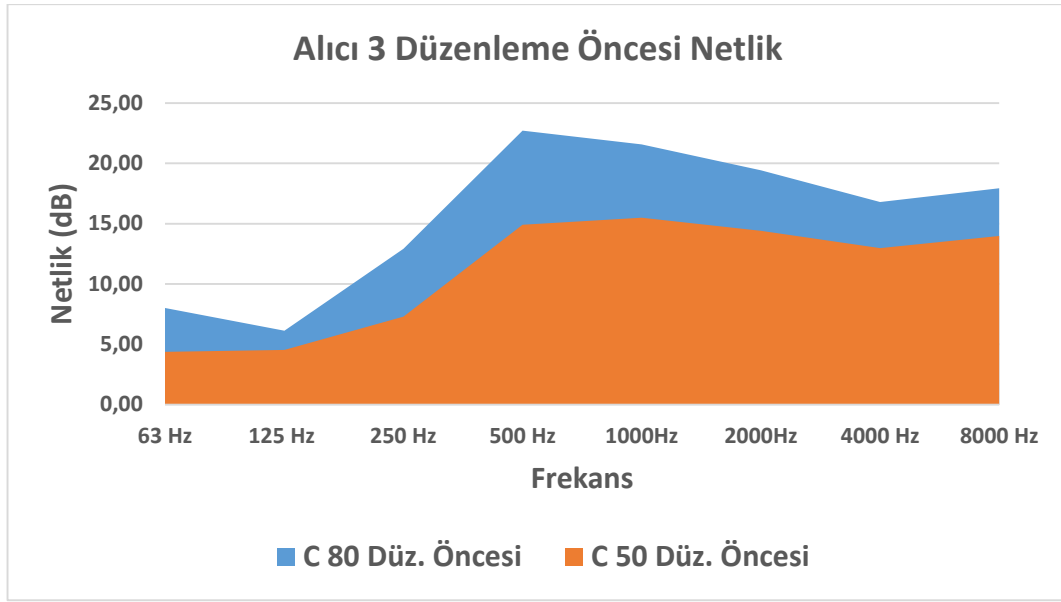


Şekil 4.48 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.48 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	12,75	14,01	17,79	20,18	19,35	18,83	18,02	17,67
C 50	9,25	11,92	14,55	17,29	16,89	17,38	16,57	16,67
C 80- C 50	3,50	2,09	3,24	2,89	2,46	1,44	1,45	1,00

Düzenleme sonrasında alıcı noktası 2' ye göre C 50 ve C 80 verilerinin 500 Hz' e kadar arttığını, 50 ms ile 80 ms arasındaki enerji oranının ise azaldığı görülmektedir. 1000 Hz ve üstünde ise C 50 ve C 80 verilerinin azaldığını ve 50 ms ile 80 ms arası enerji geçişlerinin de azaldığı görülmektedir. Üst frekanslara doğru gittikçe C 50 ile C 80 arası farkın azaldığı Tablo 4.48 ve Şekil 4.48'den anlaşılmaktadır.

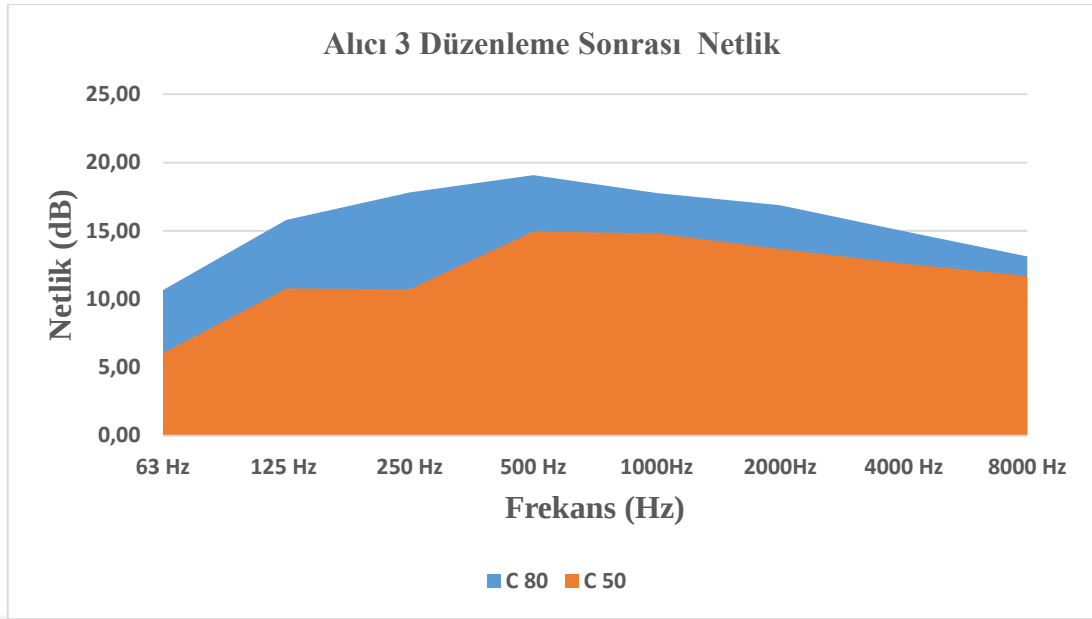


Şekil 4.49 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.49 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
C 80 Düz. Öncesi	8,01	6,12	12,93	22,72	21,56	19,43	16,79	17,93
C 50 Düz. Öncesi	4,36	4,54	7,28	14,91	15,49	14,40	12,98	13,99
C 80- C 50	3,64	1,58	5,65	7,81	6,07	5,03	3,81	3,93

Düzenleme öncesi alıcı noktası 3' e göre 50 ms ile 80 ms arası enerji geçişlerinin 125 Hz bölgesinde sıkıştığı 500 Hz bölgesinde ise en geniş halini aldığı Tablo 4.49 ve Şekil 4.49'da görülmektedir. Enerji akışının frekanslara göre değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.50 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

Tablo 4.50 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre netlik karşılaştırması

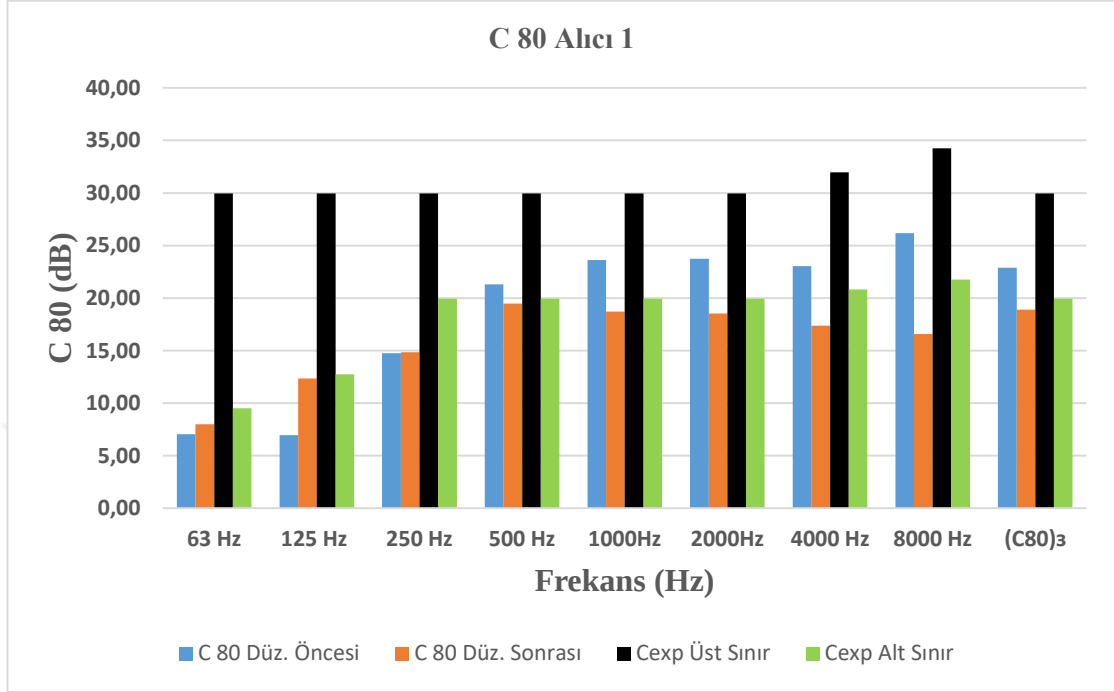
Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
C 80	10,65	15,79	17,80	19,09	17,77	16,87	14,98	13,12
C 50	6,04	10,77	10,74	14,94	14,81	13,67	12,61	11,68
C 80- C 50	4,61	5,02	7,07	4,15	2,96	3,20	2,37	1,43

Düzenleme sonrası alıcı noktası 3' e göre 50 ms ile 80 ms arası enerji akışının ilk duruma göre daha iyi olduğu, ancak üst frekanslara doğru gittikçe daralmaların olduğu Şekil 4.50 ve Tablo 4.50'den görülmektedir. 125 Hz bölgesinde enerji akışının en fazla olduğu, 8000 Hz bölgesinde ise en az olduğu anlaşılmaktadır.

4.2.2.2 Alıcı Noktalarına Göre C 80 ve C 50

Düzenleme öncesi ve sonrası netlik parametrelerinin karşılaştırılması sonucu sesin netlik değerlerinin ne oranda değiştiği belirlenecektir. Her ne kadar C 80 verileri müzik için daha önemli olsa da C 50 değerlerinin de analizi yapılarak ilk 50 ms' de ki enerjinin zamana yayılış biçimi değerlendirilecektir.

Düzenleme öncesi ve sonrası netlik parametrelerinin karşılaştırılması sonucu sesin netlik değerlerinin ne oranda değiştiği, sınır değerlere göre durumları analiz edilecektir.



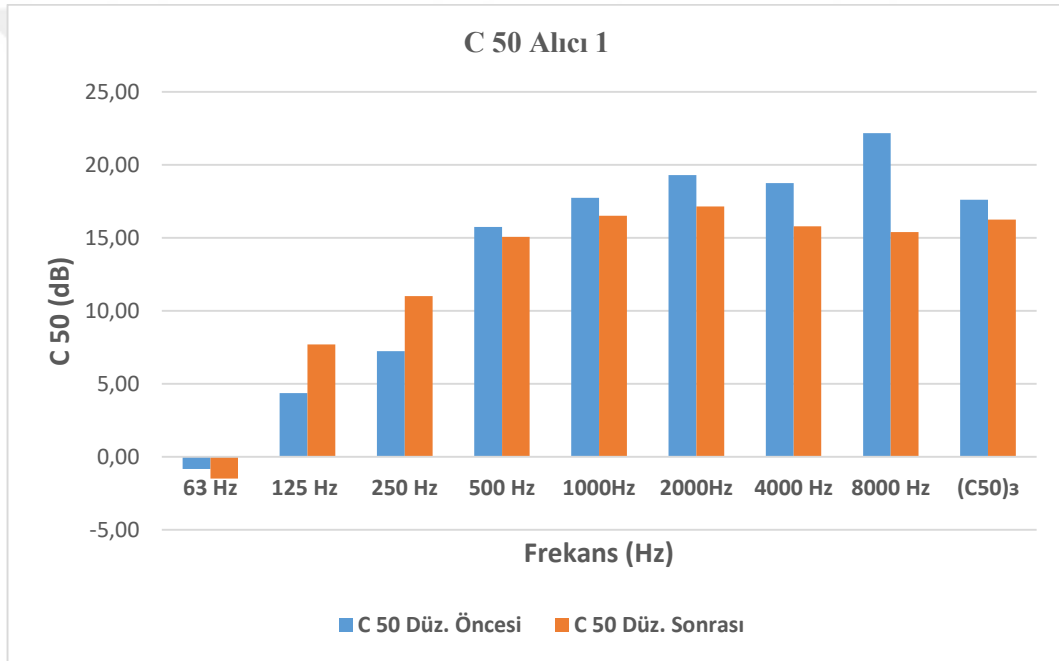
Şekil 4.51 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.51 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz	(C80) 3
C 80 Düz. Öncesi	7,05	6,96	14,74	21,32	23,63	23,73	23,04	26,18	22,89
C 80 Düz. Sonrası	7,99	12,36	14,86	19,48	18,71	18,54	17,38	16,60	18,91
Cexp Üst Sınır	29,96	29,96	29,96	29,96	29,96	29,96	31,96	34,25	29,96
Cexp Alt Sınır	9,53	12,73	19,93	19,93	19,93	19,93	20,81	21,76	19,93
C80 DS-C80 DÖ	0,94	5,40	0,11	-1,83	-4,92	-5,19	-5,67	-9,58	-3,98

Şekil 4.51 ve Tablo 4.51’de görülen alıcı 1 noktası için düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası C 80 değerlerinde 63 Hz ve 250 Hz bölgelerinde ufak bir artış, 125 Hz bölgesinde ise 5,4 dB’ lik bir artış görülmektedir. 500 Hz’ den itibaren frekans arttıkça C 80 değerinin giderek azaldığı belirlenmiştir. Düzenleme sonrasında $C80_3$ parametresinin 3,98 dB azalış gösterdiği belirlenmiştir.

Cexp sınır değerlere göre C 80 değerlerine baktığımızda, düzenleme öncesinde 500 Hz ve üstünde sınır değerler içinde kalındığını, 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde sınır değerın altında bulunulduğu görülmektedir. Düzenleme sonrasında ise 1000 Hz ve üstü frekanslarda alt sınır değerın altına inildiği görülmüştür. 125 Hz’ de ise sınır değere yaklaşmıştır.

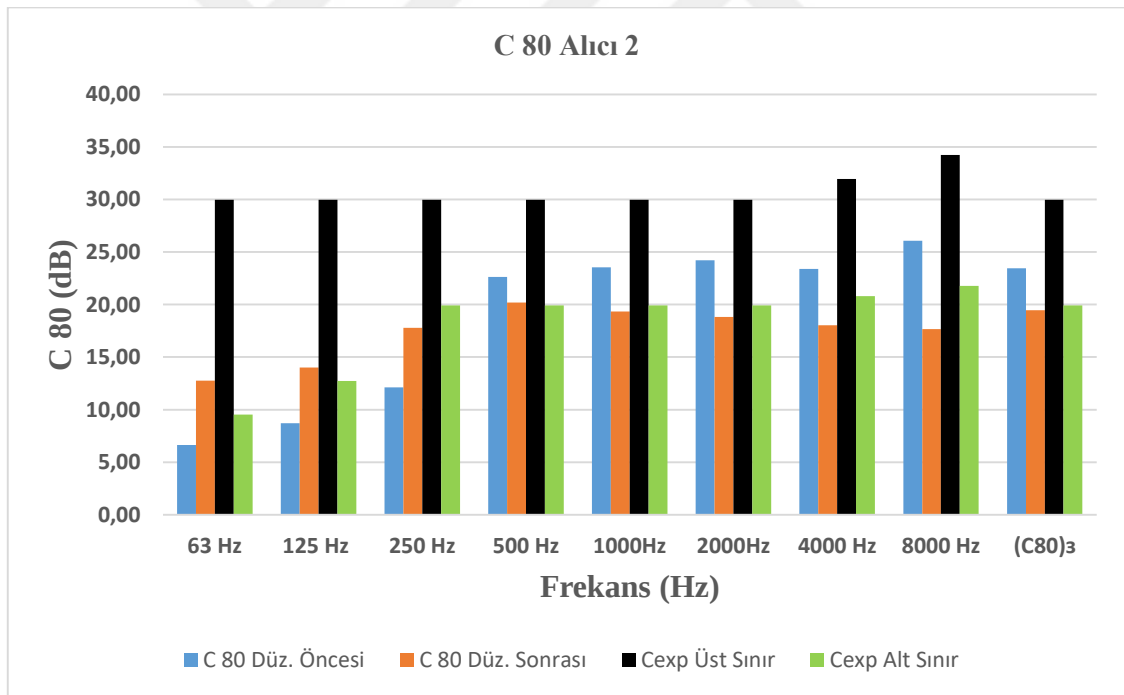


Şekil 4.52 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Tablo 4.52 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 1 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz	(C50) ₃
C 50 Düz. Öncesi	-0,84	4,37	7,23	15,7 4	17,74	19,30	18,7 4	22,1 6	17,6
C 50 Düz. Sonrası	-1,50	7,69	11,0 0	15,0 7	16,52	17,14	15,8 0	15,3 8	16,24
C50 DS-C50 DÖ	-0,66	3,32	3,77	-0,68	-1,22	-2,16	-2,94	-6,78	-1,36

Şekil 4.52 ve Tablo 4.52’de görülen alıcı 1 noktası için düzenleme öncesi ve sonrası C 50 verilerinin 63 Hz’ de azaldığını, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde artış gösterdiğini, 500 Hz ve üstünde ise frekans arttıkça giderek daha fazla azaldığı belirlenmiştir. $C50_3$ parametresinin 1,36 dB azalış gösterdiği belirlenmiştir.



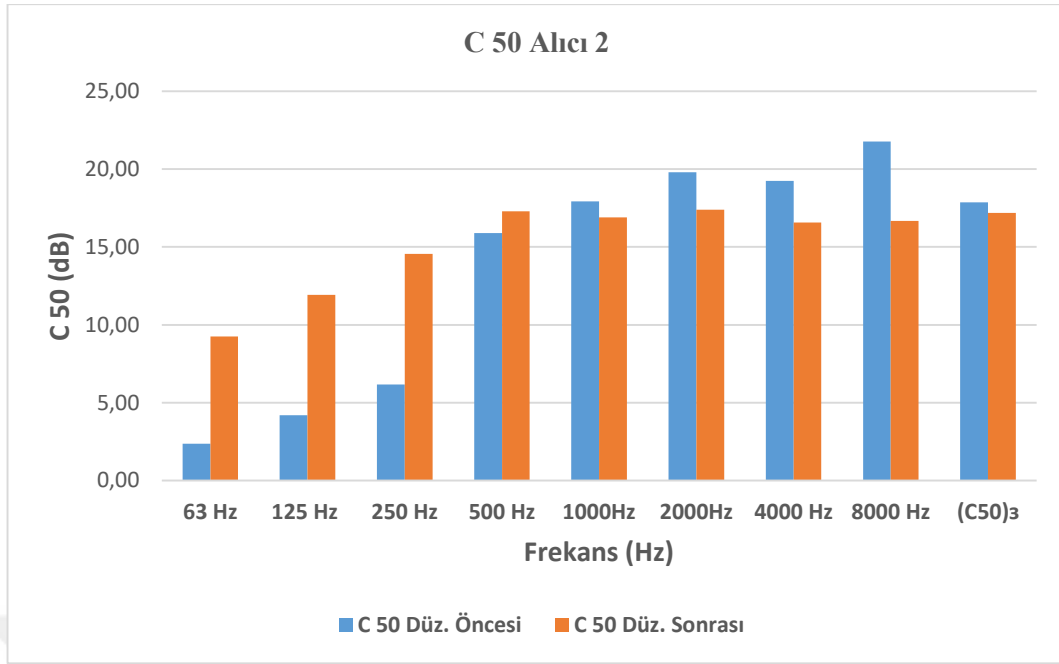
Şekil 4.53 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.53 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz	(C80) 3
C 80 Düz. Öncesi	6,64	8,72	12,1 2	22,6 3	23,53	24,22	23,3 9	26,0 7	23,46
C 80 Düz. Sonrası	12,7 5	14,0 1	17,7 9	20,1 8	19,35	18,83	18,0 2	17,6 7	19,45
Cexp Üst Sınır	29,9 6	29,9 6	29,9 6	29,9 6	29,96	29,96	31,9 6	34,2 5	29,96
Cexp Alt Sınır	9,53	12,7 3	19,9 3	19,9 3	19,93	19,93	20,8 1	21,7 6	19,93
C80 DS-C80 DÖ	6,12	5,30	5,67	-2,45	-4,18	-5,39	-5,37	-8,41	-4,01

Şekil 4.53 ve Tablo 4.53’de görüldüğü gibi düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 değerlerinin 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde artış gösterdiği, 500 Hz ve üstünde azaldığı anlaşılmıştır. Artışların uyumlu olduğu, azalışların ise üst frekanslara doğru arttığı görülmektedir. Düzenleme sonrasında C80₃ parametresinin 4,01 dB azalış gösterdiği belirlenmiştir.

Cexp sınır değerlere göre C 80 değerlerine baktığımızda, düzenleme öncesinde 500 Hz ve üstünde sınır değerler içinde kaldığını, 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde sınır değerın altında bulunulduğu görülmektedir. Düzenleme sonrasında ise genel olarak bütün frekans bölgelerinde sınır değerlere yakın olunduğu söylenebilmektedir.

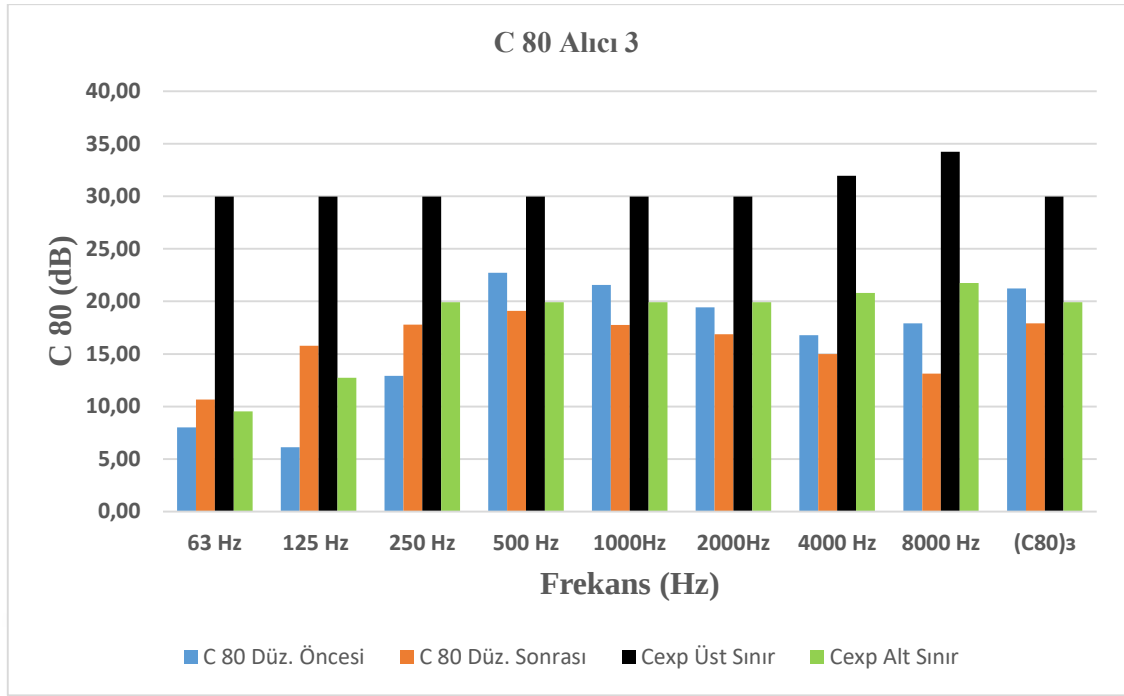


Şekil 4.54 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Tablo 4.54 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	(C50) ₃
C 50 Düz. Öncesi	2,38	4,19	6,16	15,88	17,93	19,81	19,24	21,77	17,87
C 50 Düz. Sonrası	9,25	11,92	14,55	17,29	16,89	17,38	16,57	16,67	17,19
C50 DS-C50 DÖ	6,87	7,73	8,39	1,41	-1,03	-2,42	-2,67	-5,10	-0,68

Düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 2 noktasına göre C 50 değerlerinin 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz frekans bölgelerinde yaklaşık 7,5 dB 'lik artış gösterdiği, 500 Hz bölgesinde 1,41 dB arttığı, diğer frekans bölgelerinde üst frekanslara doğru azalışın arttığı Şekil 4.54 ve Tablo 4.54'de görülmektedir. C50₃ parametresinin 0,78 dB azalış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.55 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması

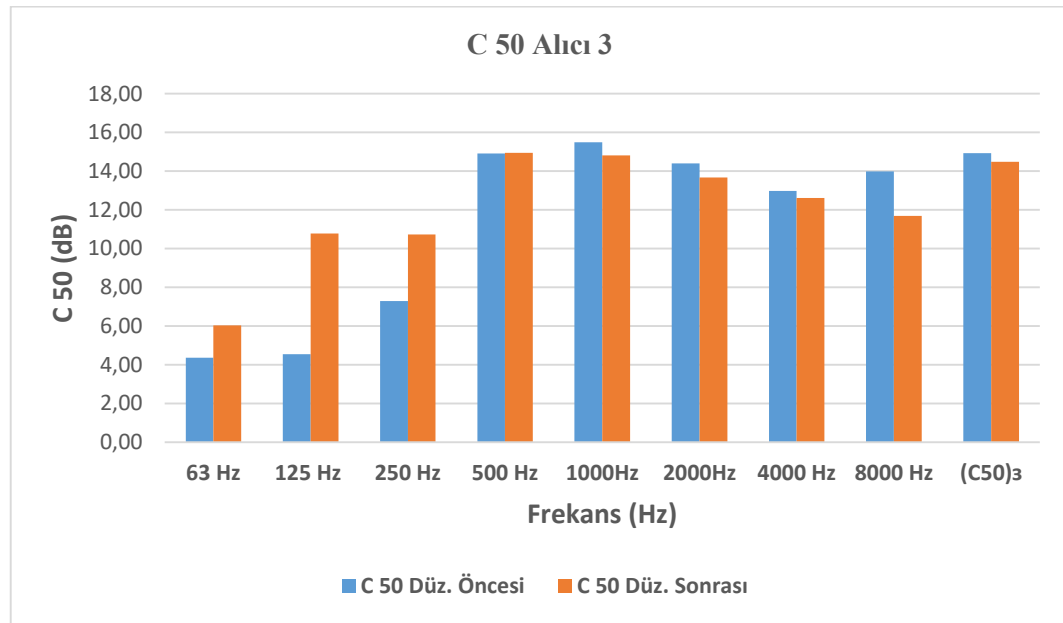
Tablo 4.55 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 karşılaştırması

Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz	(C80) 3
C 80 Düz. Öncesi	8,01	6,12	12,93	22,72	21,56	19,43	16,79	17,93	21,24
C 80 Düz. Sonrası	10,65	15,79	17,80	19,09	17,77	16,87	14,98	13,12	17,91
Cexp Üst Sınır	29,96	29,96	29,96	29,96	29,96	29,96	31,96	34,25	29,96
Cexp Alt Sınır	9,53	12,73	19,93	19,93	19,93	19,93	20,81	21,76	19,93
C80 DS-C80 DÖ	2,64	9,67	4,87	-3,63	-3,79	-2,56	-1,81	-4,81	-3,33

Alıcı 3 noktasına göre düzenleme öncesi ve sonrası C 80 verilerinin 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde arttığı, 500 Hz ve üstünde azaldığı Şekil 4.55 ve Tablo 4.55’de görülmektedir. Azalış ve artış miktarlarının frekanslara göre düzensiz olduğu söylenebilmektedir. Düzenleme sonrasında C 80 değerlerinin 500 Hz’ e

kadar düzenli olarak arttığı, 1000 Hz' den itibaren de düzenli olarak azaldığı grafikten anlaşılmaktadır. Düzenleme sonrasında $C80_3$ parametresinin 3,33 dB azalış gösterdiği belirlenmiştir.

Cexp sınır değerlere göre C 80 değerlerine baktığımızda, düzenleme öncesinde 500 Hz, 1000 Hz ve 8000 Hz bölgelerinde sınır değerler içinde kaldığını, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz bölgelerinde sınır değer altında bulunduğu görülmektedir. Düzenleme sonrasında ise 63 Hz ve 125 Hz dışında diğer frekans bölgelerinde sınır değerlerin altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.56 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması

Tablo 4.56 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı 3 noktasına göre C 50 karşılaştırması

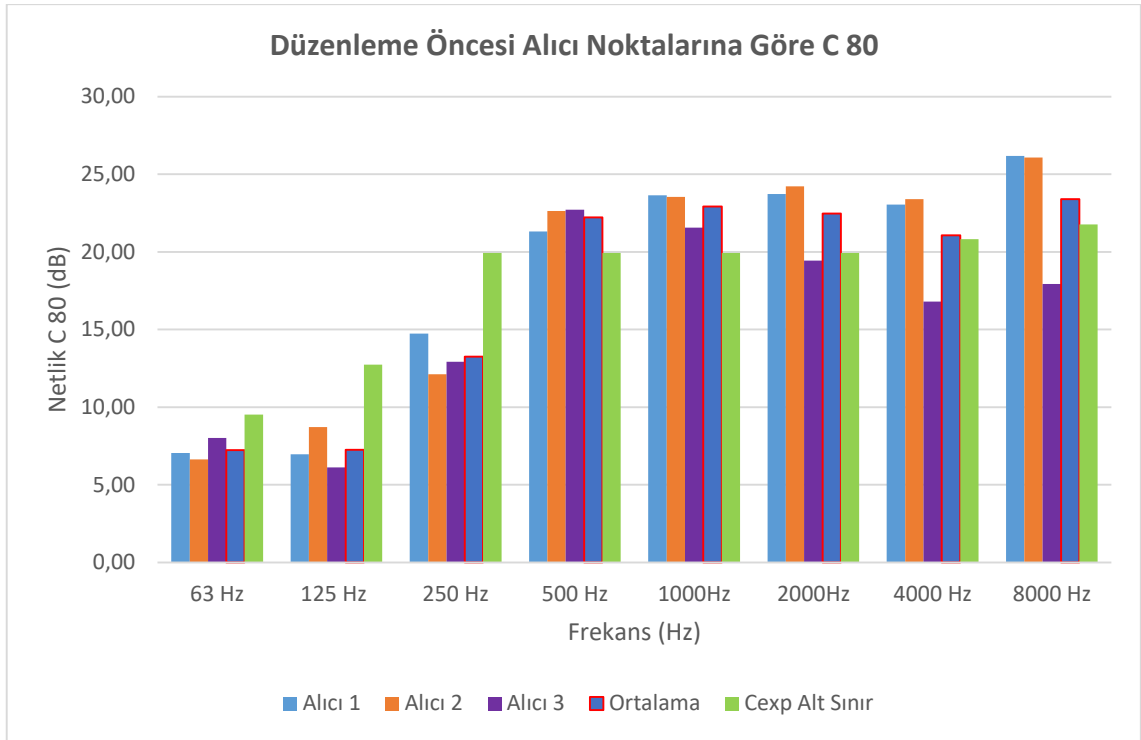
Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	(C50)3
C 50 Düz. Öncesi	4,36	4,54	7,28	14,91	15,49	14,40	12,98	13,99	14,93
C 50 Düz. Sonrası	6,04	10,77	10,74	14,94	14,81	13,67	12,61	11,68	14,48
C50 DS-C50 DÖ	1,67	6,23	3,45	0,03	-0,68	-0,73	-0,37	-2,31	-0,45

Alıcı 3 noktasına göre düzenleme öncesi ve sonrası C 50 verilerinin 63 Hz' den 500 Hz' e kadar arttığı, 1000 Hz ve üstünde azaldığı Şekil 4.56 ve Tablo 4.56'da görülmektedir. Azalış ve artış miktarlarının frekanslara göre düzensiz olduğu söylenebilmektedir. $C50_3$ parametresinin 0,45 dB azalış gösterdiği belirlenmiştir.

C 80 ve C 50 verilerinin düzenleme öncesi ve sonrası değişimlerine baktığımızda bütün alıcı noktalarında 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde arttığı, 500 Hz ve üstünde ise azalma miktarının giderek arttığı gözlenmiştir. $C80_3$ ve $C50_3$ parametrelerinin ise düzenleme sonrasında azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak odanın ilk durumunda duvarları tamamıyla kaplayan kumaş kaplı sünger panellerin bazı bölümlerinin üstüne ve tavana uygulanan helmholtz paneller ile QRD difüzörlerin alt frekans bölgelerinde yaptığı iyileştirme olarak görülmektedir. Alt frekans bölgelerinde ihtiyaç duyulan yutuculuk miktarı artırılarak C 80 değerleri yükseltilmiştir

4.2.2.3 C 80 Netlik Parametresinin Alıcı Noktalarına Göre Dağılımı

Ses enerjisinin odaya zaman içerisinde eşit dağılıp dağılmadığını gözlemlemek üzere alıcı noktalarının C 80 değerleri ile ortalama değerin olduğu tablolar analiz edilecektir. Alıcı noktaları C 80 değerlerinin ortalama değerden ne kadar farklılaştıklarını belirlemek üzere standart sapmalarda karşılaştırılacaktır. Cexp sınır değerlere göre düzenleme öncesi ve sonrası durum analiz edilecektir.



Şekil 4.57 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

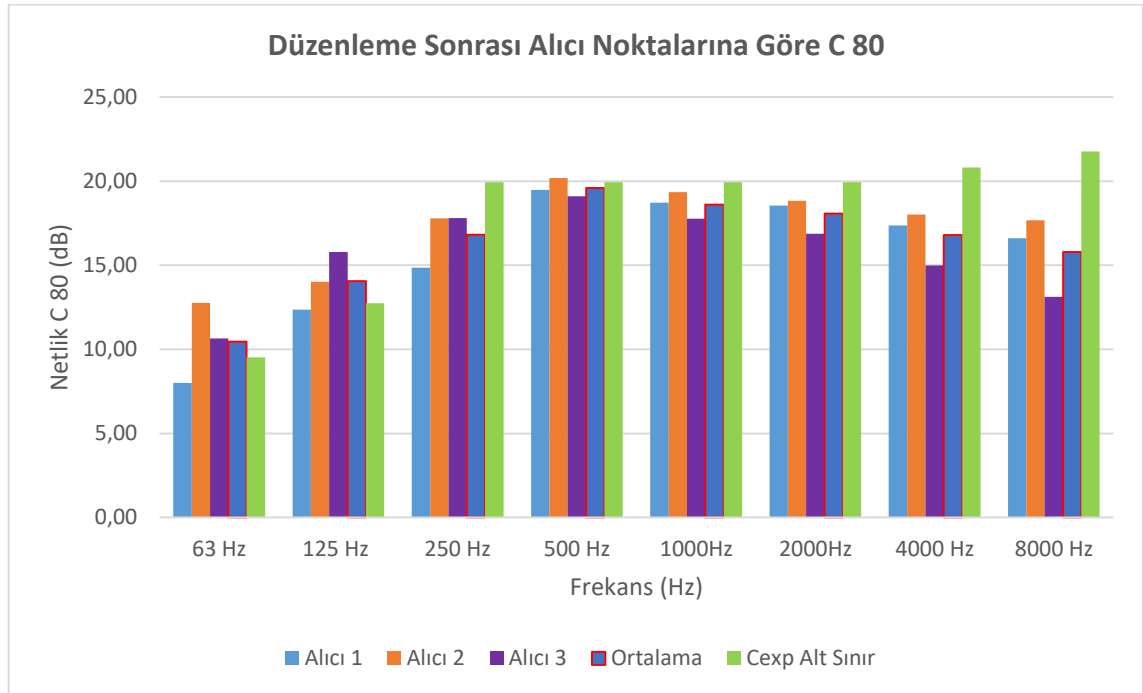
Tablo 4.57 Kayıt odası düzenleme öncesi alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	7,05	6,96	14,74	21,32	23,63	23,73	23,04	26,18
Alıcı 2	6,64	8,72	12,12	22,63	23,53	24,22	23,39	26,07
Alıcı 3	8,01	6,12	12,93	22,72	21,56	19,43	16,79	17,93
Ortalama	7,23	7,26	13,26	22,22	22,91	22,46	21,07	23,39
Cexp Alt Sınır	9,53	12,73	19,93	19,93	19,93	19,93	20,81	21,76
Standart Sapma	0,57	1,08	1,10	0,64	0,95	2,15	3,03	3,87

Şekil 4.57 ve Tablo 4.57’de görülen düzenleme öncesi 63 Hz ve 500 Hz bölgelerinde dağılımın düzgün olduğu söylenebilmektedir. 2000, 4000 Hz ve

8000 Hz bölgelerinde standart sapma değerlerinin yüksek olduğu, diğer frekans bölgelerinde ise uyumsuzluklar olduğu belirlenmiştir.

Cexp sınır değerlere göre C 80 değerlerine baktığımızda, düzenleme öncesinde 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz bölgelerinde bütün alıcı noktaları ve ortalama için sınır değer altında kalınmıştır. 500 Hz ve üstünde ise sınır değerler aralığında olduğu grafikten görülmektedir. Sadece alıcı 3 noktasında 2000 Hz ve üstünde sınır değer altında kaldığı belirlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak orta ve yüksek frekans yutucu yüzeylerin odanın ilk halinde duvarlarda olması düşünülmüştür.



Şekil 4.58 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

Tablo 4.58 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması

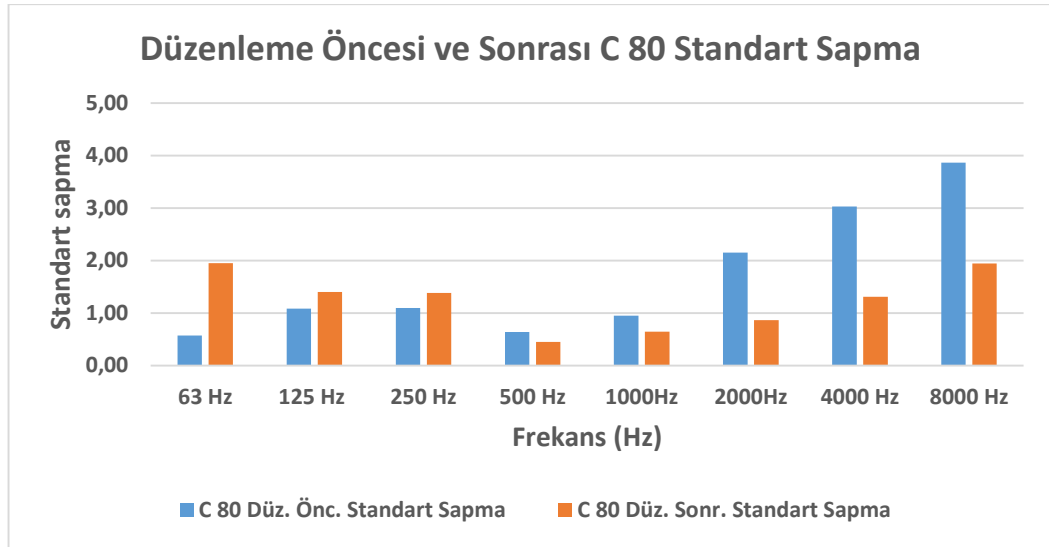
C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Alıcı 1	7,99	12,36	14,86	19,48	18,71	18,54	17,38	16,60
Alıcı 2	12,75	14,01	17,79	20,18	19,35	18,83	18,02	17,67

Tablo 4.58 Kayıt odası düzenleme sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması (devamı)

Alıcı 3	10,65	15,79	17,80	19,0 9	17,77	16,87	14,9 8	13,1 2
Ortalama	10,46	14,05	16,82	19,5 9	18,61	18,08	16,7 9	15,7 9
Cexp Alt Sınır	9,53	12,73	19,93	19,9 3	19,93	19,93	20,8 1	21,7 6
Standart Sapma	1,95	1,40	1,39	0,45	0,65	0,87	1,31	1,94

Düzenleme sonrasında alıcı noktalarına göre C 80 dağılımının 63 Hz bölgesinde kötüleştiği, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde aynı kaldığı, üst frekanslara doğru ise enerjinin zaman içerisinde ortama dağılımının giderek iyileştiği hem Şekil 4.58 ve Tablo 4.58'den hem de standart sapma karşılaştırmasının olduğu Şekil 4.59 ve Tablo 4.59'dan anlaşılmaktadır.

Cexp sınır değerlere göre düzenleme sonrası C 80 değerlerine baktığımızda 4000 Hz ve 8000 Hz dışında sınır değerlere yakın veya üstünde sonuçlar elde edildiği görülmektedir. 63 Hz ve 125 Hz bölgelerinde alt sınır değerini üstüne çıkmıştır. Oda içerisinde kullanılan helmholtz panellerin işlevsellik gösterdiği söylenebilmektedir.



Şekil 4.59 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma

Tablo 4.59 Kayıt odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 standart sapma

C 80 Standart Sapma	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
C 80 Düz. Önc. Standart Sapma	0,57	1,08	1,10	0,64	0,95	2,15	3,03	3,87
C 80 Düz. Sonr. Standart Sapma	1,95	1,40	1,39	0,45	0,65	0,87	1,31	1,94

Enerjinin odaya zaman içerisinde dağılımının alt frekans bölgelerinde helmholtz panellerle, orta ve üst frekans bölgelerinde ise QRD difüzörlerle sağlanması sonucu özellikle orta ve üst frekanslarda önemli iyileştirmeler gözlenmiştir. Duvarların sadece kumaş kaplı panellerle kaplı olmasının enerjinin zaman içerisindeki dağılımını orta ve üst frekans bölgelerinde olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

KONTROL ODASI SİMÜLASYON, HESAP VE SAHA ÖLÇÜMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kontrol odası hacim akustiği tasarımı belirlenirken yararlanılacak saha ölçümü, yansıma süresi hesaplama veya simülasyon programlarının kullanılması yöntemlerinin birbirinden ne kadar farklı sonuçlar verebileceğini analiz etmek için bu karşılaştırma yapılacaktır.

5.1 Kontrol Odası Simülasyonu

Kontrol odası simülasyonu Odeon 9.2 Combined kullanılarak düzenleme öncesi ve sonrası yüzey elemanları girilerek oluşturulmuştur. Düzenleme sonrası yüzeylerde kullanılan malzemeler hesaplama cetvelinde kullanılan malzemelerle aynı olacak şekilde tanımlanmıştır.

Nem 50 %, sıcaklık 20°C alınmıştır. Arka plan gürültü seviyesi NR 15'e göre belirlenmiştir. Aşağıdaki Tablo 5.1'de değerler görülmektedir.

Tablo 5.1 Odeon oda koşulları

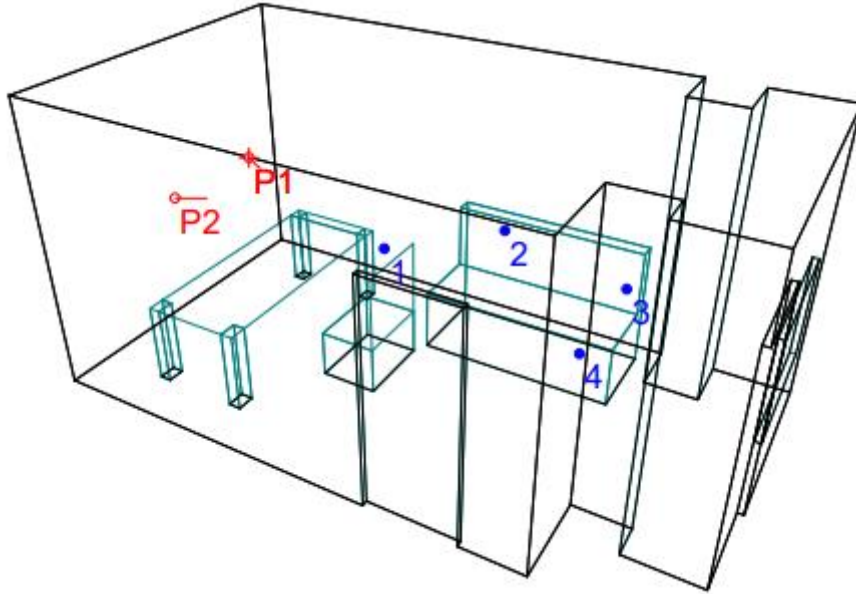
Oda Koşulları	
Nem	50,00%
Sıcaklık	20°C
Arka plan gürültü 125 Hz	36 dB
Arka plan gürültü 250 Hz	29 dB
Arka plan gürültü 500 Hz	22 dB
Arka plan gürültü 1000 Hz	17 dB
Arka plan gürültü 2000 Hz	14 dB
Arka plan gürültü 4000 Hz	12 dB
Arka plan gürültü 8000 Hz	11 dB

Hesaplama parametreleri Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

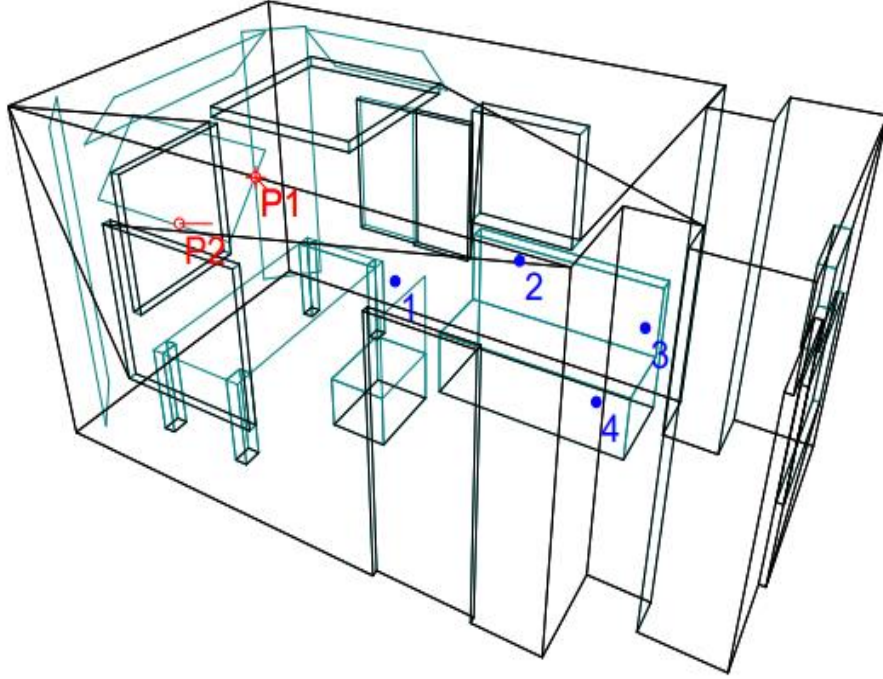
Tablo 5.2 Odeon hesaplama parametreleleri

Hesaplama Parametreleri	
Difüzyon metodu	Lambert
Işın	Açık
Kullanılan ışın sayısı	998
Maksimum yansımaya sayısı	2000
Tepki cevabı uzunluğu	1000 ms
Tepki cevabı çözünürlüğü	9 ms
Açısal yutma	Sadece yumuşak yüzeyler
Geçiş sayısı	2
Erken saçılan ışın sayısı	100
Erken geç oranı	Açık

Düzenleme öncesi ölçüm noktaları Şekil 5.1’de ve düzenleme sonrası ölçüm noktaları Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

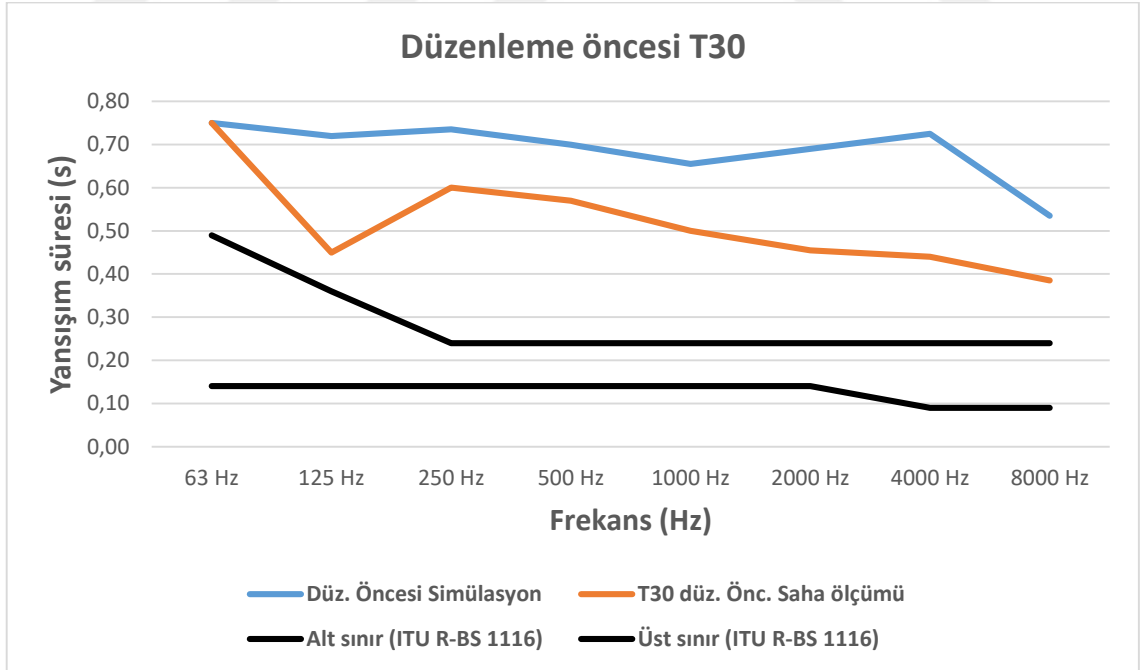


Şekil 5.1 Düzenleme öncesi odeon simülasyon ölçüm noktaları



Şekil 5.2 Düzenleme sonrası odeon simülasyon ölçüm noktaları

5.2 T 30 ve EDT Parametrelerinin Simülasyon, Hesap ve Saha Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

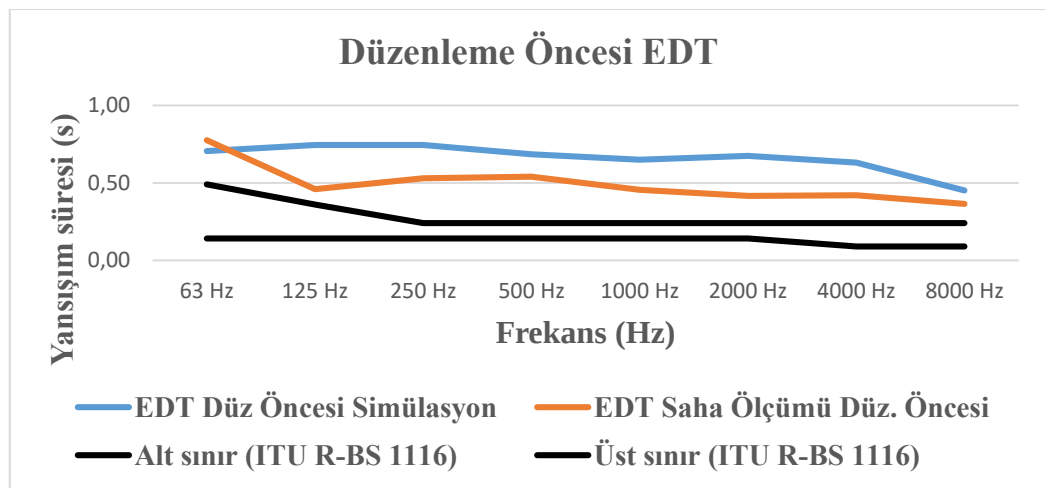


Şekil 5.3 Düzenleme öncesi T 30 saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

Tablo 5.3 Düzenleme öncesi T 30 saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Düz. Öncesi Simülasyon	0,75	0,72	0,74	0,70	0,66	0,69	0,73	0,54
T30 düz. Önc. Saha ölçümü	0,75	0,45	0,60	0,57	0,50	0,46	0,44	0,39
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

Düzenleme öncesinde Şekil 5.3 ve Tablo5.3’de görülen Odeon T 30 verilerinin, saha ölçüm sonuçlarına göre 63 Hz dışında daha yukarıda sonuçlar verdiği gözlenmiştir. 63 Hz merkez oktav frekansında 0,75 saniye ile aynı sonuçları vermiştir. Bunun sebebi olarak Odanın ilk halinde sadece sert ve pürüzsüz duvarların olması sonucunda Odeon programında tanımlanan yüzeylerin yansıtıcı olarak tanımlanması ve dışarı kaçan seslerin Odeon Akustik simülasyon programında hesaba katılmaması olarak düşünülmüştür. Ayrıca oda içerisindeki duvar, masa, kapı gibi yüzeylerin öz titreşim frekanslarının da bu sonuçta etkili olduğu düşünülmüştür.

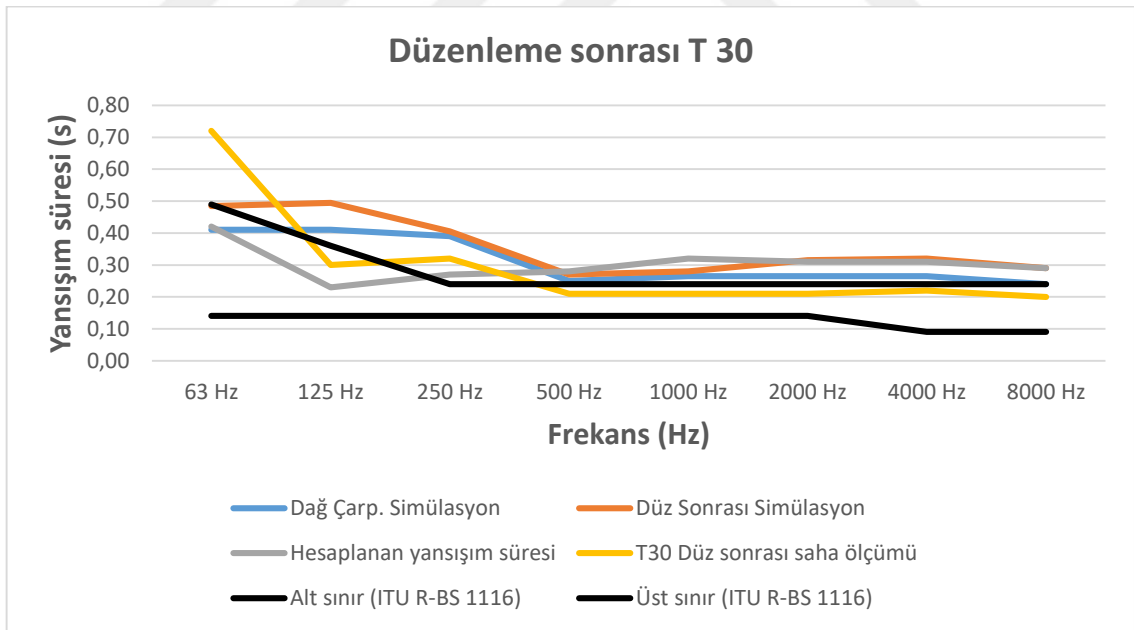


Şekil 5.4 Düzenleme öncesi EDT saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

Tablo 5.4 Düzeneleme öncesi EDT saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EDT Düz Öncesi Simülasyon	0,71	0,75	0,75	0,69	0,65	0,68	0,63	0,45
EDT Saha Ölçümü Düz. Öncesi	0,78	0,46	0,53	0,54	0,46	0,42	0,42	0,37
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

Şekil 5.4 ve Tablo 5.4’de görülen EDT verilerinin de T 30 verilerine benzer şekilde, simülasyon sonuçlarının 63 Hz dışında daha fazla değerlerde sonuçlar verdiği gözlenmiştir.



Şekil 5.5 Düzeneleme sonrası T 30 saha ölçümü, hesap ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

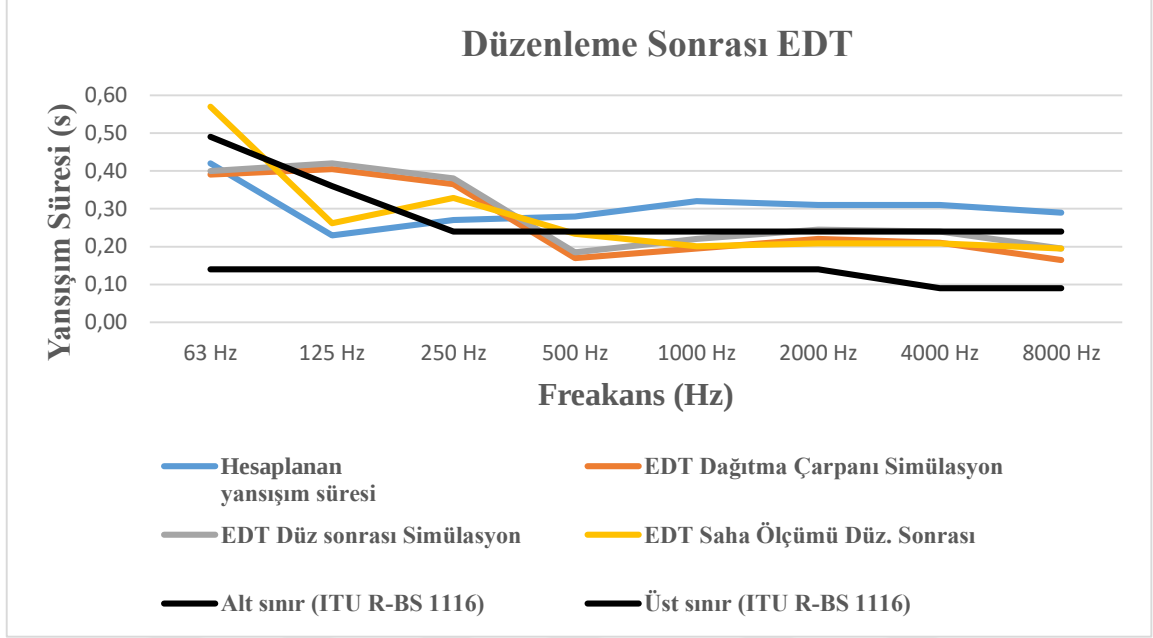
Tablo 5.5 Düzenleme sonrası T 30 saha ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Dağ Çarp. Simülasyon	0,41	0,41	0,39	0,25	0,27	0,27	0,27	0,24
Düz Sonrası Simülasyon	0,49	0,50	0,41	0,27	0,28	0,32	0,32	0,29
Hesaplanan yansıma süresi	0,42	0,23	0,27	0,28	0,32	0,31	0,31	0,29
T30 Düz sonrası saha ölçümü	0,72	0,30	0,32	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

Şekil 5.5 ve Tablo 5.5’de görülen yüzeylerin yutma çarpanları kullanılarak yansıma süresi hesap sonuçlarının 63 Hz için 0,42 saniye çıktığını, saha ölçüm sonuçlarının ise T 30 için 0,72 saniye, EDT için 0,57 saniye (Tablo 5.6) olduğu gözlenmiştir. Odeon sonuçlarının da bu frekans bölgesi için hesaplama sonuçlarına benzer olduğu görülmüştür. T 30 için Odeon programında difüzör olarak kullanılan yüzeylere sadece yutuculuk çarpanı atanarak yapılan uygulamada 0,49 saniye, dağıtıcılık çarpanı 0,9 kullanılarak yapılan uygulamada ise 0,41 saniye sonucu elde edilmiştir. Hesaplama ve Odeon sonuçları benzerken saha ölçüm sonuçları daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak bu frekans bölgesinin ölçümünün ses dalgalarının dalga boyunun çok büyük olmasından dolayı zor olması olarak görülmüştür.

125 Hz bölgesi için T 30 için Odeon simülasyon sonuçlarının saha ölçümlerinin üstünde olduğu, yansıma süresi hesaplama ile elde edilen sonuçların ise saha ölçümlerinin altında olduğu görülmüştür.

EDT verilerinde ise Odeon sonuçlarının dağıtma çarpanı kullanılıp kullanılmamasına göre değişmediği gözlenmiştir (Şekil 5.6). Diğer frekans bölgeleri içinde benzer bir durum vardır. Bu verilerden yola çıkarak EDT verilerinin dağıtıcı yüzeylerden etkilenme derecesinin T 30 verilerine göre daha az olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 5.6 Düzenleme sonrası EDT saha Ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

Tablo 5.6 Düzenleme sonrası EDT saha Ölçümü ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırması

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Hesaplanan yansıma süresi	0,42	0,23	0,27	0,28	0,32	0,31	0,31	0,29
EDT Dağıtma Çarpanı Simülasyon	0,39	0,41	0,37	0,17	0,20	0,22	0,21	0,17
EDT Düz Sonrası Simülasyon	0,40	0,42	0,38	0,19	0,22	0,25	0,24	0,20
EDT Saha Ölçümü Düz. Sonrası	0,57	0,26	0,33	0,23	0,20	0,21	0,21	0,19
Alt sınır (EBU Tech 3276)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (EBU Tech 3276)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

250 Hz bölgesinde T 30 için Odeon verilerinin dağıtma çarpanı olmadan 0,41 saniye, dağıtma çarpanı ile 0,39 saniye bulunmuştur. Hesaplama sonucunun 0,27 saniye ve saha ölçüm sonucunun da 0,32 saniye olduğu belirlenmiştir. Odeon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından daha fazla olduğu, yansıma süresi hesabının ise daha az olduğu görülmüştür.

T 30 için 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz ve 8000 Hz bölgelerinde hem Odeon değerlerinin hem de yansıma süresi hesap sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Bu frekans bölgelerinde en yakın sonuçların Odeon' un dağıtma çarpanı kullanılarak verdiği sonuçlar olduğu görülmektedir (Şekil 5.5). EDT verilerinde de Odeon dağıtma çarpanı kullanılarak elde edilen sonuçların 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz' de aynı olduğu, 500 ve 8000 Hz bölgelerinde de çok yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5.6).

Kontrol odalarında hacim akustiği tasarımı yapılırken 63 Hz ve 125 Hz bölgesinde Odeon verilerinin dağıtma çarpanı olmadan dikkate alınabileceği, aynı zamanda bu bölge için saha ölçümünün zorluğu da düşünülerek öznel değerlendirmelerinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde hesaplama yöntemi ile elde edilen verilerin saha ölçüm sonuçlarına daha yakın olduğu görülmüştür. Bu bölgeler için tasarımda yansıma süresi hesaplama cetvelinin kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

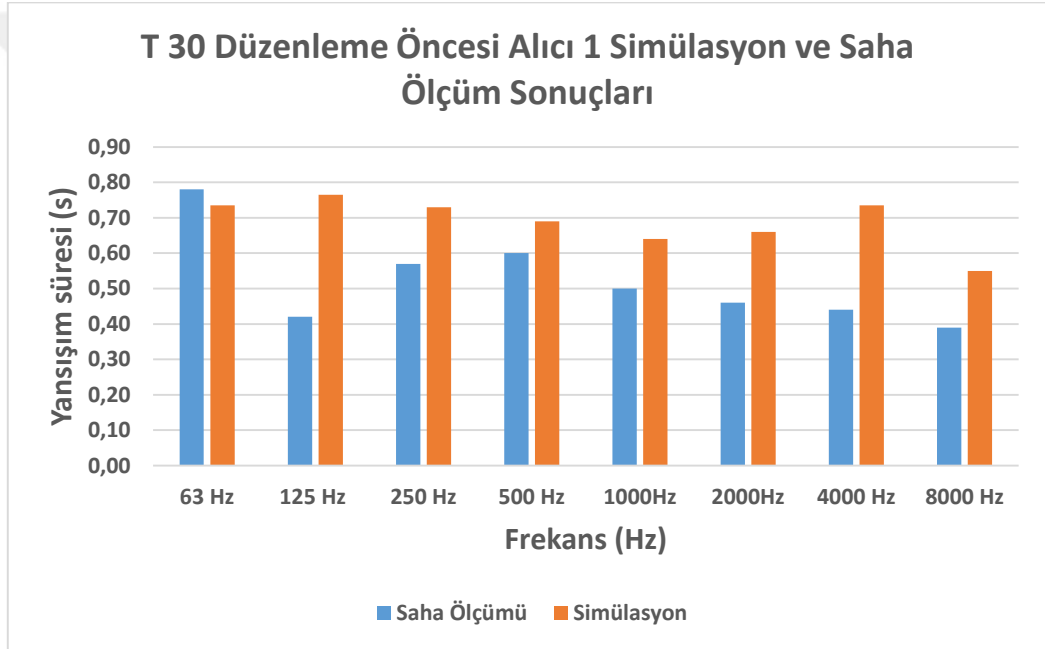
500, 1000, 2000, 4000, ve 8000 Hz bölgelerinde Odeon dağıtma çarpanı kullanılması sonucu elde edilen EDT verilerinin saha ölçüm sonuçlarına en yakın sonuçları verdiği değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak hem Odeon verilerinin hem de Yansıma süresi hesaplama sonuçlarının beraber kullanılarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Alt frekans bölgeleri için dağıtma çarpanı kullanılmadan Odeon verilerinin kullanılmasının daha iyi olacağı gözlenmiştir. Yansıma süresi hesap cetveli kullanılacaksa 500 Hz ve üstü frekanslarda dağıtma faktöründen dolayı hesaplanan sonuçlardan yaklaşık 0,1 saniye daha altta değerler alacağı öngörülmelidir.

5.3 Alıcı Noktalarına Göre Düzenleme Öncesi ve Sonrası Simülasyon ve Saha Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Düzenleme öncesi ve sonrası simülasyon sonuçlarıyla saha sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda tasarıma yön veren simülasyon sonuçlarının hangi kriterler göz önüne alınarak kullanılması gerektiği bu bölümde değerlendirilecektir. Küçük odalarda simülasyon sonuçlarının saha sonuçlarıyla uyumunun sağlanıp sağlanamadığı alıcı noktalara göre farklılıklar veya benzerliklerin oranları T 30 ve C 80 parametreleri üzerinden değerlendirilecektir.

5.3.1 T 30 Karşılaştırması

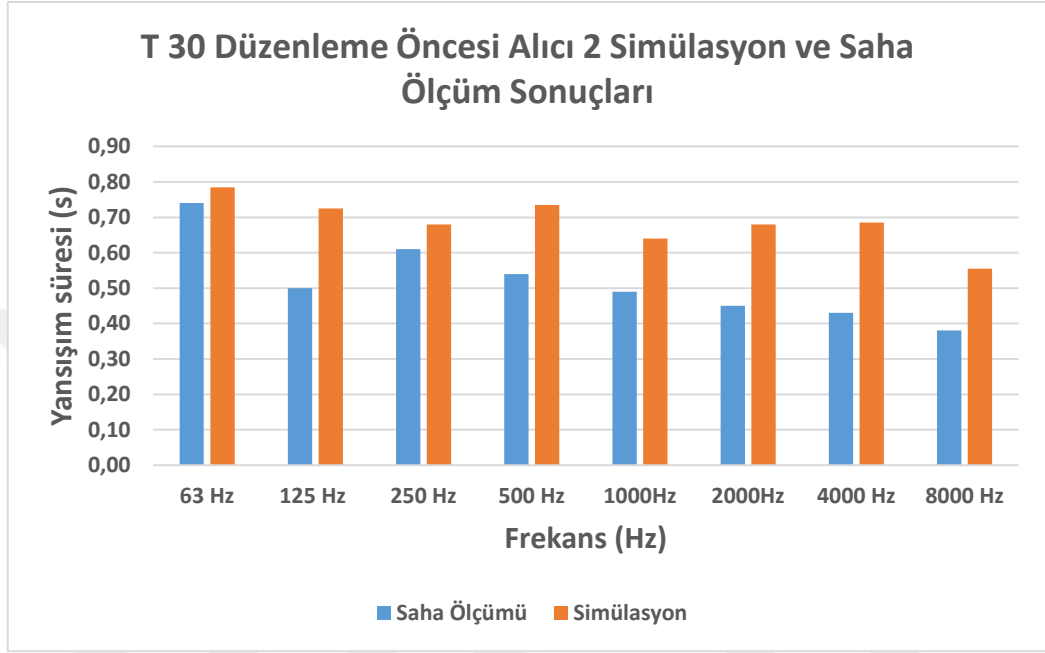


Şekil 5.7 Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.7 Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

T30 Düz Öncesi Alıcı 1	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,78	0,42	0,57	0,60	0,50	0,46	0,44	0,39
Simülasyon	0,74	0,77	0,73	0,69	0,64	0,66	0,74	0,55

Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre simülasyon sonuçlarının 63 Hz bölgesinde uyumlu olduğu, 125 Hz bölgesinde simülasyon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından neredeyse iki kat fazla olduğu görülmektedir. Diğer bölgelerde de simülasyon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından fazla olduğu Şekil 5.7 ve Tablo 5.7'den anlaşılmaktadır.

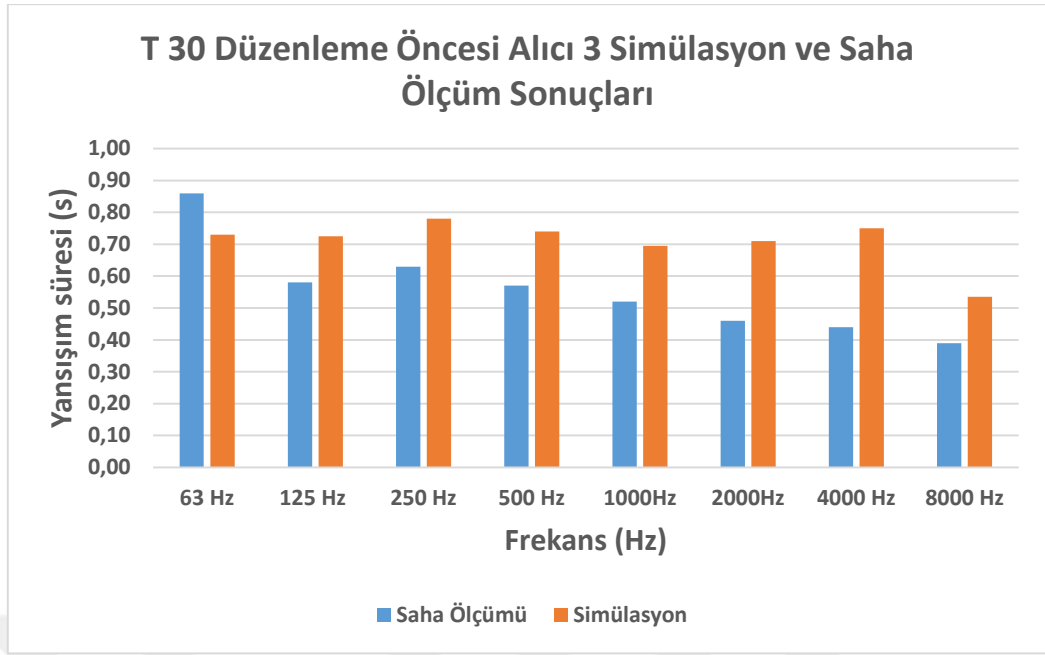


Şekil 5.8 Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.8 Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

T30 Düz Öncesi Alıcı 2	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,74	0,50	0,61	0,54	0,49	0,45	0,43	0,38
Simülasyon	0,79	0,73	0,68	0,74	0,64	0,68	0,69	0,56

Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre bütün frekans bölgelerinde simülasyon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından fazla olduğu Şekil 5.8 ve Tablo 5.8'den anlaşılmaktadır. 63 Hz ve 250 Hz bölgelerinde saha ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçları birbirine yaklaşmıştır.

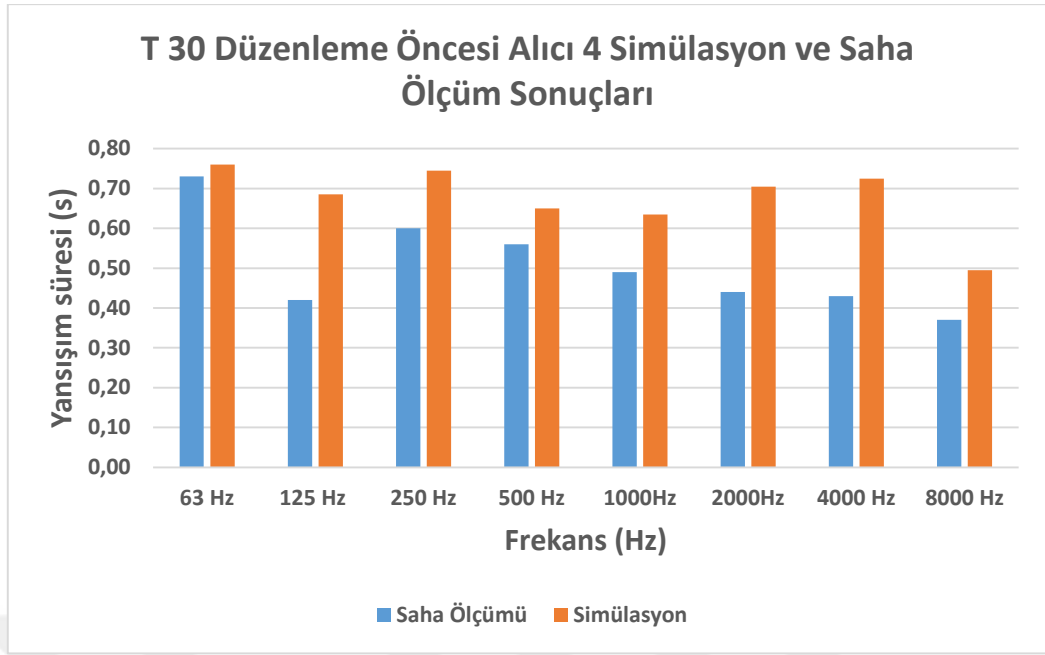


Şekil 5.9 Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.9 Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

T30 Düz Öncesi Alıcı 3	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,86	0,58	0,63	0,57	0,52	0,46	0,44	0,39
Simülasyon	0,73	0,73	0,78	0,74	0,70	0,71	0,75	0,54

Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre simülasyon sonuçlarının 63 Hz bölgesinde daha az olduğu, diğer bölgelerde de simülasyon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından fazla olduğu Şekil 59 ve Tablo 5.9'dan anlaşılmaktadır.



Şekil 5.10 Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

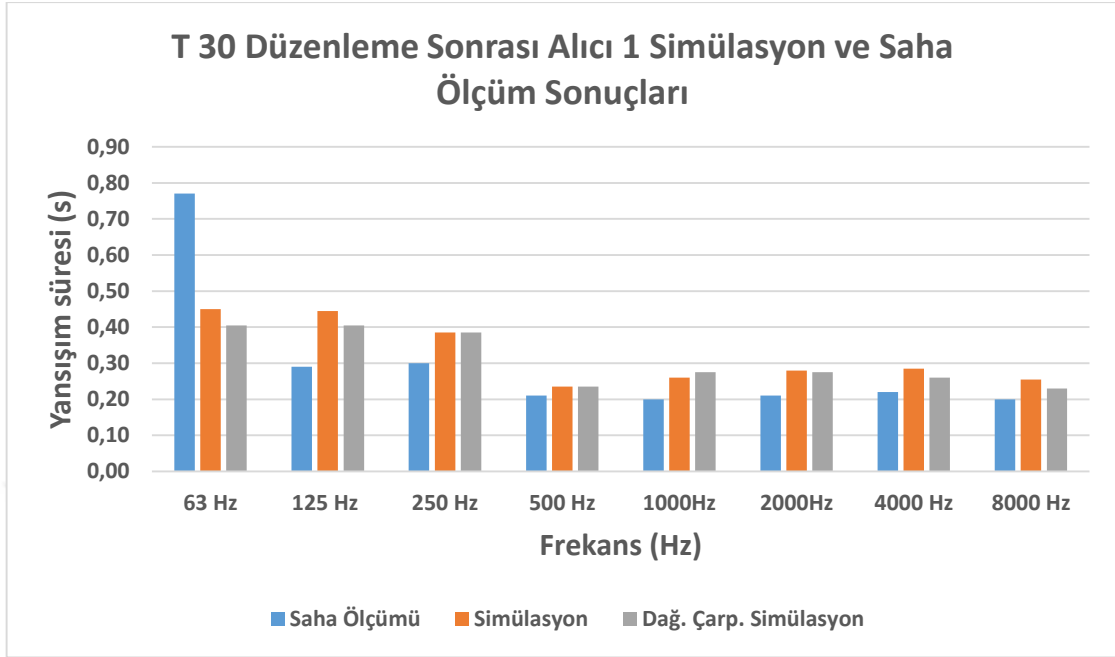
Tablo 5.10 Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

T30 Düz Öncesi Alıcı 4	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,73	0,42	0,60	0,56	0,49	0,44	0,43	0,37
Simülasyon	0,76	0,69	0,75	0,65	0,64	0,71	0,73	0,50

Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre bütün frekans bölgelerinde simülasyon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından fazla olduğu Şekil 5.10 ve Tablo 5.10'dan anlaşılmaktadır. 63 Hz bölgesinde saha ölçüm sonuçlarıyla simülasyon sonuçları birbirine yaklaşmıştır.

Düzenleme öncesi simülasyon sonuçlarının 63 Hz bölgesinde bütün alıcı noktalarına göre yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer frekans bölgelerinde simülasyon sonuçlarının alıcı noktalarının her birinde daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak dağıtıcı özelliklerin odanın ilk halinde simülasyona tanımlanmaması, gerçek saha koşullarında sesin dışarı çıkarak beklenmeyen yutuculuk değerlerinin oluşması düşünülmüştür. Simülasyon tanımlanırken yutuculuk değerlerinin ses kaçışları da gözetilerek, özellikle kapı ve

pencere gibi ses izolasyonunun zayıf noktalarında biraz daha yüksek alınabileceği, masa, koltuk gibi yüzeylere dağıtıcılık katsayısı atanabileceği değerlendirilmiştir.

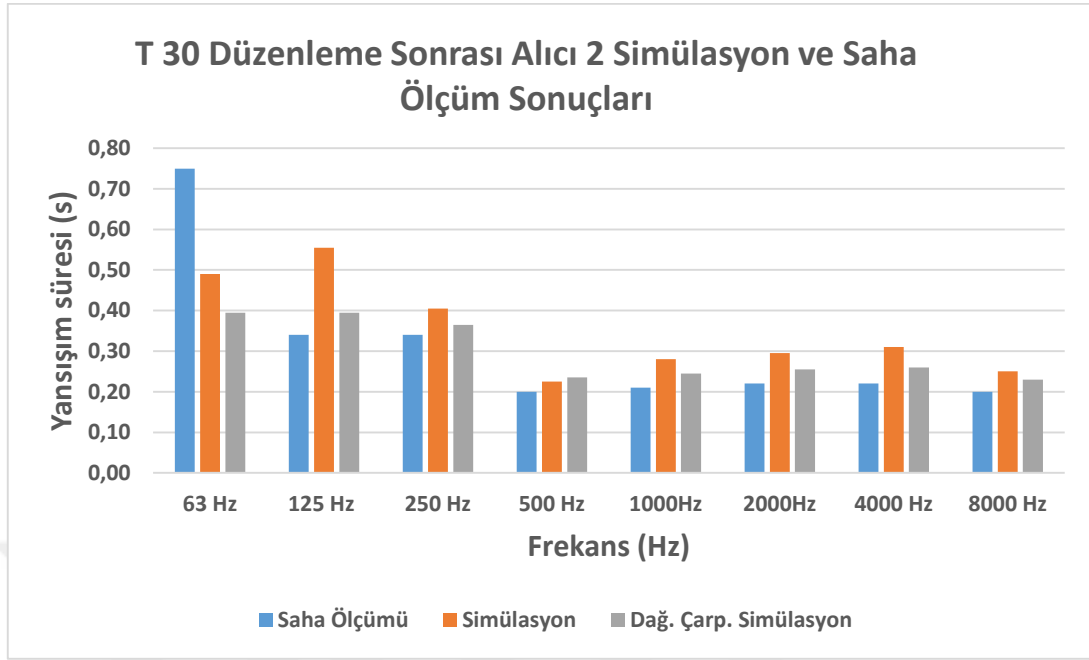


Şekil 5.11 Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.11 Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

T30 Alıcı 1 Düz. Sonrası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,77	0,29	0,30	0,21	0,20	0,21	0,22	0,20
Simülasyon	0,45	0,45	0,39	0,24	0,26	0,28	0,29	0,26
Dağ. Çarp. Simülasyon	0,41	0,41	0,39	0,24	0,28	0,28	0,26	0,23

Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre 63 Hz bölgesinde simülasyon ve dağıtma çarpanı kullanılarak uygulanan simülasyon T 30 değerlerinin Saha ölçüm sonuçlarından daha düşük olduğu Şekil 5.11 ve Tablo 5.11’de görülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde simülasyon ve dağıtma çarpanlı simülasyon verilerinin saha ölçüm sonuçlarının üstünde olsa da 500 Hz ve üstünde saha ölçüm sonuçlarına yaklaştığı söylenebilmektedir.

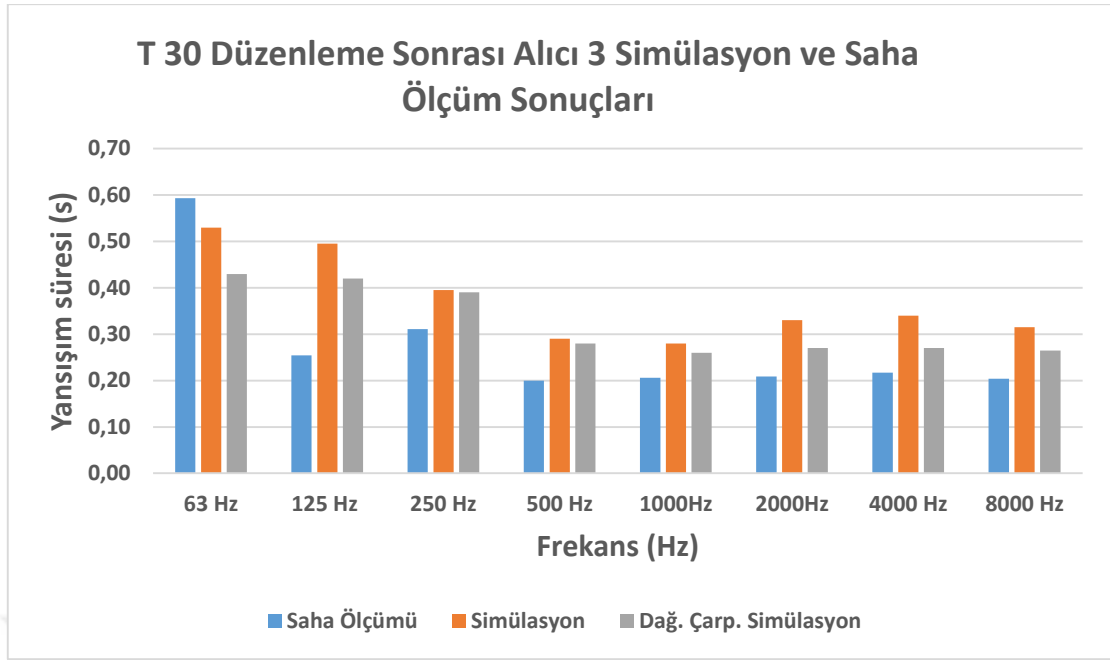


Şekil 5.12 Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.12 Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

T30 Alıcı 2 Düz. Sonrası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,75	0,34	0,34	0,20	0,21	0,22	0,22	0,20
Simülasyon	0,49	0,56	0,41	0,23	0,28	0,30	0,31	0,25
Dağ. Çarp. Simülasyon	0,40	0,40	0,37	0,24	0,25	0,26	0,26	0,23

Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre 63 Hz bölgesinde simülasyon ve dağıtma çarpanı kullanılarak uygulanan simülasyon T 30 değerlerinin saha ölçüm sonuçlarından daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde simülasyon ve dağıtma çarpanlı simülasyon verilerinin saha ölçüm sonuçlarının üstünde olsa da 125 Hz ve üstünde dağıtma çarpanlı simülasyon sonuçlarının saha sonuçlarına oldukça yaklaştığı Şekil 5.12 ve Tablo 5.12’den anlaşılmaktadır.

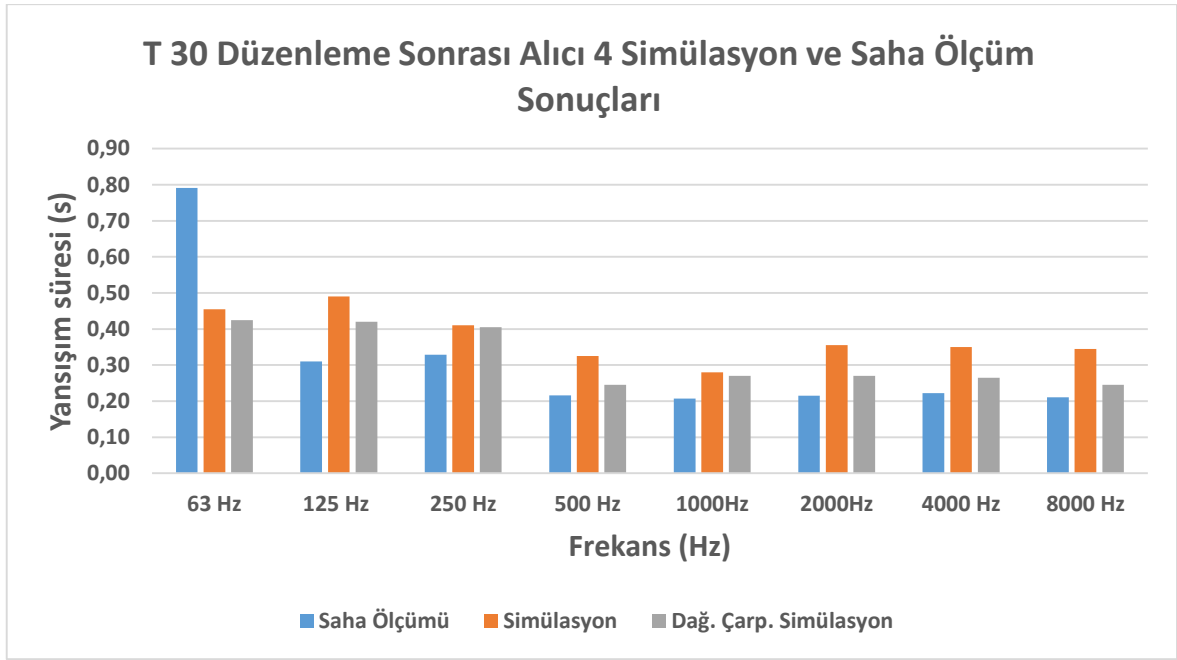


Şekil 5.13 Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.13 Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

T30 Alıcı 3 Düz. Sonrası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,59	0,25	0,31	0,20	0,21	0,21	0,22	0,20
Simülasyon	0,53	0,50	0,40	0,29	0,28	0,33	0,34	0,32
Dağ. Çarp. Simülasyon	0,43	0,42	0,39	0,28	0,26	0,27	0,27	0,27

Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre 63 Hz bölgesinde simülasyon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarına yaklaştığı görülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde simülasyon ve dağıtma çarpanlı simülasyon verilerinin saha ölçüm sonuçlarının üstünde olsa da 125 Hz ve üstünde dağıtma çarpanlı simülasyon sonuçlarının saha sonuçlarına oldukça yaklaştığı Şekil 5.13 ve Tablo 5.13'den anlaşılmaktadır.



Şekil 5.14 Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.14 Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre T 30 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

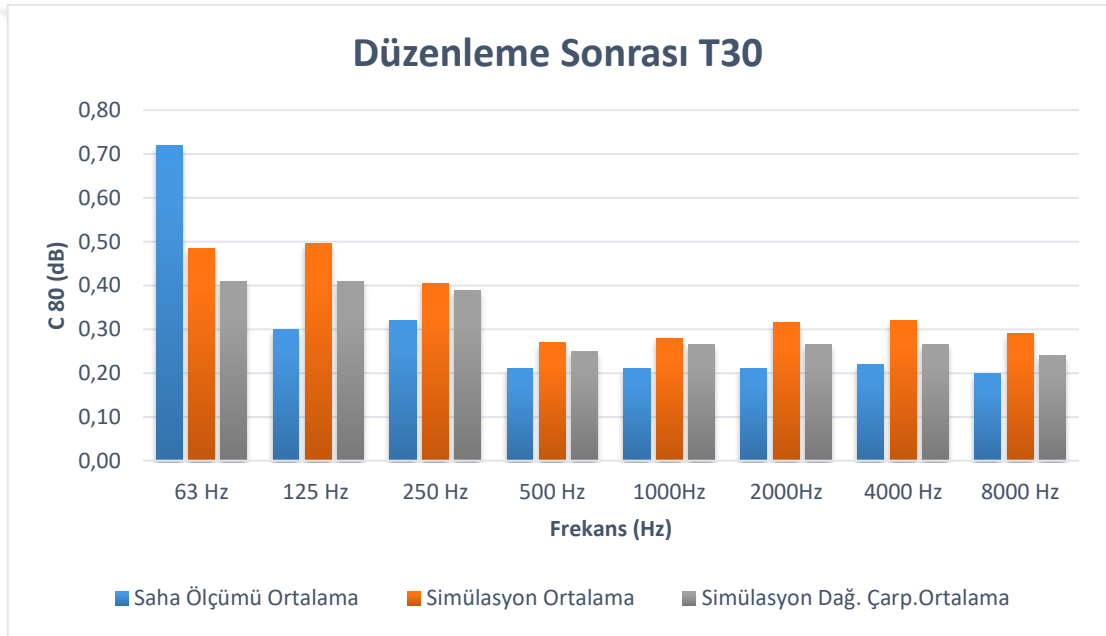
T30 Alıcı 4 Düz. Sonrası	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,79	0,31	0,33	0,22	0,21	0,22	0,22	0,21
Simülasyon	0,46	0,49	0,41	0,33	0,28	0,36	0,35	0,35
Dağ. Çarp. Simülasyon	0,43	0,42	0,41	0,25	0,27	0,27	0,27	0,25

Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre 63 Hz bölgesinde simülasyon ve dağıtma çarpanı kullanılarak uygulanan simülasyon T 30 değerlerinin saha ölçüm sonuçlarından daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde simülasyon ve dağıtma çarpanlı simülasyon verilerinin saha ölçüm sonuçlarının üstünde olsa da 125 Hz ve üstünde dağıtma çarpanlı simülasyon sonuçlarının saha sonuçlarına oldukça yaklaştığı Şekil 5.14 ve Tablo 5.14'den anlaşılmaktadır.

Düzenleme sonrasında alıcı noktalarına göre T 30 verilerinin simülasyon, dağıtma çarpanı uygulanarak oluşturulan simülasyon ve saha sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda, 63 Hz bölgesinde hem simülasyon hem de dağıtma çarpanlı

simülasyon verilerinin saha sonuçlarının altında kaldığı görülmüştür. Simülasyon verilerinin dağıtma çarpanı olmadan uygulanması daha yaklaşık sonuçlar verdiği için bu frekans bölgesinde ki değerlendirmeler için dağıtma çarpanı uygulanmaması küçük odalarda daha doğru sonuçlar verecektir. 63 Hz bölgesinde ki seslerin dalga boylarının uzun olması, küçük odalarda tahmin edilemez davranışların ortaya çıkmasını sağlayabilmektedir.

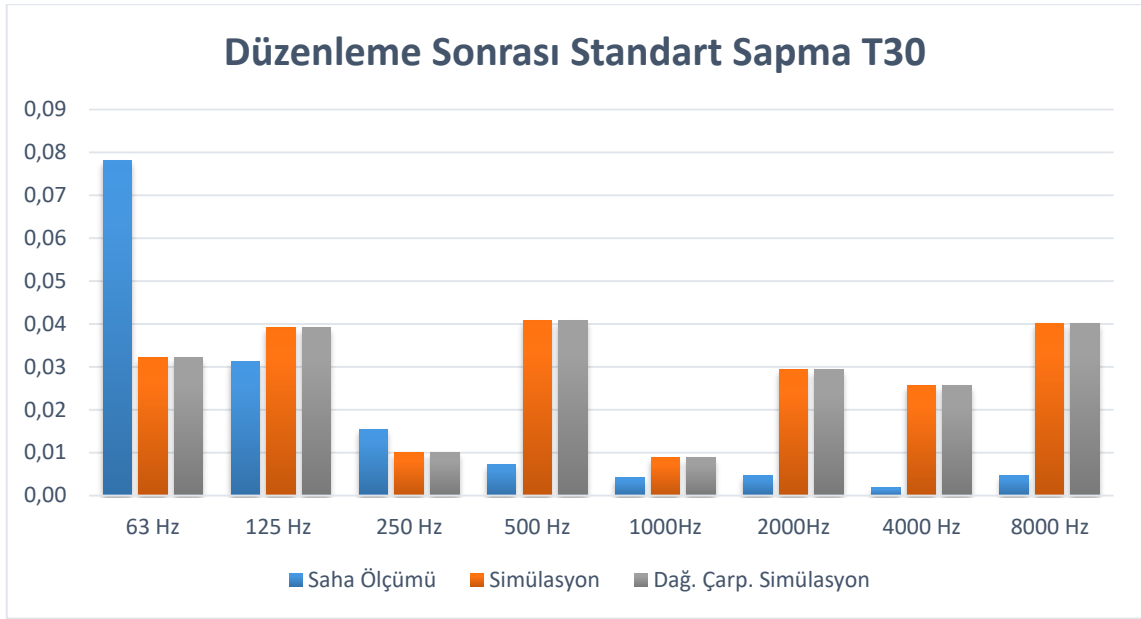
Ortalama değerlerin bulunduğu Tablo 5.15 ve Şekil 5.15’de görüldüğü gibi diğer frekans bölgeleri için alıcı noktalarına göre yapılan değerlendirmeler sonucunda simülasyonda dağıtma çarpanı uygulanmasının daha yakın sonuçlar vereceği söylenebilmektedir.



Şekil 5.15 Düzenleme sonrası T 30 sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.15 Düzenleme sonrası T 30 sonuçlarının karşılaştırılması

T 30	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü Ortalama	0,72	0,30	0,32	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20
Simülasyon Ortalama	0,49	0,50	0,41	0,27	0,28	0,32	0,32	0,29
Simülasyon Dağ. Çarp. Ortalama	0,41	0,41	0,39	0,25	0,27	0,27	0,27	0,24



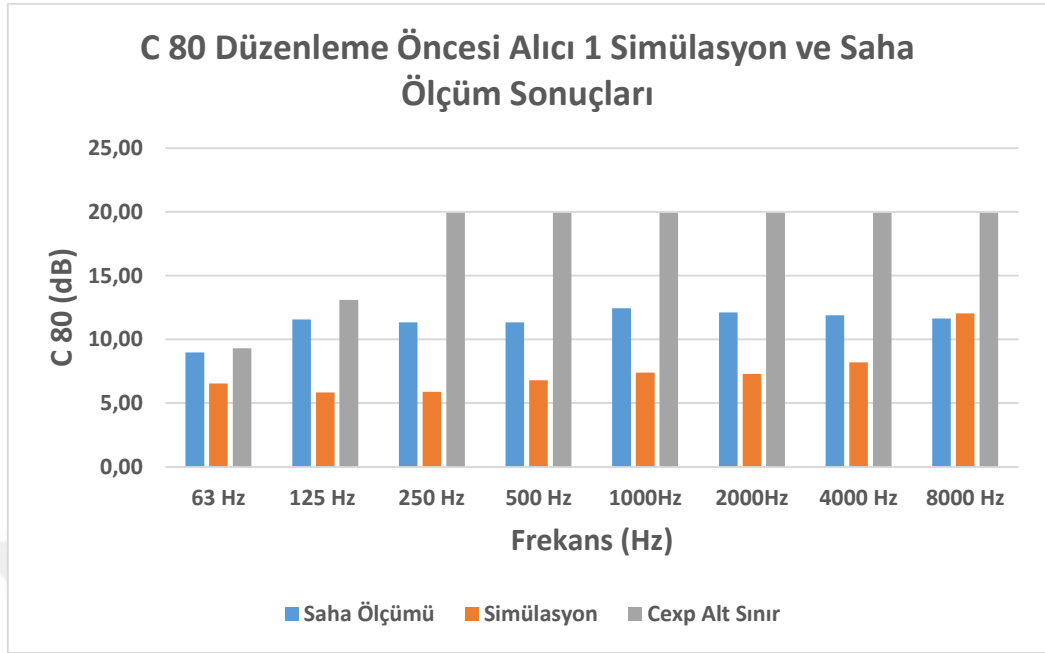
Şekil 5.16 Düzenleme sonrası T 30 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.16 Düzenleme sonrası T 30 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması

Standart Sapma T30	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Simülasyon	0,03	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03	0,03	0,04
Dağ. Çarp. Simülasyon	0,03	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03	0,03	0,04

Alıcı noktalarına göre değişimi gösteren standart sapma değerlerinin, 63 Hz ve 250 Hz dışındaki frekans bölgelerinde simülasyon sonuçlarında daha yüksek olduğu Şekil 5.16 ve Tablo 5.162'den görülmektedir. Saha ölçüm sonuçlarında 1000 Hz ve üstünde standart sapma değeri 0 değerine oldukça yakın bulunmuştur. Simülasyon sonuçlarının standart sapma değerleri çok yüksek olmasa da bu bölgelerde saha sonuçlarının standart sapma değerlerinden daha fazla olmuştur.

5.3.2 C 80 Karşılaştırması

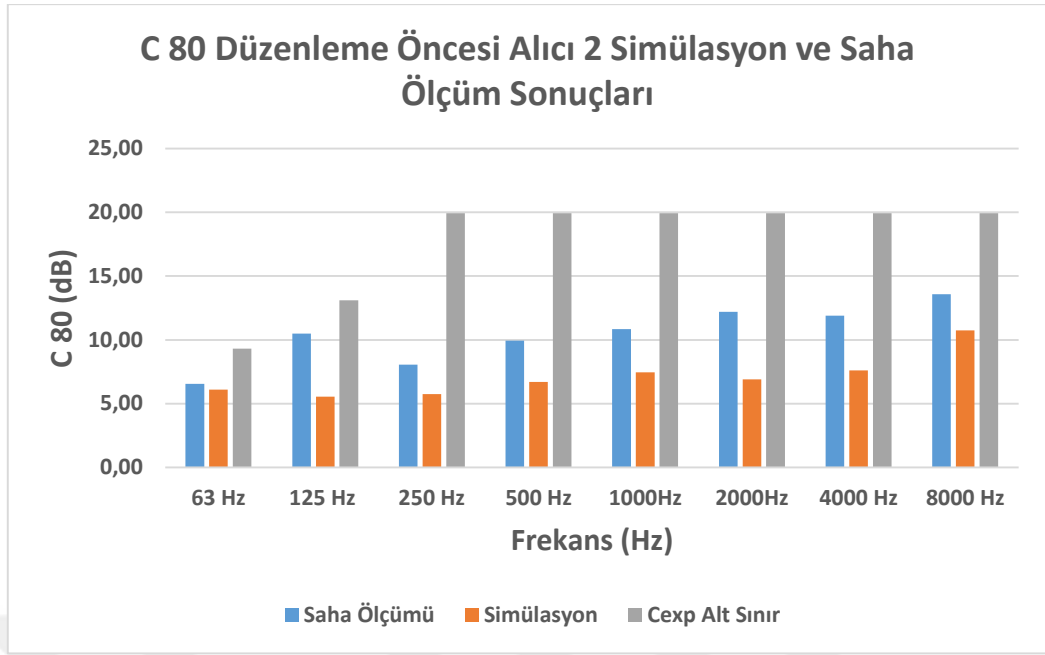


Şekil 5.17 Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.17 Düzenleme öncesi alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Öncesi Alıcı 1 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	8,99	11,56	11,33	11,34	12,43	12,13	11,89	11,65
Simülasyon	6,55	5,85	5,90	6,80	7,40	7,30	8,20	12,05
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Şekil 5.17 ve Tablo 5.17’de görüldüğü gibi düzenleme öncesi alıcı noktası 1’e göre C 80 verileri, saha ölçümü ve simülasyon sonuçları üzerinden karşılaştırıldığında, 8000 Hz dışında saha ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarından daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

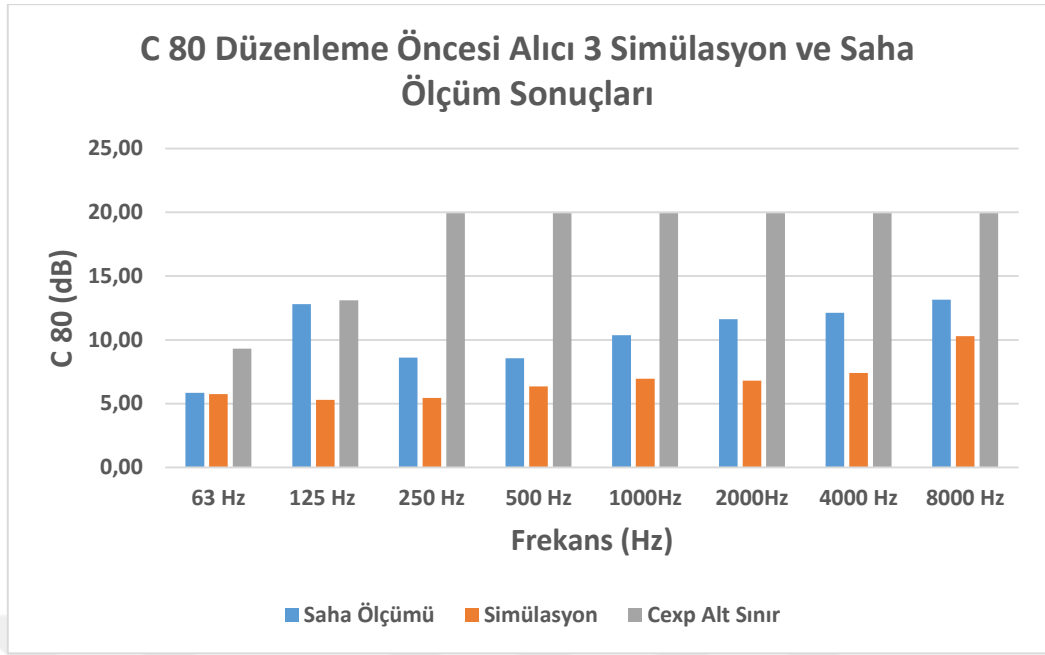


Şekil 5.18 Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.18 Düzenleme öncesi alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Öncesi Alıcı 2 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	6,56	10,49	8,04	9,95	10,85	12,20	11,90	13,57
Simülasyon	6,10	5,55	5,75	6,70	7,45	6,90	7,60	10,75
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Şekil 5.18 ve Tablo 5.18’de görülen düzenleme öncesi alıcı noktası 2’ e göre C 80 verileri, saha ölçümü ve simülasyon sonuçları üzerinden karşılaştırıldığında, saha ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarından daha büyük olduğu görülmektedir. 63 Hz bölgesinde değerler birbirine oldukça yakındır.

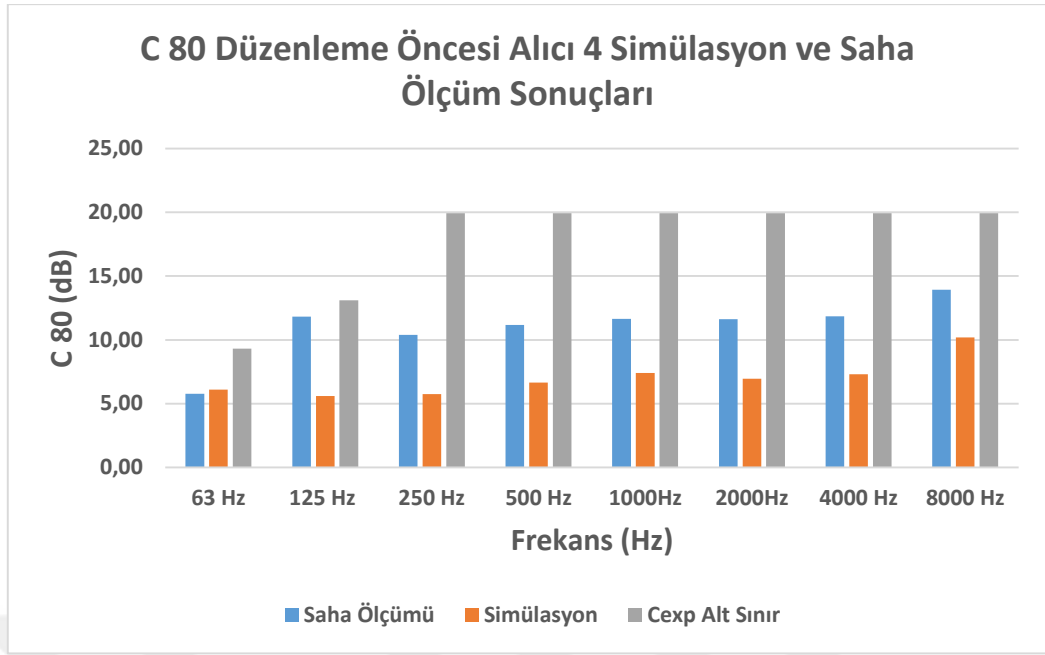


Şekil 5.19 Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.19 Düzenleme öncesi alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Öncesi Alıcı 3 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	5,85	12,80	8,62	8,56	10,37	11,63	12,14	13,14
Simülasyon	5,75	5,30	5,45	6,35	6,95	6,80	7,40	10,30
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Şekil 5.19 ve Tablo 5.19’da görülen düzenleme öncesi alıcı noktası 3’ e göre C 80 verileri Saha ölçümü ve simülasyon sonuçları üzerinden karşılaştırıldığında, saha ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarından daha büyük olduğu görülmektedir. 63 Hz bölgesinde değerler birbirine oldukça yakındır. 125 Hz bölgesinde ise fark iki katından daha fazla olmuştur.



Şekil 5.20 Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

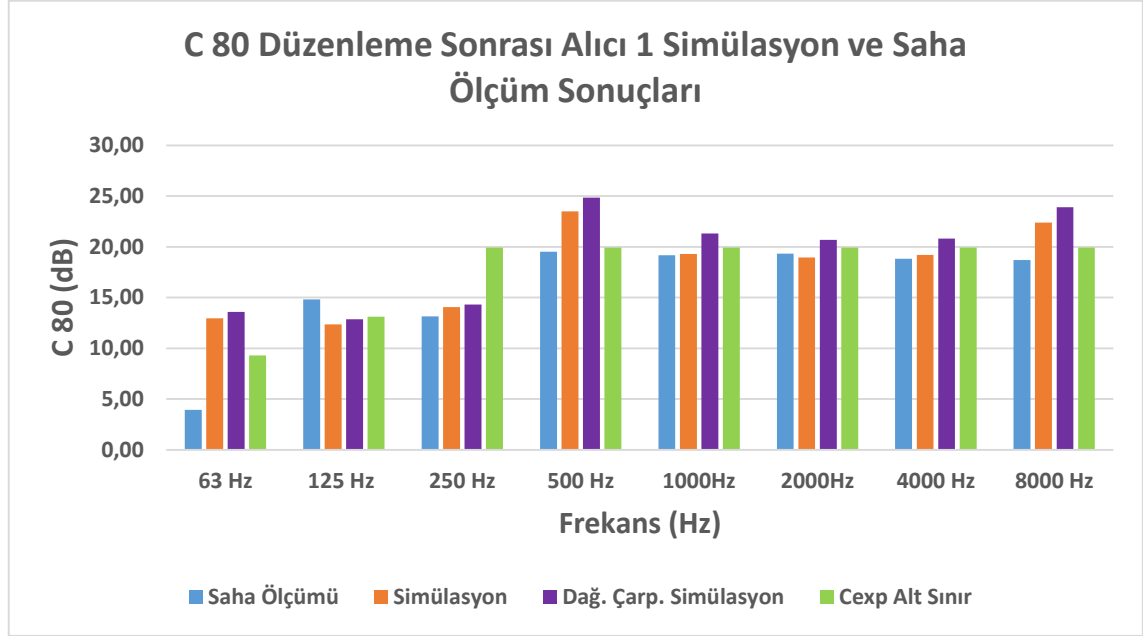
Tablo 5.20 Düzenleme öncesi alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Öncesi Alıcı 4 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	5,78	11,81	10,38	11,16	11,64	11,63	11,85	13,94
Simülasyon	6,10	5,60	5,75	6,65	7,40	6,95	7,30	10,20
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Şekil 5.20 ve tablo 5.20’de görülen düzenleme öncesi alıcı noktası 4’ e göre C 80 verileri Saha ölçümü ve simülasyon sonuçları üzerinden karşılaştırıldığında, 63 Hz dışında saha ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarından daha büyük olduğu görülmektedir. 63 Hz bölgesinde değerler birbirine oldukça yakındır. 125 Hz bölgesinde ise fark iki katından daha fazla olmuştur.

Alıcı noktalarına göre simülasyondan elde edilen C 80 verileri genel olarak bütün frekans bölgelerinde saha ölçüm sonuçlarından yüksek çıkmıştır. 63 Hz bölgesinde simülasyon verileri ile saha ölçüm sonuçlarının hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Simülasyon verilerinin daha düşük çıkmasının sebebi olarak ilk

durumda ortamda dağıtıcı yüzey olarak herhangi bir verinin girilmemesi, ancak beklenmedik yüzeylerde meydana gelen dağılma durumlarının olabileceği düşünülmüştür. Cexp alt sınır değerlerine hiçbir alıcı noktasında ulaşılamamıştır.



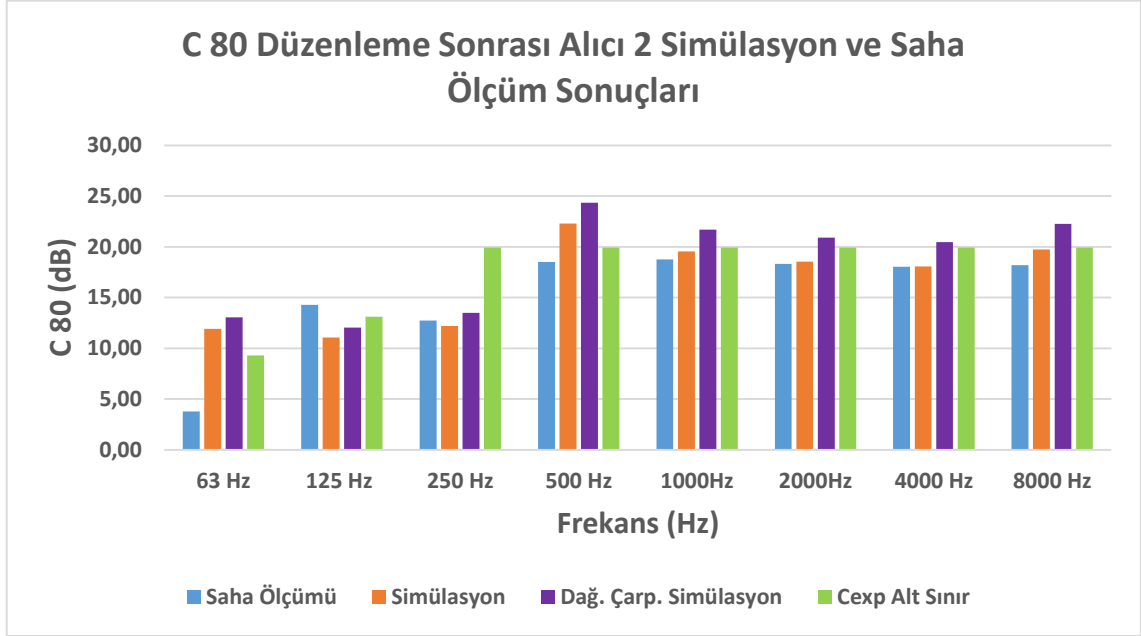
Şekil 5.21 Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.21 Düzenleme sonrası alıcı 1 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Sonrası Alıcı 1 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	3,94	14,83	13,15	19,52	19,16	19,32	18,81	18,70
Simülasyon	12,95	12,35	14,05	23,50	19,30	18,95	19,20	22,40
Dağ. Çarp. Simülasyon	13,60	12,85	14,30	24,85	21,30	20,70	20,80	23,90
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Şekil 5.21 ve Tablo 5.21’de görülen düzenleme sonrası alıcı noktası 1’ e göre 63 Hz dışında saha ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının benzer olduğu grafik

ve tablodan görülmektedir. 63 Hz bölgesinde saha ölçümü C 80 değeri oldukça düşük çıkmıştır. Dağıtma çarpanı kullanılmasının C 80 değerlerini arttırdığı söylenebilmektedir.



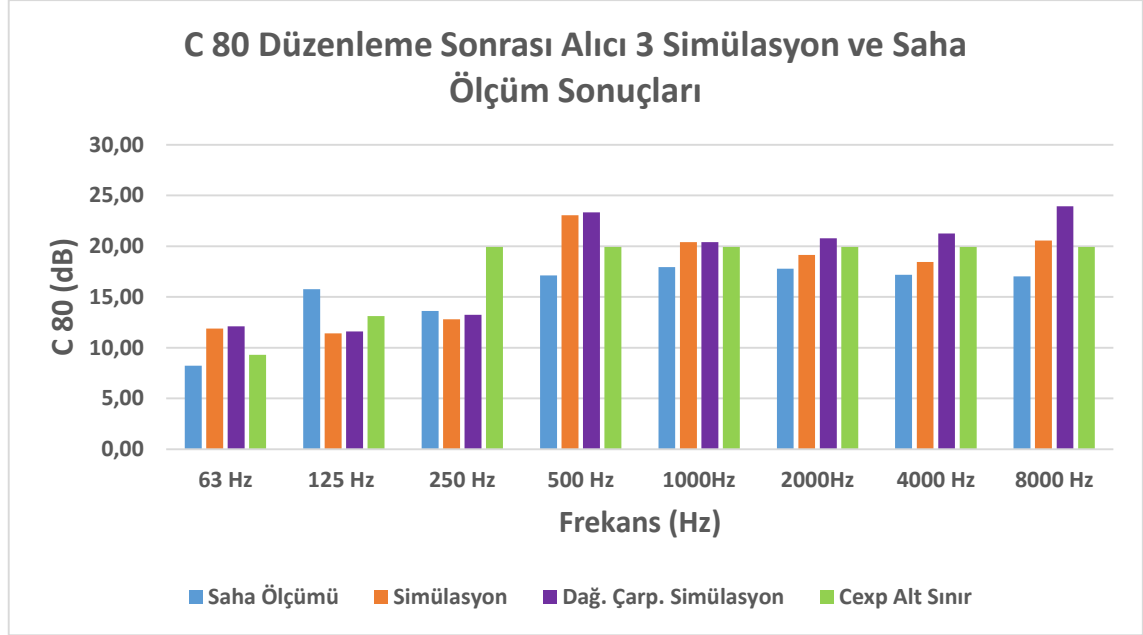
Şekil 5.22 Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.22 Düzenleme sonrası alıcı 2 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Sonrası Alıcı 2 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	3,79	14,28	12,72	18,51	18,76	18,32	18,05	18,20
Simülasyon	11,90	11,05	12,20	22,30	19,55	18,55	18,05	19,75
Dağ. Çarp. Simülasyon	13,05	12,05	13,50	24,35	21,70	20,90	20,45	22,25
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Şekil 5.22 ve Tablo 5.22’de görülen düzenleme sonrası alıcı noktası 2’ e göre 63 Hz dışında saha ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının benzer olduğu grafik ve tablodan görülmektedir. 63 Hz bölgesinde saha ölçümü C 80 değeri oldukça

düşük çıkmıştır. Dağıtma çarpanı kullanılmasının C 80 değerlerini arttırdığı söylenebilmektedir.



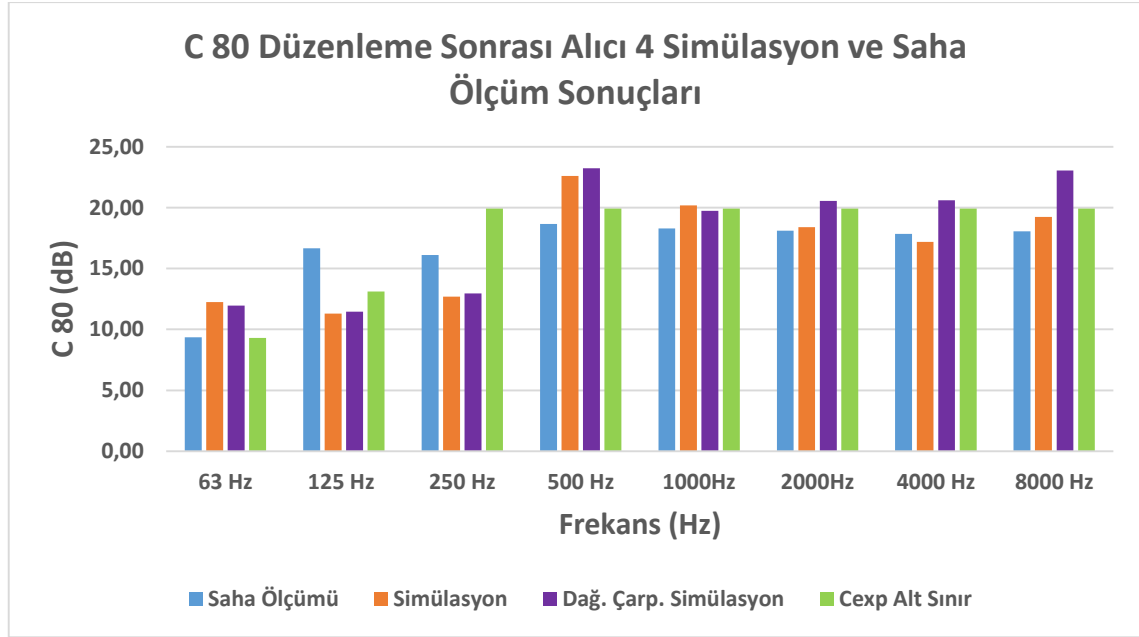
Şekil 5.23 Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.23 Düzenleme sonrası alıcı 3 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Sonrası Alıcı 3 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	8,21	15,75	13,63	17,13	17,95	17,78	17,18	17,05
Simülasyon	11,90	11,40	12,80	23,05	20,40	19,15	18,45	20,55
Dağ. Çarp. Simülasyon	12,10	11,60	13,25	23,35	20,40	20,80	21,25	23,95
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Düzenleme sonrası alıcı noktası 3' e göre 63 Hz bölgesinde diğer alıcı noktalarına göre saha ölçüm sonuçları simülasyon sonuçlarına yaklaşmıştır. 125 Hz bölgesinde saha ölçüm sonuçları daha fazla çıkmış, 250 Hz bölgesinde hemen hemen eşit değerler almıştır. 500 Hz ve üstünde simülasyon sonuçlarının saha ölçüm sonuçlarından daha fazla olduğu Şekil 5.23 ve Tablo 5.23'den anlaşılmaktadır.

Dağıtma çarpanının C 80 değerini üst frekanslara doğru daha fazla arttırdığı söylenebilmektedir.



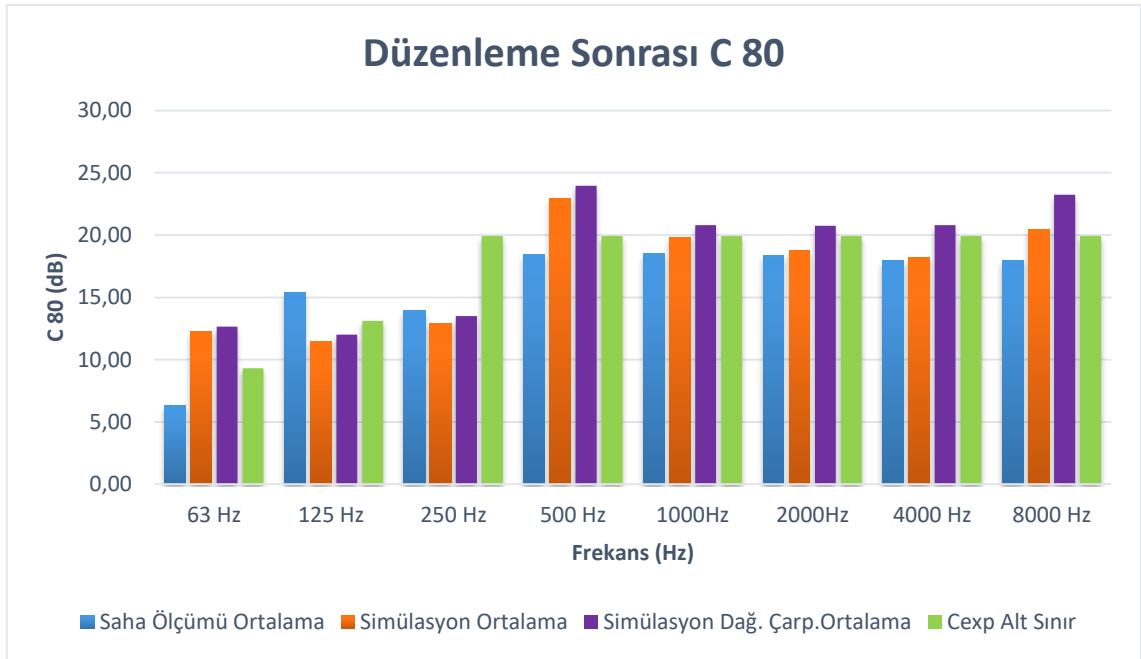
Şekil 5.24 Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.24 Düzenleme sonrası alıcı 4 noktasına göre C 80 simülasyon ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Düzenleme Sonrası Alıcı 4 C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	9,37	16,67	16,11	18,66	18,28	18,11	17,85	18,07
Simülasyon	12,25	11,30	12,70	22,60	20,20	18,40	17,20	19,25
Dağ. Çarp. Simülasyon	11,95	11,45	12,95	23,25	19,75	20,55	20,60	23,05
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93

Şekil 5.24 ve Tablo 5.24’de görülen düzenleme sonrası alıcı noktası 4’ e göre 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde saha ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçlarına göre daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Diğer frekans bölgelerinde simülasyon sonuçlarıyla saha ölçüm sonuçlarının benzer oldukları söylenebilmektedir.

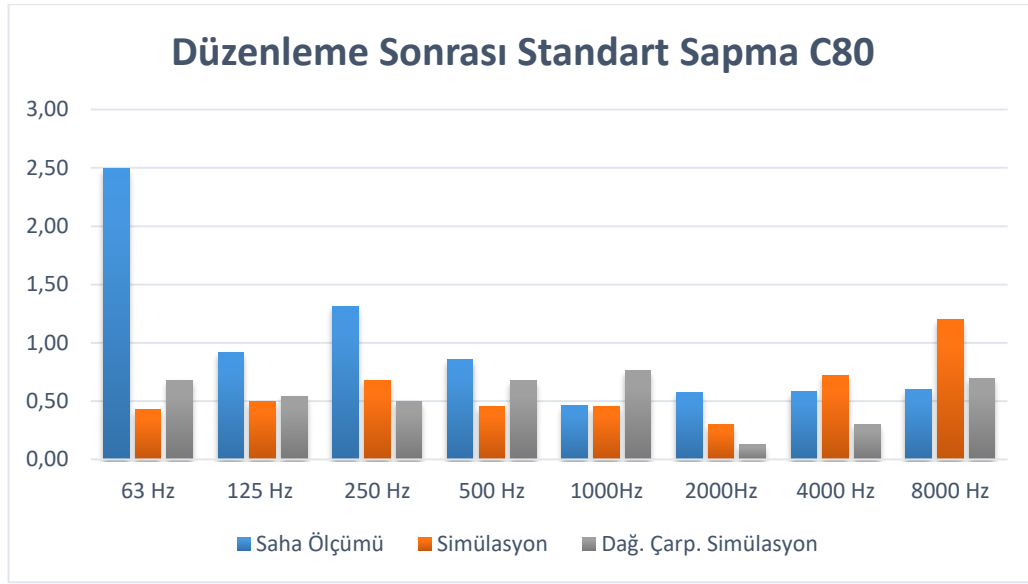
Alıcı noktalarına göre C 80 değerlerini genel olarak değerlendirdiğimizde, 63 Hz dışındaki frekans bölgelerinde saha ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının benzer oldukları belirlenmiştir. Dağıtma çarpanı kullanılmadan elde edilen değerlerin saha sonuçlarına daha yakın değerler aldıkları ortalama değerlerin görüldüğü Şekil 5.25 ve Tablo 5.25’den anlaşılmaktadır. Ancak bu değer farklılıkları çok fazla değildir. Cexp sınır değerler 500 Hz ve üstünde dağıtma çarpanı kullanılan simülasyon uygulamasında geçilmiştir.



Şekil 5.25 Düzenleme sonrası C 80 sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.25 Düzenleme sonrası C 80 sonuçlarının karşılaştırılması

C 80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü Ortalama	6,33	15,38	13,90	18,46	18,54	18,38	17,97	18,00
Simülasyon Ortalama	12,30	11,50	12,90	22,90	19,85	18,75	18,20	20,50
Simülasyon Dağ. Çarp.Ortalama	12,65	12	13,5	23,95	20,8	20,75	20,8	23,25
Cexp Alt Sınır	9,30	13,11	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93	19,93



Şekil 5.26 Düzenleme sonrası C 80 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 5.26 Düzenleme sonrası C 80 standart sapma sonuçlarının karşılaştırılması

Standart Sapma C80	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000H z	2000H z	4000 Hz	8000 Hz
Saha Ölçümü	2,50	0,91	1,32	0,85	0,46	0,57	0,58	0,60
Simülasyon	0,43	0,49	0,68	0,45	0,45	0,30	0,72	1,20
Dağ. Çarp. Simülasyon	0,68	0,54	0,50	0,67	0,76	0,13	0,30	0,70

Alıcı noktalarına göre C 80 değerlerinin birbirinden ne kadar farklılaştığını gösteren standart sapma değerlerinin dağıtma çarpanı kullanılarak yapılan simülasyon uygulamasında birçok frekans bölgesinde en iyi değerleri aldığı Şekil 5.26 ve Tablo 5.26'da görülmektedir. Bunun yanında saha ölçümü sonuçlarının standart sapma değerleri de 63 Hz dışında oldukça düşüktür. Standart sapma sonuçlarına bakarak sesin zaman içinde odaya dağılımının düzgün modellendiğini söyleyebilmekteyiz.

6.1 Kontrol Odası

Kontrol odaları milyarlarca dolarlık müzik endüstrisinin en önemli basamaklarından birisini oluşturmaktadır. Kaydedilen müzik parçalarının düzenlendiği bu odalarda çalışan ses mühendislerinin müzik parçasını kaydedildiği gibi duyabilmeleri gerekmektedir.

Ses kayıt stüdyolarında bulunan kontrol odalarında dinlenen seslerin belli bir kalite de duyulabilmesi için akustik düzenleme yapılması gerekir. Ses tasarımının yapıldığı bu tür odalarda dinlenen sesin doğal özelliklerinin ayırt edilebilmesi için, odanın akustik özelliklerinin sesin doğal halini değiştirmemesi gerekir. Ses dosyası üzerinde düzenleme yapan ses mühendisinin kaydedilen sesi olduğu gibi duyabilmesi için odanın ses karakterinin düzgünleştirilmesi gerekmektedir. Odanın ses karakterini belirlemek için öncelikle odanın rezonans frekanslarının ve yerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Eksensel, teğetsel ve eğik modların frekansları ve yerleri belirlendikten sonra, bunların oda içinde duyumu bozabilecek anomaliler oluşturup oluşturmadığı analiz edilmelidir. Bunun yanı sıra, kontrol odalarında olması gereken optimum yansıma süresi ve netlik değerlerinin sağlanması için, iç yüzey gereçlerine ve oda içinde hangi yüzeylerde kullanılmaları gerektiğine de, hesaplar yardımı ile karar verilmelidir.

Bu çalışmada 43 m³ hacme sahip bir odanın kontrol odası olarak kullanılabilmesi için akustik tasarımı gerçekleştirilmiştir. Düzenleme öncesi mod hesapları yapıldıktan sonra hacim akustiği parametreleri ölçülmüştür. Düzenleme öncesi durumda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Oda oranlarının Bolt alanı dışında olduğu, ayrıca ITU ve EBU standartlarında gösterilen oda oranlarına da uymadığı tespit edilmiştir.
- Odanın Schröder frekansı 133 Hz bulunmuş, bu frekans altında kalan bölgelerde mod problemleri belirlenmiştir.

- Eksensel modlara göre yapılan listeleme sonucunda 93 Hz bölgesinde bulunan 3,0,0 modunun izole durumda bulunduğu kendisinden önce gelen modla arasında 27 Hz, sonra gelen modla da 22 Hz fark olduğu tespit edilmiştir.
- Oda modlarının dağılımının düzensizliği nedeniyle 115 Hz altında oda içerisinde renklenme problemlerinin olabileceği değerlendirilmiştir.
- Yansıma süresi değerleri optimum sınır değerlerin üstünde bulunmuştur. 125 Hz bölgesinde üst sınır değerlere yakinken, 250 Hz bölgesinde üst sınır değere en uzak durumda olduğu gözlenmiştir.
- Düzenleme öncesinde her frekans bölgesi için bütün alıcı bölgelerinde netlik değerinin sınır değerin altında olduğu görülmüştür. $C80_3$ parametresinin alıcı noktalarına göre 10 ile 12 dB arasında ve sınır değer olarak bulunan 19,93 dB değerinin altında olduğu belirlenmiştir.
- Düzenleme öncesinde Odeon T 30 verilerinin, saha ölçüm sonuçlarına göre 63 Hz dışında daha yukarıda sonuçlar verdiği gözlenmiştir. 63 Hz merkez oktav frekansında 0,75 saniye ile aynı sonuçları vermiştir. Bunun sebebi olarak Oda'nın ilk halinde sadece sert ve pürüzsüz duvarların olması sonucunda Odeon programında tanımlanan yüzeylerin yansıtıcı olarak tanımlanması ve dışarı kaçan seslerin Odeon Akustik simülasyon programında hesaba katılmaması olarak belirlenmiştir. Ayrıca oda içerisindeki duvar, masa, kapı gibi yüzeylerin öz titreşim frekanslarının da bu sonuçta etkili olduğu düşünülmüştür.

Düzenleme sonrası bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Kontrol odası yansıma süresi düzenleme öncesi ve düzenleme sonrası ölçümleri karşılaştırıldığında, yansıma süresinin 125 Hz ile 500 Hz ve üstünde optimum aralığa girdiğini, 250 Hz de yansıma süresinin yarıya indiğini ancak yine de sınır değerin üstünde kaldığı bulgu olarak sunulmuştur.
- 500 Hz ve üstü frekanslar için öngörülen difüzyon etkisinin gerçekleşmesi hesaplama sonucuyla düzenleme sonrası ölçüm sonucunu

karşılaştırdığımızda anlaşılmaktadır. Bulgu olarak koyabileceğimiz bu durum difüzyonun ses yutumuna, yayınık ses alanı yaratarak katkı sağladığını kanıtlamaktadır. Hipotez olarak konulan ve literatürde olan yayınık alan etkisi, bu çalışmada da hesaplanmış ve kanıtlanmıştır.

- 63 Hz bölgesinde ise hesaplanan değerlere ulaşamamış, Helmholtz panellerin etkisi bu frekans bölgesinde görülmemiştir. Bu durumun iki nedeni olabileceği değerlendirilmiştir. Köşelere konumlandırılan panellerin paralel duvarlar arasında oluşan eksensel modlara etki etmemesi sonucu, alt frekans bölgesinde yansıma süresinin değişmemesi veya bu frekans bölgesinde görebildiğimiz ölçüm zorlukları sonucu 63 Hz bölgesi için yeterli iyileştirme sağlanamamasıdır.
- Düzenleme sonrasında 63 Hz bölgesinde alıcı 1,2 ve 4' ün T 30 değerlerinin birbirine yakın olduğu ancak alıcı 3' ün diğer noktalara göre ortalama 0,16 saniye daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu frekans bölgesinde standart sapma değeri alıcı 3' ün farklılaşmasından dolayı 0,08 olarak belirlenmiştir. 125 Hz bölgesinde ise standart sapmanın 0,07 'den 0,03' e düştüğü sesin mekânsal dağılımının düzeldiği gözlemlenmiştir. Diğer frekans bölgelerinde de standart sapma değerlerinin mekânsal dağılım açısından çok iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur. 1000 Hz ve üstünde standart sapma 0,0 değerlerine gerilemiştir.
- C_{80_3} ve C_{50_3} parametreleri için bütün alıcı noktalarında düzenleme öncesine göre düzenleme sonrasında ortalama 7 dB'lik artışlar görülmüştür. 63 Hz bölgesi için alıcı 1 ve alıcı 2 de C 80 ve C 50 değerlerinin azaldığı, alıcı 3 ve alıcı 4 noktaları için ufak artışlar gösterdiği belirlenmiştir. Sadece alıcı 3 noktası için C 50 değeri 125 Hz ve 250 Hz frekans bölgelerinde azalmış, diğer alıcı noktaları için hem C 80 hem de C 50 değerleri 125 Hz-8000 Hz aralığında artış göstermiştir. Bu sonuçlara bakarak yapılan hacim akustiği düzenlemesinin yansıma sürelerini azaltırken netlik parametrelerini arttırdığı yorumu yapılabilmektedir.
- C 80 değerlerine bakarak 63 Hz bölgesinde enerjinin ortama zaman içerisinde eşit dağılmadığını, ilk duruma göre standart sapma değerinin

arttığı gözlenmiştir. Diğer frekans bölgelerinde dağılımın ilk duruma göre daha iyi olduğu söylenebilir. 2000 Hz ve 4000 Hz' de standart sapma değerleri artış gösterse de mutlak olarak dağılım kötü duruma gelmemiştir. Düzenleme sonrasında 250 Hz dışında Cexp sınır değerlerine yaklaşılmış bazı alıcı noktaları için geçilmiştir.

- Kontrol odalarında hacim akustiği tasarımı yapılırken 63 Hz ve 125 Hz bölgesinde Odeon verilerinin dağıtma çarpanı olmadan dikkate alınabileceği, aynı zamanda bu bölge için saha ölçümünün zorluğu da düşünülerek öznel değerlendirmelerinde kullanılabileceği belirlenmiştir.
- Kontrol odası akustik tasarımı yapılırken Odeon verilerinin, yansıma süresi hesaplama sonuçları ile beraber kullanılarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Alt frekans bölgeleri için dağıtma çarpanı kullanılmadan Odeon verilerinin kullanılmasının daha iyi olacağı gözlenmiştir. Yansıma süresi hesap cetveli kullanılacaksa 500 Hz ve üstü frekanslarda dağılma faktöründen dolayı hesaplanan sonuçlardan yaklaşık 0,1 saniye daha altta değerler alacağı öngörülmelidir.
- Alıcı noktalarına göre C 80 değerlerini genel olarak değerlendirdiğimizde, 63 Hz dışındaki frekans bölgelerinde saha ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının benzer oldukları belirlenmiştir. Dağıtma çarpanı kullanılmadan elde edilen değerlerin saha sonuçlarına daha yakın değerler aldıkları ortalama değer tablo ve grafiğinden anlaşılmaktadır. Ancak bu değer farklılıkları çok fazla değildir.
- Alıcı noktalarına göre C 80 değerlerinin birbirinden ne kadar farklılaştığını gösteren standart sapma değerlerinin dağıtma çarpanı kullanılarak yapılan simülasyon uygulamasında en iyi değerleri aldığı görülmektedir. Bunun yanında saha ölçümü sonuçlarının standart sapma değerleri de 63 Hz dışında oldukça düşüktür. Standart sapma sonuçlarına bakarak sesin zaman içinde odaya dağılımının düzgün modellendiğini söylenebilmektedir.

6.2 Kayıt Odası

Kayıt odaları sesin kayıt altına alındığı kapalı mekanlardır. Bu odalarda mikrofon konumlaması önem kazanmaktadır. Kapalı ortamın akustik karakteri mikrofon tarafından kaydedilen sesi etkilemektedir. Özellikle küçük mekanlarda mod problemlerinin yoğunluğundan dolayı bu durum daha net bir şekilde hissedilebilmektedir. Oda modlarının yarattığı olumsuz etkinin zayıflatılması, yansıma süresi değerlerinin optimum aralığa getirilmesi, sesin mekâna ve zamana düzgün dağılımının gerçekleştirilmesi ve sönüm şekillerinin düzgün olmasını sağlamak için kayıt odalarının akustik tasarımı yapılmalıdır.

Bu çalışmada 26 m³ hacme sahip bir odanın kayıt odası olarak kullanılabilmesi için akustik tasarımı gerçekleştirilmiştir. Düzenleme öncesi mod hesapları yapıldıktan sonra hacim akustiği parametreleri ölçülmüştür. Düzenleme öncesi durumda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Oda oranlarının Bolt alanı dışında olduğu tespit edilmiştir.
- Odanın Schröder frekansı 177 Hz bulunmuş, bu frekans altında kalan bölgelerde mod problemleri belirlenmiştir.
- 65 Hz ve 131Hz ve 195 Hz frekans bölgelerinde eksensel mod çakışması vardır. Genişlik ve yükseklik ölçülerinin çok yakın olmasından dolayı rezonans probleminin oluşacağı öngörülmüştür.
- 46,35 Hz frekansında ki ilk eksensel mod izole durumdadır. 64,96 ve 65,71 Hz frekanslarında ki iki eksensel mod ise birbirlerine çok yakın ve mod bant genişlikleri içerisinde kalmaktadır. Gilford kriterine göre eksensel mod çakışması olduğu için renklenme olacağı öngörülmüştür. 92,7 Hz yine izole konumdadır. Kendisinden önceki eksensel mod ile 27 Hz, sonraki ile de 37 Hz frekans farkı vardır. 92,7 Hz frekansında da boamlama olması beklenmektedir. 129,92 Hz ile 131,42 Hz eksensel modları da çok yakın ve mod bant genişlikleri içerisinde kalmaktadır. Bu frekans bölgesinde de renklenme olacaktır. Oda modlarının dağılımının düzensizliği nedeniyle 139 Hz' e kadar olan frekanslar birbirinden ayrık, çakışmalar olan bölgeler

içermektedir. Odanın küçük olması dolayısıyla bu frekans bölgesinin mümkün olduğunca yutulması gerektiği analiz edilmiştir.

- Yansıma süresi değerlerinin 500 Hz ve üstü frekans bölgelerinde optimum sınır değerlere yakın olduğu görülmüştür. Dört duvarın da kumaş kaplı süngerlerle kaplı olması, orta ve üst frekans bölgelerinde ses yutumunu arttırmıştır. Ancak alt frekans bölgelerinde bu paneller ses yutumu gerçekleştirmediği için yansıma süreleri orta ve üst frekanslara göre oldukça fazladır. Bu durum, odadaki sesin çamurlu algılanmasına neden olmaktadır. Bas seslerin orta ve yüksek frekans seslere göre daha uzun yansıma sürelerine sahip olması çamurlu algılanmayı sağlamaktadır.
- EDT değerlerinin diğer yansıma sürelerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. İlk 10 dB'lik düşüşün daha hızlı olduğu anlamına gelen bu fark dikkate alınarak QRD difüzörlerin ve helmholtz rezonatör panellerin kullanımı sonucu sesin oda içerisinde zamansal dağılımının düzenlenmesi düşünülmüştür.
- Dört duvarın kumaş kaplı süngerle kaplı olması sonucu üst ve orta frekans yansıma sürelerinin çok düşük olması, bas oranı parametresini yükseltmektedir. Bu durum da distorsiyon oluşumunu sağlamaktadır.
- Bas oranı düzenleme öncesinde 2,67 bulunmuştur. Bu oran oldukça yüksektir.
- EDT, T 10, T 20 ve T 30 verilerinin alıcı noktalarındaki dağılımlarına baktığımızda düzensizliklerin olduğu, standart sapma değerlerinin yüksek çıktığı söylenebilmektedir.
- Düzenleme öncesinde T 30 değerlerine bakarak 250 Hz ve 500 Hz ses dağılımlarının çok düzgün olduğu, diğer frekans bölgelerinde ise çok ufak farklılıklar olabileceği söylenebilmektedir.
- Düzenleme öncesi C 80 değerinin 63 Hz ve 500 Hz bölgelerinde dağılımının düzgün olduğu söylenebilmektedir. 2000, 4000 Hz ve 8000 Hz bölgelerinde standart sapma değerlerinin yüksek olduğu, diğer frekans bölgelerinde ise uyumsuzluklar olduğu belirlenmiştir.

- Cexp sınır değerlere göre C 80 değerlerine baktığımızda, düzenleme öncesinde 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz bölgelerinde bütün alıcı noktaları ve ortalama için sınır değerinin altında kalmıştır. 500 Hz ve üstünde ise sınır değerler aralığında olduğu grafikten görülmektedir. Sadece alıcı 3 noktasında 2000 Hz ve üstünde sınır değerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak orta ve yüksek frekans yutucu yüzeylerin odanın ilk halinde duvarlarda olması düşünülmüştür.

Düzenleme sonrası sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Yansıma süresinin hesaplanan değerlere yakın olarak gerçekleştiği, sadece 63 Hz bölgesinde biraz yukarıda kaldığı, ancak EDT ve T10 verilerinde bu frekans bölgesinde de optimum değer aralığının sağlandığı bulunmuştur. Orta ve üst frekans bölgesinde ki yansıma süresinin optimum değer aralığında kalacak şekilde azalımı da difüzörlerin hedeflenen yayıncı ses alanını oluşturduğunu göstermiştir.
- Her ne kadar 63 Hz bölgesinde T30 değeri optimum sınır değerinin üstünde de olsa T10 ve EDT değeri sınır değerinin içindedir. 250 Hz bölgesinin sınır değerinin sadece 0,03 saniye üzerinde olduğu, bu sonucun kabul edilebilir olduğu değerlendirilmiştir. Düzenleme öncesinde sınır değerler içerisinde yer alan 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 8000 Hz bölgeleri yapılan düzenlemeden az bir miktar etkilenecek yine sınır değerler içerisinde kalmıştır. Seçilen akustik gereçlerin orta ve yüksek frekans ses yutuculuklarının az olması bu sonucu doğurmuştur. Yan duvara konulan 6 adet QRD difüzör ve arka duvara gözlem penceresinin üstüne konumlandırılan skyliner difüzörün, bu frekans bölgelerinde ki sesleri ortama dağıtması sonucu sınırlı bir yansıma süresi azalımı oluşmuştur. Bu durum tasarım aşamasında düşünülmüş olduğundan sınır değerler korunmuştur.
- Alt frekans bölgeleri için tasarlanan helmholtz panellerin bu frekans bölgelerinde ki sorunları gidermesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak için helmholtz paneller, sorunun olduğu paralel duvarlar arasına, modların

basınç noktalarının maksimum olduğu yerlere monte edilmiştir. Bu yerleşim yapılırken kayıt yapılacak mikrofön konumları göz önüne alınmıştır.

- EDT, T10, T20, T30 verilerinin karşılaştırması sonucu bütün alıcı noktalarındaki ilk durum ile düzenleme sonrası durum değerlendirildiğinde yapılan düzenlemenin 125 Hz ve üstü frekanslarda yansıma sürelerinin dağılımını düzelttiğini, sönüm eğrilerinde ki düzensizliklerde iyileştirmeler sağladığını söyleyebiliriz. Standart sapma değerlerinde ki azalmalar bu iyileştirmenin göstergesi olarak kabul edilmektedir.
- T 30 verilerinin alıcı noktalarına göre karşılaştırılması sonucu düzenleme sonrasında 63 Hz ve 250 Hz dışında T 30 değerlerinin birbirine yaklaştıklarını ve bunun sonucu olarak standart sapma değerlerinin mekânsal dağılım açısından çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 1000 Hz ve üstünde standart sapma 0,0 değerlerine gerilemiştir.
- C 80 ve C 50 değerlerinin karşılaştırılmasında alıcı noktalarına göre farklılıkların olduğu, anlamlı bir sonuç oluşmadığı bulunmuştur.
- C 80 ve C 50 verilerinin düzenleme öncesi ve sonrası değişimlerine baktığımızda bütün alıcı noktalarında 63 Hz, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde arttığı, 500 Hz ve üstünde ise azalma miktarının giderek arttığı gözlenmiştir. C_{80_3} ve C_{50_3} parametrelerinin ise düzenleme sonrasında azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak odanın ilk durumunda duvarları tamamıyla kaplayan kumaş kaplı sünger panellerin bazı bölümlerinin üstüne ve tavana uygulanan helmholtz paneller ile QRD difüzörlerin alt frekans bölgelerinde yaptığı iyileştirme olarak görülmektedir. Alt frekans bölgelerinde ihtiyaç duyulan yutuculuk miktarı artırılarak C 80 değerleri yükseltilmiştir
- Düzenleme sonrasında alıcı noktalarına göre C 80 dağılımının 63 Hz bölgesinde kötüleştiği, 125 Hz ve 250 Hz bölgelerinde aynı kaldığı, üst frekanslara doğru ise enerjinin zaman içerisinde ortama dağılımının

giderek iyileştiği standart sapma değerlerinin karşılaştırmasından anlaşılmıştır.

6.3 Genel Sonuçlar

- Dağıtıcı yüzeylerin kullanılması sonucu orta ve yüksek frekans ses yutumunun arttığı her iki oda içinde gözlenmiştir. Bu nedenle tasarım yapılmadan önce yansım süresi hesap cetveli kullanılacaksa dağıtıcı yüzeylerin etkisi göz önüne alınarak orta ve yüksek frekanslarda % 10 kadar yutuculuklar arttırılmalıdır.
- Literatürde yer alan oda modlarının yutulması için kullanılacak bas yutucu panellerin oda köşelerinde uygulanması yerine modların oluştuğu paralel duvarlar arasında kullanımının daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.
- Duvarların tamamen açık gözenekli sünger tarzı ses yutucu yüzeylerle kaplanmasının bas dengesini bozduğu grlmştir. Kayıt odasının düzenleme öncesi durumunda duvarların ses yutucu sünger panellerle kaplı halinde yapılan ölçümlerde bas oranı 2,68 bulunmuştur. Bu tür ses yutucu malzemelerin orta ve st frekansları yuttuğu ancak alt frekans bölgesini yutamadığı sonuçlardan anlaşılmıştır.
- Alt frekans bölgesinde etkili ses yutucu panellerin uygulanması sonucu C 80 değerlerinin yükseldiği grlmştir. Orta ve st frekans bölgelerinde ilk duruma göre yeni ses yutucu malzeme kullanılmamasına rağmen dağıtıcı yüzeylerin kullanımından dolayı ses yutuculuk artmış ancak C 80 değerleri azalmıştır. Dağıtıcı yüzeylerin kullanımının C 80 değerlerini orta ve yüksek frekans bölgelerinde azalttığı grlmştir.
- Simülasyon kullanımında dağıtma faktörü uygulanarak elde edilen sonuçların saha ölçüm sonuçlarına göre, orta ve st frekans bölgelerinde daha yakın sonuçlar verdiği, alt frekans bölgelerinde dağıtma faktörü kullanılmadan yapılan simülasyonun daha yakın sonuçlar ortaya çıkardığı grlmştir. Tasarım esnasında alt frekans bölgeleri için kararlar alınırken dağıtma çarpanı kullanılmayan simülasyon verilerinin dikkate alınması,

orta ve üst frekanslar için dağıtma çarpanlı simülasyon verilerinin kullanılmasının daha uygun olacağı söylenebilir.

Kayıt ve kontrol odalarında sesin doğru duyulup kayıt edilebilmesi için uygun akustik koşulların yaratılması diğer mekân türlerine göre daha fazla önem taşımaktadır. Kayıt edilen ve düzenlenen sesin farklı ortamlarda dinleyecek kişiler tarafından kaliteli bir şekilde duyulması, müzik prodüksiyonunun başarısını belirlemektedir. Kaliteli prodüksiyonların daha fazla kişi tarafından beğenilmesi ve başarıya ulaşmasının birinci basamağı akustik düzenlemesi yapılmış mekânlarda kayıt edilmesi ve düzenlenmesidir. Bu nedenle, bu çalışmada örneklendiği gibi, ses kayıt ve kontrol odalarında, sesin niteliği ve niceliği konusunda daha detaylı analizlerin ve hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

-
- [1] T. Somerville, "Acoustics in The B.B.C.," *BBC Res. Dep. Rep. NoB.068*, vol. 15, no. 6, pp. 375–376, 1958, doi: 10.5951/mt.15.6.0375.
 - [2] A. B. McLaren, J. Kirke, H.L., Howe, "Acoustics of Cardiff Studios," *BBC Res. Dep. Rep. NoB.005/2*, pp. 1–9, 1934.
 - [3] J. Howe, A.B., McLaren, "Acoustics of The Manchester Studios," *BBC Res. Dep. Rep. NoB.011*, 1935.
 - [4] A. L. Howe, A.B., McLaren, J., Newman, *Acoustics of Maide Vale Studio*. BBC Research Report No:B.014, 1936.
 - [5] A. L. Howe, A.B., McLaren, J., Newman, "Acoustics of Alexander palace Studios," *BBC Res. Dep. Rep. NoB.016*, no. 1, 1937.
 - [6] H. D. Harwood and K. F. L. Lansdowne, "ACOUSTIC SCALING: the effect on acoustic quality of increasing the height of a model studio," 1974.
 - [7] M. S. Jovanovic, "Acoustics of BK Studio Alfa Preprint 4255 (P-8) Acoustics of BK TV Studio ALFA," *AES Conv. Pap.*, vol. 55, 1996.
 - [8] D. Stamac, Ivan., Mladen, Skalec., Zenko, "ONE-YEAR EXPERIENCE WITH REBUILT CONTROL ROOM IN MARIBOR," *AES Conv. Pap.*, vol. 102, 1997.
 - [9] P. Kamińska, M., Kobyłt and B. K. and J. S. Sokolnicki, "Convention Paper," *Audio Eng. Soc. Conv. Pap. 8890*, pp. 1–11, 2013.
 - [10] L. Rizzi and F. Nastasi, "Small studios with gypsum board sound insulation: a review of their room acoustics, details at the low frequencies," *AES Conv. Pap. 7467*, 2008.
 - [11] J. Zhang, Y. Zhang, Z. Zhou, and M. Fang, "Design and analysis of acoustic reforms of studio," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 399, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/399/1/012060.
 - [12] C. C. J. M. Hak, "The effect of the acoustics of sound control rooms on the perceived acoustics of a live concert hall recording," *Proc. 11th WSEAS Int.*

- Conf. Acoust. Music Theory Appl. AMTA '10*, no. July, pp. 55–60, 2010.
- [13] J. L. M. Milan, “Convention Paper 6502 recording studio,” *AES Conv. Pap. 6502*, pp. 1–9, 2005.
- [14] M. A. Błaszak, “Acoustic design of small rectangular rooms: Normal frequency statistics,” *Appl. Acoust.*, vol. 69, no. 12, pp. 1356–1360, 2008, doi: 10.1016/j.apacoust.2007.10.005.
- [15] X. Zhou, M. Späh, K. Hengst, and T. Zhang, “Predicting the reverberation time in rectangular rooms with non-uniform absorption distribution,” *Appl. Acoust.*, vol. 171, p. 107539, 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107539.
- [16] K. Rabisse, J. Ducourneau, A. Faiz, and N. Trompette, “Numerical modelling of sound propagation in rooms bounded by walls with rectangular-shaped irregularities and frequency-dependent impedance,” *J. Sound Vib.*, vol. 440, pp. 291–314, 2019, doi: 10.1016/j.jsv.2018.08.059.
- [17] J. Schmalte, Hoiger; Noy, Dirk; Feistel, Stefan; Hauser, Gabriel; Ahnert, Wolfgang; Storyk, “Accurate Acoustic Modeling of Small,” *AES Conv. Pap. 8457*, 2011.
- [18] B. J. Benny and K. McNally, “University of Victoria Sound Recording Studio Renovation,” Dublin, 2019.
- [19] “<https://odeon.dk/>.” <https://odeon.dk/>.
- [20] M. Long, “Design of Studios and Listening Rooms,” *Archit. Acoust.*, pp. 829–871, 2014, doi: 10.1016/b978-0-12-398258-2.00021-0.
- [21] G. Jones, D. Layer, and T. Osenkowsky, “National Association of Broadcasters Engineering Handbook,” *Natl. Assoc. Broadcast. Eng. Handb.*, 2013, doi: 10.4324/9780080927282.
- [22] P. Newell, *Recording Studio Design*, 3.Edition. UK: Elsevier Ltd, 2012.
- [23] European Broadcasting Union, “EBU Tech. 3276 - 2nd Edition - Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two – channel stereophonic,” *Ebu*, vol. 3276, no. May, pp. 2–19, 1998.

- [24] R.-B. Itu-R 1116, “1116-1: Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems,” *Int. Telecommun. Union, Geneva*, pp. 1–26, 1997, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:METH ODS+FOR+THE+SUBJECTIVE+ASSESSMENT+OF+SMALL+IMPAIRME NTS+IN+AUDIO+SYSTEMS+INCLUDING+MULTICHANNEL+SOUND+ SYSTEMS#0>.
- [25] P. Cirrus Research, “Calculation of NR & NC Curves in the optimus sound level meter and the NoiseTools software,” 2011. [Online]. Available: http://www.cirrusresearch.co.uk/library/documents/technical_papers/TN 31_Calculcation_of_NR_and_NC_Curves_in_the_optimus_sound_level_me ter_and_NoiseTools_software.pdf.
- [26] M. Kleiner and J. Tichy, *Acoustics of Small Rooms*, no. 1. CRC Press, 2014.
- [27] Çevre ve şehircilik bakanlığı, “Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik,” 2017.
- [28] D. M. Egan, *Architectural Acoustics*. USA: J Ross Publishing, 2007.
- [29] F. A. Everest, *Master Handbook of Acoustics*, vol. 53, no. 9. Mc Graw Hill, 2001.
- [30] T. Sakuma, S. Sakamoto, and T. Otsuru, *Computational Simulation in Architectural and Environmental Acoustics*. 2014.
- [31] R. Walker, “Acoustic criteria and specification,” *BBC Res. Dev. White Pap.*, vol. WHP 021, no. January, pp. 1–44, 2002.
- [32] TS EN ISO 3382-1, “Akustik - Odaların Akustik Parametrelerinin Ölçülmesi -Bölüm 1: Gösteri Mekânları,” 2010.
- [33] TS EN ISO 3382-2, “Akustik - Odaların Akustik Parametrelerinin Ölçülmesi -Bölüm 2: Sıradan odalarda çınlama süresi,” 2009.
- [34] A. Everest and M. Shea, “how to build a small budget recording studio.pdf.” Mc Graw Hill, USA, 2012.

- [35] X. Qiu, "Acoustic Textiles, Textile Science and Clothing Technology," no. October 2016, R. Nayak and P. and R., Eds. Singapur: Springer Science+Business Media, 2014.
- [36] P. H. C. Walker, R. , Legate, "The effect of fabric coverings on the acoustic performance of modular absorbers," *BBC Res. Dep. Rep. Nord 1981/8*, 1981.
- [37] D. R. Raichel, *The Science and Applications of Acoustics Second Edition*. New York: Springer Science+Business Media, Inc, 2006.
- [38] S. Errede, "Acoustics of Small Rooms, Home Listening Rooms, Recording Studios," *UIUC Phys. 406*, pp. 1–35, 2017, [Online]. Available: https://courses.physics.illinois.edu/phys406/lecture_notes/p406pom_lecture_notes/p406pom_lect10_part2.pdf.
- [39] H. Kuttruff, "Room Acoustics." Spon Press, London, 2009.
- [40] N. Akdağ Yüğrük and N. İlgürel, "Akustik Ders Notları," İstanbul, 2019.
- [41] K. Kowalczyk, M. Van Walstijn, and D. Murphy, "A Phase Grating Approach to Modeling Surface Diffusion in FDTD Room Acoustics Simulations," vol. 19, no. 3, pp. 528–537, 2011.
- [42] <https://www.artalabs.hr/>, "Arta Ölçüm Programı." .
- [43] <https://amcoustics.com/tools/amroc?>, "Oda Mod Hesaplama." .
- [44] S. Masamichi, Otani., Toshio, Wakatsuki., Mikihiko, Okamoto. Mitsuo, Kubo. and Masaki, "Architectural Acoustic Design of a Sound Effect Studio for Multi-channel Recording," *AES Conv. Pap.*, vol. 109, 2000.
- [45] N. İlgürel, "Yansıma Süresi Hesap Cetveli," 2019.
- [46] K. Keskin, "Röportaj," 2020.
- [47] <https://cevrekoruma.ibb.istanbul/gurultu-haritalari/>, "İstanbul Gürültü Haritaları." .
- [48] "<https://docplayer.biz.tr/5202422-Binalarin-akustik-tasarimi-uygulamasi->

ve-denetlenmesi-kilavuzu.html.” .

[49] Z. Yüksel Can and N. İlgürel, “Oditoryum Akustiği Ders Notları 2,” 2014.



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. M. Tıraş ve N. Yüğrük Akdağ, “Kontrol Odalarının Hacim Akustiği Tasarımında Simülasyon, Hesaplama cetveli ve Saha Ölçümlerinin Kullanılması ” 5. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, 2021

