



## Evaluation of room acoustics in the control rooms of recording studios through a case study

Murat Tıraş\*<sup>ID</sup>, Neşe Yüğrük Akdağ<sup>ID</sup>

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Yıldız Technical University, 34349, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

### Highlights:

- Determination of method in the design of room acoustics of control rooms
- Design, implementation and impact of acoustic instruments
- Measuring the effectiveness of the design with field measurements

### Keywords:

- Control room
- reverberation time
- room acoustics
- clarity parameter
- helmholtz resonators

### Article Info:

Research Article  
Received: 09.09.2022  
Accepted: 23.06.2023

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1172980

### Acknowledgement:

We would like to thank Mr. Kerem Keskin and RIST Istanbul company for sponsoring this study.

### Correspondence:

Author: Murat Tıraş  
e-mail: murattiras@itu.edu.tr  
phone: +90 535 452 9966

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, acoustic design and application was made in order to use a 43 m<sup>3</sup> room as a control room. Acoustic equipment to be used has been designed and manufactured. Positions of acoustic instruments were determined by considering room modes and room acoustic parameters. Field measurements were made before the arrangement and the data to be obtained after the arrangement were calculated. After the arrangement, the field measurements were repeated and the success of the application was evaluated. The effect of the diffuse sound field has been revealed, and suggestions have been put forward for optimum clarity parameter values. The change in the reverberation time values of the room that is acoustically designed as the control room is as in the Figure A.

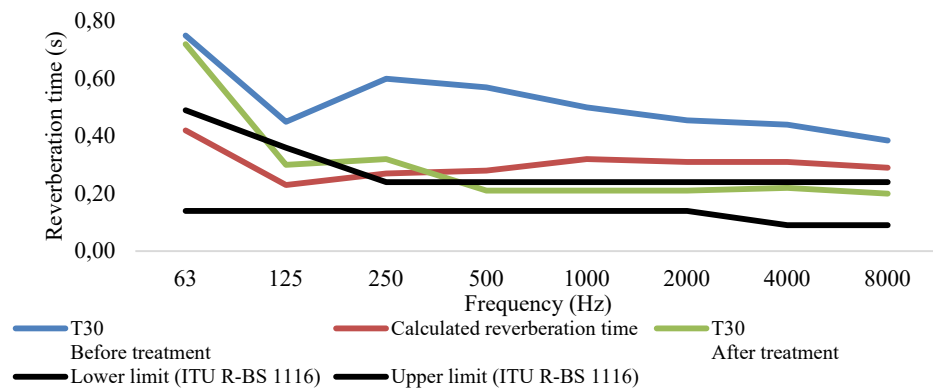


Figure A. T30 values before and after treatment

**Purpose:** The aim of this study is to determine the factors affecting the design of room acoustics to be made in sound control rooms and to reveal the principles of their use during design.

### Theory and Methods:

In this study, the reverberation time measurements of a room to be used as a control room were made before the arrangement, the room modes were determined and the room acoustics was designed. After the implementation of the design, final measurements were made and it was evaluated whether the planned optimum values were reached.

### Results:

The realization of the diffusion effect predicted for frequencies of 500 Hz and above can be understood when we compare the calculation result with the measurement result after the regulation. This situation, which we can put as a finding, proves that diffusion contributes to sound absorption by creating a diffuse sound field. The diffuse field effect, which was put as a hypothesis and is in the literature, was also calculated and proven in this study.

### Conclusion:

When evaluated in general, it has been seen that the acoustic instruments used fulfill their function. The improvement levels at 125 Hz and above frequencies were found to be satisfactory. Although the 250 Hz region was slightly above the limit values, the reverberation time decreased by half compared to the first situation. Necessary improvement could not be observed in the 63 Hz region.



## Kayıt stüdyolarının kontrol odalarında hacim akustiğinin bir vaka üzerinden değerlendirilmesi

Murat Tıraş\*<sup>ID</sup>, Neşe Yüğrük Akdağ<sup>ID</sup>

Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34349, Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- Kontrol odalarının hacim akustiği tasarımında yöntem belirleme
- Akustik gereçlerin tasarımı, uygulanması ve etkisi
- Saha ölçümleri ile tasarımın etkinliğinin ölçülmesi

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 09.09.2022

Kabul: 23.06.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1172980

#### Anahtar Kelimeler:

Kontrol odası,  
yansım süresi,  
hacim akustiği,  
netlik parametresi,  
Helmholtz rezonatörler

#### ÖZ

Bu çalışmanın amacı ses kayıt stüdyolarında bulunan kontrol odalarında yapılacak hacim akustiği tasarımını etkileyen faktörleri belirleyerek, bunların tasarım esnasında kullanımlarının esaslarını ortaya çıkarmaktır. Hacim akustiği tasarımında kullanılacak ses yutucu ve saçıcı elemanların fiziksel özellikleri ve frekans etki alanları gözetilerek kontrol odalarında ses tasarımı için ihtiyaç duyulan akustik ortamı oluşturmak için akustik elemanların yerleşim planı oluşturulmuştur. Bu çalışmada, kayıt stüdyolarının kontrol odalarının akustik tasarımı, 43 m<sup>3</sup> hacimli bir kontrol odası örneği ele alınarak incelenmiştir. Akustik düzenleme yapılmamış ilk halinin hacim akustiği açısından ölçümleri yapıp değerlendirdikten sonra uluslararası standartlarca belirlenmiş ölçütler gözetilerek hacim akustiği tasarımı yapıp uygulanmıştır. Yapılan uygulama sonrasında nesnel parametrelerden yansım süresi ve netlik parametreleri ölçülerek tasarımın başarı boyutu belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları araştırmacılara ve stüdyo kullanıcılarına hacim akustiği malzemelerinin kullanımı hakkında bilgi verecektir. Hacim akustiği malzemelerinin, özellikle odanın kritik frekansının altında kalan frekans bölgeleri için kullanılan malzemelerin doğru konumlandırılmaları kullanımı önem arz etmektedir. Çok büyük ekonomik değeri olabilen müzik prodüksiyonlarının ses tasarımını doğru şekillendirecek ortamlarda yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın, hem malzemelerin frekans etki alanının hesaplanması, hem de ulaşılmaması gereken standart değerler hakkında bilgi sağlayan, uygulamalı bir örnek olduğu düşünülmektedir.

## Evaluation of room acoustics in the control rooms of recording studios through a case study

### H I G H L I G H T S

- Determination of method in the design of volume acoustics of control rooms
- Design, implementation and impact of acoustic instruments
- Measuring the effectiveness of the design with field measurements

#### Article Info

Research Article

Received: 09.09.2022

Accepted: 23.06.2023

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1172980

#### Keywords:

Control room,  
reverberation time,  
room acoustics,  
clarity parameter,  
Helmholtz resonators

#### ABSTRACT

The aim of this study is to determine the factors affecting the design of the room acoustics to be made in the control rooms in the sound recording studios and to reveal the principles of their usage during the design. Considering the physical properties and frequency domains of the sound absorbing and scattering elements to be used in the design of the room acoustics, a layout plan of the acoustic elements has been created in order to create the acoustic environment needed for sound design in the sound recording and listening rooms. In this study, the acoustic design of the control rooms of the recording studios was examined by considering the example of a 43 m<sup>3</sup> control room. After the measurements were made and evaluated in terms of the room acoustics of the first state without acoustic regulation, the room acoustics was designed and applied by considering the criteria determined by international standards. After the application, the reverberation time and clarity parameters of the objective parameters were measured and the success dimension of the design was determined. The results of this study will inform researchers and studio users about the usage of room acoustic materials. It is important to use room acoustic materials, especially for the frequency regions below the critical frequency of the room, with correct positioning. Music productions, which can have great economic value, need to be done in environments that will shape the sound design correctly. It is thought that this study is an applied example that provides information about both the calculation of the frequency domain of materials and the standard values to be reached.

## 1. Giriş (Introduction)

Kontrol odalarının akustik tasarımı kullanım amaçları gözetilerek yapılmalıdır. Ses mühendisinin oturduğu pozisyon ile müşterilerin buldukları yerlerde sesin duyumunun, odanın akustik karakterinin düzenlenerek iyileştirilmesi gerekmektedir. Oda içerisindeki ses mekânsal ve zamansal olarak farklılıklar göstermektedir. Odanın belli bir noktasındaki akustik özellikler, başka noktalara göre farklılaşabilmektedir. Akustik özellikleri belirlemek için kullanılan parametrelerin odanın farklı noktalarında benzer değerlerde olması sesin dengeli dağıldığının bir göstergesi olmaktadır [1].

Ses kayıt stüdyolarında uygun akustik koşulların oluşturulması ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmaların çoğunda, hesap ve saha ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Ses yutucu paneller, QRD saçıcılar kullanılarak yapılan çalışmalarda yansımın süresi ve netlik gibi akustik parametrelerin, kullanılan akustik gereçlere göre nasıl değiştiği gözlemlenmiştir [2-4]. Blaszak'ın yaptığı çalışmada farklı ortalama ses yutucu katsayısına sahip odaların Schroder frekansı, oda mod dağılımı ve kabul edilebilir oda oranlarının genişliğini nasıl değiştirdiği belirlenmiştir. Mod dağılımının düzgünlüğünün sadece oda oranlarına değil, ortalama yutuculuk katsayısına da bağlı olduğu örneklerle ortaya konmuştur [5].

Milan'ın ses kayıt stüdyoları ve kontrol odalarının öznel değerlendirilmesi için, bazı akustik parametreleri aralarak oluşturduğu puan sistemi 10 puan üzerinden bir değerlendirme yapmayı sağlamaktadır. Değerlendirmeye alınan parametreler yansımın süresi, oda modlarının dağılımı, arka plan gürültü düzeyi, saçıcılık oranı, ayarlanabilir akustik gereçler, canlı-ölü bölge varlığı, düzgün yansımaların varlığı olarak sıralanmıştır [6]. Stamac vd. 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 saçıcıları tercih etmişlerdir. Sonuç olarak optimum değerlere ulaşılmış ve sübjektif değerlendirmelerde de oldukça başarılı bulunmuştur [7]. Kaminska vd. yaptığı çalışmada ise, QRD saçıcıların ses kayıt stüdyolarında vurgusal yankı problemini ortadan kaldırdığını göstermiştir. 7 asal sayısına göre tasarladıkları saçıcıyı stüdyoya uygulayarak hacim yanıtında meydana gelen düzelmeyi göstermişlerdir [8].

Rabise vd., oda yüzeylerinin düzensiz yapılarının oluşturduğu sesin saçılma etkilerini ortaya koyacak bir sayısal model oluşturmak için yaptıkları çalışmada, yarı yankısız ve normal bir odada elde edilen teorik sonuçları karşılaştırmış ve iki ayrı durum için yansımın sürelerinin 630 Hz den itibaren benzer çıktığını bulmuşlardır [9]. Zhang vd. yaptıkları çalışmada bir sanat okulunun kayıt stüdyosunda yaptıkları iyileştirme sonucunda arka plan gürültü düzeyi, yansımın süresi ve sesin mekân içerisine düzgün dağılımını incelemişlerdir. Ses yalıtımı için kapı ve pencerelerde yenileme yapılmış, mekân içerisinde orta ve üst frekans ses yutucu kumaş kaplı paneller artırılmış, ses dağıtıcı elemanlar yan duvarlarda kullanılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda, ilk duruma göre iyileştirmelerin sonuç verdiği, arka plan gürültü düzeyinin istenen değerlere geldiği, sesin mekân içerisine dağılımının düzgünleştiği ve yansımın süresi değerlerinin düştüğü görülmüştür. Mekânın farklı noktalarında ölçülen yansımın süresi değerlerinin birbirlerine yakınlığına bakılarak sesin düzgün dağılımı analiz edilmiştir [10].

Bu çalışmanın amacı, günümüze kadar yapılmış çalışmalardan farklı olarak, bir kontrol odasında akustik koşulları iyileştirmek üzere

izlenebilecek yöntemi bir örnek üzerinden açıklamaktır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalarda, akustik ölçüm sonuçlarına göre özel olarak imal edilen akustik gereçlerin uygulanmasından sonra, yine yerinde ölçümler ile kontrol odasındaki akustik iyileşmeler belirlenmiştir.

Sonuçlar araştırmacılara ve stüdyo kullanıcılarına hacim akustiği malzemelerinin kullanımını hakkında bilgi verecektir. Hacim akustiği malzemelerinin, özellikle odanın kritik frekansının altında kalan frekans bölgeleri için kullanılan malzemelerin doğru konumlandırılmaları kullanımı önem taşımaktadır. Büyük ekonomik değeri olabilen müzik prodüksiyonlarının, uluslararası standartlara uygun olarak akustik tasarımı yapılmış ses kayıt stüdyolarında gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmanın, hem malzemelerin frekans etki alanının hesaplanması, hem de ulaşılması gereken standart değerler hakkında bilgi sağlayacak uygulamalı bir örnek olacağı düşünülmektedir.

## 2. Deneysel Metot (Experimental Method)

Kontrol odalarının hacim akustiği tasarımı yapılırken ulaşılmaması beklenen optimum yansımın süresi değerlerinin elde edilmesi ve oda rezonanslarının yaratacağı olumsuz duyum özelliklerinin giderilmesi için ses yutucu ve saçıcı malzemelerin tasarımı ve konumlandırılması önem kazanır. Bu çalışmada kontrol odası olarak kullanılacak bir odanın düzenleme öncesi yansımın süresi ölçümleri gerçekleştirilmiş, oda modları belirlenmiş hacim akustiği tasarımı yapılmıştır. Tasarımın uygulanmasının ardından son ölçümler yapılarak planlanan optimum değerlere ulaşıp ulaşılmadığı değerlendirilmiştir. İzlenen yöntem Şekil 1 de sistematik olarak gösterilmiştir.

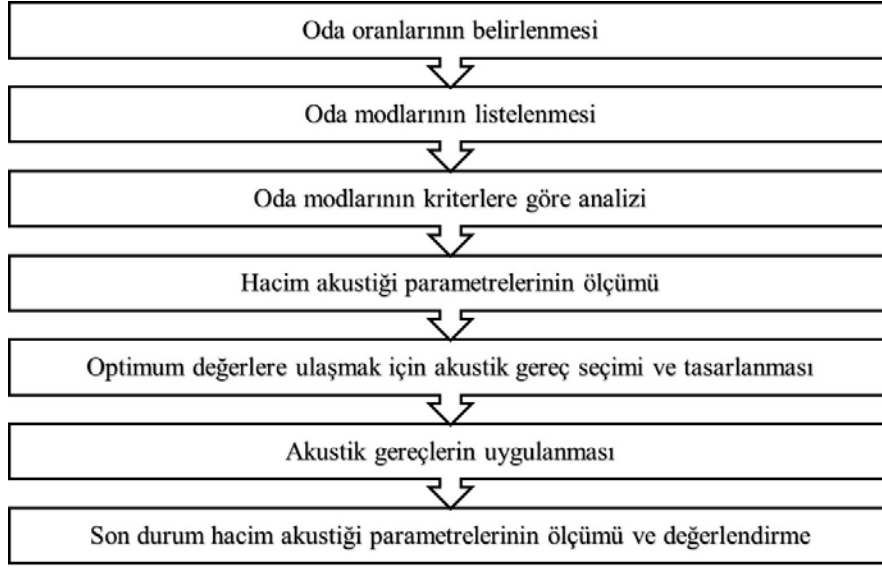
### 2.1. Kontrol Odasının Mimari Özellikleri ve Mevcut Akustik Koşulların Ölçme Yolu ile Değerlendirilmesi (Architectural Features of the Control Room and Evaluation of Current Acoustic Conditions by Measuring)

Kontrol odasının hacmi 43 m<sup>3</sup>, uzunluğu 5,53 m, genişliği 2,96 m, yüksekliği 2,61 metredir. Duvarlar tuğla üzeri alçı levha, yer döşemesi laminant parkettir. 1 adet ahşap camlı kapı, 1 adet PVC camlı kapı ve bir gözlem penceresi bulunmaktadır. Kontrol odası hacmi minimum sınır değer olarak kabul edilen 42 m<sup>3</sup> üzerinde bir değerdedir [11, 12]. Mevcut durum görseli Şekil 2'de yer almaktadır.

Kontrol odasının mevcut akustik koşullarını belirlemek üzere ISO 3382-2 standardına [13] uygun olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde bir adet Mackie HR824 2 aktif yollu 39 Hz-20000 Hz düz frekans cevabı olan stüdyo hoparlörü, hoparlör yükseltici, omnidirectional Behringer ECM8000 ölçüm mikrofonu, mikrofon tripodu, Presonus ses kartı, bilgisayar, ARTA yazılımı kullanılmış ve T30, EDT ve C80 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'de görüldüğü gibi, kontrol odası için standarda uygun olarak, 2 farklı kaynak ve 4 farklı mikrofon konumu seçilmiştir. ISO 3382'de yer alan Eş. 1 kullanılarak iki mikrofon arası uzaklık 1,3 m olarak belirlenmiş ve mikrofonların herhangi bir yansıtıcı yüzeyden en az 1 metre uzakta konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. 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.

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{v}{ct}} \quad (1)$$



Şekil 1. İzlenen yöntem basamakları (Method steps followed)

V : Hacim (m<sup>3</sup>)  
 c : Ses hızı (m/s)  
 T : Tahmini beklenen çınlama süresi (s)

Ayrıca oda mod dizilimleri notalara ve mod bant genişliklerine göre incelenerek düzgün bir oda yanıtının ne derece oluşabileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Kontrol odası mevcut durum görseli (Interior image before the control room arrangement)

ITU R BS 1116 standardında [14] yer alan optimum yansımam süresinin, frekanslara göre optimum aralıkları belirlenerek ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Alıcı noktalarında belirlenen ölçüm sonuçlarının ortalamasının yer aldığı Şekil 4 ve Tablo 1’de görüldüğü gibi, tüm frekanslarda belirlenen T30 ve EDT değerleri, optimum aralığın üzerindedir. Sınır değerlere en yakın merkez oktav frekansı 125 Hz, en uzak olan ise 250 Hz bölgesi olmuştur. Bununla birlikte, T30 ve EDT değerleri arasında büyük ayrımların olmaması, hacimde yaymık ses alanının varlığını göstermektedir. Şekil 5’de ise düzenleme öncesi C 80 değerleri görülmektedir. C80 için sınır değerler Cexp formülünde ITU R BS 1116 standardında yer alan sınır yansımam süresi değerleri kullanılarak bulunmuştur. C80 değerleri belirlenen Cexp sınır değerlerinin [15] altında kalmaktadır.

## 2.2. Oda Oranları ve Mod Dağılımları Açısından Değerlendirme (Evaluation In Terms of Room Ratios and Mode Distributions)

Öncelikli olarak oda oranları belirlenmiş, oda mod dağılımları ve Schroder frekansı [16] hesaplanarak hangi frekanstan önceki modların, oda yanıtını olumsuz etkileyeceği tanımlanmıştır. Schroder frekansından önceki modlar Gilford [17] ve Bonello [18] kriterlerine göre incelenerek mod dağılımlarının düzgünlüğü test edilmiştir.

### 2.2.1. Mod dağılımları ile ilgili kriterler (Criteria for mode distributions)

Oda modlarının dağılımının incelenmesinde literatürde yer alan birçok kriter bulunmaktadır. Oda oranları, Schroder frekansı, Gilford kriteri, Bonello kriteri oda yanıtının incelenmesinde kullanılan kavramlardır.

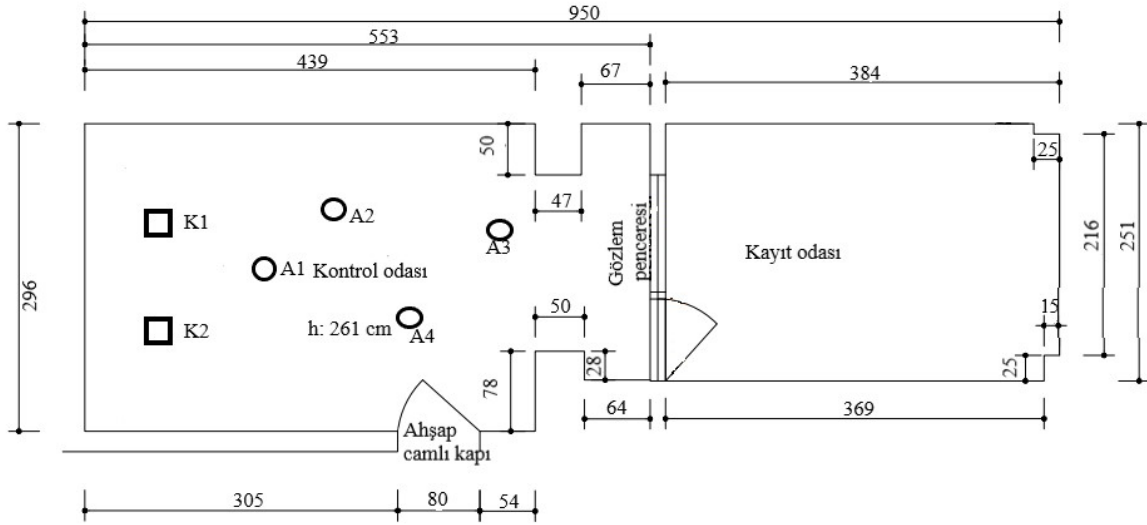
Kontrol odaları benzeri küçük hacimlerde, düşük frekanslı seslerin akustik açıdan sorun yaratması nedeni ile, oda oranlarının ve mod dağılımlarının denetlenmesi ayrıca önem taşır. Birçok araştırmacı iyi bir mod dağılımı için oda oranları önermiştir [19-21]. Sepmeyer, dikdörtgen odalarda modların hem frekansını hem de açısal dağılımını hesaplamak için kullanılan bir matematiksel model ortaya koymuştur [22]. Louden, oda mod dağılımının düzgün olabileceği 125 ayrı oda oranı tanımlamıştır [23]. Bolt tarafından önerilen oda oranları bir grafik üzerinde belli bir bölge olarak tanımlanmıştır [24]. Yükseklik 1 olarak kabul edildiğinde, uzunluk ve genişlik yüksekliğe göre orantılanarak grafikte uygun gelen noktanın Bolt alanı içinde olup olmadığı belirlenmektedir (Şekil 6). Bolt alanı içerisine düşen oranlarda bulunan odalarda mod dağılımının düzgün olacağı öngörülmüştür.

Oda modlarının problem olmaktan çıkacağı kritik frekans değerine Schroder frekansı denilmektedir [16]. Schroder frekansı oda analizinde mod bölgesi ile orta frekans bölgesini ayırmaktadır [25, 26]. Eş. 2’de görüldüğü gibi yansımam süresi ve hacim değişkenleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

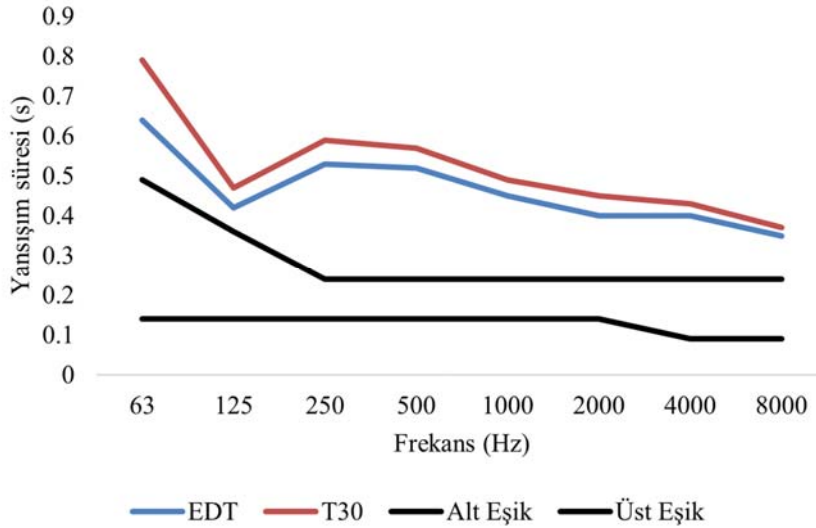
$$f_k = 2000 \cdot \sqrt{\frac{T_{60}}{V}} \quad (2)$$

$T_{60}$  : Yansımam süresi (s)  
 V : Hacim (m<sup>3</sup>)

Gilford kriteri paralel duvarlar arasında oluşan eksensel modların dağılımını analiz ederek oda akustiğini değerlendirmektedir [17]. İki eksensel mod arasındaki frekans fark değerinin 20 Hz’den az olması



Şekil 3. Kontrol odası planı ve ölçüm noktaları (K: kaynak; A: mikrofön) (Control room measurement plan)



Şekil 4. Kontrol odası düzenleme öncesi T30 ve EDT değerleri (Control room current state T30 and EDT values)

Tablo 1. Kontrol odası mevcut durum T30 ve EDT değerleri (Control room current state T30 and EDT values)

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 (s)	0,75	0,45	0,60	0,57	0,50	0,46	0,44	0,39
EDT (s)	0,70	0,46	0,53	0,54	0,46	0,42	0,42	0,37
T30 opt. (s) alt sınır (ITU R BS 1116)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
T30 opt. (s) üst sınır (ITU R BS 1116)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

gerektiğini ve eksensel modların üst üste gelecek çakışmaması gerektiğini söylemektedir. İki mod arasındaki frekans farkının 20 Hz'den fazla olması durumunda, aradaki boşlukta oda cevabı oluşmayacağı için dip bölgeler meydana gelecek, aynı zamanda izole durumda kalmış olan mod frekansında olan sesler de odada renklemeye meydana getirecektir.

Bonello 1981 yılında yaptığı çalışmada dikdörtgen biçimli odaların mod dağılımlarını bir algoritma içerisinde incelemek istemiş ve bazı sonuçlara ulaşmıştır [18]. Her 1/3 oktav frekans bandındaki mod sayısının, bir önceki 1/3 oktav bandında bulunan mod sayısına eşit veya daha fazla olması gerektiğini belirlemiştir [27]. Bonello kriterine

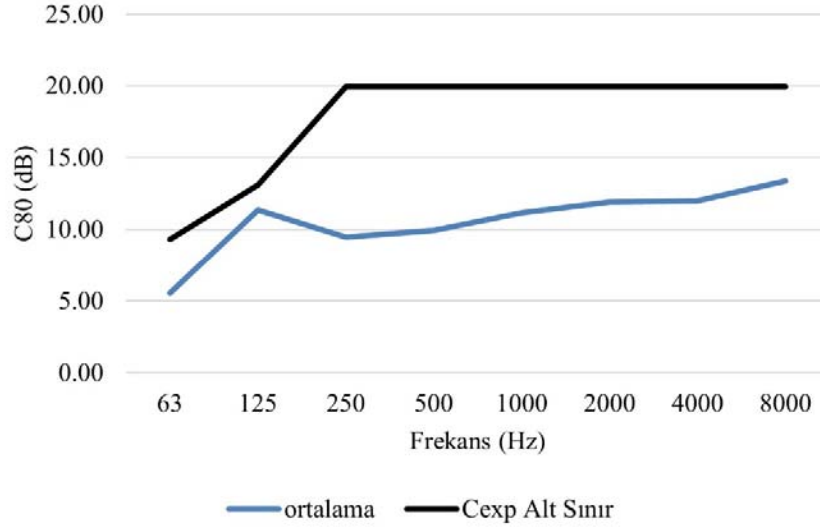
göre incelenen modlar eksensel, teğetsel ve eğik modların tamamını kapsamaktadır.

#### 2.2.2. Kontrol odasının oda oranları ve mod dağılım analizi (Room ratios and mode distribution analysis of the control room)

Oda oranları 1: 2,12: 1,13 olan kontrol odasının Bolt kriteri açısından değerlendirildiği Şekil 6'da görüldüğü gibi, oda oranları uygun değildir.

Kontrol odaları için ITU R-BS 1116 ve EBU Tech 3276 standartlarına belirlenmiş oda oranlarına göre Eş. 3'ün de

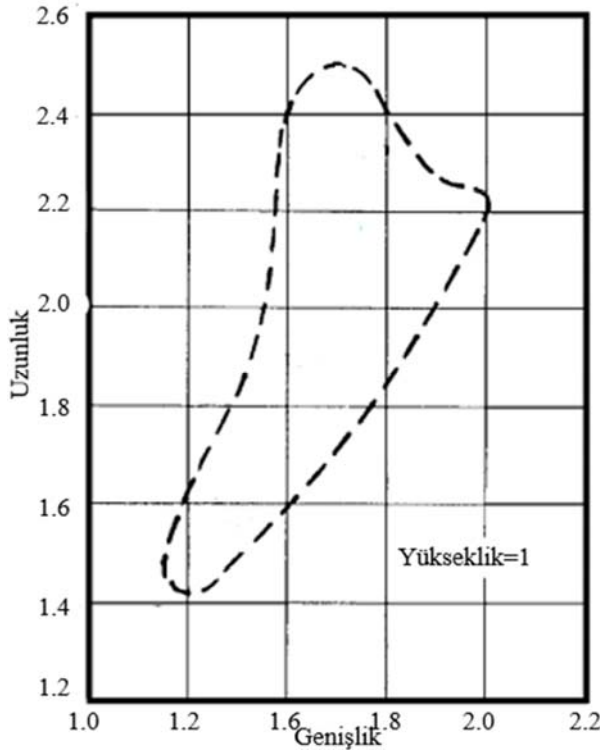




Şekil 5. Düzenleme öncesi C80 değerleri (C80 values before editing)

sağlanamadığı görülmektedir [14], [28]. Aynı standartlarda belirtilen  $l/h < 3$  ve  $w/h < 3$  koşulları ise sağlanmaktadır.

birbirlerine yaklaşması ve oda cevabını düzgünleştirmesi beklenmektedir.



Şekil 6. Kontrol odasının Bolt alanı açısından değerlendirilmesi (x: Kontrol odası oda oranı) [11]  
(Evaluation of the control room in terms of Bolt area (x: Control room ratio))

$$\frac{1.1w}{h} \leq \frac{l}{h} \leq \frac{4.5w}{h} - 4 \quad (3)$$

(l: boy w: genişlik h: yükseklik)

Kontrol odası için Schroder frekans değeri Eş. 2 kullanılarak 133 Hz bulunmuştur. 133 Hz üstündeki frekanslarda oda modlarının

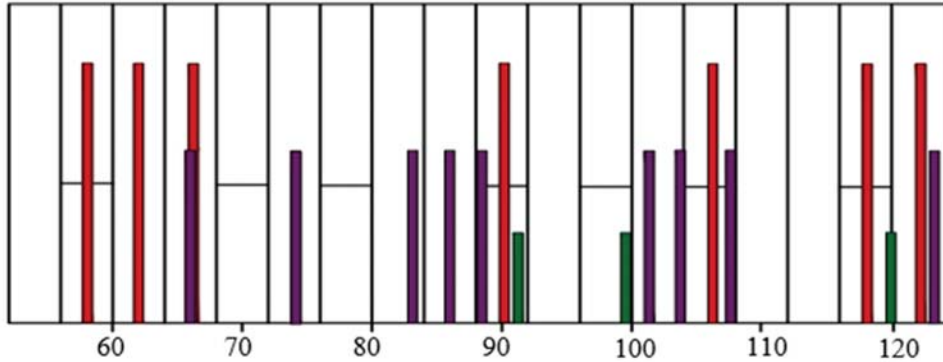
Kontrol odasının oda oranlarının uygun olmaması, oda rezonanslarının düzgün yayılmayacağı öngörüsünü beraberinde getirir de daha net bir değerlendirme için, oda rezonans frekanslarının belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle, kontrol odasının mod dağılımı, sadece eksensel modları hesaba katan Gilford analizi [29] yardımı ile belirlenmiş ve Tablo 2'de sunulmuştur. Eksensel modların arasında 20 Hz'den fazla bir boşluk olması veya birbirlerine çok yakın ya da çakışması durumunda renklenme problemi oluşacaktır. Tablo 1 de görüldüğü gibi, 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 bulunmayıp 27 Hz dolaylarında bir boşluğun bulunması, odanın bu bölgede yanıt eğrisinin düzgün olmadığını göstermektedir. Oda içerisinde üretilen seslerin frekans aralığı modların uyarılıp uyarılmayacağını belirler. Uyarılmayan modlar rahatsızlık yaratmaz [11]. Bu nedenle kontrol odasında kullanılan referans monitörlerin 40 Hz'den başlayan frekanslarda ses üretmesi 31 Hz modunun uyarılmayacağı sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle 31 Hz frekansındaki ilk mod odada rahatsızlık yaratmayacaktır. Diğer mod frekansları için detaylı analiz Gilford ve Bonello kriterlerine göre yapılmalıdır.

Şekil 7 ve Tablo 2'de görüldüğü gibi 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 durumdur. 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 kriteri de gözetilerek analiz yapıldığında 115 Hz den sonra mod yoğunluğunun arttığı ve her nota değerinde rezonansların olduğu görülmektedir.

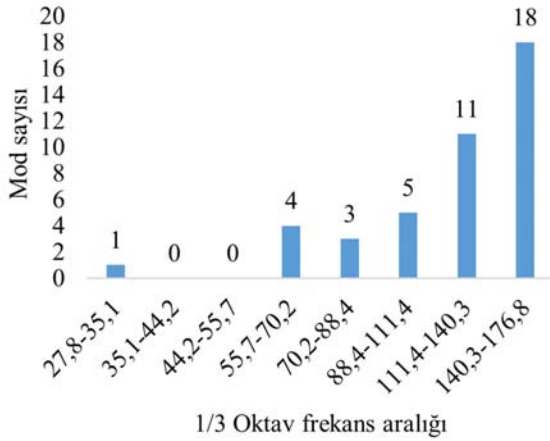
Gilford analizi sonucunda elde edilen verilerin yanında Bonello kriterinin de incelenmesi faydalı olabilmektedir. Kontrol odası için bu kriter değerlendirildiğinde Şekil 8'de grafikte görülen sonuçlar ortaya çıkmaktadır. 55,7 Hz den itibaren incelendiğinde 55,7 Hz ile 70,2 Hz frekans aralığında 4 mod bulunurken 70,2 Hz ile 88,4 Hz arasında ise

**Tablo 2.** Kontrol odası eksenel modlar (Control room axial modes)

x=5,53 m f=n.170/L	y=2,96 m f=n.170/L	z=2,61 m f=n.170/L	Odadaki eksenel mod frekansları	Eksenel mod aralığı
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
93,04 Hz			62,03	3,68
124,05 Hz			65,71	27,33
			93,04	22,84
			115,88	8,17
			124,05	7,37
			131,42	

**Şekil 7.** Notalara göre kontrol odası mod dağılımı (Control room mode distribution according to notes)

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 8.** Kontrol 1/3 oktav frekans aralığında mod sayıları (Bonello Kriteri)  
(Control Mode numbers in the 1/3 octave frequency range (Bonello Criteria))

Genel olarak oda mod dağılımı değerlendirildiğinde, Schroder frekansının altındaki bölgede mod çakışmalarının olmadığı görülmektedir. Ancak 65 Hz ile 116 Hz arasında sadece 93 Hz eksenel modunun bulunmasından dolayı bu frekans aralığındaki oda cevabının düzensiz olacağı görülmektedir. 93 Hz modunun Helmholtz rezonatör paneller kullanılarak diğer frekanslardan daha yüksek düzeyde duyulmasının engellenmesi planlanmıştır. 115 Hz den sonra oda mod yoğunluğu arttığı için oda yanıtının düzgünleşeceği belirlenmiştir.

### 2.3. İyileştirme Çalışmaları (Improvement Studies)

Stüdyo kontrol odasında hacim akustiği parametrelerinin standart değer aralığına gelebilmesi için iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Öncelikli olarak ihtiyaç duyulan akustik gereçler hesap yolu ile belirlenmiş ve daha sonrasında yansım süresi ve oda modları gözetilerek konumlandırılmaları yapılmıştır.

Kontrol odası için yansım sürelerini optimum değer aralığına getirmek için 3 farklı tipte Helmholtz rezonatör tasarlanmıştır. Panellerin etkili olacağı frekans bandını belirleyen Eş. 4'de gösterilen formül kullanılarak bu rezonatör paneller oluşturulmuştur [30]. Formüle göre oluşturulan rezonatör panellerin arka bölümlerinin ortalarına ses yutucu süngerler yerleştirildiği için etkili olduğu frekans bandı genişlemektedir. Bu nedenle sorunlu frekans bölgesine en yakın olacak şekilde rezonans frekansları belirlenmiştir. Delik çapının 1 mm değişmesi rezonans frekansını 20 Hz civarında değiştirebilmektedir [31]. Ancak panellerin delikli ön bölümünün arkasında kullanılacak ses yutucu gözenekli malzemelerle etkili olduğu bant genişliği artırılmaktadır. Şekil 9'da B grafiği arkasında gözenekli yutucu kullanılmadan, A grafiği ise yutucu kullanılarak oluşturulan panelin ses yutma katsayılarını göstermektedir. A panelinin ses yutuculuğunun daha geniş bir frekans bandını kapsadığı görülmektedir. C panelinin ise arkasında yutucu eleman bulunmakla beraber perforasyon yüzdesi artırılmış durumda olduğu için etkili olduğu frekans bölgesi orta frekanslara doğrudur. Tablo 3'de ölçüleri yer alan rezonatörler, oda modlarının etkin olduğu konumlarda kullanılmıştır.

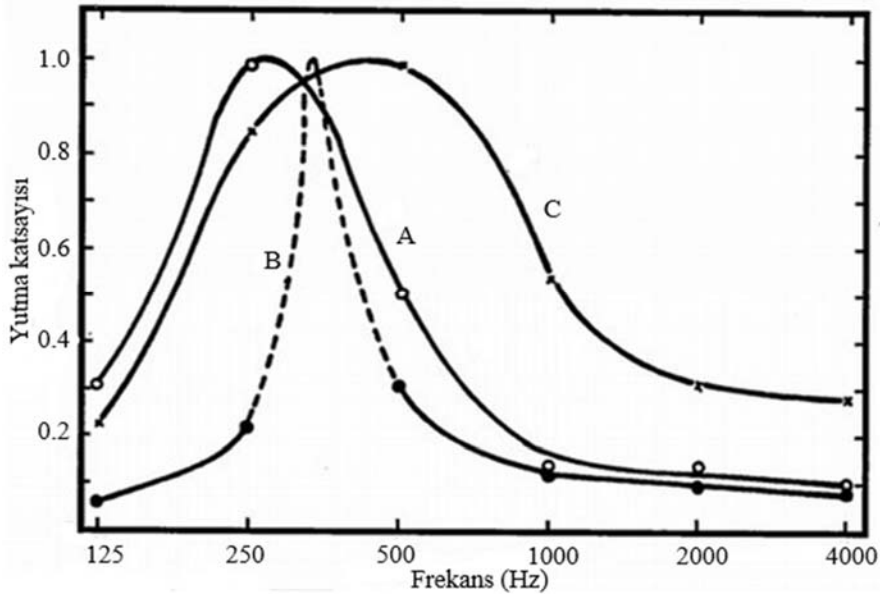
$$f_0 = 200 \cdot \sqrt{\frac{p}{(d) \cdot (t)}} \quad (4)$$

$f_0$  : rezonans frekansı  
 $p$  : delik yüzdesi  
 $d$  : derinlik (inç)  
 $t$  : efektif delik derinliği (inç)  
 =(panel kalınlığı)+(0,8).(delik çapı)

Kayıt ve kontrol odalarında sesin daha iyi dağılması için ayrıca yan duvarlarda kullanılmak üzere QRD saçıcılar tasarlanmıştır. D'Antonio tarafından asal sayıların modu alınarak her bir bölmenin derinliği hesaplanan QRD saçıcılar, orta ve yüksek frekans bandında bulunan sesler için kullanılmaktadır[32]. Sesin hem zamana hem de mekâna yayılmasını sağlayan bu saçıcılar enerjinin ortama eşit dağılmasında önemli bir araçtır[33] N=11 asal sayısına göre tasarlanmış QRD saçıcı derinlikleri Şekil 10'da görüldüğü gibidir. 60 cm x 60 cm boyutlarında olan saçıcılarda, aralık genişliği 5 cm olan toplam 11 aralık vardır. QRD 1120 saçıcının 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 arasındadır. ITDG ilk yansıma gecikmesi dolaysız sesle ilk yansımalar sonucu gelen ses arasında oluşan zaman

farkıdır. Kayıt ortamının ilk yansıma gecikmesinin kontrol odasında ses dinlenirken anlaşılması için ilk yansıma yapan yüzeylerin ses yutucu panellerle kaplanması gerekir. Aksi durumda kontrol odasının ilk yansıma gecikmesi daha küçük olacağı için kayıta meydana gelen gecikme anlaşılabilir [11]. Bu nedenle ITDG değerlerinin kontrolünü sağlamak amacıyla ilk yansıma noktalarına ses yutucu paneller konulmuştur. Duvar köşeleri ve kontrol masasının ön ve yanlarda bulunan duvar tavan birleşim noktalarına delikli Helmholtz paneller yerleştirilmiştir.

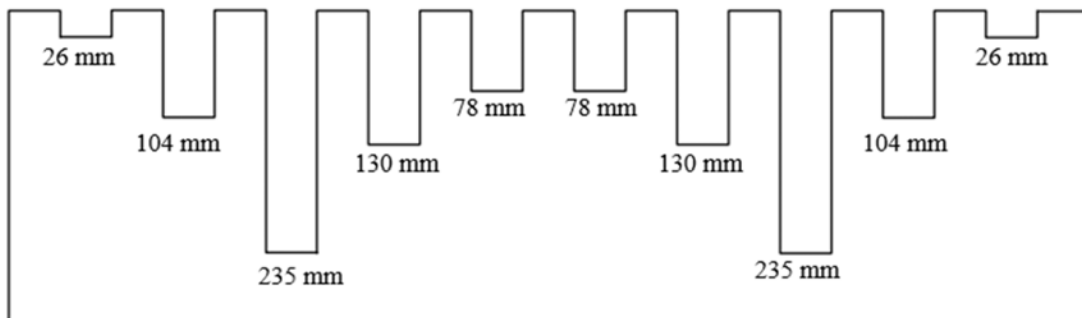
Oda modlarının oluştuğu duvarlar belirlenerek bu modların basınç noktalarının maksimum olduğu yüzeylerde rezonatör paneller yerleştirilmiştir. Panel konumları belirlenirken amroc oda mod hesaplayıcı programından yararlanılmış ve oda mod şekilleri



Şekil 9. Helmholtz rezonatör panel ses yutuculukları [12] (Helmholtz resonator panel sound absorbers)

Tablo 3. Delikli rezonatör panel ölçüleri (Perforated resonator panel dimensions)

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	0,86	2,54
Derinlik (mm)	100	100	100
Rezonans frekansı (Hz)	96,07	137,77	205,27



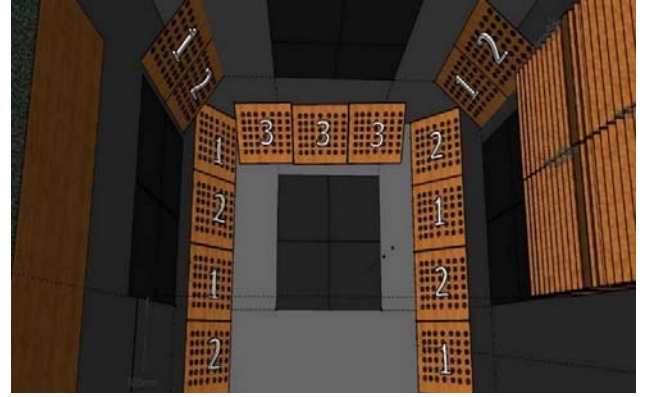
Şekil 10. QRD 1120 saçıcı (QRD 1120 diffuser)



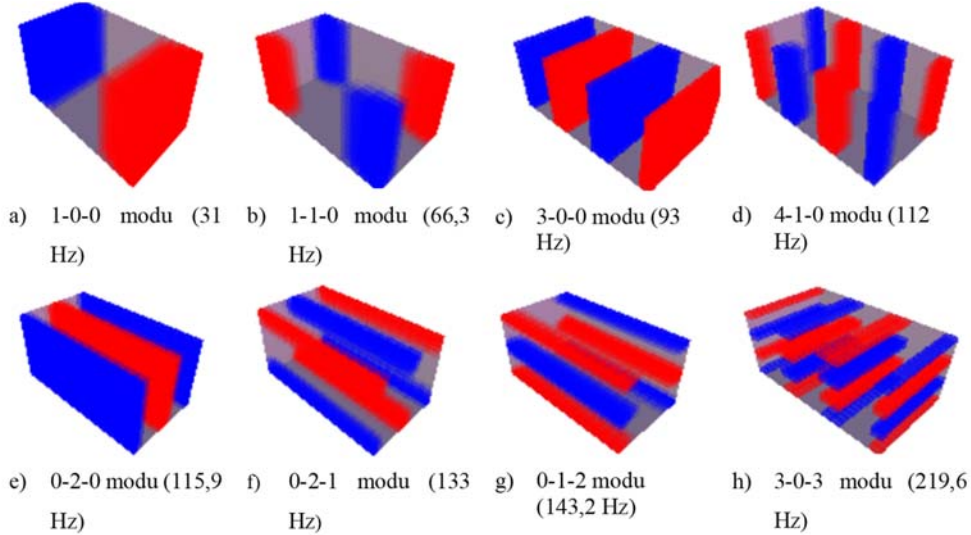
gözetilmiştir [34]. Şekil 12'de bazı oda modlarının basınç noktalarını gösteren görseller yer almaktadır. Oda modlarının köşelerde maksimum basınç noktaları oluşturduğu belirlenmiş, eksenel, teğetsel ve eğik modların köşelerde ortak olarak basınçlarının yoğun olduğu gözlenmiştir. Alt frekans bölgesinde etkili olacak şekilde tasarlanan Helmholtz rezonatör panellerin arkasında kullanılan gözenekli ses yutucu süngerler sayesinde geniş bant etkinliği kazandığı gözetilerek hem oda modlarından kaynaklanan renklerin azaltılması, hem de alt frekans bölgelerinde fazla olan yansımın süresi değerlerinin düşürülebilmesi için köşe pozisyonlara bu paneller yerleştirilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü gibi Tip 1 ve Tip 2 olarak kodlanan rezonatör paneller kontrol masasının önündeki köşelere ve yan duvar tavan birleşim noktalarına konulmuştur. Yan duvar tavan birleşimine yerleştirilen paneller, y ve z boyutlarında oluşan oda modlarının (Şekil 12e, Şekil 12f, Şekil 12g vb.) etkisinin azaltılmasında kullanılmıştır. Tip 3 rezonatör paneller ise ön duvar tavan birleşim noktalarına yerleştirilmiştir. Ön duvar tavan birleşimine yerleştirilen bu paneller x ve z boyutlarında oluşan oda modlarının (Şekil 12h vb.) etkinliğinin azaltılmasında kullanılmıştır. Bu rezonatör paneller 96 Hz, 137 Hz ve 205 Hz frekanslarına ayarlıdır ve 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 yansımın süresinden daha uzun sürede rezonatör panel tarafından ortama dağıtılacak seslerin önlenmesi amaçlanmıştır [35].

93 Hz (Şekil 12c) uzun kenarın üçüncü modu olup oda eksenel 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 etkinliğinin olacağı hesaplanmıştır. Düzenleme öncesi yansımın süreleri de dikkate alınarak bu paneller kullanılmıştır. Yansımın sürelerini uygun aralığa çekmek için, kontrol odasının iç yüzeylerine literatürden yararlanılarak belirlenen ve Tablo 3'de yutma çarpanları verilen gereçler atanmış ve yansımın süresi hesabı gerçekleştirilmiştir. 2,26 m<sup>2</sup> 5 mm delikli panel, 2,26 m<sup>2</sup> 7 mm delikli panel, 1,26 m<sup>2</sup> 12 mm delikli panel, 3 m<sup>2</sup> QRD saçıcı panel kullanılmıştır. İlk ölçüm sonucu elde edilen T30 değerleri Sabın formülünde kullanılarak var olan etkin alan değeri bulunmuştur. Kullanılan malzemelerin yutma alanları hesaplanıp, var olan yutucu alana eklenerek Sabın formülü kullanılmış ve düzenleme sonrasında beklenen yansımın süresi değeri hesaplanmıştır (Şekil 11). Şekil 13'de düzenleme sonrası kontrol odasının fotoğrafı görülmektedir.



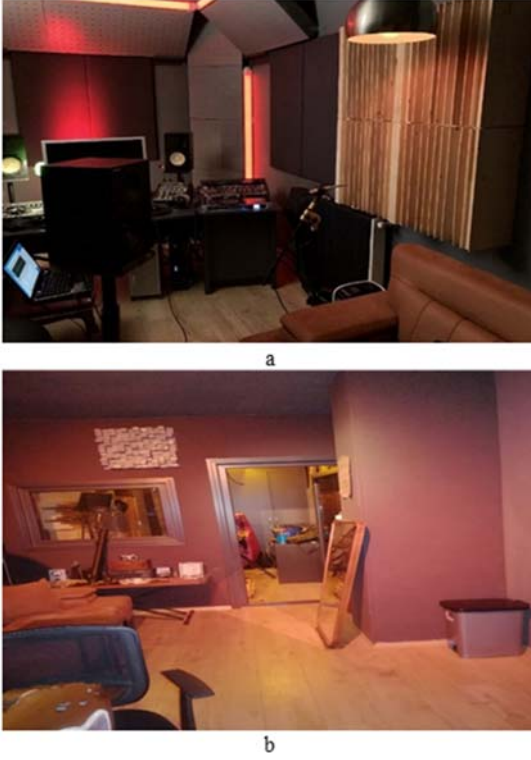
Şekil 11. Kontrol odası hacim akustiği tasarımı (Control room acoustics design)



Şekil 12. Oda mod basınç şekilleri (Room mode pressure patterns)

Tablo 4. Helmholtz panel ve QRD saçıcıların yutma çarpanları [12]  
(Absorption coefficients of Helmholtz panel and QRD diffusers)

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
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 saçıcı panel	0,1	0,2	0,25	0,3	0,2	0,2	0,15	0,15



**Şekil 13.** Kontrol odası düzenleme sonrası görseli a) ön görünüm, b) arka görünüm (Control room post edit image a) front view, b) back view)

Uzun kenarda oluşan ilk eksensel mod olan 31 Hz frekansının uyarılması durumunda, uzun kenara bakan duvarlara 31 Hz veya buna yakın olan bir frekans değerine göre ayarlanmış Helmholtz rezonatör paneller kullanılabilir veya tonmaysterin baktığı duvara eğim verilerek bu frekanstaki duran dalganın daha fazla duvarla temas etmesi sağlanarak teğetsel veya eğik mod olması sağlanabilir.

### 3. İyileştirme Öncesi ve Sonrası Sonuçların Karşılaştırılması (Comparison of Results Before and After Improvement)

İyileştirme öncesi ve sonrası yerinde gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının karşılaştırılarak yapılan düzenlemenin başarı ölçüsü değerlendirilmiştir.

#### 3.1. T 30 Karşılaştırması (T 30 Comparison)

Düzenleme sonrası yansımın sürelerinin 125 Hz merkez oktav frekans bölgesi ile 500 Hz ve üzerindeki merkez oktav frekans bölgelerinde tolerans sınır değerleri arasında olduğu görülmektedir (Şekil 14). 63 Hz bölgesinde çok az bir iyileşme olduğu, 250 Hz bölgesi sınır değerlerin biraz yukarısında kalsa da ilk duruma göre yansımın süresinin azalım gösterdiği görülmektedir. Tablo 5’de gösterilen yansımın süresi değerlerinin genel anlamda bir iyileştirmeyi belirtmektedir.

**Tablo 5.** Kontrol odası düzenleme öncesi, sonrası T30 ve hesaplanan yansımın süresi (T30 and calculated reverberation time before and after control room setup)

Frekans (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 (s) düzenleme öncesi (ölçme)	0,75	0,45	0,60	0,57	0,50	0,46	0,44	0,39
Hesaplanan yansımın süresi (s) (düzenleme sonrası, hesap)	0,42	0,23	0,27	0,28	0,32	0,31	0,31	0,29
T30 (s) (düzenleme sonrası, ölçme)	0,72	0,3	0,32	0,21	0,21	0,21	0,22	0,20
Alt sınır (ITU R-BS 1116)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
Üst sınır (ITU R-BS 1116)	0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

#### 3.2. Alıcı Noktalarına Göre T 30 Karşılaştırması (T 30 Comparison by Receiver Points)

Düzenleme öncesinde ölçümün yapıldığı dört farklı alıcı noktasında elde edilen T 30 değerleri Şekil 15 ve Tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6 ve Şekil 15a’da görüldüğü gibi, 250 Hz ve üstünde sesin mekân içerisinde dağılımının düzgün olduğu, 63 Hz ve 125 Hz bölgelerinde dağılımın farklılaştığı söylenebilir. 63 Hz bölgesinde alıcı 2 ve alıcı 4 noktalarının T 30 değerlerinin ortalamaya yakın olduğu, alıcı 3 noktasında ise T30’un oldukça kısa olduğu görülmektedir. Düzenleme sonrasında ise, 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 belirlenmektedir (Şekil 15b).

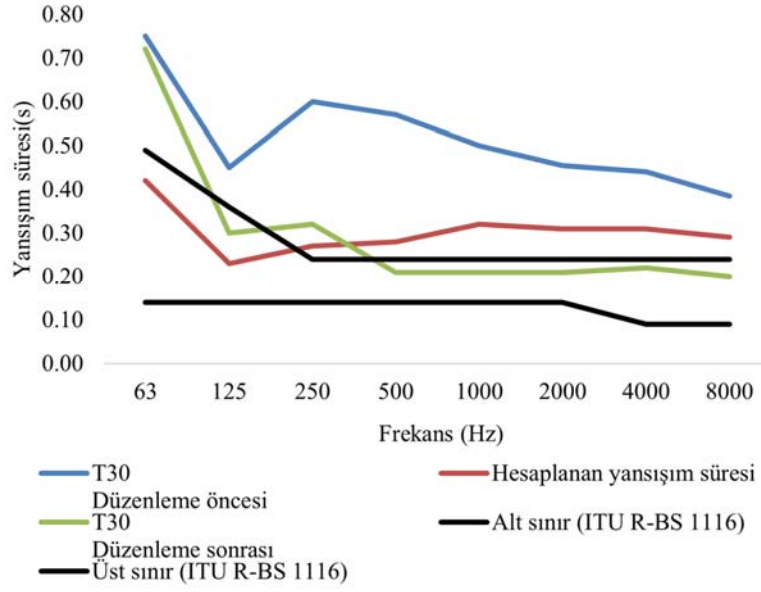
#### 3.3. C 80 Netlik Parametresinin Alıcı Noktalarına Göre Dağılımı (Distribution of C 80 Clarity Parameter According to Receiver Points)

Ses enerjisinin odaya zaman içerisinde eşit dağılıp dağılmadığını gözlemlemek üzere alıcı noktalarının C 80 değerleri ile ortalama değerin olduğu tablolar analiz edilmiştir. Alıcı noktaları C 80 değerlerinin ortalama değerden ne kadar farklılaştıklarını belirlemek üzere standart sapmalarla karşılaştırılmıştır. C80 alt sınır değeri Cexp formülü [15] kullanılarak sınır, yansımın sürelerine göre belirlenmiş, düzenleme öncesi ve sonrası durum değerlendirilmiştir. Düzenleme öncesi 63 Hz bölgesinde alıcı 1 noktasının diğer alıcı noktalarına göre daha yüksek C 80 değerine sahip olması ve bu frekans bölgesi için alıcı 2, 3 ve 4 noktalarında enerjinin zamana göre dağılımının düzgün olduğu söylenebilmektedir (Şekil 16a). 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 C80 alt sınır değerinin altındadır.

Düzenleme sonrasında 63 Hz bölgesinde enerjinin ortama zaman içerisinde eşit dağılmadığını, ilk duruma göre C 80 değerlerinin alıcı noktalarına göre farklılaştığı görülmektedir. Diğer frekans bölgelerinde dağılımın ilk duruma göre daha iyi olduğu söylenebilmektedir. Bütün frekans bölgeleri için belirlenen Cexp alt sınır değere yaklaşıldığı, yapılan düzenleme sonucunda C80 değerlerinin ilk duruma göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Şekil 13b ve Tablo 7’de görüldüğü gibi düzenleme sonrasında enerjinin ortama zaman içerisindeki dağılımının 63 Hz dışında düzgün olduğu belirlenmiştir. Yapılan düzenleme içerisindeki Helmholtz paneller 125 Hz ve 250 Hz deki dağılımı düzenlerken, QRD saçıcılar 500 Hz ve üstünde etkili olmuştur.

### 5. Sonuçlar ve Tartışmalar (Conclusions and Discussions)

Kontrol odaları müzik endüstrisinin en önemli basamaklarından birisini oluşturmaktadır. Kaydedilen müzik parçalarının düzenlendiği bu odalarda çalışan ses mühendislerinin müzik parçasını kaydettiği gibi duyabilmeleri önemlidir. Ses kayıt stüdyolarında bulunan kontrol odalarında dinlenen seslerin belli bir kalitede duyulabilmesi için akustik düzenleme yapılması gerekir. Ses tasarımının yapıldığı bu tür



**Şekil 14.** Kontrol odası düzenleme öncesi, sonrası T30 ve hesaplanan yansıma süresi (T30 and calculated reverberation time before and after control room setup)

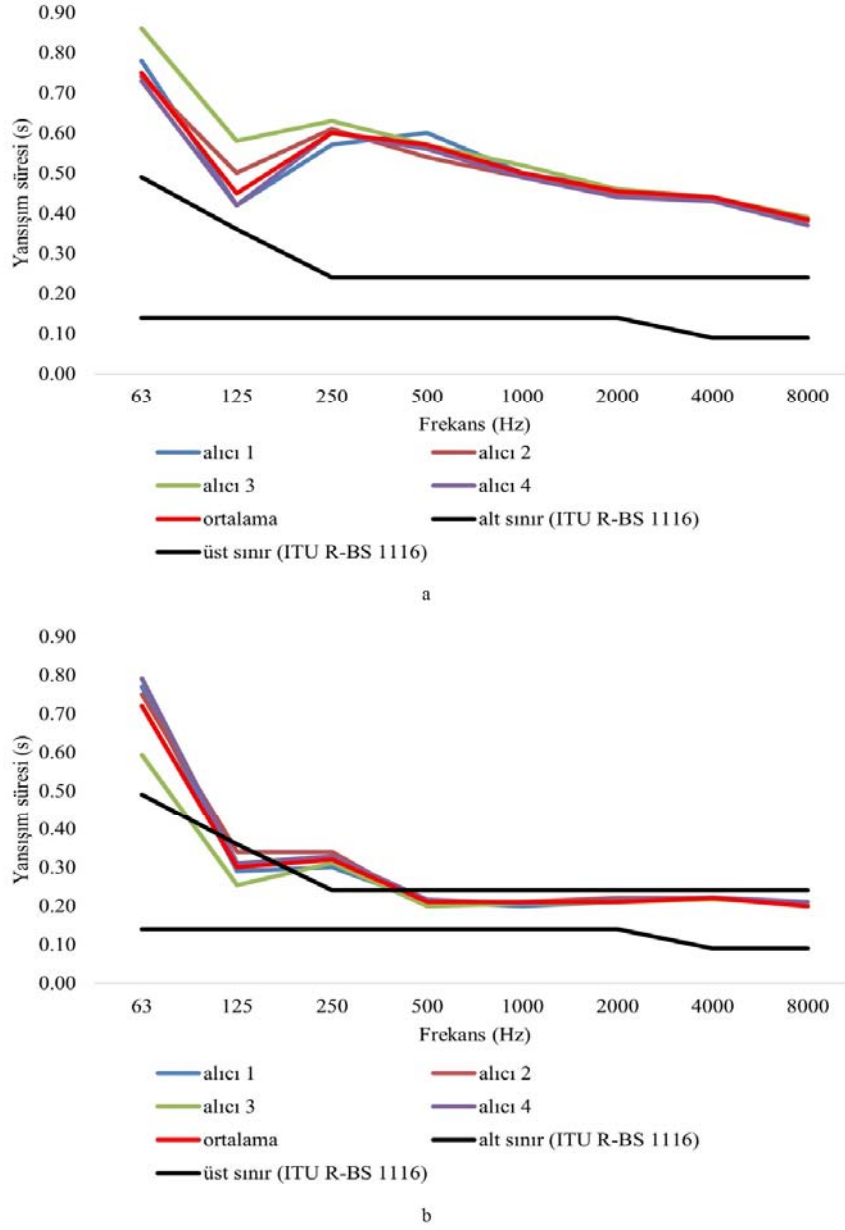
**Tablo 6.** Kontrol odası düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması (T 30 comparison to receiver points before control room arrangement)

T30 (s)	Alıcı no	Frekans (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Düzenleme öncesi	1	0,78	0,42	0,57	0,60	0,50	0,46	0,44	0,39
	2	0,74	0,50	0,61	0,54	0,49	0,45	0,43	0,38
	3	0,86	0,58	0,63	0,57	0,52	0,46	0,44	0,39
	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
	Standart sapma	0,05	0,07	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Düzenleme sonrası	1	0,77	0,29	0,30	0,21	0,20	0,21	0,22	0,20
	2	0,75	0,34	0,34	0,20	0,21	0,22	0,22	0,20
	3	0,59	0,25	0,31	0,20	0,21	0,21	0,22	0,20
	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
	Standart sapma	0,08	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
T30 (s) Alt sınır (ITU R-BS 1116)		0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09
T30 (s) Üst sınır (ITU R-BS 1116)		0,49	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

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, odanın yanıt eğrisinin düzgünlüğüne, bir başka deyişle frekansa göre tepkisinin değişmemesine bağlıdır. Odanın ses karakterini belirlemek için öncelikle odanın rezonans frekanslarının ve hacim içindeki dağılımlarının belirlenmesi gerekmektedir. Eksensel, teğetsel ve eğik modların frekansları ve yerleri belirlendikten sonra, bunların oda içinde duyumu bozabilecek etkiler 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, hesaplar yardımı ile karar verilmelidir.

Bu çalışmada 43 m<sup>3</sup> hacme sahip bir odanın kontrol odası olarak kullanılabilmesi için akustik tasarımı gerçekleştirilmiştir. Düzenleme öncesi ve sonrası, önemli görülen akustik parametrelere ilişkin ölçme ve hesaplar yapılarak, karşılaştırılmalı değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- İncelenen oda literatürde yer alan oda oranlarına uymamaktadır. Ancak oda oranının birbiri ile anlamlı matematiksel orantı oluşturmadığı görülmüştür. Oda oranlarının oda mod dizilimi üzerindeki etkisi mod çakışmasının kontrolüdür. Literatürde yer alan oda oranlarına uymasa da yapılan hesaplamalar sonucunda mod çakışması olmayacağı görüldüğünden dolayı oda çalışma için uygun bulunmuştur.

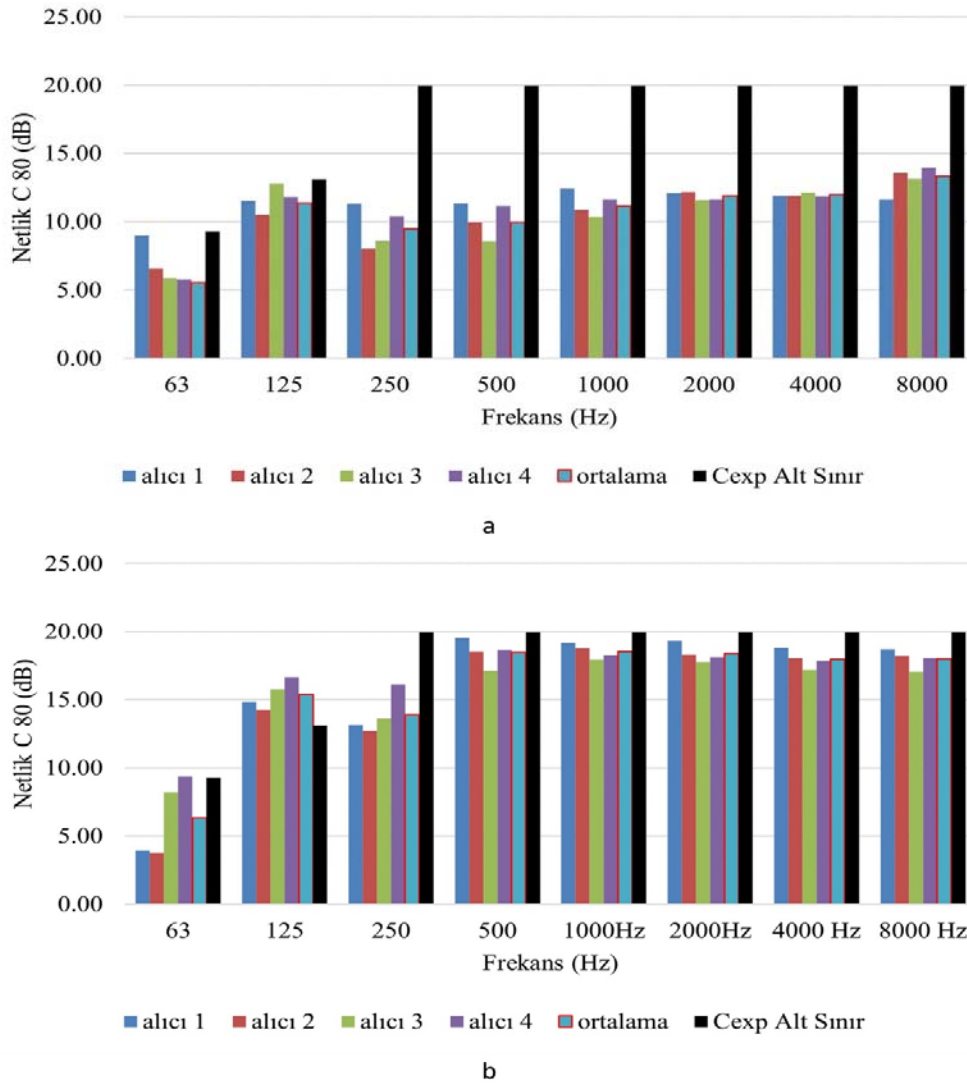


**Şekil 15.** Kontrol odası alıcı noktalarına göre T 30 karşılaştırması a) düzenleme öncesi, b) düzenleme sonrası (T 30 comparison by receiver points before (a) and after (b) control room setup)

**Tablo 7.** Düzenleme öncesi ve sonrası alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması (C 80 comparison to receiver points before setup)

C80	Alıcı	Frekans (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Düzenleme öncesi	1	8,99	11,56	11,33	11,34	12,43	12,13	11,89	11,65
	2	6,56	10,49	8,04	9,95	10,85	12,20	11,90	13,57
	3	5,85	12,80	8,62	8,56	10,37	11,63	12,14	13,14
	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
Düzenleme sonrası	1	3,94	14,83	13,15	19,52	19,16	19,32	18,81	18,70
	2	3,79	14,28	12,72	18,51	18,76	18,32	18,05	18,20
	3	8,21	15,75	13,63	17,13	17,95	17,78	17,18	17,05
	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





Şekil 16. Alıcı noktalarına göre C 80 karşılaştırması a) düzenleme öncesi, b) düzenleme sonrası (C 80 comparison by buyer points before (a) and after (b) issuance)

- Odanın Schroder frekansının altında kalan bölgelerde mod problemlerinin olduğu, üstünde kalan frekans bölgelerinde mod yoğunluğunun artarak oda cevabının düzgünleştiği gözlemlenmiştir.
- Akustik düzenleme yapılmamış küçük bir odada C80 değerlerinin sınır değerlerin altında olduğu, ses yutucu ve dağıtıcı akustik gereçlerin yerleştirilmesi sonucu C80 değerlerinin artarak alt sınır değere yaklaştığı belirlenmiştir.
- Kullanılan QRD saçıcıların yayınık ses alanı yaratarak 500 Hz ve üstündeki frekanslarda ses yutumunu arttırdığı görülmüştür. 500 Hz ve üstü frekanslar için öngörülen saçıcılık etkisinin gerçekleşmesi, hesap ve düzenleme sonrası ölçüm sonucunu karşılaştırdığımızda anlaşılmaktadır. Bu durum, saçılmanın ses yutumuna, yayınık ses alanı yaratarak katkı sağladığını kanıtlamaktadır.
- Helmholtz rezonatör panellerinin hem yutuculuk hem de saçıcılık özellikleri bulunmasından dolayı alıcı noktalarına göre yansımın süresi değerlerinin 500 Hz altında birbirlerine yakın değerler aldıkları görülmüştür. Bu durum düzenleme yapılırken sesin dağılması sonucunda alıcı noktalarındaki değerlerin birbirlerine yaklaşacağı beklentisini karşılamaktadır. Helmholtz rezonatörler sesin eşit dağılmasına katkı sağlamaktadır. Aynı şekilde QRD

saçıcıların da orta ve üst frekans bölgelerinde yansımın süresi değerlerini düzenleme öncesine göre yaklaştırdığı görülmüştür. QRD saçıcıların orta ve üst frekans bölgelerinde sesin eşit dağılmasına katkı sağladığı bulunmuştur.

- 63 Hz bölgesinde ise T30 açısından hesaplanan değerlere ulaşamamış, Helmholtz panellerin etkisi bu frekans bölgesinde görülmemiştir. Bu durumun iki nedeninin olabileceği düşünülmektedir. Köşelere konumlandırılan panellerin paralel duvarlar arasında oluşan eksensel modlara etki etmemesi sonucu, alt frekans bölgesinde yansımın süresinin değişmemesi veya bu frekans bölgesinde görebildiğimiz ölçüm zorlukları sonucu iyileştirmenin belirlenememesi olabilir.

Çalışma genel olarak değerlendirildiğinde, uygulanan akustik gereçlerin işlevini yerine getirdiği görülmüştür. 125 Hz ve üstündeki frekanslarda iyileştirme düzeyleri yeterli bulunmuştur. 250 Hz bölgesi sınır değerlerin biraz üstünde kalmış olsa da ilk duruma göre yansımın süresi olumlu yönde, yarı yarıya düşmüştür. 63 Hz bölgesinde ise gerekli iyileştirme gözlemlenememiştir. Bunun nedeni, kontrol odası hacminin küçük olması ve alt frekans seslerin küçük odalarda öngörülemeyen davranışları olabilir. Bu çalışma kapsamında, kontrol

odalarının akustik tasarımı açısından bir örnek uygulama yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Kontrol odasının büyüklük, biçim, boyut oranları benzeri özelliklerine bağlı olarak, sonuçların belli oranda değişim gösterebileceği de değerlendirilmeye alınmalıdır.

#### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma için sponsor olan Sayın Kerem Keskin ve RIST İstanbul Şirketine teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar (References)

- Newell P., Recording Studio Design, Elsevier, New York, ABD, 2012.
- Yoshida T., Ueda Y., Mori N., Matano Y., An experimental study of the performance of a crossed rib diffuser in room acoustic control, Appl. Sci., 11 (9), 3781, 2021.
- Zhou X., Späh M., Hengst K., Zhang T., Predicting the reverberation time in rectangular rooms with non-uniform absorption distribution, Appl. Acoust., 171, 2021.
- Benny B. J., McNally K., University of Victoria sound recording studio renovation, AES 146th Convention, Dublin- Ireland, March 20-23, 2019.
- Błaszak M. A., Acoustic design of small rectangular rooms: Normal frequency statistics, Appl. Acoust., 69 (12), 1356–1360, 2008.
- Milán M. J., Requirements to acoustically prepare a recording studio, AES 118th Convention, Barcelona-Spain, May 28-31, 2005.
- Stamac I., Skalec M., Stims D. Z., Maribor R., One year experience with rebuilt control room in Maribor, AES 102nd Convention, Munich-Germany, March 22-25, 1997.
- Kamińska M., Kobyłt P., Kruk B., Sokolnicki J., Acoustics modernization of the recording studio in Wrocław University of Technology, AES 134th Convention, Rome-Italy, May 4-7, 2013.
- Rabisse K., Ducourneau J., Faiz A., Trompette N., Numerical modelling of sound propagation in rooms bounded by walls with rectangular-shaped irregularities and frequency-dependent impedance, J. Sound Vib., 440, 291–314, 2019.
- Zhang J., Zhang Y., Zhou Z., Fang M., Design and analysis of acoustic reforms of studio, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 399, 3rd China-Romania Science and Technology Seminar, 2018.
- Everest F. A., Master Handbook of Acoustics, Mc Graw Hill. ABD, 2001.
- Everest F. A., Shea M., How to Build a Small Budget Recording Studio Fourth Edition, Mc Graw Hill, New York-ABD, 2012.
- TS EN ISO 3382-2, Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 2: Sıradan odalarda çınlama süresi, 2008.
- ITU R-BS 1116, Method for the Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems Including Multichannel Sound systems, 1997.
- Gade A. C., Acoustics in Halls for Speech and Music, Handbook of Acoustics, Springer, New York, ABD, 317-366, 2007.
- Schroeder M. R., New Method of Measuring Reverberation Time, J. Acoust. Soc. Am., 37 (6), 1187–1188, 1965.
- Gilford C. L. S., The acoustic design of talk studios and listening rooms, Proc. Inst. Elect. Engs, 106, 257–258, 1959.
- Bonello O. J., A new criterion for the distribution of normal room modes, J. Audio Eng. Soc., 29 (9), 597–606, 1981.
- Maa D. Y., Distribution of eigentones in a rectangular chamber at low frequency range, J. Acoust. Soc. Am., 10, 235–238, 1939.
- Boner C. P., Performance of broadcast studios designed with convex surfaces of plywood, J. Acoust. Soc. Am., 13, 244–247, 1942.
- Volkman J. E., Polycylindrical Diffusers in Room Acoustical Design, J. Acoust. Soc. Am., 13, 234–243, 1942.
- Sepmeyer L. W., Distribution of the normal modes of vibration in rectangular rooms, J. Acoust. Soc. Am., 37, 413–423, 1965.
- Louden M. M., Dimension ratios of rectangular rooms with good distribution of eigentones, Acustica, 24, 101–103, 1971.
- Bolt R. H., Note on normal frequency statistics for rectangular rooms, J. Acoust. Soc. Am., 18, 130–133, 1946.
- Meyer J., Acoustics and the Performance of Music, Springer, New York, ABD, 2009.
- Dance S. M. Van Buuren G., Effects of damping on the low frequency acoustics of listening rooms based on an analytical model, J. Sound Vib., 332 (25), 6891–6904, 2013.
- Sumbatyan M. A., Lannie M. Y., Zampoli V., A fast Galerkin-based method for eigenfrequencies in acoustics of small rooms with slanted boundary planes, J. Sound Vib., 367, 101–113, 2016.
- EbuTech 3276, Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two-channel stereophonic, 1998.
- Gilford C. L. S., Helmholtz resonators in the acoustic treatment of broadcasting studios, Br. J. Appl. Phys., 86–92, 1952.
- Didkovskiy V., Naida S., Zaets V., Experimental study into the helmholtz resonators' resonance properties over a broad frequency band, Appl. Phys., 1/5 (97), 2019.
- Tıraş M., Ses kayıt stüdyolarında akustik tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2021.
- Antonio P. D., Konner J. H., The Schroeder QRD design theory and application, AES 74th Convention, New York-ABD, October 8-12, 1983.
- Antonio P. D. and Konner J. H., The acoustical properties of sound diffusing surfaces: the time, frequency and directivity energy response, AES 79th Convention, New York-ABD, October 12-16, 1985.
- Amroc room mode calculator, <http://amcoustics.com>, Erişim tarihi: Ağustos 12, 2022.
- Biswas S., Agrawal A., Noise reduction in a large enclosure single, dual and ensconced Helmholtz resonators, Current Science Association, 104 (12), 1681–1691, 2013.