

Eğitim Yapılarında Ses Kayıt Stüdyolarının Akustik Tasarımının Bir Örnek Üzerinden İncelenmesi

Ali KAYGISIZ^{1*} Rumeysa TUNA SAYIN² Fatih SEMERCİ²

¹ Aksaray Üniversitesi, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 03.08.2026
Kabul Tarihi: 31.08.2026
Yayın Tarihi: 30.09.2026

Anahtar Kelimeler:

Ses kayıt stüdyosu,
Küçük oda akustikliği,
Oda modları,
Reverberasyon süresi,
Eğitim yapıları.

ÖZET

Müzik üretim süreçlerinin dijitalleşmesiyle birlikte ses kayıt mekânları, geçmişin büyük ticari tesislerinden ziyade eğitim kurumları bünyesindeki küçük hacimli proje stüdyolarına doğru kaymıştır. Küçük odaların fiziksel doğası, özellikle alçak frekanslarda rezonans boşlukları yaratarak sesin nötr duyumunu zorlaştıran duran dalgalar ve renklenme gibi akustik problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda araştırma, N.E.Ü. Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi'nde yer alan ses kayıt stüdyosu ve kontrol odasının akustik koşullarını nesnel ölçütler üzerinden değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın yöntemi; yerinde gerçekleştirilen akustik ölçümler, literatür temelli matematiksel hesaplamalar ile "Amroc" yazılımı üzerinden yapılan üç boyutlu oda modu analizlerinden oluşmaktadır. Akustik ölçümler sonucunda, ses kayıt stüdyosunda alçak frekanslarda yüksek olan reverberasyon sürelerinin frekans seviyesi arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun yüksek frekanslı sesleri maskeleyerek müzikal netliği bozabileceği ifade edilmiştir. Kontrol odasında ise 63 Hz dışındaki tüm frekans bantlarında birbirine oldukça yakın ve dengeli, ancak optimum düzeyin biraz üzerinde çınlama süreleri ölçülmüştür. Arka plan gürültü ortalamalarının kayıt stüdyosunda 21,50 ile 38,00 dBA arasında seyrederek ideal kabul edilen NC 15-20 eğrilerini aştığı gözlemlenmiştir. Oda modu analizlerinde ekselenel mod enerjilerinin yüksekliği dikkat çekmiş; ancak hesaplanan Q faktörü değerlerinin işitilebilirlik sınırı olan 16'nın altında kalması sebebiyle, odalarda algılanabilir düzeyde ciddi bir renklenme sorunu olmadığı doğrulanmıştır. Sonuç olarak, eğitim yapılarındaki stüdyo ve kontrol odası tasarımlarında ortam gürültüsünün izole edilebilmesi adına, sirkülasyon holleri ile stüdyo arasına kesinlikle tampon mekânlar konumlandırılmalı ve mimari sistem çift kabuk olarak kurgulanmalıdır. Bununla birlikte mekânın en, boy ve yükseklik boyutları mod çıkışmalarını engelleyecek oranda tasarlanmalı; yüzey malzemeleri hedeflenen çınlama süresine uygun seçilerek, tasarım henüz erken aşamalarında bilgisayar simülasyonları ile desteklenmelidir.

An Examination of the Acoustic Design of Sound Recording Studios in Educational Buildings Through a Case Study

Article Info

Received: 03.08.2026
Accepted: 31.08.2026
Published: 30.09.2026

Keywords:

Recording studio,
Small-room acoustics,
Room modes,
Reverberation time,
Educational buildings.

ABSTRACT

The digitalization of music production has shifted sound recording activities from large commercial facilities to smaller project studios, where limited room dimensions often cause acoustic problems such as standing waves, room modes, and low-frequency resonances that compromise neutral sound perception. This study evaluates the acoustic performance of the sound recording studio and control room at the Necmettin Erbakan University Faculty of Fine Arts and Architecture using objective acoustic criteria. The methodology integrates in-situ acoustic measurements, literature-based mathematical calculations, and three-dimensional room mode analyses performed with Amroc software. Results indicate that the recording studio exhibits relatively high reverberation times at low frequencies, decreasing toward higher frequencies, which may reduce musical clarity by masking high-frequency content. In the control room, reverberation times are relatively balanced across the frequency spectrum, except at 63 Hz, although they remain slightly above recommended values. Background noise levels in the recording studio range from 21.50 to 38.00 dBA, exceeding the NC 15-20 criteria generally recommended for professional recording environments. Room mode analysis reveals elevated axial mode energy; however, calculated Q-factor values remain below the perceptibility threshold of 16, indicating no significant audible acoustic coloration. The findings suggest that studio design in educational facilities should incorporate buffer zones between circulation spaces and recording areas, employ double-shell construction for effective sound isolation, optimize room proportions to minimize modal coincidence, and carefully select surface materials to achieve target reverberation times. Integrating computer-based acoustic simulations during the early design stage is recommended to enhance overall acoustic performance.

Bu makaleyi kaynak göstermek için :

Kaygisız, A., Tuna Sayın, R., & Semerci, F. (2026). Eğitim Yapılarında Ses Kayıt Stüdyolarının Akustik Tasarımının Bir Örnek Üzerinden İncelenmesi. *Thinking of Urban Decoding Journal (TUDEJ)*, 3(1), 58-77. <https://doi.org/10.69992/TUDEJ.2026.16>

*Sorumlu Yazar: Ali Kaygisız, kaygisiza@gmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Modern ses kayıt ve prodüksiyon süreçleri, teknolojinin hızlı evrimiyle birlikte büyük bir dönüşüm geçirerek akustik bilimi ile mühendislik pratiklerinin karmaşık bir entegrasyonu hâline gelmiştir (Huber ve Runstein, 2005). Geçmişte yalnızca büyük ve ticari tesislerde (Studio X, Seattle, WA; Sony/Tree's Music Studio, Nashville, TN; Paisley Park's Studio A, Chanhassen, MN. gibi) yürütülen müzik üretimi, günümüzde dijitalleşmenin ve ses iş istasyonlarının (DAW), MIDI teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla proje ve ev tipi stüdyolara doğru belirgin bir kayma göstermiştir (Pelen, 2016; Huber ve Runstein, 2005). Düşük maliyetli bu küçük hacimli stüdyolar, işitsel alışkanlıkları (habitus) yeniden şekillendirerek müzik endüstrisinin yeni merkezleri konumuna gelmiştir (Vergili ve Öziş, 2022). Ev tipi stüdyoların mevcut konutlara entegrasyon süreçlerinin (Demircan, 2022) ve Türkiye'deki müzik teknolojisi lisans eğitimlerinin müfredatlarında "Ses Kayıt ve Prodüksiyon Teknikleri" nin ağırlıklı bir yer tutmasının, bu alandaki profesyonelleşme ihtiyacının akademik düzeydeki yansımaları olduğu görülmektedir (Pelen, 2016).

Müzik ve ses üretiminin temelini oluşturan ses kayıt stüdyoları, vokal ve enstrümantal seslerin gelişmiş elektronik aygıtlar ile kaydedildiği ve işlendiği, akustik açıdan özel gereksinimleri olan mekânlardır (İlgürel, 2015). Temel olarak performansın icra edildiği kayıt odası ve sinyal işleme, mixing ile mastering tekniklerinin uygulandığı kontrol odasından oluşurlar (İlgürel, 2015; Vergili ve Öziş, 2022). Günümüzde müzik endüstrisindeki dijitalleşme ve teknolojik eğilimleri, kayıt süreçlerini büyük ve geleneksel stüdyolardan, eğitim kurumları bünyesinde de sıklıkla yer alan "proje stüdyoları" olarak adlandırılan daha küçük ölçekli hacimlere taşımıştır (Vergili ve Öziş, 2022). Bir eğitim yapısı içerisinde yer alan bu tür özelleşmiş mekânların akustik uygunluğu, sadece duyum kalitesini optimize etmekle kalmaz; aynı zamanda öğrencinin çalgı performansı sırasındaki odaklanma, dikkat ve meditasyon (rahatlama) düzeylerini de doğrudan ve ölçülebilir bir şekilde etkiler (Demiray ve Durak, 2021).

Müzik üretiminin bireyselleşmesine ve küçük mekânlara taşınmasına rağmen, küçük hacimli odaların akustik tasarımı sesin nötr bir şekilde duyulmasını zorlaştıran temel fiziksel engeller barındırmaktadır (Yavuz, 2007). Literatürde, küçük odaların fiziksel davranışlarına ilişkin şu temel saptamalar öne çıkmaktadır:

- Özellikle 300 Hz'in altındaki frekanslarda küçük odalar birer rezonans boşluğu gibi davranmakta ve paralel yüzeylerin oluşturduğu oda modları (duran dalgalar), düşük frekanslarda ciddi bozulmalara (coloration) yol açmaktadır (Everest, 1979; Everest ve Pohlmann, 2009).
- Yüksek frekanslarda ise bu akustik etkilere eğik (oblique) modların egemen olduğu ve reverberasyon parametrelerinin hesaplanmasında Schroeder entegrasyonuna dayalı sayısal yöntemlerin kullanılması gerektiği bilinmektedir (Meissner, 2017).
- Geleneksel olarak modların etkisini azaltmak için R.H. Bolt'un ideal oda oranları kullanılsa da, bu oranların tek başına yeterli olmadığı ve Schroeder frekansına kadar olan modal dağılımın odanın ortalama yutuculuk katsayısı ($\bar{\alpha}$) ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği kanıtlanmıştır (Błaszak, 2006; Błaszak, 2008).

Eğitim kurumlarında yer alan ses kayıt ve kontrol odaları, hacimsel açıdan çoğunlukla "küçük oda" (300 m³'ün altı) sınıfında değerlendirilmektedir (Vergili ve Öziş, 2022). Bu tür odaların akustik tasarımındaki temel sorunlardan biri, ses alanının yeterli ölçüde yaygın (diffuse) özellik gösterememesi ve bunun sonucunda düşük frekanslarda güçlü modal davranışların ortaya çıkmasıdır (Meissner, 2017). Oda boyutlarına bağlı olarak gelişen ve Schroeder frekansının (kritik frekans) altında etkili olan bu duran dalgalar (oda modları), belirli frekanslarda ses enerjisinin sönümlenmesine

veya güçlenmesine neden olarak belirgin ses renklenmelerine (coloration) yol açabilmektedir (Błaszak, 2006; Błaszak, 2008; Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024).

Söz konusu modal davranışlara ek olarak, hoparlör ile oda sınırları arasındaki etkileşimden kaynaklanan hoparlör–sınır girişimi yanıtı (Speaker-Boundary Interference Response, SBIR) da kontrol odalarının frekans yanıtını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. SBIR, hoparlörden yayılan doğrudan ses ile hoparlöre yakın oda sınırlarından (duvar, tavan veya zemin) yansıyan erken seslerin etkileşimi sonucunda ortaya çıkmakta ve belirli frekanslarda girişim kaynaklı düzensizliklere neden olmaktadır. Benzer biçimde, doğrudan ve yansıyan sesler arasındaki zamansal ve fazsal ilişkinin bir sonucu olarak ortaya çıkan tarak filtreleme (comb filtering), özellikle hoparlör ile yansıtıcı yüzey arasındaki mesafenin ses dalga boyunun dörtte birine ($\lambda/4$) karşılık geldiği durumlarda, frekans yanıtında belirgin çukurların oluşmasına yol açabilmektedir. SBIR ve tarak filtreleme kaynaklı bu frekans düzensizliklerinin, odanın yetersiz ve homojen olmayan ses yayılımı gibi diğer akustik problemlerle birleşmesi, kontrol odalarında gerçekleştirilen kritik dinleme (critical listening) süreçlerinde sesin nötr, dengeli ve doğru biçimde algılanmasını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Kelle vd., 2021; Vergili ve Öziş, 2022).

Oda geometrisinin yanı sıra, ses kayıt ve kontrol odalarındaki erken yansımaların yönetimi, tarak filtre (comb-filter) etkilerini önlemek ve uzamsal imgelemeyi korumak adına kritik bir rol oynar (Long, 2006). İdeal bir dinleme ortamı yaratmak amacıyla geliştirilen "Live End-Dead End (LEDE)" ve "Yansımaz Bölge (RFZ)" gibi tasarımlar, odanın ön kısmını yansılardan arındırırken, arka kısmında saçıcı elemanlar kullanarak sesi zamansal ve uzamsal olarak dağıtmayı hedefler (Kelle vd., 2021). Bu bağlamda, dinleyiciye ulaşan direkt ses ile geç yansımalar arasında oluşturulan yaklaşık 20 ms'lik "İlk yansıma gecikme süresi (ITDG)", küçük odalarda ferah bir akustik alan (spaciousness) hissi uyandırır (Long, 2006; Everest ve Pohlmann, 2009). Bireysel yansımaların uzamsal ve tınısal algı üzerindeki etkilerini inceleyen Bech (1995, 1998), küçük odalarda özellikle birinci derece zemin (floor) ve tavan yansımalarının uzamsal algıyı ve tınıyı doğrudan değiştiren en belirgin faktörler olduğunu tespit etmiştir. Öte yandan, Evans (2013), hoparlör yönlülüğü (directivity) ile oda yüzey emiliminin dinleyicideki algılanan genişlik ve ferahlık hislerini etkilediğini ortaya koymuştur. Dinleyicilerin öznel reverberasyon tercihlerini çoklu hoparlör ortamlarında "Flash Profile" yöntemiyle inceleyen Kaplanis vd. (2019) ise, dinleyicilerin tutarlı bir biçimde düşük reverberasyon sürelerini tercih ettiğini ve IEC standartlarının bu algısal boyutta kritik bir sınır oluşturduğunu göstermiştir.

Ses kayıt ve kontrol odalarında doğru bir akustik iklimin sağlanabilmesi ve mix'in taşınabilir yani başka ortamlarda da iyi tınlayan olabilmesi için, öncelikle arka plan gürültü seviyesinin yalıtım teknikleriyle NC 15-20 düzeylerine çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca kontrol odalarında reverberasyon süresinin (RT) frekanslara göre dengeli bir biçimde (genellikle 0.3-0.4 saniye bandında) kontrol altında tutulması şarttır (Yavuz, 2007; İlgürel, 2015; Kelle vd., 2021). Düşük frekanslardaki modal problemlerin aşılabilmesi amacıyla alçak frekans yutucuları (örneğin Helmholtz rezonatörleri) ve orta/üst frekanslarda homojen bir dağılım için QRD (Quadratic Residue Diffuser) gibi matematiksel dizilimli saçıcı elemanlar yaygın olarak kullanılmaktadır (Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024). Düşük frekanslı (100 Hz altı) rezonansların sönümlenmesinde derin cam yünü katmanları, Helmholtz rezonatörleri ve Kompozit Yönlendirici Yutucular (CBA) etkili çözümler sunmaktadır (Fuchs vd., 2000; Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024). Hoparlör kabin kırınımlarının minimize edilmesinde zaman tanım alanlı Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) optimizasyonları öne çıkarken (Holm ve Mäkiavirta, 2013), Fazenda vd. (2003), oda modlarındaki kalite faktörü (Q-faktörü) değişimlerinin insan kulağı tarafından algılanabilmesi için bu değerin en az 16 olması gerektiğini belirterek, gereksiz akustik müdahalelerin sınırını çizmiştir. Modern tasarım literatüründe, hoparlörlerden kaynaklanan erken yansımaların dinleyiciye ulaşmasını engelleyerek nötr bir duyum alanı yaratan "Canlı Taraf-Ölü Taraf" (LEDE - Live-End-Dead-End) ve bu prensibin gelişmiş bir uzantısı olan "Yansımaz Alan"

(RFZ - Reflection Free Zone) yaklaşımları, kontrol odası tasarımının temel dayanak noktalarını oluşturmaktadır (Kelle vd., 2021). Doğru yapılandırılmış bir akustik tasarım, ilk yansıma gecikme süresinin (ITDG) optimum aralıkta tutulmasını ve netlik (C80), algılanan kaynak genişliği (ASW) ve dinleyicinin sarmalanması (LEV) gibi psikoakustik/uzamsal algı parametreleri üzerindeki olumsuz etkilerinin minimize edilmesini sağlamaktadır (İlgürel, 2015; Kaplanis vd., 2014; Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024).

Bununla birlikte, bir eğitim binasında yer alan stüdyonun salt teknik donanım ve frekans yanıtı üzerinden değil, öğrencinin psikolojik ve nörobilişsel performans gereksinimleri üzerinden de değerlendirilmesi elzemdir. Küçük ve yalıtımsız odalardaki uygun olmayan boyut oranları ile sorunlu yansıma özellikleri, istenmeyen akustik etkilere yol açarak konsantrasyonu bozmakta, işitme sisteminde yorgunluk (fatigue) yaratarak eğitim performansını düşürmektedir (Błaszak, 2006; Demiray ve Durak, 2021). Kayıt stüdyolarında oluşturulan akustik ortamın doğrudan icracı performansını etkilediği görülmektedir. Klasik şancıların küçük çalışma odalarında 0.8 saniyelik bir çınlama süresini (RT) tercih ettikleri ve bu ortamda daha az vokal efor sarf ettikleri saptanmıştır (Sinal, 2015). Konservatuvar işlevli eğitim yapılarında (Yaşar, 2021) ve ses kayıt stüdyolarında algı temelli ölçüm metriklerine (SIR) duyulan ihtiyaç (Kaplanis vd., 2014; Malecki, 2015) göz önüne alındığında, klasik akustik parametrelerin insan işitme algısını ve fizyolojik tepkilerini merkeze alarak yeniden yapılandırılması gerektiği açıktır. Akustik açıdan doğru yalıtılmış ve düzenlenmiş çalışma odalarının, öğrencilerin çalgı performansı sırasındaki dikkat ve meditasyon verilerini belirgin bir biçimde (pozitif yönde) artırdığı kanıtlanmıştır (Demiray ve Durak, 2021). Dış gürültülerden ve oda içi reverberasyonlardan arındırılmış nötr bir duyum ortamı, bireyin çalma tekniklerine daha iyi odaklanmasını, kendi entonasyon/nüans hatalarını net bir şekilde fark etmesini ve sonuç olarak müzikal otokontrol becerisini geliştirmesini sağlamaktadır (Demiray ve Durak, 2021).

Bu çalışmanın kapsamı, bir eğitim yapısında yer alan ses kayıt stüdyosu ve kontrol odasının akustik koşullarını akustik ölçüm, simülasyon ve literatürde yer alan formüller üzerinden yapılacak hesaplamalarla küçük oda akustiği parametreleri bağlamında incelenmesidir. Araştırma; eğitim yapılarındaki ses kayıt ve kontrol odalarının fiziksel ve nesnel ölçütler üzerinden akustik performanslarını değerlendirerek ses kayıt stüdyolarının ve kontrol odalarının mekânsal tasarımına kapsamlı bir perspektif sunmayı amaçlamaktadır.

Küçük Oda Akustiği ve Modal Davranışlar

Eğitim kurumlarında ve proje stüdyolarında yer alan ses kayıt stüdyoları ve kontrol odaları hacimleri gereği "küçük oda (300 m³'ün altı)" sınıfında değerlendirilmektedir (Vergili ve Öziş, 2022). Bu odalardaki en temel akustik zorluk, ses alanının yaygın (diffuse) özellik gösterememesi ve düşük frekanslardaki güçlü modal davranışlardır (Meissner, 2017). Tasarımda, odanın birbirinden ayrık modların hâkimiyetinden çıkıp geometrik/yaygın ses alanına geçtiği sınır bölgesini Schroeder frekansı (Kritik frekans) (f_{sch}) belirler (Błaszak, 2006). Schroeder frekansı aşağıda verilen formül ile hesaplanır:

$$f_{sch} = 2000 \times \sqrt{RT_{60}/V} \quad (1)$$

Formülde;

f_{sch} : Schroeder frekansı (Kritik frekans)

RT_{60} : Reverberasyon süresi

V: Oda hacmini ifade etmektedir (Błaszak, 2006; Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024).

Bu frekans sınırının altında kalan düşük frekanslı ses dalgaları, oda modları oluşturarak seste ciddi renklenmelere (coloration) neden olur (Błaszak, 2006; Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024). Bu

frekansın altında kalan duran dalgaların (oda modları) seste neden olduğu renklemelerin ve işitme kalitesinin değerlendirilmesinde ise Q-faktörü (kalite faktörü) büyük önem taşır. Q faktörü (Kalite Faktörü), en temel matematiksel tanımıyla, bir rezonansın veya filtrenin merkez frekansının (f_c), etkilediği frekans bandının genişliğine (Bandwidth- BW) bölünmesiyle hesaplanır (Bricio, 2026; Skålevik, 2011).

$$Q = f_c / BW_{3dB} \quad (2)$$

Formüldeki bant genişliği (BW_{3dB}), sinyal gücünün yarıya düştüğü, diğer bir ifadeyle tepe noktasından (peak) 3 dB azaldığı iki kesim noktası (cut-off frequency) arasındaki frekans farkını ifade etmektedir (Önen, 2020). Oda modlarının bu bant genişliği (BW_{3dB}), büyük ölçüde odanın reverberasyon süresine (T_{60}) bağlıdır ve $BW_{3dB} = 2.2/RT_{60}$ bağıntısıyla ifade edilebilir (Skålevik, 2011). Buradan çıkan sonuca göre; hesaplanan Q faktörü değeri ne kadar büyükse, frekans yanıtı o kadar dar (keskin) olur ve uyarım kesildikten sonra çınlamanın/sönümlenmenin (decay) süresi o kadar uzar (Fazenda vd., 2003; Skålevik, 2011). Literatürde yapılan çalışmalara göre modal bir rezonansın işitilebilir olması için Q değerinin en az 16 olması gerektiği, bu eşiğin altındaki durumlarda ilave akustik düzenlemeye gerek kalmayabileceği kanıtlanmıştır. Q değerinin 16 ve üzeri olması durumunda modal rezonans artık işitilebilir durumdadır ve akustik düzenleme yapılması bir gereklilik halini alacaktır (Fazenda vd., 2003).

Kayıt stüdyoları ve kontrol odaları gibi küçük hacimli mekanların akustik tasarımında, odanın modal bölgesinin (oda modlarının etkili olduğu aralığın) alt sınırını belirten kesme frekansı (f_{kesme}), sesin havadaki hızının odanın en uzun kenarının iki katına bölünmesiyle hesaplanır (Kelle vd., 2021).

Matematiksel formülü şu şekildedir:

$$f_{kesme} = \frac{c_0}{2 \times l_{en \text{ uzun kenar}}} \quad (3)$$

Bu formüldeki değişkenler:

c_0 : Sesin havadaki hızı (m/sn)

$l_{en \text{ uzun kenar}}$: Odanın en uzun kenarının ölçüsü (m) (Kelle vd., 2021).

Tasarım aşamasında akustik problemlerin en yoğun yaşandığı mod bölgesi, kesme frekansı ile kritik frekans (Schroeder frekansı) arasında kalan frekans aralığı olarak kabul edilir (Kelle vd., 2021).

Oda oranları, simülasyon ve tasarım yaklaşımları ile alçak frekanslarda mod çakışmalarını ve yığılmalarını engellemek için odanın boyut oranlarının optimizasyonu şarttır. Küçük dikdörtgen odalarda (örneğin kontrol odaları ve proje stüdyoları) oda modları (öz frekanslar veya rezonans frekansları), odanın fiziksel ölçülerine ve sesin havadaki hızına bağlı olarak dalga akustiğine dayalı matematiksel bir formülle hesaplanır (Błaszak, 2008; Meissner, 2017). Bu hesaplama için literatürde temel alınan denklem şu şekildedir:

$$f_{n_x, n_y, n_z} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \frac{n_y^2}{L_y} + \frac{n_z^2}{L_z}} \quad (4)$$

Bu formüldeki değişkenler şunları ifade eder (Błaszak, 2008; Meissner, 2017; Long, 2006):

f: Hesaplanmak istenen oda modu frekansı (Hz).

c : Sesin havadaki hızı (genellikle 340 m/s veya 343 m/s olarak alınır).

L_x, L_y, L_z : Odanın sırasıyla uzunluğu, genişliği ve yüksekliği (metre cinsinden).

n_x, n_y, n_z : 0, 1, 2, 3... gibi tam sayı değerleri alan ve modun derecesini (düzenini) belirten

indislerdir.

Oda modları, formülde yer alan n_x , n_y , n_z tam sayılarının aldığı değerlere göre üç ana kategoriye ayrılarak hesaplanır (Meissner, 2017):

- Eksensel (Axial) Modlar: İndislerden yalnızca bir tanesinin sıfırdan farklı olduğu (örneğin 1,0,0 veya 0,2,0 gibi) durumlardır (Meissner, 2017; Long, 2006). Ses dalgalarının sadece karşılıklı iki paralel yüzey arasında yansımalarıyla oluşurlar. Akustik açıdan en yüksek enerjiye sahip olan ve en çok probleme (renklenmeye) yol açan modlar bunlardır (Błaszak, 2006; Błaszak, 2008). Eksensel modların hesaplaması, ses hızı 340 m/s kabul edildiğinde $f = n \times \frac{170}{L}$ pratik formülüyle kolayca yapılabilir (Błaszak, 2008). (Buradaki L, hesaplanan eksendeki duvarlar arası mesafedir).
- Teğetsel (Tangential) Modlar: İndislerden iki tanesinin sıfırdan farklı olduğu (örneğin 1,1,0 veya 2,0,1 gibi) modlardır (Meissner, 2017; Long, 2006). Bu modlarda ses dalgaları dört yüzey arasında yansıma yapar.
- Eğik (Oblique) Modlar: Her üç indisin de sıfırdan farklı olduğu (örneğin 1,1,1 veya 2,1,2 gibi) modlardır (Meissner, 2017; Long, 2006). Ses dalgaları odanın tüm (altı) yüzeyine çarparak ilerler.

Temel dikdörtgen odalar için yukarıdaki matematiksel denklem tek başına yeterli olsa da odanın ortalama akustik yutuculuğu, karmaşık faz etkileşimleri veya odanın asimetrik/eğimli bir geometriye sahip olması durumunda bu basit formüller yetersiz kalabilmektedir. Günümüzde modern stüdyo akustik tasarımlarında modların ve basınç dağılımlarının hesaplanması için şu yöntemler kullanılır:

- Bilgisayar Simülasyonları: Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) gibi dalga bazlı hesaplamalar yapan simülasyon yazılımları (örneğin COMSOL), yüzeylerin faz bilgisi taşıyan empedans verilerini de hesaba katarak oda modlarını çok daha hassas bir şekilde çözümler.
- Oda Modu Hesaplayıcılar: Pratik uygulamalarda Amroc gibi oda mod hesaplayıcı programlardan yararlanılarak sadece modların frekansları değil, aynı zamanda üç boyutlu basınç şekilleri (hangi modun odanın neresinde maksimum basınç yarattığı) tespit edilip akustik gereçlerin (bas tuzaklarının) yerleşimi buna göre planlanır (Kelle vd., 2021).

Literatürde yer alan bu formüllerden yola çıkılarak, ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası gibi küçük hacimli mekan tasarımında akustikçiler tarafından bazı pratik oda boyut oranları ortaya atılmıştır. Bu kapsamda, Bolt ve Walker kriterleri, mekânın temel geometrik boyutlarının (en, boy, yükseklik) belirlenmesinde ve alçak frekanslarda oluşan oda modlarının (duran dalgaların) düzgün bir şekilde dağıtılmasında en önemli ilk adımlardan biri olarak kabul edilir (Kelle vd., 2021; Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024). Bu kriterlerin temel amacı, belirli frekanslarda yığılmaya ya da çukurlara yol açan ayırık oda rezonanslarını engellemek ve odanın frekans yanıtını olabildiğince pürüzsüz hale getirmektir (Błaszak, 2008; Kelle vd., 2021).

Ses kayıt ve kontrol odası tasarımında öne çıkan ideal boyut oranları ve yaklaşımlar şunlardır:

- Sabine ve Bolt Oranları: W. C. Sabine ideal oda oranı olarak 2:3:5 oranını öne sürmüştür (İlgürel, 2015). R.H. Bolt ise ideal dağılım için 1:1.25:1.6 ve 1:1.5:2.5 oranlarını önermiştir (Błaszak, 2008; İlgürel, 2015). Bolt ayrıca boyut oranlarını grafik üzerinde "Bolt Alanı" olarak tanımlamış ve bu alanın içine düşen oranlara sahip odalarda mod dağılımının düzgün olacağını öngörmüştür (Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024). Bolt'un orijinal yaklaşımı ve eğrisi yalnızca en düşük 25 modu temel alarak oluşturulduğu için güncel araştırmalar bu kriterin her zaman yeterince hassas olmadığını belirtmektedir (Błaszak, 2006). Odanın ortalama yutuculuğu dikkate alındığında veya

Schroeder frekansına kadar olan tüm modlar kapsandığında, Bolt'un en iyi oranlarından biri olan 1:1.5:2.5 oranı her zaman ideal sonuçlar (düzgün frekans yanıtı) vermeyebilmektedir (Błaszak, 2008).

- Sepmeyer ve Louden Oranları: Sepmeyer, dikdörtgen odalarda modların frekansını ve açısal dağılımını hesaplamak için matematiksel bir model ortaya koymuş ve 1 (yükseklik) : 1.6 (genişlik) : 2.33 (uzunluk) oranını önermiştir (Kelle vd., 2021; Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024). Louden ise mod dağılımının düzgün olabileceği 125 ayrı oda oranı tanımlamıştır (Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024).
- Błaszak Oranı: M.A. Błaszak, mod analizini Schroeder frekansına kadar genişleterek ve odanın ortalama yutuculuk katsayısını ($\bar{\alpha}$) dikkate alarak yeni bir hesaplama yapmıştır (Błaszak, 2006; Błaszak, 2008). Bu yaklaşıma göre, ortalama yutuculuk katsayısı 0.6'dan küçük olan küçük dikdörtgen odalarda en pürüzsüz frekans yanıtını veren oranlardan biri 1:1.2:1.4 olarak belirlenmiştir (Błaszak, 2008).
- Walker Formülü ve Güncel Standartlar (ITU/EBU): Pratik uygulamalarda sabit altın oranlar kullanmak yerine R. Walker tarafından belirli bir aralık tanımlayan bir formül önerilmiştir (Kelle vd., 2021):

$$1.1 \frac{w}{h} \leq \frac{l}{h} \leq \frac{w}{h} - 4 \text{ ve } l < 3h \text{ ve } w < 3h \quad (5)$$

- Çakışmayı Önleme Prensipleri: EBU ve ITU standartları ile genel tasarım ilkeleri, odanın en, boy ve yükseklik ölçülerinin birbirinin tam katları olmamasını şart koşar (İlgürel, 2015; Kelle vd., 2021). Boyutların birbirine %5'lik tam sayı oranları mesafesinde kalması, sorunlu modların çakışma ve oluşma olasılığını istenmeyen biçimde artırmaktadır (Kelle vd., 2021).

Günümüz kayıt stüdyosu ve kontrol odası akustik tasarımında, bu yaklaşımlar kesin tasarım kararları olarak değil, tasarım sürecine yön veren ilk yaklaşım niteliğinde rehber ilkeler olarak kabul edilmektedir. Bu formüllerle elde edilen ve mod yığılması riski düşük olan başlangıç geometrisi üzerinden dalga akustiğine dayalı bilgisayar simülasyonları (örneğin Sonlu Elemanlar Yöntemi- FEM kullanılarak) çalıştırılarak ve frekans tepki eğrisine bağlı olarak nihai ileri optimizasyon yöntemleri kullanılarak boyut ve tasarım kararlarının verilmesi gerekmektedir (Kelle vd., 2021; Holm, 2010).

Oda geometrisindeki sorunlu frekansları gidermek için Helmholtz rezonatörleri (Tıraş ve Yüğrük Akdağ, 2024) ve özellikle 100 Hz'in altındaki kritik frekansları yutmak amacıyla Bileşik Bölme Yutucuları (CBA - Compound Baffle Absorbers) etkin olarak kullanılmaktadır (Fuchs vd., 2000). Yüzey işlemlerinde ise, hoparlör-sınır girişimi (SBIR) ve tarak filtreleme problemlerini aşmak için, ön duvarların tamamen yutucu, arka duvarların ise saçıcı olduğu Canlı Taraf-Ölü Taraf (LEDE) ile odanın mimari olarak 120 derece eğimli inşa edildiği Yansımaz Alan (RFZ) konseptleri modern tasarımın dayanak noktalarını oluşturmaktadır (Kelle vd., 2021).

Ses Kayıt Stüdyoları ve Kontrol Odalarında Temel Akustik Özellikler ve Standartlar

Ses kayıt stüdyolarında ve kontrol odalarında akustik ortamın nötr kalabilmesi için arka plan gürültüsünün yalıtım teknikleriyle NC 15-20 (Noise Criteria) aralığında tutulması ve reverberasyon süresinin (Reverberation Time- RT) optimize edilmesi şarttır (İlgürel, 2015). Doğru yalıtılmış ve akustik olarak düzenlenmiş bir alan, kişinin yalnızca müzikal akustik konforunu değil, psikolojik odaklanmasını da geliştirir. Uygun olmayan boyut oranları, rezonans problemleri ve akustik maskeleye yol açan uzun reverberasyon süreleri; eğitim yapıları bünyesinde yer alan kayıt stüdyoları ve kontrol odalarında, öğrencilerin kendi entonasyon/nüans hatalarını duymalarını zorlaştırarak müzikal otokontrollerini (özdenetimlerini) engeller ve zihinsel yorgunluğa yol açar

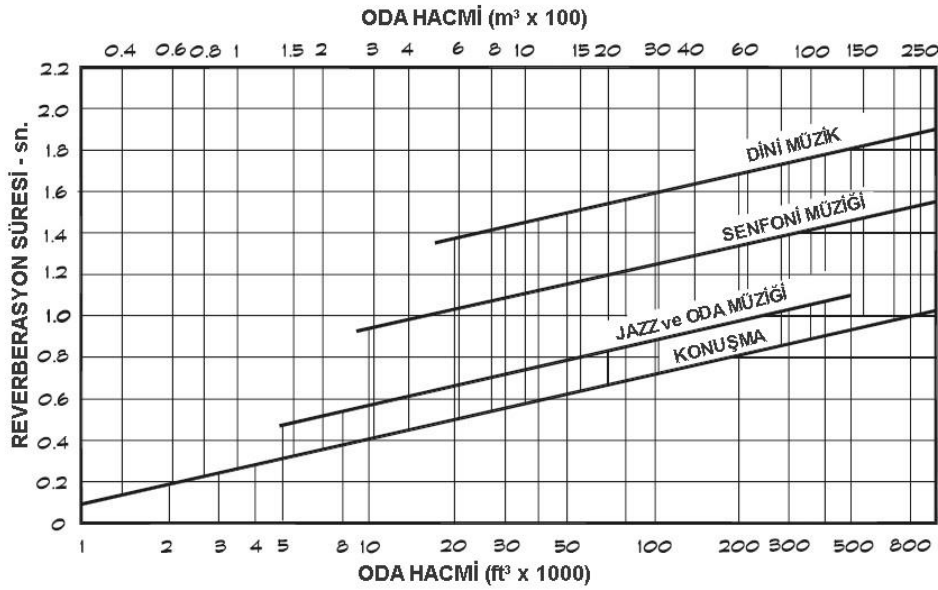
(Demiray ve Durak, 2021).

Kontrol odalarında optimum reverberasyon süresinin frekanslara göre dengeli bir şekilde 0,3-0,4 saniye aralığında tutulması hedeflenir (Kelle vd., 2021). Ancak akustik konfor sadece odanın reverberasyon süresiyle değil, hoparlör yönlülüğü (directivity) ile sınır yüzeylerin (duvar, zemin) etkileşimiyle de şekillenir. Hoparlörün yönlülük karakteristiğindeki ve yüzey özelliklerindeki değişimler; seste tını (timbre), algılanan kaynak genişliği (ASW), çevrelenme (envelopment) ve ses yüksekliği (loudness) gibi algısal nitelikleri doğrudan ve ölçülebilir düzeyde etkilemektedir (Evans, 2013). Psikoakustik araştırmalarda bireysel yansımalar incelendiğinde, tınısal algıyı özellikle birinci dereceden zemin ve tavan yansımalarının belirgin şekilde renklendirdiği görülmektedir (Bech, 1995). İşitsel uzamsal (spatial) algı söz konusu olduğunda ise, çoğunlukla yalnızca birinci dereceden zemin yansımasının sese uzamsal bir genişlik (spatial aspect) kattığı kanıtlanmıştır (Bech, 1998).

Performans (kayıt) odalarında ise mekanın hacmine ve icra edilen müziğin türüne göre değişen ideal reverberasyon sürelerine sahip olması beklenir (İlgürel, 2015). Ses kayıt stüdyolarında icra edilecek farklı müzik türleri için optimum reverberasyon süreleri Şekil 1’de, kontrol odaları için optimum reverberasyon süreleri ise Şekil 2’de verilmiştir.

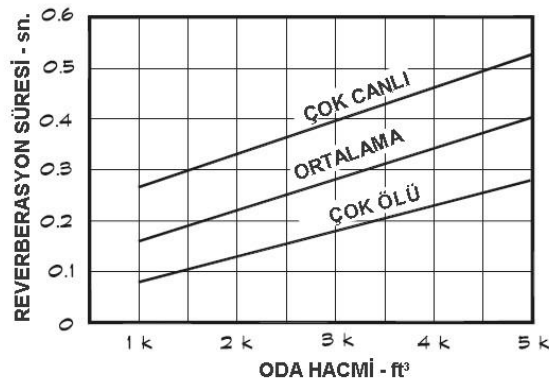
Şekil 1

Ses Kayıt Stüdyolarında Farklı Müzik Türleri İçin Optimum Reverberasyon Süreleri (Long, 2006)



Şekil 2

Kontrol Odaları Optimum Reverberasyon Süreleri (Long, 2006)



ITU R-BS 1116 standardı, reverberasyon sürelerini frekans bantlarına göre değişken alt ve üst sınırlar ile bağlayıcı kılmıştır. Optimum reverberasyon süresinin alt sınırı; alçak ve orta frekanslar (63 Hz - 2000 Hz) için 0.14 saniye iken, yüksek frekanslarda (4000 Hz- 8000 Hz) 0.09 saniye olarak belirlenmiştir. Üst sınır olarak ise; orta ve üst frekans bantlarında (250 Hz- 8000 Hz) optimum reverberasyon süresini 0.24 saniye ile sınırlandırılmıştır. Ancak, alçak frekanslarda modal rezonansların kontrolünün zorluğu nedeniyle tolerans artırılarak bu sınır 125 Hz için 0,36 saniye, 63 Hz için ise 0,49 saniye olarak kabul edilmektedir (Kelle vd., 2021; Tıraş ve Yügrük Akdağ, 2024). ITU standartları (BS.1116-1 ve BS.775-1) dinleme mekânlarının fiziksel koşulları ile hoparlör yerleşimiyle ilgilenirken; EBU standartları (Tech 3276 ve Tech 3286) ortamı stereo ve çok kanallı (multichannel) ses formatlarına göre kategorize ederek tasarımcılara rehberlik etmektedir (Kelle vd., 2021).

YÖNTEM

Çalışma kapsamında, Necmettin Erbakan Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi'nde yer alan ses kayıt stüdyosu ve kontrol odasının akustik analizi gerçekleştirilmiştir. Örnek alan olarak seçilen ses kayıt stüdyosunun ana kayıt hacmi $8,90 \times 9,50 \times 2,90$ m, kontrol odası ise $3,85 \times 3,70 \times 2,90$ m boyutlarındadır. Stüdyonun betonarme perde ve tuğla duvarlardan oluşan düşey yüzeyleri, yaklaşık 8 cm kalınlığında yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır. Tavan yüzeyinde baffle tipi akustik elemanlardan oluşan bir asma tavan sistemi uygulanmış, pencere açıklıkları ise yüksek yoğunluklu kalın perdelerle örtülmüştür (Şekil 3).

Şekil 3

Ses Kayıt Stüdyosuna Ait İç Mekân Görünümleri



Alan çalışması; (1) akustik ölçüm, (2) literatürden elde edilen veriler ışığında akustik hesaplamalar ve (3) bilgisayar simülasyonu ile kayıt stüdyosu oda mod analizi olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

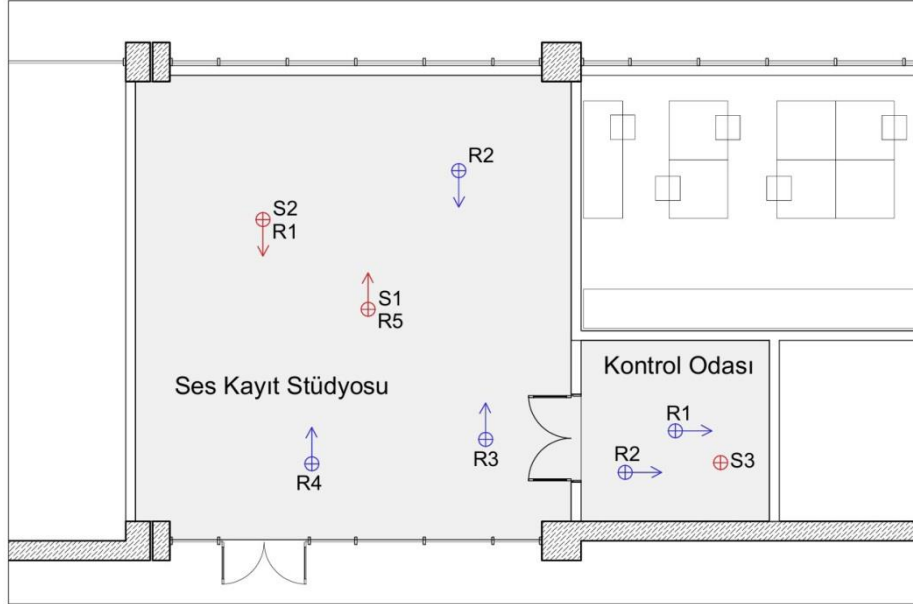
Öncelikle, kayıt stüdyosu ve kontrol odasının mimari projesi Necmettin Erbakan Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Akustik açıdan farklılık ön görülen alanlar dikkate alınarak, ses kayıt stüdyosunda 2 farklı kaynak konumu ve 5 farklı alıcı noktası; kontrol odasında ise mekanın en-boy ebatlarının küçük olması nedeniyle 1 kaynak konumu için 2 farklı alıcı noktası belirlenerek arka plan gürültü düzeyi ve reverberasyon süresi ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Her iki mekan için de alıcı nokta yüksekliği 1,20 m, kaynak nokta yüksekliği ise 1,60 m olarak kabul edilmiştir. Her bir alıcı-kaynak konumunda ölçümler üçer kez tekrar edilmiş ve ortalaması alınmıştır.

Ölçümler, ses düzey ölçer (B&K 2250), düzey ölçer mikrofonu için kalibratör (B&K 4231), çok yönlü hoparlör (DL302), ses yükseltici amfi (PA1000), B&K 2250 için sinyal çıkış kablosu, harici ses kartı (Onyx Producer 2.2) ve hacim akustiği yazılımı (Odeon v.14.05) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Alan çalışmasında, ses kayıt stüdyosu ve kontrol odasının oda modları analizi “Amroc-The Room Mode Calculator” yazılımı (URL-1) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4

Ses Kayıt Stüdyosu ve Kontrol Odası Kaynak ve Alıcı Noktalarının Konumları



BULGULAR

Akustik Ölçüm Bulguları

Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odasında arkaplan gürültü düzeyi ve belirlenen alıcı noktalarında reverberasyon süresi (RT) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Akustik ölçüm neticesinde elde edilen 1/1 oktav band reverberasyon süreleri (RT) ile ortalama reverberasyon süreleri (RT_{ORT}) (250 Hz., 500 Hz., 1000 Hz., 2000 Hz.) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1

Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası reverberasyon süreleri

SES KAYIT STÜDYOSU REVERBERASYON SÜRESİ									
	63 Hz.	125 Hz.	250. Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.	8000 Hz.	RT_{ORT}
S1-R1	1,13	0,64	0,53	0,45	0,34	0,29	0,26	0,20	0,40
S1-R2	1,02	0,74	0,56	0,43	0,32	0,29	0,25	0,20	0,40
S1-R3	1,05	0,71	0,57	0,42	0,32	0,30	0,26	0,20	0,40
S1-R4	0,93	0,73	0,53	0,42	0,33	0,28	0,26	0,20	0,39
S2-R5	1,13	0,61	0,52	0,45	0,32	0,30	0,26	0,19	0,40
S2-R2	1,13	0,70	0,48	0,44	0,35	0,30	0,26	0,20	0,39
S2-R3	1,14	0,65	0,56	0,45	0,34	0,31	0,27	0,20	0,41
S2-R4	0,90	0,62	0,53	0,46	0,31	0,29	0,26	0,20	0,40
KONTROL ODASI REVERBERASYON SÜRESİ									
	63 Hz.	125 Hz.	250. Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.	8000 Hz.	RT_{ORT}
S3-R1	0,54	0,53	0,46	0,39	0,36	0,38	0,40	0,25	0,40
S3-R2	1,22	0,49	0,44	0,38	0,37	0,38	0,40	0,26	0,39

Akustik ölçüm sonuçları incelendiğinde, kayıt stüdyosunda, tüm kaynak-alıcı nokta konumları için alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru gidildikçe reverberasyon sürelerinde azalma olduğu görülmektedir. S1 kaynağı için R1, R2 ve R3 alıcı noktalarında değerlerin 0,20-1,13 sn. aralığında olduğu görülmektedir. R4 alıcı noktasında, 63 Hz. frekansı dışında diğer alıcı nokta konumlarında elde edilen değerlere yakın reverberasyon süresi ölçülürken, 63 Hz. frekansında daha düşük değer (0,93 sn.) ortaya koymuştur. S2 kaynak konumu için, S1 kaynağına benzer değerlerin elde edildiği, reverberasyon sürelerinin 0,19-1,14 sn. aralığında olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde yine R4 alıcı noktasında 63 Hz. frekansında diğer alıcı noktalarından düşük değer (0,90 sn.) elde edilmiştir.

Kontrol odasında, R1 ve R2 alıcı noktası konumlarında 63 Hz. frekansı dışındaki frekans bandlarında birbirine yakın değerler elde edilirken 63 Hz. frekansında oldukça farklı reverberasyon süreleri ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

1/1 oktav bandlarda gerçekleştirilen akustik ölçüm neticesinde elde edilen arkaplan gürültü değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2

Ses kayıt stüdyosu arka plan gürültü düzeyi (dBA)

	SES KAYIT STÜDYOSU ARKAPLAN GÜRÜLTÜSÜ (dBA)					
	125 Hz.	250. Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz.
ÖLÇÜM-1	39,20	43,90	38,50	32,30	26,00	23,80
ÖLÇÜM-2	43,00	42,20	38,50	27,80	25,30	18,10
ÖLÇÜM-3	36,60	32,60	30,60	30,10	22,70	21,70
ÖLÇÜM-4	33,20	27,60	27,00	28,30	22,70	22,40
ORTALAMA	38,00	36,58	33,65	29,63	24,18	21,50

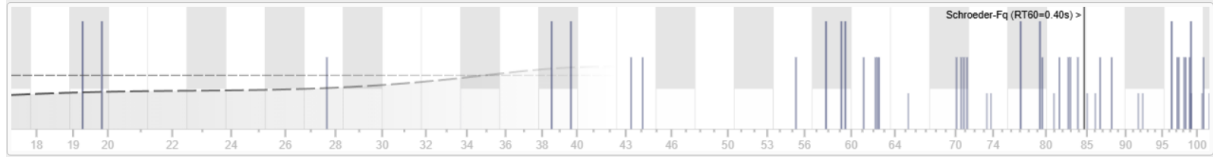
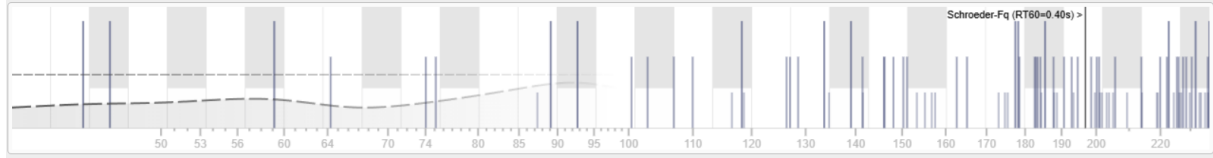
Arka plan gürültüsü ölçümleri incelendiğinde, arka plan gürültü düzeyinin 18,10-43,90 dBA aralığında değiştiği belirlenmiştir. Gürültü düzey ortalamaları ise 21,50-38,00 dBA aralığında elde edilmiştir. Değerler genel olarak alçak frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe azalma eğilimindedir. Kayıt stüdyosunun eğitim yapısı içerisinde bulunması nedeniyle, arka plan gürültüsü spektrum dağılımının zaman içerisinde değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Schroeder Frekansı (Kritik frekans) ve Kesme Frekansı Hesaplamaları

Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası Schroeder frekansı (kritik frekans) hesaplamaları Denklem 1 ve kesme frekansı hesaplamaları ise Denklem 3 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, ses kayıt stüdyosu için kesme frekansı 17,62 Hz., Schroeder frekansı (kritik frekans) 80,15 Hz.; kayıt odası için ise sırasıyla 44,16 Hz. ve 196,80 Hz. olarak hesaplanmıştır.

Oda Modlarının İncelenmesi

Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odasının oda modları analizi için “Amroc-The Room Mode Calculator” yazılımı kullanılmıştır. Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası zemin oturumu kare formuna yakın kare prizma şeklindedir. Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası için oda modları frekans dağılımı sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir. 1/3 oktav band merkez frekans oda modları sayıları Tablo 5’te belirtilmiştir. Mod analizleri, ses kayıt stüdyosunda S2 kaynağı R5 alıcı noktası için, kontrol odası için S3 kaynağı, R1 alıcı noktası için gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3*Ses Kayıt Stüdyosu Mod Dağılımı ve Frekans Tepkisi Analizi***Tablo 4***Kontrol Odası Mod Dağılımı ve Frekans Tepkisi Analizi***Tablo 5***Ses Kayıt Stüdyosu ve Kontrol Odası 1/3 Oktav Band Merkez Frekans Oda Mod Sayıları*

	1/3 OKTAV BAND MERKEZ FREKANSI (Hz.)						
	20	25	31,5	40	50	63	80
SES KAYIT STÜDYOSU MOD SAYILARI	2	1	0	4	1	9	17
	50	63	80	100	125	160	200
	2	2	3	6	9	16	33
KONTROL ODASI MOD SAYILARI							

Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası için mod dağılımları incelendiğinde gerek ses kayıt stüdyosunda gerekse kontrol odasında aksel modların enerjilerinin daha yüksek olduğu, teğetsel ve eğik modların ise daha düşük enerjili olduğu görülmektedir. Mod sayılarına bakıldığında, kontrol odasında merkez band frekansı arttıkça mod sayılarında düzenli artış görülürken, ses kayıt stüdyosunda düzensiz bir dağılım görülmektedir. Ses kayıt stüdyosunda 31,5 Hz. merkez bandında mod bulunmazken, 25 Hz. ve 50 Hz. merkez frekanslarında 1'er tane mod yer almaktadır.

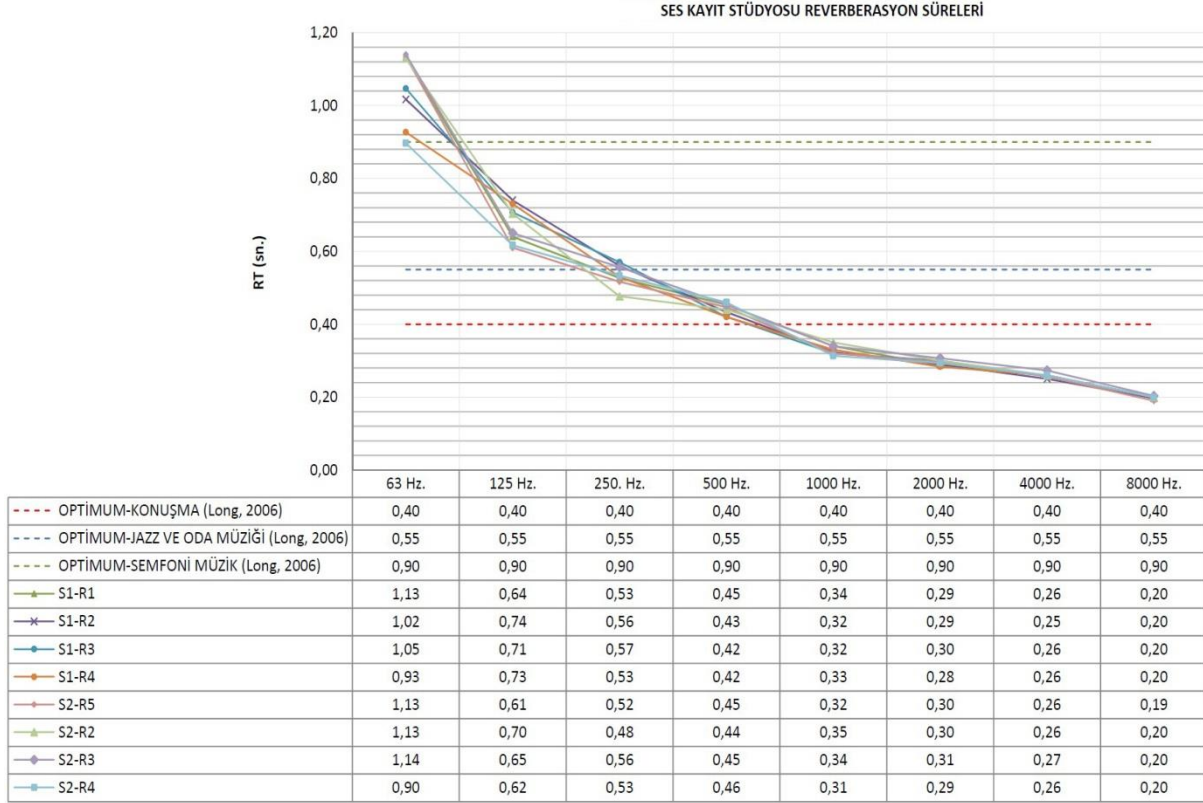
TARTIŞMA

Akustik ölçümler neticesinde ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası için farklı kaynak ve alıcı noktalarında elde edilen reverberasyon süreleri ile literatürden elde edilen optimum reverberasyon süreleri Şekil 5'te verilmiştir. Ses kayıt stüdyosunun tüm kaynak-alıcı noktalarında ölçülen reverberasyon sürelerinin alçak frekanslarda yüksek, yüksek frekanslara gidildikçe azaldığı görülmektedir. Ses kayıt stüdyolarında tüm frekanslarda dengeli ve optimum değerlerde reverberasyon süresinin sağlanması, alınan sesin aslına daha uygun ve mastering, mixing vb. ses düzenlemelerine imkan verecek şekilde kaydedilmesini sağlayacaktır. Ses kayıt stüdyosunda alçak frekanslarda uzun reverberasyon süresine bağlı olarak, yüksek frekanslı seslerin alçak frekanslı sesler tarafından maskelenmesine neden olacaktır. Bu durum bazı harflerin veya müzikal notaların netliğini olumsuz yönde etkileyecektir. Ses kayıt stüdyosu, eğitim yapısı içerisinde farklı müzik ve konuşma kayıtları için kullanılmaktadır. Bu nedenle, farklı müzik türleri ve konuşma eylemi için literatürden elde edilen optimum değerlerle akustik ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde, tüm alıcı noktalarında 250 Hz. ve 500 Hz. frekanslarında konuşma ve oda müziği işlevleri için optimum değerler elde edilmiştir. 1000 Hz. ve üzeri frekanslarda bu işlevler için çok daha düşük, 63 Hz. ve 125 Hz. frekanslarında ise daha yüksek değerler ortaya çıkmıştır. Senfoni müziği için 63 Hz.

frekansında optimum reverberasyon süresinin biraz üzerinde değerler ölçülürken, diğer frekanslarda optimum değerin oldukça altında değerler elde edilmiştir. Genel olarak ses kayıt stüdyosunun ölçülen reverberasyon sürelerinin literatürde yer alan herhangi bir müzik türü ve konuşma için elverişli olmadığı ve gerçekleştirilen ölçümler doğrultusunda akustik iyileştirmeye ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5

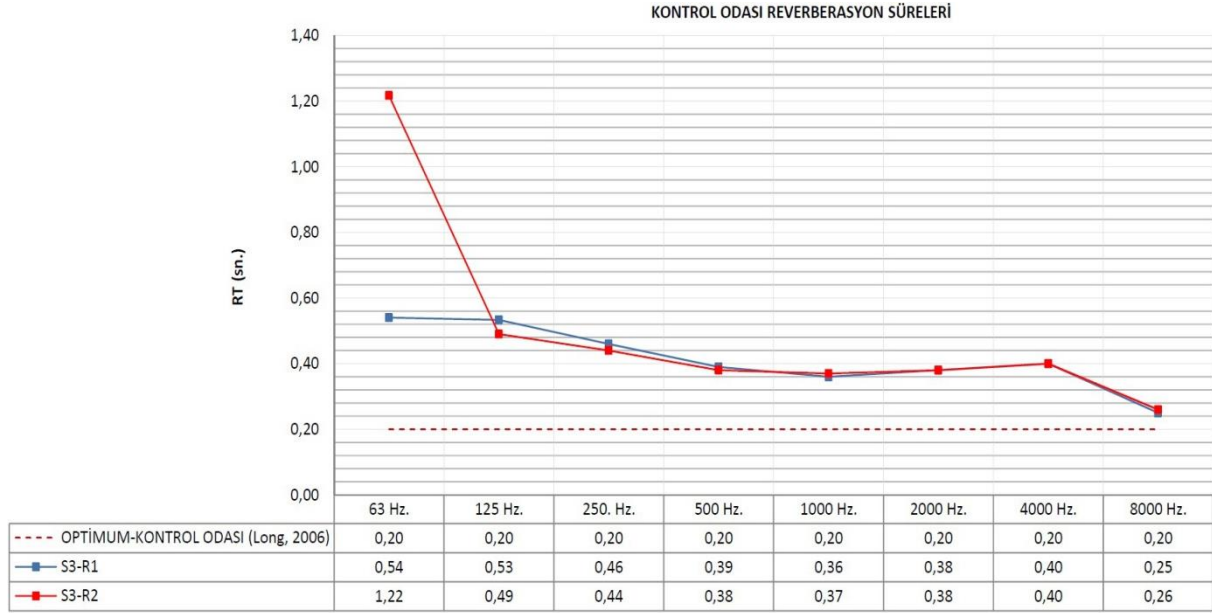
Ses Kayıt Stüdyosunda Ölçülen Reverberasyon Süreleri



Kontrol odasında gerçekleştirilen akustik ölçümler neticesinde elde edilen reverberasyon süreleri Şekil 6’te verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde, kontrol odasında tüm frekanslarda optimum değerin üzerinde Reverberasyon süreleri olduğu belirlenmiştir. Tüm alıcı noktalarında 63 Hz. dışında diğer frekanslarda benzer değerler elde edilmiştir. 63 Hz. frekansında R2 alıcı noktasında diğer frekanslara göre yüksek bir değer (1,22 sn.) ölçülmüştür. Bu durum kontrol odasında meydana gelen oda modlarından kaynaklanmaktadır. Kontrol odalarında, ses kayıt stüdyolarında olduğu gibi reverberasyon sürelerinin tüm frekanslarda düzenli ve birbirine yakın olması beklenir. Elde edilen değerler incelendiğinde, optimum reverberasyon süresinin üzerinde olmakla beraber oda modlarının etkin olduğu frekans aralığında yer alan 63 Hz. dışında tüm frekanslarda birbirine oldukça yakın değerlerin elde edildiği; bu durumun kontrol odasında akustik açıdan olumlu bir durum olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6

Kontrol Odasında Ölçülen Reverberasyon Süreleri



Ses kayıt stüdyosu ve kontrol odasında ortaya çıkan mod frekansları, mod indisleri, mod kategorileri ve hesaplanan Q faktörü değerleri sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 6

Ses Kayıt Stüdyosu Mod Frekansları, Mod İndisleri, Mod Kategorileri ve Hesaplanan Q Faktörü Değerleri

Frekans (Hz.)	İndis	Kategori	Q	Frekans (Hz.)	İndis	Kategori	Q	Frekans (Hz.)	İndis	Kategori	Q
19,27	1-0-0	Eksenel	3,50	70,10	3-2-0	Teğetsel	12,75	86,68	4-2-0	Teğetsel	15,76
19,83	0-1-0	Eksenel	3,61	70,59	2-0-1	Teğetsel	12,83	88,17	2-4-0	Teğetsel	16,03
27,65	1-1-0	Teğetsel	5,03	70,87	2-3-0	Teğetsel	12,89	91,71	3-2-1	Eğik	16,67
38,54	2-0-0	Eksenel	7,01	71,20	0-2-1	Teğetsel	12,95	92,31	2-3-1	Eğik	16,78
39,65	0-2-0	Eksenel	7,21	73,32	2-1-1	Eğik	13,33	96,35	5-0-0	Eksenel	17,52
43,34	2-1-0	Teğetsel	7,88	73,76	1-2-1	Eğik	13,41	97,15	4-0-1	Teğetsel	17,66
44,09	1-2-0	Teğetsel	8,02	77,08	4-0-0	Eksenel	14,01	97,36	4-3-0	Teğetsel	17,70
55,30	2-2-0	Teğetsel	10,05	79,31	0-4-0	Eksenel	14,42	98,14	3-4-0	Teğetsel	17,84
57,81	3-0-0	Eksenel	10,51	79,59	4-1-0	Teğetsel	14,47	98,37	5-1-0	Teğetsel	17,89
59,14	0-0-1	Eksenel	10,75	80,96	2-2-1	Eğik	14,72	98,93	0-4-1	Teğetsel	17,99
59,48	0-3-0	Eksenel	10,81	81,61	1-4-0	Teğetsel	14,84	99,13	0-5-0	Eksenel	18,02
61,11	3-1-0	Teğetsel	11,11	82,70	3-0-1	Teğetsel	15,04	99,15	4-1-1	Eğik	18,03
62,20	1-0-1	Teğetsel	11,31	82,94	3-3-0	Teğetsel	15,08	100,79	1-4-1	Eğik	18,33
62,37	0-1-1	Teğetsel	11,34	83,88	0-3-1	Teğetsel	15,25	100,99	1-5-0	Teğetsel	18,36
62,52	1-3-0	Teğetsel	11,37	85,04	3-1-1	Eğik	15,46	101,87	3-3-1	Eğik	18,52
65,28	1-1-1	Eğik	11,87	86,06	1-3-1	Eğik	15,65				

Ses kayıt stüdyosu için kesme frekansı 17,62 Hz., Schroeder frekansı (kritik frekans) 80,15 Hz. olarak hesaplanmıştır. Yazılım ile elde edilen oda modları, düzeyleri ile hesaplanan kesme frekansı, kritik frekans ve Q faktörü değerleri bir arada değerlendirildiğinde, kesme frekansı ile kritik frekans arasında yer alan oda modlarında özellikle eksenel modların enerjisinin yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, aynı frekans aralığında hesaplanan Q faktörü değerlerinin ise rezonansların dinleyiciler

tarafından algılanabilir alt sınırı olan 16 değerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Ses kayıt odası kare prizmaya yakın formda olması nedeniyle çoğunluğu eksenel modlar olmak üzere oda modları ortaya çıkmakta olmasına rağmen küçük oda sınırı olarak literatürde kabul edilen 300 m³'e yakın bir hacme (≈ 250 m³) sahip olması neticesinde algılanabilir rezonans ve renklenme ortaya çıkmadığı görülmektedir.

Tablo 7

Kontrol Odası Mod Frekansları, Mod İndisleri, Mod Kategorileri ve Hesaplanan Q Faktörü Değerleri

Frekans (Hz.)	İndis	Kategori	Q	Frekans (Hz.)	İndis	Kategori	Q	Frekans (Hz.)	İndis	Kategori	Q
44,55	1-0-0	Eksenel	8,10	155,16	2-1-2	Eğik	28,21	203,13	2-3-2	Eğik	36,93
46,35	0-1-0	Eksenel	8,43	156,74	1-2-2	Eğik	28,50	203,87	2-1-3	Eğik	37,07
59,14	0-0-1	Eksenel	10,75	157,54	1-3-1	Eğik	28,64	205,07	1-2-3	Eğik	37,29
64,29	1-1-0	Teğetsel	11,69	162,64	3-2-0	Teğetsel	29,57	205,70	2-4-0	Teğetsel	37,40
74,04	1-0-1	Teğetsel	13,46	165,15	2-3-0	Teğetsel	30,03	209,38	4-2-1	Eğik	38,07
75,14	0-1-1	Teğetsel	13,66	173,06	3-2-1	Eğik	31,47	213,86	4-0-2	Teğetsel	38,88
87,35	1-1-1	Eğik	15,88	174,70	2-2-2	Eğik	31,76	214,03	2-4-1	Eğik	38,91
89,09	2-0-0	Eksenel	16,20	175,42	2-3-1	Eğik	31,89	218,83	4-1-2	Eğik	39,79
92,70	0-2-0	Eksenel	16,85	177,41	0-0-3	Eksenel	32,26	219,10	2-2-3	Eğik	39,84
100,43	2-1-0	Teğetsel	18,26	178,18	4-0-0	Eksenel	32,40	219,92	0-4-2	Teğetsel	39,99
102,85	1-2-0	Teğetsel	18,70	178,46	3-0-2	Teğetsel	32,45	222,11	3-0-3	Teğetsel	40,38
106,93	2-0-1	Teğetsel	19,44	182,55	0-3-2	Teğetsel	33,19	222,73	5-0-0	Eksenel	40,50
109,96	0-2-1	Teğetsel	19,99	182,92	1-0-3	Teğetsel	33,26	224,39	1-4-2	Eğik	40,80
116,55	2-1-1	Eğik	21,19	183,37	0-1-3	Teğetsel	33,34	225,41	0-3-3	Teğetsel	40,98
118,28	0-0-2	Eksenel	21,51	184,11	4-1-0	Teğetsel	33,47	226,02	4-3-0	Teğetsel	41,09
118,64	1-2-1	Eğik	21,57	184,38	3-1-2	Eğik	33,52	226,24	3-3-2	Eğik	41,13
126,39	1-0-2	Teğetsel	22,98	185,41	0-4-0	Eksenel	33,71	226,90	3-1-3	Eğik	41,25
127,03	0-1-2	Teğetsel	23,10	187,74	4-0-1	Teğetsel	34,13	227,50	5-1-0	Teğetsel	41,36
128,57	2-2-0	Teğetsel	23,38	187,91	1-3-2	Eğik	34,17	228,55	3-4-0	Teğetsel	41,55
133,64	3-0-0	Eksenel	24,30	188,70	1-1-3	Eğik	34,31	229,77	1-3-3	Eğik	41,78
134,62	1-1-2	Eğik	24,48	190,68	1-4-0	Teğetsel	34,67	230,44	5-0-1	Teğetsel	41,90
139,05	0-3-0	Eksenel	25,28	192,86	3-3-0	Teğetsel	35,07	231,76	0-5-0	Eksenel	42,14
141,45	3-1-0	Teğetsel	25,72	193,38	4-1-1	Eğik	35,16	233,09	4-2-2	Eğik	42,38
141,52	2-2-1	Eğik	25,73	194,61	0-4-1	Teğetsel	35,38	233,63	4-3-1	Eğik	42,48
146,01	1-3-0	Teğetsel	26,55	198,53	2-0-3	Teğetsel	36,10	235,06	5-1-1	Eğik	42,74
146,14	3-0-1	Teğetsel	26,57	199,64	1-4-1	Eğik	36,30	236,00	1-5-0	Teğetsel	42,91
148,08	2-0-2	Teğetsel	26,92	200,17	0-2-3	Teğetsel	36,39	236,07	3-4-1	Eğik	42,92
150,28	0-2-2	Teğetsel	27,32	200,85	4-2-0	Teğetsel	36,52	236,55	0-0-4	Eksenel	43,01
151,11	0-3-1	Teğetsel	27,47	201,10	3-2-2	Eğik	36,56				
153,31	3-1-1	Eğik	27,87	201,72	3-3-1	Eğik	36,68				

Kontrol odası için kesme frekansı ile kritik frekans sırasıyla 44,16 Hz. ve 196,80 Hz. olarak hesaplanmıştır. Yazılım ile elde edilen oda modları, düzeyleri ile hesaplanan kesme frekansı, kritik frekans ve Q faktörü değerleri bir arada değerlendirildiğinde, kesme frekansı ile kritik frekans arasında yer alan oda modlarında eksenel modların yüksek enerjiye sahip olduğu görülmektedir. 89,00 Hz. frekansı ve üzerinde Q faktörü değeri, algılanma sınır değerinin üzerinde iken daha düşük frekanslı oda modlarında Q faktörü değeri sınır değerinin altındadır. Bu durum özellikle eksenel oda modlarında kontrol odasında renklenme probleminin olduğunu göstermektedir. Nitekim “Amroc-The Room Mode Calculator” yazılımında hesaplanan oda oranları 1,33:1,28:1 olarak elde edilmiştir. Kontrol odası, en, boy ve yükseklik oranlarının literatürde Bolt alanı olarak ifade edilen ve alçak frekans renklenme

probleminin ortaya çıkmadığı oda oranlarını gösteren Bolt Alanı'nın dışında ancak bu alana yakın bir yer aldığı görülmektedir (Şekil 7). Kontrol odasının kare prizma formu ve 45 m^3 'lük küçük bir hacme sahip olması nedeniyle çok sayıda oda modları oluşmaktadır. Literatürde, mod sayısının frekansla birlikte düzenli olarak artması gerektiği, aynı frekansta 1'den fazla mod olmaması gerektiği, eğer birden fazla mod aynı frekansta çakışma olması durumunda eğer 1/3 oktav bandda 5 ve üzeri mod var ise bu çakışmanın tolere edilebileceği belirtilmektedir (Kelle vd., 2021). Kontrol odası mod sayıları incelendiğinde mod sayısı frekansla birlikte düzenli bir biçimde artmaktadır. 1/3 oktav bandlarda 80 Hz.'de 3 tane ve 100 Hz.'de 6 tane mod yer almaktadır. 100 Hz. üzerinde ise mod sayıları bu değerlerin çok üzerindedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, kontrol odasında 80 Hz. (yaklaşık 70 Hz.-89 Hz. aralığı) ve üzerindeki 1/3 oktav bandlarda ortaya çıkan oda modlarına bağlı renklemelerin akustik açıdan olumsuz bir etki oluşturmayacağı söylenebilir. Bu frekansın altında kalan modlarda ise Q faktörü değeri sınır değerinin altında olduğu için dinleyiciler tarafından algılanmayacaktır. Dolayısıyla, kontrol odası oda modları bakımından akustik açıdan olumsuz bir durum göstermediği ifade edilebilir.

Şekil 7

Kontrol Odasında En, Boy, Yükseklik Oranları-Bolt Alanı Karşılaştırması



Arka plan gürültü düzeyi ile NC15-20 eğrileri karşılaştırması Şekil 8'de verilmiştir. Ses kayıt stüdyosunun ölçülen arka plan gürültü düzeyi ortalamasının literatürde sağlanması gereken düzey olan NC15-20 eğrilerinin 125 Hz. dışında üzerinde olduğu belirlenmiştir. Stüdyo kapısının, kat holü ile kayıt stüdyosu arasında bir tampon bölge oluşturulmadan, doğrudan öğrencilerin aktif olarak kullandığı kat holüne açılması ve mekan kapısının yeterli ses yalıtımı sağlamıyor olması nedeniyle gürültülü bir iç ortama sahip olduğu söylenebilir. Bu durum alınan ses kayıtlarının arka plan seslerinden olumsuz etkilenmesine neden olacaktır.

Şekil 8

Ses Kayıt Stüdyosu Arka plan Gürültüsü-NC15-20 Karşılaştırması



SONUÇ

Müzik ve ses üretiminin temelini oluşturan ses kayıt stüdyoları, geçmişte yalnızca büyük ve ticari tesislerde yer alabilirken, günümüzde dijitalleşme ve gelişen teknolojiler neticesinde proje ve ev tipi stüdyolar olarak ev, ofis, eğitim gibi farklı işlevlere hizmet eden yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Müzik üretiminin bireyselleşmesi ve küçük mekânlara taşınması sesin nötr bir şekilde duyulmasını zorlaştıran akustik problemler ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, Necmettin Erbakan Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi bünyesinde yer alan ses kayıt stüdyosu ve kontrol odası akustik analizi gerçekleştirilerek, eğitim yapılarında yer alan ses kayıt stüdyosu ve kontrol odaları için akustik bilimi merkezli bir perspektif sunulması amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular, ses kayıt ve kontrol odalarında arka plan gürültüsünün optimum düzey aralığında tutulabilmesi için, eğitim yapılarında gün içerisinde öğrenciler ve diğer kullanıcılar tarafından yoğun bir kullanıma sahip sirkülasyon mekanları ve diğer gürültülü hacimler arasında tampon mekanların bırakılması, mekanın çift kabuk şeklinde tasarlanmasının önemini ortaya koymuştur. Tasarım aşamasında mekan en, boy ve yükseklik oranlarının alçak frekansta renklenme etkisi oluşturmayacak veya bu etkiyi algılanabilir düzeyin altında tutacak şekilde belirlenmesi gerektiğini göstermiştir. Bunun yanında yüzey malzemelerinin optimum reverberasyon sürelerine göre belirlenmesinin önemini ortaya koymuştur. Eğitim yapılarında tasarlanacak ses kayıt stüdyosu ve kontrol odalarının tasarımının ilk aşamalarından itibaren gerekli simülasyon çalışmaları ve hesaplamalar gerçekleştirilerek hacim ve bina akustiği gereksinimlerini karşılayacak şekilde ele alınması gerekmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkıları

Araştırma Tasarımı (Ali Kaygısız, Rumeysa Tuna Sayın, Fatih Semerci)

Veri Toplama (Ali Kaygısız, Rumeysa Tuna Sayın, Fatih Semerci)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (Ali Kaygısız, Rumeysa Tuna Sayın, Fatih Semerci)

Makalenin Yazımı (Ali Kaygısız, Rumeysa Tuna Sayın, Fatih Semerci)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (Ali Kaygısız, Rumeysa Tuna Sayın, Fatih Semerci)

REFERANSLAR

- Bech, S. (1995). Timbral aspects of reproduced sound in small rooms. I. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(3), 1717-1726. <https://doi.org/10.1121/1.413047>
- Bech, S. (1998). Spatial aspects of reproduced sound in small rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(1), 434-445. <https://doi.org/10.1121/1.421098>
- Błaszak, M. A. (2006). A new method for analysis of the modal characteristics of small rectangular rooms. *Archives of Acoustics*, 31(4), 461-469.
- Błaszak, M. A. (2008). Acoustic design of small rectangular rooms: Normal frequency statistics. *Applied Acoustics*, 69(12), 1356-1360. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.10.005>
- Bricio, C. (2026). The Q factor. Sonimus. <https://sonimus.com/blog/info/the-q-factor.html>
- Demircan, K. (2022). *Mevcut konutlara ev tipi kayıt stüdyosu entegrasyonu*. [Yüksek lisans tezi] Beykent Üniversitesi.
- Demiray, A., & Durak, Y. (2021). Farklı akustik ortamların çalgı performansına etkisinin incelenmesi. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 12(2), 650-672. <https://doi.org/10.51460/baebd.936212>
- Evans, W. (2013). *The influence of loudspeaker directivity upon the perception of reproduced sound in domestic listening rooms* [Doctoral dissertation, University of Surrey]. Surrey Research Insight Open Access.
- Everest, F. A. (1979). *How to build a small budget recording studio from scratch with 12 tested designs*. TAB Books.
- Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2009). *Master handbook of acoustics* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Fazenda, B. M., Avis, M. R., & Davies, W. J. (2003, October 10-13). *Difference limen for the Q-factor of room modes* [Paper presentation]. AES 115th Convention, New York, NY, United States.
- Fuchs, H. V., Zha, X., & Pommerer, M. (2000). Qualifying freefield and reverberation rooms for frequencies below 100 Hz. *Applied Acoustics*, 59(4), 303-322.
- Holm, J., & Mäkitvirta, A. (2013, August 22-24). *Quantifying diffraction in time domain with finite element method* [Paper presentation]. AES 51st International Conference, Helsinki, Finland.
- Huber, D. M., & Runstein, R. E. (2005). *Modern recording techniques* (6th ed.). Focal Press.
- İlgürel, N. (2015). Ses kayıt stüdyolarının akustik tasarımı. *Ege Mimarlık*, (2015/1-2), 20-23.
- Kaplanis, N., Bech, S., Jensen, S. H., & van Waterschoot, T. (2014, August 27-29). *Perception of reverberation in small rooms: A literature study* [Paper presentation]. AES 55th International Conference, Helsinki, Finland.
- Kaplanis, N., Bech, S., Lokki, T., van Waterschoot, T., & Jensen, S. H. (2019). Perception and preference of reverberation in small listening rooms for multi-loudspeaker reproduction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5), 3562-3576. <https://doi.org/10.1121/1.5135582>
- Kelle, D., Şentop Dümen, A., & Yılmaz, S. (2021). *Kayıt stüdyolarının akustik tasarım yaklaşımları ve örnek uygulama*. 14. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, 222-237. İstanbul Bilgi Üniversitesi.
- Long, M. (2006). *Architectural acoustics*. Elsevier Academic Press.
- Malecki, P. (2015). Spatial impulse response assessment in room acoustics auralization. *Acta Physica*

- Polonica A*, 128(1-A), A-17-A-21. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.128.A-17>
- Meissner, M. (2017). Acoustics of small rectangular rooms: Analytical and numerical determination of reverberation parameters. *Applied Acoustics*, 120, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.020>
- Önen, U. (2020). EQ üzerindeki bandwidth ve Q parametreleri. *Ufuk Önen ile Ses Kayıt ve Müzik Teknolojileri*. <https://www.ufukonen.com/tr/eq-bandwidth-q-parametreleri.html>
- Pelen, S. (2016). *Türkiye'de müzik teknolojisi eğitimi: Lisans programları ve stüdyo / laboratuvar olanaklarının karşılaştırılması*. [Yüksek lisans tezi] Hacettepe Üniversitesi.
- Sinal, Ö. (2015). *Effects of reverberation time on classical singers' preferences upon music practice rooms*. [Yüksek lisans tezi] İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi.
- Skålevik, M. (2011). *Small room acoustics – the hard case*. AKUTEK. www.akutek.info
- Tıraş, M., & Yüğrük Akdağ, N. (2024). Kayıt stüdyolarının kontrol odalarında hacim akustiğinin bir vaka üzerinden değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(2), 1241-1254. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1172980>
- Vergili, S., & Öziş, F. (2022). Yeni dönem stüdyo kontrol odalarının akustik performansları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Akademik Müzik Araştırmaları Dergisi*, 8(Özel Sayı), 452-466. <https://doi.org/10.36442/AMADER.2022.68>
- Yaşar, A. (2021). *Konservatuvar işlevli okullarda mekanların akustik performanslarının geliştirilmesine yönelik fiziksel müdahale uygulamalarına ilişkin öneriler: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Devlet Konservatuvarı örneği*. [Yüksek lisans tezi] Başkent Üniversitesi.
- Yavuz, A. (2007). *Ses kayıt stüdyosu tasarımı ve mimari akustik*. [Yüksek lisans tezi] Yıldız Teknik Üniversitesi.
- URL-1: <https://amcoustics.com/> (Erişim tarihi: 30.07.2026)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The digitalization and individualization of contemporary music production have precipitated a paradigm shift from large-scale commercial facilities to small-scale "project studios," which are frequently integrated into educational institutions. However, compact architectural volumes function as resonance cavities, particularly at low frequencies, engendering standing waves (room modes) that constitute substantial physical impediments to neutral sound reproduction. In educational architectures, the acoustic proficiency of such specialized environments not only dictates auditory quality but also profoundly influences students' cognitive focus, attention, and psychological fatigue during musical performance. This study aims to objectively evaluate the acoustic characteristics of the recording studio and control room at the Necmettin Erbakan University (N.E.Ü.) Faculty of Fine Arts and Architecture, thereby proposing a comprehensive acoustic design framework for recording studios situated within educational facilities.

Method: The methodology comprises a tripartite approach: empirical in situ acoustic measurements, theoretical calculations derived from established literature, and computational room mode simulations. The spatial dimensions of the recording studio and control room are $8.90 \times 9.50 \times 2.90$ m and $3.85 \times 3.70 \times 2.90$ m, respectively. Reverberation time (RT) and background noise levels were acquired across various source-receiver configurations utilizing a B&K 2250 sound level meter and an omnidirectional loudspeaker. Subsequently, the Schroeder (critical) frequency, cut-off frequency, and mode quality (Q) factors were mathematically derived. Three-dimensional modal analyses (evaluating axial, tangential, and oblique modes) were executed utilizing the "Amroc-The Room Mode Calculator" software.

Findings: Empirical analyses of the recording studio revealed prolonged reverberation times at low frequencies, which inversely diminished as the frequency increased. Conversely, the control room demonstrated a consistent RT distribution across most frequency bands (ranging between 0.36 and 0.54 s), marginally exceeding optimal thresholds, with a notable anomaly at 63 Hz. Background noise levels in the recording studio fluctuated between 21.50 and 38.00 dBA. Analytical calculations yielded a cut-off frequency of 17.62 Hz and a Schroeder frequency of 80.15 Hz for the recording studio, and 44.16 Hz and 196.80 Hz, respectively, for the control room. Modal simulations indicated a predominance of axial mode energies in both enclosures. Nonetheless, the recording studio's considerable volume (≈ 250 m³) mitigated severe perceivable coloration, while the control room's low-frequency modal Q factors remained below the psychoacoustic perceptibility threshold of 16.

Discussion: A comparative analysis of the recording studio's RT against established optimums indicates suitability for "speech and chamber music" exclusively at 250 Hz and 500 Hz. The protracted low-frequency reverberation ostensibly induces an acoustic masking effect on higher frequencies, thereby degrading the clarity of musical notes and timbral perception. Although the control room's RT marginally exceeded the ideal range (0.2–0.4 s), its relatively homogeneous spectral distribution—excluding the 63 Hz aberration—constitutes a favorable acoustic environment. Furthermore, the recording studio's background noise significantly surpassed the requisite Noise Criteria (NC 15-20) curves. This deficiency is primarily attributable to the absence of an acoustic buffer zone (sound lock) between the studio and the high-traffic corridor, allowing direct acoustic transmission.

Conclusion: The integration of compact recording studios within educational infrastructures without rigorous acoustic engineering introduces detrimental variables that compromise pedagogical efficacy and performer psychological well-being. The empirical investigation of the studio reiterates the critical necessity of optimizing volumetric proportions to avert modal coloration, executing rigorous ambient noise isolation, and deploying strategic surface treatments to achieve frequency-balanced reverberation times.

Recommendation: To ensure compliance with stringent background noise standards (NC 15-20) in educational recording facilities, the architectural integration of buffer zones (sound locks) between high-circulation areas and studio boundaries is imperative, alongside the adoption of a "room-within-a-room" (double-shell) isolation paradigm. It is highly recommended to employ computational simulations and room mode calculators during the preliminary design phases, to recalibrate architectural dimensions in accordance with ideal modal distribution ratios (e.g., the Bolt area), and to meticulously select absorptive and diffusive materials to uniformly achieve the targeted optimum reverberation time.