

Bir Eğitim Yapısında Çok Amaçlı Salonun Konuşma İşlevi Açısından Akustik Performans Değerlendirmesi ve İyileştirme Önerileri

Evaluation of Acoustic Performance of a Multipurpose Hall for Speech Activities in an Educational Building and Improvement Proposals

Umur ÖZBEK^{1*} 

Gönderilme Tarihi: 13.11.2024 - Kabul Tarihi: 14.04.2025

Özet

Akustik konfor, kapalı mekânlarda yapılan etkinliklerin verimli ve anlaşılır bir şekilde gerçekleşmesi için gerekli temel koşullardan biridir. Özellikle eğitim yapılarında akustik konforun sağlanması, öğrenme sürecine olumlu katkı sağlamakta ve dikkat dağınıklığını azaltmaktadır. Eğitim ortamlarında akustik koşulların yetersizliği, öğrenci ve öğretmenlerin iletişimini zorlaştırarak eğitimin kalitesini düşürmektedir. Akustik konforun mevcut durumunu belirlemek amacıyla yapılan çalışmada çok amaçlı salonun akustik performansı, reverberasyon süresi, konuşmanın belirginliği ve konuşma iletim indeksi gibi akustik parametreler üzerinden simülasyonlarla incelenmektedir. Bu parametreler, salon içinde konuşma ve ses anlaşılabilirliğini etkileyen en önemli göstergeler olarak öne çıkmaktadır. Analiz sonuçları, reverberasyon süresi ve STI değerlerinin istenen seviyelerin altında kaldığını, bu durumun konuşma anlaşılabilirliğini olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Optimum akustik performans sağlamak amacıyla salonun reverberasyon süresinin düşürülmesi ve anlaşılabilirliği artırıcı önlemler alınması önerilmektedir. Böylece, eğitim yapılarında akustik konforun iyileştirilmesiyle daha etkili ve verimli bir öğrenme ortamı oluşturulması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mimari akustik, Hacim akustiği, Çok amaçlı salonlar.

Abstract

Acoustic comfort is one of the essential conditions for the efficient and comprehensible conduct of activities in enclosed spaces. Ensuring acoustic comfort, particularly in educational facilities, contributes positively to the learning process and helps reduce distractions. Inadequate acoustic conditions in educational settings hinder communication between students and teachers, ultimately diminishing the quality of education. This study assesses the current level of acoustic comfort in a multipurpose hall by examining its acoustic performance through simulations, focusing on parameters such as reverberation time, speech clarity, and the speech transmission index (STI). These parameters are key indicators affecting speech and sound intelligibility within the hall. The analysis results reveal that the reverberation time and STI values fall below desired levels, negatively impacting speech intelligibility. To achieve optimal acoustic performance, it is recommended to reduce the reverberation time and implement measures to improve intelligibility. Thus, enhancing acoustic comfort in educational spaces aims to create a more effective and productive learning environment.

Keywords: Architectural acoustics, Room acoustic, Multi-purpose halls.

Atıf: Özbek, U. (2025). Bir eğitim yapısında çok amaçlı salonun konuşma işlevi açısından akustik performans değerlendirmesi ve iyileştirme önerileri. *Modular Journal*, 8(1), 123–138.

¹ Halic Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, İstanbul, Türkiye. umurozbek@halic.edu.tr

* Sorumlu Yazar

Extended Abstract

Introduction: Acoustic quality plays a pivotal role in shaping the comfort and functionality of enclosed spaces, particularly in educational facilities where effective communication is integral to learning. Acoustic comfort ensures that activities such as teaching, seminars, and conferences are conducted without auditory distractions, thereby enhancing concentration, comprehension, and overall educational outcomes. Poor acoustic conditions, characterized by excessive reverberation, background noise, or insufficient clarity, can impede verbal communication, leading to cognitive fatigue and diminished learning efficiency. Multipurpose halls within educational institutions serve diverse functions, but their acoustic design must prioritize speech intelligibility due to the frequent hosting of conferences, seminars, and lectures. This study aims to assess the acoustic performance of a multipurpose hall located in an educational building in Istanbul, focusing on its adequacy for speech-related functions and offering improvement proposals based on simulation analysis results.

Purpose: The primary purpose of this study is to investigate whether the acoustic environment of the selected multipurpose hall meets the requirements necessary for effective speech communication. The analysis specifically targets key acoustic parameters: Reverberation Time (RT), Speech Clarity (D50), and Speech Transmission Index (STI). By comparing these parameters against established national and international standards, the study seeks to determine the hall's suitability for educational events and recommend design modifications if needed. The working hypothesis is that the current acoustic conditions are suboptimal, resulting in reduced speech intelligibility and user satisfaction. Furthermore, it is anticipated that by implementing targeted acoustic treatments, the hall's performance can be significantly improved, thus supporting better educational experiences.

Method: The research methodology involved creating a detailed three-dimensional digital model of the multipurpose hall using SketchUp, which was then imported into Treble, a specialized acoustic simulation software. The model included accurate representations of the hall's dimensions, material properties, and architectural features. Acoustic simulations were performed to evaluate the hall's RT, D50, and STI values across multiple receiver points strategically distributed within the seating area. Material absorption coefficients were derived from the software library and manufacturer specifications. The simulation process adhered to the ISO 3382-1 standard for performance space acoustic measurements. Notably, the model was not calibrated against real-world measurements, and thus the results should be interpreted as theoretical assessments. Nevertheless, these simulations provide valuable insights into the acoustic behaviour of the space under study and offer a robust basis for recommending improvements.

Findings: The simulation results highlighted critical deficiencies in the hall's acoustic performance. The hall's total volume was measured at 1803 m³, with a seating capacity of 336 occupants, yielding a per capita volume of approximately 5.36 m³, which falls within the recommended range for speech-focused spaces (4-6 m³). However, the Reverberation Time (RT) averaged 1.01 seconds across key frequencies, exceeding the optimal range of 0.80-0.90 seconds suggested by Long (2005) and Knudsen & Harris (1950) for speech-oriented environments. While the Early Decay Time (EDT) was measured at 0.94 seconds, within acceptable limits (<1.0 s), it was precariously close to the upper threshold. Speech Clarity (D50) results were promising at mid and high frequencies (500 Hz and above), with average values exceeding 0.60, indicating a satisfactory level of early reflections that support speech intelligibility. However, the Speech Transmission Index (STI) presented alarming findings: with an average value of 0.39, it fell significantly short of the minimum 0.60 value recommended for effective speech communication, as outlined by Christensen (2007). The primary causes for these deficiencies were identified as the extensive use of hard, reflective surface materials on side and rear walls, insufficient absorption in the ceiling treatments, and suboptimal geometrical configurations that hinder effective diffusion of sound energy. Particularly, hard surface finishes on walls contributed to increased reverberation, while the absence of strategic sound-absorbing elements exacerbated the problem.

Conclusion: The study concluded that the multipurpose hall's current acoustic conditions are inadequate for speech-centric activities. The excessive reverberation time and low speech transmission index significantly impair speech intelligibility, thus undermining the effectiveness of lectures, seminars, and conferences held in the hall. Although some parameters such as D50 and EDT are within acceptable ranges, the overall acoustic environment does not sufficiently support the intended educational functions. To address these issues, several improvement proposals are recommended. First, the installation of high-absorption acoustic panels on side and rear walls would mitigate excessive reflections and reduce reverberation time. Materials such as perforated panels backed by mineral wool or acoustic foam could be considered. Second, upgrading ceiling surfaces with materials of higher sound absorption coefficients, like mineral wool baffles or micro-perforated panels, would further enhance sound absorption. Third, replacing existing seating with high sound-absorbing models would contribute to overall absorption within the hall, especially during full occupancy. Additionally, reconsideration of hall geometry through strategic placement of diffusers may aid in dispersing sound energy more evenly throughout the space. These interventions are expected to bring the reverberation time within the 0.80-0.90 seconds range and elevate STI values above 0.60, thereby creating a more effective and user-friendly acoustic environment. Future studies should apply the proposed interventions in simulated environments to assess their effectiveness, followed by in-situ measurements to validate simulation outcomes.

Keywords: Architectural acoustics, Room acoustic, Multi-purpose halls.

GİRİŞ

Günlük hayatta içinde bulunduğumuz kapalı hacimlerin, yani iç mekânların en önemli konfor koşullarından bir tanesini mekânın akustik kalitesi oluşturmaktadır. Fonksiyonuna uygun olarak tasarlanan mekânlar, akustik konfor koşullarını sağlamalıdır. Akustik konfor; mekân içinde gerçekleştirilen eylemlerin işitme açısından zayıf kalmadığı, mekân içerisinde herhangi bir noktada bulunan dinleyicinin sesleri optimum şekilde duyabildiği, gürültünün dikkat eksikliğine yol açmadığı, kişileri yormayan bir çevre koşulu olarak kabul edilmektedir (Özçetin vd., 2018).

Mimari anlamda akustik, gürültü denetimi ve hacim akustiği olarak iki alt başlık altında incelenmektedir. Gürültü denetimi, duvar ve döşeme gibi yapıda bulunan bölme elemanlarının ses iletimi ve geçişlerine karşı olan performansını incelemektedir (Şimşek, 2021). Hacim akustiği ise kapalı bir hacim içerisinde tüm dinleyicilerin belirli akustik parametreler ışığında ses kaynağından çıkan sesleri optimum olarak işitmesi amacını taşımaktadır (Şimşek, 2021).

Farklı fonksiyonlara sahip mekânlar, farklı ortam koşullarına ihtiyaç duyabilmektedir. Konferans, seminer veya konser gibi işitsel etkinliklerin gerçekleştirildiği alanlarda işitsel konfor öne çıkmaktadır. Opera ve tiyatro benzeri hem işitsel hem de görsel etkinliklerin yapıldığı mekânlarda ise işitsel ve görsel konforun sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bu mekânların tasarlanmasında, hacmin sınırlarının belirlenmesi, iç mekân planlaması ve yüzey malzemelerinin seçiminin mekânın fonksiyonuna uygun olup olmadığı dikkate alınarak kararlar verilmesi büyük önem arz etmektedir (Şimşek, 2021).

Literatürde çok amaçlı salonların akustik performans analizine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Türkiye’de eğitim yapılarında gerçekleştirilen akustik analizlere yönelik çalışmalarda, Sivas Kültür Merkezi’nin çok amaçlı salonunun akustik tasarım süreci detaylandırılmış (Demirel vd., 2018) ve Karadeniz Teknik Üniversitesi dersliklerinin akustik performansı simülasyon yöntemiyle analiz edilmiştir (Kavraz ve Kabil, 2020). Benzer şekilde, Necmettin Erbakan Üniversitesinde gerçekleştirilen bir çalışmada, eğitim yapılarındaki akustik koşulların öğrenciler üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Semerci ve Kaygısız, 2020). Bir diğer çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi Büyük Salon’un akustik performansının değerlendirilebilmesi için önemli kriterler belirlenmiş, salonun ön tasarımının akustik simülasyon ile analizleri yapılmış ve uygunluğu değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu olumsuz bulunan kriterler için iyileştirmeler önerilmiştir (Demirel ve İlisulu, 2013). Kurtay vd. (2008), Gazi Üniversitesinde bulunan Mimar Kemaleddin Salonu’nun akustik performanslarını değerlendirmek amacıyla salonun mevcut durumuna ilişkin akustik simülasyonlar yapmışlardır. Olumsuz koşulların giderilmesi için yedi farklı iyileştirme önerisinin modeli üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

Çok amaçlı salonların akustik performans gereksinimleri, kullanım işlevine göre farklılık göstermektedir. Konuşma ağırlıklı etkinlikler için STI ve D50 gibi parametreler ön planda iken, müzik etkinliklerinde doğal yankı süresi ve yansıma dengesi daha önemli hâle gelmektedir.

Şimşek (2021), yaptığı çalışmada çok amaçlı salonlarda farklı fonksiyonlar için kullanılabilir bir salon üzerine, değiştirilebilir akustik tasarım önerileri getirmiştir. Başka bir çalışmada ise yüksek reverberasyon süresi değerlerine sahip bir salonda, istenilen akustik koşulların elde edilebilmesi için mekânın üç boyutlu modellenmesi oluşturulduktan sonra geliştirilen öneriler akustik simülasyon programında analiz edilerek iyileştirmeler yapılmıştır (Cairolı, 2021).

Bu çalışmada, İstanbul’da bulunan bir okulun çok amaçlı salonunun mevcut koşulları tasarım kriterleri ve hacim akustiği açısından incelenmiş ve kullanım fonksiyonuna uygunluğu değerlendirilmiştir.

Araştırmanın Problemi

Birçok eğitim yapısında akustik konfor koşullarının yeterince sağlanmadığı, öğrencilerin ders sırasında çevresel gürültülerden etkilenerek öğrenme sürecinde dikkat dağınıklığı yaşadıkları ve bunun verimliliği olumsuz etkilediği gözlemlenmektedir. Eğitim yapılarında akustik konforun eksikliği hem öğrencilerin dikkatini dağıtmakta hem de öğretmen-öğrenci iletişimini olumsuz etkilemektedir. Literatürde, uzun süre yüksek reverberasyon sürelerine maruz kalmanın, öğrencilerin öğrenme performansını düşürdüğü ve gürültü seviyelerinin 35-40 dB(A) aralığında tutulması gerektiği belirtilmektedir (Knudsen vd., 1950; Long, 2005). Aynı şekilde, konuşma iletim indeksinin (STI) 0,60'ın üzerinde olması, eğitim etkinliklerinin verimliliğini artıran kritik bir parametre olarak vurgulanmaktadır (Christensen, 2007). Akustik konforun eksikliği, özellikle çok amaçlı salonlarda yapılan seminer, konferans gibi etkinliklerde konuşmanın anlaşılabilirliğini düşürmekte ve eğitim sürecini aksatabilmektedir. Bu bağlamda, İstanbul'da bulunan bir okulun çok amaçlı salonunun mevcut akustik performansını analiz ederek, kullanım amacına uygun hâle getirmek üzere iyileştirme önerileri sunmak, araştırmanın temel problemini oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında, simülasyon analizleri sonrası RT ve STI değerlerinin istenilen seviyelere ulaşması için malzeme değişikliği önerisi geliştirilmiştir.

Araştırmanın Amacı

İstanbul'da bulunan bir eğitim yapısındaki çok amaçlı salonun eğitim, konferans gibi konuşma işlevli etkinliklere uygun olup olmadığının akustik simülasyon ve analizler yoluyla temel akustik parametreleri incelenerek, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğunun değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Araştırmanın Hipotezleri

Bu araştırmada, eğitim yapısındaki çok amaçlı salonun akustik performansının mevcut koşullar altında optimum düzeyde olmadığı ve bu durumun konuşma anlaşılabilirliği ile kullanıcı memnuniyetini olumsuz yönde etkilediği hipotez olarak öne sürülmektedir. Ayrıca, salonun reverberasyon süresi, konuşmanın belirginliği ve konuşma iletim indeksi gibi akustik parametrelerde yapılacak iyileştirmelerin, konuşma anlaşılabilirliğini artırarak salonun kullanım amacına uygun akustik konfor koşullarına ulaşmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda, akustik performansın artırılmasıyla çok amaçlı salonun eğitim etkinliklerine daha uygun hâle geleceği ve kullanıcı deneyimini olumlu yönde etkileyeceği varsayılmaktadır.

Araştırmanın Kapsamı

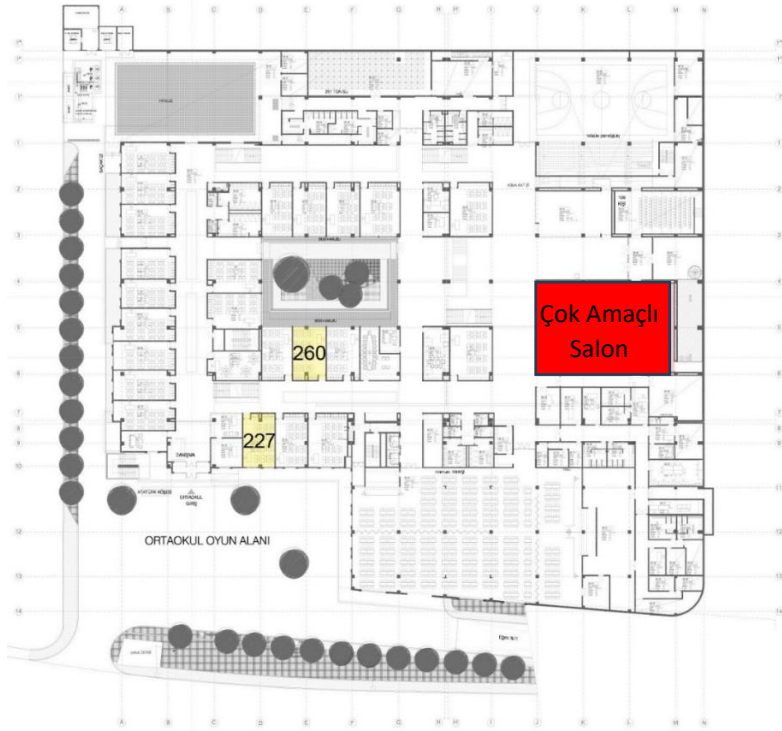
Bu araştırma, çok amaçlı salonun konuşma işlevi açısından akustik performansını değerlendirmektedir. Çalışma kapsamında yalnızca konuşma odaklı etkinlikler (konferans, seminer, ders anlatımı vb.) ele alınmış; müzik performansları, tiyatro ve benzeri diğer kullanım türleri değerlendirme kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu nedenle hacim akustiği açısından yapılan analizler, konuşma anlaşılabilirliğine etki eden parametrelerle sınırlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında salonun akustik performansı; Reverberasyon Süresi (RT), Erken Sönümlenme Süresi (EDT), Konuşmanın Belirginliği (D50) ve Konuşma İletim İndeksi (STI) parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Literatürde konuşma anlaşılabilirliği ile ilişkili diğer parametreler (C50, ALcons, AI, Ts, BR(RT) vb.) ise çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Salonun akustik performansı, simülasyon teknikleriyle detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen veriler ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Araştırma, eğitim yapılarında akustik konforun sağlanmasının önemine vurgu yaparken analiz sonuçlarına dayalı olarak optimum akustik performansın sağlanması için öneriler sunmaktadır.

YÖNTEM

Salonun seçilmesinde birkaç temel kriter etkili olmuştur. İlk olarak salon, eğitim amaçlı etkinlikler (konferanslar, seminerler, sunumlar) için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tür etkinliklerde akustik performans dinleyicilerin verimliliğini etkileyen ortamlar olarak kabul edilmektedir. İkinci olarak, salonun geometrik ve malzeme özellikleri, tipik birçok amaçlı salonun akustik performansına dair genelleştirilebilir sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle bu salonun seçimi hem spesifik hem de genelleştirilebilir sonuçlar elde edilmesi açısından uygun görülmüştür. Çok amaçlı salonda simülasyon çalışmaları ile akustik performans koşulları incelenerek mevcut durumunun yürürlükte olan standart ve yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmesi yapılmıştır. İlk olarak salonun tasarım kriterleri incelenmiş, sonrasında reverberasyon süresi (RT), konuşmanın anlaşılabilirliği (STI) gibi akustik parametreler ile mevcut durum değerlendirilmesi yapılmıştır. Hacim akustiği parametreleri, Treble üç boyutlu akustik simülasyon programı kullanılarak yapılan analizler neticesinde elde edilmiştir.

Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında, İstanbul ili Avcılar ilçesi İspartakule mevkiindeki bir okulda bulunan çok amaçlı salon, hacim akustiği açısından incelenmiştir. Yapı, toplamda 3 kattan oluşmaktadır. 2. bodrum katta lise, 1. bodrum katta ortaokul, zemin katta ise ilköğretim ve anaokulu kısımları bulunmaktadır. Çalışmada değerlendirilen çok amaçlı salonun eğitim yapısı içerisindeki konumu, Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Eğitim yapısı genel kat planında çok amaçlı salonun konumu (CM Mimarlık, 2024)

BULGULAR

Bu bölümde, çalışmada değerlendirilen çok amaçlı salon için incelenen tasarım kriterleri ve akustik parametrelere yer verilmiştir. Salonda tasarım kriterleri ile beraber reverberasyon süresi, konuşmanın belirginliği (D50), konuşmanın anlaşılabilirliği (STI) ve kişi başına düşen hacim değerlendirmeleri yapılmıştır.

Reverberasyon Süresi

Reverberasyon, bir hacim içerisindeki ses kaynağı kapatıldıktan sonra sesin hacim içerisindeki yüzeylerden çarparak ve havada yutulurak sönümlenmesi olayıdır. Reverberasyon süresi, bir hacimde kaynak kapatıldıktan sonra ses enerjisinin milyonda bire inmesi veya ses düzeyinin 60 dB azalması için geçen süredir (Beranek, 2011). Aşağıdaki denklemde reverberasyon süresi hesabı verilmektedir.

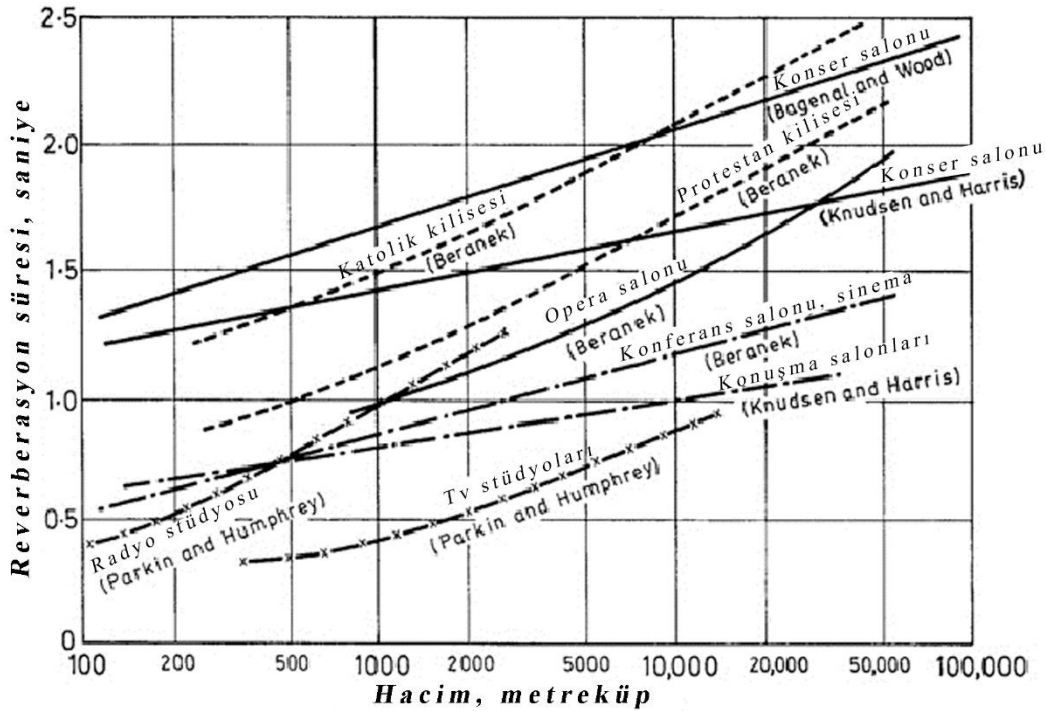
$$RT = \frac{0,16 \times V}{A}$$

RT = Reverberasyon süresi (sn)

V = Hacim (m³)

A = Toplam yutuculuk (m²) = Yüzeylerin yutuculuğu + Nesnelerin yutuculuğu + Havanın yutuculuğu

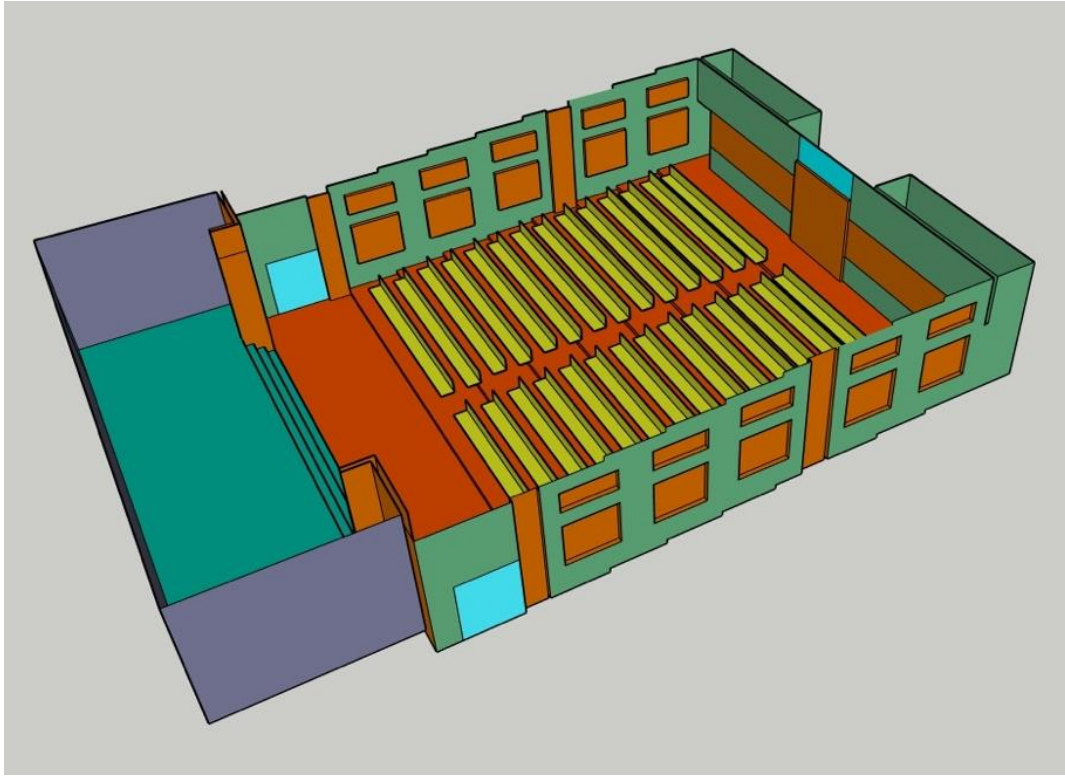
Mekânların kullanım fonksiyonlarına ve hacim büyüklüklerine göre belirlenen ve önerilen reverberasyon süreleri bulunmaktadır. Kapalı bir mekânda reverberasyon süresi parametresi değerlendirilirken her frekansta önerilen optimum sürenin yakalanması hedeflenmektedir. Şekil 2’de, optimum reverberasyon süreleri ve hacim eğrisi gösterilmektedir. Buna göre 1803 m³ hacme sahip salonda elde edilmesi gereken optimum reverberasyon süresi, yaklaşık 0,80 – 0,90 saniye aralığındadır.



Şekil 2. Hacmin büyüklüğü ve işlevine göre optimum reverberasyon süreleri (Knudsen & Harris, 1950)

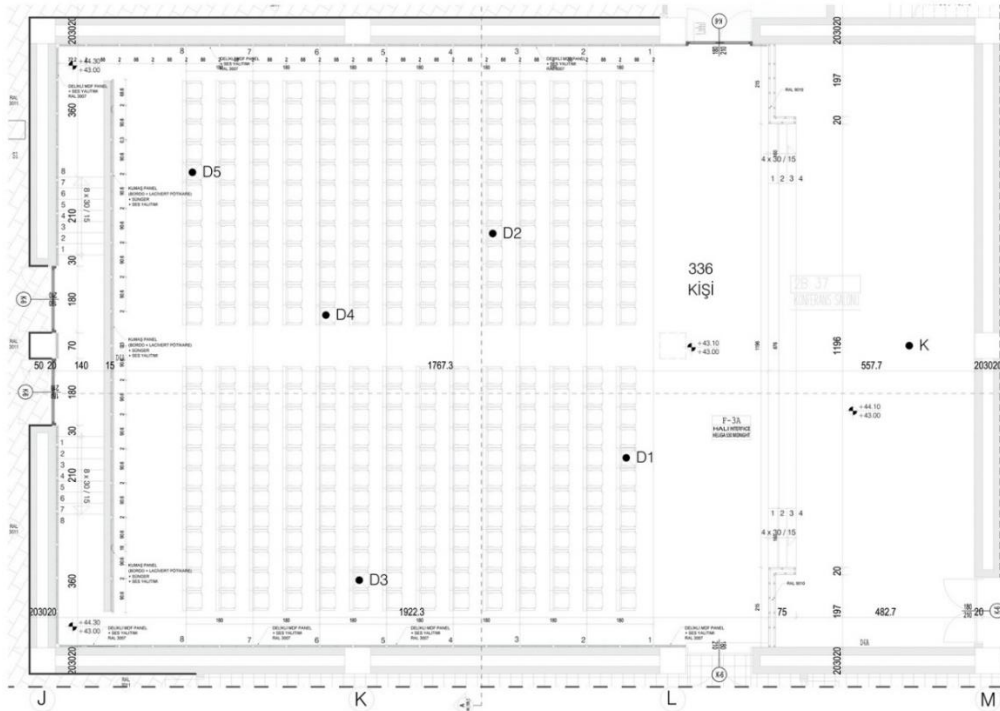
Çalışma kapsamında değerlendirilen çok amaçlı salon; 24,80 m x 16,30 m kenar uzunluklarındadır, hacmi 1803 m³'tür ve 336 kişilik bir oturma kapasitesine sahiptir. Salon dikdörtgen bir plana sahiptir. Dikdörtgen planlar, genelde iyi yanal yansımalar sağlamakla beraber müzik amaçlı kullanımlarda tercih edilmektedir. Salonda kişi başına düşen hacim yaklaşık 5,36 m³'tür. Salonun konferans işlevi için kullanılması planlanmaktadır. Literatürde, konuşma işlevi için kullanılan çok amaçlı salonlarda kişi başına düşen hacmin 4-6 m³ arasında olması önerilmektedir (Maekewa ve Lord, 1993).

Salonda akustik değerlendirilmelerin yapılabilmesi için SketchUp yazılımında salonun üç boyutlu bir modeli hazırlanmıştır. Şekil 3'te SketchUp modelinin görseli gösterilmektedir.

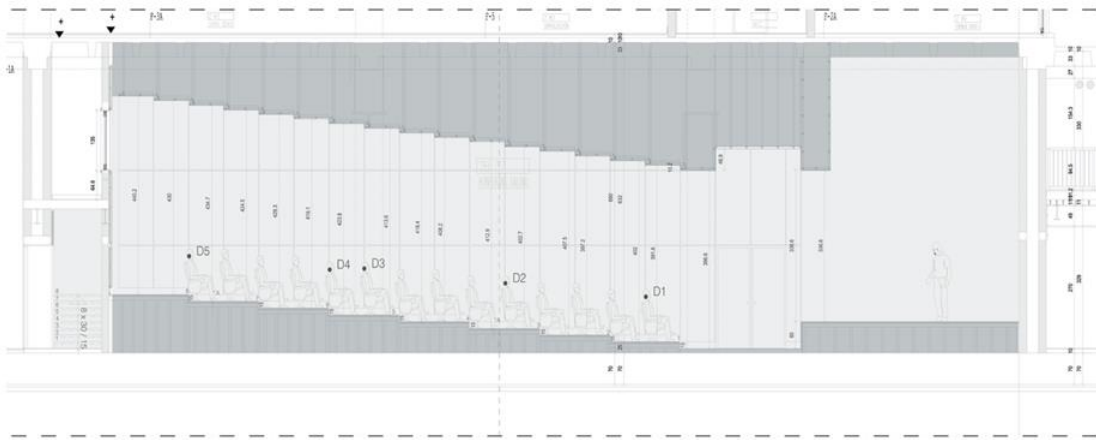


Şekil 3. Çok amaçlı salona ait 3 boyutlu model (Yazar tarafından SketchUp programında üretilmiştir)

SketchUp modeli oluşturulduktan sonra model, Treble akustik simülasyon yazılımına aktarılmış; yapılan gerekli kontrollerin ardından yüzey malzemelerinin ataması yapıldıktan sonra hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Salona ait plan Şekil 4'te, kesit ise Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. Çok amaçlı salona ait plan çizimi (CM Mimarlık, 2024)



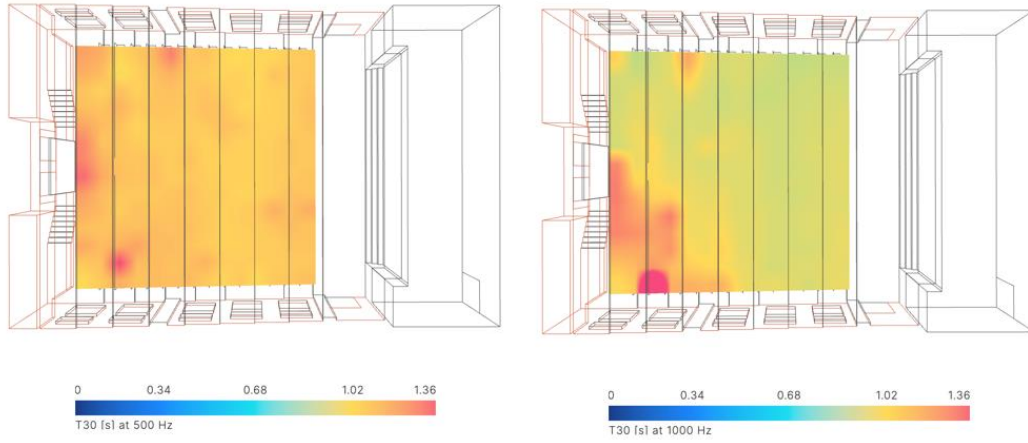
Şekil 5. Çok amaçlı salona ait kesit çizimi (CM Mimarlık, 2024)

Treble yazılımında yapılan simülasyon çalışmalarında ses kaynağı, Şekil 4'te sahnede 'K' ile belirtilmektedir. Ses kaynağı sahnenin ortasında ve 150 cm yükseklikte konumlandırılırken, dinleyiciler salonda 'D1', 'D2', 'D3', 'D4' ve 'D5' olarak adlandırılan noktalarda konumlandırılmıştır. Dinleyici noktalarının yüksekliği, normal bir dinleyicinin kulak hizası olan 125 cm olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada Treble programı ile yapılan akustik analizlerde, kullanılan modelin mevcut durum ile bir kalibrasyonu yapılmamıştır. Bu durum, çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde bir sınırlama olarak dikkate alınmalıdır. Kalibrasyon eksikliği nedeniyle simülasyon sonuçlarının mevcut durumla birebir örtüşmesi garanti edilmemekte; sonuçlar yalnızca teorik modelleme ve analizlere dayanmaktadır. Salonu çevreleyen yüzeylerin malzemelerinin akustik özellikleri, Tablo 1'de verilmektedir. Yüzeylerde bulunan malzemelerin ses yutma katsayıları, yazılım kütüphanesi ile üreticilerin paylaştığı verilerden elde edilmiştir.

Tablo 1. Salonu çevreleyen yüzeylerin malzemelerine ait ses yutma katsayıları

Malzemenin Yüzeyi	Tanımı	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Salon Yan Duvarları	Sıva üzeri boya	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07	0,08	0,08
Salon Yan Duvarları	Arkası boşluklu ahşap panel	0,34	0,30	0,25	0,20	0,17	0,14	0,10	0,07
Salon Arka Duvarları	Sıva üzeri boya	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07	0,08	0,08
Salon Arka Duvarları	Çift cam	0,13	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Salon Arka Duvarları	Arkası boşluklu ahşap panel	0,34	0,30	0,25	0,20	0,17	0,14	0,10	0,07
Salon Döşemesi	Betonarme döşeme üzeri halı	0,07	0,08	0,12	0,19	0,25	0,30	0,35	0,38
Salon Tavanı	10mm alçıpan arkası 100mm taşıyünü	0,33	0,20	0,12	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
Sahne Döşemesi	Ahşap parke	0,32	0,24	0,17	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13
Sahne Duvarı	Kalın perde	0,04	0,06	0,08	0,14	0,23	0,30	0,35	0,37
Kapı	Ahşap kapı	0,18	0,16	0,12	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
Dinleyici Alanı	Kolçaklı koltuk	0,37	0,47	0,61	0,69	0,72	0,73	0,76	0,67

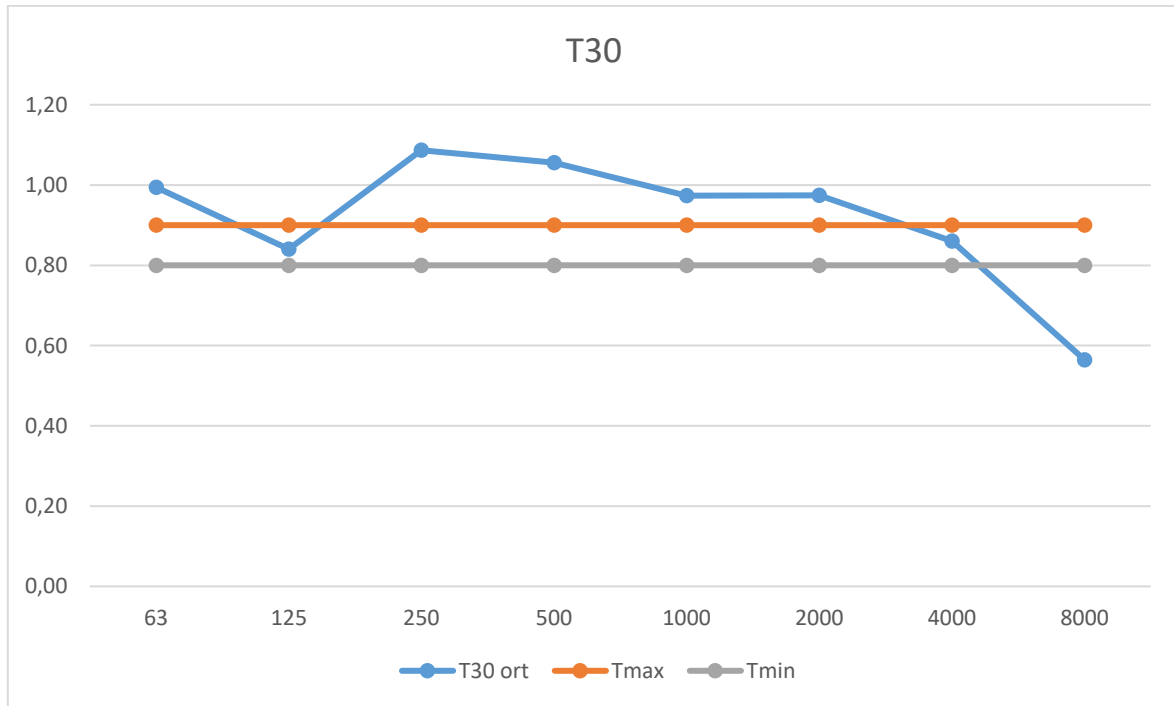
Çok amaçlı salonun çalışma kapsamında elde edilen reverberasyon süresi haritalandırması Şekil 6'da, süre değerleri Tablo 2'de ve çok amaçlı salon için kabul edilebilir en yüksek ve en düşük reverberasyon süresi sınırları içinde mevcut reverberasyon değerinin konumu Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 6. Çok amaçlı salona ait reverberasyon süresi haritalandırması (Yazar tarafından Treble programında üretilmiştir)

Tablo 2. Çok amaçlı salona ait reverberasyon süresi değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,99	0,84	1,09	1,06	0,97	0,97	0,86	0,56



Şekil 7. Çok amaçlı salon için kabul edilebilir en yüksek ve en düşük reverberasyon süresi sınırları içinde mevcut reverberasyon değerinin konumu

Konuşmanın Belirginliği (D50)

D50, bir ses kaynağından çıkan sesin dinleyiciye ulaşan ilk 50 milisaniyelik bölümü (erken yansımalar) ile alıcıya ulaşan toplam ses enerjisini karşılaştırır. Erken yansımalar, konuşma ve müzikte netliği artıran

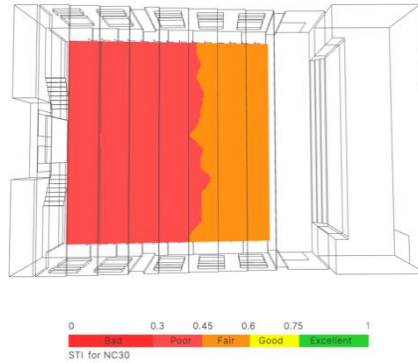
unsurlardır. Daha sonraki yansımalar ise yankı ve bulanıklığa neden olabilmektedir. D50 değeri, 0 ila 1 arasında değişmektedir. D50 = 0,50 ve üzeri değerlerde sesin anlaşılabilirliği iyi olarak değerlendirilmektedir (Sarioğlu Kılıç, 2024). Çok amaçlı salonun çalışma kapsamında elde edilen konuşmanın belirginliği (D50) değerleri, Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Çok amaçlı salona ait D50 değerleri

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
0,55	0,42	0,60	0,60	0,63	0,66	0,70	0,78

Konuşmanın İletim İndeksi (STI)

STI, konuşmanın iletimi sırasında kaybolan anlaşılabilirlik miktarını ölçer. Konuşma sinyali ile ortamda duyulan sinyal arasındaki farkı değerlendirir. Bu fark, yankı, gürültü, sesin bozulması (distorsiyon) gibi faktörlerle artmaktadır. STI değeri, 0 ile 1 arasında değişmektedir. STI değeri ne kadar yüksekse ortamdaki konuşmanın anlaşılabilirliği o derecede yüksektir. Konuşma işlevi için STI değerinin 0,60 değerinden yüksek olması, literatürde “iyi” olarak değerlendirilmektedir (Bistafa ve Granado, 2005; Sarioğlu Kılıç, 2024). Çok amaçlı salonun çalışma kapsamında elde edilen konuşmanın iletim indeksi (STI) değerleri, Şekil 8’de verilmektedir.



Şekil 8. Çok amaçlı salona ait STI değerleri haritalandırması (Yazar tarafından Treble programında üretilmiştir)

TARTIŞMA

Hacim akustiği analizi, bir hacmin akustik performansını değerlendirmek ve optimize etmek için kullanılan çeşitli yöntemleri içermektedir. Bu analizler, bir performans mekânının tasarım aşamasında veya mevcut bir mekânın akustik kusurlarının iyileştirilmesi gerektiğinde önemli bir rol oynamaktadır. Hacim akustiği analizinde kullanılan yöntemler, ölçüm teknikleri ve cihazlarından akustik simülasyon yazılımlarına ve modelleme tekniklerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu çalışmada, mevcut çok amaçlı salonun akustik parametreleri, Treble üç boyutlu akustik simülasyon programı kullanılarak analiz edilmiştir. Akustik simülasyon süreci aşağıdaki adımları içermektedir;

- **Modelleme:** İlk adım, salonun geometrik ve fiziksel özelliklerinin bir modelini oluşturmaktır. Bu mevcut simülasyon, yazılımın içindeki araçlar kullanılarak veya başka bir yazılım kullanılarak elde edilen üç boyutlu modellerin içe aktarılması ile yapılabilmektedir.
- **Malzeme özelliklerinin tanımlanması:** Salonun yüzey malzemelerinin akustik özellikleri (örneğin, yutuculuk katsayısı, yansıtıcılık) tanımlanmaktadır.

- Kaynak ve alıcı noktalarının konumlandırılması: Ses kaynakları (örneğin, konuşmacı veya hoparlör) ve dinleyici konumları modelde belirlenmektedir.
- Simülasyonun gerçekleştirilmesi: Akustik parametreler hesaplanmakta ve simülasyon çalıştırılmaktadır. Bu aşamada yankı süresi, ses dağılımı, konuşma anlaşılabilirliği gibi parametreler analiz edilmektedir.
- Sonuçların değerlendirilmesi ve raporlama: Simülasyon sonuçları, grafikler ve raporlar hâlinde sunulmaktadır.

Mevcut Durumun Akustik Performansının Değerlendirilmesi

Salona ait üç boyutlu model Treble yazılımına aktarıldıktan sonra, gerekli kontroller yapılmış ve analizler sonucunda hacim akustiği parametreleri elde edilerek değerlendirilmiştir. Mevcut salona ait bu parametre değerleri, ulusal ve uluslararası mevzuat ve literatürde belirlenen optimum sonuç aralıkları ile karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonuçları, Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Çok amaçlı salonun akustik analiz sonuçları

		Referans	Konuşma İşlevi İçin Optimum	Mevcut Durum Analizi	Sonuç
Reverberasyon Süresi	RT	(Egan, 2007)	0,60 – 1,00 sn.	1,01	UYGUN DEĞİL
		(Knudsen vd., 1950)	0,80 – 0,90 sn.		
		(Long, 2005)	0,80 – 0,90 sn.		
		(Maekewa vd., 1993)	0,80 – 1,10 sn.		
EDT	Erken Sönümlenme Süresi	(Bistafa & Granado, 2005)	< 1,00 sn.	0,94	UYGUN
D50	Konuşmanın Belirginliği	(ISO, 2009)	0,30 – 0,70	0,62	UYGUN
STI	Konuşmanın İletim İndeksi	(Christensen, 2007)	<0,60-0,75 iyi <0,75-1,00 çok iyi	0,39	UYGUN DEĞİL
Kişi Başına Düşen Hacim	m ³	(Maekewa & Lord, 1993)	4 - 6	5,36	UYGUN

Tablo 4'te görüldüğü üzere, mevcut reverberasyon süresi 1,01 saniye olarak ölçülmüştür. Bu değer, literatürde konuşma işlevi için önerilen 0,8-0,9 saniye aralığının üzerindedir. Tablo 3'teki D50 değerleri incelendiğinde, özellikle 500 Hz ve üzerindeki frekanslarda 0,60-0,70 değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Bu değerler, konuşma işlevi için uygun kabul edilen sınırlar içerisindedir. Şekil 8'deki STI haritası, mevcut durumu açıkça ortaya koymaktadır. Salonun birçok noktasında STI değerinin 0,39 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Bu değer, konuşma işlevi için önerilen minimum 0,60 seviyesinin oldukça altındadır. Mevcut durumda EDT değeri 0,94 saniye olarak ölçülmüş ve bu değer literatürde konuşma işlevi için önerilen maksimum 1,00 saniye sınırı içerisinde yer almıştır.

Çalışmada alıcı noktaları belirlenmiş ve analizler bu noktalar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ancak simülasyon sürecinde elde edilen veriler, modelin genelleştirilmiş ortalama sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir. Alıcı noktalarından elde edilen ölçümlerin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmış ve bu ortalama değerler tablolar hâlinde sunulmuştur. Gelecek çalışmalarda, her bir alıcı noktasındaki detaylı ölçümlerin ayrı ayrı raporlanarak ayrıntılı bir analiz yapılması önerilmektedir.

SONUÇ

Elde edilen analiz sonuçlarına göre salonun reverberasyon süresi optimum değerlerin üzerinde çıkmış, STI değeri ise konuşma işlevi için önerilen minimum seviyenin altında kalmıştır. Bu durumun temel nedenleri arasında; salonun yüzey malzemelerinin düşük ses yutuculuk katsayısına sahip olması, yan ve arka duvarlarda yeterli yutucu yüzeylerin bulunmaması ve salonun hacim oranlarının sesin düzgün yayılmasını engelleyen bir yapı sergilemesi yer almaktadır. Özellikle yan duvarlarda kullanılan sert yüzey kaplamaların, erken yansılara katkı sağlasa da sesin uzun süre mekânda kalmasına neden olduğu ve bu yüzden STI değerlerini düşürdüğü düşünülmektedir. Benzer şekilde, dinleyicilere yönelik uygun yönlendirilmiş yansımaların eksik olması da konuşma anlaşılabilirliğini olumsuz etkileyen faktörlerden biridir. Sonuç olarak, akustik parametrelerin mevcut hâliyle optimum değerlere ulaşamamasının en önemli nedenleri; salonun geometrik özellikleri ve malzeme seçimi olarak belirlenmiştir.

Tablo 4'teki sonuçlar değerlendirildiğinde, mevcut salonun reverberasyon süresinin literatürde belirlenen uygun reverberasyon süresi değerlerini sağlamadığı görülmektedir. Mevcut reverberasyon süresi değeri, istenilen 0,80-0,90 saniye süresinin üzerinde yer almaktadır. Salon duvarlarının, mevcut malzemeden daha yüksek yutuculuğu olan bir yüzey malzemesi ile kaplanması önerilmektedir. EDT değerine bakıldığında ise değer istenilen sınırlar aralığında fakat üst sınıra oldukça yakın olduğu görülmektedir. Konuşmanın belirginliğini ifade eden D50 değeri de istenilen sınır aralığında bulunmaktadır. Akustik performans kriterlerinde konuşmanın anlaşılabilirliği açısından büyük önem taşıyan bir diğer parametre olan STI değeri ise alt sınır 0,60 değerinin de altında kalmaktadır. Kişi başına düşen hacim değeri üst sınıra oldukça yakın olmakla birlikte, referans kaynakta verilen 4-6 m³ değerinin içinde kaldığı için uygun olduğu belirlenmiştir.

EDT değeri ile reverberasyon süresi kıyaslandığında, EDT'nin reverberasyon süresine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, erken yansıma enerjilerinin yeterince etkin olmadığını göstermektedir. Mevcut durumda reverberasyon süresinin 1,01 saniye, EDT'nin ise 0,94 saniye olması, mekânda sesin düzgün bir şekilde sönümlenmesi için ek iyileştirme önlemlerinin gerekliliğine işaret etmektedir.

Çalışmada değerlendirilen salonun D50 ve EDT değerleri her ne kadar istenilen aralıklarda olsa da reverberasyon süresi ile STI değerlerinin istenilen aralıkta olmaması nedeniyle salonun akustik performans açısından optimum değerlere sahip olmadığı söylenebilmektedir. Çok amaçlı salonda reverberasyon süresinin istenilen aralıktan daha yüksek olması, mekânda sesin gereğinden fazla yankılandığını göstermektedir. Reverberasyon süresi, bir mekânın akustik açıdan değerlendirilmesinde en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Anlaşılabilirliğin üzerinde doğrudan etkisi vardır. Yüksek bir reverberasyon süresi, mekândaki konuşmaların ve seslerin zor anlaşılmasına neden olabilir. Değerlendirilmesi yapılan mevcut salonun reverberasyon süresinin yüksek olması, mekândaki yutuculuğun gereğinden az olduğu anlamına gelmektedir. Çalışmada incelenen çok amaçlı salonun yüzeylerinde bulunan malzemelerin yutuculuğu artırılmalı veya ek yutucu yüzeyler eklenmelidir.

Bir diğer önemli parametre olan STI değeri, konuşmanın anlaşılabilirliğinin bir ölçüsüdür ve düşük STI, mekân içindeki konuşmaların net bir şekilde anlaşılmadığını göstermektedir. İncelenen salonda STI değerinin 0,60'ın üzerinde olması istenilirken analiz sonucu 0,39 değeri elde edilmiştir. Bu durum, mekân içinde konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde olumsuz bir durum olduğunu göstermektedir. Reverberasyon

süresi ile STI değerlerinin uygun aralıkta olmaması, EDT ve D50 değerleri uygun aralıkta olsa da değerlendirilen mekânda konuşma anlaşılabilirliğinin yeterli düzeye ulaşmasını engellemektedir. Bu doğrultuda, mevcut durumdaki reverberasyon süresini ve STI değerini optimize etmek amacıyla iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Salonun yan ve arka duvarlarında bulunan mevcut yüzey malzemelerinin, ses yutuculuk katsayısı yüksek olan akustik panellerle değiştirilmesi önerilmektedir. Bu malzemeler, orta ve yüksek frekanslardaki seslerin yutulmasını artırarak reverberasyon süresini düşürebilmektedir. Tavan yüzeylerinde taş yünü veya mikroperfore paneller gibi yutuculuğu artırıcı malzemelerin uygulanması tavsiye edilmektedir. Dinleyici oturma alanlarındaki koltukların ses yutuculuk özelliği artırılmış koltuklarla değiştirilmesi, konuşmanın anlaşılabilirliğini destekleyecek bir diğer iyileştirme olarak önerilmektedir. Bu önerilerin hayata geçirilmesi ile salonun konuşma işlevi için daha uygun hâle gelmesini sağlayarak hem kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesine hem de akustik konforun sağlanmasına katkıda bulunulabilir.

Çalışmada, mevcut akustik performans analiz edilmiş ve iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Ancak, önerilen iyileştirmelerin uygulanması sonrası salonun akustik parametreler üzerindeki etkisini test etmek için ek bir simülasyon çalışması yapılmamıştır. Gelecek çalışmalarda, önerilen malzeme değişiklikleri ve hacim düzenlemeleri simülasyonla test edilerek iyileştirmelerin optimum değerlere ulaşip ulaşmadığı analiz edilebilir.

Yazar Katkı Beyanı

Sıra	Adı soyadı	ORCID	Yaziya katkısı*
1	Umur ÖZBEK	0000-0002-1145-5372	1, 2, 3, 4, 5
*Katkı bölümüne ilgili açıklamanın karşılığına gelen rakam(lar) yazılmıştır.			
1. Çalışmanın tasarlanması 2. Verilerin toplanması 3. Verilerin analizi ve yorumu 4. Yazının yazılması 5. Kritik revizyon			

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ve/veya finansal çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKÇA

- Beranek, L. (2011). Concert hall acoustics. *Architectural Science Review*, 54(1), 5–14. <https://doi.org/10.3763/asre.2010.0059>
- Bistafa, S. R. & Granado M. V. (2005). A survey of the acoustic quality for speech in auditoriums. *Technical Acoustics*, 15, 1–16.
- Cairolì, M. (2021). The architectural acoustic design for a multipurpose auditorium: Le Serre hall in the Villa Erba Convention Center. *Applied Acoustics*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107695>
- Christensen, C. L. (2007). *Industrial, Auditorium and Combined Editions: Version 9.0 User Manual*. Odeon Room Acoustics Program. Odeon A/S. <https://orbit.dtu.dk/en/publications/industrial-auditorium-and-combined-editions-version-90-user-manua>

- CM Mimarlık Resmi Web Sitesi (2024, Kasım 13). *Fevziye Mektepleri Vakfı Ispartakule Eğitim Kurumları*. <https://cmmimarlik.com.tr/proje/fmv-isparkule/>
- Demirel, F., & İlisulu, S. G. (2013). İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi projesi ve akustik konfor analizi. *Politeknik Dergisi*, 16(1), 19–28.
- Demirel, F., İlisulu, S. G., & Görkem, M. (2018). Sivas Kültür Merkezi çok amaçlı salonu akustik tasarımı. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 535-542. <https://doi.org/10.2339/politeknik.450610>
- Egan, D. (2007). *Architectural Acoustics*. McGraw-Hill.
- International Organization for Standardization. (2009). *Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces* (ISO EN ISO 3382-1:2009). <https://www.iso.org/standard/40979.html>
- Kavraz, M. & Kabil, Ö. (2020). Eğitim yapılarındaki dersliklerin mimari akustik açıdan simülasyon yöntemi ile değerlendirilmesi: Karadeniz Teknik Üniversitesi örneği, *APJES*, 8(2), 379–387. <http://doi.org/10.21541/apjes.621683>
- Knudsen, V. O. & Harris, C. M. (1950). *Acoustical Designing in Architecture*. John Wiley & Sons Inc.
- Kurtay, C., İrklı Eryıldız, D., & Ulukavak Harputlugil, G. (2008). Mimar Kemaleddin Salonu akustik performans değerlendirmesi ve performans iyileştirme önerileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3), 557–568.
- Long, M. (2005). *Architectural Acoustics*. Elsevier Academic Press.
- Maekewa, Z., & Lord, P. (1993). *Environmental and Architectural Acoustics*. CRC Spon Press. <https://doi.org/10.4324/9780203222911>
- Özçetin, Z., Demirel, F. & Eminel, M. (2018). Eğitim yapıları özelinde akustik konfora yönelik uygulama örneği. *Social Science Development Journal*, 3(12), 468–475, <https://doi.org/10.31567/ssd.76>
- Sarioğlu Kılıç, R. (2024). *Eğitim hacimlerinde yutucu gereç yerleşimine göre hacim akustiği parametrelerinin incelenmesi* (Yayın No: 859874) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanı.
- Semerci, F. & Kaygısız, A. (2020). Eğitim yapılarında mekânların akustik analizi: Necmettin Erbakan Üniversitesi örneği. *Artium*, 8(2), 95–104.
- Şimşek, O. (2021). Çok amaçlı salonlarda değiştirilebilir akustik tasarım: Sinema Anadolu çok amaçlı salonu örneği. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9(2), 360–370. <https://doi.org/10.21541/apjes.750212>

YAZAR BİYOGRAFİSİ

Umur ÖZBEK

2007’de İstanbul Kültür Üniversitesi Mimarlık bölümünden lisans, 2015’te Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Fiziği programından yüksek lisans, 2022’de Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi İç Mimarlık bölümünden doktora derecesi almıştır. Haliç Üniversitesinde akademik çalışmalarını sürdürmektedir. Araştırma alanları yapı fiziği, hacim akustiği ve gürültü kontrolüdür.