

## BİR AMFİNİN HACİM AKUSTİĞİNİN MALZEME ALTERNATİFLERİ ÖNERİLEREK YENİDEN TASARLANMASI

Yasemin Öztürk<sup>1</sup>, Zehra Tuğçe Kazanasmaz<sup>2</sup>, Mustafa Emre İlal<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye, yaseminozturk@iyte.edu.tr, 0000-0001-9427-3648

<sup>2</sup>Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye, tugcekazanasmaz@iyte.edu.tr, 0000-0001-7844-1373

<sup>3</sup>Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye, emreilal@iyte.edu.tr, 0000-0003-3400-1696

### Özet

Eğitim binalarında akustik konfor koşullarını optimum düzeyde sağlamak, öğrencilerin konsantrasyonu, öğrenme arzusunu ve kullanıcıların performansını artırır. Bu sebeple, akustik koşulların iyi tasarlanması önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Özellikle eğitim mekânlarında konuşmanın anlaşılabilirlik düzeyi yetersiz kaldığında, öğrenciler işitme ve anlamada zorluk yaşarlar. Hem öğrenciler hem de öğretim görevlileri konuşma netliğinin yetersiz olduğu durumlarda daha iyi iletişim kurmak için seslerini yükseltir. Bu tür sorunlar, konsantrasyon eksikliğine neden olmakta ve bu da iç mekânın akustik ortamıyla kullanıcılarının memnuniyetini bozmaktadır. Birçok kurumda akustik koşulların iyileştirilmesi zorlu ve maliyetli bir süreç olarak görüldüğünden yapılmamaktadır. Bu çalışma, dersliklerde akustik koşulların iyileştirilmesinde kısıtlı ama pratik çözümlerin ne kadar etkin olabileceğini araştırmıştır. Sadece seçilen bir yüzeyde malzeme değişikliğinin yapacağı etki, alternatif yüzeyler ve malzemeler incelenerek örnek bir amfi üzerinden değerlendirilmiştir. Malzemelerin ses yutma katsayılarına göre seçimi ile akustik konforda iyileştirme yapmak için malzeme alternatifleri önerilmiştir. Modelin değerlendirilmesi ODEON hacim akustiği simülasyon programı aracılığıyla yapılmıştır. Sonuçlar her iki malzeme alternatifi önerisi ile konuşma iletim indeksinde (STI) yaklaşık 0,1 değerinde ve konuşma berraklığında (C50) yaklaşık +3 dB değerinde bir iyileşme elde edilebileceğini göstermektedir. Her iki alternatif de mevcut durumu fark edilebilir oranda iyileştirebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hacim Akustiği, Yansım Süresi, Amfi Tasarımı, Konuşma Anlaşılabilirliği.

## RE-DESIGNING ROOM ACOUSTICS OF A LECTURE HALL BY PROPOSING MATERIAL ALTERNATIVES

### Abstract

Providing optimum indoor comfort conditions in educational buildings, increases concentration, learning desire and users' performance. For this reason, well-designed room acoustic conditions have become an important issue. Low speech intelligibility level in indoor room acoustic conditions leads to disturbance in hearing and understanding. Both students and instructors raise their voices to communicate better when there is insufficient reverberation and speech clarity. Such problems cause lack of concentration, which disrupts users' satisfaction with the acoustic environment. Many institutions avoid renovations that are deemed difficult and costly. This study investigates how effective limited and practical solutions can be in improving room acoustics in classrooms. The effect of replacing material on a single surface has been evaluated with alternative surfaces and materials for the case of a lecture hall. Material alternatives, selected based on acoustic absorption coefficients, have been proposed to improve acoustic comfort. Evaluation of the model was made using ODEON, a room acoustics simulation software. Findings showed that both material alternative proposals have improved speech intelligibility (STI) by 0,1 and speech clarity (C50) by +3 dB. Both alternatives will provide significant noticeable improvement over the existing situation.

**Keywords:** Room Acoustics, Reverberation Time, Lecture Hall Design, Speech Intelligibility.

### ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Geliş/Received: 10.11.2022 Kabul/Accepted: 25.12.2022

Öztürk, Y., Kazanasmaz, Z. T., ve İlal, M. E. (2022). Bir Amfinin Hacim Akustiğinin Malzeme Alternatifleri Önerilerek Yeniden Tasarlanması. KARESİ Journal of Architecture, 1(1): 1-19.

## 1. GİRİŞ

Eğitim mekânlarının akustik kalitesi araştırmaya değer bir konu olarak karşımıza çıkar. Görsel olduğu gibi işitsel bilgi alışverişinin olduğu tüm mekânlarda akustik koşulların mekan niteliğine ve kullanım amacı doğrultusuna göre değerlendirilmesi ve akustik konfor koşullarına ulaşılması gereklidir (MacKenzie & Airey, 1999). Bu sebeple, tüm eğitim mekânlarının iç ortam çevre koşulları bakımından özellikle akustik konfor açısından yeterli olması, eğitimin gerekli nitelikte sürdürülebilmesini sağlar (Eggenschwiler, 2005). Akustik konfor koşulları düşük olan okullar, öğrencileri için olumsuz bir öğrenme ortamıdır. Konforsuz iç mekanlar öğrencilerin sağlığını geçici veya kalıcı olarak etkileyebilir ve genelde okuldaki başarı oranını düşürür. Okullar öğrenme ve öğretme faaliyetlerinin gerçekleştirildiği ortamlardır. Öğrenciler duymadıklarını öğrenemezler ve öğretmenler öğrencilerin ihtiyaçlarını onları dinleyerek anlayabilirler (Nelson & Soli, 2000). Sınıfındaki öğretmenin söylediği kelimeleri net bir şekilde duyamayan veya anlayamayan öğrencilerin normal bir hızda öğrenmesi beklenemez. Akustik konfor koşulları yeterli ölçüde elde edebilmek için eğitim mekanlarının hacmine ve amacına bağlı olarak gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

Eğitim mekânlarının yaygın örneklerinden biri olan amfiler ise yaklaşık yüz öğrenci kapasiteli sınıflardır. Amfilerde tipik sınıflara göre öğrencilerin tamamının sunum alanıyla iyi iletişim kurabilmesi daha zordur. Amfiler ayrıca hem sözlü hem de görsel bilgi alışverişinin yapıldığı mekânlardır.

Eğitim mekânlarından amfiler bu şekilde kullanılırken öğrencilerin verimliliği açısından ortam koşullarının konfor düzeyinin yüksek tutulması gereklidir. Amfinin mimari nitelikleri, iç mimaride kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin yerleşimi de konfor koşullarının dinleyicisine göre sağlanmasında etkilidir. Her toplu kullanım alanında olduğu gibi amfilerde de iç mekân yüzeyleri görsel olarak belirli bir tasarıma göre düzenlenmiş olabilir ancak bu malzemelerin niteliklerine göre yerleştirilmesi de iç ortam akustik konfor koşullarını iyileştirebilen bir uygulama çeşididir. Bu nedenle malzemelerin yerleşimi, iç mekânın kullanım amacına göre akustik konfor gereklilikleri göz önüne alınarak yapılmalı ve bu yöntemle konfor koşulları iyileştirilmelidir.

## 2. EĞİTİM MEKÂNLARINDA HACİM AKUSTİĞİ TASARIM PRENSİPLERİ

Bir mekânın akustik konfor koşulları, o mekânın iç ortam kalitesini etkileyen bileşenlerinden biridir. Konuşmanın açıkça anlaşılmasını ve dinleyicilerin rahatsız olmadan konsantre olabilmelerini sağlar (Roy, 2011). Akustik tasarım, binaları sağlıklı ve üretken bir çalışma alanı haline getirmek için tasarım aşamasından aktif kullanım süresinin sonuna kadar her aşamada vurgulanmalıdır. Bu, öğrencilerin zamanlarının çoğunu geçirdiği okullar açısından daha da önemlidir. Okullar kullanıcı sayısı açısından ofis alanlarına göre dört kat fazla kişiye hizmet eder. Fakat bakım, yenileme ve konfor koşulları açısından öncelik verilme oranı çoğu binaya göre düşüktür (Healthy Schools Network, 2007).

## 2.1. Akustik Tasarım için Mimari Kriterler

Hacim akustiği, bir mekânda konuşmacının sesinin dinleyicilere en net, anlaşılır ve sesin niteliğinin bozulmadan iletilmesini sağlayan mimari düzenlemeleri içerir. Bu mimari düzenlemelerden en önemlisi yüzey malzemelerinin niteliklerine göre yerleştirilmesidir. Akustik konforun önemli olduğu mekanlarda uygun malzemelerin seçimi ve niteliğine göre mekân içine yerleştirilmesi, o mekânın akustik konforunu iyileştirebilecek bir etmendir. Bir yüzeye gelen ses dalgası, belirli oranlarda yansıtılır, yutulur ve geçer. Ses yutma katsayısı, bir yüzeye gelen ses dalgasının enerjisinin yansımayan (yutulan ve geçen) enerji miktarının o yüzeye gelen tüm ses enerjisine oranıdır,  $\alpha$  ile gösterilir. Bir mekân içerisinde kullanılacak malzemelerin akustik nitelikleri, o malzemenin *ses yutma katsayısına* göre belirlenir. Buna göre ses yutma katsayı değeri 0 ve 1 arasında değişir ve 0' a yakın değerler o malzemenin ses yutma oranının düşük, 1' e yakın değerler ise ses yutma oranının yüksek olduğunu gösterir.

Akustik tasarımın planlanmasında o mekânın en, boy ve yükseklik ilişkisine, hacmine, konuşmacı konumuna, dinleyici sayısına ve yerleşimine ve en önemlisi o mekânın kullanım amacına bakılmalıdır (Harvie-Clark vd., 2014; Paradis, 2016; Puglisi vd., 2017). Bir mekânın değerlendirilmesinde elde olan ilk veri mekânın ölçüleridir. Bu özelliklerine göre değerlendirilen her hacim için sesin yayılımını göz önüne alarak malzeme yerleşimi yapılmalıdır. Malzeme yerleşiminde eğer konuşmacı ses destek sistemi olmadan doğrudan dinleyicisine doğru konuşacaksa, ses kaynağı doğal konuşma olarak değerlendirilmelidir. Konuşmacının konumuna göre sesin dağılımı planlanmalı, sesin dinleyici bölümüne yansımaları, dinleyici yanında bulunan duvar malzemeleriyle kontrol altına alınmalıdır. Sesin arka duvarlardan yansiyarak tekrar dinleyici alanına gelmesi engellenmelidir.

## 2.2. Akustik Göstergeler ve Standartlar

Akustik tasarım sürecinin ilk aşamasında, literatürdeki çalışmalarda seçilen salonların yansıma süresi ölçülerek, bu salonların kullanım amacına ve mimari niteliklerine göre yeterlilikleri yorumlanmıştır (Cavanaugh vd., 2010; Barron, 2010). İlerleyen süreçte, ölçülen farklı büyüklükteki hacimlerde standartlaştırılmış bir bilgiye ulaşılması hedeflenmiş, bunun için belirlenen ortak koşullarda, aynı ses kaynakları ve ölçüm kriterleri ile birçok hacim incelenerek standardize edilmiş bilgilere ulaşılması amaçlanmıştır (Moore, 1978). Bu aşamanın devamında ise akustik ölçüm bilgisinin kapsamı genişletilmiş ve laboratuvar koşullarında tekrarlanarak, standartlaştırılmış bilgiye ulaşılmıştır. Örneğin, "ISO 3382 Odanın akustiğinin parametrelerinin ölçümü" ilk olarak 1996 yılında yayınlanan standartlara atıf yapılarak 2009 yılında oluşturulmuş, 2010 ve 2013 yıllarında kapsamı arttırılmıştır (TSE 2009). Bir mekânın akustik tasarımını değerlendirmede ölçüm araçlarından, ölçüm aşamalarına, veri değerlendirilmesinden sonuç yorumlarına kadar detaylı bir şekilde standartlardan faydalanılması, o mekânın nesnel olarak yorumlanmasını ve ilerleyen aşamalarda da standardize bir şekilde incelenmesine

olanak sağlar (Mehta vd., 1999; TSE, 2009). Günümüzde, geçerliliği olan diğer ISO kapsamındaki hacim akustiği tasarımı standartları Tablo 1’de listelenmiştir.

Standart no	Standart adı	Kabul tarihi
TS EN ISO 3382-1	Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi- Bölüm 1: Gösteri mekânları	2010
TS EN ISO 3382-2	Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi- Bölüm 2: Sıradan odalarda çınlama süresi	2009
TS EN 20140-2	Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının ölçülmesi- Bölüm 2: Kesinlik bilgilerinin tespiti, doğrulanması ve uygulanması	1996
TS EN ISO 18233	Akustik -Bina ve oda akustiğinde yeni ölçme metotlarının uygulanması	2006

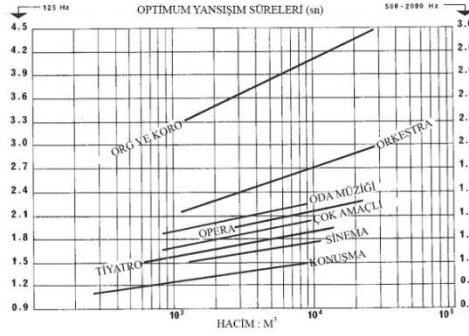
Tablo 1- ISO kapsamındaki hacim akustiği standartları

Bu çalışma kapsamında ISO standartlarının yanı sıra, literatürde kabul görmüş diğer standartlardan da yararlanılmıştır. Bunlar, DIN 18041:2004-05 Odalarda Akustik Kalitesi- Oda Akustik Tasarımı İçin Özellikler ve Talimatlar ve IEC 60268-16 Ses sistemi ekipmanı- Bölüm 16: Konuşma iletim indeksi ile konuşma anlaşılabilirliğinin nesnel değerlendirmesi şeklindedir.

Bir mekânda ölçülen *yansıma süresi*, o mekânda yer alan ses kaynağı kapatıldıktan sonra ortamdaki ses basınç seviyesinin 60 dB düşüşünün gerçekleştiği süredir (Mehta vd., 1999). Literatürde T60 değeri olarak yer alır. Bir mekânın kullanım amacına göre önerilen yansıma süresi, o mekânın hacmine göre belirlenir. Şekil 1’de hacme ve kullanım amacına göre önerilen yansıma süreleri verilmiştir. Buna göre konuşma amaçlı kullanılan mekânlarda yaklaşık 200 m<sup>3</sup> hacme sahip bir alanda 0,7 s yansıma süresi olması beklenirken, 700 m<sup>3</sup> hacme sahip bir alanda ise 0,8 s yansıma süresi olması önerilir (Moore, 1978). Mevcut ya da yapımı planlanan bir mekânın yansıma süresi alttaki Denklem 1 ile bulunarak bu değer o hacme uygun olup olmadığı Şekil 1’den kontrol edilir.

$$T60 = \frac{24 \ln 10^1}{c_{20}} \frac{V}{S\alpha} \approx 0.1611 \text{ sm}^{-1} \frac{V}{S\alpha} \quad (\text{s}) \quad (1)$$

Denklem 1’de T60 yansıma süresini (s), c<sub>20</sub> ses hızını (20°C’de), V (m<sup>3</sup>) hacim değerini ve Sα (m<sup>2</sup>) ise o hacimde kullanılan yüzeylerin toplam ses yutuculuğunu, eşdeğer tam yutucu yüzey olarak ifade eder (Kurtay vd., 2008).



Şekil 1. Hacme ve kullanım amacına göre önerilen yansımam süreleri (Moore, 1978)

Konuşma iletim indeksi (STI-Speech Transmission Index), dinleyicilerin konuşmacının sesini ne kadar iyi kalitede anlayabildiğinin bir göstergesidir (Mehta vd., 1999; Ermann, 2015). Konuşma anlaşılabilirliği ortamdaki arka plan gürültüsü, konuşmacının sesinin niteliği, konuşmacı ile dinleyici alanı arasındaki mesafeye bağlıdır. Eğitim alanlarından amfilerde ise konuşmacının sesinin kalitesi ile ilgili özellikler kişiden kişiye değişirken mekânda kullanılan malzemelerin yerleşimi ile konuşmacı ile dinleyici alanı arasındaki mesafede ses dalgasının ilerleyişinin en iyi düzeye getirilmesi sağlanır. Konuşma iletim indeksi ise bu etmenlerin sayısallaşmış sonucudur ve bir sesin kaynaktan çıktıktan sonra dinleyici alanına varıncaya kadar enerjisinin düşüşünü inceler ve 0-1 aralığındaki oranlarla ifade edilir (Barnett & Knight 1995). Şekil 2' de verilen değerlere göre 0 ve 0,3 arası ölçülen STI değerleri kötü nitelikte değerlendirilirken, her 0,15 oran artışı, STI tanımlamasının bir seviye iyileşmesinin göstergesidir. Bir eğitim mekânı olan amfi için gereksinimler değerlendirildiğinde, ölçülen konuşma anlaşılabilirliği değerinin DIN 18041:2004-05'e göre en az 0,56; IEC 60268-16 standardına göre ise 0,60 olması önerilmektedir (Eggenschwiler, 2005; Daniels & Bodkin, 2015).

IEC 60268-16 standardına göre STI değerleri	
Kötü	0-0,3
Zayıf	0,3-0,45
Yeterli	0,45-0,60
İyi	0,60-0,75
Çok iyi	0,75-1,00

Şekil 2. STI değerlerinin dağılımı (Barnett & Knight, 1995)

Konuşmada *berraklık veya netlik* (C50 – *Speech Clarity*) ise ilk 50 ms'deki enerjinin sonraki enerjiye oranının, dB ile ifade edilmesidir. C50 parametresinin hacim içinde olumlu yönde değerlendirilmesi için bu değerin pozitif olması beklenir. Bu değerleri doğru yorumlamak için, algılanabilen en ufak değişim değerlerini (*just noticeable difference-JND*) göz önünde tutmak önemlidir. Algılanabilen en ufak değişim değerlerini inceleyen Bradley ve arkadaşları, C50 için en ufak değişim değerinin 1,1 dB olduğunu ve

buna karşılık gelen STI değerinin ise 0,03 olduğunu belirlemişlerdir. Bununla beraber, günlük kullanımda herkes tarafından algılanabilecek seviyede akustik koşulların düzeltilmesi için C50 değerinde 3 dB artışın gerekeceğini belirtmişlerdir (Bradley vd., 1999).

Arka plan gürültüsü, incelenen mekânda konuşmacı sesinin dinleyiciye ulaşması sırasında sesin anlaşılabilirliğini düşüren iç ya da dış ortamdan kaynaklı gürültülerdir. Arka plan gürültüsünün düşük olması, mekânda ölçülen konuşma anlaşılabilirliği değerinin daha yüksek seviyede olmasına yardımcı olur. Sınıflar için önerilen en yüksek arka plan gürültüsü 45 dB olarak tanımlanmıştır (Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, 2022) Bu çalışmada ise, arka plan gürültüsü 35 dB olarak ölçülmüştür.

Literatürde yer alan çalışmalardan, kullanım amacı ve mekânsal benzerliklerinden ötürü yansım süresi, konuşmada netlik ve konuşma iletim indeksi parametreleri bu çalışma kapsamında değerlendirme kriteri olarak seçilmiştir. Yansım süresi, bir mekânın amacına göre akustik konforunun değerlendirilmesinde ana kriterdir. Konuşma iletim indeksi ve konuşmada netlik ise konuşmacının sesinin dinleyici alanına ne kadar iyi kalitede ulaştığını incelemek için kullanılacaktır.

### 2.3. Sınıfların Akustik Analizlerini Ele Alan Çalışmalar

Literatürde okulların akustik ihtiyaçlarını araştıran bazı çalışmalar yer almaktadır. Catalina ve Virgone tarafından yapılan örnek bir araştırmada, okullarda kullanılan yüzey kaplama malzemelerinin mekânın akustik konfor koşulları üzerindeki etkisini ve malzeme seçimlerinin önemini ortaya koymuştur (Catalina & Virgone, 2012). Yapılan çalışmada, mekânın cam yüzeyleri inceleme konusu olmuş ve cam yüzeylerin iç mekân üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Böylece, camların farklılıkları ve seçim kriterleri konusunda tasarımcılara fikir vermek hedeflenmiştir. Çalışmada akustik konforun değerlendirilmesi için arka plan gürültü seviyesi, iç ve dış ortamın *ses basınç seviyesi* (SPL) değerlerine bakılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre gözlenen akustik ve görsel parametrelerin gelişimi arasında zıt bir ilişki bulunmuştur, çünkü cam yüzeyler hem gün ışığı oranını hem de dışardan gelen sesin iç mekâna iletimi ile ilgilidir. Sonuçlarda, çalışılan mekânın zemin metrekaresinin %40 'ına kadar olan kısmı kadar cam yüzey alanının kullanılması ile iç mekânda kabul edilebilir bir aydınlatma düzeyi elde edildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, böyle bir durumda, iç ortamdaki SPL değerinin kabul edilebilir sınırı 10-15 dB(A) olmalıdır. Araştırmacılar, bu ilişkiyi değerlendirmek için iki matematiksel model geliştirerek ve doğruluk oranı yüksek modellere ( $R^2 > 0.99$ ) ulaşmıştır. Araştırmacıların bu çalışması tek bir sınıf üzerinden sürdürülmüştür. Bu çalışma binadaki diğer sınıflarda tekrarlanarak bütüncül bir sonuca ulaşılmamıştır.

Mydlarz ve Conetta tarafından tamamlanan bir diğer çalışma ise, İngiltere'de seçilen 12 farklı okulun çevresi ve akustik konfor koşulları arasındaki ilişkileri analiz etmeyi amaçlamıştır (Mydlarz vd., 2013). Araştırmacılar tarafından belirlenen sınıflarda hem kullanıcı profilleri hem de iç ve dış ortam faktörleri

göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada akustik konforun değerlendirilmesi için belirli aralıklarla iç ortam arka plan gürültü seviyesi ölçümü yapılmıştır. Çevresel faktörlerin çoğu, konuşma anlaşılabilirliği seviyesini doğrudan düşüren eşdeğer sürekli ses basınç seviyesi ( $L_{aeq}$ ) ve sınıfın iç mekân akustik konfor koşullarını etkilemiştir. Literatürdeki bu çalışmadan akustik konforu etkileyen hacim akustiği parametreleri ve bu parametreler arasındaki ilişkiler hakkında bilgi edinilmiştir.

Özçevik'in 2005'te yayınladığı tez çalışmasında mimarlık derslik ve stüdyolarında akustik konfor koşullarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Mimarlık derslikleri eş zamanda farklı işlevlerin gerçekleştirildiği mekanlar olması sebebiyle özel bir akustik çevre oluşumunu gerektirir. Bu sebeple akustik konfor koşullarının değerlendirilmesi de tipik bir odadan farklıdır. Araştırmacı, öncelikle mevcut durumun belirlenmesi için anket çalışması ve hacim akustiği ölçümleri gerçekleştirilmiş, bu esnada yansım süresi, belirginlik ve hızlandırılmış konuşma anlaşılabilirliği (RASTI) değerleri incelenmiştir. Özçevik, çalışmasının sonuçlarında sınıf içi kullanıcı yorumlarını, sınıfta kullanılan yüzey malzemeleri ve dış ortam gürültüsündeki değişimler ile beraber değerlendiren bir akustik simülasyon ile beraber akustik konfor yeterliliği açısından yorumlamıştır (Özçevik, 2005).

Madbouly ve çalışma arkadaşlarının 2016'da yayınladığı makalede ise konuşmanın anlaşılabilirliğini ve öğrenme kalitesini artırmak için analitik hiyerarşi işlemine (AHP) dayanan bir sınıf akustiği değerlendirme modeli önerilmiştir. Model, öğrenme sürecini etkileyen ve sınıfların akustik özellikleriyle ilgili beş ana kritere dayanmaktadır. Bunlar sınıfın mimari özellikleri, sınıftan ve sınıf dışında yer alan gürültü kaynakları, öğretim tarzı ve konuşmacının sesinin niteliği dâhildir. Bu değişkenlerin alternatifleriyle birlikte öncelikleri, öğrenme üzerindeki ağırlıkları, öğrencilerin ve öğretmenlerinin cevapladığı anketle beraber AHP metodolojisi kullanılarak belirlenmiştir. Bu model, üniversitelerin sınıf akustiği iyileştirmesi konularında etkili kararlar alınmasını sağlayan bir çerçeve olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda, her okulda eğitim ortamının kalitesini ve verimliliğini artırmaya yardımcı olan gereksinimleri belirlemeye yardımcı olarak öğrencilerin öğrenme çıktılarını artırır (Madbouly vd., 2016).

Akustik tasarımın tüm işlevleriyle planlanması için hem çevresel gürültü hem de bina içi yapılacak iyileştirmeler düşünülmelidir. Çevresel gürültünün çözümünde ses kaynağının kendisinde yapılacak yalıtımlar önem kazanır. Ek olarak bina katmanlarında yapılacak seçimlerle hem çevresel gürültünün hem de bina içindeki gürültünün korunaklı olması istenen mekânlara ulaşması engellenir. Fakat bu çözümlerin hepsi incelenen mekânın dışında yapılır. Hacim akustiği tasarımında ise yalnızca iç mekândaki yerleşim ve malzeme seçimleri ile büyük oranda iyileşme elde edilebilir. Bu niteliklere sahip bir mekân öğrenme için destekleyicidir ve sözlü anlatımların anlaşılır ve açık bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar (Nelson & Soli 2000; Harvie-Clark vd., 2014).

Karaman ve Üçkaya'nın 2015'te yayınladıkları makalede, mimarlık fakültesi stüdyolarının akustik konfor analizi yapılarak, işitsel ortamın iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur (Karaman & Üçkaya, 2015). Çalışmanın ilk aşamasında incelenen stüdyolara dair ele alınan parametreler arka plan gürültüsü, yansıma süresi, erken düşme süresi (EDT), belirginlik (D50), ses basınç seviyesi (SPL) ve konuşma iletim indeksi (STI) olarak belirlenmiş ve her bir değer için önerilen aralıkları belirlenmiştir. Mevcut işitsel konforun hacmin akustik nitelikleriyle ilişkisini irdelemek için öğrenciler arasında anket çalışması ve sınıf içi saha ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada, sınıfta mevcut durumda kullanılan kaplama malzemeleri, kullanılan metrekaresine göre belirlenmiş, alınan ölçüm değerleriyle beraber sınıfın akustik simülasyonu ODEON programı ile hazırlanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise anket çalışmasından elde edilen veriler ve başta incelenen önerilen değerler ışığında, stüdyonun akustik konfor koşullarını iyileştirmeye yönelik üç farklı öneri getirilmiştir. İlk öneride tek tip asma tavan, ikinci öneride iki farklı tip malzeme kullanılan asma tavan, üçüncü öneride ise zemine halı kaplaması yapımı, sınıf içinde yansıma süresini düşürecek şekilde önerilmektedir. Çalışmanın sonucunda mevcut duruma göre iyileşme oranları karşılaştırılmış ve eğitim mekanlarının malzeme seçimlerinin, orada yapılacak aktiviteleri gözetenek planlanmasının önemi vurgulanmıştır.

Akustik konfor koşulları literatürde ve diğer standartlarda tanımlanan birçok parametreye bağlıdır. Bununla birlikte, bu çalışmanın odağı ders yapılan amfiler olduğundan, bu parametrelerden kritik olan ve önerilen seviyelerde olması gereken birkaçı seçilmiştir. Bunlar yansıma süresi (T60) - ana parametre -, konuşma iletim indeksi (STI), ve konuşma netliği (C50) değeri öncelikli olarak ele alınmaktadır.

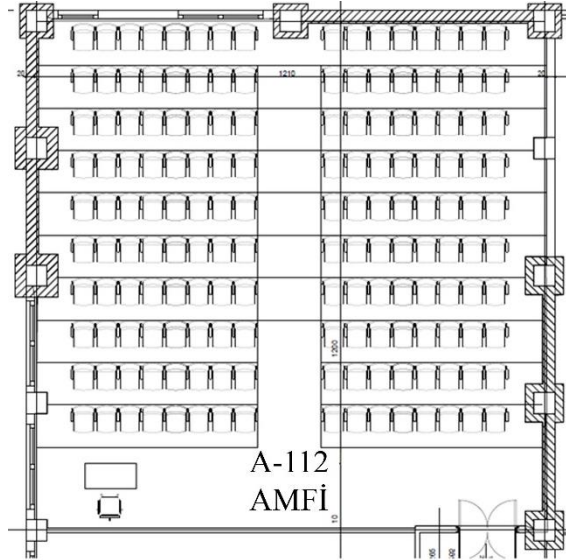
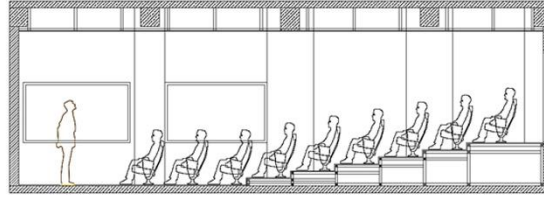
Literatürde yer alan çalışmalar bir hacmin akustik konforunu değerlendirmeye ve iyileştirmeye yönelik çok sayıda örnek ve sonuçları barındırmaktadır. Bu bağlamda ele alınan çalışmalarda ise birden fazla elemana müdahale edilmiş ve bu sebeple iyileşme oranları yeterli düzeye rahatlıkla ulaştırılmıştır. Ancak çoğu uygulamada bu kadar çok elemanın değiştirilmesi mümkün olmamaktadır. Bir mekânda yapılabilecek tadilatlar ne kadar kısıtlı olursa olsun yüzey malzemeleri her zaman tasarımcının seçimine açık olan bir konudur. Bu sebeple yapılacak iyileştirme yöntemlerinin en pratiği malzeme seçimi ve yerleşiminin planlanmasıdır. Bu çalışmada eğitim mekanlarından konuşma amaçlı kullanılan bir hacimde yalnızca malzemelerin yerleşimi ile elde edilen değişimler değerlendirilmiştir. Ayrıca yapılan müdahaleler sadece tavana ya da sadece duvarlara yönelik olacak şekilde iki ayrı gruba toplanmış, bu sayede uygulama alanı oldukça kısıtlı mekânlarda bile beklenebilecek iyileştirmelere yönelik literatüre bir katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

### 3. İNCELENEN AMFİNİN GEOMETRİSİ VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Eğitim mekânlarında akustik konfor kalitesini belirleyen değerlerin incelenmesi için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü – Mimarlık Fakültesi'nden bir amfi seçilmiştir. Bu amfi, yaklaşık 134 m<sup>2</sup> taban



alana sahip, asma tavanı altında kalan alan ile mevcut durumda 393,4 m<sup>3</sup> hacme sahiptir. Bu mekânın kuzey ve batı yönlerinde ikişer pencere olup diğer duvarları boyalı sıva kaplı yüzeylerden oluşur. Mekânın normal kat yüksekliği 3,8 m olmasına rağmen, mevcut durumda bulunan asma tavan uygulamasıyla kullanılan yükseklik 3,3 m'ye düşürülmüştür. Bu amfi çoğunlukla sunum ve sözlü anlatım içeren derslerde kullanılır. Amfinin mevcut durumu Şekil 3' te yer alan görsellerle sunulmaktadır.

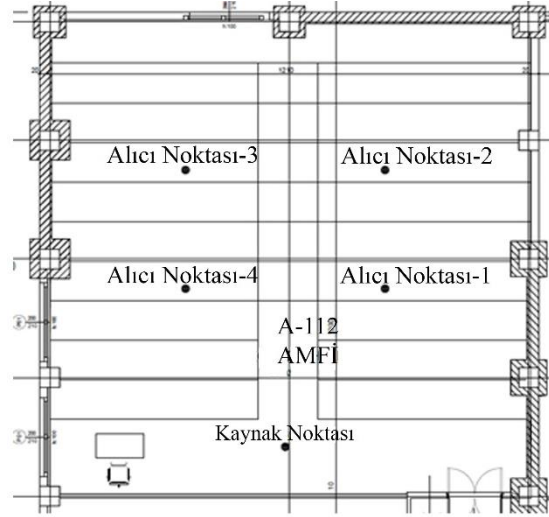


Şekil 3. Amfinin genel görünümü, yerleşim planı ve kesiti

#### 4. HACİM AKUSTİĞİ ÖLÇÜMLERİ

Hacim akustiği ölçümleri esas olarak ISO-3382 ve ISO 140 ölçüm standartları detaylarına göre düzenlenmiştir. Genel olarak, oditoryum, ders amfisi ve salonlar en az 500 koltuk kapasitesi için 6

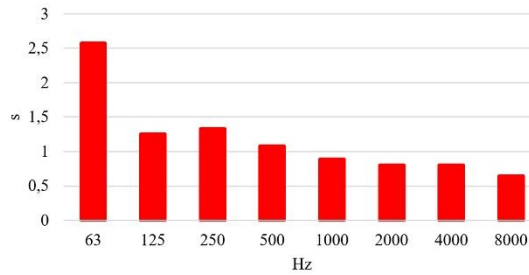
mikrofon ile ölçülür (Karaman & Üçkaya, 2015). Ancak, bu amfide, T20 ortalamasının ölçümü için bu hacim ve dinleyici bölümü için dört alıcı noktası belirlenmesi yeterlidir.



Şekil 4. Yansıyım süresi ölçümünde kaynak ve alıcı yerleşimleri

Bu noktalar, tüm dinleyici bölümünü kapsamaktadır. Alıcı noktaları zemindeki ya da yükselmiş platform üzerindeki sandalyelerde oturanların kulak seviyesine göre zemin kaplamasından 1,1 m yüksekliğinde konumlandırılmıştır.

Ölçümlerde ses kaynağı olarak, Brüel + Kjaer 4296 Omni Power ses kaynağı, 2716 amplifikatör ve 2260 ses analiz cihazı kullanıldı. Ölçüm noktaları seçilirken ses kaynağına ve en yakın yansıtıcı yüzeylerden mesafeleri göz önünde bulunduruldu. Yansıyım süresi (T20) ölçümleri, asma tavan malzemesi ses yutma katsayılarının da belirlenmesi amacıyla 09.05.2014 tarihinde saat 15.30' da sınıf boşken gerçekleştirilmiştir. Şekil 5 'te verilen sonuçlar amfide yer alan 4 alıcı noktasından elde edilmiştir.

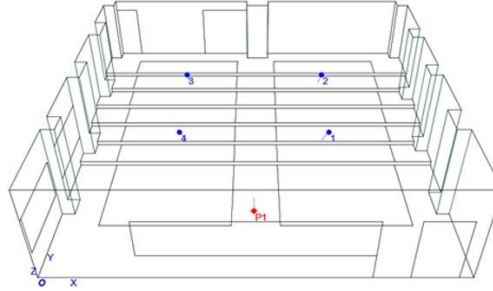


Şekil 5. Yansıyım süresi- Amfi ölçüm sonuçları

Bu amfinin akustik karakteristiği hakkında ele alınan ana parametre olan yansıyım süresi grafiği, 500-1000 Hz konuşma frekanslarındaki dağılımın diğer frekanslara kıyasla standart değerlere daha yakın olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, yansıyım süresi T60 grafiği incelendiğinde 63-250 Hz aralığındaki değerlerin diğer frekanslara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerler, amfinin mevcut durumunu yansıtan akustik modelinin doğrulanması için kullanılmıştır.

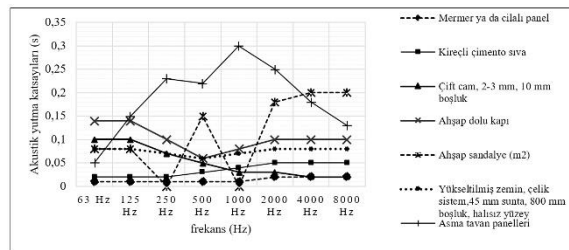
## 5. HACİM AKUSTİĞİ SİMÜLASYONU

Akustik parametrelerin belirlenmesi için dört alıcı noktasından elde edilen T20 ortalamaları, mevcut durumda belirlenen malzeme dağılımlarıyla beraber ODEON yazılımında modellenmiştir. Bu parametreler, amfinin mevcut durum modellerini oluşturmak için kullanılmıştır.



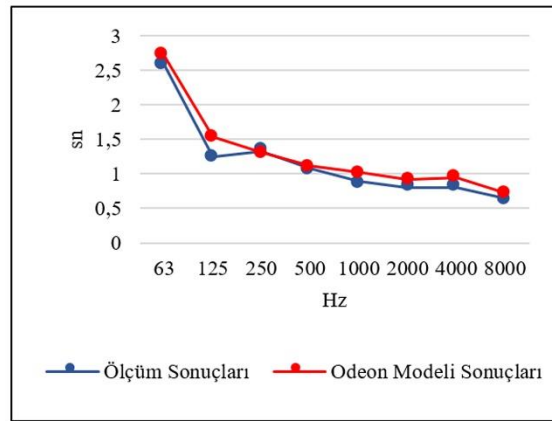
Şekil 6. Yansıma süresi simülasyonunda kaynak ve alıcı yerleşimleri

Amfinin mevcut durumu, hacim akustiği yazılımı ODEON' da modellenmiştir. Amfinin akustik modeli beş adımda elde edilmiştir. Bu adımlar geometrinin oluşturulması, malzemelerin tanımlanması, ses kaynağı ve dinleyici alanının belirlenmesi, arka plan gürültüsü, ses kaynağının davranış biçimi ve diğer hesaplama ayarlarının oluşturulması ve son olarak hesaplamanın başlatılması şeklindedir. İlk adımda, amfinin plan ve kesitlerine göre üç boyutlu modeli SketchUp programında oluşturulmuş ve SketchUp2Odeon eklentisi ile modelleme programından ODEON' da kullanılacak .par uzantılı akustik simülasyon dosyası elde edilmiştir. Aktarılan model bu aşamadan sonra tamamen ODEON' da çalışılarak incelenmiştir. Aktarılan 3 boyutlu modelin hataları ışın izleme yöntemi ile kontrol edilmiştir. Amfide mevcut durumda kullanılan sıva türü, camın yüzey kalitesi ve diğer kaplama malzemeleri listelenmiştir. Mevcut malzemeler, Odeon kütüphanesinden ve literatür taramasından yararlanılarak programa tanımlanmıştır. Her bir malzemenin 63 Hz- 8000 Hz arasındaki yutma katsayıları modelde yer aldığı yüzeye tanımlanmıştır (Şekil 7). Konuşmacıyı tanımlamak için ses kaynağı ilgili konuma eklenmiş ve amfideki konuşmacıyı modellemek için "BB93- Raised Natural" kaynak seçilmiştir. Dinleyici alanına yerleştirilen alıcı noktaları öğrencileri temsil eder ve konumları oturma düzenine göre belirlenir (Şekil 5).

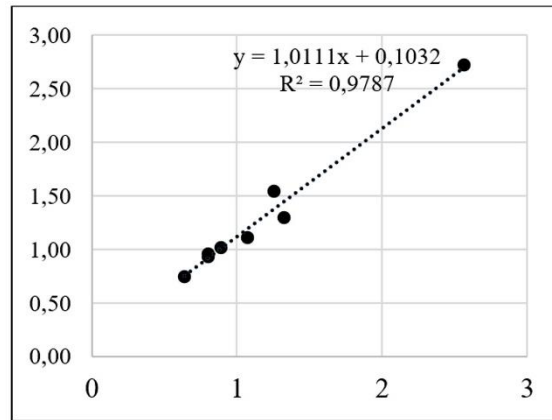


Şekil 7. ODEON' da yüzeylere tanımlanan malzemelerin ses yutma katsayıları (Bobran, 1973; Kristensen, 1984; Harris, 1991)

Odeon simülasyon sonuçları (amfi boşken) ve ölçülen değerler 63 Hz- 8000 Hz aralığında olacak şekilde Şekil 8a 'da karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, konuşma değerlerini daha çok kapsayan orta frekanslarda (500-1000 Hz) ölçüm değerlerine daha yakındır ve doğrulama katsayısı ( $R^2$ ) değerleri %97 olarak hesaplanmaktadır (Şekil 8b). Bu değerlerin ilişkisi ölçüm ve simülasyon sonuçlarının büyük oranda eşleştiğini, simülasyon modelinin, ölçüme göre genel olarak biraz daha yüksek değerlere sahip olduğunu gösterir. Ölçümlerde T20 değeri ortalamaları amfi boş durumda iken 0,6- 2,6 saniye arasında değişmekte iken, bu dağılım benzetimde amfi boş durumda iken 0,75- 2,75 saniye, dolu durumda iken 0,72-2,24 s arasındadır.



(a)



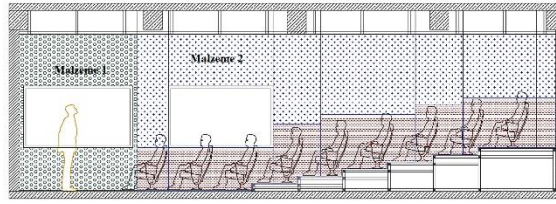
(b)

Şekil 8. (a) Yansıma süresi ölçümlerinin ve benzetimin T20 ortalamasının karşılaştırılması (b) Doğrulama için dağılım diyagramı

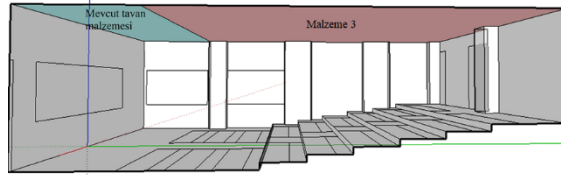
## 6. MALZEME ALTERNATİFLERİ İLE AKUSTİK TASARIM ÖNERİLERİ

Bu çalışmada önerilen tasarım alternatifleri, malzeme seçimlerinin uygun yutma katsayısına sahip olanlarla değiştirilmesine odaklanmıştır. Bu önerilerin değerlendirilmesi için yapılan seçimler sadece tavan ve sadece duvar üzerinde olmak üzere iki seçenekte bir araya getirilmiştir. MC1 olarak isimlendirilen modelde 81,3 m<sup>2</sup> duvar yüzeyinde, MC2 olarak isimlendirilen modelde ise 103,8 m<sup>2</sup> tavan

yüzeyinde malzeme seçimleri yeniden düzenlenmiştir. Bu süreçte, önce seçilen amfide mevcut durumda bulunan malzemeler değerlendirilmiştir. Bu malzemelerin çoğu sıvalı boyalı duvar yüzeyi, mermer zemin, cam yüzeyler ve ahşap sıra ve sandalyeler olduğundan, akustik olarak yansıtıcı karakterli yüzeylerdir. Ayrıca düşük frekansları (63-250 Hz) yutabilen yüzeylerin az oluşu, mevcut koşullarda elde edilen yansım süresinin düşük frekanslarda daha yüksek bir dağılımda ölçülmesine sebep olur. Bu tür ipuçları, malzeme seçim aşamasında değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, duvarların ya tamamen ya da kısmen yutucu karakterli malzemeler ile kaplanması öngörülmüştür. Malzemeler optimum yansım süresi ve yüksek seviyede bir konuşma anlaşılabilirliği hedeflenerek yutma katsayılarına göre seçilir. Duvar kaplamalarını değiştirirken, ses yutma katsayıları uygun paneller seçilir.



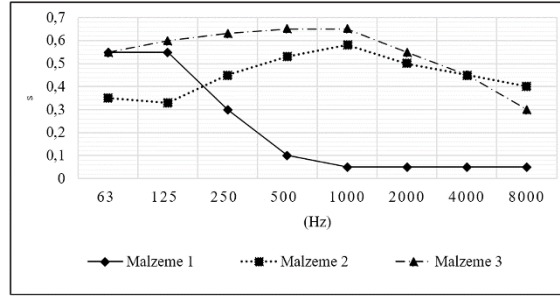
Şekil 9. MC1 uygulamasının kesiti



Şekil 10. Farklı malzemenin yerleştirildiği tavan yüzeyi (MC2)

Malzeme yerleşimi ve ses yutma niteliklerine göre iki model hazırlanmıştır. Bunlardan biri sadece duvarlarda değişiklik yapmayı önerirken, diğeri de sadece tavan malzemelerinde değişim yapmayı esas alır. Bu modeller sırasıyla MC1 ve MC2 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 9 ve Şekil 10).

Yeniden tasarım aşamasında dâhil edilen malzemeler akustik ihtiyaçlara göre belirlenir. Bu aşamada malzemeler, ses yutma katsayısı için standart değerlere ulaşmayı sağlamak üzere incelenir. Akustik ahşap duvar ve tavan panelleri bu tip gereksinimler için tasarlanmıştır. Perfore panellerin delik çapını, delik sıklığını, panel arkası dolgu malzemesinin yoğunluğunu ve kalınlığını değiştirerek istenen yutma katsayısına sahip akustik delikli paneller tasarlamak mümkündür. Bu çalışmada malzeme 1, düşük frekansları yutmak için tasarlanmıştır. Bu, ağırlıklı olarak düşük frekansları (63-250 Hz) yutan duvar paneli şeklinde tanımlanır. Malzeme 2 ağırlıklı olarak 500-1000 Hz yutabilen duvar paneli, Malzeme 3 ise ağırlıklı olarak 500-1000 Hz frekansları yutabilen tavan paneli olarak seçilmiştir (Şekil 11). MC1 modelinde Malzeme 1 ve 2 duvarların üzerine yerleştirilmiş ve MC2 modelinde Malzeme 3 tavanın bir bölümüne yerleştirilmiştir.

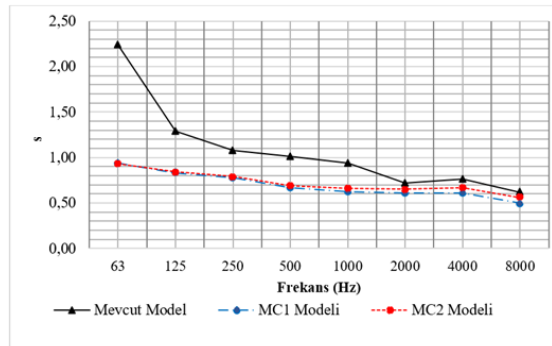


Şekil 11. Önerilen malzemelerin ses yutma katsayıları

## 7. BULGULAR

Değerlendirilen amfide, yapılan tüm incelemeler 63-8000 Hz aralığında incelenmiş, ancak bu amfi konuşma ve sunum amacı ile kullanıldığından yansımın süresinde ağırlıklı olarak 250-4000 Hz aralığında literatürde önerilen değerlere yakın olması hedeflenmiştir. Literatürde 400 m<sup>3</sup> hacim için önerilen yansımın süresi değeri 0,7 s'dir (Moore, 1978). Amfinin mevcut durumundaki ölçümlere göre yansımın süresinin düşük ve orta frekanslarda yüksek olduğu, yüksek frekanslarda ise kabul edilebilir aralıkta olduğu görülmektedir. Konuşma amacıyla kullanım için orta frekanslardaki yüksek yansımın süresi sorun yaratmaktadır (Şekil 1).

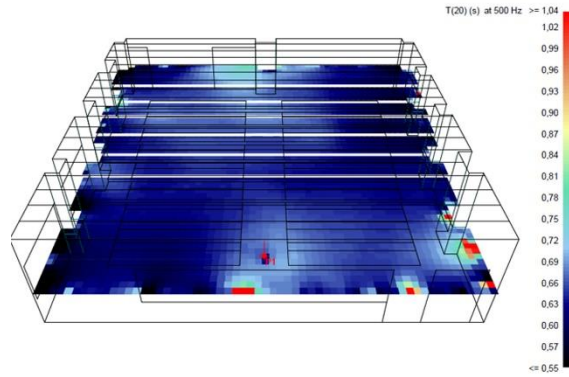
İki malzeme kombinasyonunun modelleri hazırlandıktan sonra akustik konfor koşulları beklentilerine göre değerlendirilmiştir. MC1 modelinde Malzeme 1 ve 2 duvarların üzerine yerleştirilmiş ve MC2 modelinde Malzeme 3 tavanın bir bölümüne yerleştirilmiştir.



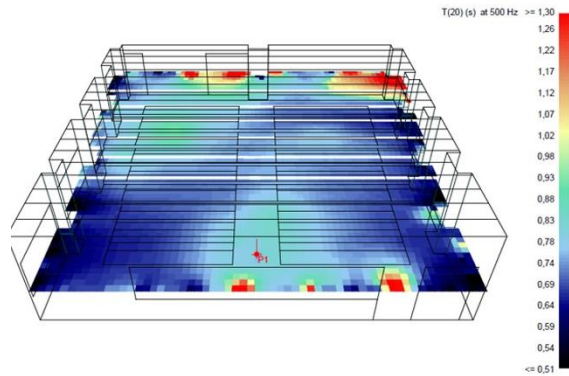
Şekil 12. Mevcut dolu durumla MC1 ve MC2 modellerinin dinleyicilerin olduğu durumdaki yansımın süresi karşılaştırması

Şekil 12, mevcut ve önerilen modellerin salon doluyken yansımın süresi dağılımını göstermektedir. Görüldüğü üzere, MC1'in yansımın süresi ortalamaları, 500 Hz- 1000 Hz'de, dinleyicisi olmadığında 0,76 saniye ve 0,71 saniye, amfide dinleyicilerin olduğu durumda 0,67 saniye ve 0,62 saniyedir. MC2 modelinde ise dinleyicisi olmadığında yansımın süresi ortalamaları, 500 Hz- 1000 Hz'de 0,73 saniye ve 0,71 saniye ve amfide dinleyicilerin olduğu durumda 0,69 saniye ve 0,66 saniye şeklinde hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar iki öneri için de neredeyse aynıdır ve her iki durumda da tavsiye edilen yansımam süre aralığındadır. Mevcut modelin yansımam süresi ortalamaları yaklaşık 1,1 s saniye iken, MC1 ve MC2 modellerinde benzer ve istenen seviyede bir düşüş yaşanmıştır. Bu durum, her iki tasarım bileşeninde de eşdeğer bir iyileşme gösterebildiği anlamına gelir.



(a)

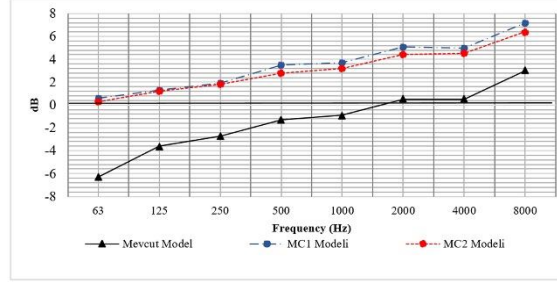


(b)

Şekil 13. Amfide dinleyicilerin olduğu durumda MC1(a) ve MC2 (b) için 500 Hz'de T20 değerinin hacim içi dağılımı

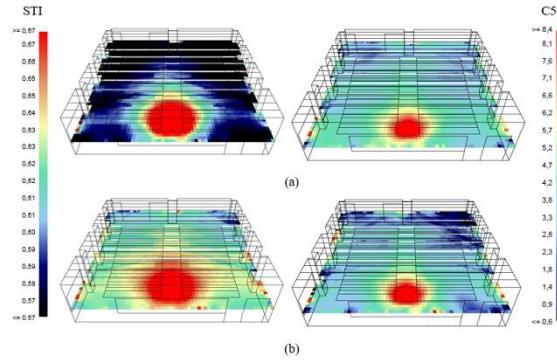
Şekil 13, MC1 ve MC2 modellerinin 500 Hz'de hacim içi T20 değeri dağılımını göstermektedir. Dağılım incelenirken yapılan değişikliklerin sonuçlara olan etkilerini en hassas ve detaylı şekilde görebilmek için sadece dinleyici alanı üzerinde değil tüm hacim üzerinde ve en detaylı ızgara boyutuyla analiz alınmıştır. MC1'in hacim içi dağılımı 0,66-0,72 s'ye karşılık gelen mavi tonlarda gösterilmiştir. MC2 modeli dağılımları ise 0,69-0,88 s aralığındadır, ancak değerler MC1 kadar düzgün dağılmamıştır. MC1 modelinin STI dağılımının alıcı noktalardaki değerleri dinleyicisi olmadığında 0,58; 0,57; 0,58 ve 0,55 ve amfide dinleyicilerin olduğu durumda sırasıyla 0,60; 0,58; 0,61 ve 0,57 olarak hesaplanmıştır. Bu, konuşmacı konumuna yakın alıcıların geri alana kıyasla biraz daha yüksek değerlere erişebildikleri, ancak bu farkın çok az olduğu anlamına gelmektedir. Benzer şekilde, MC2 modelinin STI dağılımları

da dinleyicisi olmadığında 0,58; 0,57; 0,58 ve 0,55 ve amfide dinleyicilerin olduğu durumda 0,60; 0,57; 0,60 ve 0,56 şeklindedir, özetle her ikisi de 0,50 STI değeri olan mevcut koşullardan daha yüksek seviyede hesaplanmıştır. MC1 ve MC2 uygulamalarının ortalama STI değerleri, iyi tanımının sınırında olan 0,59 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. Amfide dinleyicilerin olduğu durumda MC1 ve MC2 için C50 sonuçları

Konuşma netlikleri (C50 değerleri) karşılaştırıldığında, mevcut durumda amfinin dinleyicisiyle beraber benzetim modeli yapıldığında C50 değeri 500 Hz'de -1,3 dB; 1000 Hz'de -0,9 dB'dir. Duvar malzemesinin değiştirildiği MC1 modelinde dinleyici olmadığında hem 500 Hz hem 1000 Hz'de +2,2 dB; dinleyicilerin olduğu durumda 500 Hz ve 1000 Hz'de; +3,5 dB ve +3,7 dB'dir (Şekil 14). MC2'de yapılan ikinci malzemenin seçimi, tavana yutucu panellerin yerleştirilmesini içerir. Buna göre, konuşmacı hizasındaki tavan yüzeyinde, mevcut durumdaki yansıtıcı karakterli akustik tavan paneli korunmuş, tavanın geri kalan kısmı yutucu karakterli akustik tavan paneli Malzeme 3 ile kaplanmıştır. MC2 sonuçlarında da C50 ortalamalarında mevcut duruma kıyasla benzer artış görülmüştür.



Şekil 15. Amfi doluyken, MC1 (a) ve MC2 (b) için; solda STI değerleri, sağda 500 Hz'de C50 değerleri

Şekil 15'te, önerilen malzeme kombinasyon modellerinde STI ve C50 değerlerinin amfi doluyken hacim içindeki dağılımını sunmaktadır. MC1 ve MC2 modeli için konuşmacının olduğu bölgede C50 değeri yaklaşık +8,1 dB civarında çıkmış ancak MC1 modelinde dinleyici bölgesinin arka bölümlerindeki C50 değeri +4,7 dB civarında iken MC2 modelinde bu değer +3,3 dB değerine kadar düşmüştür. Genel analiz sonuçlarına baktığımızda MC1'in ortalama C50 değeri, dinleyici olmadığında +2,2 dB ve amfide



dinleyicilerin olduğu durumda +3,5 dB'dir. MC2 modelinde ise C50 ortalaması dinleyici olmadığında +1,3 dB ve amfide dinleyicilerin olduğu durumda ise +2,8 dB'dir.

Modellerin ikisi de dinleyici olmadığında 500 Hz ve 2000 Hz'den ve amfide dinleyicilerin olduğu durumda 250 Hz'den başlayarak önerilen değerlere ulaşmaktadır. Ancak MC1 ve MC2 ile karşılaştırıldığında, MC1'de daha yüksek bir sonuç elde edilmektedir. Hacim içi dağılımlarda MC1'in C50 dağılımı konuşmacıya yakın ve +8 dB civarında olan kırmızı işaretli alan hariç genel olarak düzgün ve +4,6 dB civarındadır. Yani hem MC1 hem de MC2 pozitif değerlere ulaşır ve hacim içi dağılımları mevcut modelden daha iyi durumdadır.

## 8. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi'nden seçilen bir amfi üzerinden, sadece tavan ya da sadece duvar malzemelerinin değiştirilmesi ile amfinin akustik konforunun artırılması hedeflenmiştir. Yapılan önerilerde farklı ses yutma katsayılarına sahip malzemelerin literatürde önerilen standartlara göre amfi içine yerleşimi yapılmış, oluşturulan alternatifler mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan her iki öneride de konuşma iletim indeksi mevcuttaki 0,5 değerinden her iki öneriyle de 0,59 değerine yükselmiştir. STI değerindeki bu değişim, algılanabilen en ufak değişim (JND) değerinin literatürde 0,03 olarak kabul edildiği göz önünde tutulduğunda konuşma anlaşılabilirliğinde önemli bir iyileşme sağlandığını gösterir. C50 değerlerinin mevcut durumun dolu haliye benzetiminde 500 Hz'de -1,3 dB'den MC1 modelinde +3,5 dB ve MC2 modelinde +2,8 dB artmıştır. Algılanabilen en ufak değişim değerinin 1,1 dB olduğu C50 kriteri için, 3 dB artışın günlük koşullarda herkes tarafından algılanabilir bir iyileşmeyi gösterdiği belirlenmiştir. Bu açıdan sonuçlar incelendiğinde, C50 kriterinde elde edilen 4 dB üzerindeki iyileşmelerin konuşma netliğinde önemli bir olumlu değişimi sağlayacağı anlaşılmaktadır. Hem MC1 hem de MC2 modeli, sadece bir yüzeyde yapılan malzeme değişimleriyle bile dinleyici alanında konuşma anlaşılabilirliğinde algılanabilir düzeyde iyileşme sağlanabileceğini göstermektedir.

Yansıma süresi, 393,4 m3 'lük bu hacim için literatüre göre 0,7 s olmalıdır. Mevcut durumda düşük ve orta frekanslarda yüksek olan yansıma süreleri kabul edilebilir aralığa düşürülebilmüş ve ortalama yansıma süresi %39,6 kısaltılarak 0,67 s'ye düşürülmüştür. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, uygulamada kısıtlı müdahaleler ile mekanlarda iyileştirmeye gidilmesi için örnek teşkil edecek bir yöntem benimsenmiştir. Bu sebeple herhangi bir cephe ya da yapı elemanında değişikliğe gidilmemiştir. Önerilen her iki yöntemin de modüler ve kolay monte edilebilir nitelikte değerlendirilmesine özen gösterilmiştir. Bu şekilde mevcut durumda tadilat süresi uzayabilecek mekânlara pratik ve etkili bir çözüm yolu üretilerek tadilatlardan sorumlu olanlara yol gösterilmeye çalışılmıştır. İyileştirme

çalışmalarında mümkün olduğunca az müdahale ile elde edilebilecek sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## Kaynakça

- Barnett, P. W. and Knight, R. D. (1995). "The Common Intelligibility Scale." In *I.O.A.*
- Barron, M. (2010). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. Vol. 2nd ed. London: Spon Press.
- Bobran, H. W. (1973). *Handbuch Der Bauphysik*. Bertelsmann-Fachverlag.
- Bradley, J.S., R. Reich, and S.G. Norcross. (1999). A Just noticeable difference in C50 for speech. *Applied Acoustics* 58 (2): 99–108. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(98\)00075-9](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(98)00075-9).
- Catalina, T. and Virgone, J. (2012). Glazing area impact on the visual and acoustic comfort: application on schools' environment. *Mathematical Modeling in Civil Engineering*, no. 3 (September): 5–12.
- Cavanaugh, W. J., Tocci, G. C., and Wilkes, J. A. (2009). *Architectural acoustics: Principles and practice*. John Wiley & Sons.
- Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği. (2022). Resmi Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/11/20221130-1.htm>.
- Daniels, R. and Bodkin, A. (2015). BB93 - Acoustic Design of Schools: Performance Standards.
- Eggenschwiler, K. (2005). Lecture Halls -Room Acoustics and Sound Reinforcement. In *Forum Acusticum*. Budapest.
- Ermann, M. A. (2015). *Architectural Acoustics Illustrated*. Somerset : John Wiley & Sons, Incorporated.
- Harris, C. M. (1991). *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*. Newyork: McGraw-Hill.
- Harvie-Clark, J., Wallace, D., Dobinson, N., and Larrieu, F. (2014). Reverberation time, strength & clarity in school halls: Measurements and modelling. *Proc IOA*, 36(Pt 3).
- Healthy Schools Network. (2007). *Guide to School Design Healthy High Performance Schools*.
- Karaman, Ö. Y. ve Üçkaya, N. B. (2015). Eğitim Mekanlarında Akustik Konfor: Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Örneği. *Megaron*, 10(4).<https://doi.org/10.5505/MEGARON.2015.58076>.
- Kristensen, J. (1984). Sound Absorption Coefficients - Measurement, Evaluation, Application -Note No:45. Horsholm.
- Kurtay, C., Eryıldız, D. I., ve HarputluguL, G. U. (2008). Mimar Kemaleddin Salonu akustik performans değerlendirmesi ve performans iyileştirme önerileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3). <https://doi.org/10.17341/GUMMFD.30542>.
- MacKenzie, D, and Airey, S. (1999). *Classroom Acoustics. A Research Project. Summery Report*. Edinburg.
- Madbouly, A. I., Noaman, A. Y., Ragab, A. H. M., Khedra, A. M., and Fayoumi, A. G. (2016). Assessment model of classroom acoustics criteria for enhancing speech intelligibility and learning quality. *Applied Acoustics*, 114, 147-158. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2016.07.018>.

- Mehta, M., James J. and Jorge R. (1999). *Architectural Acoustics : Principles and Design*. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall, c1999.
- Moore, J. E. (1978). *Design for Good Acoustics and Noise Control*. Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-16035-8>.
- Mydlarz, C. A., Conetta, R., Connolly, D., Cox, T. J., Dockrell, J. E., and Shield, B. M. (2013). Comparison of environmental and acoustic factors in occupied school classrooms for 11–16 year old students. *Building and Environment*, 60, 265-271.
- Nelson, P. B. and Soli, S. (2000). Acoustical barriers to learning: Children at risk in every classroom. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31(4), 356-361.
- Özçevik, A. (2005). *Mimari tasarım stüdyolarında işitsel konfor gereksinimleri ve bir örnek*. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Paradis, R. (2016). *Acoustic Comfort*. WBDG - National Institute of Building Sciences.
- Puglisi, G. E., Bolognesi, F., Shtrepi, L., Warzybok, A., Kollmeier, B., & Astolfi, A. (2017). Optimal classroom acoustic design with sound absorption and diffusion for the enhancement of speech intelligibility. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(5), 3456-3457.
- Roy, K. P. (2011). *Acoustics Codes, Standards, and Design Guidelines: A Primer Track*. Codes and Standards in the HVAC&R Industry. In *ASHRAE Winter Conference*.
- TSE. (2009). "ISO 3382-1."