



## Effects of sound absorption materials on reverberation time according to their positions in the square plan and high ceiling rooms

Cüneyt Kurtay<sup>1</sup> , Gülsu Ulukavak Harputlugi<sup>2</sup> , Muammer Yaman<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Architecture, Faculty of Architecture, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

<sup>2</sup>Department of Architecture, Faculty of Architecture, Çankaya University, Ankara, 06530, Turkey

### Highlights:

- Improvement of reverberation time in rooms with speech action.
- The effect of materials used in walls and ceiling on the reverberation time in existing rooms.
- The effect of materials on reverberation time according to their positions.

### Keywords:

- Acoustic performance
- Room acoustics
- Speech intelligibility
- Reverberation time
- Surface absorptions

### Article Info:

Research Article  
Received: 05.03.2020  
Accepted: 06.04.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.698997

### Correspondence:

Author: Muammer Yaman  
e-mail:  
muammeryaman@gazi.edu.tr  
phone: +90 545 357 4060

### Graphical/Tabular Abstract

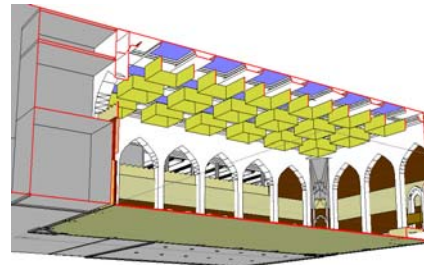


Figure A. Position of the panels used for model M6 (left), comparison of reverberation times of developed models (right)

### Purpose:

It is aimed to investigate the effect of surface absorption on the reverberation time in square plan, flat floor high ceiling rooms with speech action.

### Theory and Methods:

There are different effects on the reverberation time according to the location of the finishing materials used on the walls and ceiling for the halls with speech action. As the field study, an existing hall with square plan, flat floor and high ceiling with speech action has been selected and reverberation time has been determined primarily by in-situ measurements. Alternative models created to control the reverberation time have been investigated by computer simulation programs (ECOTECH v.5.20). The alternative models have been evaluated using the comparative analysis method depending on the material positions.

### Results:

When the alternative models have been examined, the existing situation reverberation time has been measured as 6,89 s for 500 Hz (medium frequency). The required reverberation time in the room has been determined as 1.10 s. Model M6, which gives the appropriate reverberation time, has been determined. With the alternative models, the surface absorptions within the room have been evaluated depending on their positions (walls, ceiling and floor). Achievement ratings have been determined.

### Conclusion:

The relationship between reverberation time and surface absorption positions have been revealed in the halls with square plan, flat floors and high volume (min. 6 m). The effect of the finishing materials used in the walls on the reverberation time is more than the finishing materials used in the ceiling. Positioning the receivers/listeners within the room greatly effects on reverberation time.



## Kare planlı yüksek tavanlı hacimlerde ses yutucu malzemelerin konumlarına göre reverberasyon süresine etkisi

Cüneyt Kurtay<sup>1</sup> , Gülsu Ulukavak Harputlugil<sup>2</sup> , Muammer Yaman<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06570 Maltepe, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Çankaya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 06530 Çankaya, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Konuşma eylemi bulunan salonlarda reverberasyon süresinin düzenlenmesi
- Mevcut salonlarda duvarlarda ve tavanda kullanılan malzemelerin reverberasyon süresine etkisi
- Konumlarına göre ses yutucu malzemelerin reverberasyon süresine etkisi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 05.03.2020  
Kabul: 06.04.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.698997

### Anahtar Kelimeler:

Akustik performans,  
hacim akustiği,  
konuşmanın anlaşılabilirliği,  
reverberasyon süresi,  
yüzey yutuculukları

### ÖZ

Konuşma eyleminin bulunduğu hacimlerde, akustik performansın oluşturulmasında öznel ve nesnel hacim akustik parametreleri ele alınmalıdır. Bu çalışmada, mevcut durumda bulunan Irak-Necef İslam Üniversitesi Alawiya Konferans Salonu'nun konuşma eylemine yönelik reverberasyon süresi üzerinden akustik performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, hacim akustiği çerçevesinde öznel ve nesnel parametreleri etkileyen reverberasyon süresinin kontrolü üzerinde durulmuş, hacim içi reverberasyon süresi ve hacmin yüzey yutuculuklarının ilişkisi incelenmiştir. Mevcut durumda yerinde ölçümler yapılarak reverberasyon süresi tespit edilmiştir. Mevcut salonun reverberasyon süresinin kontrol edilmesine yönelik; ses yutuculuk katsayılarına göre seçilen malzemeler, farklı konumlandırılarak alternatif modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan alternatif modellerin reverberasyon süreleri, akustik analiz için kullanılan ECOTECT v.5.20 bilgisayar simülasyon programı aracılığıyla belirlenmiş ve ışın izleme yöntemi ile geometrik akustik analizleri yapılmıştır. Modellerin karşılaştırılması ile hacim içi konuşma eylemine yönelik uygun reverberasyon süresinin elde edilmesinde yüzey yutuculuklarının etkisi analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı (en az 6 m) salonlarda konuşma eylemine yönelik duvar, tavan ve döşeme bitiş malzemeleri konumlarının ve yüzey yutuculuklarının reverberasyon süresine etkileri değerlendirilmiştir.

## Effects of sound absorption materials on reverberation time according to their positions in the square plan and high ceiling rooms

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

- Improvement of reverberation time in rooms with speech action
- The effect of materials used in walls and ceiling on the reverberation time in existing rooms
- The effect of sound absorption materials on reverberation time according to their positions

### Article Info

Research Article  
Received: 05.03.2020  
Accepted: 06.04.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.698997

### Keywords:

Acoustic performance, room  
acoustics, speech  
intelligibility, reverberation  
time, surface absorptions

### ABSTRACT

In rooms with speech action, subjective and objective room acoustics parameters should be considered in the creation of acoustic performance. In this study, an evaluation has been made over the reverberation time for the speech action of the existing Iraq-Najaf Islamic University Alawiya Conference Hall. Within the scope of the study, the control of the reverberation time affecting the subjective and objective room acoustics parameters has been examined, the relationship between the reverberation time and the surface absorptions of the room have been examined. Reverberation time on existing situation was determined by making in situ measurements. In order to control the reverberation time of the existing hall, the materials selected according to the sound absorption coefficients have been positioned differently and alternative models have been developed. The reverberation times of the alternative models were determined using the ECOTECT v.5.20 computer simulation program used for acoustic analysis, and their geometric acoustics analysis was performed using the ray tracing method. By comparing the models, the surface absorptions have been analyzed to obtain the appropriate reverberation time in room for speech action. As a result of the study, the effects of the use of walls, ceiling and floor finishing materials and surface absorptions on the reverberation time have been evaluated within the scope of improvement for speech action in the halls with square plan, flat floor and high ceiling (min 6 m).

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : kurtay@gazi.edu.tr, gharputlugil@cankaya.edu.tr,

\*muammeryaman@gazi.edu.tr / Tel: +90 545 357 4060

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hacim akustiği çerçevesinde kullanılacak olan mekânın işlevi, konuşmanın anlaşılabilirliği ve konuşmanın etkili olabilmesi için önemli bir tasarım kriteri olmaktadır [1]. Bu çerçevede toplantı salonu, konferans salonu ve derslik amacıyla kullanılacak olan mekânlarda, konuşma eylemine yönelik optimum öznel ve nesnel hacim akustik parametreleri belirlenmelidir [2]. Parametreler içerisinde önemli bir yer tutan ve diğer parametreleri etkileyen reverberasyon süresinin uygun değerlerle kurgulanması, diğer hacim akustik parametrelerinin (erken sönümlenme süresi, ses basınç seviyeleri farkı, konuşmanın iletim indeksi, konuşmanın belirginliği, netlik vd.) uygun değerlerde oluşturulmasında etkili olmaktadır [3]. Özellikle konuşma eylemi bulunan salonlarda konuşmanın anlaşılabilirliğini sağlamak için reverberasyon süresinin kontrolü önemli bir hacim akustiği parametresi olarak değerlendirilmektedir [4]. Eldakdoky ve Elkhateb tarafından yapılmış olan çalışmada konuşma eylemi amacıyla tasarlanan mevcut salonlarda konuşmanın anlaşılabilirliği; reverberasyon süresi ve iç mekân yüzey bileşenleri (tavan ve duvarlar) üzerinden araştırılmış ve incelenmiştir [5]. Kapalı hacim (yayınık ortam) içerisinde gerçekleştirilen işitsel performansın etkili ve anlaşılabilir olabilmesi için binalarda gerekli akustik performans parametrelerinin sağlanması önemlidir [6].

Reverberasyon süresi, mekânın geometrik hacmi ve hacim içerisinde kullanılan bitiş malzemelerinin ses yutuculuk katsayıları ve kullanım yüzey alanları ile belirlenmektedir. Konferans salonlarında konuşmanın anlaşılabilir olabilmesi için istenilen reverberasyon süresinin, müzik etkinliklerini bulunduran salonlara göre daha kısa olması gerekmektedir [7]. Reverberasyon süresi (Çınlama Süresi, Yansıma Süresi, Reverberation Time, RT,  $T_{60}$ ), kapalı bir hacim içerisinde ses kaynağı kapatıldıktan sonra hacimdeki ses basınç seviyesinin 60 dB azalması için geçen süre, olarak tanımlanmaktadır.

Wallace C. Sabine (1868-1919), hacim içi akustik performansın kontrolünde reverberasyon süresinin düzenlenmesini tespit etmiş (Eş. 1) ve hacim içi işitsel etkinliklerin kullanıcılar üzerindeki etkisini güçlendirmeye yönelik akustik değerlendirmeler yapmıştır [8]. Geçmişten günümüze kadar olan süreçte, hacim içi akustik performansın değerlendirilmesinde sadece reverberasyon süresinin kontrolünün yeterli olmadığı belirlenmiştir. Alıcı konumları, erken yanal yansımalar, sesin hacim içerisindeki homojen yayılımı, arka plan gürültüsü gibi etmenler farklı hacim akustik parametrelerinin kontrol edilmesini gerekli kılmıştır. Ayrıca tarihsel süreçte reverberasyon süresinin belirlenmesine yönelik farklı hesaplamalar, yaklaşımlar ve uygulama alanları geliştirilmiştir [9, 10].

Sabine eşitliğine göre reverberasyon süresi;(Eş. 1)

$$T_{60} = 0.161 \times V / A^* \quad (1)$$

$$\begin{aligned} *T_{60} &= \text{Reverberasyon süresi (sn)}, \\ V &= \text{Odanın hacmi (m}^3\text{)}, \\ A &= \text{Hacmin toplam yutuculuğu (m}^2\text{sabin)}, \\ 0.161 &= \text{Ampirik sabit (sn/m) (Eşitlik, metrik birim sisteminde aktarılmıştır.)} \end{aligned}$$

Carl F. Eyring (1889-1951), kapalı hacim içerisindeki yutuculuk yükseldikçe Sabine eşitliği doğrulanabilirliğinin azaldığını tespit etmiştir [11]. Özellikle düşük reverberasyon süresine sahip kapalı hacimlerde (dead rooms) uygulanabilecek farklı bir reverberasyon süresi yaklaşımının gerekliliği üzerinde durmuştur (Eş. 2). Sabine'nin yansıma katsayısına logaritmik bir bağımlılık getiren benzer hesaplama tahmin formülünü geliştirmiştir [12]. Eşitlik, yansıma sayısı için bir binom dağılımını dikkate almaktadır. Norris ve Eyring tarafından geliştirilen Norris-Eyring eşitliği, 4000 Hz altındaki frekanslarda ortalama yutuculuk katsayısının 0,2 değerinden büyük olduğu koşullar altında uygulanmaktadır. Sabine değerleri ile ölçülen ses yutuculuk katsayıları ile Norris-Eyring eşitliği kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Bunun nedeni bazen malzemelerde hesaplamalardan kaynaklı 1'den büyük bir ses yutuculuk katsayısı elde edilmesidir. Ancak, Norris-Eyring eşitliğinde kullanılacak ses yutuculuk katsayıları 1'den küçük olmalıdır [2]. Ayrıca Norris-Eyring eşitliğinin yaklaşık aynı ses yutuculuk değerlerine sahip kapalı hacimlerde kullanılması ve uygulanması gerekmektedir.

Norris-Eyring eşitliğine göre reverberasyon süresi;(Eş. 2)

$$T_{60} = 0.161 \times V / -S_T \ln(1 - \bar{a})^* \quad (2)$$

$$\begin{aligned} *T_{60} &= \text{Reverberasyon süresi (sn)}, \\ V &= \text{Odanın hacmi (m}^3\text{)}, \\ S_T &= \text{Hacmin toplam yüzey alanı (m}^2\text{)}, \\ \bar{a} &= \text{yüzey yutuculuk katsayısı (sabin)}, \\ 0.161 &= \text{Ampirik sabit (sn/m) (Eşitlik, metrik birim sisteminde aktarılmıştır.)} \end{aligned}$$

G. Millington ve W.J. Sette tarafından geliştirilen Millington-Sette eşitliği, Norris-Eyring eşitliğindeki gibi ses yutuculuğu 0,2'yi aştığı durumlarda kullanılmaktadır (Eş. 3) [13]. Millington-Sette eşitliğinde bulunan ses yutuculuk toplamları logaritmik tabanlı yutuculuklarla ilişkilendirilmiştir [14]. Ancak hacim içinde kullanılan malzemelerden herhangi bir bölümünün ses yutuculuk katsayısının 1 olması halinde hesaplanan değerler çok fazla büyümekte ve sonsuza gitmektedir. Bu durum, reverberasyon süresini 0 olarak hesaplamaktadır. Bu nedenle hacim akustiği kapsamında, Millington-Sette eşitliği çok sık kullanılmamaktadır [15].

Millington-Sette eşitliğine göre reverberasyon süresi;(Eş. 3)

$$T_{60} = 0.161 \times V / \sum S_i \ln(1 - a_i)^* \quad (3)$$

$$\begin{aligned} *T_{60} &= \text{Reverberasyon süresi (sn)}, \\ V &= \text{Odanın hacmi (m}^3\text{)}, \end{aligned}$$

- $S_1$  = Malzeme yüzey alanı ( $m^2$ ),  
 $a_1$  = yüzey yutuculuk eksponenti,  
 0.161 = Ampirik sabit (sn/m) (Eşitlik, metrik birim sisteminde aktarılmıştır.)

Sabine, Norris-Eyring ve Millington-Sette eşitliklerinden farklı olarak kullanılan Hopkins-Striker ve Fitzroy eşitlikleri de bulunmaktadır. Ancak kullanımlarına yönelik çeşitli gereklilikler/ön koşullar bulundurmaları açısından sadece deneysel ve teorik alanlarda kullanımları yaygınlaşmıştır. Hacim akustiği kapsamında özellikle Sabine eşitliği tercih edilmekte ve kullanılmaktadır [16]. Sabine değerleri, hacim içinde kullanılan malzemelerin yutuculuk katsayılarının tespit edilmesinde ve uygulanmasında, hacim akustiği ve gürültü denetimi alanlarında büyük oranda tercih edilmekte ve kullanılmaktadır [17]. Çalışma kapsamında, Sabine eşitliği ile hesaplanan reverberasyon süresi üzerinden değerlendirmeler yapılmış ve çıkarımlar oluşturulmuştur.

Mevcut salonun hacim akustiği incelemeleri kapsamında, hacim akustik parametreleri, mevcut akustik performansın iyileştirilmesi kapsamında kullanılmıştır. Çalışma içeriği, malzeme konumlandırılması ve yüzey yutuculuklarının, hacim içi reverberasyon süresi üzerindeki etkilerinin araştırılması olarak sınırlandırılmıştır. Çalışma, hacim içi akustik parametreler çerçevesinde kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı (en az 6 m) salonlarda reverberasyon süresinin kontrol edilmesi üzerine odaklanmıştır. Çalışma kapsamında:

- Yüksek ses yutuculuk katsayısına sahip (orta ve yüksek frekanslarda) aynı malzeme kullanılarak hacim içi konumlandırılmasının reverberasyon süresine etkisi incelenmiştir.
- Uygulanabilirlik açısından yapısal bileşenlere en az müdahale edilmesi öncelikli bulunmuş, mevcut duruma doğrudan uygulanabilecek malzeme kullanımları tercih edilmiştir.
- Alternatif modellerde salonun kullanım amacı (konuşma eylemi) gözetilmiş, hacim içerisinde dinleyicilerin konumu göz önünde bulundurularak incelemeler yapılmıştır.
- İncelemelerde insan kulağının hassas olduğu 500 Hz ve 1000 Hz frekanslara (orta frekanslar) öncelik verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Mevcut Irak-Necfe İslam Üniversitesi Alawiya Konferans Salonu hacim içinde konuşmanın anlaşılabilirliği üzerinde durulmuştur. Salonda hacim içi reverberasyon süresi 46 farklı noktada yerinde ölçümler yapılarak tespit edilmiştir. Akustik ölçümlerde, Brüel & Kjør marka 4292-L tip 12 yönlü ses kaynağı (omni-directional), 2270 el tipi analizörü ve 2734-A güç amplifikatörü kullanılmıştır. Salonda bulunan 4 kişi tarafından ölçümler alınmıştır. Mevcut durum analizi için yerinde yapılan ölçümler çerçevesinde salon, bilgisayar simülasyon programına kalibre edilerek aktarılmıştır. Akustik modelin kalibre edilmesinde, salon hacmi üç boyutlu gerçeğe uygun olacak şekilde modellenmiş ve akustik ölçüm sonuçlarından alınan reverberasyon süresi

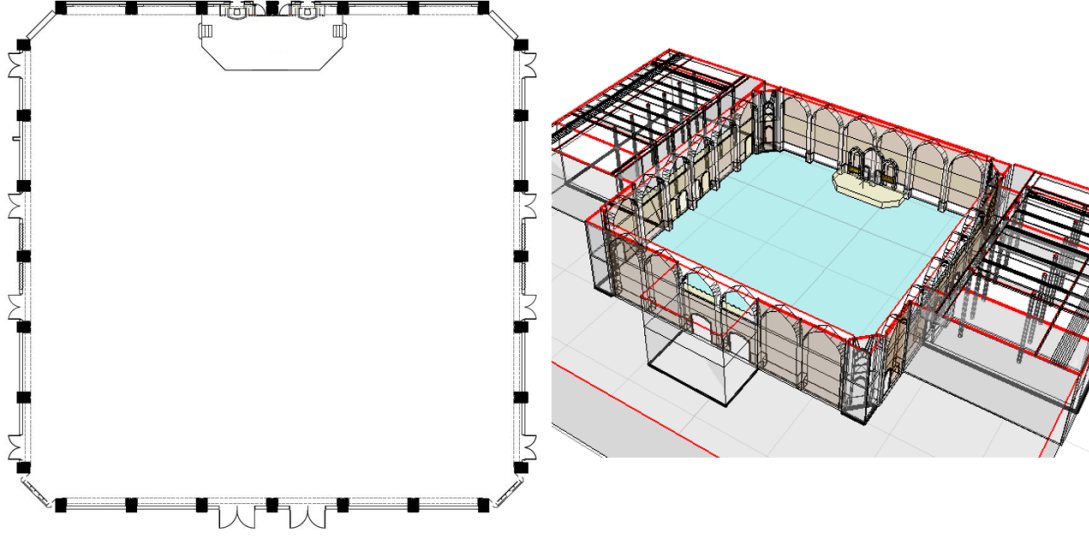
esas alınarak iç mekân yüzey malzemeleri (ses yutuculuk katsayıları aracılığı ile) tanımlanmıştır. Hacim içi reverberasyon süresinin istenilen değerler üstünde tespit edilmesi, mevcut durumdan farklı akustik çözüm önerilerini gerekli kılmıştır. Mevcut durum reverberasyon süresinin kontrol edilmesi ve malzeme konumlandırılmasına yönelik analizler, ECOTECT v.5.20 simülasyon programı aracılığıyla yapılmıştır [18]. Simülasyon programı aracılığıyla malzeme kullanımına ve malzeme konumlandırılmasına yönelik modeller (6 adet) aracılığı ile çözümler geliştirilmiştir. Oluşturulan alternatif modeller çerçevesinde malzemelerin farklı konumlandırılması, yüzey yutuculukları ve reverberasyon süresi incelenmiş, referans değere ulaşma yüzdeleri ortaya konulmuştur.

## 3. IRAK-NECFE İSLAM ÜNİVERSİTESİ ALAWİYA KONFERANS SALONU MEVCUT DURUM REVERBERASYON SÜRESİ VE DEĞERLENDİRMESİ (REVERBERATION TIME AND EVALUATION FOR THE EXISTING SITUATION OF IRAQ-NAJAF ISLAMIC UNIVERSITY ALAWİYA CONFERENCE HALL)

Irak-Necfe İslam Üniversitesi Alawiya Konferans Salonu konuşma eyleminin gerçekleşeceği kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı hacim olarak değerlendirilmektedir. Mevcut durumda salonun içerisinde zeminden 1 metre yükseltilmiş sahne yer almaktadır. Hacim içerisinde düşey taşıyıcı bulunmamaktadır. Mekânı oluşturan duvarlarda 10 tane çift kapılı giriş bulunmaktadır. Mekânın toplam hacmi 25,100  $m^3$ 'tür. Hacim içerisinde duvarlar ve tavan düzleminde bitiş malzemesi olarak alçı sıva kullanılmış ve duvarlarda dekoratif kemerler yapılmıştır. Zeminde ise bitiş malzemesi olarak mermer bulunmaktadır (Şekil 1). Mevcut durumda hacim içerisinde bitiş malzemeleri, sesin yüksek oranda yansıtılmasına neden olmaktadır. Sesin hacim içerisinde yüksek oranda yansıtılması ve hacmin büyük olması, reverberasyon süresini artırmaktadır. Bu durum ise konuşmanın anlaşılabilirliğini ve dinleyici üzerindeki etkisini azaltmaktadır. Yansıtıcı malzemeler, en az müdahale yapılarak (uygulanabilirlik açısından) yutucu malzemeler ile yer değiştirmeli, hacim genelinde optimum yansıma ve yutulma dengesi sağlanmalıdır.

İncelenecek hacim için istenilen reverberasyon süresinin analizi 500 Hz (orta frekanslar) üzerinden yapılmıştır. Mevcut salon gereksinimi ve çoğunlukla salon kullanımında gerçekleştirilecek konuşma eylemi için gerekli reverberasyon süresinin 1,10 sn. seviyelerinde kalması çerçevesinde yapılan değerlendirme, Şekil 2'de verilen grafik üzerinden elde edilmiştir.

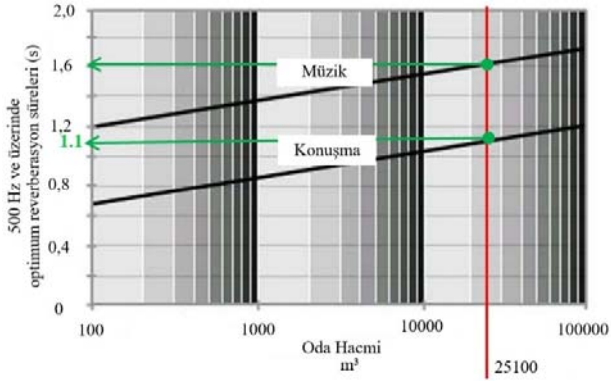
Çalışma kapsamında öncelikle Irak-Necfe İslam Üniversitesi Alawiya Konferans Salonu mevcut durum analizleri tespit edilmiştir. Hacim içerisinde 05.08.2019 tarihinde 46 farklı noktada yerinde akustik ölçümler yapılmıştır. Homojen ölçüm dağılımını elde etmek amacıyla konferans salonu plan düzleminde eşit gridal bölünmelerle (7x7) alıcı noktaları kurgulanmıştır. Ölçümlerde 12 yönlü ses kaynağı, D1 noktasında sahne döşemesinden 1,70 metre yüksekliğinde



**Şekil 1.** Irak-Necef İslam Üniversitesi Alawiya Konferans Salonu planı ve 3B hacim modeli  
(Iraq-Najaf Islamic University Alawiya Conference Hall plan and 3D room model)

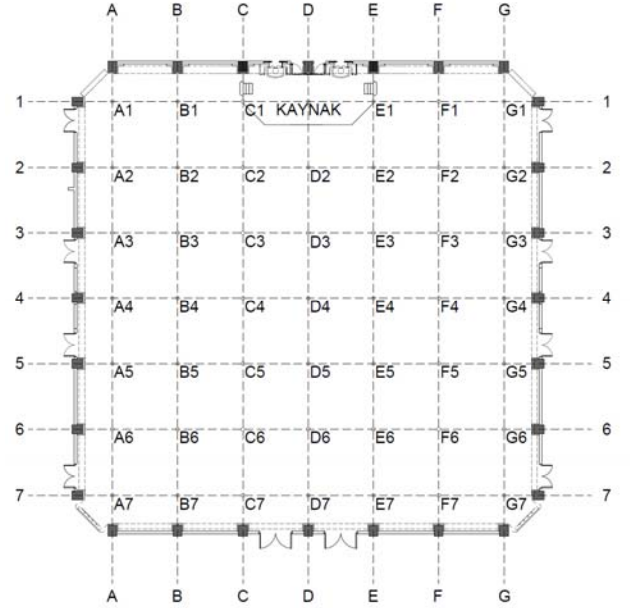
konumlandırılmıştır. Ölçüm düzeneğinde belirlenen C1 ve E1 noktalarında alıcı bulunamayacağı için akustik ölçümler bu noktalarda alınmamıştır (Şekil 3).

uygun olacak şekilde simülasyon programına kalibre edilerek aktarılmıştır.



**Şekil 2.** Salon hacmi ile 500 Hz ve üzerindeki optimum reverberasyon süresi arasındaki ilişki  
(Relationship between hall volume and optimum reverberation time of 500 Hz and over) [19]

Konferans salonunda yerinde yapılan akustik ölçümler sonucunda, frekansa bağlı alıcı konumlarının reverberasyon süreleri ve ortalama reverberasyon süreleri belirlenmiştir. Bütün salon hacim içerisinde reverberasyon süresi, alıcı noktalara göre 500 Hz’te %7,4 ve 1000 Hz’te %7,3 (en yüksek ve en düşük değerlerinde) farklılık göstermektedir. Ölçümler sonucunda, alıcı konumlarında reverberasyon süresinin çok fazla değişiklik göstermediği; hacim genelinde homojen dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışma kapsamında salon hacmi içerisinde ölçülen ortalama reverberasyon süresi ele alınarak araştırmalar yapılmıştır. Mevcut durum ortalama reverberasyon süresi, 500 Hz’te 6,89 sn. ve 1000 Hz’te 6,98 sn. olarak ölçülmüştür (Tablo 1). Mevcut durum, yerinde ölçümler ile elde edilen sonuçlara



**Şekil 3.** Yerinde ölçüm düzeneği; kaynak ve alıcı noktaları  
(In situ measurement setup; source and receivers points)

Bilgisayar simülasyonları kapsamında oluşturulan alternatif modellerin geometrik akustik analizinde, 12 yansımali 20.000 ışın kullanılmıştır. Ses kaynağından 20.000 ışın üretimi ve üretilen ışının 12 yansımaya yapabildiği simülasyon programında hacim akustiği için kullanılan kabul gören yaklaşımlar olarak tercih edilmiştir. Konferans salonunun mevcut durumunda reverberasyon süresinin düşürülmesine yönelik akustik iyileştirmelerin yapılması gerekli bulunmuştur. İyileştirme kapsamında malzeme

konumlandırılmasının reverberasyon süresine etkisi araştırılmıştır.

#### 4. IRAK-NECEF İSLAM ÜNİVERSİTESİ ALAWİYA KONFERANS SALONU REVERBERASYON SÜRESİNE ETKİLEYEN ALTERNATİF MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF ALTERNATIVE MODELS EFFECTING THE REVERBERATION TIME OF IRAQ-NAJAF ISLAMIC UNIVERSITY ALAWİYA CONFERENCE HALL)

Mevcut salon içerisinde reverberasyon süresinin kontrol edilmesine yönelik önlemlerin alınması gerekli görülmüştür. Bu doğrultuda, mevcut hacim iç yüzeylerinde bulunan bitiş malzemelerinin ses yutuculuk katsayıları ve kullanılacak olan yeni malzemelerin ses yutuculuk katsayıları ve konumlandırmaları ele alınmıştır. Reverberasyon süresinin kontrol edilmesi kapsamında mevcut duruma göre daha yüksek ses yutuculuk katsayısına sahip malzeme tercih edilmiş ve salon yüzeylerinde farklı konularına göre reverberasyon süresine etkisi incelenmiştir. Hacim içerisinde

kullanılan malzemelerin frekansa bağlı ses yutuculuk katsayıları Tablo 2’de verilmiştir.

Malzemelerin hacim içinde farklı kullanım konuları ile alternatif modeller oluşturulmuştur. Modeller kapsamında tespit edilen reverberasyon süreleri Tablo 2’de belirtilmiş, Şekil 4-9 aralığında araştırma kapsamında incelenen modellerin görselleri aktarılmıştır. Oluşturulan modellerde hacim içi reverberasyon süresinin kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Modeller, bilgisayar simülasyon programı aracılığıyla kontrol edilmiş ve 500 Hz ile 1000 Hz frekanslarda reverberasyon süreleri Sabine, Norris-Eyring ve Millington-Sette eşitliklerine bağlı olarak tespit edilmiştir. Sabine eşitliğine bağlı belirlenen reverberasyon sürelerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Farklı alternatif modeller çerçevesinde malzeme konumlandırmaları (tavan-duvardöşeme) ele alınmış ve hacim içi reverberasyon süresine etkileri incelenmiştir. Alternatif modeller içerisinde en uygun reverberasyon süresinin M6 no’lu modelde elde edildiği belirlenmiştir (Tablo 3). M6 no’lu model için hacim

**Tablo 1.** Mevcut durum reverberasyon süresi ölçüm sonuçları (Reverberation time measurement results of existing situation)

Frekans Analizi (Hz)																
	125	250	500	1000	2000	4000	8000		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
A1	7,70	7,07	6,88	6,85	5,96	4,37	2,27	E1	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	7,23	7,17	7,01	7,02	6,06	4,13	2,20	E2	6,94	6,94	6,77	6,96	6,19	4,12	2,09	
A3	7,58	7,32	6,89	7,11	6,18	4,34	2,05	E3	7,76	7,78	6,71	7,05	6,14	4,20	2,26	
A4	7,45	7,34	6,88	6,89	6,23	4,17	2,26	E4	7,63	7,30	6,80	6,95	6,11	4,37	2,21	
A5	6,94	7,29	7,02	6,97	6,15	4,09	2,26	E5	6,30	6,80	6,63	6,84	6,19	4,16	2,27	
A6	7,24	6,77	6,97	7,14	6,22	4,32	2,21	E6	8,03	7,85	6,56	7,02	6,27	4,34	2,34	
A7	6,73	7,08	6,85	6,83	6,04	4,18	2,26	E7	6,84	7,17	7,04	7,29	6,06	4,37	2,25	
B1	6,82	7,57	6,86	6,84	5,88	4,27	2,36	F1	7,09	6,95	6,99	7,14	6,01	4,21	2,33	
B2	7,06	8,48	6,98	6,87	6,20	4,12	2,20	F2	6,82	7,17	6,83	7,00	6,19	4,14	2,19	
B3	7,11	7,05	6,76	6,93	6,21	4,26	2,16	F3	7,48	7,38	7,04	6,85	6,31	4,18	2,18	
B4	7,92	8,66	6,95	6,86	6,19	4,15	2,19	F4	6,81	7,09	7,02	7,17	6,15	4,48	2,17	
B5	6,91	7,09	6,78	7,06	6,13	4,32	2,25	F5	7,02	6,93	6,79	7,06	6,02	4,16	2,22	
B6	6,84	6,97	6,99	6,83	6,17	4,20	2,27	F6	7,61	8,21	7,05	7,08	6,31	4,19	2,19	
B7	6,69	7,23	6,75	7,15	6,03	4,19	2,26	F7	6,63	7,44	6,96	7,29	5,80	4,10	2,28	
C1	-	-	-	-	-	-	-	G1	7,78	7,07	7,02	7,07	6,27	4,38	2,30	
C2	7,11	7,16	7,00	6,82	5,89	4,12	1,99	G2	7,50	7,22	6,84	7,29	6,20	4,27	2,24	
C3	7,15	7,48	6,77	6,85	5,85	4,10	2,20	G3	6,83	7,14	6,94	6,82	6,25	4,02	2,16	
C4	8,01	6,85	7,05	6,87	6,19	4,12	2,29	G4	7,00	6,83	6,60	7,01	6,16	4,14	2,24	
C5	6,85	6,97	6,95	7,08	6,39	4,18	2,24	G5	6,44	7,07	6,79	6,85	5,97	4,30	2,23	
C6	7,09	7,28	6,82	6,95	6,12	4,33	2,24	G6	7,21	6,92	6,99	7,14	6,33	4,30	2,27	
C7	7,39	7,24	6,82	6,97	6,24	4,28	2,33	G7	7,22	7,27	6,74	7,17	6,20	4,14	2,25	
D1	Kaynak Konumu															
D2	7,02	7,78	7,00	6,94	5,90	3,94	2,08									
D3	7,53	7,08	6,91	7,05	5,78	4,00	2,12		Tüm Hacmin Ortalama Reverberasyon Süresi (sn)							
D4	6,70	7,51	6,90	6,91	6,17	4,24	2,21		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
D5	6,89	6,76	6,82	7,07	6,22	4,10	2,26	$T_{60}$	7,14	7,25	6,89	6,98	6,12	4,21	2,23	
D6	7,00	7,08	6,83	6,98	6,21	4,25	2,28									
D7	6,70	6,87	6,83	6,93	5,98	4,15	2,27									

**Tablo 2.** Alternatif modellerde kullanılan malzemelerin ses yutuculuk katsayıları  
(Sound absorption coefficients of materials used in alternative models)

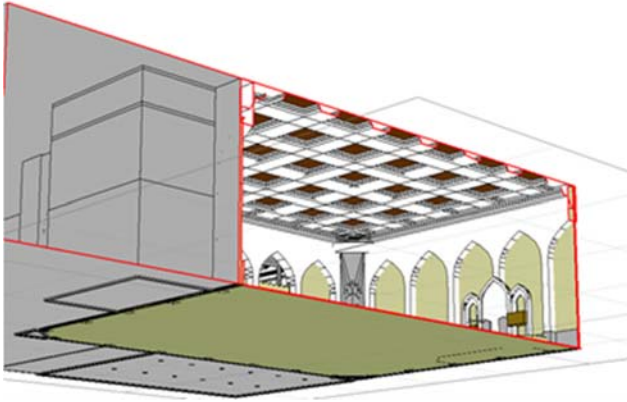
Kullanılan Malzemelerin Ses Yutuculuk Katsayıları										
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$a_v$	Sınıfı
Kumaş Kaplı Yutucu Panel <sup>1</sup>	0,03	0,01	0,3	0,72	1	1	0,97	0,95	0,60	C
Halı	0,08	0,08	0,23	0,57	0,7	0,7	0,75	0,75	0,50	D



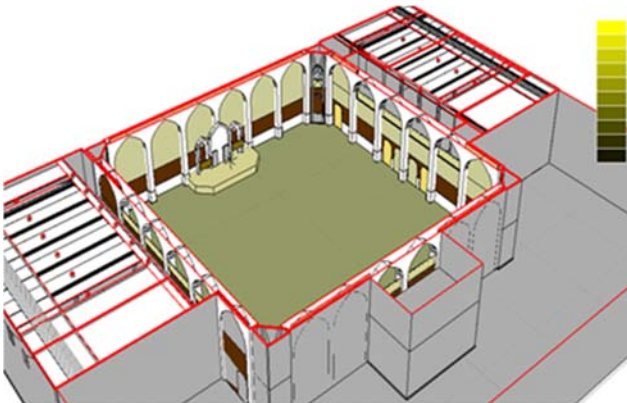
**Tablo 3.** Mevcut salonda reverberasyon süresini etkileyen alternatif modeller  
(Alternative models effecting the reverberation time in the existing hall)

Model No	Irak-Necfe İslam Üniversitesi Alawiya Konferans Salonu Hacim İçi Yüzey Bitiş Malzemeleri	Sabine		Norris-Eyring		Millington-Sette	
		500 Hz	1000 Hz	500 Hz	1000 Hz	500 Hz	1000 Hz
M1 (Mevcut Durum)	Duvarlar ve tavan alçı sıva ile tamamlanmıştır. Duvarlarda dekoratif kemer, tavana barisol malzeme, zeminde ise mermer kullanılmıştır.	6,89	6,98	6,50	5,97	5,43	4,76
M2 (Şekil 4)	Tavanda yatay ses yutucu malzeme (kanopi) kullanım durumu	6,27	6,12	5,89	5,74	4,75	4,37
M3 (Şekil 5)	Duvarlarda ses yutucu malzeme kullanım durumu (Konum-2 kullanımı)	3,57	3,66	3,15	3,24	1,00	1,13
M4 (Şekil 6)	Duvarlarda ses yutucu malzeme kullanım durumu (Konum-1 + Konum-2 kullanımı)	2,43	2,44	1,97	1,99	0,75	0,82
M5 (Şekil 7)	Duvarlarda ses yutucu malzeme kullanım durumu (Konum-1 + Konum-2 kullanımı) + Tavanda düşey ses yutucu malzeme (baffle) kullanım durumu	2,27	2,30	1,82	1,84	0,73	0,81
M6 (Şekil 8)	Duvarlarda ses yutucu malzeme kullanım durumu (Konum-1 + Konum-2 + Konum-3 kullanımı) + Tavanda düşey ses yutucu malzeme (baffle) kullanım durumu	1,49	1,49	1,01	1,01	0,55	0,60
M7 (Şekil 9)	Duvarlarda ses yutucu malzeme kullanım durumu (Konum-1 + Konum-2 kullanımı) + Tavanda düşey ses yutucu malzeme (baffle) kullanım durumu + Zeminde halı kullanım durumu	2,86	2,90	2,36	2,41	0,86	0,97

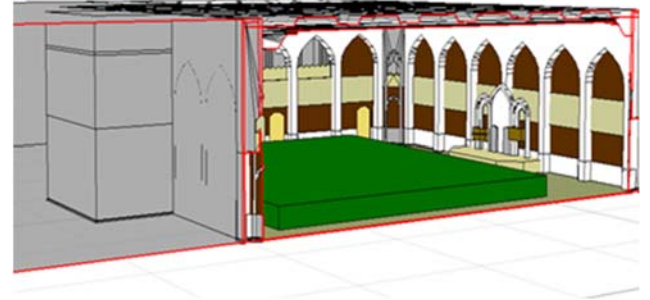
İçerideki reverberasyon süresi 500 Hz için 1,49 sn. ile 1000 Hz için 1,49 sn. olarak tespit edilmiştir.



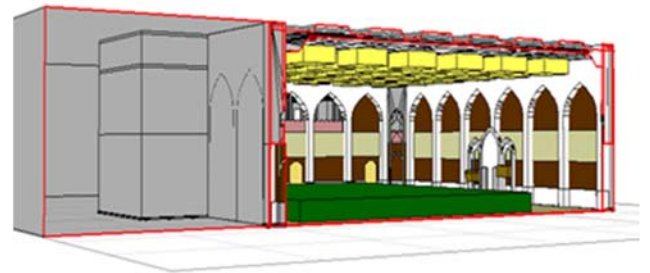
Şekil 4. M2 no'lu model (Model M2)



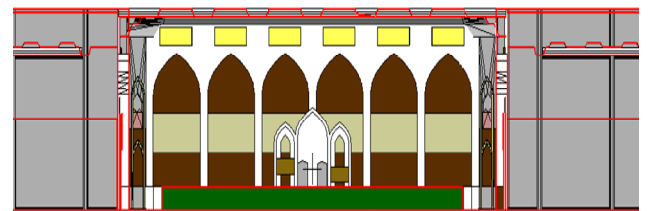
Şekil 5. M3 no'lu model (Model M3)



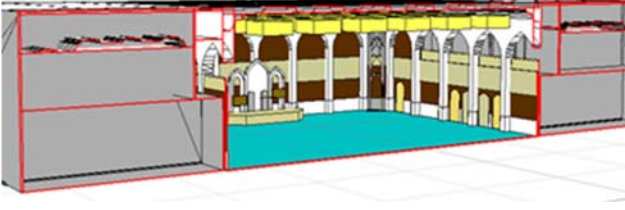
Şekil 6. M4 no'lu model (Model M4)



Şekil 7. M5 no'lu model (Model M5)



Şekil 8. M6 no'lu model (Model M6)



Şekil 9. M7 no'lu model (Model M7)

Hacim içerisinde oluşturulan alternatif modellerde;

- Konum-1 seviyesi dinleyicinin ayakta olduğu kulak seviyesinden tavana kadar olan yükseklik (2,5 metre üstü),
- Konum-2 seviyesi dinleyicinin ayakta olduğu kulak seviyesinden oturur konumdaki kulak seviyesine kadar olan yükseklik (1,25 metre ile 2,5 metre arasında),
- Konum-3 seviyesi dinleyicinin oturur konumdaki kulak seviyesinden zemine kadar olan yükseklik (1,25 metre altı) olarak incelemeler yapılmıştır (Şekil 10).

Araştırma kapsamında, yüzey malzemelerinin hacim içerisinde farklı konumlandırılmasında M6 no'lu modelde, reverberasyon süresi uygun değerlere yaklaşmıştır. Alternatif model (M6); duvarlarda Konum-1, Konum-2 ve Konum-3 ses yutucu malzeme konumlandırmaları ve tavanda düşey ses yutucu malzeme (baffle) konumlandırmasını ifade etmektedir (Şekil 10). Hacim içerisinde kullanılan malzeme seçimlerinde, Tablo 2'de verilen ses yutuculuk katsayılarına sahip malzemelerin seçilmesi ve uygulanması, sonuçların geçerliliği açısından önem taşımaktadır. Kullanılacak olan malzemelerin standartlar çerçevesinde test edilerek ses yutuculuk katsayılarının belirlenmiş olmasına dikkat edilmelidir.

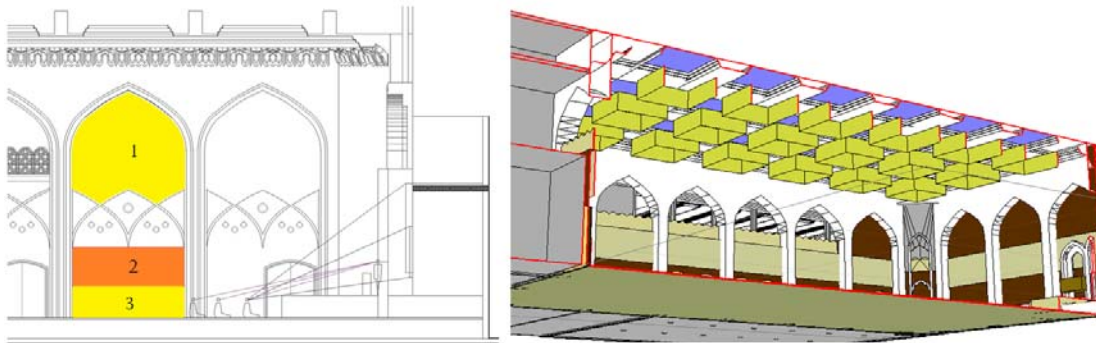
## 5. DEĞERLENDİRME (EVALUATION)

Irak-Necef İslam Üniversitesi Alawiya Konferans Salonu konuşma eylemi için hacim akustik parametreleri çerçevesinde hacim içi ortalama reverberasyon süresinin kontrol edilmesine yönelik incelemeler yapılmıştır. İncelemelerde, aynı ses yutuculuk katsayısına sahip malzemenin, mevcut durumda farklı konumlandırılmaları ile reverberasyon süresine etkisi araştırılmıştır. Mevcut durumun tespit edilmesine yönelik yapılan ilk ölçümlerde

hacim içi ortalama reverberasyon süresi değerleri 500 Hz için 6,89 sn. ve 1000 Hz için 6,98 sn. olarak ölçülmüştür. Salon için istenilen sınır değerlerin üstünde bulunan reverberasyon süresi, yüksek ses yutuculuk katsayılarına sahip malzeme ile alternatif modeller oluşturularak kontrol edilmeye çalışılmıştır. Hacim içerisinde kullanılan ses yutucu malzeme, duvar ve tavan biçimlenişleri ile farklılaştırılmış bu sayede malzeme konumlandırılmasının reverberasyon süresine etkisi incelenmiştir. Reverberasyon süresi için gerekli olan değere yakın aralıklarda bulunan model (M6 no'lu model) hacim içi reverberasyon süresi için uygun bulunmuştur. Mevcut mimari projeye bağlı kalınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda; duvarlarda ses yutucu panellerle oluşturulan M6 no'lu model sonucu elde edilen reverberasyon süresi 500 Hz için 1,49 sn. ve 1000 Hz için 1,49 sn. uygun değerler olarak kabul edilmiştir (Şekil 11).

Mevcut reverberasyon süresinin gerekli reverberasyon süresine ulaşmasında 500 Hz için 5,79 sn. düşürülmesi gerekmektedir. Düşürülmesi istenilen reverberasyon süresindeki değer, referans değere ulaşılma yüzdesi olarak derecelendirilmiştir. Araştırma kapsamında yapılan değerlendirmeler ve grafik gösterimi (Şekil 12) aşağıda verilmiştir:

- Mevcut durum üzerine tavanda yatay pozisyonda bulunan barisollerin (M1) yerine yatay ses yutucu malzemelerin kullanılması (M2) reverberasyon süresinde 0,62 sn. azalma sağlamıştır. Referans değere ulaşılması %11 seviyelerinde olmuştur.
- Mevcut durum (M1) üzerine duvarların Konum-2 (orta) bölümünün ses yutucu malzeme ile kaplanması (M3) reverberasyon süresinde 3,32 sn. azalma sağlamıştır. Referans değere ulaşılması %57 seviyelerinde olmuştur.
- Mevcut durum (M1) üzerine duvarların Konum-1 (üst) ve Konum-2 (orta) bölümlerinin ses yutucu malzeme ile kaplanması (M4) mevcut durum reverberasyon süresinde 4,46 sn. azalma sağlamıştır. Referans değere ulaşılması %77 seviyelerinde olmuştur.
- Mevcut durum (M1) üzerine duvarların Konum-1 (üst) ve Konum-2 (orta) bölümlerinin ses yutucu malzeme ile kaplanması, tavanın düşey ses yutucu malzeme ile kaplanması (M5) mevcut durum reverberasyon süresinde



Şekil 10. Alternatif modeller için kullanılan panellerin konumları ve M6 no'lu model (b)  
(Position of the panels used for the alternative models and model M6)

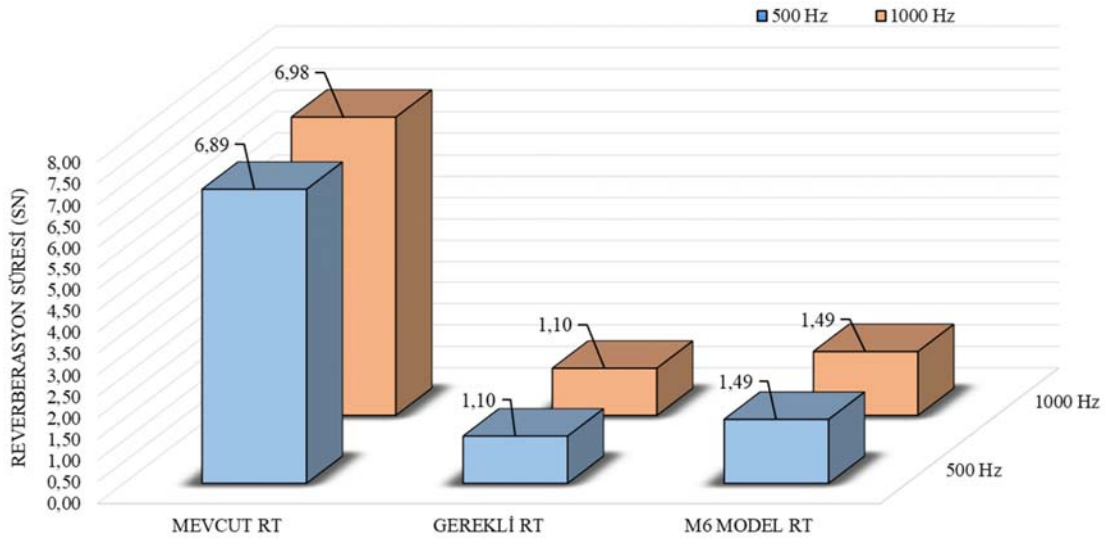


4,62 sn. azalma sağlamıştır. Referans değere ulaşılması %80 seviyelerinde olmuştur.

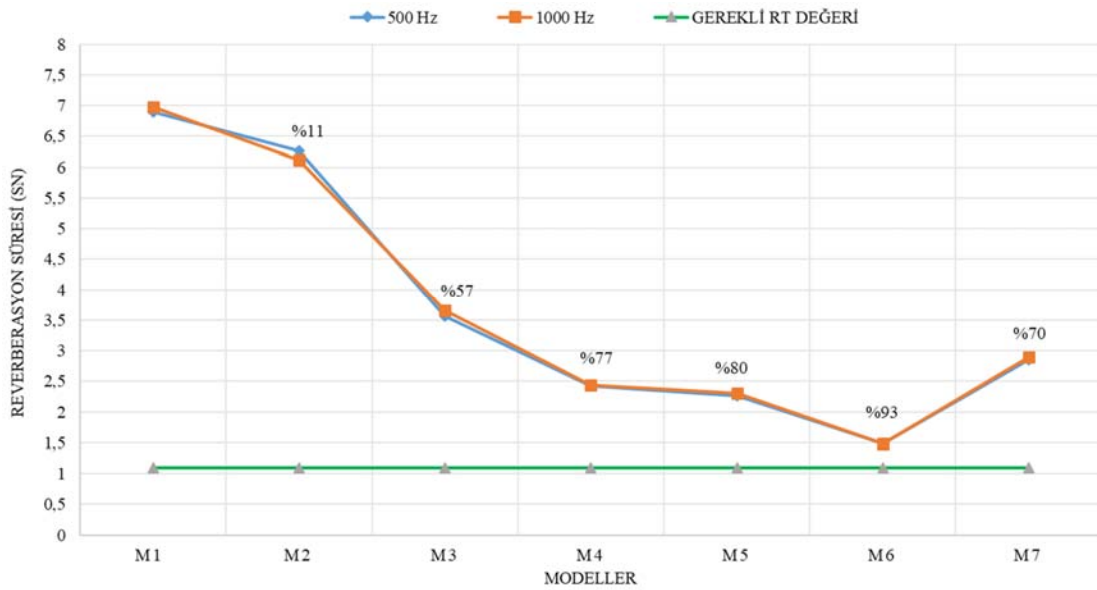
- Mevcut durum (M1) üzerine tavanın düşey ses yutucu malzeme ile kaplanması ve duvarların Konum-1 (üst) ve Konum-2 (orta) ve Konum-3 (alt) bölümlerinin ses yutucu malzeme ile kaplanması (M6) mevcut durum reverberasyon süresinde 5,4 sn. azalma sağlamıştır. Referans değere ulaşılması %93 seviyelerinde olmuştur.
- Mevcut durum üzerine (M1) tavanın düşey ses yutucu malzeme ile kaplanması, duvarların Konum-1 (üst) ve Konum-2 (orta) ve Konum-3 (alt) bölümlerinin ses yutucu malzeme ile kaplanması ve döşemede halı kullanılması (M7) mevcut durum reverberasyon süresinde 4,03 sn. azalma sağlamıştır. Referans değere ulaşılması %70 seviyelerinde olmuştur.

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Konuşma eylemi bulunan hacimlerde hacim akustiğinin incelenmesinde konuşmanın anlaşılabilir ve etkili olabilmesi için reverberasyon süresi önemli bir tasarım girdisi olmaktadır. Optimum reverberasyon sürelerinin sağlanmasına yönelik, hacim içerisinde kullanılan yüzey bitiş malzemelerinin ses yutuculuk katsayıları ve konumlandırılmaları önemli olmaktadır. Özellikle akustik düzenleme kapsamında, mevcut bir hacimde uygulama zorluğunun bulunması nedeniyle duvar, tavan ve döşeme yapı elemanlarının yüzey yutuculuklarının reverberasyon süresi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. İnceleme sonucunda kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı (en az 6 m) salonlarda sadece tavanda



Şekil 11. Hacim içi reverberasyon süresinin kontrol aşamaları (Control phases on reverberation time in room)



Şekil 12. Alternatif modellerin reverberasyon sürelerinin karşılaştırılması (Comparison of reverberation times of alternative models)

yatay ses yutucu malzeme kullanımı ile referans değere ulaşılması %11 seviyelerinde olmuştur. Tavanda iyileştirmelerin yapılması durumu, hacim içerisinde gerekli reverberasyon süresine ulaşılması açısından yetersiz bulunmuştur. Hacim içerisinde benzer şekilde panellerin Konum-1 ve Konum-2 yerleşimlerine ek olarak tavanda düşey ses yutucu malzemelerin eklenmesi sonucu reverberasyon süresinde sadece %3 seviyelerinde düşüş olması bu durumu destekleyecek niteliktedir. Veriler ışığında, kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı salonlarda tavan düzleminin reverberasyon süresine etkisi düşük olarak belirlenmiştir. Bu tip salonlarda reverberasyon süresinin kontrol edilmesinde tavan düzleminde daha çok duvar düzlemlerinin düzenlenmesine/iyileştirilmesine dikkat edilmelidir. Kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı salonlarda, duvarlarda sadece Konum-2 (orta) bölümünde ses yutucu malzeme kullanımı ile referans değere ulaşılması %57 seviyelerinde olmuştur. Bu duruma ek olarak Konum-1 (üst) bölümünde de ses yutucu malzeme kullanımı ile referans değere ulaşılması %20'lik artış ile %77 seviyelerinde tespit edilmiştir. Duvarlarda Konum-1 (üst), Konum-2 (orta) ve tavanda düşey ses yutucu malzeme kullanımı ile referans değere ulaşılması %80 seviyelerinde olmuştur. Bu duruma ek olarak Konum-3 (alt) bölümünde de ses yutucu malzeme kullanımı ile referans değere ulaşılması %13'lük artış ile %93 seviyelerinde tespit edilmiştir. Bu geliştirilen modeller ile duvarların çeşitli bölümlerinde konumlandırılan ses yutucu malzemelerin hacim içi reverberasyon süresindeki etkilerinin farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı salonlarda, tavana yakın konumlandırılan ses yutucu malzemelerin etkisi zemine yakın konumlandırılan ses yutucu malzemelere göre daha fazla olmaktadır. Veriler ışığında, kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı salonlarda duvarların reverberasyon süresine etkisi tavana göre daha yüksek olmaktadır. Hacim içerisinde döşemede dinleyici konumlandırılması yerine dinleyici profiline yakın ses yutuculuk katsayısına sahip halı kullanılması ile referans değere ulaşılması %23'lük düşüş ile %70 seviyelerinde gözlemlenmiştir. Dinleyici profilinin kurgulanması ve konumlandırılması reverberasyon süresinin belirlenmesi için daha doğru ve gerçek kullanıma uygun sonuçları vermektedir.

Çalışmanın sonucunda, konuşma eylemine yönelik kullanılan kare planlı, düz zeminli ve yüksek tavanlı (en az 6 m) salonlarda reverberasyon süresinin kontrolünde tavan düzleminde alınabilecek önlemlerin etkisi düşük olarak tespit edilirken, duvar yüzeylerinin etkisi daha yüksek olarak belirlenmiştir. Duvarların farklı seviyelerinde alınacak önlemler ile farklı reverberasyon sürelerinin tespit edilmesi duvar elemanlarının analizinin doğru şekilde yapılmasını gerekli kılmaktadır. Zeminde dinleyici profilinin yerleşimi ve döşeme bitiş malzemesinin yutuculuk katsayıları hacim içi reverberasyon süresi için farklı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Mevcut durumun yüzey yutuculukları ele alınarak reverberasyon süresinin iyileştirilmesinde verim değerlendirmeleri yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Egan, D., *Architectural Acoustics*. New York: McGraw-Hill, J. Ross Publishing, ISBN-10, 1-932159-78-9, 2007.
2. Long, M., *Architectural Acoustics*. Waltham, MA: Elsevier Academic Press, 2nd Edition, ISBN-13, 978-0-12-455551-8, 2014.
3. Kurtay C., İrklı Eryıldız D., Ulukavak Harputlugil G., Acoustical Performance Evaluation of Mimar Kemaleddin Hall and Alternatives for Performance Improvement, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23 (3), 557-568, 2008.
4. Reich, R., Bradley, J., *Optimizing Classroom Acoustics Using Computer Model Studies*. *Canadian Acoustics*. 26 (4), 15-21, 1998.
5. Eldakdoky, S., Elkhateeb, A., *Acoustic Improvement on Two Lecture Auditoria: Simulations and Experiment*. *Frontiers of Architectural Research*, 6, 1-16, 2017.
6. Yılmaz Demirkale, S., *Çevre ve Yapı Akustiği*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2007.
7. Bradley, J.S., *Predictors of Speech Intelligibility in Rooms*. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 80 (3), 837-854, 1986.
8. Sabine, W.C. *Collected Papers on Acoustics*. London: Humphrey Milford, Oxford University Press, England, 1922.
9. Daheng, Y., Qi, L., *Research of Computer Simulation of Reverberation Time in Classroom*. *Physics Procedia*, 33, 1677-1682, 2012.
10. Skålevik, M., *Reverberation Time - The Mother of All Room Acoustical Parameters*. *Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2010, Norway*, 2010.
11. Eyring, C.F. *Reverberation Time in "Dead" Rooms*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1, 217-241, 1930.
12. Andree, C.A., *The Effect of Position on the Absorption of Materials for the Case of a Cubical Room*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 3, 535, 1932.
13. Millington, G.A., *Modified Formula for Reverberation*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 4, 69-82, 1933.
14. Sette, W.J., *A New Reverberation Time Formula*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 4, 193-210, 1933.
15. Bayazıt Tamer, N., *A Geometric Design Method For The Acoustic Evaluation Of Rectangular Cross-sectioned Concert Halls*. PhD Thesis, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, İstanbul, 1999.
16. Beranek, L.L., *Analysis of Sabine and Eyring Equations and Their Application to Concert Hall Audience and Chair Absorption*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120, 1399-1410, 2006.
17. Nowoświat, A., Olechowska, M., *Investigation Studies on the Application of Reverberation Time*. *Archives of Acoustics*, 41 (1), 15-26, 2016.

18. ECOTECH V5.20, <http://www.squ1.com>, (Available at Mayıs, 2007).
19. Knudsen, V.O., Harris, C.M., Acoustical Designing in Architecture. New York: John Wiley and Sons Inc, 1988.

