

## Kemeraltı Cämilerinin Akustik Özellikleri

### Acoustic Characteristics of Kemeraltı Mosques

Serhat Durmaz, *Müzik Teknolojisi ABD, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi*, ORCID: 0000-0002-9512-6807

#### Özet

İzmir'in kültürel mirasında eşsiz bir dokuya sahip Kemeraltı hanlar, ticarethaneler, camiler vb pek çok tarihi yapı ile birlikte kentsel sit alanı içinde yer alır. Bölge ile ilgili çeşitli araştırmalar ve yayınlanmış çalışmalar olmasına rağmen, tarihi mirasın ses ve akustik özellikleri ile ilgili bu türden bir araştırmaya veya yayınlanmış bilimsel çalışmaya rastlamak mümkün olmamıştır. Tarihi dokuyu oluşturan Kemeraltı cämilerinin mimari özellikleri kadar akustik performansları da kültürel mirasın önemli bir parçasıdır. Mimar Sinan ve eserlerine karşı farkındalıkların her geçen gün artmasıyla, tarihi cämilerin ses ve akustik özellikleri de ses mühendisleri ve mimarların ilgisini çekmeye başlamıştır. Tarihi özellikleri bulunan cämilerin akustik davranışlar kapsamında incelenmesi sosyal ve kültürel sorumluluklar açısından da önemlidir. Harimlerin ses ve akustik davranışlarının tespit edilmesi, yerinde yapılacak akustik ölçümlerle güncel verilerin toplanması, gelecek nesiller ve bilimsel araştırmalar için kültürel bir veri tabanı oluşturulması açısından değerlidir. Bu çalışmada Kemeraltı sit alanında yer alan beş tarihi caminin akustik özellikleri gerçek zamanlı ses ölçümleri ve noktasal dürtü yanıtları tekniği ile tespit edilmiştir. Evrensel akustik parametreler ve standartlar kapsamında incelenmiş, harimlerin akustik davranışları ve sesin anlaşılabilirlik seviyeleri saptanmış, hacimlerin akustik performansları analiz edilmiştir. Sonuçlar, cami içindeki en uygun konuşma noktasının Mihrab olduğunu, kürsüden gelen konuşmaların Harim'deki ses gücü G değerlerini yükselttiğini, 160 Hz ve altı frekanslarda yer yer enerji artışlarının yaşandığını, cemaat sayısının artmasıyla kısmen kontrol altına alınabileceğini, ana giriş kapılarının gürültüye karşı korumasız oluşu nedeniyle arkaplan gürültülerinin yüksek, vaazları net olarak algılayabilme özelliğinin ise düşük seviyelerde olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Cami akustiği, İzmir Kemeraltı, oda dürtü yanıtı, akustik ölçme, ISO 3382.

**Akademik Disiplin(ler)/alan(lar):** Hacim akustiği, mimari akustik, cami akustiği.

#### Abstract

Kemeraltı, which creates a unique texture in Izmir's cultural heritage, is located in the urban protected area together with many historical buildings such as inns, commercial houses, mosques, etc. Although there are various researches and published studies about the region, no research or published scientific study about the sound and acoustic properties of the historical heritage has been found. The acoustic performances of Kemeraltı mosques, which form the historical texture, are an important part of the cultural heritage as well as their architectural features. With the increasing awareness of Sinan and his works, the sound properties of historical mosques have begun to attract the attention of architects. The examination of historical mosques within the scope of acoustic characteristics is important in terms of social and cultural responsibilities. It is valuable in terms of detecting the sound and acoustic behaviors of the harims, collecting current data with acoustic measurements, and creating a database for future generations and scientific research. In this study, the acoustic properties of five historical mosques in Kemeraltı were determined by real-time sound measurements. They were examined within the scope of universal acoustic parameters and standards, the acoustic behavior of the harims and the intelligibility levels of the sound were determined, and the performances analyzed. The results show that the most appropriate talking point within the mosque is the Mihrab, the sounds from the pulpit increase the sound power G values in the harim, there are occasional energy increases at 160 Hz and below frequencies, it can be partially controlled by increasing the number of congregations. It has been shown that the background noise is high and the ability to perceive the sermons clearly is low due to the fact that the main entrance doors are unprotected against noise.

**Keywords:** Mosque acoustics, Izmir Kemeraltı, RIR, Acoustic measurement, ISO 3382.

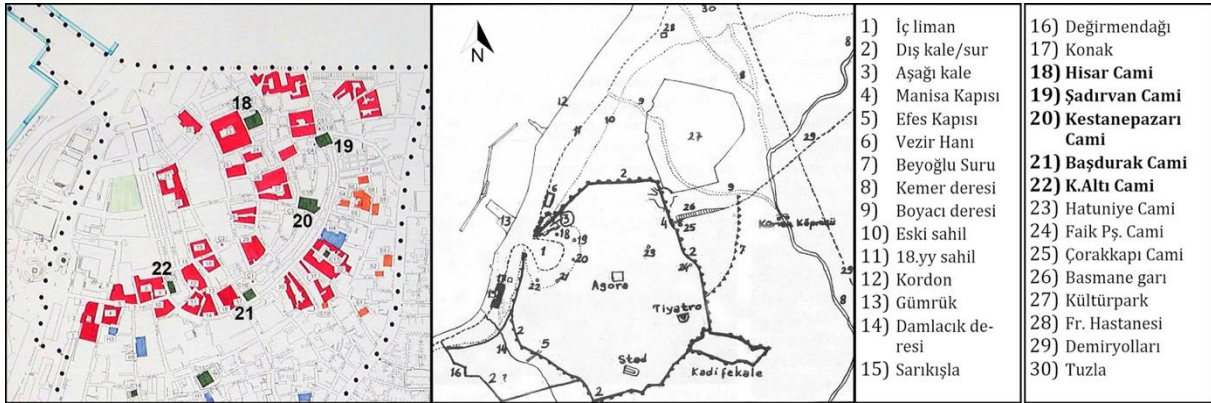
**Academical Disciplines/fields:** Room acoustics, architectural acoustics, mosque acoustics.

- **Sorumlu Yazar:** Serhat Durmaz, Müzik Teknolojisi AD, Müzik Bilimleri Bölümü, Güzel Sanatlar Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- **Adres:** Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe Yerleşkesi, Adatepe Mah. Doğu Cad. No: 209, 35390, Buca, İzmir.
- **e-posta:** serhat.durmaz@deu.edu.tr
- **Çevrimiçi yayın tarihi:** 17.04.2023
- **doi:** 10.17484/yedi.1226821

**Geliş tarihi:** 30.12.2022 / **Kabul tarihi:** 27.02.2023

## 1. Giriş

İzmir Konak ilçesinde kentin en eski yerleşim yeri olarak bilinen Kemeraltı, İkiçeşmelik ve Basmane kültürel açıdan önemli bir mirasa sahiptir. Kemeraltı, tarihi İç Liman Bölgesi'nde Anafartalar Caddesi ile çevrili Kentsel Sit Alanı'dır (Görsel 1). Bu alan içinde ikisi İkiçeşmelik Caddesi doğusu olmak üzere toplam 19 tarihi cami ve bir mescit bulunur: Hacı Ethem, Akarcalı, Fatih, Damlacık, Odunkapı, Ali Ağa, Hacı Mehmed, Karakol, İkiçeşmelik, Natır-zâde, Kahraman (Mescit), Esnaf-şeyh, Sahlepçioğlu, Hacı Mahmud, Kemeraltı, Başdurak, Kestanepazarı, Şadırvanalı, Hisar Cami ve Araphanı Mescidi (KİPR, 2002, s. 78).



**Görsel 1.** Kemeraltı Koruma Amaçlı İmar Planı Revizyonu (KİPR, 2002, s. 79) ve tarihi iç liman krokisi (Yılmaz ve Yetkin, 2002, s. 42).

İç Liman'daki tarihi Kemeraltı Çarşısı Anafartalar Caddesinin yanında, kentin en eski yerleşim bölgesindedir. Liman hanlar, camiler ve çeşitli tarihi yapılara ev sahipliği yapar. Burası aynı zamanda Kemeraltı Koruma Amaçlı İmar Planı 1. Etap Bölgesi programı kapsamında koruma altına alınmıştır. Bu önemli sit alanını korumaya yönelik İmar Planı Revizyon çalışmaları Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi tarafından hazırlanan raporlar (KİPR, 2002) ile detaylandırılmıştır. Geniş bir bölümünün tarihi kent merkezi niteliğinde olması, mevcut tarihi yapıların büyük değer taşıması, özellikle camilerin ticarethane dokusu ile bir arada bulunması sosyo-kültürel değerler açısından da dikkatleri çeker ve bu yerleşim alanını özel, bir o kadar da ilginç araştırma bölgesi haline getirir. Tıpkı başka tarihi miraslar gibi bölgede bulunan 16. ve 17. yüzyıllarda inşa edilmiş camilerin mimari özellikleri araştırmacıların ilgisini çekmektedir. İnsan sesine dayalı ibadetlerde cami içi iletişim, görsel ve işitsel anlaşılabilirliğin önemi, ister istemez harimlerde ses ve akustik kalitesinin de yüksek olması gerektiği doğrultusunda bir beklenti oluşturmaktadır. İşte bu noktada tarihi camilerin mevcut akustik performanslarının tespiti, ses mirasının yitirilmeden belgelendirilmesi ve kültürel hafızaya dâhil edilmesi önem taşımaktadır.

Vaizlerin vaazları, minber konuşmaları ve tilâvetlerin cemaat tarafından net olarak anlaşılabilmesi, cemaatin ibadet, işitme ve iletişimde yaşadıkları sorunlar cami görevlileri tarafından sıklıkla dile getirilmektedir. Bu noktada akustik uzmanlarının dikkatleri harimlerin ses ve akustik kalitesine çevrilmektedir. Acaba, camilerin akustığı daha net ve anlaşılır seviyelerde olabilir mi? Kitleler ve iletişimin önem taşıdığı kutsal mekânlarda ses kalitesinin, hacim akustığının evrensel ve milli standartlara uygun, anlaşılabilirliği yüksek ve tatmin edici düzeylerde gerçekleşmesi sağlanabilir mi? Bu tür soruların yanıt bulması amacıyla T.C. Cumhurbaşkanlığı Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından yayınlanan kılavuz ile camilerin akustik özellikleri ve ses kalitesini artırmak için neler yapılması gerektiği açıkça ortaya koyulmuştur (CPTK, 2021, s. 33, 46).

Bu çalışma Kemeraltı kentsel koruma alanında yer alan ve araştırmaya örnek teşkil eden, 16. - 17. yüzyıllara ait beş adet tarihi caminin harim akustığı ve ses kalitesini yerinde ölçerek standartlar kapsamında değerlendirmeye, akustik performanslarını saptamaya, böylelikle bu tarihi camilerin ses mirasını gelecekteki araştırmacıların kullanımına sunmaya, akustik veri tabanına da katkı sağlamaya yönelik teknik değerlendirmeleri kapsar.

## 2. Kemeraltı Camileri

Kentsel sit alanında halen aktif olarak kullanılan ve 16. 17. yüzyıllardan günümüze ulaşan beş örnek tarihi caminin güncel akustik performansları çalışmanın ana gerecini oluşturur. Camiler kuzeyden güneye sırasıyla Hisar (1592), Şadırvan (1636), Kestanepazarı (1663), Başdurak (1652) ve Kemeraltı (1671) camileridir.

### 2.1. Hisar Camii

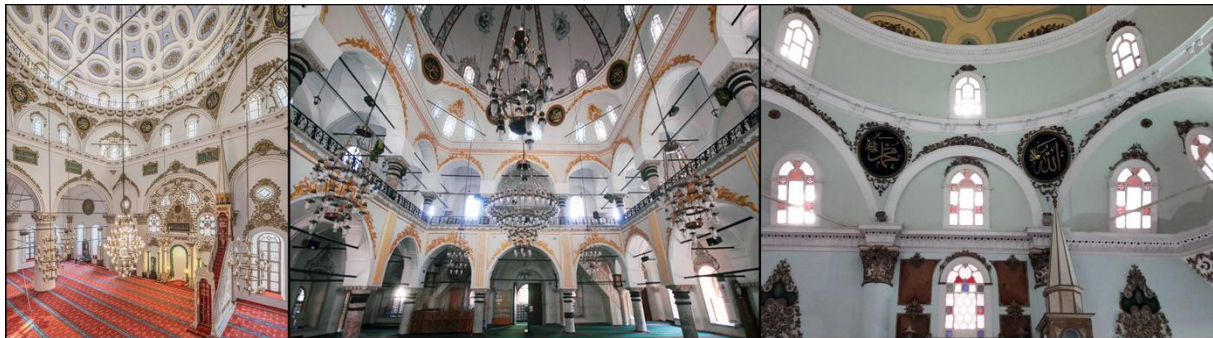
Hisar Cami (HR) günümüze kadar gelmiş en eski ve en büyüklerindedir (Görsel 2a). Adını İç Liman ağzında bugün bulunmayan Hisar ve bu bölgeye verilen Hisarönü isminden alır. Kim tarafından ve ne zaman yapıldığı konusunda farklı bilgiler aktarılmakta, bir kesinlik bulunmamaktadır. Aktepe'nin tarihi belgelere, vakfiyelere ve Evliyâ Çelebi'ye dayanarak aktardığına göre (1973, s. 88) yapı önceleri kilise olarak kullanılmış, Yakup Efendi tarafından 1597-98 yıllarında cami olarak değiştirilmiştir. Atay'a göre (1978) cami 1592 yılında inşa edilmiş, 1813 yılında yapıya kütüphane eklenmiştir. Caminin 1744, 1813, 1881-85, 1924, 1927, 1938 ve 1970 yıllarında çeşitli onarımlardan geçtiği (s. 578), payanda kemerleri ve duvarlarının yapısal olarak desteklenmiş olduğundan söz edilir (Arık ve Sözen'den aktaran, Bulut, 1996, s. 4).



**Görsel 2.** Fransız asıllı Levanten A. Rubellin tarafından çekildiği belirtilen İç Liman, 1900'lü yılların başı. Hisar (a), Şadırvan (b), Kestanepazarı (c) ve Başdurak (d) camileri. <https://www.eskiturkiye.net/tag/izmir>, 04.02.2022

Yapı dikdörtgen bir Harim (Görsel 3a), sekiz fil ayağı üzerinde duran bir ana kubbe ve yanlarda üçer büyük, arkada üç küçük, son cemaat mahallinde yedi küçük kubbe ile tek şerefeli minareden oluşur (Yetkin, 2002, s. 83). Ana yapı malzemesi kesme taştır. Harim zemini 565 m<sup>2</sup> dir ve altı yalıtım keçesi destekli halı kaplıdır.

Harim balkonu U biçimlidir ve yaklaşık 270 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmanın yapıldığı tarihte küçük çaplı tadilatlar nedeniyle balkonun kullanım dışı olduğu, sol arka mahfil'in paravan ile kapatıldığı görülmüştür [bu geçici tadilat durumu akustik analizlerde dikkate alınmıştır]. Harim 650-1000 kişi kapasitelidir. Cuma günleri ve hafta içine denk düşen özel günlerde, dini bayramlarda son cemaat mahalli, avlu ve avlu dışı mekânlar ile birlikte kişi kapasitesinin 2000'i bulabildiği görevlilerce ifade edilmektedir.



**Görsel 3.** Harimler, soldan sağa HR. (TRT İzmir asv2020-02), ŞA ve KA (S. Durmaz kişisel arşivi)



## 2.2. Şadırvan Camii

Şadırvan Camii (ŞA) adını Anafartalar Caddesinde kendi adıyla anılan semtten ve altında bulunan şadırvanından alır. Kâtip Çelebi'nin Cihânnümâ eserinde Nifli-zâde Cami olarak anılır. Evliyâ Çelebi Seyahatnâme'sinde Bıyıklıoğlu Mahmud tarafından 1636-37 tarihlerinde yapımı tamamlanmış olduğu ve Bıyıklıoğlu Camii adıyla anıldığı bilgisi aktarılmaktadır (Aktepe, 1972, s. 139-140). Kayıtlara göre bu cami Kanuni Sultan Süleyman vakfidir. Yapıda ana mekâna geçişi sağlayan kapının solunda yer alan 1230 (1815) tarihli tamir kitâbesinden, caminin birkaç defa yangın nedeniyle harap olduğu ve onarım gördüğü anlaşılmaktadır. Harim merkezi planlıdır ve ortada büyük bir kubbe ile tamamlanır (Görsel 3b). Dörtkenarında birer küçük kubbe, arasında ikişer çapraz tonoz, sekizi taşıyıcı 10 sütun bulunur. Caminin batı cephesinde bitişik bir şadırvan ve üzerinde bir kütüphane yer alır. Kütüphane kitabesi bu bölümün 1834-35 tarihinde tamamlandığını belgeler (Çobanoğlu, 2010, s. 221-222). Harim balkonu U biçimlidir ve cemaat için yaklaşık 170 m<sup>2</sup> kullanım alanı sağlayabilir. Harim akustik zemini 298 m<sup>2</sup>'dir. Bu bölüm 400-600 kişi kapasiteli olup, kuzey ve batı yanında L biçimli son cemaat yeri ile birlikte 1000 kişinin üzerinde cemaati ağırlayabilir.

## 2.3. Kestanepazarı Camii

Kestanepazarı (KP) veya Hacı Ahmed Ağa Camii, kestane pazarı olarak anılan bölgede geniş taş avlulu ve altında dükkânlar bulunan yüksek girişli bir camidir. Evliyâ Çelebi kayıtlarına göre 17. yüzyılda İzmir'deki seri depremler sonucunda yıkılan bir caminin yerine (Önkal, 2012, s. 110) pek çok kaynağa göre, Eminzâde Hacı Ahmed Ağa tarafından 1668 tarihinde yaptırılmıştır (Aktepe, 1972, s. 203). Harim bölümü kare biçimli, ortada büyük kenarlarda araları yuvarlak kemerli tonozlar ile örülmüş dört adet küçük kubbeden oluşma bir mimariye sahiptir (Görsel 4a). Son cemaat yeri üstü kubbe biçimli ve üç bölümlüdür. Cami 19 yüzyılda büyük yangın sonrası detaylı onarım görmüştür (Bulut, 1996, s. 6).



Görsel 4. Harimler, soldan sağa KP ve BD. (S. Durmaz kişisel arşivi)

Harim, brüt 251 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmanın yapıldığı tarihlerde önemli ölçüde yapısal hasarları bulunduğundan güvenlik amacıyla ibadete kapalı tutulduğu, halıları sökülmiş olarak büyük onarım için bekletildiği görülmüştür. Kuzey ve doğu yönünde büyükçe bir avlu yer alır. Harim bölümü 350-400, son cemaat yeri ve avlu ile birlikte 1200-1400 kişilik cemaat kapasitesine sahiptir.

## 2.4. Başdurak Camii

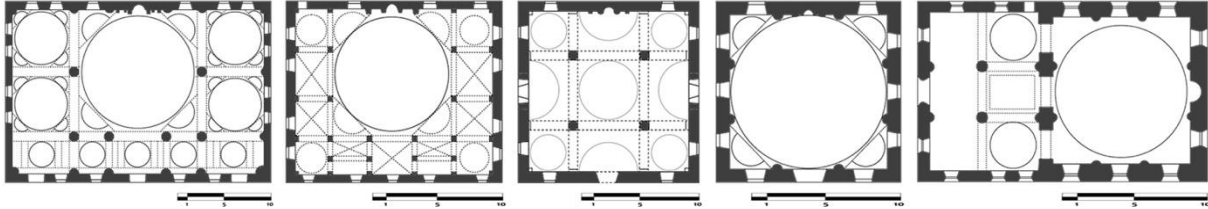
Başdurak (BD) veya Hacı Hüseyin Cami'nin, Evliyâ Çelebi'nin aktardığına göre, aynı adla anılan yerde 1652 yılında tüccar Hacı Hüseyin Efendi tarafından yaptırıldığı düşünülmektedir (Aktepe, 1972, s. 188). Başlangıçta yanında bir medrese olduğu ancak sonraki yıllarda yıkıldığı söylenir. Altında dükkânlar bulunan kare planlı ve sekiz köşeli çift kasnak üzerine oturtulmuş tek kubbe tavanlıdır. Aktepe (1972, s.189) caminin 1774, 1894 ve 2001 yıllarında onarım gördüğünü bildirmektedir. Harim zemini 129 m<sup>2</sup> dir. Yaklaşık 45 m<sup>2</sup>'lik mahfil bölümü kalın perde ile bölünmüş, 35 m<sup>2</sup>'lik harim balkonu da kullanım dışı bırakılmıştır. Harim (Görsel 4b) ortalama 200 kişilik bir kapasiteye sahiptir. Gerektiğinde son cemaat yeri ve avlusu ile kapasitesi 350-400 kişiye kadar çıkabilir.

## 2.5. Kemeraltı Camii

Kemeraltı (KA) veya Ahmed Ağa Cami 1671-72 yılında Yusuf Çavuşzâde Ahmed Ağa tarafından yaptırılmıştır (Aktepe, 1973, s. 92). 1774 ve 1892 yıllarında iki kez büyük, 1906 yılında kısmi onarım görmüştür. Onarım sonrası son cemaat yeri üstü kubbeli üç bölümlü olup harim kısmı (Görsel 3c) sonraki dönemlerde kuzey yönüne doğru uzatılmış, dikdörtgen şeklini almış üç bölümlü bir plana sahip olmuştur (Bulut, 1996, s. 3). Harim (balkon hariç) 219 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahiptir. Ortalama 400 kişiyi ağırlayabilir. Son cemaat yeri ve avlusu ile birlikte 600-700 kişi aynı anda namaz kılabilir. Mahfilin bir bölümü kalın perde ile kapatılmış, sonradan eklenen 40 m<sup>2</sup>'lik küçük ve basık formdaki balkon da kullanım dışı bırakılmıştır.

### 3. Fiziksel Özellikler ve Kapsam

Kemeraltı bölgesinden seçilen beş caminin güncel durumları, yüzey ve hacim ölçüleri akustik açıdan önem taşıyan detayları yerinde, güncel tespitler ile belirlenmiştir. Mimari planlar önceden yayınlanmış rölöve planları ile karşılaştırılmış, harim planları güncellenerek (Görsel 5) 3D modellemelerde kullanılmak üzere sayısallaştırılmıştır. Akustik ölçümler harimler ile sınırlandırılmış, harim bağlantılı olan son cemaat ve avlu alanları dışında kalan elektronik ses sistemleri ile desteklenmiş genel kullanım alanları 3D akustik modellemelere dâhil edilmemiştir.



**Görsel 5.** Güncellenmiş plan görünüşleri soldan sağa; HR, ŞA, KP, BD ve KA Camileri.

Avlu düzeni, minare, eksedrarlar, tezyinat, mukarnas, kemerler ve fil ayakları gibi öğeler, elektro-akustik ses sistemleri, konumları ve güç özellikleri, müezzin mahfili sistem detayları bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmış, güncel akustik performanslar, sayısal değerlerin tespit ve analizleri ile sınırlandırılmıştır. Tablo 1'de yer alan hacim bilgileri 3D modeller üzerinden hesaplanmış akustik hacim değerlerini göstermektedir.

**Tablo 1.** İncelenen camilerde lokasyon, zemin alanı, yükseklik, akustik hacim vb büyüklükler.

Cami Adı	Yıl	Ort. Kapasite/Harim [kişi]	Akustik Hacim [m <sup>3</sup> ]	Kişi başı hacim [m <sup>3</sup> ]	Harim zemini [m <sup>2</sup> ]	Max. Yükseklik [m]	Harim Genişlik [m]	Harim Uzunluk [m]
HR	1597	650-1000	8871	13,7-8,9	565	23,30	30,72	18,36
ŞA	1636	400-600	3172	7,4-4,9	298 (+170)	17,85	19,10	15,60
KP	1668	350-400	2745	7,8-6,8	251	17,95	15,83	15,85
BD	1652	200	1510	8,0	129	14,75	11,25	11,45
KA	1671	400	2045	5,2	219	15,25	10,87-11,63	19,82

### 4. Akustik Parametreler ve Yöntem

İbadetler ve kutsal gecelerde solo/koro halinde okunan makâmsal özellikteki dini metinler harimin fiziksel ve akustik koşullarından etkilenir. İç ezan, hutbe, mirâciye, tevşih, mevlid, ilâhî okumaları ile Kur'an kursu öğrencilerinin insan sesine dayalı etkinliklerinin orta frekans bölgelerinde yoğunlaştığı bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada akustik parametreler standartlara uygun olarak ve 125-4000 Hz aralığında değerlendirilecek, yedi farklı akustik parametre inceleme altına alınacaktır: T30, EDT, STI, D50, C80, BR, NC.

En önemli akustik göstergelerden biri olan çınlama süresi T30 yanıtları ile değerlendirilmiştir. Uyarı sinyali ile arka plan gürültü seviye oranının (INR) tüm oktav bantlarda > 45 dB kuralına uygunluğu sağlanmış, oda dürtü yanıtları (RIR) gerçek zamanlı ölçülmüştür. Harimlerin arka plan eşdeğer gürültü seviyeleri  $L_{eq}$  oktav bantlarda, arka plan gürültü ölçütleri (NC) ile hesaplanmıştır. Anlaşılabilirlik seviyesini belirleyen erken azalım süresi (EDT) ile çınlama süresi parametreleri arasındaki uygunluk ilişkileri ayrıca incelenmiştir. Harim etkinlikleri konuşma ağırlıklı olduğundan öznel dinleyici ölçütlerinden olan konuşmada belirginlik (D50, Deutlichkeit) ve insan sesine dayalı dini müzikler için netlik (C80) göstergeleri etüt edilmiştir. Göreli yüksek hacimli harimlerde alçak frekans yanıtlarında oluşması beklenen rezonatif davranışlar kapsamında konuşma ve müzikteki sıcaklık, dolgunluk etkisi bas oranı (BR) parametresi ile gözlenmiştir. Akustik parametrelerin değerlendirilmesi cami, kilise gibi ibadet mekânları için kabul gören evrensel aralıklar kapsamında yapılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Çalışma kapsamında incelenen parametreler ve evrensel kabul değerleri.

Akustik parametre	Önerilen aralıklar	Başvuru
T30, Çınlama süresi [s]	1,8 - 2,4	Templeton, 1997
EDT <sub>500-1000</sub> , Erken azalım süresi [s]	1,6 - 2,6 (1,0 - 3,0)	(TS EN ISO 3382-1)
STI, Konuşma iletim indeksi	> 45 <i>Kötü: 0,00 - 0,30</i> <i>Zayıf: 0,30 - 0,45</i> <i>Orta: 0,45 - 0,60</i> <i>İyi: 0,60 - 0,75</i> <i>Mükemmel: 0,75 - 1,00</i>	IEC 60268-16, Durmaz, 2016b
D50 <sub>500-1000</sub> , Belirginlik	> 0.2; > 0.5 (0.3 - 0.7)	Templeton, 1993 ve Kuttruff 2017 (TS EN ISO 3382-1)
C80 <sub>500-1000</sub> , Netlik [dB]	-5 - (+) 4 dB; -4 - 0 dB	TS EN ISO 3382-1 ve Long, 2006 s. 673
BR <sub>125-1000</sub> , Bas oranı	1.1 - 1.5	Long, 2006 s. 679
NC, Gürültü ölçütü	25 - 30	Templeton 1997 ve Long, 2006 s. 89

Kapalı hacimlerde uyaran enerji seviyesinin kesilmesinden sonra binde bire (T30) düşmesi için geçen süre T30, 20 Hz - 20 kHz aralığında ve 1/3 oktav band genişliğinde, harim içinde üç ayrı kaynak noktası belirlenerek saptanmıştır. Üç kaynak ve 4 - 6 alıcı noktası kurulumu ile elde edilen değerlerin, kontrol ölçümleri dâhil, ortalamaları alınmıştır. Ölçümler harimlerin boş durumlarına ait çınlama değerlerdir.

Erken yansımalar, ölçüm konumlarına ve oda geometrisine karşı duyarlı olan (Kuttruff, 2017, s. 179) erken azalım süresi EDT'nin çınlama süreleri ile arasındaki uyumun %10'dan fazla farklılık gösterip göstermediği izlenmiştir. Referanslar 500-1000 Hz frekans aralığında işleme alınmıştır.

Konuşma iletim indeksi STI (Houtgast & Steeneken, 1971) konuşma anlaşılabilirliğinde önemli ölçütlerden biri kabul edildiği için, 125 - 8 kHz oktav bandındaki bozulmaların ağırlıklı toplamı olan modülasyona uğramış iletim fonksiyonu (Brüel & Kjør, 1988 s. 17), harimin sinyali nasıl bozduğu hakkında bilgi sağlamak için ayrıca ele alınmıştır.

Araştırmalar Belirginlik D50 (Thiele, 1953, s. 293-302) değerinin yüzde 40'ın üzerine çıkması durumunda anlaşılabilirliğinin %85'lerin üzerine çıktığını göstermiştir (Kuttruff, 2017 s. 169). Harimlerde 40-55 arası değerlerin yeterli olacağı kabul edilmektedir.

Ezgisel okumalarda, akustik yansımaların konuşma sinyallerine göre daha az algılanabilir olması, yararlı yansımalarda zamansal sınırın yüksek olması, ezgisel etkinliklerde erken ve geç gelen enerji aralığının 80 ms, konuşma içerikli etkinliklerde 50 ms olarak kabul edilmesini gerektirmiştir (Xiang, 2017, s. 513). Bu bağlamda harimlerde 0 dB seviyeleri aşılmamalıdır (Tablo 1).

İbadete açık mekânların NC 25-30 aralığında bulunması önerilir (Long, 2006 s. 89). Sınır aşıldığında S/N oranı 1'e yaklaşacağı için anlaşılabilirliğinin olumsuz yönde etkilenmesi beklenir. Ölçüm sırasında salon içi HVAC üniteleri susturulmuş olmakla birlikte, cümle kapılarının açık, çarşı gürültü emisyonunun yüksek oluşu iç gürültü seviyelerinin ayrıca tespit edilmesini gündeme getirmiştir. Dini tesislerde iç gürültünün  $L_{eq} \leq 35$  ya da  $\leq 39$  dBA koşullarını taşıma zorunluluğu bulunmaktadır (ÇGDYY, 2010).

Hacim akustiği analizleri iki ayrı yöntemle yapılmıştır: 1) Gerçek zamanlı saha ölçümlerine dayanan veri analizleri, 2) 3D modellemeler. Benzetim yazılımları için yüzeylerin emici malzeme optimizasyonu, Sabine eşitliğine dayalı hesaplamalar, harim ortalama emicilik değerleri ve dolu salon çınlama süreleri mühendislik yöntemler ile tahmin edilmiştir.

Gerçek zamanlı ölçümlerde karşılıklı kaynak etkileşimini önlemek için mikrofonlar standartlar ile bildirilen en düşük alıcı-kaynak ölçüm uzaklığı eşitliği ile 4 ile 6 arası alıcı noktası tespit edilerek yerleştirilmiştir. RIR kayıtları ölçüm tekrarları üç kaynak (S1:mihrab, S2:minber, S3:kürsü) ve dört (veya altı) alıcı nokta (R1-R6) yerleşimi ile standartların ölçüm gereklerini karşılamıştır. Tüm alıcılar gerçek zamanlı ve çok kanallı ölçme yöntemi ile (Durmaz, 2021, s. 585-89), tüm mikrofonlar akustik ve kayıtlı sistem bileşenleri (Durmaz, 2016b) elektronik olarak kalibre edilmek suretiyle çalışılmıştır. Ortak koşullara sahip birden fazla RIR sonuçları konumsal ortalamaları alınarak incelemeye tabi tutulmuştur. Dürtü dalga formları gürültü patlaması ve noktasal çok yönlü kaynak yöntemi ile dijital kayıt formatında toplanmış, laboratuvar ortamında Dirac v6, MATLAB 2019a ve ODEON 13 endüstri yazılımları ile analizleri yapılmış, Excel ortamında kapsamlı grafikleri oluşturulmuştur. Akustik ölçümlerin dalga formları (ve arka plan gürültü seviye ölçümleri) gelecekte bina akustiği performans değerlendirmelerinde kullanılmak üzere 20Hz-20kHz

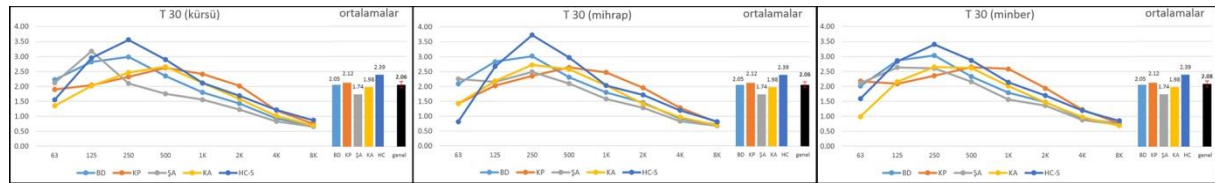
bandında 1/3 oktav çözünürlüğünde arşivlenmiştir. Akustik analizler oktav band ve 125-4000 Hz frekans aralığı ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışma TS-EN-ISO 3382 serisini karşılamaktadır.

RIR kayıtlarından okunan ortalama emicilik değerleri, Harimlerin doluluk durumunu gösteren senaryolar için frekans bantlarına göre hesaplanmış, ISO 11654'e göre ağırlıklı emicilik ve çınlama süreleri ayrıca tahmin edilmiştir.

Son olarak, 3D Harim modelleri üzerinde halı kaplı zemin, taş ve mermer gibi parlak yüzeyler ile cam ve ağaç kaplı yüzeylerin emicilik katsayıları Odeon malzeme arşivinden seçilerek atamaları yapılmış, gerçek ölçümden alınan veriler referans kabul edilerek malzeme optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Kişi başına düşen namaz kılma alanı 0.75 m<sup>2</sup> (Diyanet CPTK, 2021, s. 14) kabul edilmiştir. Harimlerin davranışları akustik benzetimler üzerinde %50 ve %80 doluluk durumları için incelenmiş, dolu ve boş harim cevaplarının T30 değerleri karşılaştırılmıştır.

## 5. Bulgular ve Değerlendirme

En yüksek çınlama süresi en büyük hacme sahip HR harimindedir: Sırasıyla KP, BD, KA ve ŞA izler. Tüm harimlerin T30 ortalaması 2.07 sn olarak gerçekleşmiştir. Değerler Cuma'ları veya diğer özel günlerde yoğun cemaat katılımları sayesinde daha düşük ve makul seviyelere inebilir. İncelenen beş caminin uyarı sinyaline verdikleri cevapların >250 Hz frekans bölgesi için istenen sınır değerlere uygun olduğu söylenebilir. Alçak frekans bölgesinde (<200 Hz) doğal bir enerji artışı izlenmektedir (Görsel 6). Harim zeminleri her ne kadar altı keçe destekli halı kaplı olsa da, zemin formları dikdörtgendir. Merkez kubbelerin çapı seste odaklanmalara sebep olmayacak formda, oda yüksekliklerine eşit veya biraz daha büyüktür. Harimlerde belirgin düzeyde ses odaklanmaları izlenmemiştir. Diğer taraftan mahfilleri perde ile kapatılmamış olan camilerde (HR ve BD gibi) hacimler ve harim derinlikleri alçak frekanslarda kısmen rezonatif sonuçların oluşumuna işaret etmektedir. Genel olarak çınlama süreleri ile erken azalım süreleri orta ve üst frekanslarda uyumlu, kısmen homojen görünüm sergilemektedir (Görsel 7). Bu iyi bir sonuç olarak kabul edilebilir.



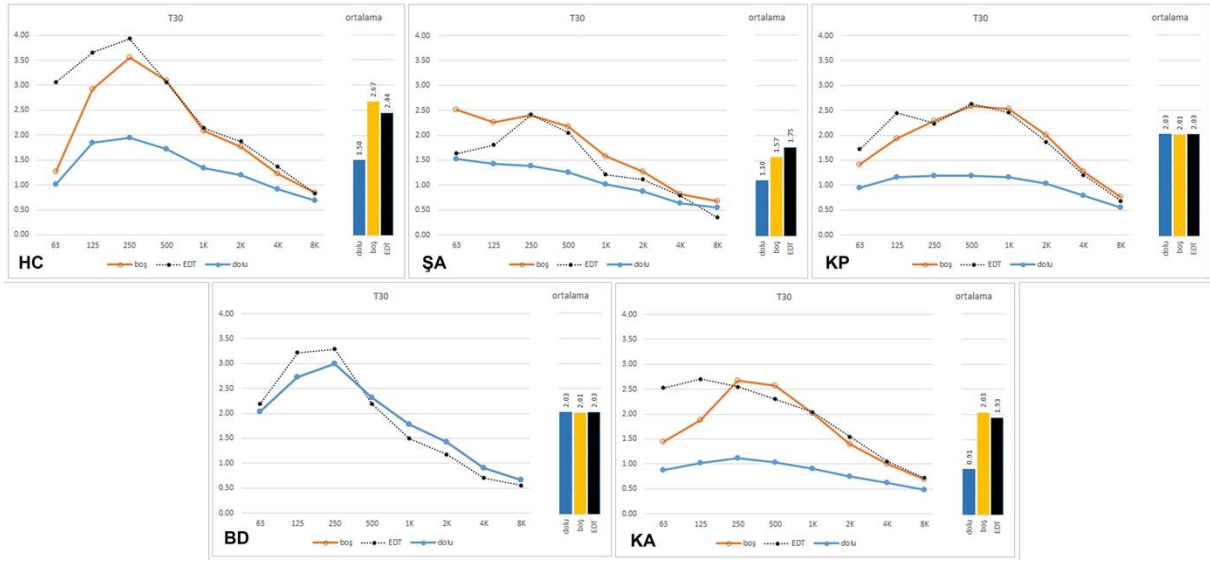
**Görsel 6.** Beş harimin üç kaynak noktası oktav band T30 ortalama grafikleri ile tek sayılı ortalama değerleri.

Dolu harimlere ait emicilik değerlerinin ağırlıklı sonuçları ( $\alpha_w$ ) ISO 11654 standardına göre tahmin edilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Harimlerin %80 dolu senaryolarda kullanılan oktav band ve ağırlıklı emicilik değerleri.

	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	$\alpha_w$
HR	0,386	0,167	0,137	0,158	0,233	0,277	0,396	0,577	<b>0,24</b>
ŞA	0,155	0,172	0,163	0,180	0,247	0,306	0,475	0,576	<b>0,26</b>
KP	0,272	0,199	0,168	0,149	0,152	0,192	0,302	0,508	<b>0,19</b>
BD	0,189	0,141	0,129	0,166	0,216	0,270	0,430	0,581	<b>0,24</b>
KA	0,201	0,154	0,108	0,113	0,143	0,207	0,290	0,419	<b>0,17</b>

Erken azalım süreleri ile T30 değerleri alçak frekans bölgesi hariç homojen bir davranış sergiler (Görsel 7). Erken azalım ile çınlama süresinin birbirine yakın olması konuşma ve solo insan sesine yönelik hacimlerde beğenilen bir özelliktir. Bu, uyumlu bir davranış biçimidir ve tercih nedenidir. Cemaate yakın yüzeylerin akustiğe karşı duruşu, sesteki yansıtma ve saçılma davranışlarına olumlu yönde etki etmektedir.



**Görsel 7.** Harimlerin boş ve %80 dolu senaryolarındaki cınlama süreleri ve EDT.

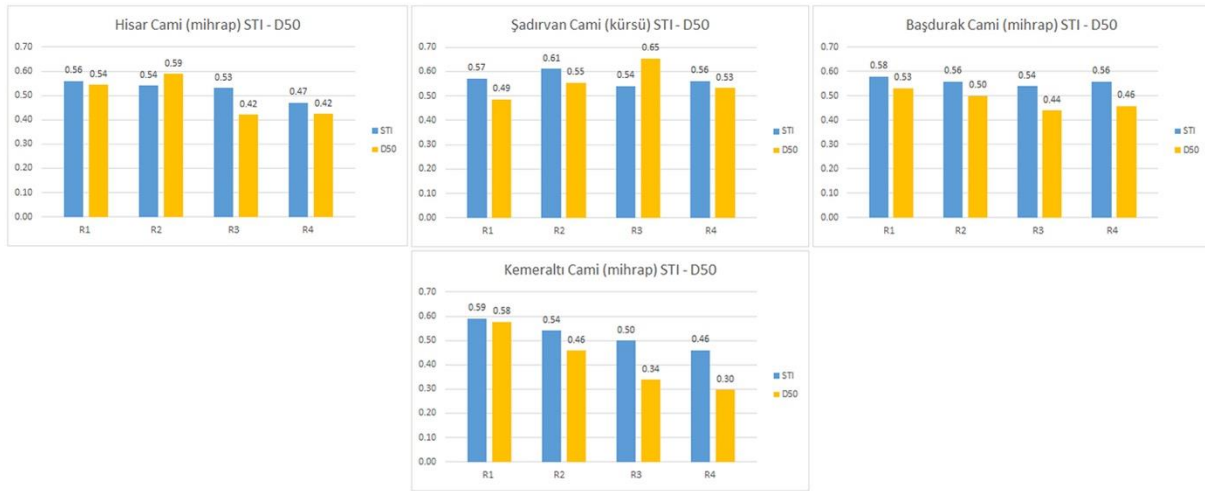
Erken enerji seviyesi değerinin ilgili standartta  $< 4\text{dB}$  olması gerektiği belirtilse de bu çalışmada imamın kıraatları, kürsü konuşmaları, harim içi tilavetler hatta özel günlerde seslendirilen ilahiler ve diğer ezgisel etkinlikler göz önüne alındığında,  $< 0\text{dB}$  değeri tercih edilmiştir. Bu noktada bütün camilerin harimlerinde netlik adına uygun değerlerin karşılandığı söylenebilir. Netlik bakımından en iyi performans sergileyen kaynak noktasının, zeminden 2m yüksekte bulunmasının da yarattığı avantajla, minber olduğu görülmüştür (Tablo 4). Bu duruma kürsü alıcı noktasındaki performansı ile sadece HR uyum göstermez. En büyük hacme sahip HR ve ŞA en başarılı netlik değerlerini mihrab konumunda ortaya koyar. Cemaate arkası dönük olsa da özellikle yakın konumdaki duyumlarda, mihrabın odaklayıcı yüzeyinin imamın sesine katkıda bulunduğu gösterilmiştir. En başarılı kaynak noktalarının sırasıyla ŞA, KP ve BD harimlerinde kürsü, minber, mihrab; HR ve KA harimlerinde mihrab, kürsü, minber dizilişine uyduğu gösterilmektedir.

**Tablo 4.** Üç kaynak noktası S1, S2, S3 için ölçülen en düşük en yüksek ve ortalama netlik (dB) değerleri.

C80 <sub>500-1000</sub>		Minber, S1	Mihrab, S2	Kürsü, S3	Ortalama	
HR	min	-3,97	-4,03	-4,82	-4,26	-2,31
	max	-0,97	0,20	-0,38	-0,36	
ŞA	min	-2,04	-1,44	-1,33	-1,59	0,36
	max	-0,25	0,41	3,79	1,70	
KP	min	-3,80	-4,42	-2,55	-3,52	-2,38
	max	-1,47	-2,30	-0,79	-1,48	
BD	min	-1,89	-2,68	-1,74	-2,08	-1,36
	max	-1,09	-0,58	-0,56	-0,74	
KA	min	-4,78	-4,01	-3,69	-4,14	-3,48
	max	-2,02	-3,70	-3,15	-2,90	

Konuşma iletim indeksi açısından öngörülen  $>50$  seviyesi çoğu harimin alıcı noktasında sağlamıştır. Dört caminin S3 kaynak (kürsü) ve ilk dört alıcı noktası (R1-R4) için oluşturulmuş ortalama STI değerleri ile D50 sonuçları (Görsel 8) örnek grafiklerde izlenebilir. İletim indeks değerlerinin genel olarak tatmin edici olduğu görülmüştür.

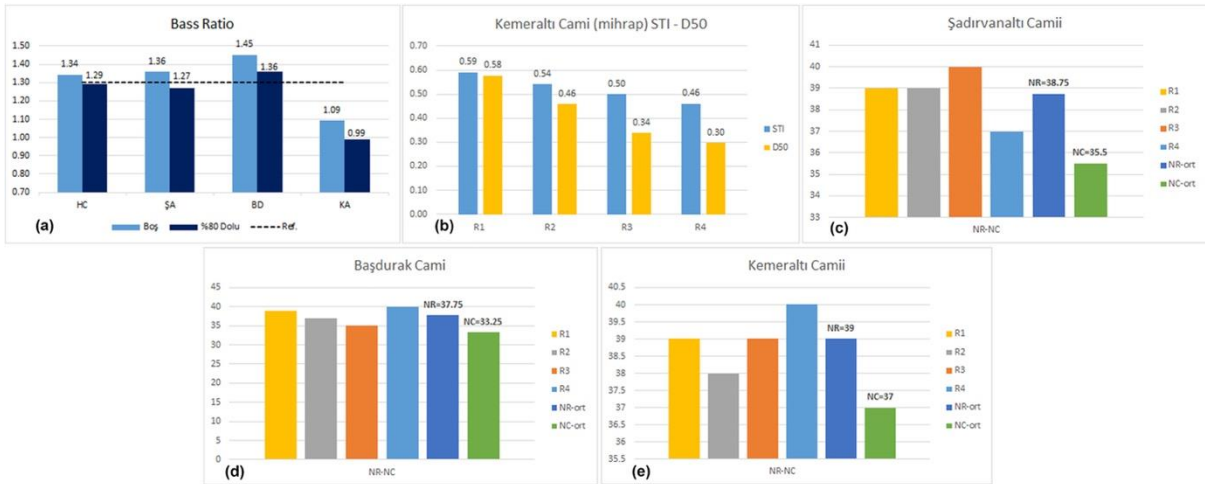




**Görsel 8.** Dört caminin S3 kaynağına göre STI ve D50 karşılaştırmaları.

Belirginlik D50 değerleri için yüzde ellinin üzerinde performans bulunamamıştır. HR en yakın ilk iki ölçme noktasında %47, ŞA tüm alıcı noktalarında, BD ve KA ise harimlerin sadece en yakın dinleme konumlarında bu değeri sağlayabilmiştir. Kendi içindeki ortalamalarda %50 belirginlik değerini sadece HR ilk alıcı noktasında aşabilmiştir. Tüm ölçümler itibariyle değerlendirildiğinde beş caminin % 68'i >0,40; % 47'si > 0,45 ve % 21'i 0,48 değerini karşılayabilmiştir.

RIR analizleri Bas oranı açısından HR hariminin (1,45) ile istenen sınır değerinin üzerinde KA ve KP'nin ise altında kaldığını göstermektedir. Grafik boş/dolu salon verilerine aittir (Görsel 9a). 3D benzetimlerde % 80 dolulukta değerlerin normal seviyelere indiği gözlenmiştir. KP harimindeki düşük bas oranı sıra dışı bir sonuçtur. Olasılıkla yapının zemininin görece küçük, duvarların çıplak, harimin tadilatla ve tefrişatsız, zemin halılarının sökülük durumda olması gibi nedenler etkenleri olmalıdır.



**Görsel 9.** Harimlerin çınlama süresine bağlı BR değerleri (a) ve Dört cami için ilk dört alıcı noktadaki (R1-R4) gürültü ölçütleri ve ortalama gürültü ölçütleri (b-e).

Tüm camiler için NC değerleri kabul edilebilir sınırların üzerindedir. HR harimi dışında NC 33'den daha iyi performans gösteren bir cami bulunmamaktadır. Özellikle ilk dört alıcı noktasında yapılan ölçümler, çıkış kapılarına yakın alıcıların daha yüksek arka plan gürültüsü tespit ettiğini göstermiştir. Hemen tüm harimlerde pencerelerin gürültüye karşı korumasız olması, arka plan gürültü kontrolünü zorlaştırmaktadır. İstenen NC değerlerini karşılayan cami yoktur ve bu durum harim dış kapıları veya camekân ile kapatılmış mahfilleri dışında kalan dört ölçüm noktasından (R1-R4) alınan NC değerlerinde izlenir (Görsel 9b-e).

## 6. Sonuç

T30 davranışları açısından %80 doluluk durumunda harimlerin hepsi kabul edilen çınlama sürelerini karşılamıştır. İki yüz elli Hz altında kalan frekanslarda aşırı yükselmeler gösterse de dolu salonlarda bu etkilerin azaldığı gözlenmiştir. Zeminlerin tamamen halı kaplı olmasının çınlama süresi üzerindeki olumlu sonuçları açıkça görülür. Netlik açısından sese en uygun konumun Mihrab olduğu anlaşılmaktadır. Ölçüm değerleri kürsü konumunda yapılan konuşmaların yansıtıcı arka duvarlar nedeniyle daha yüksek enerjili doğrudan iletilen enerji bakımından anlaşılabilirliğe olumlu katkıda bulunduğu işaret eder. Konuşma iletim indeksi ve Belirginlik açısından tüm harimlerde öngörülen sınır değerler %50'ye yakın oranda karşılanmıştır. Elektro-akustik sistem desteği olmadan yapılan ölçümler bu sonuçları gösterse de, mikrofon ve ses sistemi ile mevcut sorunların aşılması rahatlıkla mümkün olabilir. Bas oranları üç harimde de yüksek değerlerde gerçekleşmiştir. Cemaat sayısının artması ile 250-500 Hz bölgesinden kaynaklanan etkilerin azalması beklenebilir. Arka plan gürültü seviyeleri tüm camilerde sınırların üzerindedir. Cümle kapılarının sürekli açık tutulması, camilerin yoğun insan ve satıcı trafiği olan bölgede konuşlanma gürültünün en önemli besleyicileridir. Cümle kapıları kapansa bile kapı doğramalarının uygun tasarım ve koruma özelliklerinden uzak olması, harim pencerelerinin sese karşı korumasız yapısı arka plan seviyelerini olumsuz yönde etkilemektedir. Sonuçları anlaşılabilirlik ve cemaat ile iletişimin zayıflaması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Çevresel gürültü ve uygun olmayan yapı elemanlarına bağlı oluşan sonuçların aslında önlenilebilir faktörlere dayandığı anlaşılmaktadır. Arka plan gürültü seviyeleri açısından yasal sınır NC 25 değerini karşılayan cami bulunmamaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışmanın akustik ölçümleri, T.C. İzmir Konak Kaymakamlığı İlçe Müftülüğü' nün 23.12.2021 tarihli olurları ile gerçekleştirilmiştir.

## Kaynakça

- Aktepe, M. M. (1972). Osmanlı devri İzmir Cami'leri hakkında ön bilgi. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Tarih Enstitüsü Dergisi*, 3, s. 177-212.
- Aktepe, M. M. (1973). İzmir'in Hisar veya Yakub Bey Cami'i. *Tarih Dergisi*, (27), 85-98.
- Atay, Ç. (1978). *Tarih içinde İzmir*. Yaşar Eğitim ve Kültür Vakfı Yayınları.
- Brüel & Kjør. (1988). *Measurement in building acoustics*. Booklet, BR 0178-13.
- Bulut, L. (1996). İzmir camilerinde alçı süsleme. *Sanat Tarihi Dergisi*, 8(8).
- CPTK. (2021). *Cami planlama ve tasarım kılavuzu*. T.C. Cumhurbaşkanlığı Diyanet İşleri Başkanlığı Yönetim Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- ÇGDYY. (2010). *Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği*. Başbakanlık, 27601.
- Çobanoğlu, A. V. (2010). Şadırvanaltı Camii. *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi*, Cilt 38, s. 221-222. <https://islamansiklopedisi.org.tr/sadirvanalti-camii>
- Durmaz, S. (2021). Canlı müzik ve eğlence gürültüsünde düşük frekanslı ve darbesel seslerin değerlendirilmesi. *Journal of international social research*, 14 (77).
- Durmaz, S. (2016a). İzmir'deki konser salonlarının akustik performansları. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9, s. 44, 1433.
- Durmaz, S. (2016b). Devlet Tiyatroları İzmir Konak sahnesinin akustik özellikleri. *yedi: Sanat Tasarım ve Bilim Dergisi*, (15), 142.
- Gazete, R. (2017). *Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelik*. Başbakanlık, 30082.
- Gazete, R. (2018). *Binaların gürültüye karşı korunması hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik*. Başbakanlık, 30437.
- Houtgast, T. & Steeneken, H. J. (1971). Evaluation of speech transmission channels by using artificial signals. *Acta Acustica united with Acustica*, 25(6), 355-367.

- ISO 3382-1. (2013). TSE-EN-ISO 3382-1: *Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 1: Gösteri mekânları*, Türk Standartları Enstitüsü.
- ISO 3382-2. (2013). TSE-EN-ISO 3382-2: *Akustik - Odaların akustik parametrelerinin ölçülmesi - Bölüm 2: Sıradan odalarda çinlama süresi*, Türk Standartları Enstitüsü.
- ISO 11654. (1997). *Acoustics-sound absorbers for use in buildings-rating of sound absorbtion*. Int'l Organization of Standardization.
- IEC 60268-16. (2003). *Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*. International Electrotechnical Commission
- KİPR. (2002). Kemeraltı koruma amaçlı imar planı revizyonu, *DEU Mimarlık Fak. Şehir Bölge ve Planlama Böl.*
- Kuttruff, H. (2017). *Room acoustics*. Crc Press.
- Long, M. (2006). *Architectural acoustics*. Elsevier.
- Önkal, H. (2012). Kemeraltı cami dizisinin incisi: Kestanepazarı Camisi. *Kültür ve Turizm Dergisi*, 16, s. 110-118.
- Templeton, D. (1997). *Acoustics in the built environment: Advice for the design team*. Butterworth-Heinemann.
- Thiele, R. (1953). Richtungsverteilung und zeitfolge der schallruckwurfe in raumen, *Acta Acustica*, 3(2), s. 293-302.
- Xiang, N. (Ed.). (2017). *Architectural acoustics handbook*. J. Ross Publishing.
- Yılmaz, F. ve Yetkin, S. (2002). *İzmir kent tarihi, İzmir liseleri sertifikalı kent tarihi konferansları projesi*. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.