

# SÜLEYMANİYE CAMİ'NİN KUBBESİNDE YER ALAN SEBULARIN AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**Gülrihan ATAY<sup>1</sup>**

**Bilkent Üniversitesi**, Çankaya, Ankara, Türkiye  
e-posta: gulrihan.atay@bilkent.edu.tr

**Zühre SÜ GÜL<sup>2</sup>**

**Bilkent Üniversitesi**, Çankaya, Ankara, Türkiye  
e-posta: zuhre@bilkent.edu.tr

## ÖZET

Sebuların üst yapı elemanları olarak kullanımını özellikle orta çağ yapılarında sıklıkla karşılaşılan bir uygulamadır. Bu elemanların akustik kontrol amaçlı mekâna yerleştirilen yapı elemanları olduğu önerisi güçlü olmakla birlikte elemanların yapı içerisindeki ana işlevleri belirsizliğini korumaktadır. Mimar Koca Sinan'ın eserlerinde çokça gözlemlenen bu uygulamanın yapıların akustiğine sağladığı katkının deneysel çalışmalarla incelenmesi, bu elemanların yapıda bilinçli olarak boşluklu rezonatör olarak kullanılıp kullanılmadığının bilimsel tespiti için önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, Süleymaniye Cami'nde yer alan sebuların hacim içerisindeki ses enerjisinin kontrolüne katkısını tartışabilmektir. Çalışma öncelikle bir arşiv araştırması ile başlar. Buna göre, Süleymaniye Cami'nin kubbesinde tespit edilen sebuların özgün ölçülerinde tekrar üretimini ve bu üretim üzerinden gerçekleştirilen empedans tüpü ölçümlerini kapsar. Sonuç bölümünde elde edilen öncü veriler üzerinden sebuların ses yutma performansları ve camii akustiğine etkileri değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Helmholtz rezonatörü, sebu, ses yutma katsayısı, empedans tüpü ölçümleri, cami akustiği

## **INVESTIGATION OF THE ACOUSTICAL PROPERTIES OF THE CLAY POTTERY EMPLOYED IN THE DOME OF SÜLEYMANİYE MOSQUE**

### **ABSTRACT**

*Employment of clay pots presumably as cavity resonators is a common practice especially in the medieval age structures throughout Europe and Near East. They are also present in medieval Ottoman Architecture including Süleymaniye Mosque designed by Sinan the Architect Laureate. Although these elements placed in the dome of Süleymaniye are known to be employed for improving the acoustical quality of the space, a scientific account regarding their sound-absorption performance is needed so as to understand whether they are actually employed as cavity resonators. Thus, the objective of the study is to initiate a discussion on their precise contribution to the acoustics of the mosque. The study covers an archival research phase and then proceeds with the impedance tube measurements conducted with the reproduced sample of an actual-sized clay pot employed in the structure. In the conclusion part, sound-absorption performance of clay pots and their possible contribution to the mosque acoustics are discussed in respect to the preliminary data derived from the impedance tube measurements.*

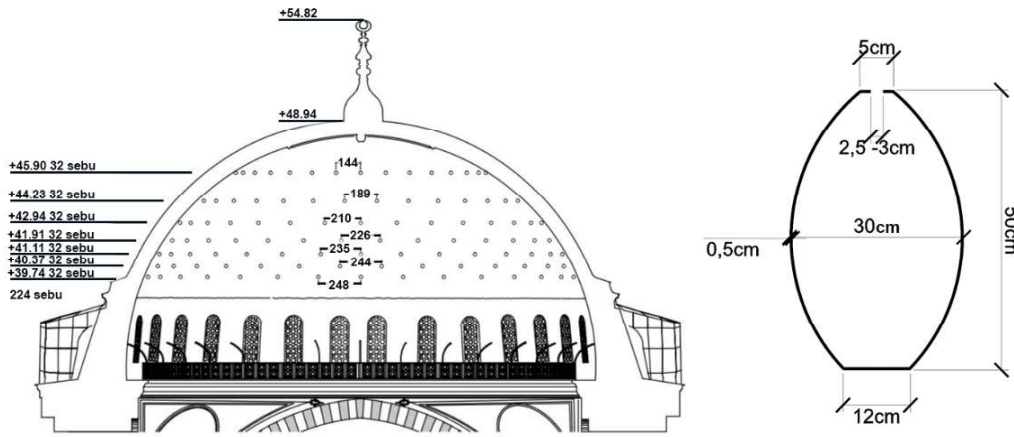
**Keywords:** *Helmholtz resonator, clay pots, sound absorption coefficient measurements, impedance tube measurements, mosque acoustics*

## 1. GİRİŞ

Kil çömleklerin ortaçağ ve erken-yeniçağ başta olmak üzere yapı elemanları olarak kullanıldığı bilinmektedir. Mimaride farklı amaçlara hizmet eden bu kullanım, Avrupa ve Yakın Doğunun yanı sıra Anadolu topraklarında da gözlemlenmiştir. *Sebu* olarak da adlandırılan bu topraktan yapıma çömlekler; yapının havalandırılması, yapı yükünün hafifletilmesi ve taşıyıcı eleman olarak kullanılmalarının [1] yanı sıra yapıda akustik kontrolün sağlanması bağlamında süregelen tartışmaların odağı olmuşlardır. [2] Bu tartışmalar, formlarındaki benzerlik itibarıyla *sebuların* yapılarda boşluklu/kovuk rezonatör, bir diğer adıyla Helmholtz rezonatörü, olarak işlev gördüğü fikri üzerine yoğunlaşmaktadır. Dünyada da *sebuların* yapıların hacim akustiğini iyileştirdiği öngörülen kullanımları çeşitli çalışmalar dâhilinde incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları; Fransa'da gerçekleştirilen ve çevre ülkelerden yaklaşık 50 kiliseyi kapsayan incelemeler [3], Sırbistan'da [4, 5], Rusya'da [6], İsviçre'de [7, 8], Yunanistan'da [9] ve Avrupa kıtasındaki benzer örnekleri kapsayan diğer çalışmalar [10] olarak sıralanabilir.

*Sebuların* yapıda akustik amaçlı kullanımlarında Anadolu ve Rumeli'de akla gelen ilk isimlerden birisi Mimar Koca Sinan'dır. Sinan'ın kalfalık eseri olarak adlandırdığı 1557 tarihli Süleymaniye Cami, son restorasyon çalışmalarında cami kubbesinde tespit edilen 224 adet *sebunun* ardından, [11] tarihi yapılarda bulunan kil elemanların yapıların akustiğe katkısına dair incelemelerdeki ilgi odağı konumunu sağlamlaştırmıştır. Süleymaniye Cami, 75000m<sup>3</sup> akustik etkileşimli iç hacme sahip anıtsal boyutlarda bir Klasik Dönem Osmanlı yapısıdır. Kare kütleli merkezi plana sahip yapının 26,2 metre çapında ve 49,50 metre yüksekliğindeki devasa kubbesi 4 adet fil ayağının üzerinde yükselir. [12] Ana kubbe, Kuzey-Güney aksında yerleştirilen ve eteklerinde ikişer eksedra ile desteklenen yarım kubbeler ile beslenir. Kare taban alanlı ana kitlenin Doğu ve Batısında beş küçük kubbe ile örtülmüş yan sahninler yer alır. Ömer Lütfi Barkan tarafından 1974 tarihinde günümüz Türkçesine çevrilip derlemesinin yapıldığı Süleymaniye Cami ve imaretinin inşaatına ait muhasebe defterlerinin 88.'sinde, "cami içinde sadânın aksini kuvvetlendirmek için" kubbeye yerleştirilmek üzere satın alınmış 255 adet *sebunun* varlığından söz edilir. [13] Buna ek olarak 2007-2011 tarihleri arasında gerçekleştirilen restorasyon uygulamaları sırasında 224 adet *sebunun* kubbe yapısının tuğla örgülerinin içinde ışınsal olarak yerleştirildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmalarda ana kubbe kasnağının üstünden başlayarak +39,74 metre kotundan +45,90 metre kotuna dek yükselen 7 halkada eşit aralıklarla yerleştirilmiş 32'şer çömlek bulunmuştur. [11] Çömleklerin ağızlarının caminin iç mekânına açılması, *sebu* kullanımının yapının birçok çağdaşında olduğu üzere üst yapının hafifletilme

kaygısından çok akustik kontrol amaçlı olabileceği fikrini güçlendirmektedir. Bahsi geçen *sebular* 50 cm yüksekliğinde ve en geniş olduğu noktada 30cm çapa sahip kulpsuz çömleklere dir. Restorasyon şantiye şefi mimar Nilgün Olgun, *sebuların* 2,5 ila 3 cm arasında değişen çaplardaki deliklerle iç mekâna bağlandıklarını belirtmiştir. [14] Restorasyon çalışmalarında kubbe yapısında ve bazı *sebular*da çatlaklar tespit edilmiştir. Çömleklere orijinal hallerindeki olası akustik işlevlerinin korunması amacıyla *sebu* içlerine yerleştirilen naylon torbalar yardımıyla çatlaklara hidrolik kireç enjeksiyonu uygulanmış ve çatlaklar onarılmıştır. [11] Çömleklere kubbedeki yerleşimleri ve boyutları Şekil 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1 Süleymaniye Camii kubbesinde sebuların yerleşimleri ve sebu ölçüleri [13]

*Sebuların* kubbedeki yerleşimlerinin akustik kontrol amaçlı olabileceği ihtimalini destekleyen bir diğer unsur, iç-bükey kubbe formunun hacim içerisinde akustik konfor koşullarını bozan bir geometri olduğunun bilinmesidir. İç bükey yüzey, ses odaklanması gibi akustik marazlara sebebiyet vererek bazı noktalarda ses patlamaları yaratırken başka konumlarda ölü noktalar oluşturur. [15] Mekân içerisinde homojen ses dağılımının engellenmesi, hacim içerisinde sesin anlaşılabilirliğinin düşmesi ile sonuçlanır. Kubbe geometrisi içerisine gömülen yeterli miktarda *sebu*, iç bükey yüzeyde asimetric hareketlenmeler yaratarak saçınımı artırır ve ses dalgalarının mekânda homojen dağılımını destekler. Mekânın akustiği ile ilgili gözlemlenen bir diğer problem, cami içerisinde yapılan geçmiş ölçümlerde düşük frekanslarda tespit edilen yüksek çınlama süreleridir. [15-18] *Sebuların* varlığı bahsi geçen çınlama sürelerinin düşürülmesinde etkili olmuş olabilir.

Süleymaniye Camii kubbesinde kullanılan *sebuların* yapının akustiğine katkısını anlamak için öncelikle elemanların etkin olduğu frekans aralığının

tespiti gereklidir. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama benzer uygulamaların gözlemlendiği tarihi yapılara dair arşiv bilgilerinin taranması, ikinci aşama analitik, deneysel ve nümerik metotlarla *sebuların* aktif olduğu frekans aralığındaki ses yutma katsayılarının ölçülmesidir. Üçüncü aşama ise elde edilen ses yutma katsayılarının hacim akustiği parametrelerine etkisini gözlemleyebilmek adına gerçekleştirilen ışın izleme benzetimleridir. Birinci aşamanın sonuçları bir başka çalışmada özetlenmiştir. [19] Bu bildiri, çalışmanın ikinci aşamasında yer alan deneysel metot olan empedans tüpü ölçümlerini kapsamaktadır.

## 2. EMPEDANS TÜPÜ ÖLÇÜMLERİ

Helmholtz rezonatörlerinin etkili olduğu frekans aralığı yaygın olarak analitik hesaplamalar aracılığıyla bulunmaktadır. Bu bağlamda Süleymaniye Cami yapısında gözlemlenen *sebular* gibi boyunsuz rezonatörlerin rezonans frekanslarını bulmak için en sık kullanılan analitik denklem olan Helmholtz Formülü aşağıda belirtilmiştir. [20]

$$f_n = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi a^2}{V(l_0 + 1.7a)}} \quad (1)$$

Ancak bilinmektedir ki tarihi yapılarda kullanılan *sebuların* özellikle boyun kısımlarındaki organik ve düzensiz formlar, çömlüklerin efektif boyun uzunluklarının hesabını zorlaştırmakta, ve *sebuların* rezonans frekanslarının analitik hesabını karmaşıktırılmaktadır. Bu nedenle tarihi yapılarda kullanılan ve “Helmholtz rezonatörü” olarak işlev gördüğü varsayılan yapı elemanlarının etkili olduğu frekans aralıklarını hesaplamak için kullanılan Helmholtz Formülü’ ne dair tartışmalar sürmektedir. Formüle göre yapılan hesaplamalarda Süleymaniye Cami kubbesinde bulunan *sebuların* rezonans frekansları yaklaşık 52 Hz olarak bulunmuştur. Bu durumda daha yüksek hassasiyete sahip sonuçlar elde edebilmek için Helmholtz Formülü’nün yanı sıra deneysel ve nümerik yöntemlerin de uygulanması gerekli görülmektedir.

Pandemi koşulları sebebiyle numunenin rastlantısal ses alanındaki (random incidence) ses yutma katsayılarının elde edileceği çınlama odası ölçümleri yapılamamıştır. Bunun yerine normal ses alanındaki (normal incidence) ses yutma katsayılarının elde edildiği empedans tüpü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Empedans tüpünde gerçekleşen düzlemsel dalga ölçümlerinin, kubbenin iç bükey formu neticesinde *sebuların* ses dalgalarını çoğunlukla dik açılı olarak



karşıladıkları göz önünde bulundurulduğunda, deney düzeneğinin camideki koşullara yakın olduğu yorumu yapılabilir.

Ölçümlerde S.C.S Kundt Tüpü ile ISO 10534-2: 1998 standardına göre gerçekleştirilen transfer fonksiyon metodu uygulanmıştır. Ses yutma katsayısı ( $\alpha$ ) ölçümlerinde 2 adet eşlenik mikrofon kullanılmıştır. *Sebunun* 50 Hz -1000 Hz aralığındaki ses yutumu için 100 mm iç çapa sahip büyük tüp kullanılırken, 1000 Hz-5000 Hz aralığındaki ses yutma performansının ölçümü için 28mm iç çapa sahip küçük tüp kullanılmıştır. Ölçümlerden önce mikrofon ve tüpler kalibre edilmiştir.



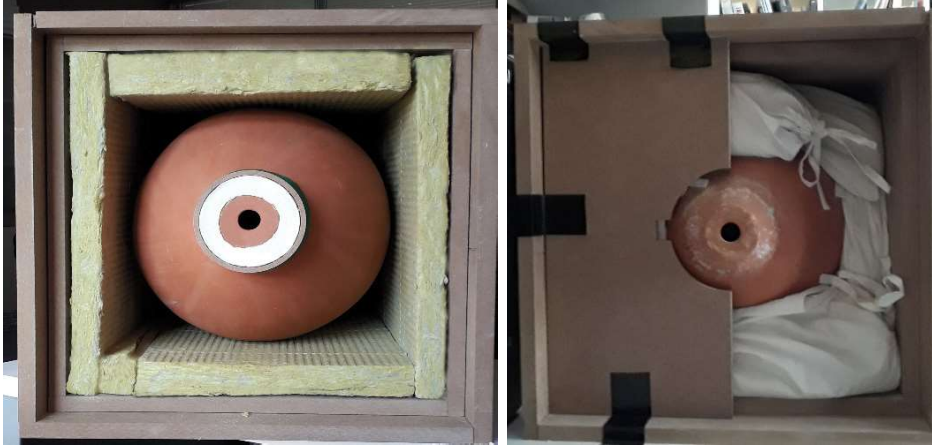
Şekil 2 Empedans tüpü deney düzeneği

Empedans tüpü ölçümleri için öncelikle Süleymaniye Camii kubbesinde bulunan *sebuların* birebir ölçülerinde bir numune Avanos'ta torna üzerinde üretilmiştir. Üretilen numune görseli Şekil 3'te gösterilmektedir. Empedans tüpü ölçümlerinde kullanılan numuneler, standart ölçümlerde tüpün ön bölümüne mühürlenerek tüp içi ve dışı arasındaki hava geçişini engelleyen numune tutucusu vasıtasıyla cihaz içerisine yerleştirilmektedir. Mevcut durumda *sebu* boyutlarının empedans tüpü iç çapından büyük olması sebebiyle numune tutucu arka ünite kullanılamamış, bunun yerine numunenin empedans tüpünün ağzına bağlandığı konuma yerleştirilmek üzere özel bir bağlantı elemanı tasarlanmıştır. Bu bağlantı elemanı *sebunun* ağız formuna boşluksuz oturan alçı kısım ve alçının tüpün içerisine boşluksuz yerleşmesini sağlayan MDF halkalardan oluşmaktadır.



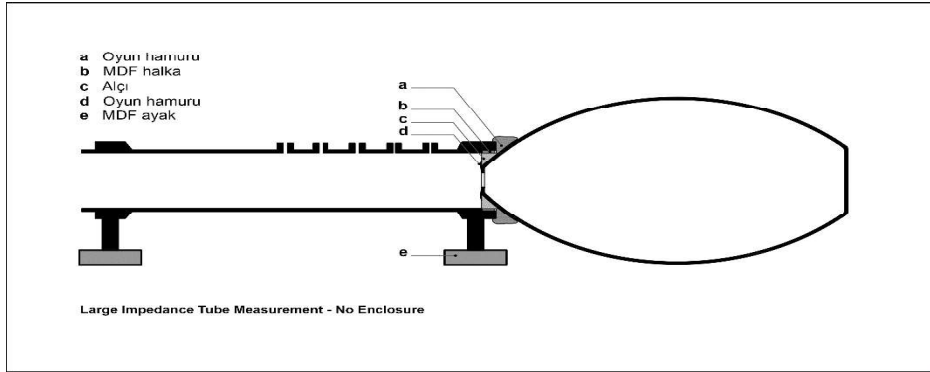
**Şekil 3** Empedans tüpünde kullanılmak üzere üretilen numune (sol), bağlantı elemanı için alçı kalıp çıkarılması (orta) ve MDF halkalarla tamamlanan bağlantı elemanı (sağ)

Alçı formun üretimi için öncelikle orijinal ölçülerdeki numunenin ağız bölgesinin alçı kalıbı çıkarılmış, ardından bu kalıp üzerinden yine alçı kullanılarak esas bağlantı elemanı üretilmiştir. Bağlantı elemanının *sebuyla* ve tüple bağlantısını sağlamlaştırmak için oyun hamuru ile gerekli bölgelerde destek uygulanmıştır. *Sebuların* kubbe içerisinde tuğlalar arasına gömülmüş yerleşimlerinin yüksek doğrulukla ölçümlere aktarılabilmesi için *sebunun* arkasındaki doluluğun dereceli olarak değiştiği üç konfigürasyon hazırlanmıştır. Konfigürasyonların ilkinde *sebu* arkasında bir destek olmaksızın çömlek tüpe bağlanmıştır. Diğer konfigürasyonlarda ise *sebu*, iç ölçüleri 40cm x 40cm x 51 cm olan ve kalınlığı 3,6 cm olan MDF bir kutunun içine yerleştirilmiştir. Kutunun içi sırasıyla yaklaşık 5cm kalınlığında mineral yünü ve kum dolu torbalarla doldurularak *sebunun* titreşiminin düşürülmesi amaçlanmıştır (Şekil 4). Böylece rezonatörün kubbede tuğlaların arasına gömüldüğü pozisyona benzer koşulların deney ortamında oluşturulması hedeflenmiş ve gelen ses dalgalarının eklenen yalıtım sayesinde tüpün içine geri yansımalarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. 2 farklı tüpün 3 farklı konfigürasyonla kullanılması sonucu 6 farklı test düzeneği oluşturulmuştur. Sonuçlar, “Ölçüm Sonuçları ve Tartışma” bölümünde karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

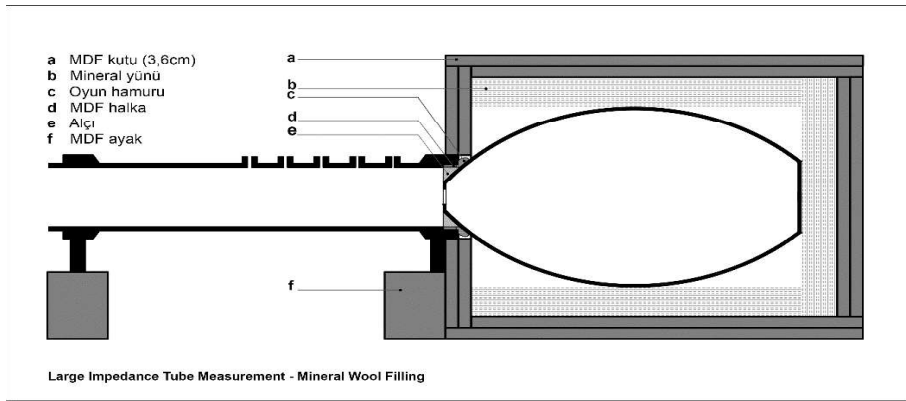


Şekil 4 MDF kutu içi dolgu malzemeleri: mineral yünü (sol); kum torbaları (sağ)

Ölçümlerin güvenilirliğini test etmek için her ölçüm yaklaşık olarak 10'ar defa tekrarlanmıştır. Şekil 5, 6 ve 7'de belirtilen kesitler kutulu konfigürasyonların büyük ve küçük tüplerle bağlantı detayını sunmaktadır. Büyük tüp veya küçük tüpte iç dolgunun değişmesi bağlantı detayını etkilememektedir.

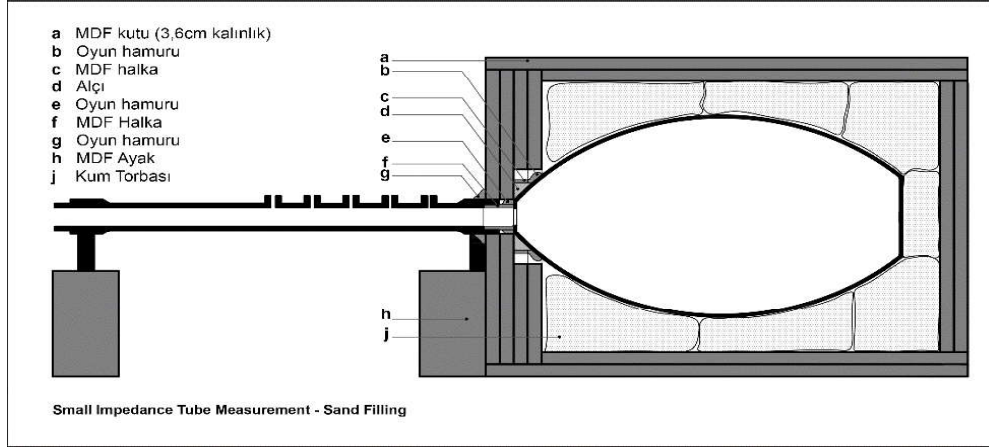


Şekil 5 Büyük tüp, kutusuz düzenek



Şekil 6 Büyük tüp, mineral yünü dolgu

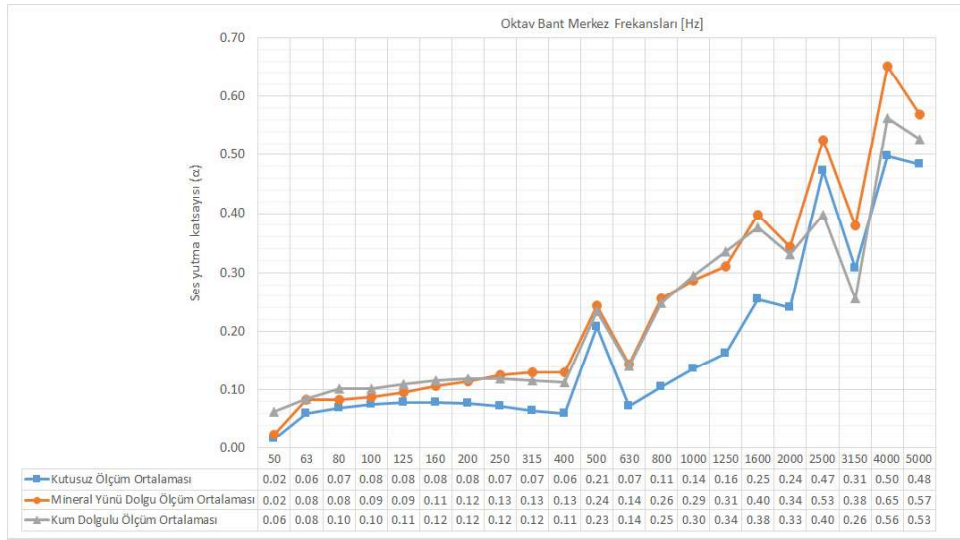




Şekil 7 Küçük tüp, kum torbası dolgu

### 3. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmada yüksek ve düşük frekansları kapsayan iki farklı boyutta empedans tüpünün kullanıldığı üç farklı deney konfigürasyonu üzerinden altı farklı deney düzeneği ile Süleymaniye Cami kubbesinde yer alan *sebuların* ses yutma katsayıları ( $\alpha$ ) frekans bazında ölçülmüş, 1/3 oktav bantlardaki sonuçlar Şekil 8'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere farklı konfigürasyondaki ölçüm değerleri birbirlerini destekler nitelikte bir sonuç ortaya koymaktadır. Analitik hesaplamalarda ortaya çıkan 52 Hz değerinin empedans tüpü ölçümlerinde gözlemlenmemesi, değer in tüp ölçümlerinin sınır frekans değerlerine denk gelmesi olarak yorumlanabilir. Sonuçlarda ortaya çıkan en dikkate değer farklılık, orta frekanslarda kutusuz yapılan ölçümlerde elde edilen ses yutma katsayılarının mineral yünü ve kum dolgulu kutulu ölçümlerle kıyaslandığında daha düşük katsayılar ortaya koymasındadır. Bunun sebebi tüp içerisinde kaynaktan gelen ses dalgalarının dolgu elemanı kullanılmaması nedeniyle *sebu* yüzeyinden geri yansımaları ve kutusuz ölçümün diğer konfigürasyonlara kıyasla görece daha düşük bir doğruluk payına sahip olması olarak yorumlanabilir. Bunun yanında MDF kutu ile yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçların orta frekanslarda birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda dolgu elemanı olarak kullanılan malzemelerin her ikisinin de *sebu* nün titreşimini azaltmak noktasında yeterli oldukları yorumu yapılabilir.



**Şekil 8** 1/3 oktav bantlarda üç farklı konfigürasyonun ortalama sonuçlarının karşılaştırılması

Üç farklı konfigürasyonda da 500 Hz civarında bir tepe gözlemlenmektedir. 2013 yılında camide yapılan çınlama süresi ölçümlerinde 500 Hz oktav bandında elde edilen 6.7 saniyelik değerın önceki yıllara ait ölçümlere göre 2 s daha kısa olduğu tespit edilmiştir. [15] Bu tespit, 2007 - 2011 yılları arasındaki restorasyon sürecinde kubbedeki *sebuların* onarıldığı göz önünde bulundurulduğunda dikkat çekici bir değişimdir. Tüm konfigürasyonlarda özellikle 500 Hz ve üzeri orta ve yüksek frekans oktav bantlarda elde edilen ses yutma katsayıları dikkate değer seviyelerdedir. Öte yandan özellikle 800 Hz'den itibaren gözlemlenen yüksek ses yutma katsayısı değerlerinin, toprak malzemenin porlu yüzey yapısından kaynaklı olduğu yorumu yapılabilir. Süleymaniye Camii kubbesi orijinal tasarımında özellikle orta ve yüksek frekanslarda etkili ses yutumuna sahip horasan sıva ile sıvanmıştır [21] Bu durumda yapının orijinal kubbe yüzeyinin ses yutma katsayısının, horasan sıvasının belirtilen frekans aralığındaki ses yutumuna katkılarıyla Şekil 8'de belirtilen değerlerden kısmen daha yüksek olması beklenebilir.

Çalışmanın ileriki aşamalarında empedans tüpü ölçümlerinde elde edilmiş olan öncül verilerin doğrulanması adına nümerik benzetimlerin yapılması planlanmaktadır. Yine gelecek aşamalarda elde edilen ses yutma katsayısı değerleri ışın izleme benzetimlerinde kullanılarak *sebuların* anıtsal iç mekândaki hacim akustiği parametrelerini ve akustik konforu ne derecede etkilediğinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

## TEŞEKKÜRLER

Yazarlar, 2007–2011 yılları arasında gerçekleştirilen Süleymaniye Cami restorasyonunda, kubbedeki sebuların yerleşimleri ve ölçülerinin yanısıra restorasyon sürecine dair kıymetli bilgileri paylaşan şantiye şefi Yüksek Mimar Nilgün Olgun'a teşekkürlerini sunmaktadırlar. Ayrıca ölçümlerde kullanılan empedans tüpü ve laboratuvar koşullarını sağlayan Mezzo Stüdyo'ya ve bunun üretim sürecine katkılarından ötürü Galip Körükçü'ye içten teşekkürlerini belirtmektedirler.

## 4. KAYNAKLAR

- [1] H. Tayla, *Geleneksel Türk Mimarisinde Yapı Sistem ve Elemanları*, vol. 1, 2 vols. İstanbul: TAÇ Vakfı Yayınları, 2007
- [2] M. Kayılı, “Sinan ve Boşluklu Rezonatörler” (Sinan and Cavity Resonators) *Gazi University Journal of Faculty of Engineering and Architecture*, vol. 3, no. 1-2, pp. 1-17, 1988.
- [3] J. C. Valière, B. Palazzo-Bertholon, J. D. Polack, and P. Carvalho, “Acoustic pots in Ancient and Medieval buildings: Literary analysis of ancient texts and comparison with recent observations in French churches,” *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 99, no. 1, pp. 70–81, 2013.
- [4] Z. Đorđević, K. Penezić, S. Dimitrijević, “Acoustic Vessels as an Expression of Medieval Music Tradition in Serbian Sacred Architecture”, *Muzikologija Musicology* vol. 22, pp. 105-132., 2017.
- [5] M. Mijic, D. Sumarac-Pavlovic, “Analysis of Contribution of Acoustic Resonators Found in Serbian Orthodox Churches”. *Building Acoustics*, vol.11, no.3, pp.197-212, 2004.
- [6] N. Kanev, “Resonant Vessels in Russian Churches and Their Study in a Concert Hall.”, *Acoustics*, vol.2, no.2, pp. 399-415, 2020.
- [7] A. P. O. Carvalho, V. Desernaulds, Y. Loerincik, “Acoustic behavior of ceramic pots used in middle age worship spaces- A laboratory analysis” In ICSV9, Orlando, USA, 2002.
- [8] V. Desernaulds, Y. Loerincik, A. P. O. Carvalho, “Efficiency of 13th century acoustic ceramic pots in two Swiss churches.” In NOISE-CON 2001, 29-31 October, 2011.
- [9] T. Zakinthinos, D. Skarlatos, “The effect of ceramic vases on the acoustics of old Greek orthodox churches”. *Applied Acoustics*, vol. 68, pp.1307-1322, 2007.
- [10] Arns, R. G., & Crawford, B. E. “Resonant cavities in the history of architectural acoustics.” *Technology and culture*, vol.36, no.1, pp.104-135, 1995.
- [11] N. Olgun, R. Şengün, “2007-2010 Yılları Arasında Yürütülen Restorasyon Çalışmalarında Süleymaniye Camii Ana Kubbesinde Yapılan Güçlendirme Çalışmaları” Türkiye ve İtalya'dan Restorasyon Uygulamaları *Sempozyumu*, 2016.
- [12] Yılmaz, Y., Kanuni Vakfıyesi Süleymaniye Külliyesi, Vakıflar Genel Müdürlüğü Yayınları, 2008.
- [13] O.L. Barkan. *Süleymaniye Camii ve İmareti İnşaatı (1550-557) Cilt 1*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları, 1972
- [14] N. Olgun, kişisel görüşme, 18 Ocak 2020.

- [15] Z. Sü Gül, M. Çalışkan, A. Tavukçuoğlu, “Geçmişten Günümüze Süleymaniye Cami Akustiği”. *MEGARON / Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi E-Dergisi*, vol. 9, no. 3, pp. 201-216, 2014.
- [16] Z. Sü Gül, N. Xiang, M. Çalışkan, “Investigations on sound energy decays and flows in a monumental mosque.” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.140, no.1, pp. 344-355, 2016.
- [17] Z. Sü Gül, “Acoustical Impact of Architectonics and Material Features in the Lifespan of Two Monumental Sacred Structures.” *Acoustics*, vol.1, no.3, pp. 493-516, 2019.
- [18] Z. Sü Gül, M. Çalışkan, A. Tavukçuoğlu, N. Xiang, “Assessment of Acoustical Indicators in Multi-domed Historic Structures by Non-Exponential Energy Decay Analysis.” *Acoustics Australia*, vol.46, no.2, pp. 181-192, 2018.
- [19] G. Atay, and Z. Sü Gül. “Clay pots of Ottoman Architecture: Acoustics, structure and ventilation.” *Proceedings of Meetings on Acoustics 179ASA*. Vol. 42., 2020.
- [20] M. Long. *Architectural Acoustics*. USA: Elsevier, 2006, pp.203-204.
- [21] Kayılı, M., “Mimar Sinan’ın Camilerindeki Akustik Verilerin Değerlendirilmesi”, *Mimarbaşı Koca Sinan: Yaşadığı Çağ ve Eserleri*, İstanbul, T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü, pp.545-555., 1988.