

MİMAR SİNAN YAPILARINDA GEOMETRİK AKUSTİK

FERHAT ERÖZ*

ÖZET

Tarihi yapıların (öncelikli dini yapılar ve benzerleri) mimari akustik performansını araştırmak ve belirlemek amacı ile Mimar Sinan'ın öncelikli olarak Mihrimah Sultan Edirnekapı, Şehzadebaşı ve Süleymaniye camilerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında yapılan irdelemelerde, kullandığı akustik teknolojisinin yapı elemanları ile oluşturduğu akustik konfor araştırılmıştır. Bu araştırmalar arasında sesin anlaşılabilirliğini geometrik akustik ilkeleri başta olmak üzere, sesin enerji düşüşünü sağlamak amacı ile boşluklu rezonatör kullandığı bilinmektedir. Bununla beraber özellikle kubbede panel rezonatör levha görevini yapabilecek sıva kullanılmıştır. Bu nedenle, Sinan yapılarında üstünde durulması ve irdelenmesi gereken konu, yapılarında kullandığı yapı elemanlarının özelliklerini araştırılması ve uygulamalarının incelenmesidir.

Anahtar Kelimeler: Mimar Sinan, Osmanlı Cami Yapıları, Hacim Akustik, Geometrik Akustik, Boşluklu Resonator,

ABSTRACT

Historic structures (primarily religious structures and the like) to investigate the architectural acoustic performance and to determine Mimar Sinan's Mihrimah Sultan Edirnekapı, Şehzadebaşı and studies have been conducted in Süleymaniye Mosque. The data obtained in this study, through the analysis made in the light, that uses acoustic technology of the structure formed by elements was investigated for acoustic comfort. This research geometric intelligibility of the sound of acoustic principles, mainly with the aim of ensuring sound energy drop is known to use the resonator cavity. However, especially in the dome will make the task a plaster panel resonator plate was used. Therefore, the structure of Sinan and to investigate the issues that need to a focus on the structure which are used in practice is to examine and investigate the properties of the elements.

Key Words: Mimar Sinan, Ottoman Mosques, Room Acoustic, Geometrical Acoustic, Cavity Resonator,

* Yüksek İç Mimar ve Akustik Uzmanı, Atılım Üniversitesi, erozferhat@yahoo.com

1. GİRİŞ

Camilerin akustik özelliklerini belirlemek amacı ile 1987 yılında akustik performanslarının ölçmek için belirlenmiş camilerden Süleymaniye, Şehzade ve Edirnekapi Mihrimah Sultan yapılarında 2014 yılında akustik ölçümler tekrarlanmıştır. Bu cami yapılarının önemi tasarımının Mimar Sinan tarafından yapılmasıdır. Cami yapılarının geometrik tasarımı dışında kullanılan taş, tuğla, demir, ağaç, mozaik, somaki, kum, kireç, horasan, bakır, kurşun, çinko, seramik, çini, altın, gümüşdür. Yapı, küp ile yarım kürenin geometrik ilişkisinde kullanılan mukarnas, pendentif gibi yapı malzemeleri mimari, statik, estetik ve en önemlisi geometrik akustik açısından özenle tasarlanmıştır. Cami yapılarında hacim akustiği açısından önemli olan yankılanma süresi parametresidir.

1.1. Yankılanma Süresi Parametresi

Yankılanma süresi ölçümü ISO 354 ile beraber ISO 14130' da belirlenmiş kriterler sonucunda gerçekleştirilmiştir. Yankılanma süresi T30 (sesin enerjisinin 30 dB düşmesi için geçen süre) ve T20 (sesin enerjisinin 20 dB düşmesi için geçen süre) olarak B&K ses test cihazları kullanılarak ölçülmüştür. Sinan cami yapılarında kullandığı geometrik akustik ilkeleri ışığında sesin yansımalarını kullanarak hacim içinde “anlaşılabilirliği” sağlamıştır.

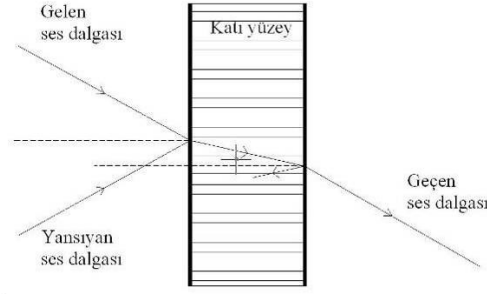
Hacim akustiği tasarımında amaç “*yeterli anlaşılabilirliğin*” gerçekleştirilmesidir. Bunun için akustik tasarım temel olarak iki etapta ele alınır; ilk durum hacim içinde “Homojen ses dağılımının sağlanması”, ikincisi ise “Optimum yankılanma süresinin gerçekleştirilmesi” dir. Sinan'ın bu etaplar için ortaya koyduğu sonuçları ele alınan camilerde inceleyelim.

2. 2014 YILINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Hacim akustiği tasarımında amaç “*yeterli anlaşılabilirliğin*” gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmaları anlayabilmek amacı ile atmosferde yayılan bir ses dalgasının bir katı yüzey ile karşılaştığı durumda davranışını irdelemek gerekir. (Şekil 1). Bir ses dalgası her hangi bir katı yüzeye çarptığında, enerjinin bir kısmı yüzeyden yansır, bir kısmı yüzeyin içine geçer. Katı yüzeyden geçen enerjinin bir kısmı yüzeyin içinde ısı enerjisine dönüşür, bir kısımda katı yüzeyin diğer tarafına geçer. Bu süreç yapı elemanın yapısına, fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bundan dolayı hacim içinde belirli bir kaynaktan yayılan ses dalgalarının hareketi belirlenebilir ve kontrol edilebilir. Öncelikli homojen ses dağılımını ve optimum yankılanma zamanını elde etmek amacı ile Hacim Akustiğinde birbirini tamamlayan üç yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler sırası ile;

1. Geometrik Akustik
2. İstatistiksel Akustik
3. Dalga Akustiği

Sinan yapılarında bu yöntemleri kullandığını yapılmış olan akustik ölçümlerde elde edilen veriler ile tespit edilmiştir.



Şekil 1. Katı yüzeyde oluşan ses dalgası

2.1. Geometrik Akustik

Geometrik akustik: Sesin ışınlar halinde yayıldığını kabul ederek, hacim içinde dağılımını, yayılmasını inceler. Bundan amaç hacim içinde homojen ses dağılımının oluşturulması ve her yerden eşit işitilmesinin sağlanmasıdır.

Geometrik akustiğin başarı ile uygulanması için şu iki ön koşulun gerçekleşmiş olması gerekir;

1. İrdelenen ses dalgasının dalga boyu (λ) hacim sınırlarından ve hacimde ki cisimlerden küçüktür.
2. Hacim sınırları, yapı malzemeleri ve hacimdeki diğer yüzeylerin akustik empedansı havanın empedansından farklı olmalıdır. Farklı olmaz ise yutma meydana gelir.

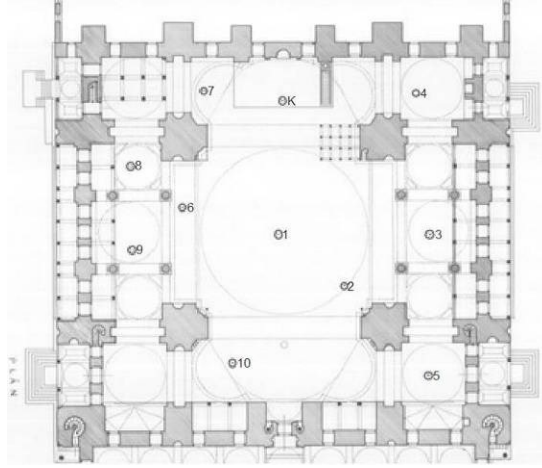
2.2. Sinan Cami Yapılarında Homojen Ses Dağılımı

Sinan cami yapılarının mimari plân ve kesitleri irdelendiğinde, hacim içinde homojen ses dağılımını sağlamak amacıyla yönelik akustik önlemlerin alınmış olduğunu ve bunların tasarıma yansdığı görülmektedir. Bu akustik önlemleri kısaca aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz;

2.2.1. Akustik Saçıcı ve Yansıtıcı Elemanlar

Homojen ses dağılımını sağlamak amacı ile sesin yansımalarını yönlendirmek için hacim içindeki geometrik yapı elemanları kullanılmaktadır. Mimar Sinan yapılarında, “sesin anlaşılabilirliğini” ortaya koyabilmek açısından düzgün prizma geometrik form yapı elemanlarını kullanmaktan kaçınmıştır. Özellikle kare plân şemalı cami yapılarında mihrap, niş, payanda, imam ve müezzin odaları, kürsü, maksure gibi yapı elemanlarla forma hareket vermiştir. Burada kare plan ile özellikle köşelerde oluşacak duran dalgaların hacmin akustik performansı açısından

olumsuz etkilerini ortadan kaldırmıştır. Uyguladığı bu yöntem ile sesin hacim içinde çeşitli yönlerden yansımaları sağlamıştır. Diğer bir yandan, kare prizma formu nedeni ile oluşan duran dalgalar nedeni ile aynı frekans bölgelerinde oluşmalarını engellemiştir. Bu konu cami yapı hacimleri büyüdükçe belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Buna örnek olarak Süleymaniye Cami'si gösterilebilir (Şekil 2).



Şekil 2. Süleymaniye Cami yankılanma süresi ölçüm kaynak ve alıcıları, 2013.

Hacim içinde akustik açıdan payanda, ayak (kolon), kemer gibi taşıyıcı elemanlara sesi dağıtarak yansıtacak geometrik formlar tasarlanmıştır.



Resim 1. Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami Kubbe ile Küp formu geçiş Pandantifler (Yansıtıcı yüzeyler olarak kullanılmıştır 2013).

Küp ile yarım küre geçişinde yapı elemanı olarak kullandığı mukarnaslar (aynı zamanda mihrap içinde yer alan) ve pandantifler ile hacmin köşelerinde doğal frekansların oluşturacağı duran dalgaları önlediği gibi, bu tür yapı elemanlarından yararlanarak sesi dağıtarak yansımaları sağlamıştır. Bu şekilde pandantifler ve mukarnaslara, strüktürel işlevleri ile estetik yapıyı birleştirerek akustik konforun sağlanmasını da gerçekleştirmiştir. Mukarnas kullanarak sesin saçılması sağlanmış, diğer yandan pandantif kullanarak sesin yansımaları ile köşelerde kullandığı boşluklu rezonatörler sesin enerjisinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Mimari ve mühendislik açısından değerlendirilir ise statik, estetik ve akustik fonksiyonlarını uyum içinde tasarlamıştır.



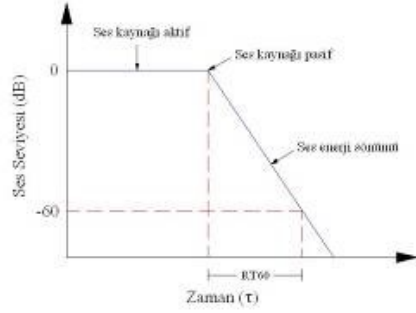
Resim 2. İstanbul Şehzade Cami Kubbe ile Küp formu geçiş Mukarnas (Sesin saçıcı' lığı için kullanılmıştır 2013).

Günümüzde sesin işlevinin önemli olduğu yapılardan konferans, tiyatro, konser salonlarından örnek vermek gerekirse yukarıda açıkladığım yapı malzemelerini kullanarak hacim içinde homojen ses dağılımı sağlanabilir. Özellikle konser, opera, vb., sahne bölümünde oluşturulan durum aynı zamanda camilerde imam tarafından kullanılan mihrap bölümü ile aynı görevi yerine getirmektedir.

2.2.2. Optimum Yankılanma Süresi

Hacim içinde ses enerjisi düşüş süresi, yankılanma süresi "T" kaynak sustuktan sonra hacimdeki ses enerjisinin 60 dB (desibel) düşmesi için geçen süre olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3). Bir hacimde ses enerjisi düşüşü (yankılanma süresi)

hacim sınırlarındaki yapı malzemeleri ve içinde oluşturulan yüzeylerin ses yutma özellikleri ile kontrol edilmektedir.



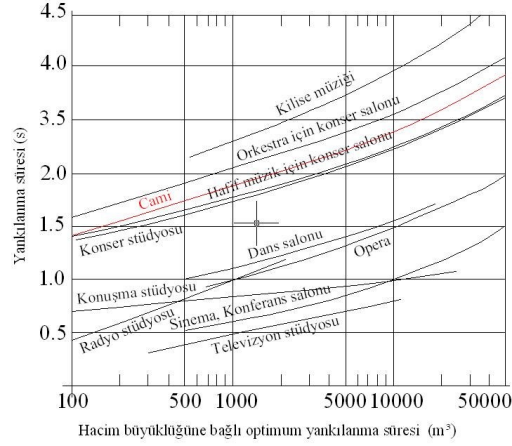
Şekil 3. Ses birim enerjisinin sönümü.

Hacimdeki işleve ve hacim büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen optimum yankılanma süresi (T), hesaplama yöntemi sonucu belirlenen ses yutucu elemanlar ile gerçekleştirilir.

Cami yapılarında yankılanma süresini ne olması konusunda bir veri günümüze kadar net bir biçimde ortaya konmamıştır. Bu konu ilk olarak 1987 yılında yapılan çalışmaların tekrarlanması ve diğer camilerde de akustik performanslarının değerlendirilmesi ile beraber 2013 yılında yapılan akustik ölçümler üzerinden bu veri elde edilmiştir. Öncelikli akustik ölçümler sırası ile; Süleymaniye, Edirnekapı Mihrimah Sultan, Şehzadebaşı, Üsküdar Mihrimah Sultan, Cenabi Ahmet Paşa, Hacı Bayram Veli, Üsküdar Ayazma, Üsküdar Valide-i Cedid camilerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında cami yapılarında hacmin büyüklüğüne bağlı optimum yankılanma süresi belirlenmiştir.



Şekil 4. Cami Yapılarında Hacim büyüklüğüne bağlı yankılanma süreleri



Şekil 5. Hacim büyüklüğüne bağlı yankılanma süreleri

Aynı dönemlerde inşa edilmiş olan Hacı Bayram Veli Camisinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerde cami duvarlarında uygulanan çinilerin hacmin akustik performansına etkisinin olduğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda Rüstem Paşa Camisinde de çok etkin olarak yer almaktadır. Bu câmilerin duvarlarının akustik yönden olumsuz bir malzeme olarak görülen çini ile kaplıdır. Ancak bu çiniler sır altı ve sır üstü yöntemleri ile yapılmış olup içerisinde kurşun barındırmaktadır. Bu boyut akustik performansları açısından olumlu etkenlik sağlamaktadır. Hacı Bayram Veli Cami'sinde belli bir yükseklikte duvarlarda kullanılmıştır. Rüstem Paşa Cami'sinde ise çinilerin kubbe kasnağına kadar devam ettiği tespit edilmiştir. Bu durum göz önüne alındığında, Sinan'ın yapılarında geometrik akustik ve tasarımının da açık bir şekilde kullandığı anlaşılabilmektedir.

2.2.3. Yutucu Elemanlar

Hacim içinde oluşan ses enerjisinin kontrol edilmesi sesin yansımaları kadar önem kazanmaktadır. Özellikle yarım küre yapı elemanları ve benzer geometrik formların oluşturduğu olumsuzlukları kontrol edilmesi gereklidir. Diğer bir yandan hacim büyüklüğünün de yankılanma süresinin etkisini arttırmaktadır. Mimar Sinan'ın sesin enerjisini düşürmesi için kullandığı ses yutucu elemanlar, bulunduğu dönemin yapı teknolojisini ve bu teknolojinin yapı malzemelerinin özelliklerine olan bilgisini yansıtması önemlidir. Yapılan akustik performans incelemesinde, Mimar Sinan'ın ses yutucu olarak yararlandığı yapı malzemelerin fiziksel özelliklerini mimari akustik verilerin gerektirdiği doğrultuda değiştirebildiği ve kontrol edebildiği görülmüştür.

2.2.3.1. Panel Rezonatör

Akustik ölçümü gerçekleştirilen cami yapılarında, özellikle içerde uygulanan sıva teknolojisi dikkat çekicidir. İç hacimde kullanılan sıvanın ihtiyaca göre özellikle keten vb. malzemeleri ile fiziksel olarak değiştirilebildiği tespit edilmiştir. Yay görevi yapan keten tabakasının üzerindeki sıva kütle görevi yapmaktadır. Burada sistem özellikle alçak ve orta frekanslarda görev yapan (ses enerjisi düşmesini sağlayan) panel rezonatör olarak çalışmaktadır. Yapılan akustik ölçümlerde daha önce yapılan onarım, tadilat ve yenileme çalışmalarında kullanılan sert sıva çeşitleri sistemin akustik performansında değişikliklere neden olmaktadır. Bu konuda Süleymaniye ile Cenabi Ahmet Paşa camilerini gösterebiliriz. Bu camilerde bu biçimde uygulamalar sonucu, alçak ve orta frekanslarda etkin olan ses yutucu yüzeylerin azalmasını sağlamıştır. Bununla beraber akustik ölçümler sonucunda elde edilen verilerde gerekli ses enerjisinin yutulmasını önlemiş ve bu frekans bölgelerinde yankılanma süresinin uzamasına neden olmuştur.

2.2.3.2. Boşluklu Rezonatörler

Hacmi büyük cami yapılarında doğal frekansların oluşturacağı duran dalgaların hacmin akustik performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer bir yandan öncelikle kubbe yapısına sahip olan camiler de kubbeden yansıyacak sesin oluşturacağı ekonun ise yankılanma süresinin çoğalmasına neden olmaktadır. Mimar Sinan kubbede ses yutucu olarak panel rezonatör sıva ile birlikte akustik (boşluklu) rezonatör kullanarak duran dalgaları etkisiz hale getirmiştir. Akustik (boşluklu) Rezonatör olarak kilden yapılmış belirli boyutlara sahip sebuları (testi) kullanmıştır. Bu testilerin ağızlarını hacmin içine doğru yönlendirerek yerleştirmiştir. Kubbede ise bu kubbe kasnağına yakın bir bölümünde yer almaktadır. Boyutları ses dalga boyundan çok küçük olan akustik (boşluklu) rezonatörler, ses enerjisini kontrol eden akustik sistemlerden biri olup özellikle alçak frekanslarda daha etkin kullanılmaktadır.

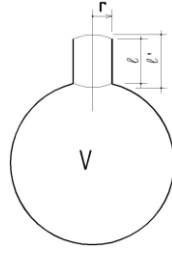


Resim 3. Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami Kubbe ile Küp formu geçiş Pandantifler (Boşluklu rezonatör-sesin enerjisinin düşürülmesi için kullanılmıştır 2013).



Resim 4. İstanbul Şehzade Cami Yan Duvarlarda açıklıklar
(Boşluklu rezonatör-sesin enerjisinin düşürülmesi için kullanılmıştır 2013).

Boşluklu rezonatör V hacminde bir boşluk ve bu boşluğa bağlanan bir boyun veya açıklıktan oluşmaktadır. Dar bir frekans bandında ses yutma özelliği ile beraber boyun genişliği rezonatörün kalite faktörü Q' ya bağlı olan bir frekans bandında ise sesi dağıtarak yansıtmaktadır (Şekil 6).



$$\omega_0 = c \sqrt{\frac{S}{\ell' V}}$$

$$Q = \frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{S \ell'}{V}} = \frac{k_0 \ell'}{\theta}$$

burada;

- ω = açısal rezonans frekans (rad/s)
- c = sesin havadaki hızı (m/s)
- S = rezonatör boynu kesit alanı [(m²), $S=\pi r^2$]
- ℓ = boyunun uzunluğu (m)
- ℓ' = etkin boyun uzunluğu (m)
- V = boşluk hacim (m³)
- Q = kalite faktörü (birimsiz)
- θ = toplam direnç oranı (birimsiz)
- k_0 = rezonans frekansta dalga sayısı (m⁻¹)

Şekil 6. Akustik (boşluklu) Rezonatör

Yapılan akustik ölçümlerde öncelikli Süleymaniye, Edirnekapı Mihrimah Sultan, Şehzadebaşı camilerinde akustik (boşluklu) rezonatörlerin kullanıldığı görülmüştür.

Burada Mimar Sinan her hacmin dalga teorisine göre rezonans frekansının olduğunu bilmekte ve bununla beraber bu tür hesaplamaları yaparak duran dalgaların oluşturacağı yankılanmayı önlemek için kullandığını görmekteyiz. Burada, yenileme, onarım vb. müdahalelerde uzmanlık alanlarının belirlenmesi ve bu uzmanların çalışmalarda yer almasının önemi büyüktür. Yapılan akustik ölçümlerde özellikle büyük hacme sahip cami yapılarında yankılanma süresinin alçak frekanslarda oluşan artışın aşırı olmasına bu tür yapılarda yenileme, onarım çalışmalarında gerekli uzmanlıkların yer almaması bu tip hatalara yol açmaktadır. Akustik (boşluklu) rezonatörler sadece Mimar Sinan camilerinde yer almamaktadır. Diğer cami yapıları ile beraber türbe, hamam, manastır, kilise vb. tarihi yapılarda da rastlanmaktadır.

2.2.3.3. Döşeme Kaplaması; Halı

Cami yapılarında kullanılan zemin malzemesi akustik performans açısından değerlendirildiğinde diğer yapı malzemeleri kadar önemli olduğu görülmektedir. Örnek vermek gerekirse Ankara Cenabi Ahmet Paşa Camisinde zemin kaplaması altıgen formunda taşlar konulmuştur. Burada taşların üzerine dokunmuş hasır, halı, vb. değiştirilebilir zemin malzemeleri kullanılması kullanıcı sayısının az oluşunda akustik performansın olumsuz yönde etkilenmemesi sağlanmaktadır. Yankılanma süresi değerlerinin çok olumlu olduğunu belirttiğimiz Rüstem Paşa, Hacı Bayram Veli camilerinde bu değerlerin hacimler dolu iken ideal verilere ulaşmaktadır.



Resim 5. Cenabi Ahmet Paşa Cami yer döşemesi taş ve Üsküdar Mihrimah Sultan Cami yer döşemesi halı (2014).

Yapılan araştırmada boş ve dolu hacimlerin verileri arasındaki fark kullanıcı ve halının ses yutma değerleri arasındaki farka eşit olması bir diğer önemli konudur.

Buradan anlaşıyor ki Mimar Sinan cami yapılarında akustik tasarımında kullanıcı faktörünü dikkate alarak gerçekleştirmiş olmasıdır. Diğer bir yandan, elde edilen veriler ışığında sahip olduğu bilgi ve dönemin teknolojisini de kullandığını görmekteyiz.

2.2.3.4 İşleve Bağlı Mimari Yapı Elemanları

Sesin işlevinin önemli olduğu yapılar içinde yer alan camilerde belli bir oranda yankılanma olması istense de kabul etmek gerekir ki ses enerjisinin kontrol altına almak da gereklidir. Burada ses enerjisini düşüşünün kontrolünde hacim içindeki diğer elemanlardan da yararlandığı görülmektedir. Buna sultan mahfili, minber, vb. mimari öğeleri örnek olarak gösterebiliriz. Yapılan araştırmalarda elde edilen veriler hacim içindeki ve sınırlarındaki tüm yapı elemanların hacmin akustik performansına katkısının olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Mimar Sinan tarafından bu konunun bilindiği ve akustik tasarım ve ilkeleri ışığında göz önüne aldığı belirlenmiştir.

3. SONUÇ

Mimar Sinan cami yapıları öncelikli olmak üzere bütün camilerin ele alındığı araştırmamızda projelendirme safhasında akustik tasarım ve ilkelerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Akustik tasarım safhaları üç etapta ele alınmalıdır; ilk olarak “Geometrik Akustik” ilkeleri, ikinci olarak “İstatistiksel Akustik” son olarak “Dalga Akustiği” bilinmesi doğrultusunda yapıların akustik performansları ortaya konulabilmektedir.

Sinan döneminden önce, döneminde ve dönemini takip eden zamanlarda yapılarda mimari, statik, estetik ile beraber uzmanlık gerektiren akustik tasarımın birbiri ile olan ilişkisini kurulması için bilgi ve teknolojinin kullanılmasının önemli olduğu görülmektedir. Bu tür yapılarda yenileme, onarım vb. çalışmaların yapılabilmesi için gerekli uzmanlık disiplinlerinin kesinlikle yer alması önemlidir. Bununla beraber öncelikli akustik performanslarının yenileme çalışmalarından önce ölçülmesi ve yenileme çalışmaları bittikten sonra tekrarlanması gerekir. Diğer bir yandan yukarda bahsettiğimiz yapı malzemelerinin kullanılmadan önce akustik verilerinin ölçülmesi ile yapı içinde kullanılması bir başka önemli konudur.

Mimar Sinan yapılarında uyguladığı geometrik akustik ile yapı elemanlarına mimari görevlerinin yanı sıra akustik işlev de yüklemiş bununla beraber mimari, statik, estetik, akustik tasarım disiplinlerini iyi bir uyum içinde kullanmıştır.

Bu araştırma sonucunda sanat ve mimarinin nazik birlikteliği ile Sinan' nın yapıları dünya literatüründe cami yapılarında hacmin büyüklüğüne göre yankılanma süresi eğrisi elde edilmiştir.

Bununla beraber yukarda belirtilen disiplinlerin oluşturacağı ekip ile yapılacak olan bilimsel araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu konuda önemli olan bölüm ise yenileme, onarım, vb., çalışmalarda kullanılması gereken akustik özellikli yapı malzemeleri için geniş kapsamlı bir akustik laboratuvarı tarafından değerlendirilmelerin yapılması gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] BERANEK, L.,Leo, Acoustics, Acoustic Society of America through the American Institute of Physics. Inc., USA, 1954.
- [2] ERÖZ, Ferhat, Maketlerin Akustik Ölçümlerde Kullanımı; Konser Salonu, Ölçekli Model ve Bilgisayar Modellemesinin Karşılaştırılması, Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Atılım Üniversitesi, Ankara, 2012.
- [3] KURAN, Abdullah, Selçuklular' dan Cumhuriyete Türkiye' de Mimarlık, İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 2012.
- [4] NECİPOĞLU, Gülru, The Age of Sinan: Architectural Culture in the Ottoman Empire, Reaktion Books Ltd, London, UK, 2005.
- [5] SABINE, Paul, E., Acoustic and Architecture, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, USA, 1932.