

Mimar Sinan'ın Camilerindeki Akustik Verilerin Değerlendirilmesi

Doç. Dr. Mutbul KAYILI



Mimar Sinan'ın camilerinin, mimarlık tarihindeki büyük yerini oluşturan temel faktörlerden biri de uyguladığı üstün teknolojidir. Nitekim Süleymaniye Camii'nin kandil islerinin bir hacimde (is odası) toplanarak mürekkep yapımında kullanılması veya aynı Camii'nin akustik özelliklerinin Sinan tarafından nargile sesi ile kontrol edilmesi asırlardır rivayet olarak dillerde dolaşmaktadır. Burada, kısaca belirtmek gerekir ki; bir hacimde anlaşılabilmenin değerlendirilmesinde çok yeni bir sistem olan "RASTI" yönteminde kullanılan modüle edilmiş sesin, Sinan tarafından Süleymaniye'de kullanılmış olan nargile sesi ile benzerliği dikkate değerdir¹. Ancak, bütün bu verilere rağmen, bu teknik özelliklerin çoğu detaylı olarak ele alınıp incelenmemiş veya incelenememiştir. Bu nedenle Mimar Sinan'ın camilerindeki akustik verilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile bir çalışma başlatılmıştır. Sinan'ın 81 büyük cami inşa ettiği göz önüne alınırsa, böyle bir çalışma için gereken sürenin uzunluğu ortaya çıkar. Bu durumda, öncelikle 7 cami seçilmiş ve ilk çalışmaların bu eserlerde yapılması planlanmıştır. Bu 7 eserden Şehzade Camii'nde restorasyon çalışmalarının devam etmesi, burada gerekli ölçülerin yapılmasını önlemiştir. Bu nedenle yoğunluk şu altı camiye verilmiştir:

1. Üsküdar Mihrimah Sultan (İstanbul),
2. Süleymaniye (İstanbul),
3. Cenâbî Ahmed Paşa (Ankara),
4. Rüstem Paşa (İstanbul),
5. Sokollu Mehmed Paşa (Kadırga, İstanbul),
6. Selimiye (Edirne).

Bu eserlerden Süleymaniye ve Selimiye Camilerinin seçilmesinin nedeni, bunların Şehzade Camii ile beraber Sinan'ın üç büyük eserini oluşturmalarıdır. Diğerlerinde ise, plan şemaları farklı camiler olmasına dikkat edilmiştir. Bu seçimde, Rüstem Paşa ve Sokollu Mehmed Paşa Camilerinin iç yüzeylerinin çini ile kaplı olması, planlarının yanısıra ayrıca etken olmuş ve malzeme faktörünün akustik yönden ele alınıp alınmadığı irdelenmiştir.

Akustik Değerlendirme

Burada neyin araştırıldığıının ve akustik özellik kriterlerinin ne olacağıının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Konuyu özet olarak şöyle açıklayabiliriz; Mimârî akustikte amaç fonksiyonel sesin net bir şekilde algılanmasının gerçekleştirilmesi olup buna "anlaşılabilme"

denilmektedir. Bu tanımlama sonucunda, camilerde dua, vaaz, hutbe, mevlid gibi işlevlerin oluşturduğu seslerin iyi anlaşılabilmesinin gerçekleştirilmesi gerektiği, kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Bunu oluştururken dinî etkiyi arttırmak gerekir. Bu da çınlama zamanı yolu ile kontrol edilebilir.

Sonuç olarak böyle bir hacimde sesin iyi anlaşılabilir ve net olması sağlanmalıdır. Bu ise şu iki yol ile gerçekleştirilir;

1. Homojen ses dağılımının sağlanması,
2. Uygun çınlama zamanının gerçekleştirilmesi.

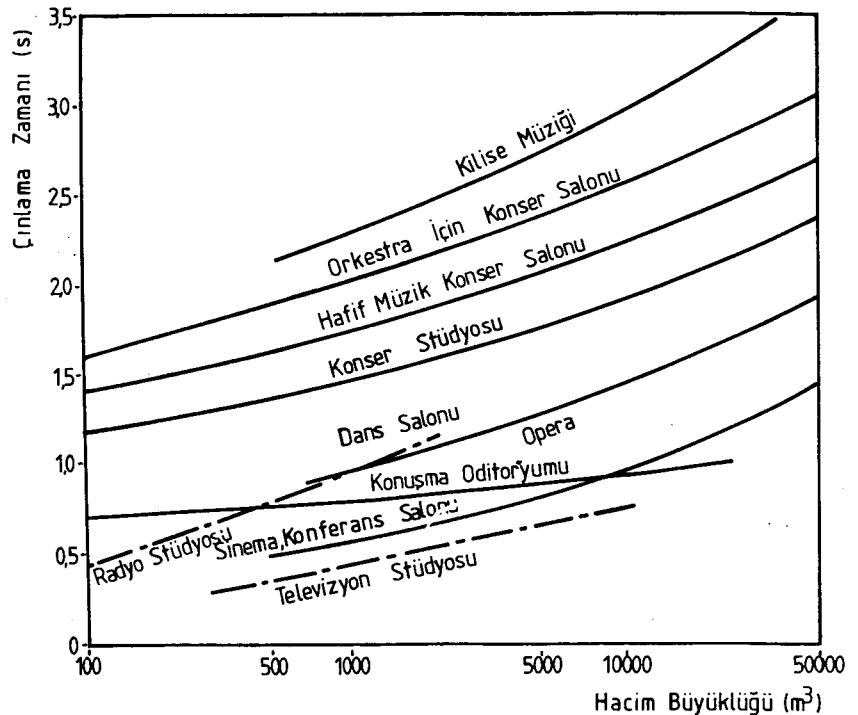
Homojen ses dağılımı:

Bundan amaç, kaynaktan çıkan ses enerjisinin hacim içinde homojen dağılımının sağlanması ve rezonanslar oluşmasının önlenmesi veya oluşan rezonansların kontrol altına alınmasıdır. Tasarım etabında ele alınması gereken bu problemin çözümünde ilk şart, hacmin en, boy, yükseklik boyutlarının farklı olmasıdır. Bunun yanı sıra ses enerjisinin dağılımında hacim içindeki yüzeylerden sesin yansımaları detaylı bir şekilde incelenmeli ve şu şartların yerine getirilmesine dikkat edilmelidir;

1. Karşılıklı, paralel ses yansıtıcı yüzeylerden kaçınılmalıdır. Aksi takdirde rezonans oluşur,
2. Büyük ve düz yansıtıcı yüzeylerden kaçınılmalı, bunlara çeşitli formlarla hareket verilmelidir.
3. Yansıtıcı yüzeylere sesi dağıtarak yansıtacak form verilmelidir,
4. Yansımalarda, odaklanmaya neden olan formlardan kaçınılmalıdır.

Uygun Çınlama Zamanı:

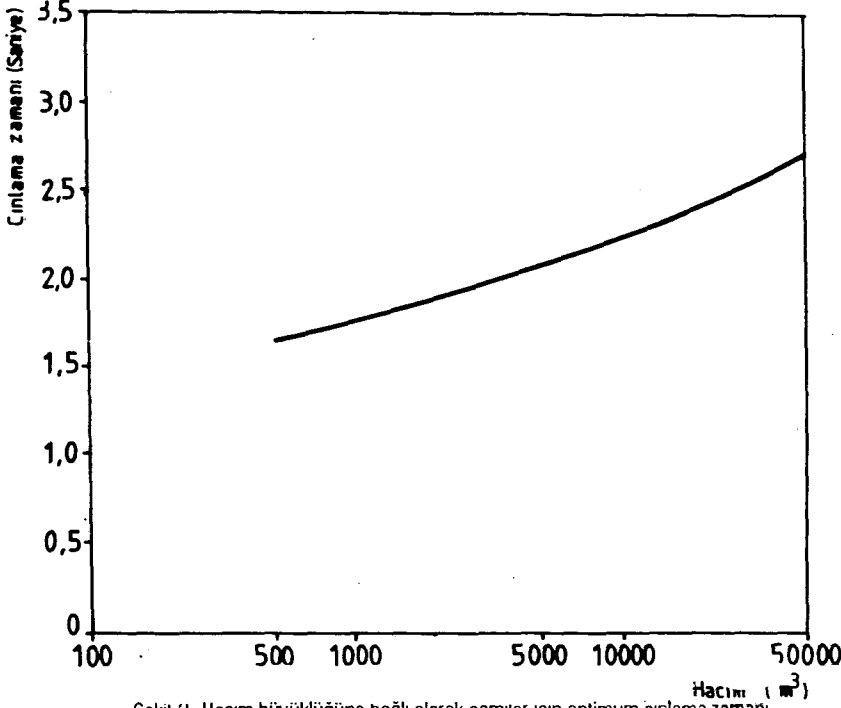
Ses enerjisinin kaynaktan çıktıktan sonra düşüşüne çınlama diyoruz. Mimarî akustikte 60 dB (desibel) kriter olarak alınmış olup, enerjinin 60 dB düşmesi için geçen süre "çınlama zamanı" olarak tanımlanmaktadır. Homojen ses dağılımı gerçekleştirilmiş bir hacimde anlaşılabilme doğrudan doğruya çınlama zamanına bağlıdır. 1. Şekilde görüleceği üzere



Şekil-1-Değişik fonksiyonlu hacimler için, büyüklüklerine bağlı olarak uygun çınlama zamanları

uygun çınlama zamanı hacim büyüklüğüne ve hacimdeki fonksiyona bağlı olarak belirlenir.

Camilerdeki duruma gelince, vaaz ve hutbe gibi konuşmaya dayalı işlevler göz önüne alındığında, konuşma oditoryumları için şekilde verilen değerler uygun olmaktadır. Ancak, camilerdeki konuşma dinî bir işlev olduğundan, çınlama zamanını arttırarak dinî etkiyi vurgulamak yararlı olacaktır. Bunun yanı sıra mevlid gibi müzik karakterinde olan işlevlerde dikkate alındığında, 2. şekilde görüleceği üzere bu sürenin küçük camilerde 1,5 saniyeden başlayıp hacim büyüdükçe artması gerekmektedir.



Şekil-2- Hacim büyüklüğüne bağlı olarak camiler için optimum çınlama zamanı

Uygun çınlama zamanı, hacimdeki ses enerjisi düşüsü kontrol altına alınarak gerçekleştirilir. Bu amaçla, hacim sınırlarında eleman yüzeyleri gerekli yutmayı verecek malzeme ile kaplanır. Bunun yanı sıra, hacim içindeki bütün elemanların ve varsa kullanıcının vereceği ses yutma değerleri de hesaba katılır. Burada hatırlatmak gerekir ki, çınlama zamanının bütün frekanslarda aynı değerde olması istenirken, yapı malzemelerinin ses yutma değerleri frekansa bağlı olarak çok çeşitli değişkenlik gösterir. Bu nedenle malzeme seçimi bütün sonucu etkileyen ana faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

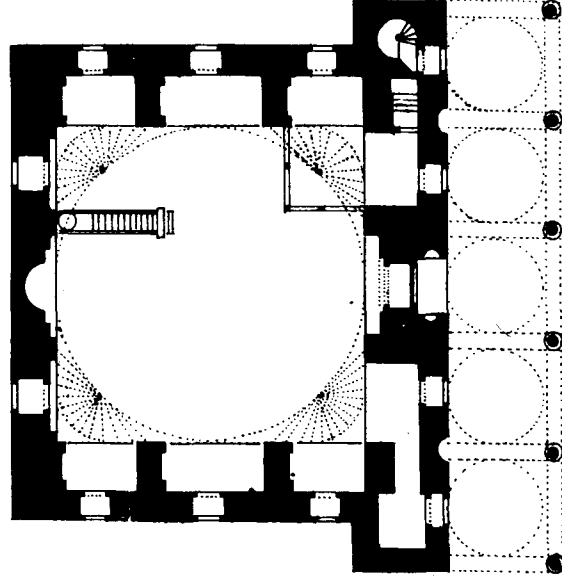
Seçilen Camilerin Değerlendirilmesi

Bu camilerde öncelikle çınlama zamanı ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ışığında hacimdeki ses dağılımının gerçekleştirilmesi incelenmiştir. Çalışmaların sadece ilk bölümünün bitmiş olmasına rağmen, elde edilen veriler Sinan'ın Akustik bilimine tam anlamı ile hâkim olduğunu, konuyu tasarım etabında ele alarak çözüm getirdiğini ve tesadüflere yer bırakmadığını göstermiştir. Şöyle ki;

1. Hacim boyutları nedeni ile oluşan ve hacmin tabii frekansları olarak belirtilen rezonansların belirli frekans bölgelerine yığılmasını önlemek amacıyla en, boy ve yüksekliğin eşit olmasından kaçınılmıştır. Hatta kare planlı camilerde dahi, planlar incelendiğinde, en ve boy arasında farkın yanı sıra, taşıyıcı sistem (ayak, payanda) veya nişlerle düzgün karenin bozulduğu görülmektedir.



Buna Diyarbakır Behram Paşa, Ilgın Lala Mustafa Paşa, Tekirdağ Rüstem Paşa, Silivri Hadım İbrahim Paşa Camileri'ni örnek gösterebiliriz (3. Şekil).

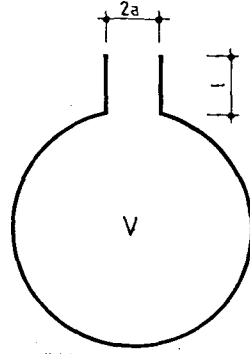


Şekil-3-Hadım İbrahim Paşa Camii

2. Prizmatik, özellikle dikdörtgenler prizması formunda hacimlerde tabii frekanslar en çok köşegenlerde görülür ve bu frekanslarda oluşan rezonanslar çoğunlukla problem olarak ortaya çıkarlar. Sinan'da ise, Selimiye'de de olduğu üzere bu köşelerde, kubbe ve benzeri örtülere geçiş elemanı olarak yerleştirdiği, mukarnaslardan sesi dağıtarak yansıtıcı eleman olarak yararlandığını ve rezonans oluşmasını önlediğini görüyoruz. Ancak Rüstem Paşa Camisi'nde görüldüğü üzere, geçiş elemanı olarak düz pandantif kullandığı camilerde bu noktaların tekrar incelenmesi gerekmektedir. Çünkü bu camilerde rezonans oluşmaması özellikle dikkati çekmiştir.

3. Kubbe, içbükey form oluşu nedeni ile odaklanmaya neden olur ve akustikte istenmeyen formdur. Ancak, büyük açıklıkları kapatmak için çağının zorunlu teknolojisi olan bu elemanı kullanırken, Sinan'ın çözümü de getirdiğini görüyoruz. Burada hemen belirtmek gerekir ki, bu çözüm farklı durumlarda farklı olabilmektedir. Buna örnek olarak, Canabî Ahmed Paşa ve Üsküdar Mihrimah Sultan Camileri'nde olduğu üzere kubbeden yansıyan ses enerjisini, duvarlarda kullandığı özel sıva (kıtıklı Horasan harcı) ile yutulmasını sağlayarak kontrol edebildiği gibi, İstanbul Rüstem Paşa ve Kadırga Sokollu Mehmed Paşa camilerinde olduğu üzere, gözenekli, yumuşak ve yine kıtıklı horasan harcı bir sıva ile kubbede yutulmasını sağlayabilmesini gösterebiliriz. Bu, bize Sinan'ın form-malzeme-teknoloji (akustik, strüktür) üçgenine olan hâkimiyeti hakkında yeterli bilgi vermektedir.

4. Büyük hacimlerde, özellikle alçak frekanslarda, hacim boyutları nedeni ile rezonanslar oluşması kaçınılmaz bir sonuçtur. Bunu önlemek için su küpü formunda elemanlardan boşluklu rezonatör olarak yararlandığı görülmektedir. Çok gelişmiş bir akustik sistem olan boşluklu rezonatörlerin ilk defa 1862 yılında Alman bilimadamı Helmholtz tarafından ele alındığı literatürde belirtilmektedir. İngiliz Fizikçi Rayleigh "Theory of Acoustics" adlı eserinde bu çalışmaya izafeten boşluklu rezonatörlere Helmholtz rezonatörü adını vermiştir (4. şekil)³.



a: açıklık yarıçapı,
l: boyun uzunluğu,
V: boşluk hacmi.

SEKİL 4. Helmholtz rezonatörünün
sematik kesiti

Boşluklu rezonatörlerin fiziksel tanımlaması tam olarak ancak 1953 yılında Ingard tarafından yapılabilmektedir⁴. Bu tip rezonatörlerin, Selçuklu'lardan itibaren Türkler tarafından, küplerden yararlanılarak yaygın olarak kullanıldığını görmekteyiz. Özellikle kubbeye (Süleymaniye Camisi) kullanılan bu elemanlardan Sokullu Mehmed Paşa Camii'nde kubbeye tesbit edilen 36 adedin dışında çeyrek kubbelerin her birinde ağızları 1,5 cm çapında olmak üzere 42-45 arasında, Şehzade Camiinde ise kubbeye bulunanların yanı sıra duvarlarda 35 adet tarafımızdan tesbit edilmiştir (1. fotoğraf). Süleymaniye Camiinde ise yine kubbeye, bir daire üzerinde 64 adet rezonatör ağızı görülmüştür (2. fotoğraf).

Ancak, yapılan incelemede, özellikle ileride çınlama zamanı ölçüleri sonuçlarında göreceğimiz üzere, bu camide yine kubbeye olmak üzere çok sayıda rezonatör bulunması gerekmektedir. 19. yüzyılda İtalyan mimar Fossati tarafından yapılan onarımlarda bu küplerden çoğunun alçı ile kapatıldığı söylenmektedir. Çınlama zamanı ölçülerinde alçak frekanslarda görülen aşırı artışlar, bu söylentilerde gerçek payının yüksek olduğunu ortaya koymakta ve rezonatörlerin kapatılması sonucu çözümsüz hale gelen rezonanslar kulakla dahi farkedilmektedir. Bunun yanı sıra, yine aynı camide, ağızı deve derisi ile kaplı küpler bulunduğu söylenmektedir. Bu hususların ileride detaylı olarak incelenmesi araştırma programına alınmıştır.

Aynı durum Selimiye Camii için de geçerlidir. Yapılan çalışmalarda, bu camide herhangi bir rezonatör tesbit edilememiştir. Ancak son restorasyon çalışmalarında görev alan Vakıflar Genel Müdürlüğü elamanlarınca Selimiye'nin kubbesinde çok sayıda rezonatör olduğu, fakat bunların ağızının ince bir sıva ile kapalı olduğu belirtilmiştir. Bunun sonucunun çınlama zamanı ölçülerinde, özellikle alçak frekanslara doğrudan doğruya yansıdığı gözlenmiştir.

Bu sonuçlar üzerine, Sinan sonrası olmasına rağmen, restorasyon çalışmalarını nedeni ile kubbeye ulaşma imkânı olan Sultan Ahmed Camii'nde incelemeler yapılmış ve yetkililer ile yapılan görüşmeler sonucu kubbeye rezonatör araştırmasına gidilmiştir. Bu araştırma sonucu çok sayıda rezonatör ortaya çıkarılmıştır (3. fotoğraf). Halen iç içe üç daire üzerinde şu durum tesbit edilmiştir;

1. En içte yeni ortaya çıkarılan daire üzerinde 7 adet rezonatör olup bu dairede iki rezonatör daha aranmaktadır,
2. Bu halka üzerindeki rezonatör sayısı 28'e tamamlanmıştır,
3. En dışta bulunan bu halka üzerinde rezonatör sayısı 40'a tamamlanmıştır.



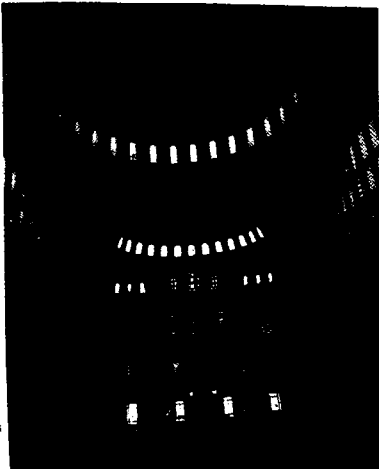
Fotoğraf 3. Sultan Ahmet Camiinde yeni ortaya çıkartılan bir rezonatörün ağızı



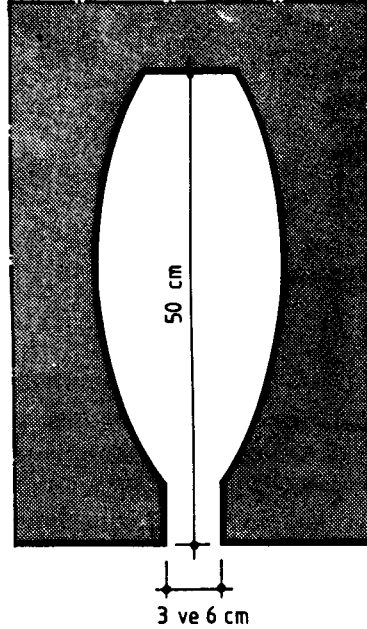
Fotoğraf 5.Selimiye Camiinde Hünkâr mahfili ve taşıyıcı ayak.



Fotoğraf 6.Süleymaniye Camiinde hareket verilmiş yüzeyler.



Bu rezonatörlerin ortaya çıkartılmasında şantiye şefi sn. Halit SORGUÇ'un olumlu çabalarını burada hatırlamamak mümkün değildir.



Şekil-5-Sultan Ahmet Camii'nin kubbesinde bulunan rezonatörlerin kesiti

5. şekilde şeması verilen bu elemanların ağızlarının çapı bir kısmında 3 cm, diğerlerinde 6 cm'dir. Bu ise doğrudan doğruya sistemin rezonans yaptığı ve etkili olduğu frekansı değiştirmektedir. Frekans kavramının bu derece hassas ve detaylı ele alınmış olması konuya verilen önemi ve bilgi düzeyini ortaya koymaktadır.

5. Ele alınan camiler dikkatli bir şekilde incelendiğinde, bütün elemanlardan homojen ses dağılımını temin etmek amacı ile yararlanıldığı görülmektedir. Ayak ve payandalarda görüleceği üzere (4. fotoğraf)

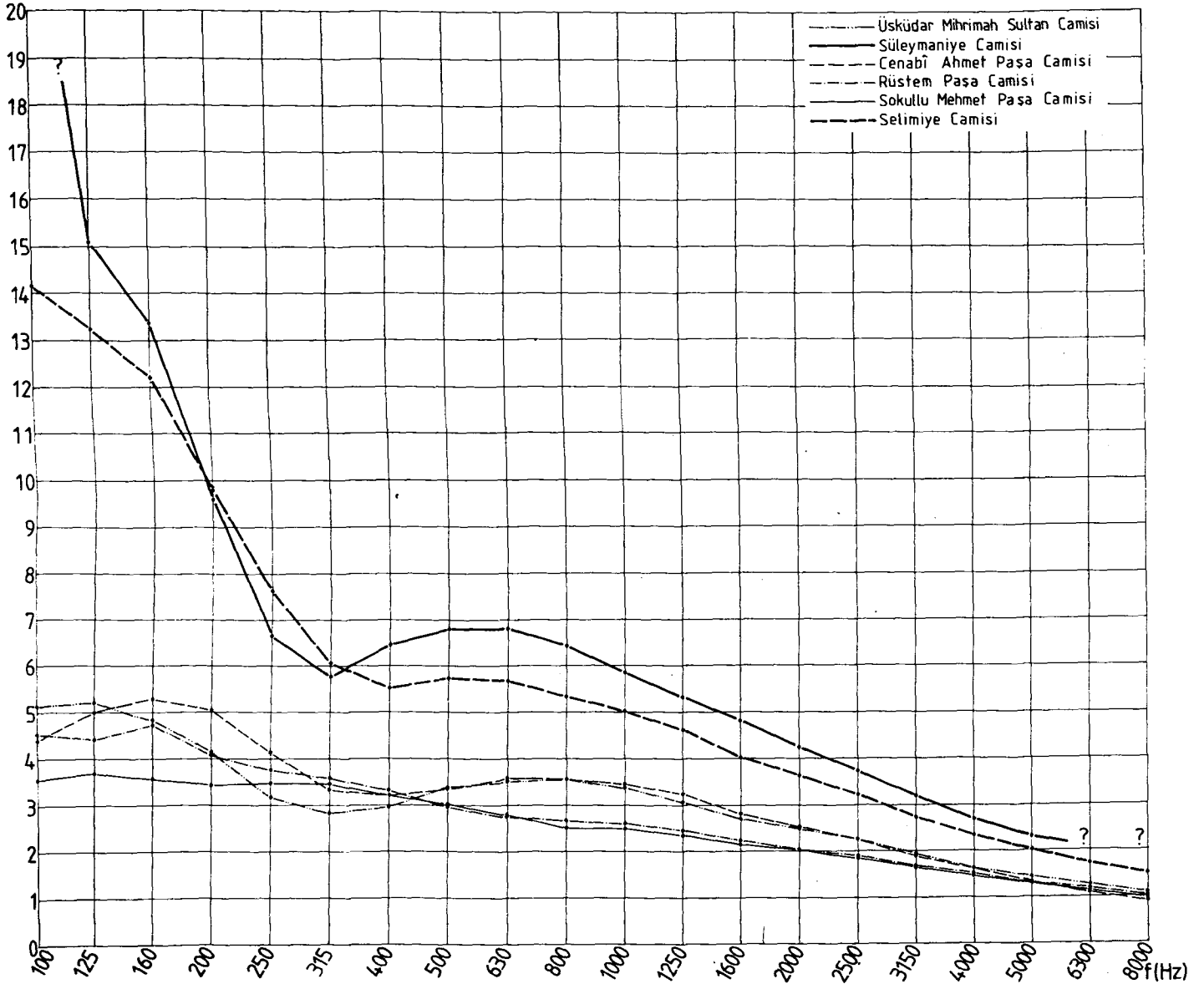
taşıyıcı sisteme daima sesi dağıtarak yansıtacak formlar verilmiş, bu elemanların yanı sıra nişler ve çeşitli mahfiller ile büyük düz yüzeyler parçalanarak sesi dağıtacak

yansıtıcı elemanlar elde etme yoluna gidilmiştir (5. fotoğraf). Cami hacmi büyüdükçe, büyük hacimlerde iyi akustik veriler elde etmek için şart olan bu parçalanmanın arttığını görüyoruz. Buna Süleymaniye'yi örnek gösterebiliriz (6. fotoğraf).

Getirilen çözümlerin strüktür ve mimârî estetik kavramları ile bütünleşmesi ayrıca dikkate değerdir.

Çınlama zamanı ölçüleri Uluslararası Standartları Organizasyonu ISO'nun 1963 tarih, R 354 nolu, Türk Standartlar Entitüsü'nün ise Mart 1976 tarihli ve TS 1476 nolu standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Bu çalışmalarda 100 Hz'den 8000 Hz'e kadar olan frekans bölgesinde 1/3 oktav band dizisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar 6. şekilde verilmektedir. İlk bakışta bir mukayese yapılabilmesi için 7. şekilde çeşitli ülkelerde yapılmış ve akustik tasarımları detaylı olarak ele alınmış bazı konser salonlarının çınlama zamanı eğrileri verilmektedir.

Ölçü sonuçları, iki büyük cami dışında kalan 4 camide çınlama zamanının ideal diyebileceğimiz bir düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra Sokollu Mehmed Paşa ve Rüstem Paşa Camileri'nden elde edilen değerlerde özellikle görülen düzgünlük hayret uyandıracak dereceye varmaktadır. Herşeyden önce, günümüzde çok gelişmiş elektronik cihazlar ile durumu inceleyip sonucu ortaya koyabiliyoruz. Sinan'ın bu imkândan yoksun olduğunu unutmamız gerekir. Bunun yanı sıra, bu iki camide iç yüzeylerin kubbe kasnağına kadar tamamen çini ile kaplı olduğunu ve çini kaplı yüzeylerin sesi tam yansıtan bir eleman oluşturduğunu göz önüne alırsak, Sinan'ın konuya olan hakimiyeti ve bilgi düzeyi karşısında şaşırılmamak imkânsız hale gelir (7. fotoğraf)



Şekil-6-Çınlama zamanı (T) ölçüleri sonuçları



Bu, akustik verileri olumsuz malzeme dahi kullansa, bilgi düzeyi ve uyguladığı teknoloji ile Sinan'ın gerekli çözümü ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu iki camide çinilerin altına bağdâdî veya benzeri esnek bir kaplama yaptığı ve çinileri yine esnek bir harç ile bu kaplamaya yapıştırdığı düşünülmektedir. Böylece sistem panel rezonatör olarak çalışabilir. Ancak bu konuda, çinileri söküp sistemi incelemeyen tam bir yorum yapmak şu an için imkânsızdır. Çünkü Sinan'ın uyguladığı teknolojilerin ortaya koyduğu bilgi birikimi çok yüksek düzeydedir. O nedenle yakında restorasyon çalışmalarına başlanılacağı öğrenilen Rüstem Paşa camii için yetkililerle gerekli temasın kurulup bu konunun incelenmesi planlanmaktadır. Bu iki camide, ses enerjisinin yansımalarının önlemek amacı ile kubbenin, bu amaçla özel olarak yapılmış bir siva ile sıvandığı görülmüştür. Gözenekli ve yumuşak bir dokusu olan bu sıvanın alçak ve orta frekanslarda iyi bir ses yutucu malzeme olduğu düşünülmektedir.

Gerek bu iki camide ve gerekse diğer camilerde sıvanın ses yutucu malzeme olarak ortaya çıkması üzerine, restorasyon çalışmaları yapılan camilerden çeşitli örnekler alınmıştır. Bu örneklerde, kullanılma amacına uygun olarak horasan harcı sıvanın fiziksel özelliklerini değiştirebilecek teknolojinin bulunduğu gözlenmiş ve ayrı özelliklerde üç tip siva tesbit edilmiştir.

1. Sert ve açık tuğla renginde horasan harcı siva. Bu sıvanın ses yutucu özelliği yoktur.

2. Keten kırıntılarında oluşan kırıla karıştırılmış yumuşak dokuda horasan harcı siva. Bu malzemede, iç tarafta bulunan kırıla tabakasının yumuşaklığını duvardan söküldükten bir süre sonra kaybettiği ve sıvanın tamamen sertleştiği gözlenmiştir. Alçak ve orta frekanslarda iyi bir ses yutucu olan bu malzemenin sertliğinin ihtiyaca göre kontrol edilebildiği görülmektedir. Buna çok yumuşak dokuda olan Rüstem Paşa Camii kubbesinin sıvası ile daha sert olan Sultan Ahmed Camii'nin yine kubbesinden alınan siva parçaları örnek gösterilebilir.

3. Yine horasan harcından fakat kırıksız olup yaklaşık 4 mm kalınlığında ve sakız yumuşaklığında olan siva. Sultan Ahmed ve Şehzâde Camileri'nin yanı sıra Edirne Sitti Şah Sultan Camii'nin mihrabından da bu tip sıvadan örnek alınmıştır. Özellikle çinilerin yapıştırılmasında kullanıldığı ve esnekliği nedeni ile yapının oturma sonucu çalışması halinde çinilerin dökülmesini önlediği ve bunun yanı sıra panel rezonatör olarak çalışan çini kaplama sistemlerde gereken esnekliği sağladığı düşünülmektedir. Ne yazık ki, bu sıvadan alınan örnekler de bir süre sonra sertleşmiş ve ufalanmıştır.

Bu tesbitlerin Sinan öncesi camilerde de yapılması siva tekniğinin daha önceki dönemlerde çok geliştiğini göstermektedir. Bu gelişmenin diğer bir örneği de Edirne Eski Camide tesbit edilmiştir. Dördüncü bir siva tipinin kullanıldığı bu sistemde, kubbede dökülen sıvaların altında bağdâdî görülmektedir (8. fotoğraf). Bağdâdînin getireceği esneklik ile sert ve rijit yüzeylerden kaçınıldığı, bunun da siva ile çözümlendiği burada da görülmektedir.

Ne yazık ki, bu eserlerin çoğunda daha önce yapılan onarımların izi, bu özel sıvaların üstüne veya dökülenlerin yerine yapılan sert ve rijit alçı sıvalarla kendini göstermektedir.

Diğer iki küçük cami, Üsküdar Mihrimah Sultan ve Cenâbî Ahmed Paşa Camileri'nde yapılan çinilama zamanı ölçü sonuçlarından ele edilen çinilama zamanı eğrilerinde, az da olsa, alçak frekanslarda bir dalgalanma ve orta frekanslarda artma görülmektedir. Bu durumun yapılan onarımlarda kullanılan alçı siva nedeni ile oluştuğu ortadadır. İç yüzeyleri tamamen kırıla horasan harcı siva ile sıvanmış olan bu camilerde siva özelliklerinin mutlaka korunması gerekmektedir.

Fotoğraf. 8. Edirne, Eski Camide dökülen sıvanın altında görülen bağdâdî

SİNAN'IN CAMİLERİNDEKİ AKUSTİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

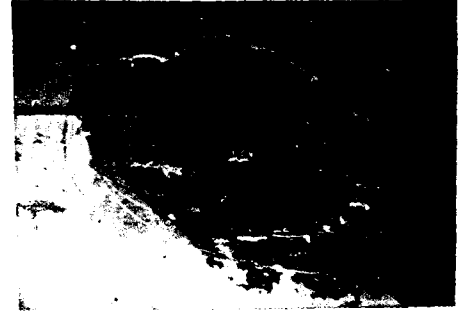
Doç. Dr. Mutbul KAYILI

553

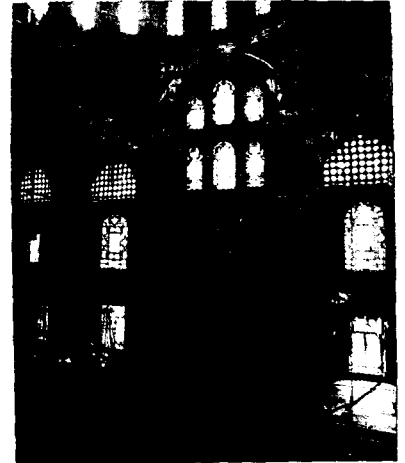
Süleymaniye ve Selimiye Camilerinde yapılan ölçülerde alçak frekanslarda çınlama zamanının aşırı derecede arttığı tesbit edilmiştir. Bunun yanı sıra orta frekans bölgesinde de belirgin bir artış gözlenmiştir. Her iki caminin 1830'lu ve 1880'li yıllarda İtalya'dan getirilen ekipler tarafından onarıldığı belgelerde belirtilmektedir. Özellikle İtalyan mimar Fossati tarafından yapılan onarımlarda bu camilerin yanı sıra aynı ekip tarafından onarılan diğer camilerde de bir çok özelliklerin bozulduğu belgelenmektedir. Özellikle kubbe sıvalarının alçı ile onarıldığı, kubbelerde bulunan küplerin kapatıldığı, ve tezyinat için alçı macun çekildiği belirtilmektedir. Hatta bu onarım kurbanları arasında bulunan Sultan Ahmed Camiinin kubbesinde, daha önce belirtilen rezonatör görevi yapan küplerin ortaya çıkarılması çalışmalarında, bu rezonatörlerden birinin ağzının ahşap takoz ile kapatıldıktan sonra alçı ile sıvandığı tesbit edilmiştir. (9. fotoğraf)

Bunun dışında Cumhuriyet döneminde ve halen yapılan restorasyon çalışmalarında sıva onarımları alçı ile yapılmakta ve onarım gören yüzeyler tamamen yansıtıcı hale gelmektedir. Sonuç olarak alçak ve orta frekanslarda çınlama zamanı artışları ortaya çıkmaktadır. Rezanatörlerin kapatılması ile, alçak frekanslarda oluşan rezonanslar çözümsüz kalmakta ve bu frekanslarda çınlama zamanı aşırı bir şekilde artmaktadır. Hatta Süleymaniye Camiinde yapılan ölçülerde, 125 Hz'de rezonansların oluşması nedeni ile yer yer çınlama zamanı 20 saniyeyi geçerek ölçü limitleri dışına çıkmıştır. Bu iki cami akustik özelliklerinin bozulması ile yapılan hataların tipik birer örneğidir.

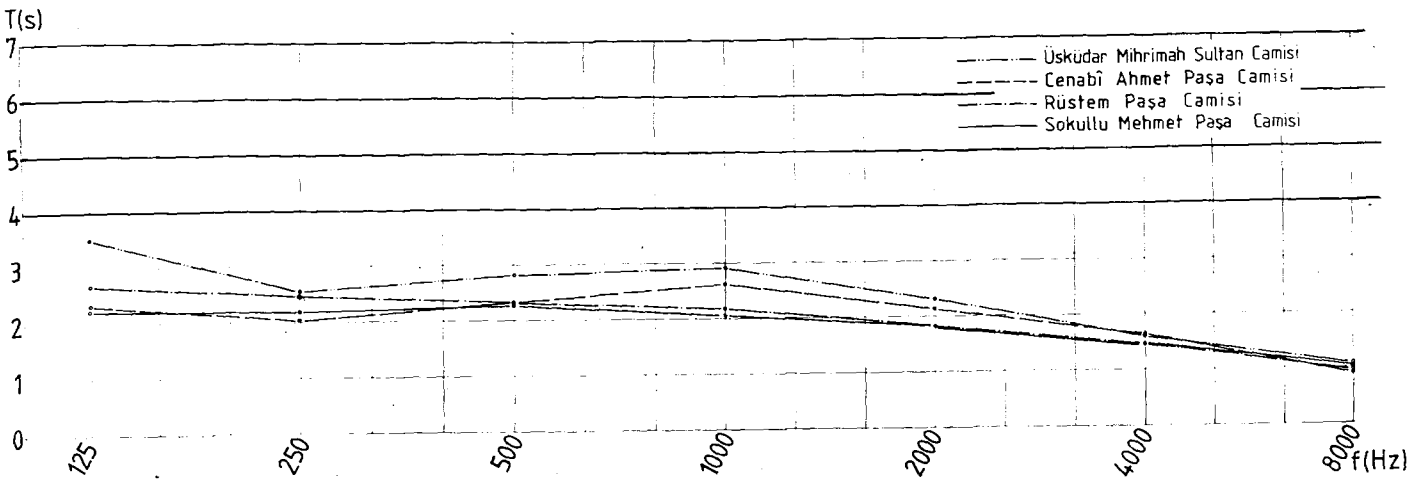
Sinan'ın homojen ses dağılımında olduğu üzere, hacim içindeki elemanlardan ses enerjisi düşüşünü kontrol etmek için de yararlandığını görüyoruz. Mahfil, minber gibi elemanların korkulukları çoğunlukla şebekelidir. Delik niteliğinde olan (Fotoğraf 10.) bu şebeke, elemanın delikli (perfore) plak olarak çalışmasını sağlamakta ve ses enerjisi düşüşüne yardımcı olmaktadır. Döşemeye serilen, çoğunlukla bir kaç kat olabilen halı ise, orta ve yüksek frekanslarda iyi bir ses yutucu görevi yapmaktadır. Kullanıcı faktörü göz önüne alındığında, metre kareye iki kişinin düşüğünü ve caminin dolu olduğunu kabul ettiğimizde şu durum ortaya çıkar; Kullanıcı orta ve yüksek frekanslarda iyi ses yutma değeri vermektedir. Bu değer yüksek frekanslarda kalın bir halının verdiği değere yaklaşıktır. "Ses yutma katsayısı" olarak tanımlanan bu değer alçak frekanslara doğru düşmektedir. Bu düşüş halının ses yutma katsayısından daha fazla olduğundan, frekans düştükçe aradaki fark büyümektedir. Bunun sonucu olarak, Süleymaniye ve Selimiye dışında, ölçü yapılan camilerin çınlama zamanı camii dolu iken bütün frekanslarda yaklaşık değerdedir. 8. şekil'de dört küçük caminin, kullanıcı faktörünün ilave edilmesi ile hesaplanan çınlama zaman-



Fotoğraf 9. Sultan Ahmet Camiinde ahşap takozla tıkanmış rezonatör



Fotoğraf 10. Rüstem Paşa Camiinin mihrabı



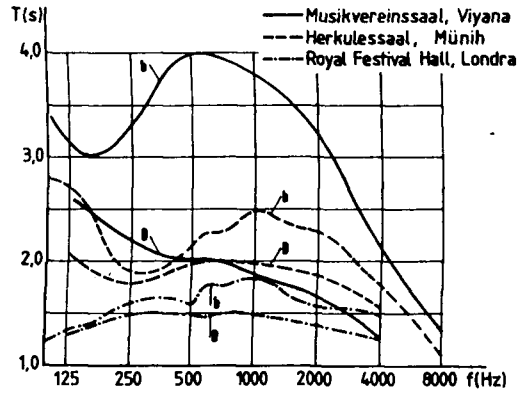
Şekil-8-Camilerin hesap yolu ile bulunan dolu durumundaki çınlama zamanları



ları verilmektedir. Burada yine aynı soru akla geliyor; Camilerde döşemeye halı serilmesinin nedeni sadece basit bir alışkanlıkmıdır; yoksa çınlama zamanının gerçekleştirilmesinde kullanıcı faktörünün göz önüne alınması sonucu ortaya çıkan teknolojik gerekçe nedeni ile kullanılmasının, zamanla alışkanlık haline gelmesimidir?

Yararlanılan Kaynaklar

1. Houtgast, T ve Steneken, G.J.M. A Multi-Language Evaluation of the RASTI-Method for Estimating in Auditoria. *ACUSTICA*, C. 54, No. 4, s. 185-199, 1984.
2. Ginn, K.B. *Architectural Acoustics*, Naerum: Brüel Kjaer, 1978
3. Rayleigh, J.W.S. *Theory of Sound C.1-2* New-York: Dover Publications, 1945.
4. İngard, U. On The Theory and Design of Acoustic Resonators. *Journal of Acoustics Society of America*, C. 25, No. 6, s. 1037-1061 1953.
5. Dickreiter, M. *Handbuch der Tonstudioteknik*. MuniH: KG. Saur, 1987.



Şekil-7-Ayrı üç konser salonunun dolu (D) ve boş (b) durumlarda çınlama zamanı(T) eğrileri(4)

Fotoğraf 7.Rüstem Paşa Camiinden görünüş.

The Acoustical Properties of the Mosques Designed by Sinan

Summary

The main feature that enhances the place of Sinan in architectural history is the technology he applied. The Acoustical properties of mosques he designed prove of this technology. An investigation has been started to search acoustical properties in six pilot mosques,

1. Mihrimah Sultan Mosque (Üsküdar-İstanbul),
2. Süleymaniye Mosque (İstanbul),
3. Cenabî Ahmet Pasha Mosque (Ankara),
4. Rüstem Pasha Mosque (İstanbul),
5. Sokollu Mehmet Pasha (Kadırga-İstanbul),
6. Selimiye Mosque (Edirne).

The beginning, two main conditions that control intelligibility were searched;

1. Homogeneous sound distribution,
2. Optimum reverberation time.

The investigation has shown that Sinan and also made use of building to obtain homogeneous sound distribution with regard to the effect of the room on acoustics. In addition to their own individual purposes, these elements have been assigned acoustical chores the forms themselves designed with esthetic points in view. On the other hand, his knowledge made him control Eigen frequencies at low frequency region by use of earthenware vessels as cavity resonators.

Reverberation time measurement yielded expected results in four mosques with the exception of Süleymaniye Mosques. In spite of ceramic finishing on walls, perfect reverberation time curves in Sokollu Mehmet Pasha and Rüstem Pasha Mosques are impressive.

The search based on these results indicate that Sinan was also capable of using finishing materials in a bid to control sound energy decay in rooms. As he could produce sound absorbent elements from ceramics, he could for this get the necessary sound absorption from plaster (Tow added Horosan mortar) which he used by changing its physical properties. Due to previous restoration activities some of the acoustical properties have unfortunately been ruined. The use of gypsum plaster at the time of restoration are recognizable in mosques where walls are plaster finished. Selimiye and Süleymaniye Mosques are typical examples of such ruins together with filling of apertures in cavity resonators that used to prolong reverberation time at low frequency region and nocment of Eigen frequencies in said mosques.