

## SİNAN'IN DEHASI SELİMİYE: AKUSTİK VE HOOP KUVVETLERİ

**Genco BERKİN** (*gencoberkin@halic.edu.tr*)

*Haliç Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü*

**Salih SALBACAK** (*salihsalbacak@halic.edu.tr*)

*Haliç Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü*

### ÖZET

Mimar Sinan ustalık eseri olan Selimiye camisinde o güne kadar denemediği yapısal ve akustik etkiler uygulamıştır. Klasik Osmanlı cami tiplerini her defasında aşmaya çalışan Sinan, bu eserinde kendini de aşmaya gayret göstermiştir. Strüktür bağlamında kubbesel çatlakların giderilmesinin çarelerini aramış ve Hoop Kuvvetleri diye bilinen mühendislik çözümünü icra etmiştir. Bununla birlikte Selimiye camisinde iç mimarideki sesin yansıma sorunlarını ortadan kaldıracak uygulamayı da bulmuştur.

*Anahtar kelimeler. Hoop Kuvvetleri, Akustik, Kubbe*

## SINAN’S GENIUS SELIMIYE: ACOUSTICS AND HOOP FORCES

**Genco BERKİN** (*gencoberkin@halic.edu.tr*)

*Haliç University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture*

**Salih SALBACAK** (*salihsalbacak@halic.edu.tr*)

*Haliç University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture*

### ABSTRACT

In Sinan’s buildings structure choice is the main design criteria. Sinan’s spaces are defined by structures. In his buildings the dome dominates the space. He has designed the dome in such a way that the materials are all in compression. In his mosques it is clear that a square space covered by a main dome which is supported by half domes or arches. He has developed the structure in a slender way and created a wholeness effect in his mosques. In this study, Sinan’s structural efforts hidden in the relationship of the dome with its supports are tried to be explained with Hoop forces together with the acoustical principles. We have tried to underline how Sinan developed symbolical dome concept in Selimiye mosque with the rationalist use of structures and optimum results in acoustics.

**Keywords:** *Hoop forces, Acoustics, Dome*

## 1. GİRİŞ

Mimar Sinan, Osmanlı mimarisine en büyük katkıyı sağlayan kişilerin başında gelir. Sinan, zamanına ulaşmış olan gelenekleri kullanıp, Osmanlı mimarisini buluşlarıyla geliştirmiş ve yüzyıllar boyunca adından söz ettirecek bir mimari dil yaratmıştır. Mimar Sinan'ın yeniçeri ocağından Hassa Mimarlar Ocağına geçişi ve daha sonra da baş mimarlığa hızlı bir şekilde yükselişinin ardındaki sır onun askerken gösterdiği mühendislik yeteneğinde gizlidir. Osmanlı ordusunu azgın bir nehirden yüzen köprüler inşa ettirerek geçirmiştir. Sinan, geleneği tümden reddetmese bile daima akıl süzgecinden geçirmiş ve ilerleme ilkesine inanmıştır.

Mimar Sinan, analitik ve sentezci mimari tekniği ile büyük eserler üretmiştir. Sinan, kendi deyimiyle çıraklık döneminde Şehzade Camisini, kalfalık döneminde Süleymaniye Camisini, ustalık döneminde ise Selimiye Camisini yapmıştır. Yapıları incelendiğinde özellikle camilerindeki mimari üslupta rasyonel mimarlığın öne çıkarak, mekândaki doluluk, boşluk, strüktür, oran, ışık, akustik ve mekânların geometrisinde netlik görülmektedir (Erzen, 2005: 26).

Mimar Sinan'ın camilerinde strüktürü ön plana çıkararak süs öğeleri ile gizlememesi, mekânın algısında sağlamlık ve güç hissi, içine girildiğinde ise simgesel anlam yaşatması dolayısıyla mekânın biçimlenmesinde strüktür ve simgesel anlamların bir arada kullandığını görmekteyiz. Mimar Sinan'ın eserlerinde oluşturduğu ruhsal atmosfer şöyle özetlenebilir:

*Strüktür + denge + düzen + akılcılık + anıtsallık = ruhsal atmosfer*

## 2. KUBBE VE SİNAN

Sinan strüktüründe, kullanılan malzeme taş ve horasan kâgirdir. Ayrıca duvarlara gereken sağlamlığı vermek için taşlar birbirine demir kenetlerle bağlanmıştır. Sinan strüktüründe, kubbe tonoz ve kemerler horasan kâgirinden, duvar ve ayaklar taştan oluşur. Kâgir malzemenin basınç etkisine dayanıklılığına karşın çekmeye ve kaymaya karşı dayanıklılığı çok zayıftır.

Sinan mimarisinde, her şeyden önde tutulan şey kubbedir. Sinan, mimarisini kubbe etrafında oluşturmuştur. Kubbe mimarisinin öncelikli tasarım sorunlarından biri örtü sisteminin yapının gövdesi ile bütünleşmesi konusudur (Tuluk, 2006:275) . Kubbeden gövdenin prizmasına geçiş için

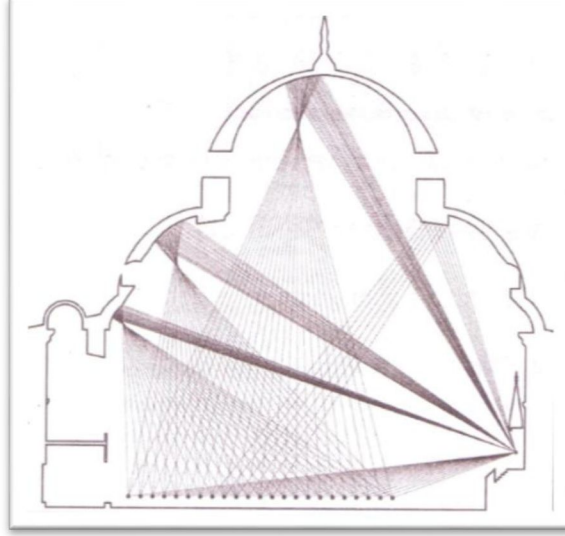
**Genco BERKİN, Salih SALBACAK**

geliştirilmiş olan yaratıcı biçimler hem strüktürel hem de dekoratif olmak zorundadır. ‘Türk Üçgeni’ böyle bir arayışın sonunda ortaya çıkmıştır. Kubbe mimarisinin diğer tasarım sorunu kubbenin basıklığıyla ilgilidir. Sinan’ın kubbe strüktüründe gösterdiği buluşları daha çok bununla ilgilidir. Sinan’dan önceki mimarların, basık kubbe yerine yarım küre formunu tercih ettiklerini görmekteyiz.

Kubbe, Gauss Eğriliği pozitif, yani sıfırdan büyük, olan bir yüzeydir. Bu tür, ‘Eliptik’ diye adlandırılan yüzeylerin özelliği, üzerlerindeki herhangi iki noktayı birleştiren çizgilerin hepsinin, merkezi yüzeyin aynı tarafında olan eğriler olmasıdır. Böyle bir yüzeyde, örneğin küre formundaki bir kubbede, öz ağırlık gibi düzgün yayılı düşey yükler altında, kubbenin tepesinden mesnede doğru 51050’lik bir açığa karşı gelen bir enleme kadar yüzeyin her doğrultusunda aksenal basınç kuvvetleri oluşur. Kubbede tepeden mesnede doğru ölçüldüğünde 51050’lik açığa tekabül eden enleme ‘kırılma derzi’ veya Hoop Kuvvetleri denir (Schodek, 2004: 436). Bu enlemin altında enlem doğrultusunda mesnede doğru eğrisel olarak artan aksenal çekme kuvvetleri oluşur. Çekme kuvvetlerinin küçük değerlerde kalması için, mesnetten bu enleme kadar bölgede pencere boşlukları bırakılarak çekme kuvveti kontrol altına alınır. Ayasofya’dan başlayarak tarihi kubbelerde yapılan budur (Mungan, 2007: 78).

Ayasofya’nın merkezi kubbesinde, dönele simetrik olan formuna rağmen, dönele simetrik olan kendi ağırlığı altında bile, gerçek kubbe için geçerli olan dönele simetrik yük taşıma davranışı oluşmamaktadır. Bu nedenle, öncelikle merkezi kubbenin yarım kubbelerle birleştiği yerler strüktürün en zayıf bölgelerini oluştururlar. Geçmişte de depremlerde yıkılmalar hep o bölgelerde başlamıştır. Bu çökmelerin yıkılmaya yol açmaması durumunda bile, merkezi kubbede ve yarım kubbede önemli eğilme momentleri etkir. Ayasofya ve diğer Osmanlı camileri, Mimar Sinan’ın büyük ve basık kubbelerin davranışını anlaması için bir nevi staj imkânı sağlamıştır. Sinan o yapılardaki strüktür ve akustik sorunlarını çok iyi etüde etmiştir. Sinan’ın dehası olmasaydı Ayasofya’nın strüktüründeki hasarlar günümüze kadar devam edecek ve belki de kubbesi çökecekti. Yapı, Mimar Sinan tarafından doğu tarafında 7, batı tarafında 5, kuzeyde ve güneyde 4’er ve köşelerde de 1’er olmak üzere toplam 24 güçlü taş payanda duvarlarıyla dışından desteklenmiştir. Bu ve benzeri gibi statik sorunlardan çekinen Osmanlı mimarları kubbenin basıklığını değiştirmeme yönünde (mukavemeti düşürmemek adına) karar almışlardır. Ancak bu form strüktürü güvenli kılarken akustik sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Şekil 1’de görüleceği üzere kubbe basıklığı  $k=1$  yani  $h/2R=1$  olan klasik Osmanlı camisinde ses ışınlarının kubbeden yan duvarlara yansıdığı ve çınlama süresinin uzadığı tespit edilmiştir.

### Sinan'ın Dehası Selimiye: Akustik ve Hoop Kuvvetleri



Şekil 1. Klasik Osmanlı camii'sinde duvarlardan mükerrer ses yansımaları ve yankı sorunları (Demirkale, 2007)

MutbulKayılı'nın da belirttiği gibi klasik Osmanlı cami kubbesi akustik davranışları reverberasyon süresini uzatacak şekilde gerçekleşmektedir. Bundan dolayı kubbe çeperlerine ses ışınlarını emmesi için testiler yerleştirilmiştir (Kayılı, 2005:).

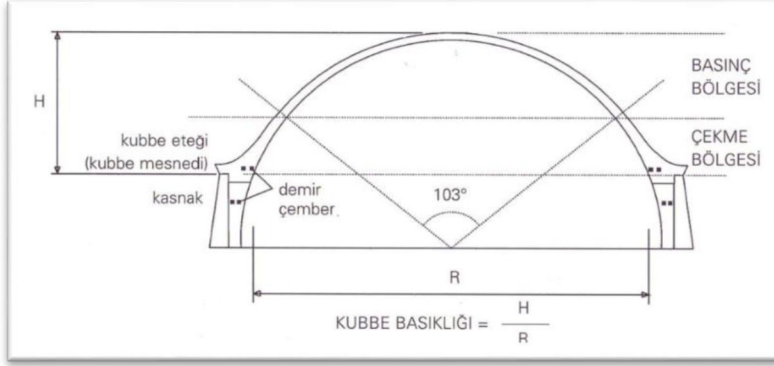
### 3. SELİMİYE CAMİİ STRÜKTÜR VE AKUSTİK İLİŞKİSİ

Sinan'ın mimarlık tarihine en büyük katkılarından biri, kâgir karkas sistemi bulmuş olmasıdır. Onun zamanına kadar yığma tekniğiyle yapılan yapılarda, duvar kalınlıkları 1 metreyi geçebiliyordu. Sinan, yapının ağırlığını kemerler ve fil ayakları vasıtasıyla temellere indirip, duvarlara yük bindirmeme fikrini bulup geliştirmiştir. Bu fikrini de Selimiye Camii'nde uygulamıştır. Bundan dolayı Selimiye Camii'nin duvarları ince yapıldı, içeriye daha fazla gün ışığı alınmıştır. Sinan yukarıda belirtildiği



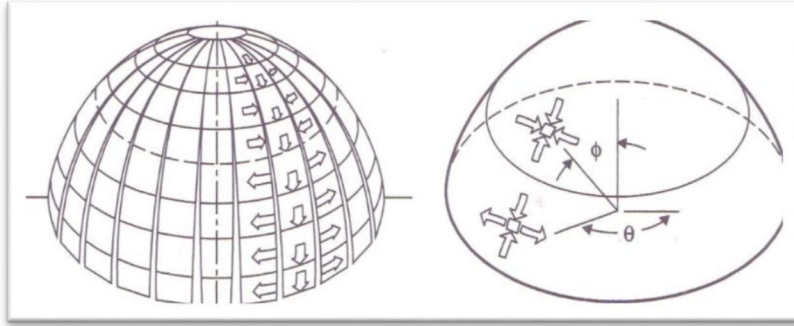
Genco BERKİN, Salih SALBACAK

gibi kubbedeki Hoop Kuvvetleri'nin varlığını sezmiş ve kubbe basıklığını bu doğrultuda ele almıştır.



Şekil 2. Hoop Kuvvetleri: basınç / çekme değişim enlemi (Günay, 2006)

Kubbe dairesinin merkezinden kubbeye doğru 51050' lik açının üstünde kalan kubbe parçası basınç bölgesi olarak kabul edilir. Bu açının altında kalan kısım çekme bölgesi içinde kaldığından kâgir yapı için olumsuz olup, (kâgir yapı çekme gerilmelerini karşılayamaz) alt bölgelerde çekme gerilmesi artar ve ırsal çatlaklar oluşur. Bunu karşılamak için kubbe mesnedinin kalınlığı tepe noktasındaki iki katı kadar arttırmak gerekir. Hatta bu bölgenin demir çemberlerle kuşatılarak dışa doğru açılmasını önlemek gerekir. Sinan, Selimiye Camii'nde strüktürü yatay olarak yayacağına, dikey sıralamada bir karşı denge yaratarak üst strüktürü birkaç düzeyde yükseltmiş, küpten küreye geçişte her bir düzey bir geçiş ögesi olarak kullanılmıştır. Merkezi baldekenintaşıyıcı pilyeleri ile onu çevreleyen dış cidar arasındaki mesafe çok fazla değildir. Bu mekan cidarın kalınlığından oyulmuş hissi verir.



Şekil 3. Hoop Kuvvetleri: vektörel olarak dağılımlar (Schodek ve Bechthold, 2004)

### Sinan'ın Dehası Selimiye: Akustik ve Hoop Kuvvetleri

Kubbe basıklığı (kubbenin kendi yüksekliği/kubbe çapı) arttıkça kubbenin yana doğru itme kuvvetinin karşılanması zorlaşır. Kubbenin yerden yüksekliğinin artması da yatay yükleri iletmede sorun yaratır. Daha kalın duvar veya daha büyük payanda gerektirir. Bu yüzden basık kubbe mimarlar tarafından ustalık işareti olarak görülmüştür. Sinan, yapı planının gerektirdiği yapı yüksekliğini rasyonel bir biçimde bulduktan sonra, kubbenin yerini ve geometrisini belirlemiş, en uygun geçit elemanlarını kullanmış ve kubbe yüklerinin alt yapıya geçişini, optimum biçimde, statik kurallara uygun olarak sağlamıştır. Sinan'ın kullandığı basık kubbenin sınırından geçen enlemdeki kuvvetlere daha sonra Hoop Kuvvetleri denmiştir. Sinan Devri önemli kubbe boyutları ve basıklıkları aşağıdaki gibidir (Günay, 2006: 55):

Tablo 1.

Yapılar ve Yerleri	h	2R (R=yarı çap)	k=h/2R
Şehzade Camisi - İstanbul	6,95	19,50	0,366
Süleymaniye Camisi - İstanbul	9,50	27,25	0,347
Selimiye Camisi - Edirne	10,29	31,50	0,327
Kara Ahmet Paşa Camisi - İstanbul	3,94	11,80	0,333
Sokollu Camisi - İstanbul	3,90	11,43	0,342
Piyale Paşa Camisi - İstanbul	3,37	9,00	0,375
Rüstem Paşa Camisi - İstanbul	5,73	14,80	0,387
Zal Mahmut Paşa Camisi - İstanbul	4,00	12,80	0,312
Kılıç Ali Paşa Camisi - İstanbul	3,60	12,00	0,3
Hadım İbrahim Paşa Camisi - İstanbul	3,42	11,20	0,308

Nafiz Çamlıbel'e göre Sinan mimarlığında mekan düzenini yönlendiren tek somut neden strüktürel endişedir (Çamlıbel, 2000:106). Ancak Selimiye camiinde akustiği de mekan ve strüktür problemlerinin içinde ele almıştır. Sinan, Selimiye camii içinde sesin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için arayışa girmiş ve bu amaçla yapı strüktürü ve hacim akustiği konularını birleştirerek çözüm üretmiştir. Sinan, bu nedenle Selimiye camii'nde, müezzin mahfilini tam kubbenin altına yerleştirmiştir. Yerden yüksekliği 240cm olan platformun (müezzin mahfili), akustik açıdan paralel yansıma geometrisini sağladığı görülmektedir. Kubbedeki formun ve ses kaynağının yüksekliğini iyi ayarlayan Sinan, müezzin mahfilinden çıkan seslerin, cemaate duvarlardan yansımadan doğrudan ulaşmasını istemiş ve bunu başarmıştır. Şekil 4'te görüleceği üzere ancak  $R = 2m$  olduğunda kubbeye ulaşan ve yansıyan ses ışınları yere paralel inebilmektedir. Böylesi bir kubbe formu ancak Hoop kuvvetlerini de sağlayan bir parabol eğrisinin parçası olabilirdi. Sinan Selimiye





### Kaynakça

- [1] Berkin, G.,Salbacak, S., 2009, “Mimar Sinan’ın Camilerinde Strüktürün Mekan Organizasyonuna Etkisi” V. Sinan Sempozyumu, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- [2] Çamlıbel, N., 1998. “Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] Demirkale, S. Y., 2007, “Çevre ve Yapı Akustiği”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [4] Erzen, J. N., 2005, “Mimar Sinan Estetik Bir Analiz”, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı, Ankara.
- [5] Günay, R.,2006, “Sinan’ın İstanbul’u”, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.
- [6] Mungan, İ., 2007: 75-102 “Süleymaniye Camii’nin Strüktür Çözümü”, Bir Şahaser Süleymaniye Külliyesi, Ed. Selçuk Mülayim, Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- [7] Kayılı, M. 2005, “Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture” Foundation ForScienceTechnologyandCivilization.
- [8] Schodek, D.,Bechthold, M., 2004, “Structures”, PrenticeHall, London.
- [9] Tuluk, Ö.İ. , 2006: 275-284 “Osmanlı Camilerinde Mekan Kurgusu Açısından Kare Tabanlı Baldaken Varyasyonları”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, (21):2