

SİNAN KUBBELİ YAPILARINDA MEKAN ÖRTÜ SİSTEMLERİNİN YAPISAL DAVRANIŞI

Hüseyin BİLGİN¹
huseyin@asia.com

Öz: Mimar Sinan kubbelerini, mekan örtüsünde tek olarak kullandığı gibi mekan genişlemesine bağlı olarak yarım kubbelerin çeşitli kombinasyonlarıyla beraber de kullanmıştır. Merkezi ana kubbe, kemer, pandantif, ve yarım kubbelerin birleşmesinden oluşan bu tür monolitik taşıyıcı sistemlerin yük taşıma mekanizmasını ve yapısal davranışını tespit etmek, günümüzün bilgisayara dayalı sayısal hesap metotları yardımıyla mümkün olabilmektedir. Bugün gelişmiş toplumlar, geçmişin kültür ve sanat birikiminin somut bir simgesi olan ve yüzyıllardır iklimsel koşullar, savaşlar ve deprem gibi doğal afetlere karşı koyarak varlığını sürdüregelen geleneksel yapıların korunmasına önem vermektedirler. Tarihi yapıların korunmasında atılacak ilk adımlardan biri, şüphesiz taşıyıcı strüktürlerin yapısal davranışını anlamak olmalıdır. Bu çalışmada, İstanbul'daki Şehzade Camisi mekan örtü sistemi ile bu örtü sisteminin geometrik boyutları esas alınarak; yarım kubbesiz dört eşit rijitlikli kemere oturan, iki yarım kubbeli, üç yarım kubbeli ve dört yarım kubbeli teorik örtü sistemlerinin zati yükleri altında, sonlu elemanlar yöntemine dayalı SAP2000 Yapısal Analiz Programı ile statik analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda; ana kubbe, kemer, yarım kubbe ve pandantif dörtlüsünün karşılıklı yapısal etkileşimi belirlenmiş ve her sistemin yapısal davranışı sayısal olarak ortaya konmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ana Kubbe, Kemer, Mimar Sinan, Pandantif

Giriş

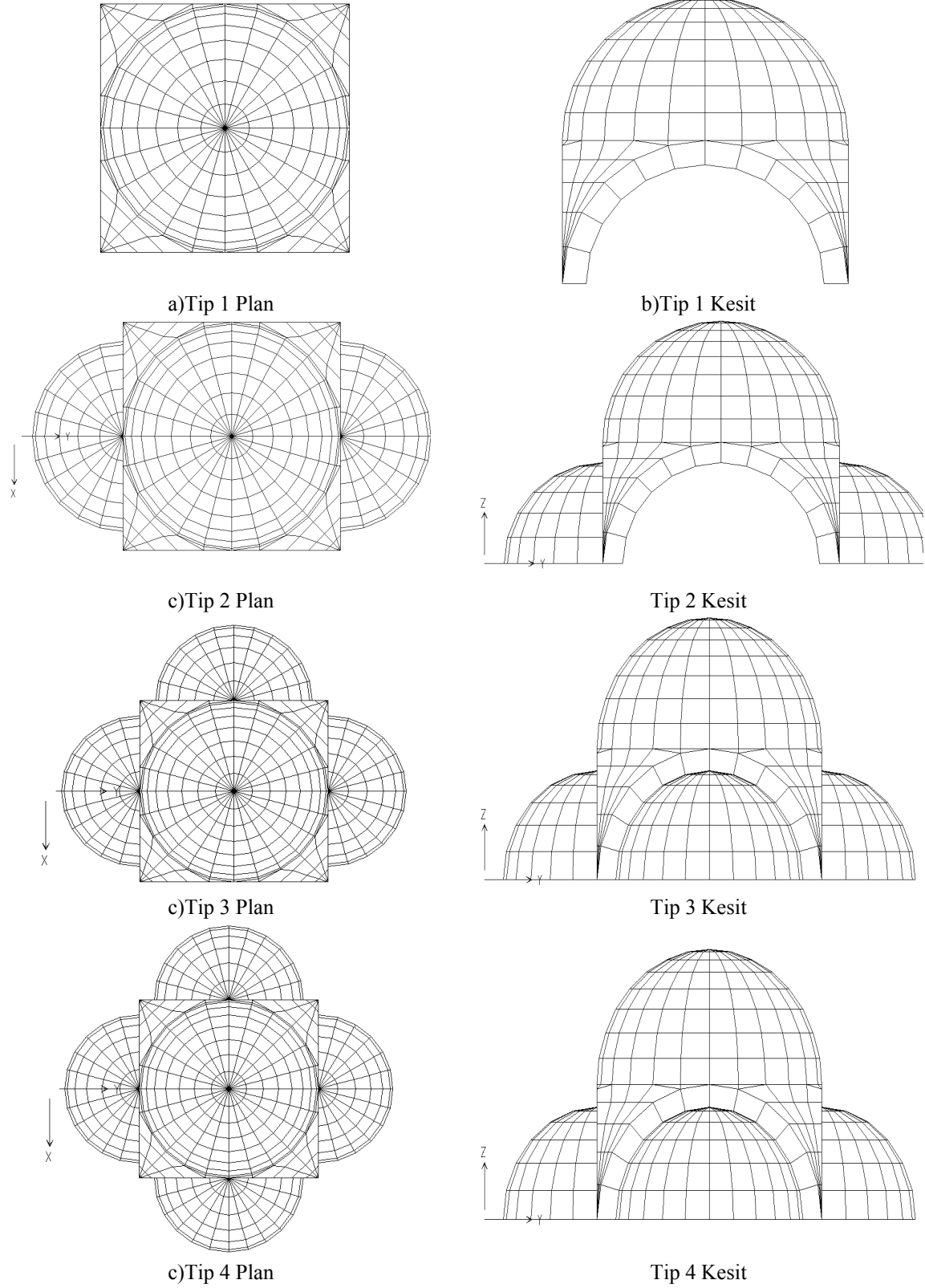
Tarihi yapılarda kullanılan kubbeler, mekan örtüsünde tek olarak kullanıldıkları gibi mekan genişlemesine bağlı olarak yarım kubbelerin çeşitli kombinasyonlarıyla beraber de kullanılmışlardır. Geniş ve anlamlı mekan oluşturulmasında kullanılan, öz ağırlık ve kar yükleri gibi düşey kuvvetleri yüzeyi içinde taşıyan, pozitif Gauss eğrilikli kabuk sistemlerin en sık kullanılagelmış türünü oluşturan bu formun boyutlandırılmasının geçmişte, daha önceki örneklere ve mühendislik sezgisine dayalı olarak yapıldığı bilinmektedir.

Pozitif Gauss-eğrilikli yüzeysel taşıyıcı olarak kubbe; sütun, lento ve kemer gibi sadece kendi düzlemindeki yükü aktarabilen yapı eleman ve strüktürlerinden tamamen farklıdır ve en az iki boyulu bir teori yardımı ile incelenebilmektedir. Kubbe kalınlığının (h), kubbe yarıçapına (r) oranı; $h/r < 1/10$ ise, 19. Yüzyılın son çeyreğinde geliştirilen ve halen geçerli olan iki boyutlu kabuk teorisi yardımıyla, yüklerin kubbede oluşturduğu etkiler ve meydana getirdikleri iç kuvvetler, sayısal olarak elde edilebilmektedir.

Mekan genişlemesine bağlı olarak; ana kubbe, pandantif veya tromp, kemer ve yarım kubbelerin değişik kombinasyonlarında oluşan oldukça karmaşık, monolitik bir örtü sistemi olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 1). Bu tür taşıyıcı sistemlerin yük taşıma mekanizmasını ve yapısal davranışını tespit etmek, günümüzün bilgisayarlara dayalı hesap metotları yardımıyla mümkün olabilmektedir (Türkmen, 1994).

Bu çalışmada, İstanbul'daki Şehzade Camisi mekan örtü sistemi ile aynı ana kubbe ve kemer rijitliklerine sahip olan ve bu örtü sisteminin geometrik boyutları esas alınarak; yarım kubbesiz dört eşit rijitlikli kemere oturan, iki yarım kubbeli, üç yarım kubbeli ve dört yarım kubbeli mekan örtü sistemlerinin zati yükleri altında, sonlu elemanlar yöntemine dayalı SAP2000 Yapısal Analiz Programı ile statik analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda ana kubbe, pandantif, kemer ve yarım kubbelerin yapısal etkileşimi belirlenmiş ve sistemlerin birbirleriyle karşılaştırmaları yapılmıştır.

¹ Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Ana Bilim Dalı Doktora Öğrencisi, DENİZLİ.



Şekil 1. Analizi yapılan mekan örtü sistemleri

Kullanılan Yöntem

Kültürel mirasımızın en önemlileri arasında yer alan tarihi yapılar, değişik estetik ve fonksiyonel istekler göz önüne alınarak yapılmış ve buldukları dönemin sosyal, kültürel, ekonomik, politik ve dini yapısını yansıtmaktadırlar. Birçoğu hiçbir koruma onarım ve restorasyon çalışması görmeden günümüze kadar ulaşmıştır. Bugün gelişmiş toplumlar, kültürel miras niteliğinde olan bu yapıların gelecek nesillere daha sağlıklı bir şekilde iletilmesine yönelik çalışmalara ağırlık vermişlerdir.

Günümüzde yüklerin kubbe oluşturduğu etkiler ve meydana getirdikleri iç kuvvetler kabuk teorisi yardımıyla, teorik ve nümerik olarak elde edilebilmektedir. Buna karşın, ana kubbe, pandantif, kemer ve yarım kubbelerin birleşmesinden oluşan monolitik taşıyıcı sistemler ise oldukça karmaşıktır. Bu tür taşıyıcı sistemlerin yük taşıma mekanizmasını ve yapısal davranışının tespit etmek, günümüzün bilgisayara dayalı sayısal hesap yöntemleri yardımıyla mümkün olabilmektedir.

Örtü sistemlerinden kubbenin, yarım kubbe ile oluşturdukları kombinasyondan meydana gelen yüzeysel taşıyıcı sistem, malzeme ve yapım tekniği bakımından gelişerek günümüze kadar gelmiştir. Sistemlerin malzeme kalitesi ve yapım düzgünlüğü gelişmiş olsa da, yapısal karakteristikler oldukça karmaşıktır. Geleneksel mimaride strüktürü oluşturan elemanlar kendi ağırlıkları dışında kar, rüzgar, deprem ve diğer çevresel kuvvetlere karşı malzeme ve tekniğin imkanlarına göre tasarlanmıştır. Sınırlı sayıda malzeme ve teknik kullanılmasına rağmen biçimsel zenginlik, özellikle kubbeli yapılarda büyük boyutlara ulaşmıştır (Türkmen, 1994).

Çözüme esas örtü sistemlerinin, ana kubbesi kare, destek sistemi türünde olup; ana kubbe, kemer, pandantif ve yarım kubbelerin çeşitli kombinasyonlarından oluşan monolitik bir taşıyıcı sistemdir.

Kullanılan Veriler

Ana kubbe çevresinde merkezlenmiş olan Sinan'ın yapılarının üst yapısını göz önüne alırsak, destekleyici elemanlar ve belli seviyelerdeki yardımcı elemanlar yoluyla çeşitli yapısal seviyelerden geçerek, kubbenin yüklerini ve kubbeden gelen kuvvetlerin iletiildiği dörtgen, altıgen ve sekizgen mesnet yapısal sistemi tanımlanabilir.

Bu çalışmada, dörtgen destek sisteminin kullanıldığı İstanbul'daki Şehzade Camisi örtü sistemi ile bu örtü sisteminin geometrik boyutları esas alınarak; yarım kubbesiz, iki yarım kubbeli, üç yarım kubbeli ve dört yarım kubbeli teorik örtü sistemlerinin zati yükleri altında analizleri yapılmıştır.

Mimar Sinan'da Kubbe ve Kubbeli Örtü Sistemleri

Sinan'da Kubbe

Büyük boyutlu olarak ilk kez Roma devrinde kullanıldığı bilinen, taş ve tuğla gibi küçük yapı elemanlarından inşa edilmiş olan kubbelerin, dairesel bir zemin üzerine oturduğunu ve merkezinden geçen düşey kesitlerin daima bir kemer olduğunu söyleyebiliriz.

Mesken olarak kubbe şekilli çadırlar, kubbeli taş kümbetler Türklerin Budist ve göçebe ataları arasında kullanıla gelmiştir. Türklerin İslam'la tanışması ile birlikte eski kubbe geleneği İslam Mimarisinden etkilenmiş ve böylece İslami yapıların ortak karakteristik elemanı olmuştur. Anadolu'ya ilk yerleşen Selçuklular, mevcut Bizans ve Roma kubbe mimarisinden etkilenmeyerek kendi Asya ve İran geleneğini yaşatmışlardır. Oysa ki, onların varisleri olan Osmanlılar iyi bir sentez kurarak, planlarında yarım kubbeyi kullanmış ve onun yapısal davranışını doğru bir şekilde analiz etmeyi başarmışlardır. Osmanlı'nın baş kubbe mimarı olan Sinan, mimari ve yapısal eleman olarak kubbeyi örneği az görülür bir şekilde kullanmayı başarmıştır.

Ana kubbe çevresinde merkezleşmiş olan Sinan yapılarının üst yapısını gözönüne alırsak, destekleyici elemanlar ve alt seviyedeki yardımcı elemanlar vasıtasıyla çeşitli yapısal seviyelerden geçerek, kubbenin yüklerini ve kubbeden gelen kuvvetlerin iletiildiği mesnet yapısal sistemi tanımlanabilir. Sinan eserlerinde kare, altıgen ve sekizgen olmak üzere üç çeşit kubbe destek sistemi kullanmış ve hayatı boyunca kazandırdığı eserlerinde, kare ve altıgen destek sistemini dört, sekizgen destek sisteminin üç farklı çeşidini kullanmıştır.

Kubbelerde Malzeme

Sinan mimarisinde kubbe ve kubbeli örtü sistemleri Horasan kagirinden yapılmıştır. Horasan; kırılmış, öğütülmüş kiremit ve tuğla benzeri pişmiş kildir. Horasan harcı ise; Horasan ve kireç (hava kireci) ile üretilen harca denir. Eski tarihi yapılarda geniş ölçüde Horasan harcına rastlanır. 15.Yüzyıl Osmanlı yapılarında ve daha sonraki devirlerde de Horasan harcı kullanılmıştır.

Basınca dayanıklı olan kagir malzemenin, çekmeye karşı dayanımı oldukça düşüktür. Bu nedenle, bu malzeme ile yapılan taşıyıcı strüktürlerin taşıma kapasitesi; malzeme ve strüktürün yapımındaki özene ve yapım tekniğine bağlı olduğu gibi, yapıldıktan sonra sertleşme süreci içinde çevreden gelebilecek etki şekillerine de bağlıdır.

Tarihi Horasan harçlı kagir ile labaratuvarında üretilen Horasan harcı ve Horasan kagir üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, strüktürün analitik çözümlerinde kabul edilebilecek basınç emniyet dayanımının; $1.2-1.8 \text{ N/mm}^2$, çekme emniyet gerilmesinin ise; 0.5 N/mm^2 olarak alınabileceği ve Horasan harçlı kagirin az da olsa çekme dayanımının var olduğu belirtilmektedir (Çamlıbel, 1988).

Gerçekte kagir malzeme; homojen ve izotrop bir yapıya sahip değildir. Bu tip yapıların oldukça karmaşık olmasından dolayı, hesaplama yöntemlerinde bazı basitleştirmeler yapılması gerekir. Genellikle, kabul edilen temel basitleştirme malzemenin homojen ve izotrop olduğudur. Küçük gerilme değerleri için, lineer elastik davranış kabulü geçerli bir kabul olarak düşünülebilir ve aynı zamanda çekme gerilmeleri de dikkate alınabilir. Bu, çatlama ve aşırı basınç durumlarının çıktığı bölgeleri tanımlamada ve görmede çoğunlukla faydalıdır (Bartoli ve diğ., 1997).

Örtü Sistemlerinin Analizi

Analizlere Esas Geometrik Boyutlar ve Malzeme Sabitleri

Analize esas örtü sistemleri, Şekil 1'de görüldüğü gibi;

- **Tip1:** Merkezi ana kubbe eşit rijitlikli dört kemer üzerine oturmuş ve pandantiflerle desteklenmiş, yanlarda yarım kubbeler yoktur,
- **Tip2:** Merkezi ana kubbe eşit rijitlikli dört kemer üzerine oturmuş ve iki yarım kubbe ile birlikte pandantiflerle desteklenmiştir,
- **Tip3:** Merkezi ana kubbe eşit rijitlikli dört kemer üzerine oturmuş ve üç yarım kubbe ile birlikte pandantiflerle desteklenmiştir,
- **Tip4:** Merkezi ana kubbe eşit rijitlikli dört kemer üzerine oturmuş ve dört yarım kubbe ile birlikte pandantiflerle desteklenmiştir,

şeklinde modellenmiştir.

Tüm örtü sistemlerinde, Şehzade Camisi'nin örtü sistemini oluşturan merkezi ana kubbe, kemer ve yarım kubbelerin geometrik boyutları kullanılmıştır. Bu boyutlar, bu yapı ile ilgili plan ve kesitlerden yaklaşık olarak alınmıştır (Çamlıbel, 1988).

Ana kubbe çapı 19.0 m., ortalama ana kubbe kalınlığı 50 cm., ortalama pandantif kalınlığı 90 cm. ve ortalama yarım kubbe kalınlığı ise 40 cm. olarak hesaplara dahil edilmiştir. Kemer yükseklikleri 1.60 m., kalınlıkları ise, 2.12 m.'dir. Bütün sistemler için elastisite modülü $E=1.3E+07 \text{ kN/m}^2$, poisson oranı $\nu=1/6$, birim hacim ağırlık $w=2.20E+01 \text{ kN/m}^3$ olarak alınmıştır.

Analize esas örtü sistemi modelleri; kemerlerin kolonlara oturduğu seviyelerden yukarıya için kurulmuştur ve çözümlerde kabuk eleman kullanılmıştır. Bu noktalarda kemerlerin kolonlara, yarım kubbelerin ise tabanları boyunca alt konstrüksiyona mafsallı olarak bağlandıkları kabul edilmiştir. Model oluşturma ve çözüm sonuçlarında ortaya çıkabilecek karışıklıkları önlemek ve simetri avantajından yararlanmak için, geometrik formda bazı basitleştirmeler yapılmıştır.

Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Analizi yapılan mekan örtü sistemleri Şekil 1’de görüldüğü gibi ana kubbe, kemer, pandantif, yarım kubbelerin çeşitli kombinasyonlarından oluşan monolitik bir taşıyıcı sistemdir. Bu taşıyıcı sistemlerden Tip 4, İstanbul’daki Şehzade Camisi örtü sisteminin yaklaşık boyutlarını içerir (Çamlıbel, 1988). Teorik olarak düşünülen diğer tip örtü sistemlerinde de aynı boyutlar kullanılmıştır. Bu çalışmadaki amaç; Şehzade Camisi ana mekan örtü sisteminin boyutları dikkate alınarak, zati ağırlıkları altında, örtü sistemini oluşturan elemanlar arasındaki yapısal etkileşimden hareketle, aynı geometrik boyutlara sahip örtü sistemlerini karşılaştırmaktır.

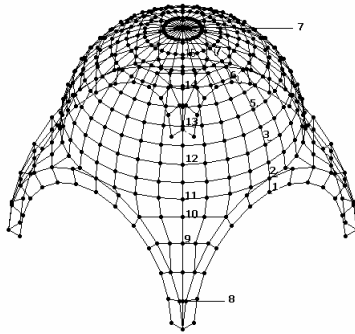
Şekil 2’de görüldüğü gibi, her bir örtü sisteminde aynı noktaları gösteren, belirli referans noktaları seçilmiştir. Bu noktaların deplasmanları değerlendirilerek sistemlerin yapısal davranışı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Kabul edilen malzeme sabitleri ve geometrik boyutlara göre kurulmuş bulunan lineer elastik modellerin analiz sonuçları, şu anda örtü sistemindeki mevcut deformasyonu vermeyebilir. Ancak; genel davranışa ilişkin bilgi vererek, sistemin yapısal değerlendirilmesinde önemli katkıları olduğu söylenebilir. Bu çalışmada, örtü sistemini oluşturan elemanların deplasmanları üzerinde durulacaktır. Tablo 1’de örtü sistemlerinin seçilen referans noktalarına ait deplasman değerleri verilmiştir.

Tip1- Bu sistem tam simetriye sahiptir ve ana kubbe dört eşit rijitlikli kemere oturmaktadır. Ana kubbenin tepe noktasındaki deplasman, Tablo 1’de 7 no’lu referans noktasına karşılık gelir ve 0.94 mm.’dir. Kemerlerin anahtar kesitinde, ana kubbenin kemere bağlı bulunduğu noktada düşey deplasman; 0.79 mm. iken aynı noktada yanal deplasman ise, 0.05 mm. dışarıya doğrudur.

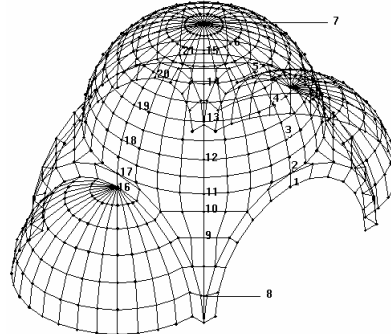
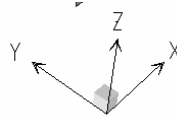
Tip2: Bu sistem bir yönde simetrikdir. Tip2’de ana kubbeyi taşıyan dört askı kemeri, eşit rijitliğe sahiptir. Analiz sonuçlarına göre ana kubbenin en tepe noktasındaki deplasman, 0.87 mm. olurken, yarım kubbesiz kemerlerin anahtar kesitinde, ana kubbenin kemere bağlı bulunduğu noktada düşey deplasman 0.66 mm.’dir. Aynı noktadaki yanal deplasman ise 0.21 mm. dışarıya doğrudur. Yarım kubbeli kemerlerin anahtar kesitinde, ana kubbenin kemere bağlı bulunduğu noktada düşey deplasman 0.80 mm. iken ana kubbenin kemere bağlı bulunduğu noktadaki yanal deplasman, 0.33 mm. içe doğrudur.

Tip3: Ana kubbenin en tepe noktasındaki düşey deplasman 0.84 mm.’dir. Yarım kubbesiz kemerlerin anahtar kesitinde, ana kubbenin kemere bağlı bulunduğu düşey noktada düşey deplasman 0.69 mm. olup, bu noktadaki yanal deplasman 0.23 mm. dışı doğrudur. Bu kemerin simetrisinde bulunan yarım kubbeli kemere düşey deplasman 0.64 mm iken yanal deplasman 0.20 mm. içe doğrudur. Karşılıklı iki yarım kubbenin bağlı bulunduğu kemerlerin anahtar kesitlerinde düşey deplasmanlar eşit olup, 0.74 mm.’dir. Bu noktadaki yanal deplasman 0.20 mm. içe doğru olmaktadır.

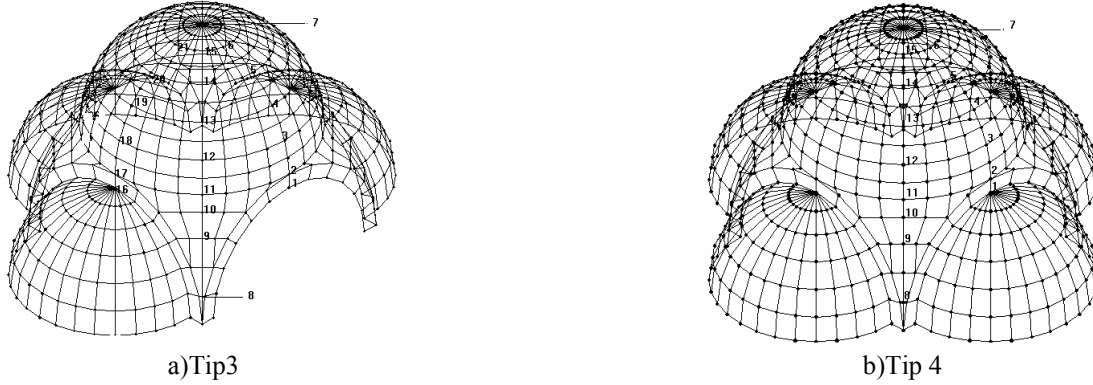
Tip4: Bu sistem tam simetriye sahiptir ve merkezi ana kubbe eşit rijitlikli dört kemere oturmaktadır. Ana kubbe tepesindeki düşey deplasman 0.80 mm.’dir. Kemerlerin anahtar kesitinde, ana kubbenin kemere bağlı bulunduğu noktada düşey deplasman; 0.67 mm. iken, aynı noktadaki yanal deplasmanlar ise, 0.20 mm. içeriye doğru olmaktadır. Burada yarım kubbelerin, kemerlerin dışarıya doğru olan yanal deplasmanlarını içeriye doğru yönlendirdiği ve aynı zamanda ana kubbenin tepe noktasındaki düşey deplasmanı %15 oranında azalttığı görülmüştür.



a)Tip1



b)Tip 2



Şekil 2. Yerdeğiştirmelerin dikkate alındığı referans noktalar

Tablo 1. Mekan örtü sistemlerinin referans alınan noktalarındaki deplasmanlar (mm)

Ref. No	Tip1			Tip2			Tip3			Tip4		
	x	y	z	X	y	z	x	y	z	x	y	z
1	0	0.05	-0.79	0	-0.21	-0.66	0	-0.23	-0.69	0	0.20	-0.67
2	0	-0.02	-0.76	0	-0.17	-0.63	0	-0.21	-0.66	0	0.04	-0.64
3	0	-0.06	-0.77	0	-0.10	-0.67	0	-0.20	-0.68	0	-0.07	-0.61
4	0	-0.01	-0.82	0	-0.04	-0.73	0	-0.14	-0.73	0	-0.05	-0.63
5	0	0.01	-0.87	0	0	-0.83	0	-0.11	-0.81	0	0.02	-0.73
6	0	0.02	-0.90	0	0	-0.86	0	-0.12	-0.83	0	0.02	-0.76
7	0	0	-0.94	0	0	-0.87	0	-0.13	-0.84	0	0	-0.80
8	-0.17	-0.17	-0.14	-0.13	-0.16	-0.12	-0.14	-0.18	-0.13	-0.13	-0.13	-0.11
9	-0.14	-0.14	-0.26	-0.07	-0.18	-0.24	-0.09	-0.22	-0.23	-0.11	-0.11	-0.21
10	0.07	0.07	-0.59	0.14	-0.02	-0.53	0.13	-0.06	-0.53	-0.05	0.05	-0.46
11	0.22	0.22	-0.71	0.27	0.10	-0.64	0.26	0.06	-0.63	-0.16	0.16	-0.55
12	-0.02	-0.02	-0.73	0	-0.08	-0.65	0.13	-0.05	-0.66	-0.05	-0.05	-0.57
13	0	0	-0.82	0.02	-0.02	-0.76	0	-0.15	-0.68	0	0	-0.68
14	0.01	0.01	-0.87	0.02	0	-0.80	0.02	-0.11	-0.79	0.01	0.01	-0.73
15	0.01	0.01	-0.9	0.01	0	-0.86	0	-0.12	-0.83	0.01	0.01	-0.76
16				0.33	0	-0.80	0.27	-0.07	-0.74			
17				0.38	0	-0.80	0.30	-0.07	-0.74			
18				0.18	0	-0.76	-0.03	-0.10	-0.67			
19				0	0	-0.74	0.01	-0.11	-0.74			
20				0.03	0	-0.82	0.03	-0.12	-0.80			
21				0.02	0	-0.86	0.01	-0.13	-0.83			

Hesap Sonuçlarının Yorumlanması

Tablo 2. Analiz sonuçlarından elde edilen, örtü sistemlerine ait maksimum deplasman değerleri (mm)

Model	Kemer Anahtar Kesiti						Ana Kubbe
	Yarım Kubbeli			Yarım Kubbesiz			
	Düşey	İçe	Dışa	Düşey	İçe	Dışa	
Tip 1	-	-	-	0.79	-	0.05	0.94
Tip 2	0.80	0.33	-	0.66	-	0.21	0.87
Tip 3	0.74	0.27	0.07	0.69	-	0.23	0.84
Tip 4	0.67	0.20	-	-	-	-	0.80

Tip1: Askı kemer rijitliklerinin eşit olması nedeniyle dışarıya doğru olan yanal hareket her birinde eşittir. Aynı durum, kemerlerin düşey deplasmanları için de geçerlidir. Kemerlerdeki dışa doğru yanal ve düşey hareket, ana kubbenin tepe noktasındaki düşey deplasmanı diğer tiplere göre artırmaktadır.

Tip2: Yarım kubbeli kemerlerde yanal hareket içeri doğruyken, yarım kubbesizlerde dışarıya doğru olmaktadır.

Tip3: Bu tipte yarım kubbesiz kemerin, duvar içinde yer alması ve iç yüzeyi boyunca duvara oturması durumunda; ana kubbe ve diğer kemerlerin deplasmanlarında azalmalar olmaktadır. Bu kemer duvarla desteklenmediği durumda ise; diğer kemerlerin içeriye doğru olan yanal hareketleri artmaktadır.

Tip4: Tip1'in aksine ana kubbeyi taşıyan kemerler içeriye doğru yanal deplasman yapmaktadır.

Ana kubbesi dört eşit rijitlikli kemere oturan, yarım kubbesiz sistemin gerek kubbe tepe noktasında gerekse de kemerlerindeki düşey deplasmanlar diğer tiplere göre daha büyüktür. Merkezi kubbesi dört eşit rijitlikli kemere oturan, dört yarım kubbeli örtü sistemi, diğer sistemlere göre daha emniyetli taraftadır (Tablo2.). Çözüm sonuçlarına göre, örtü sistemleri arasında en uygun çözüm Tip 4'ün olduğu modeldir. Şehzade Camisinin ana mekan örtü sisteminin geometrik ölçülerini de yansıtan bu sistem Mimar Sinan tarafından en optimum ölçülerde kullanılmış olsa gerek.

KAYNAKLAR

1. AKMAN, S., GÜNER, A., AKSOY, İ., H., 1986. Horasan Harcı ve Betonun Tarihi ve Teknik Özellikleri. II. Uluslar Arası Türk-İslam Kongresi, İ.T.Ü., İstanbul.
2. BARTOLI, G., BLASI, C., 1997. Masonary Structures, Historical Buildings and Monuments. In: Advances in Eartquake Engineering (Volume 3), Computer Analysis and Design of Eartquake Resistant Structures. (Beskos, D. E., Anopostopoulos, S. A.,-eds) Computational Mechanics Publications, I-50139, Southampton UK, Boston USA.
3. ÇAMLİBEL, N., 1988 Sinan Mimarlığında Strüktürün Analitik İncelenmesi, Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yay., 630s. İstanbul.
4. ÇAMLİBEL, N., 2000. Geleneksel Yapılarda Stabilitenin İyileştirilmesi, Temellerin Takviyesi, Birsen Yayınevi, No: 0029, 167s. İstanbul.
5. GIORDANO, A., MELE, E., DE LUCA, A., 2002. Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. Elsevier, Engineering Structures. 24 (2002), 1057-1069.
6. GÜNGÖR, İ. H., 1988. The Dome in Sinan's Works. In: Proceedings of the IASS-MSU International Symposium, pp. 61-92, İstanbul, Turkey.
7. KARAESMEN, E., ÜNAY, A. İ., 1988. A Study of Structural Aspects of Domed Buildings with Emphasis on Sinan's Mosques. In: Proceedings of the IASS-MSU International Symposium, pp. 93-104, İstanbul, Turkey.
8. KOÇAK, A., 1999. Tarihi Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altında Lineer ve Non-Lineer Analizi; Küçük Ayasofya Örneği. Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, Doktora Tezi, 330s, İstanbul.
9. MÜNGAN, İ., 1988. The Structural Development of the Ottoman Dome with Emphasis on Sinan. In: Proceedings of the IASS-MSU International Symposium, pp. 105-114, İstanbul, Turkey.
10. TÜRKMEN, M., 1994. Ayasofya, Süleymaniye, Şehzade ve Mihrimah Tipi Cami Örtülerinde Yük Aktarımının Sonlu Elemanlar Metoduyla Çözümünü İrdelenmesi. M.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145s, İstanbul.
11. TÜRKMEN, M., BİLGİN, H., 2002. Geleneksel Mimaride Kubbeli Örtü Sistemlerinin Yapısal Davranışı. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi IV. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, Türkiye.
12. WILSON, E. L., 1998. Three Static and Dynamic Analyss and Design of Structures, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Input File Format. Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.