

KUBBELERİN YAPIM SİSTEMLERİNİN YÜK AKTARIM PRENSİPLERİNE GÖRE İRDELENMESİ

Kutluğ SAVAŞIR¹

Konu Başlık No: 2. Çatı ve Cephe Sistemlerinin Performansları

TÜRKÇE ÖZET

Kubbelerin yük aktarımı ve içinde gerçekleşen gerilmelerle ilgili olarak literatürde sıklıkla karşılaşılan “Kubbeyi oluşturan elemanların dizilme biçimleri sayesinde yalnızca basınca çalıştığı; bu nedenle kubbe yapımında kullanılacak bileşenlerin basınç direncinin yüksek, çekme direncinin ise düşük olması gerektiği” şeklinde bir tanımlama mevcuttur. Yığma kâgir yapım sistemiyle inşa edilmiş kubbelerin düşey kesit yönündeki gerilme türü için doğru olan bu tanımlama, kubbenin etek kısımlarındaki yatay kesitteki çekme gerilmesini göz ardı etmesi bakımından eksiktir. Ayrıca tüm kubbeler için geçerliymiş gibi görülen bu tanımlama, sadece çekme gerilmelerinin olduğu pnömatik kubbeler düşünüldüğünde tamamen geçersiz kalmaktadır. Bu bağlamda kronolojik olarak kubbelerin yapım sistemindeki değişimin, kubbe içinde gerçekleşen düşey ve yatay gerilmeler bağlamında irdelenmesi bildirinin konusunu oluşturmaktadır. Mimarlık tarihi boyunca farklı yapım sistemleri ve malzemeleriyle inşa edilen, dünya genelinde şöhret sahibi olan ve geçebildiği açıklık bakımından en son sınırlara erişmiş olan farklı yapım sistemli kubbeler ele alınarak, kubbeye gelen yüklerin temele aktarımı sırasında izlediği yolun analizi yapılmaktadır. Elde edilen analizler ise hazırlanan bildiri kapsamında sunulmakta ve başta belirtilen tanımlamanın eksik yönleri gözler önüne serilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER

Kubbenin tanımı, Kubbelerin yapım sistemleri, Kubbelerin yük aktarım prensipleri.

ABSTRACT

The load transferring of the dome and identification of the most commonly encountered in the literature about the actual stress "by dint of array form of elements of the dome is attempting to pressure only; for this reason high pressure resistance components should be used in dome construction while the strengths resistance should be low". This definition is correct for the type of tension in the direction of vertical section ,the horizontal section on the flanks of the dome is incomplete in terms of drawer tension to ignore in the dome which was built with brick masonry construction system. Furthermore, the identification which seems to be true for all domes, remain completely invalid when considering the formation of tensile stress in pneumatic domes. In this context Chronological change in construction of the dome system and vertical and horizontal stresses that occur within the context of the dome is constitute the subject of the study. Across the history of architecture and go about the domes which had been construct with different structural systems and materials and also have a reputation throughout the world who can now access the latest frontier of clarity. Analysis of the path followed during the transferring the loads incoming to the dome to the foundation. The analysis obtained are presented under the prepared report.

KEYWORDS

Kubbenin tanımı, Kubbelerin yapım sistemleri, Kubbelerin yük aktarım prensipleri.

¹ Yard. Doç. Dr. Kutluğ SAVAŞIR, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Tınaztepe Kampüsü Doğuş Cad. No:209 Buca / İzmir, Tel:0.232.301.83.89, Faks:0.232.45329.86, kutlug.savasir@deu.edu.tr

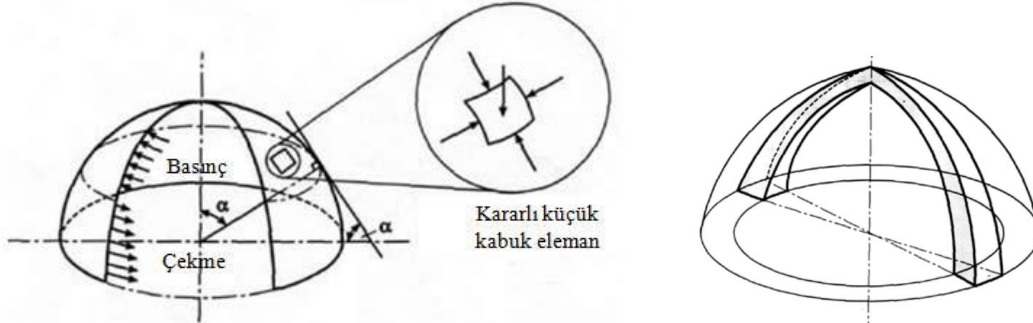
1. Giriş

Kubbe kelimesi, Arapça'daki 'Gobbe' kelimesinin Türkçe'ye geçmesi sonucu oluşmuştur. Türk Dil Kurumu Sözlüğü'nde [1] kubbe "yarım küre biçiminde olan ve yapıyı örten dam" şeklinde tanımlanmıştır. Hasol'un Mimarlık Sözlüğü'nde [2] ise kubbe; "küre takkesi, yarım küre veya toparlakça kümbet biçimi verilen yapı örtüsü; bir kemerin, yayının tepe noktasından inen dik eksen çevresinde dönmesiyle meydana gelen üst örtü" olarak tanımlanır.

Kubbenin yük aktarımı ve içinde gerçekleşen gerilmelerle ilgili olarak literatürde sıklıkla karşılaşılan ancak kısmen doğru kısmen de hatalı olan bir tanımlama bulunmaktadır. Örneğin Tuluk'un [3] "*Kubbeyi oluşturan elemanların dizilme biçimleri sayesinde üstten gelen yükler, yalnızca basınca çalışır ve alttaki strüktür elemanlarına yük aktarımı sağlar. Bu nedenle kubbe yapımında kullanılacak elemanların, kemerlerde olduğu gibi basınç direnci yüksek, çekme direnci düşük olmalıdır*" şeklinde bir ifadesi vardır. Bir çok tez, makale ve eski kitapta karşılaşılan bu tanımlamanın günümüzde ne denli eksik ve hatalı olduğunun gözler önüne serilmesi amacıyla mimarlık tarihi boyunca farklı yapım sistemleri ve malzemeleriyle inşa edilen, dünya genelinde şöhret sahibi olan ve geçebildiği açıklık bakımından en son sınırlara erişmiş olan kubbelerin düşeyde ve yatayda yük aktarım prensiplerindeki değişimin gözlenmesi amacıyla bir analiz yapılmış ve bu analizin sonuçları bildiri kapsamında sunulmuştur.

2. Kubbelerin Taşıyıcı Sistem ve Malzeme Açısından İncelenmesi

Eski çağlardan beri çok çeşitli amaçlar için inşa edilen kubbelerin yüzeyinde gerçekleşen gerilmeler yukarıda açıklandığı kadar basit değildir. Kubbelerin yüzeyinde, temel üç gerilme olan eğilme, basınç ve çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Ancak yük aktarım sisteminin anlatımını basitleştirmek için genellikle aşağıdaki iki kabul yapılabilmektedir. İlk kabul, 'kubbenin çift eğrilikli yapısı nedeniyle strüktür geometrisinin getirdiği avantajdan dolayı yüzeyinde gerçekleşecek gerilmelerden eğilmenin ihmal edilebilecek düzeyde olmasının kabulüdür. Böylece kubbeye meridyenler boyunca basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Dairesel gerilmeler, kubbe şekli ve yük dağılımından dolayı kubbe tabanına doğru inildikçe basınç gerilmesinden çekme gerilmesine dönüşmektedir (Şekil 1) [4]. İkinci kabulde ise kubbe bir dizi kemer olarak dikkate alınmaktadır (Şekil 1). Eğer kemerdeki basınç çizgisi iç ve dış yüzeyler arasında kalıyorsa kemer yeteri kadar güçlü ve stabil olmaktadır. Kemer güçlü ve stabilse, meridyenler boyunca oluşabilecek çatlaklara rağmen kubbe de yeterince güçlü ve stabil olarak kabul edilmektedir [5].



Şekil 1 Kubbe üzerinde basınç ve çekme bölgesinin gösterimi ve kemer dilimleri [5]

Birçok kaynakta yer alan yukarıdaki ifadeler malzeme tanımı ve taşıyıcı sistem belirtilmeden yapılmaktadır. Bu nedenle okuyucular tarafından tüm kubbeler için geçerliymiş gibi algılanmaktadır. Konunun daha net anlaşılması amacıyla kubbelerin hangi malzemelerle ve hangi yapım sistemleriyle yapılabileceğinin ve bu sistemlerdeki yük aktarım prensiplerinin analiz edilmesi gereği doğmaktadır.

20. Yüzyıl'a kadar inşa edilen kubbeli yapılarda ana malzeme taş, tuğla ve ahşaptır. Sanayi Devrimi sonrasında demirin ve çeliğin yapılarda kullanılması ile birlikte kubbe yapımında kullanılan malzemelerin de çeşitlenerek değiştiği gözlenmektedir. Elde edilen yeni malzemeler yardımıyla daha büyük açıklık geçebilen kubbeli binalar inşa etmek mümkün olmuştur. Kubbe yapımında kullanılan malzemeler açısından

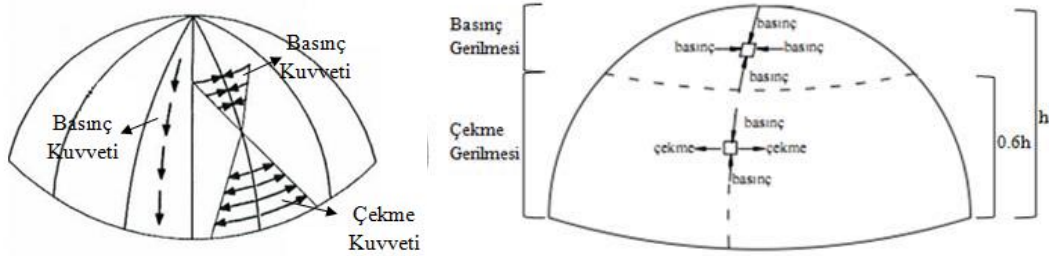
düşünüldüğünde, yeni malzemelerin keşfi ve yapılarda kullanımını tetikleyen Sanayi Devrimi'nden sonraki en büyük etken II. Dünya Savaşı'dır. Geçici ve demonte strüktürlü hangarların yapımında kullanılan uzay kafes sistemler ile radarların üstünü örtmede kullanılan membran sistemlerin ilk kez bu savaş sırasında geliştirildiği bilinmektedir. Geliştirilen çağdaş taşıyıcı sistemlerin kubbe yapımında da kullanılması sonrasında çok geniş açıklıkları geçebilen çubuk ağı kubbeleri, kablo destekli membran ve hava destekli pnömatik kubbelerin yapımı mümkün olmuştur.

Kubbe yapımında kullanılan malzemelerdeki değişimin sonucu olarak kubbelerin yük aktarım prensiplerinde de birtakım değişiklikler gözlenmektedir. Bildiri kapsamında kubbelerin taşıyıcı sistemleri göz önüne alınarak bir sınıflandırma yapılmakta olup kubbeler yedi grupta irdelenmiştir. Bunlar;

1. Yığma kubbeler,
2. Kaburgalı kubbeler,
3. Kabuk kubbeler,
4. Kemer taşıyıcılı kubbeler,
5. Çubuk ağı kubbeler,
6. Kablo sistemli kubbeler ve
7. Pnömatik kubbelerdir.

2.1. Yığma Kubbeler

Yığma kubbeler salt basınca çalışan malzeme olan taş ve tuğla gibi kargir malzemelerle üretilmişlerdir. Yığma kubbelerde yükler, meridyenler doğrultusunda kemerdeki yük aktarımına benzer şekilde basınç gerilmesiyle mesnetlere iletilir. "19. Yüzyıl'ın başlarında yapılan statik analizler sonucunda kubbenin yüzeyinde gerçekleşen (paraleller boyunca) yataydaki çekme ve basınç gerilmeleri ile (meridyenler boyunca) düşeydeki basınç gerilmelerinin bölgeleri belirlenmiştir [6]." Bu belirlemeye göre paraleller yönünde yüksekliğin 1/3'lük üst bölümünde basınç, 2/3'lük alt bölümünde ise çekme gerilmesi oluşmaktadır (Şekil 2). Kargir malzemenin çekmeye karşı dayanımı çok düşük olması nedeniyle kubbelerin etek kısmında açılma yapmaması için, yanal hareketi engellenmiş mesnetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Mimar Sinan'ın yarım kubbelerle ana kubbeyi desteklemeye çalışması veya gotik katedrallerdeki uçan payandaların kubbenin yataydaki hareketini önlemeye çalışması hep bu sorun nedeniyle geliştirilen çözümlerdir.



Şekil 2 Yığma kubbelerde oluşan düşey ve yatay gerilmeler [7]

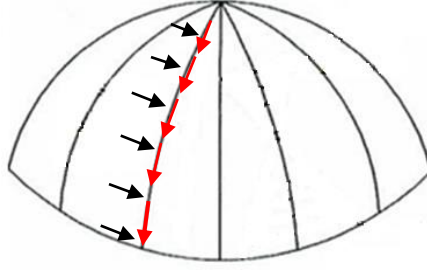
Bir yönde 30,80 metre ve diğer yönde 32,6 metre açıklık geçen Ayasofya'nın kubbesi halen dünya üzerindeki en büyük açıklık geçebilen yığma kubbe olup diğer örnek olarak Selimiye Camisi'nin kubbesi gösterilebilir. (Şekil 3).



Şekil 3 Ayasofya Müzesi [8], Selimiye Camisi [9]

2.2 Kaburgalı Kubbbeler

Kaburgalı kubbelerde, kubbeyi oluşturan iki farklı eleman bir arada kullanılmaktadır. Bu elemanlardan ilki kaburgalar olup diğeri ise kaburgaların arasında kalan kubbe dilimini oluşturan dolgu malzemeleridir. Dolgu malzemeleri kendi ağırlıklarını ve üzerlerine gelen yükleri kaburgalara aktarma görevini üstlenmişlerdir. Dolayısıyla sisteme gelen yükler kaburgalar tarafından etek kısmına indirilmektedir (Şekil 4). Kubbenin tepe noktasında kaburgaların birleşimini kolaylaştırma amaçlı olarak basınç çemberi uygulaması sıklıkla görülmektedir.



Şekil 4 Kaburgalı kubbelerdeki yük aktarım prensibi

“Kaburgalar eğilmeye çalışırken araları dolgu malzemesi ile doldurulur veya kapanır. Kalıp gerektirmezler. Çok geniş açıklıklar geçilebilir. Kaburgalar metal, ahşap veya lamine ahşap gibi malzemeler ile oluşturulabilir” [10]. Ayrıca taş ve tuğla gibi kâgir malzemeler de kullanılmaktadır.

Malzeme olarak taş veya tuğlanın kullanıldığı kaburgalı kubbelerde hem kaburgalar hem de dolgu malzemeleri kâgir malzemelerden seçilmektedir ki buna en güzel örnek Floransa Katedrali'dir (Şekil 5). Floransa Katedrali'nin kubbесinin tepe noktasında basınç çemberi kullanılmıştır. Geçebildiği 143 metre açıklık ile günümüze dek inşa edilen en fazla açıklığı geçen kaburgalı kubbe İzumo Kubbesi'dir. Kaburgaları tutkallı tabakalı ahşaptan yapılmıştır (Şekil 5). Son yıllarda inşa edilen kaburgalı kubbe örnekleri incelendiğinde ise kubbelerin kaburgalarının artık çelik profillerle oluşturulduğu, dolgu malzemelerinin ise membran, cam ve ETFE olarak tercih edilmeye başlandığı gözlenmektedir. Alman Parlamento Binası Reichstag'ın kubbесi, metal kaburgalara örnek olarak gösterilebilir (Şekil 5).



Şekil 5 Floransa Katedrali (İtalya) [11], İzumo Kubbesi (Japonya) [12], Reichstag (Almanya) [13]

2.3 Kabuk Kubbbeler

Kabuk kubbeler, düşey ve yatay yükleri, alttaki yapı elemanlarına yığma kubbelerdekine benzer biçimde aktarmaktadırlar (Şekil 2). Kubbe içindeki basınç gerilmelerini betonun, çekme gerilmelerini de çelik donatının karşıladığı, betonarme malzemelerle yaygın olarak inşa edilmektedir. Ayrıca metal saclar ve takviyeli plastik malzemeler de kullanılabilir.

Kabuk kubbelerin ilk örneklerinden birisi Roma'daki Pantheon tapınağının kubbesidir (Şekil 6). 43 metre açıklık geçen yarım küre şeklindeki kubbe, donatısız betondan yapılmıştır. Romalılar daha az beton kullanıp kubbeyi hafifletmek için sünger taşı kullanmış, kubbenin üst noktasında basınç çemberi yapmış, tabandan tepe noktasına çıkarken kesitinde kubbenin et kalınlığını azaltmış ve son olarak da kaset döşemeye benzer biçimde kubbenin içinde oyuklar oluşturmuştur. Kubbeye gelen yüklerin kubbe eteğinde tahribata neden olmaması amacıyla da kubbenin eteğinde yedi sıra beton halka ile önlem almışlardır. Bu halkalar bir nevi çekme çemberi gibi görev yapmaktadır. Çelik donatının yapılarda kullanılmaya başlamasından sonra, beton kubbelerin yerini ince betonarme kabuk kubbeler almıştır. (Şekil 6). İlk ince batonarme kabuk kubbe, 1924 yılında Almanya'nın Jena şehrinde Zeiss Planetarium'da ve 40 metre çapında yapılmıştır [14]. Kabuk kubbeler ile yığma kubbeler, geçebildiği açıklık ve kullanılan malzeme miktarı açısından birbirleriyle karşılaştırıldığında; oldukça ilginç şu saptama yapılmıştır. "Rönesans çağının ünlü yapıtlarından San Peters Kilisesi'nin kubbesi 40 metrelik bir açıklık için 10.000 ton malzeme gerektirmiştir. 1920'lerde Jena'da (Doğu Almanya) yapılan betonarme bir kabuk için, aynı açıklıkta sadece 330 ton malzeme kullanılmıştır. Yani verilen ilk örneğin 1/30 kadar bir malzeme kullanımı söz konusudur [15]". Pier Luigi Nervi tarafından tasarlanan Norfolk Scope'un kubbesi 134 metre açıklığı ile sınıfında öncüdür (Şekil 6).



Şekil 6 Pantheon (Roma) [16] ve Norfolk Scope (A.B.D.) [17]

Günümüzde Türkiye'de her köşe başına inşa edilen camilerin kubbelerin neredeyse tamamı kabuk kubbelerin kötü örneklerindedir. Çünkü çift eğriliği ve eğriliği de eş yönlü olan kubbelerin geometrisini oluştururken doğrusal kalıp parçalarının kullanımı mümkün değildir. Bu nedenle kubbenin kalıbı önce küçük ahşap parçaların birleştirilmesi ile oluşturulmakta, ardından hasır çelik kalıbın geometrisine uygun olarak hazırlanmakta ve son olarak da akışkan olan beton dökülerek, biran evvel prizini almasının beklenmesi gibi oldukça zorlu süreçlerin sonunda elde edilmektedir. Yapılan bu kadar zorlu uğraşın kaynağının Mimar Sinan'ın taş ile yaptığı şaheserlerin kötü kopyaları olması da işin en üzücü yanındır.

2.4 Kemer Taşıyıcı Kubbeler

Kemer taşıyıcı kubbeler, sisteme gelen düşey yükleri kaburga kubbelerdekine çok benzer şekilde önce tali kirişler yardımıyla kemerlere; birbirine paralel olarak konumlandırılmış kemerlerde toplanan yükleri de zemine aktarmaktadırlar (Şekil 4). Kemerlerin arasında kalan boşluklar ise ince metal veya ahşap levhalar, membran, cam veya polimer levha v.b. örtücü malzemelerle kaplanabilmektedir. Kaburgalı kubbelerden farklı olarak bu tip kubbelerde kemerler kubbenin merkez noktasında kesişmezler, birbirlerine paralel olarak kubbenin içinde yeralırlar. Kemer taşıyıcı kubbeler, sıklıkla gövdesi boşluklu çelik kemerler, tutkallı tabakalı ahşap kemerler, betonarme kemerler veya uzay kafes kemerler yardımıyla inşa edilmektedir. Bu malzemelerin hepsinin ortak özelliği, sistemde oluşan hem çekme hem de basınç kuvvetlerine karşı dayanım gösterebilmeleridir.

63 metre açıklık ve 18 metre yüksekliğe sahip olan Jaca Hockey Arena (Şekil 7) gövdesi boşluklu kemerlere örnektir. 280 metre açıklığa sahip Çin'deki Nantong Sports Centre (Şekil 7) ise uzay kafes sistemle inşa edilmiş en büyük açıklık geçen kemer taşıyıcı kubbe olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 7 Jaca Hockey Arena, (İspanya) [18], Nantong Sports Centre (Çin) [19]

2.5 Çubuk Ağı Kubbeler

Çubuk ağı kubbeler, “Küre yüzeyinin farklı geometrik yöntemlerle küçük geometrik şekillere bölünerek, bu geometrik şekillerin çubuklarla ve bu çubukların birbirine bağlandığı düğüm noktalarıyla oluşturulduğu kubbelerdir [10].” Bu tip kubbelerde plan, yalnızca daire şeklinde değil; kare, üçgen, çokgen, gibi formlarda da olabilmekte ve üzeri kubbe sistemle geçilebilmektedir. Sistemi oluşturan çubuk ağları çelik malzemeden üretilmektedir. Yığma kubbelerde olduğu gibi bir yük aktarımı sözkonusu olup düşey yükler altında meridyenler yönündeki çubuklarda basınç, paraleller yönünde ise kubbenin üst kısmında basınç, etek kısmında ise aksel çekme gerilmeleri oluşmaktadır.

“Çubuk elemanların ve düğüm noktalarının kubbe yüzeyinde farklı biçimler oluşturacak şekilde ve/veya farklı açılarla birleştirilmesi sonucunda aşağıdaki sistemler geliştirilmiştir [20] (Şekil 8).”

1. Nervürlü kubbe sistemler, 61 metre açıklıklı Yunanistan'daki Rodos Palace Oteli (Şekil 8),
2. Schwedler kubbe sistemler, Japonya'daki Aged Sports Plaza (Şekil 8),
3. Üç ve dört doğrultuda ızgara sistem, 187 metre çaplı Japonya'daki Nagoya Kubbesi (Şekil 8),
4. Lamella kubbe sistemler, 222 metre açıklıklı Japonya'daki Fukuoka Kubbesi (Şekil 9),
5. Jeodezik kubbe sistemler, 36 metre çaplı Ontario Place (Şekil 9),
6. Çift katlı uzay kafes sistemli kubbeler, 76 metre çaplı 1967 Expo A.B.D. Pavyonu (Şekil 9).



Şekil 8 Rodos Palace Hotel, (Yunanistan) [21], Aged Sports Plaz (Japonya) [21], Nagoya Kubbesi (Japonya) [21]



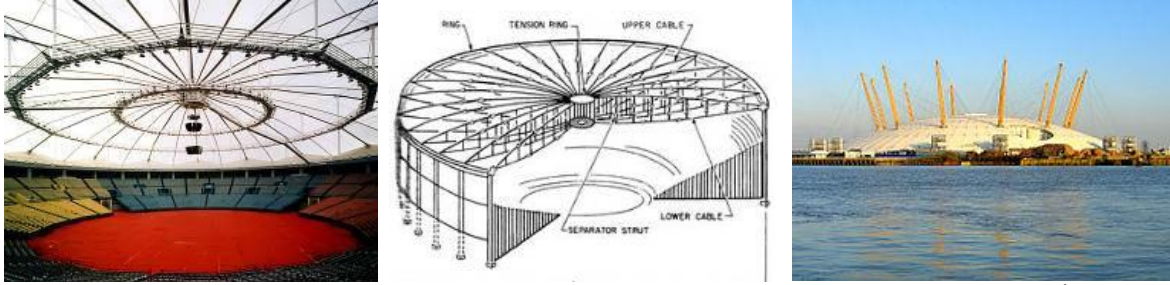
Şekil 9 Fukuoka Kubbesi , (Japonya) [25], Ontario Place (Kanada) [21], Expo 67 A.B.D. Pavyonu (Kanada) [22]

2.6 Kablo Sistemli Kubbeler

Dairesel veya elips planlı açıklıkları geçmek üzere düzenlenen ve tavana doğru, forma uygun biçimde kademelendirilmiş kasnak çemberler arasında bulunan dikme, dikmeler arasındaki diyagonal kablo ve

çekme çemberi ile basınç çemberi arasında bulunan rijit kablolar ile oluşturulmuş taşıyıcı sistem türü kablolu sistem kubbeler olarak anılır [23] (Şekil 10). Kablo sistemlerde, kubbeyi ayakta tutmaya yarayan ve aksel basınç gerilmesine maruz kalan dikme ve pylonlar, kubbenin eğrisel formunu oluşturan ve sadece çekme gerilmesine direnebilen kablolardan oluşmuş bir ağ sistemi ve son olarak da kablo ağlarının üzerini örtmede kullanılan kaplama malzemeleri olmak üzere üç ana eleman bulunmaktadır. Kablo sistemli kubbeler aşağıdaki şekilde üçe ayrılmaktadırlar:

1. Tensegrity kubbeler, 82 metre açıklık geçebilen Tayvan'daki Taoyuan Şehir Stadyumu (Şekil 10),
2. Çift tabakalı kablo sistemli kubbeler, 73 metre çapındaki A.B.D.'deki Utica Auditorium (Şekil 10),
3. Düşey taşıyıcıya bağlı kablo askılı sistemler, 365 metre açıklık geçebilen İngiltere'deki Milenyum Kubbesi (Şekil 10).

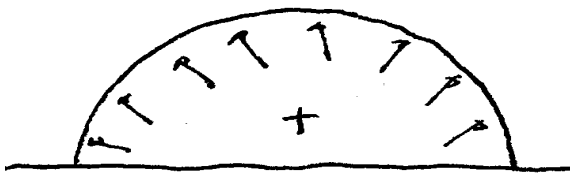


Şekil 10 Taoyuan Şehir Stadyumu (Tayvan) [21], Utica Auditorium (A.B.D.) [21], Milenyum Kubbesi (İngiltere) [24]

2.7 Hava Basınçlı Kubbeler (Pnömatik Sistemli Kubbeler)

Pnömatik sistemler; membran bir yüzeyin iç tarafında basınç fazlalığı yaratarak, yüzeye bir ön germe verilmesi yoluyla ayakta duran üst örtü sistemidir. Bu ön germeyi sağlayan madde genellikle hava veya gaz olmaktadır. İç basınç dış basınçtan fazla olduğu sürece şişme kubbe ayakta kalmaya devam etmektedir. Membran üst örtü malzemeleri sadece çekme gerilmesine karşı dirençlidir. İç basınç arttıkça da şişmeye devam eder. Çekme gerilmesi seviyesinin sınır değerinin artırılması amacıyla hava basınçlı pnömatik kubbeler genelde üstten kablolarla takviye edilmektedir (Şekil 11).

1988 yılında inşa edilmiş 201 metre açıklığa sahip Tokyo Dome (Şekil 11) hava destekli, kablo takviyeli pnömatik kubbeler için örnek gösterilebilir.



**Basınç fazlası ile öngerilen
pnömatik sistemler.**



Şekil 11 Pnömatik sistemlerde yüzey gerilmesi [15] ve Tokyo Dome, Japonya [21]

3 Sonuç

Kubbelerin içinde gerçekleşen gerilmelerin yapım sistemlerine ve malzeme değişimine göre nasıl farklılık gösterdiğine yönelik olarak hazırlanan bildiriye, yedi farklı yapım sistemiyle inşa edilmiş olan kubbelerin yükleri aktarım şekillerindeki farklılıkların analizi yapılarak Tablo 1'de sunulmaktadır. Kubbelerin sadece basınca çalışan malzemelerle yapılabileceğini anlatan ve bir çok yayında da karşılaşılan tanımlamanın, yığma kubbelerde kısmen diğer kubbe tiplerinde ise tamamen hatalı olduğu tabloda çok net gözlenmektedir.

Yapılan analizler sonucunda görüldüğü üzere; taş veya tuğla malzemeyle oluşturulan yığma kâgir yapım sistemiyle inşa edilmiş kubbelerin düşey kesitleri yönündeki gerilme türü için doğru olan bu tanımlama, yığma kubbenin etek kısımlarındaki yatay çekme gerilmesinin göz ardı edilmesi nedeniyle eksik

bulunmaktadır. Ayrıca kubbeyi oluşturan malzemelerin tanım içinde zikredilmemesi nedeniyle tüm kubbeler için geçerli gibi görülen bu ifade; kabuk kubbeler, kemer taşıyıcılı kubbeler, çubuk ağı kubbeler ve kablo destekli kubbelerdeki çekme gerilmelerinin düşünülmemesi nedeniyle kısmen ve salt çekmeye çalışan pnömatik kubbeler göz önüne alındığında ise tamamen geçersiz kalmaktadır.

Tablo 1. Farklı yapım sistemiyle inşa edilen kubbelerdeki gerilmelerin analizi

Yapım Sistemi	Yapının Adı	Geçtiği Açıklık	Düşey Gerilme	Yatay Gerilme
Yığma kubbeler	Ayasofya	32,6 metre	Basınç	Üstte basınç, altta çekme
Kaburgalı kubbeler	İzumo Dome	143 metre	Basınç	Eğilme
Kabuk kubbeler	Norfolk Scope	134 metre	Basınç	Üstte basınç, altta çekme
Kemer taşıyıcılı kubbeler	Nantong Sports Centre	280 metre	Basınç	Üstte basınç, altta çekme
Çubuk ağı kubbeler	Fukuoka Kubbesi	222 metre	Basınç	Üstte basınç, altta çekme
Kablo sistemli kubbeler	Milenyum Kubbesi	365 metre	Pilonlar basınç	Kablolar çekme
Pnömatik kubbeler	Tokyo Dome	201 metre	Çekme	Çekme

Kaynakça

- [1] Kubbe, 23 Mart 2016, http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.56f33e81c8a233.63219705
- [2] Hasol, D., 1998. Ansiklopedik mimarlık sözlüğü, İstanbul, YEM Yayınları.
- [3] Tuluk, Ö. İ., 1999. Mekana bağlı strüktür analizi: Osmanlı dini mimarisinde örnekleme (15- 17. yy), *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [4] Beckmann, P., 1995. Structural aspects of building conservation, UK: McGraw-Hill International.
- [5] Uçak, Ş., 2012. Tarihi yığma kubbelerin dinamik davranışlarının operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- [6] Cowan, H. J., b.t. An historical outline of architectural science, Architectural Science Series,
- [7] Çelebi, R., 2001. Yapı bilgisi, (12). İstanbul. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları.
- [8] *Ayasofya*, 2016, 24 Mart 2016 <http://informadik.blogspot.com.tr/p/ayasofya.html>
- [9] *Selimiye Camii*, 2009. 23 Nisan 2013, <http://vdb.gib.gov.tr/edirnevdb/kultur/selimiye.html>
- [10] Altın, M., 2010. Pantheon'dan günümüze kubbelerin gelişimi (1. Baskı). İstanbul: Yalın Yayıncılık.
- [11] *Floransa Katedrali*, 2013, 24 Mart 2015 <http://gezipgordum.com/floransa-katedrali-duomo/>
- [12] Kolbay, D.S., 2010. Çatılarda ahşap strüktür bileşenlerinin tasarım etkenleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
- [13] Aydın, B., 2011. Sürdürülebilir çelik yapı uygulama olanakları, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [14] Sungur, K., 2005. Taşıyıcı sistem ve yapı statifi, (1. Baskı). İstanbul, Birsen Yayınevi.
- [15] Türkçü, H. Ç., 1990. Çağdaş yapım ve strüktür sistemleri 1 (2. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi
- [16] *Pantheon*, b.t. 10 Kasım 2014, <http://www.mmdtkw.org/RT04-Pantheon.html>
- [17] *Norfolk Virginia*, 2002. 24 Haziran 2014, <http://www.bluffton.edu/~sullivanm/virginia/norfolk/scope/scope.html>
- [18] *City of Jaca Hockey Arena*, 2009. 24 Ekim 2014, <http://www.archdaily.com/17739/city-of-jaca-hockey-arena-coll-barreu-arquitectos/>
- [19] Nantong stadium, b.t. 24 Ekim 2014, http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/asia/china/nantong_stadium.shtml
- [20] Soykan, K., 2007. Çelik uzay kubbe sistemlerin ağırlıkça optimum dizaynı, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Konya
- [21] Urfalı, F., 2012. Güncel çelik yapı sistemlerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [22] Stanton, J., 1997. *United States Pavillion*, 26 Kasım 2012, <http://britton.disted.camosun.bc.ca/expo67/unitedstates.html>
- [23] Parke, G. ve Howard, C., 1993. Space Structures, London: Thomas Telford.
- [24] *Millenium dome*, 2016. 18 Nisan 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Dome
- [25] Çalış, R. 2012. Hareketli çatıların yapısal özelliklerinin sistematik olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.