

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLER ENİSTİTÜSÜ

**KUBBE FORMUNDAKİ YAPILARIN
STRÜKTÜR VE MALZEME AÇISINDAN
İRDELENMESİ**

Niloufar GARDESHİ

Haziran, 2015

İZMİR

KUBBE FORMUNDAKİ YAPILARIN STRÜKTÜR VE MALZEME AÇISINDAN İRDELENMESİ

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

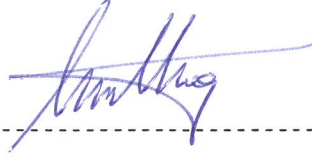
Niloufar GARDESHİ

Haziran, 2015

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

NİLOUFAR GARDESHİ, tarafından YRD. DOÇ. DR. KUTLUĞ SAVAŞIR yönetiminde hazırlanan “KUBBE FORMUNDAKİ YAPILARIN STRÜKTÜR VE MALZEME AÇISINDAN İRDELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



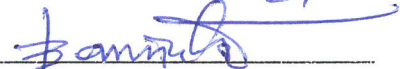
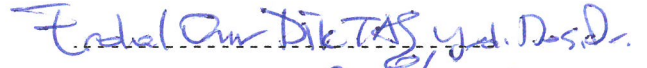
Yrd. Doç. Dr. Kutluğ SAVAŞIR

Yönetici



Doç. Dr. Müjde AKTIN

Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tezimizin konusunun belirlenmesinde, araştırma aşamasında, yön tayininde, tez çalışmalarım süresince engin deneyimi ve bilgi birikimi ile yol haritamın oluşmasını, verdiği bilgilerle bana bir giriş noktası sağlayan, fikirleri ve yol göstericiliği ile çalışmamın gelişmesine imkan tanıyan ve tamamlanmasında destek olan değerli hocam ve tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Kutluğ SAVAŞIR'a bana ayırdığı değerli zamanı, gösterdiği sabrı ve verdiği her türlü destek için minnettarım ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Tüm yüksek lisans eğitim boyunca, desteklerini ve güler yüzünü esirgemeyen sayın Filiz GÜRSAN'a (Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, öğrenci işleri) teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezimizin başlangıcından bitimine kadar bana inanan, bu tez çalışmamı uzun süren uğraşlarda daima yanımda olan, ışııyla hayatımı aydınlatan ve benden yardımlarını esirgemeyen Türkiye'deki manevi annem olan sevgili Sevgi ÇAYBAŞI'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezimi, hayatımın her alanında beni doğru yönde etkileyen ve tüm yaşantım boyunca bana maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen, koşulsuz sevgi ve destekleriyle her zaman yanımda olarak bana güç veren ve desteklerini daima kalbimde hissettiğim sevgili anneme ve babama adıyorum.

Son olarak da gösterdikleri sabır ve verdikleri her türlü destek için ailemin diğer üyelerine ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Siz olmasaydınız eksik kalırdım...

Niloufar GARDESHİ

KUBBE FORMUNDAKİ YAPILARIN STRÜKTÜR VE MALZEME AÇISINDAN İRDELENMESİ

ÖZ

Asırlar boyunca insanoğlu kemer, tonoz ve özellikle de kubbeden etkilenmiştir. Kubbeler; mekân örtüleri, bölgesel farklılıklara ve buna bağlı olarak sosyal, teknik, kültürel ve dinsel inançlara göre çeşitli biçimler almıştır. Kubbe formundaki yapılarda taşıyıcı sistem ve malzeme olarak incelemek suretiyle hazırlandığı bu çalışmada; kubbelerin kavramı, taşıyıcı sistemleri, taşıyıcı sistem malzemeleri ve kaplama malzemeleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan giriş bölümünde, teze genel bir giriş yapılmış olup çalışmanın amacı, kapsamı ile belirtilerek çalışmanın izlediği yöntem açıklanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde kemerin, tonozun ve kubbelerin kavramının tanımı yapılmış olup kubbeli yapılarda geçiş elemanlarının tanımları açıklanmaya çalışılmıştır. Daha sonra mimarı açıdan kubbe tipleri ve son olarak kubbelerin tarihsel gelişimi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümünde ise kubbe yapılarının taşıyıcı sistem ve malzemesi açısından incelemesi yapılmıştır.

Dördüncü bölümde kubbeli örnekler incelenmiş olup karşılaştırmalı örneklerle oluşturulan tablolar yer almaktadır. Daha sonra bu örnekleri yapım yılı, yapının işlevi, geçilen açıklık ve plan geometrisi açısından analizi yapılmaktadır.

Sonuç bölümü olan beşinci bölümde ise, araştırmanın diğer bölümlerinden elde edilen verilerin bir değerlendirmesi yapılmış olup çalışmanın sonucu açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kubbe, taşıyıcı sistem, taşıyıcı sistem malzemeleri

THE STUDY OF DOME-SHAPED CONSTRUCTIONS IN TERMS OF STRUCTURE AND MATERIALS

ABSTRACT

Throughout the ages mankind has been arches, vaults and domes has been influenced particular by; space covering, regional differences and consequent social, technical, cultural and spiritual beliefs has been based on various forms. The dome in this study was prepared by studying the structure and the material; The concept of the dome, structure, structural materials and coating materials were explained.

The thesis consists of five chapters. In the introduction to the first part is a general introduction to the thesis, stating the purpose and scope of the study is to study describes the method followed.

In the second part of the thesis the definition of the concept of the arch, the vault and the dome is made, the definition of transition elements in the domed structure were explained. Then type in terms of the architects of dome and, finally, describes the historical development of the dome.

The third part is made from the perspective of structural systems and materials of the dome structure.

In the fourth chapter is examined domed examples, it is a table created with the comparative examples. Then the samples are analyzed for the year of construction, the structure of the function, passed openness and plan geometry.

In the fifth section, results section, an assessment is made of data obtained from other parts of the research, the study has tried to explain the results.

Keyword: Dome, structural systems, structural materials

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xvii
 BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	 1
1.1 Çalışmanın Amacı	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı	3
1.3 Çalışmanın Yöntemi.....	4
 BÖLÜM İKİ - KUBBEYLE İLGİLİ KAVRAMLAR VE KUBBELERİN	
TARİHSEL GELİŞİMİ.....	5
2.1 Kemerin Tanımı	7
2.2 Tonozun Tanımı	9
2.3 Kubbenin Tanımı.....	11
2.4 Kubbeli Yapılarda Geçiş Elemanlarının Tanımları.....	14
2.4.1 Tromp	15
2.4.2 Pandantif	16
2.4.3 Türk Üçgeni	17
2.5 Mimari Açıdan Kubbe Tipleri	19
2.6 Kubbelerin Tarihsel Gelişimi	25

BÖLÜM ÜÇ - KUBBELERİN TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME AÇISINDAN İNCELENMESİ..... 33

3.1 Taşıyıcı Sistemlerine Göre Kubbeler	33
3.1.1 Yığma Kubbeler.....	34
3.1.2 Kaburgalı Kubbeler	38
3.1.3 Kabuk Kubbeler.....	40
3.1.4 Kemer Destekli Kubbeler	43
3.1.5 Çubuk Ağı Kubbeler.....	44
3.1.5.1 Nervürlü Kubbe	45
3.1.5.2 Schwedler Kubbe	47
3.1.5.3 Lamella Kubbe.....	48
3.1.5.4 Üç ve Dört Doğrultuda Izgara Kubbe.....	49
3.1.5.5 Jeodezik Kubbe	50
3.1.5.6 Çift Katlı Uzay Kafes Sistemli Kubbeler.....	52
3.1.6 Kablo Destekli Kubbeler	59
3.1.6.1 Tensegrity Kubbeler.....	59
3.1.6.2 Çift Tabakalı Kablo Sistemli Kubbeler.....	62
3.1.6.3 Düşey Taşıyıcıya Bağlı Kablo Askılı Sistemler	63
3.1.7 Hava Basıncılı Kubbeler (Pnömatik Sistemli Kubbeler).....	63
3.2 Malzemelerine Göre Kubbeler	66
3.2.1 Taşıyıcı Sistem Malzemeleri	66
3.2.2 Kaplama Malzemeleri.....	66
3.2.2.1 Membran	67
3.2.2.2 Cam	68
3.2.2.3 Plastik Levhalar	69
3.2.2.4 Alüminyum Levhalar	69
3.2.2.5 Ahşap Çatı Altı Kaplamaları.....	66

BÖLÜM DÖRT - KUBBE FORMUNDAKİ YAPI ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ 67

4.1 Kubbe Formundaki Yapı Örneklerin İncelenmesi	67
4.1.1 Pantheon	71
4.1.2 Ayasofya	72
4.1.3 Kubbet-Üs Sahra.....	74
4.1.4 Floransa Katedrali.....	76
4.1.5 Süleymaniye Camii.....	78
4.1.6 Aziz Vasil Katedrali	79
4.1.7 Selimiye Camii	80
4.1.8 St. Peter Katedrali	81
4.1.9 Şeyh Lütfullah Camii.....	82
4.1.10 Mescid-i İmam.....	83
4.1.11 Tac Mahal	84
4.1.12 St. Paul Katedrali	85
4.1.13 Capitol Dome (Beyaz Saray Kubbesi).....	87
4.1.14 Kresge Oditoryumu	89
4.1.15 Kasiser Aluminum Dome	90
4.1.16 Palazzetto dello Sport (Küçük Spor Sarayı)	91
4.1.17 Palazza dello Sport (Büyük Spor Sarayı)	92
4.1.18 Utica Oditoryumu	93
4.1.19 Missouri Botanik Bahçesi.....	94
4.1.20 Illini Hall.....	96
4.1.21 Amerikan Pavyonu, Expo 67	97
4.1.22 Amerikan Pavyonu, Expo 70.....	99
4.1.23 Norfolk Scope	100
4.1.24 The South Pole Dome	101
4.1.25 Silver Dome	102
4.1.26 King Dome.....	104
4.1.27 Tacoma Dome.....	105
4.1.28 Montreal Olimpiyat Stadyumu	107

4.1.29 Tokyo Dome	109
4.1.30 Seoul Olimpik Stadyumu.....	110
4.1.31 Suncoast Dome	112
4.1.32 Toronto Sky Dome	114
4.1.33 Yakima Sun Dome.....	116
4.1.34 Superior Dome.....	117
4.1.35 İzumo Dome	119
4.1.36 Birleşmiş Milletler Pavyonu, Expo 92.....	121
4.1.37 Georgia Dome.....	122
4.1.38 Fukuoka Dome.....	124
4.1.39 Le Comptoir Forestier.....	125
4.1.40 Odate Dome	126
4.1.41 Komatsu Dome	127
4.1.42 Sidney Showground Dome	128
4.1.43 Atlantico Pavyonu	129
4.1.44 Reichstag Parlamento Binası	130
4.1.45 Millennium Dome.....	132
4.1.46 Eden Projesi	134
4.1.47 Oita Stadyumu	135
4.1.48 Gurdwara Southall Temple.....	137
4.1.49 Library for Faculty of Philology.....	138
4.1.50 The National Grand Theatre	139
4.1.51 ELT Tenerife	140
4.1.52 Las Arenas	141
4.2 Kubbe Formundaki Yapılarının Analizi.....	142
4.2.1 Yapı ve Yapının Kullanımıyla İlgili Bulgular ve İrdeleme.....	149
4.2.1.1 Yapının İşlevi.....	149
4.2.1.2 Yapım Yılı	150
4.2.1.3 Plan Geometrisi.....	151
4.2.1.4 Geçilen Açıklık	153
4.2.2 Strüktür Sistemiyle İlgili Bulgular ve İrdelemeler	154
4.2.2.1 Strüktür Türü.....	154

4.2.2.2 Strüktür Türü –Geçilen Açıklık	155
4.2.2.3 Strüktür Türü –Yapım Yılı.....	158
4.2.2.4 Strüktür Türü –Yapının İşlevi	160
4.2.2.5 Strüktür Türü – Plan Geometrisi.....	161
4.2.3 Malzemeyle İlgili Bulgular ve İrdeleme.....	163
4.2.3.1 Malzeme Türü	163
4.2.3.2 Malzeme Türü –Geçilen Açıklık	164
4.2.3.3 Malzeme Türü –Yapım Yılı.....	167
4.2.3.4 Malzeme Türü –Yapının İşlevi	168
4.2.3.5 Malzeme Türü– Plan Geometrisi	170
BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR.....	172
KAYNAKLAR	177

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kemer biçimlerinin şeması	6
Şekil 2.2 Demir gergilerin sütun başlığına mesnetlenme detayı.....	7
Şekil 2.3 Dayanma kemeri	7
Şekil 2.4 Kemerlerin yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu.....	8
Şekil 2.5 Bitişik kemerlerde yük aktarımı.....	9
Şekil 2.6 Tonoz biçimlenmeleri	10
Şekil 2.7 Kubbe biçimlenmeleri.....	12
Şekil 2.8 Kabuk kubbe diyaframı, basınç ve çekme bölgesinin gösterimi	13
Şekil 2.9 Kubbenin kemer diliminde gösterimi	13
Şekil 2.10 a) Tromp, b) Pandantif ve Karatay Medresesi, Türk üçgenin örneği	14
Şekil 2.11 Trombu gösteren şekiller	15
Şekil 2.12 Basit, ayrıtlı ve yivli tromplara ait çizim ve uygulama örnekleri	15
Şekil 2.13 Pandantifi gösteren şekil ve pandantif çeşitleri	16
Şekil 2.14 Pandantife ait uygulama örnekleri	17
Şekil 2.15 Yeşil Camii, İznik ve Saray Hamamı, Edirne, Türk üçgeni örnekleri.....	18
Şekil 2.16 Düzlem üçgenli kubbe geçişi ve uygulama örneği	18
Şekil 2.17 Çoklu düzlem üçgenlere ait çizim ve uygulama örneği.....	18
Şekil 2.18 Baklavalı kuşaklama üçgen dizisi örnekleri	19
Şekil 2.19 Bogolubskaya Kilisesi, Rusya ve The Cathedral of the Annunciation, Rusya, soğan biçimindeki kubbelere ait örnekler	20
Şekil 2.20 Omar Camii, Filistin küresel kubbe örneği ve avul kubbeli kesit	20
Şekil 2.21 Atreus hazinesi.....	21
Şekil 2.22 Beysbol sahası, Nagoya jeodezik kubbe örneği.....	21
Şekil 2.23 Santuario di Vicoforte Müzesi, İtalya eliptik kubbe örneği.....	22
Şekil 2.24 Parabolik kubbe örneği	22
Şekil 2.25 Çokgen kubbe örneği, Floransa Katedrali, Floransa, İtalya.....	23
Şekil 2.26 Asma kubbe örneği ve opera binası, Dortmund, Almanya.....	23
Şekil 2.27 Basık kubbe örneği, Louisiana Superdome Futbol Stadyumu, Amerika..	24

Şekil 2.28 Santa Croce Kilisesi, Floransa ve St. Peter Büyük Kilisesi, Vatikan, İtalya, şemsiye kubbe örnekleri.....	24
Şekil 2.29 Saz ve ağaç dallarından yapılmış kubbelerin gelişimi.....	25
Şekil 2.30 Sazlardan yapılmış göçebe çadırı.....	26
Şekil 2.31 Ahşap kubbelerin gelişimi	26
Şekil 2.32 Miken dönemi mezar yapısı.....	27
Şekil 2.33 Ayasofya, İstanbul, iç görünüşü.....	27
Şekil 2.34 Tromplu kubbe bir Sasani sarayı	28
Şekil 2.35 Kâgır kubbelerin gelişimi	29
Şekil 2.36 Kubbe altı mekânlarının geometrilerindeki değişim.....	29
Şekil 2.37 Bourse to Commerce yapısı, Paris	30
Şekil 2.38 Diagrid formlu Exhibit Pavillion, Rusya	30
Şekil 2.39 Zeiss Planetarium ve Amerikan Pavyonu, Kanada.....	31
Şekil 2.40 Houston Astrodome	31
Şekil 2.41 Palazzetto dello Sport, Nervi, 1957	32
Şekil 2.42 Osaka Maritime Museum, Japonya, 2001.....	32
Şekil 3.1 Kubbeli sistemlerde yük aktarımı	35
Şekil 3.2 Kubbelerde oluşan gerilmeler mekanizması.....	35
Şekil 3.3 Kasnağın kubbede oluşan çekme gerilmesini azaltmadaki etkisini gösteren çizim örneği	36
Şekil 3.4 Selimiye Camisi, Edirne, Türkiye.....	38
Şekil 3.5 Sülemaniye Camisi, İstanbul, Türkiye.....	38
Şekil 3.6 Floransa Katedrali, İtalya, kubbenin tasarımcısı Brunelleschi	39
Şekil 3.7 İzumo Dome, İzumo, Japonya, 1992	40
Şekil 3.8 Reichstag Dome, Berlin, Almanya, 1999	40
Şekil 3.9 Pantheon'un dış görünüşleri	41
Şekil 3.10 Zeiss Planetarium, 1924, Jena, Almanya	41
Şekil 3.11 Annunciation Yunan Ortodoks Kilisesi ve Milwaki, 1956 ve Kresge Oditoryumu, Cambridge, 1954.....	42
Şekil 3.12 Jaca Hockey Arena, Jaca, İspanya, 2008	43
Şekil 3.13 Nantong Sports Centre, Nantong, Çin, 2006	43
Şekil 3.14 Çubuk ağı kubbe tipleri.....	45

Şekil 3.15 Nervürlü kubbe	45
Şekil 3.16 Halle au Blé (Paris) ve Jahrhunderthalle (Almanya) yapıları	46
Şekil 3.17 Noble Planetarium, 1952, Teksas	46
Şekil 3.18 Bell's Sports Centre, 1966, İngiltere.....	46
Şekil 3.19 Rodos Palace Hotel, Rhone, 1973, Yunanistan	47
Şekil 3.20 Schwedler kubbe	47
Şekil 3.21 Aged Sports Plaza, Gifu, Japonya.....	48
Şekil 3.22 Lamella kubbe.....	48
Şekil 3.23 The Astrodome, 1965, Houston, A.B.D.	48
Şekil 3.24 Frederick High School, 1925, Oklahoma, A.B.D.	49
Şekil 3.25 Üç ve dört doğrultuda ızgara kubbe.....	49
Şekil 3.26 Nagoya Dome, Japonya, 1997	49
Şekil 3.27 Robson Square Dome, Vancouver, Kanada, 2010.....	50
Şekil 3.28 Jeodezik kubbe.....	50
Şekil 3.29 Ontario Place, Toronto, Ontario, Kanada, 1971	51
Şekil 3.30 Bloedel Conservatory, Vancouver, Kanada, 1969.....	51
Şekil 3.31 Tek katlı kubbesel uzay kafes sistem.....	51
Şekil 3.32 Kubbesel uzay kafes sistem	52
Şekil 3.33 Çift katlı kubbesel uzay kafes sistem.....	53
Şekil 3.34 (a) Sports Dome, (b) Superior Dome, (c) Southall Gurdwara	54
Şekil 3.35 Las Arenas Bullring, Barcelona ve Pyramid Meet Dome, İngiltere	54
Şekil 3.36 Ahşap kubbe tasarımında çubuk bağlantı tipleri.....	54
Şekil 3.37 (a) Tacoma Dome (b) Sydney Showground Dome (c) Gurdwara Southall Temple, iç görünüşleri ve elaman bağlantıları	55
Şekil 3.38 Uzay kafes sistem tipleri ve düğüm noktasının detayı.....	56
Şekil 3.39 Des Moines Botanical Center, A.B.D., Amundsen-Scott South Pole Station Antartika ve Limestone Blending Facility Mojave, CA	56
Şekil 3.40 Spruce Goose Dome, 1982, Long Beach, A.B.D.	57
Şekil 3.41 Kule ile kaldırma yöntemi	57
Şekil 3.42 Vinç ile kaldırma yöntemi	57
Şekil 3.43 Henry Kaiser's Hilton Hawaiian Village, Honolulu, Osaka Maritime Museum, Japonya	58

Şekil 3.44 Blowing Bubbles, Scunthorpe, İngiltere	58
Şekil 3.45 Amundsen-Scott South Pole Station, Antartika.....	58
Şekil 3.46 Kablo sistemli kubbeler	59
Şekil 3.47 Kenneth Snelson'un 1974 yılındaki tensegriti strüktürel heykeli.....	60
Şekil 3.48 a) Fuller'in tensegriti strüktürle tasarladığı ve patent aldığı kubbe , b) Geiger'in tensegriti strüktürle tasarladığı ve patent aldığı kubbe	60
Şekil 3.49 Florida Suncoast Dome, Florida, A.B.D, 1958.....	61
Şekil 3.50 Seoul Olympic Arena, Seoul, Güney Kore, 1988.....	61
Şekil 3.51 Taoyuan County Stadium, Tayvan, 1993	61
Şekil 3.52 Çift eğrilikli ve çift tabakalı kablo sistemlerde çalışma prensibi.....	62
Şekil 3.53 Utica Auditorium, New York, A.B.D.,1960	62
Şekil 3.54 Sazka Arena, Prague, Çek Cumhuriyeti, 2004	63
Şekil 3.55 Montreal Olympic Stadium, Quebec, Kanada,1976	63
Şekil 3.56 Pnömatik sistemler türü	64
Şekil 3.57 A.B.D. Pavyonu, Osaka, Japonya, 1970	65
Şekil 3.58 Tokyo Dome, Japonya, 1988	65
Şekil 3.59 Silver Dome, Michigan, A.B.D., 1975	65
Şekil 3.60 Transworld Dome Stadium, Edward Jones Dome.....	67
Şekil 3.61 Mansueto Library yapısı, Chicago, A.B.D.	68
Şekil 4.1 Pantheon'un dış ve iç görünüşler ile kesiti	71
Şekil 4.2 Ayasofya'nın dış görüntüsü	72
Şekil 4.3 Ayasofya'nın iç görüntüsü	74
Şekil 4.4 Kübbet-Üs-Sahra'nın dış görünüşü	75
Şekil 4.5 Kübbet-Üs-Sahra'nın iç görünüşü	75
Şekil 4.6 Kübbet-Üs-Sahra'ya ait kesit görüntüsü	76
Şekil 4.7 Floransa Katedrali'nin dış ve iç görünüşü	77
Şekil 4.8 Süleymaniye Camii'ne ait dıştan ve içten görünüşler.....	78
Şekil 4.9 Aziz Vasil Katedrali'nin dış ve iç görünüşleri ve plan	79
Şekil 4.10 Selimiye Camii'nin genel görünüşü.....	80
Şekil 4.11 St. Peter Katedrali'nin dış ve iç görünüşü	81
Şekil 4. 12 Şeyh Lütfullah Camii'nin dış görünüşü ve planı	82
Şekil 4.13 Şeyh Lütfullah Camii'nin iç görünüşü.....	83

Şekil 4.14 Mescid-İmam'ın dış ve iç görünüşleri	84
Şekil 4.15 Tac Mahal'a ait dış ve iç görünüşler	85
Şekil 4.16 St. Paul Katedrali'ne ait dış ve iç görünüş.....	86
Şekil 4.17 Capitol Dome'a ait dış ve iç görünüş.....	87
Şekil 4.18 Capitol Dome'a ait kesit ve görünüş.....	88
Şekil 4.19 Kresge Oditoryumu, 1955, Kembriç, A.B.D.	89
Şekil 4.20 Kaiser Aluminum Dome'un dış ve iç görünüşü	90
Şekil 4.21 Palazzetto dello Sport'a ait dış ve iç görüntüsü.....	91
Şekil 4.22 Palazzo dello Sport'un dış ve iç görünüşü.....	92
Şekil 4.23 Utica Oditoryumu'nun dış görünüşü ve sistemin taşıyıcı elemanları.....	93
Şekil 4.24 Utic Oditoryumu'nun iç görüntüsü.....	94
Şekil 4.25 Missouri Botanik Bahçesi'nin dış görüntüleri	95
Şekil 4.26 İllini Hall'e ait dış ve iç görünüş.....	96
Şekil 4.27 Amerikan Pavyonu'nun dış görünüşü ve kesiti	97
Şekil 4.28 A.B.D. Pavyonu'nun yürüyen merdiveni ve pavyonda çıkan yangını	98
Şekil 4.29 Amerikan Pavyonu'nun, yenilenen yapısının şekli	98
Şekil 4.30 A.B.D. Pavyonu'nun dış ve iç görünüşü	99
Şekil 4. 31 Norfolk Scope'a ait dış ve iç görünüş.....	100
Şekil 4. 32 The South Pole Dome'a ait dış ve iç görünüşü.....	101
Şekil 4.33 The South Pole Dome'un düğüm noktaları ve yapının montajı	101
Şekil 4.34 Silver Dome'un dış ve iç görünüşü.....	102
Şekil 4.35 Silver Dome Stadyumu	103
Şekil 4.36 King Dome'a ait dış ve iç görünüş	104
Şekil 4.37 Tacoma Dome'un yapım aşamaları ve dış görünüşleri.....	105
Şekil 4.38 Tacoma Dome'a ait bağlantı noktalarının boyutları ve elemanları	106
Şekil 4.39 Montreal Stadyumu'nun dış görünüşü.....	107
Şekil 4.40 Montreal Olimpiyat Stadı'nın hareketli çatısı.....	108
Şekil 4.41 Montreal Olimpiyat Stadı'nın yeni hareketli çatısı.....	108
Şekil 4.42 Tokyo Dome'un dış ve iç görünüşü.....	109
Şekil 4.43 Seoul Stadyumu'nun dış ve iç görünüşü.....	110
Şekil 4.44 Seoul Stadyumu'nun tensegriti sisteminin elemanları	111
Şekil 4.45 Seoul Stadyumu'nun tensegriti çatı planı ve kesiti.....	111

Şekil 4.46 Suncoast Dome'un dış ve iç görünüşü.....	112
Şekil 4.47 Suncoast Dome'un kesitleri ve tensegriti sistimin elemanları.....	113
Şekil 4.48 Toronto Sky Dome'un dış görünüşleri.	114
Şekil 4.49 Hareketli çeyrek kubbe ile hareketli parabolik kemerler ve çatı parçalarının hareket yönleri	115
Şekil 4.50 Toronto Sky Dome'un hareketli çatısı.....	115
Şekil 4.51 Yakima Sun Dome'un dış ve iç görünüşleri.....	116
Şekil 4.52 Superior Dome'un dış görünüşleri.....	117
Şekil 4.53 Superior Dome'un iç görünüşü.....	118
Şekil 4.54 Superior Dome'un eleman bağlantısı ve birleşim detayı.....	118
Şekil 4.55 İzumo Dome'un dış ve iç görünüşü	119
Şekil 4.56 İzumo Dome'un uygulama detayları	120
Şekil 4.57 Kubbenin montaj sırasında kaldırılma aşamaları ve yapıya ait plan.	120
Şekil 4.58 Birleşmiş Milletler Pavyonu'nun dış görünüşü ve cephe detayı	121
Şekil 4.59 Georgia Dome'un dış görünüşleri.....	122
Şekil 4.60 Georgia Dome'un iç görünüşü ve tensegriti sistemin elemanları	123
Şekil 4.61 Georgia Dome'un taşıyıcı sistemi ve izometrik çizimi.....	123
Şekil 4.62 Fukuoka Dome'un hareketli çatısı ve iç görünüşü	124
Şekil 4.62 Le Comptoir Forestier'in dış görünüşü.....	125
Şekil 4.63 Odate Dome'un dış görünüşü	126
Şekil 4.64 Komatsu Dome'un dış görünüşü	127
Şekil 4. 65 Sidney Showground Dome'un dış ve iç görünüşleri	128
Şekil 4.66 Atlantico Pavyonu'nun dış ve iç görünüşü	129
Şekil 4.67 Reichstag Alman parlamento Binası.....	130
Şekil 4.68 Reichstag Alman Parlamento Binası'nın iç görünüşü	131
Şekil 4.69 Reichstag Alman Parlamento Binası'nın taşıyıcı detayları	131
Şekil 4.70 Millennium Dome'un genel görünüşü	132
Şekil 4.71 Millennium Dome'un kablolarının bağlantıları detayı	133
Şekil 4.72 Eden Projesi'ne ait dış ve iç görünüş.....	134
Şekil 4.73 Oita Stadyumu'nun genel görünüşü.....	135
Şekil 4.74 Oita Stadyumu'nun iç görünüşü	136

Şekil 4.75 Gurdwara Southall Temple'a ait taşıyıcı sistem şeması, iç görünüş ve bağlantı elemanı	137
Şekil 4.76 Library for Faculty of Philology'ye ait iç ve dış görünüşler	138
Şekil 4.77 The National Grand Theatre'a ait iç ve dış görünüşler	139
Şekil 4.78 ELT Tenerife'ye ait genel görünüş	140
Şekil 4.79 Las Arenas'ın genel görüntüsü ve kubbenin inşasından bir görünüm	141
Şekil 4.80 Örneklerin yapım yıllarına göre dağılımı	151
Şekil 4.81 İncelenen kubbelerin strüktür türlerinin dağılımı	155
Şekil 4.82 İncelenen kubbelerin strüktür türlerine göre geçilen açıklıklar	156
Şekil 4.83 Kubbelerin strüktür türlerine ve yapım yıllarına göre analizi	159
Şekil 4.84 Kubbelerin yapım sistemleri ile işlevlerinin karşılaştırılması	160
Şeki 4.85 Kubbelerin strüktür türlerine göre plan geometrileri	162
Şekil 4.86 İncelenen kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerinin dağılımı	164
Şekil 4.87 İncelenen kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerine göre geçilen açıklıklar	165
Şekil 4.88 Kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türleri ile yapım yıllarının karşılaştırılması	167
Şekil 4.89 Kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerindeki değişim ve yapıların işlevleri	169
Şekil 4.90 Kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerine göre plan geometrileri	170

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 Pantheon'a ait bilgiler	71
Tablo 4.2 Ayasofya'ya ait bilgiler	72
Tablo 4.3 Kubbet-üs Sahra'ya ait bilgiler	74
Tablo 4.4 Floransa Katedrali'ne ait bilgiler	76
Tablo 4.5 Sülemaniye Camii'ne ait bilgiler	78
Tablo 4.6 Aziz Vasil Katedrali'ne ait bilgiler	79
Tablo 4.7 Selimiye Camii'ne ait bilgiler	80
Tablo 4.8 St. Peter Katedrali'ne ait bilgiler	81
Tablo 4.9 Şeyh Lütfullah Camii'ne ait bilgiler	82
Tablo 4.10 Mescid-i İmam'a ait bilgiler	83
Tablo 4.11 Tac Mahal'e ait bilgiler	84
Tablo 4.12 St. Paul Katedrali'ne ait bilgiler	85
Tablo 4.13 Capitol Dome'a ait bilgiler	87
Tablo 4.14 Kresge Oditoryumu'na ait bilgiler	89
Tablo 4.15 Kaiser Aluminum Dome'a ait bilgiler	90
Tablo 4.16 Palazzetto dello Sport'a ait bilgiler	91
Tablo 4.17 Palazzo dello Sport'a ait bilgiler	92
Tablo 4.18 Utica Oditoryumu'na ait bilgiler	93
Tablo 4.19 Missouri Botanik Bahçesi'ne ait bilgiler	94
Tablo 4.20 Illini Hall'e ait bilgiler	95
Tablo 4.21 Expo 67, Amerikan Pavyonu'na ait bilgiler	97
Tablo 4.22 Expo70, Amerikan Pavyonu'na ait bilgiler	99
Tablo 4.23 Norfolk Scope'a ait bilgiler	100
Tablo 4.24 The South Pole Dome'a ait bilgiler	101
Tablo 4.25 Silver Dome'a ait bilgiler	102
Tablo 4.26 King Dome'a ait bilgiler	104
Tablo 4.27 Tacoma Dome'a ait bilgiler	105
Tablo 4.28 Montreal Olimpiyat Stadyumu'na ait bilgiler	107
Tablo 4.29 Tokyo Dome'a ait bilgiler	109
Tablo 4.30 Seoul Olimpiyat Stadyumu'na ait bilgiler	110

Tablo 4.31 Suncoast Dome’a ait bilgiler	112
Tablo 4.32 Toronto Sky Dome’a ait bilgiler	114
Tablo 4.33 Yakima Sun Dome’a ait bilgiler	116
Tablo 4.34 Superior Dome’a ait bilgiler	117
Tablo 4.35 İzumo Dome’a ait bilgiler	119
Tablo 4.36 Birleşmiş Milletler Pavyonu’na ait bilgiler	121
Tablo 4.37 Georgia Dome’a ait bilgiler	122
Tablo 4.38 Fukuoka Dome’a ait bilgiler	124
Tablo 4.39 Le Comptoir Forestier’a ait bilgiler	125
Tablo 4.40 Odate Dome’a ait bilgiler	126
Tablo 4.41 Komatsu Dome’a ait bilgiler	127
Tablo 4.42 Sidney Showground Dome’a ait bilgiler	128
Tablo 4.43 Atlantico Pavyonu’na ait bilgiler	129
Tablo 4.44 Reichstag Parlamento Binası’na ait bilgiler	130
Tablo 4.45 Millennium Dome’a ait bilgiler	132
Tablo 4.46 Eden Projesi’ne ait bilgiler	134
Tablo 4.47 Oita Stadyumu’na ait bilgiler	135
Tablo 4.48 Gurdwara Southall Temple’a ait bilgiler	137
Tablo 4.49 Library for Faculty of Philology’ye ait bilgiler	138
Tablo 4.50 The National Grand Theatre’in genel bilgileri	139
Tablo 4.51 ELT Tenerife’ye ait bilgiler	140
Tablo 4.52 Las Arenas’a ait bilgiler	141
Tablo 4.53 Örneklerin karşılaştırılması	143
Tablo 4.54 İşlevlerine göre kubbelerin sayıları	150
Tablo 4.55 Yapım yılına göre kubbeli yapı örneklerindeki değişim	150
Tablo 4.56 Analizi yapılan kubbelerin plan geometrilerine göre dağılımı	152
Tablo 4.57 Analizi yapılan kubbelerin geçilen açıklıklarına göre dağılımı	153

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

İnsanoğlunun ilk yapı yapma eylemi, doğanın olumsuz koşullarından ve vahşi hayvanlardan korunmak için kendisine küçük barınaklar inşa etme isteğinden doğmuştur. İnsanlar, temel gereksinimlerinden biri olan barınma ihtiyacını başlangıçta mağara gibi doğal oluşumlarda karşılamıştır. Mağaranın sınırladığı alanlar yeterli gelmemeye başladıktan sonra insanların çevresinde bulabildiği taş ve ağaç gibi doğal malzemelerle ilk barınaklarını inşa etmeye başladığı öngörülmektedir.

Zamanla insanlardaki sosyal ve kültürel gelişime paralel olarak, yapıların da geliştirilmesi gerekmiş, böylece mimarlık, basit yapılardan daha karmaşık yapılara doğru uzanan bir gelişim göstermiştir. İnsanoğlu zamanla becerisini temel strüktürel formlar üzerinde geliştirip taş, tuğla ya da ahşabı üst üste yığarak kendi eliyle mekânlar biçimlendirmiş, biçimlendirdiği mekânlara karşı daha duyarlı hale gelmiş ve gitgide daha geniş açıklıklı mekânlar oluşturmak istemiştir.

“Tarih boyunca insanoğlu genellikle dini ve sosyal ihtiyaçlarına hizmet edecek geniş açıklıkları geçme çabası içinde olmuştur. Günümüzde de başta büyük toplulukları bir mekân altında toplamak ve çok çeşitli fonksiyonları içinde barındırmak amacıyla geniş açıklıklı yapılara ihtiyaç duyulmaktadır” (Kayalar, 2010, s.1). Mimaride mümkün olduğunca geniş açıklıklı mekânları kolonsuz geçmek tüm çağların bir sorunu olmuştur. Günümüzde geniş açıklıkları kolonsuz geçmeye yönelik birçok malzeme ve bu malzemelerin kullanıldığı taşıyıcı sistemler geliştirilmiştir. Yapının üstünü örten bir yapı elemanı olan kubbeler de bu çeşitlilikten nasiplenmiş ve daha büyük açıklıkları geçebilmede daha sık kullanılır olmuştur. Kubbelerin büyük açıklıkları geçmesinde kullanılan ön gerilmeli beton, klasik çelik veya benzeri yapı malzemeleri yerine günümüzde artık daha ekonomik, hafif, hızlı, estetik, güvenli ve uygulaması daha kolay olan taşıyıcı sistem malzemeleri kullanılmaktadır. “Teknolojinin gelişimi ve toplumsal ilişkilerin değişimi ile birlikte yeni mekân tipleri ve yeni taşıyıcı sistem

malzemelerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç giderek artmıştır” (Kayalar, 2010, s.1). Zamanla teknolojinin ilerlemesi sonucu, daha hafif ve ekonomik malzemelerin yapıda kullanılmasıyla birlikte kubbeler, daha büyük açıklıklarda ve örneğin spor salonu, sergi alanı, tiyatro, konser salonu ve konferans alanı işlevine sahip yapıların üst örtüsü olarak da kullanılmaktadır.

Yapım ve malzeme üretim teknolojilerindeki ilerlemeler ile birlikte, yeni birçok taşıyıcı sistem geliştirilmiştir. Bu taşıyıcı sistemler, farklı araştırmacılar tarafından farklı açılardan incelenip sınıflandırılabilir. Taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılmaları, bu sistemlerin daha kolay anlaşılmasını, özelliklerinin daha iyi kavranabilmesini ve taşıyıcı sistem seçiminin daha uygun şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır. Kubbelerin gelişiminde ve kubbeli yapılardaki strüktürel sınırların aşılmasında, kubbelerin taşıyıcı sistemlerindeki değişimin önemli etkileri olmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, kubbeli yapıların strüktürel prensiplerinin araştırılması ve kubbelerin tarihsel süreç içerisindeki gelişimlerinin incelenmesidir.

Büyük açıklık geçmeye uygun strüktürel sistemlerdeki gelişimin kubbeli yapılara olan etkisinin belirlenebilmesi için, kubbelerin tarihsel gelişimi üzerinden araştırılması gerekmektedir. Kubbeli yapıların, malzeme ve taşıyıcı sistem açısından tarihsel gelişimleri, bu amaç doğrultusunda incelenmiştir.

Malzemedeki ve strüktürel teknolojideki ilerlemeler, kubbelerin gelişimini ve daha büyük açıklık geçebilmelerini sağlamıştır. Bu teknolojik ilerlemeler sayesinde kubbe yapımında farklı taşıyıcı sistemler kullanılabilir hale gelmiştir. Bu taşıyıcı sistemlerin yük aktarma şekilleri de birbirinden farklıdır. Bu nedenle taşıyıcı sistem özelliklerine göre kubbelerin sınıflandırılması amaçlanmıştır.

Farklı yapım sistemlerine sahip kubbelerde kullanılan malzeme açısından en büyük açıklıkların hangi yapılarda olduğunun belirlenmesi, böylece yapım sistemlerinin sınırlarının ve gelişmişlik düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan literatür taramasında kubbelerin taşıyıcı sistemlerine, kubbelerde kullanılan malzemelere ve farklı yapım sistemine sahip kubbelerdeki yük aktarım prensiplerine yönelik basılı bir yayın bulunamamış olması nedeniyle, yapılan tez çalışmasının bundan sonra kubbelerle ilgili olarak yapılacak çalışmalara yönelik bir derleme niteliğinde olması hedeflenmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Çalışmanın kapsamı olarak tüm dünyada inşa edilmiş ve günümüze kadar ayakta kalabilmiş kubbe örnekleri incelenmiştir.

Bu kubbeli yapılardan aynı taşıyıcı sisteme, aynı malzemeye, aynı yük aktarım prensibine sahip olan örneklerden en büyük açıklığa sahip olanları çalışma kapsamına alınmış ve diğer kubbeli yapı örnekleri kapsam dışında bırakılmıştır. Örneğin yığma kubbelerle ilgili örnekler incelendiğinde taşıyıcı sistem malzemesi aynı olsa bile yük aktarımında pandantif, tromp veya Türk üçgeni kullanılan örnekler tez kapsamına alınmış ancak Sultan Ahmet Camisi'nin kubbesi ile Selimiye Camisi'nin kubbesinin taşıyıcı sistem özellikleri ile yük aktarımında kullanılan Türk üçgeninin ortak olması nedeniyle daha küçük açıklık geçebilen Sultan Ahmet Camisi tez kapsamına alınmamıştır.

Bu çalışmada sadece taşıyıcı sistem ve malzeme ile ilişkili olarak kubbe formundaki yapılar ele alınmıştır. Yapıların maliyeti, yapım süreci, yapı fiziği gibi konular kapsam dışı bırakılmıştır. Bu konular başka bir çalışmanın konusu olarak ileride araştırılabilir.

1.3 Çalışmanın Yöntemi

Kubbelerle ilgili bu çalışmada, belirlenen amaç ve kapsam doğrultusunda izlenen yöntem; genel bir kaynak taraması sonucu bir derleme oluşturmaktır. Kubbelerle ilgili bilgileri topladıktan sonra, toplanan bilgileri belirli bir düzen içinde aktarma ve ardından örnek kubbeleri malzeme ve taşıyıcı sistem açısından bir sınıflandırmaya tabi tutma, böylece farklı yapım sistemine ve malzemeye sahip kubbelerle ilgili bir analiz oluşturma yöntemi uygulanmaktadır. Bu analiz kapsamında kubbeler yapım yılı, geçilen açıklık, taşıyıcı sistem, taşıyıcı sistem malzemesi, plan geometrisi ve yapının işlevi kriterleri açısından birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda kubbelerle ilgili bazı istatistikî verilere ulaşılmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM İKİ

KUBBEYLE İLGİLİ KAVRAMLAR VE KUBBELERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Kubbeler, bir kemerin ortasından geçen dik bir eksen etrafında döndürülmesiyle elde edilen bir yapı elemanıdır. Kubbe yapımında kullanılan kemerleri doğrusal bir eksen etrafında öteleme sonucunda da tonoz denilen yapı elemanı elde edilmektedir. Kubbenin yük aktarım prensibi ve yapımının daha iyi anlaşılması için öncelikle kemer ve tonozların incelenmesi gereği duyulmuştur. Ayrıca tezin içinde geçmekte olan ve kubbelerle ilgili bazı kavram ve tanımlara da bu bölümde yer verilmiştir. Tüm bu tanımlardan sonra kubbenin tarihsel gelişimi anlatılmaktadır.

2.1 Kemerin Tanımı

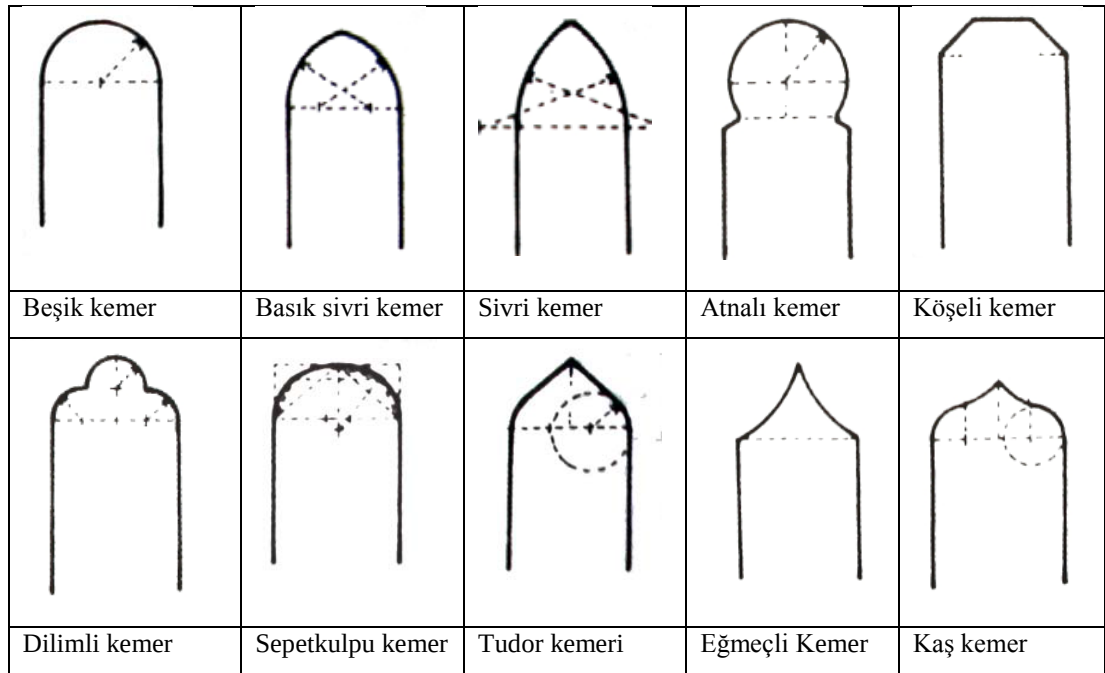
Türk Dil Kurumu'nun tanımına göre (1977, s. 326), kemer “iki sütun veya ayağı birbirine üstten yarım çember, basık eğri, yonca yaprağı vb. biçimlerde bağlayan ve üzerine gelen duvar ağırlıklarını, iki yanındaki ayaklara bindiren tonoz bağlantı” şeklinde yapılmaktadır. Bu tanımın baş tarafları kabul edilebilir iken, en sonda geçen ‘tonoz bağlantı’ teriminden ne kastedildiği anlaşılmamaktadır. Ancak mimari açıdan düşünüldüğünde bu tanımda kemeri tonoz bağlantı yerine, ‘eğrisel bir yapı bileşeni’ olarak tanımlamanın daha doğru olduğu düşünülmektedir.

Yığma kâgir yapıların duvarında boşluk oluşturmak için lento, hatıl vb. doğrusal elemanların yetersiz kaldığı durumlarda kullanılan kemerleri, Hasol (1998, s. 245) “iki sütun veya iki ayak arasındaki bir açıklığı geçebilmek için, uçları bu sütun ve ayaklara oturmak üzere yay şeklinde yapılan ahşap, metal, betonarme ya da kâgir yapı elemanı” olarak tanımlamıştır.

Büyük açıklıklı mekân yaratabilmenin ilk adımı hiç şüphesiz ki kemerlerin bulunmasıyla mümkün olmuştur. Eski Mısır ve Anadolu’da ilk örneklerine rastlanan kemerler; tonoz ve kubbe gibi örtü elemanlarının kaynağıdır. Üzerine gelen yükleri, basınç gerilmesi şeklinde aşağıya ileterek açıklığın iki yanına aktaran kâgir kemer,

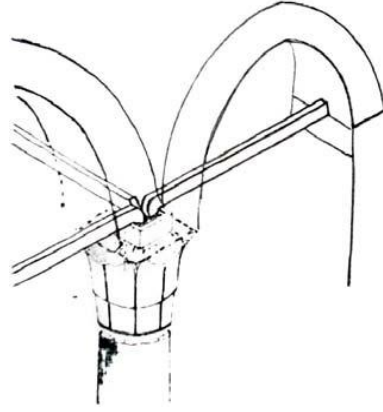
yalnız basınca çalışan bir yapı elemanıdır. Bu nedenle taş, tuğla gibi basınç direnci yüksek, buna karşın çekme direnci düşük malzemelerin kemer yapımında kullanılması mümkün olmuştur.

İlk kemerler, ters ‘v’ şeklinde olup birbirine dayanan iki büyük taşın açıklığı geçmesiyle oluşturulmuştur. Böylece kemerin en ilkel örneğinden günümüzdeki kemer biçimine ulaşana kadar farklı teknikler denenmiş ve basık, şişkin, sepetkulbu, beşik, düz, üçgen, abanık, mızrak ucu, at nalı, tudor, dilimli, köşeli, armudi, ters eğmeçli, yıldız, kaş kemer gibi birçok kemer çeşidine ulaşılmıştır (Şekil 2.1). Kemerler, gerek pencere gibi küçük açıklıkları geçmede, gerekse kubbenin tüm yükünü aktaran büyük açıklıklı askı kemerini yaratmada kullanılmıştır.



Şekil 2.1 Kemer biçimlerinin şeması (Hasol, 1998, s. 247)

“Açıklık geçmek için kullanılan kemer eğrisinin geometrisi, mesnetlerine vereceği itki kuvveti bakımından önemlidir. Bu itki kuvveti, mesnetlerde düzenlenecek yeterli duvar ya da gergi ile alınır (Şekil 2.2). Mesnetlerden birindeki itki yok olduğunda kemer yıkılır” (Arun, 2005, s. 3).



Şekil 2.2 Demir gergilerin sütun başlığına mesnetlenme detayı (Akıncı, 1998, s. 290)

Duvar yüzeyinden ayrı, kemer şeklinde, kubbenin kasağını destekleyen payandalar, kemer itkisinin duvarda neden olacağı açmaları engellemek için yapılmıştır. Bunlara ‘uçan payanda’ ya da ‘dayanma kemeri’ de denir (Şekil 2.3).



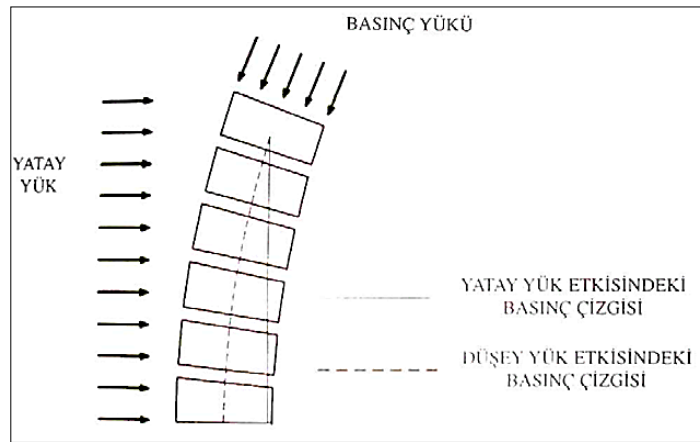
Şekil 2.3 Dayanma kemeri (Hasol, 1998, s. 246)

Bir kemer, kendi ağırlığı ve üzerine gelen yükler olmak üzere iki türlü yük etkisi altındadır. Kendi ağırlığı, yapıldığı malzemeye bağlıdır. Üzerine gelen yükler ise kemere gerilme ve burkulma olmak üzere iki türlü etkir.

Kemer eğrisindeki gerilmeler; basınç, eğilme ve kayma gerilmesidir. Kemer etkisi altındaki yük bileşenlerinin kemer en kesiti içinde kalması istendiğinden sivri kemerden basık kemere doğru gidildikçe kemer kalınlığı artırılmalıdır. Bundan

dolayı mesnetlerdeki itki kuvveti basık kemerde daha çoktur. İşte bu itki kuvvetinin duvar ya da sütunlarda açma yapmaması için kemer dışında payanda ya da ağırlık kuleleri, kemer açıklığında ise ahşap ya da metal gergi çubukları düzenlenmiştir (Özkahraman, 1994, s. 29).

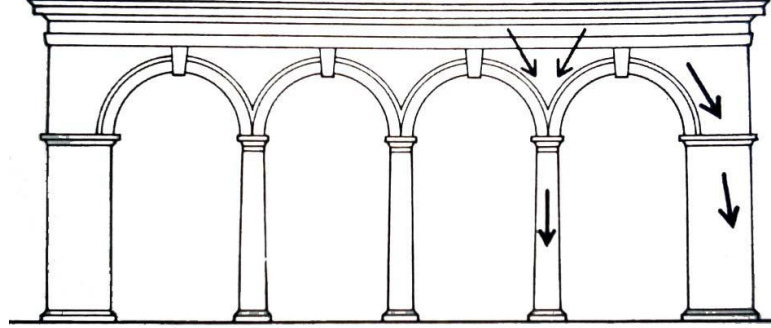
Eğrisel geometrilerinden dolayı kemere gelen yükler, düzgün bir şekilde mesnetlere aktarılırlar. Bundan dolayı kemerlerde eğilme momenti oluşmaz. Geleneksel yığma yapılarda kubbe ve tonoz gibi strüktürel elemanların yatay itkilerini karşılayan kemerler, düşey ve yatay yükleri aynı anda taşırlar. Taş, tuğla gibi elemanlardan oluşan kemerin çekmeye karşı dayanımı çok az olduğundan, çekme kuvvetinin şiddetini azaltmak için kemerin ağırlığı artırılarak yatay yüke karşı stabilitesinin sağlanması gereklidir. Bundan dolayı kemer kesitleri oldukça büyük boyutlarda yapılmaktadır (Ünay, 2002, s. 51-52). Aynı zamanda, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi basınç çizgisinin, yığma yapı elemanının içinde kalması koşulunun sağlanması için kemerin en kesitinin yeterli kalınlıkta olması gerekir.



Şekil 2.4 Kemerlerin yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu (Ünay, 2002, s. 84)

Burkulma ise sabit yükler altında kemerin belirli noktalarda mafsallar oluşturmasıdır. Burkulmayı önlemek için kemerin kalınlığının yeterli olması önemlidir. Kemerlerin yan yana düzenlenmesi, burkulma dayanımı açısından etkilidir. Yan yana düzenlenmiş kemerlerdeki yanal kuvvetler, bitişik kemerin yanal kuvvetleri tarafından etkisiz hale getirileceğinden bu tür kemerler, sütunlar üzerine

yerleştirilebilir. Ancak kenar kemerde, kemer itkisini zemine iletecek yeterli duvar bulunmalıdır (Şekil 2.5).



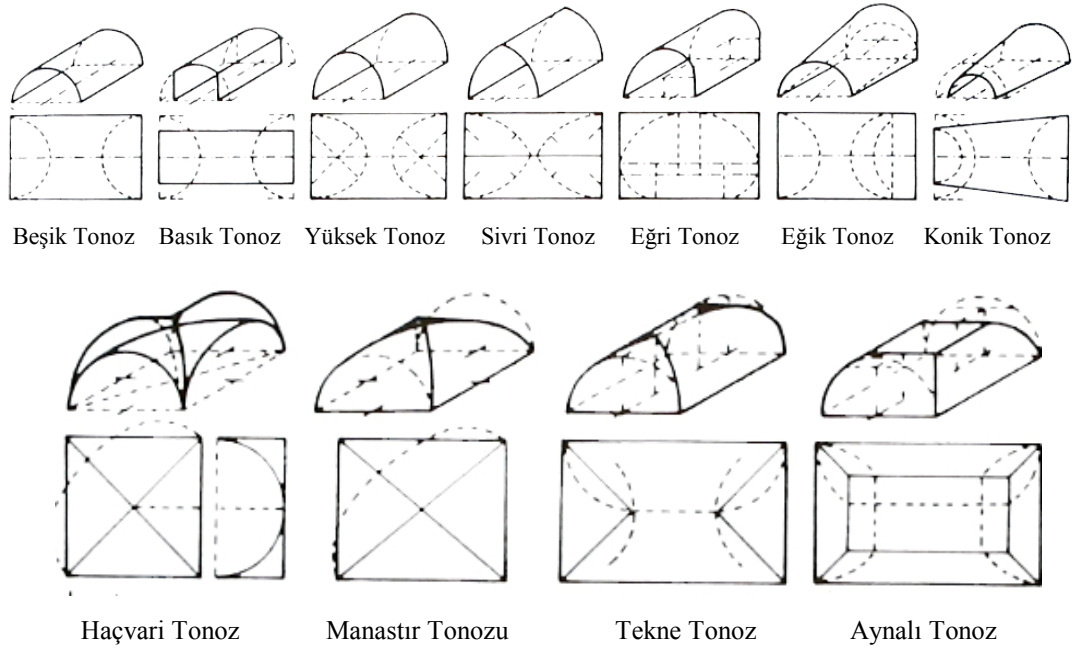
Şekil 2.5 Bitişik kemerlerde yük aktarımı (Roth, 2000)

2.2 Tonozun Tanımı

Türk Dil Kurumu'nun tanımına göre Yunanca'dan Türkçe'ye geçmiş olan (1977, s.570), tonoz “tuğla ve harçla örülmüş, alttan obruk, yarım silindir biçiminde tavan örtüsü ve bir kemerin aralıksız devam etmesiyle oluşan örtü biçimi” şeklinde tanımlanmıştır.

“Biçimi, alttan içbükey olmak üzere taş ya da tuğla ve harçla örülmüş yarım silindir biçimde tavan, bir kemerin aralıksız olarak devam etmesi ile meydana gelen örtü” (Hasol, 1998, s. 450) olarak da tanımlanan tonoz, bir kemerin kendi düzlemine dik doğrultuda ötelenmesiyle oluşan bir üst örtü sistemidir. “Kâgir malzemeli tonoz yapımında, kubbede olduğu gibi basınç direnci yüksek olan işlenmiş doğal taş, tuğla ve özel hazırlanmış beton blok gibi malzemeler kullanılmaktadır (Erol, 1997, s. 92).”

Tonozun strüktürel özelliği, dayanak noktasında sürekli taşıyıcı elemanları gerektirmesidir. Erken Mezopotamya döneminde elde edilen, çok geniş duvarlardan oluşan alt yapı üzerine konumlandırılan beşik tonozun ardından, zamanla çeşitli tonoz türleri elde edilmiştir. Bunlar; sivri tonoz, konik tonoz, verev tonoz, eğik tonoz, haçvari tonoz, tekne tonoz, aynalı tonoz, manastır tonozu olarak sıralanabilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Tonoz biçimlenmeleri (Hasol, 1998, s. 450)

Tonozlar, tek ve çift eksenli olmak üzere iki grupta incelenebilir. Tek eksenli tonozlar, bir kemerin merkezi yönünde ötelenmesiyle meydana gelmektedir. Beşik, sivri, verev, eğik, konik tonozlar bu gruba dâhildir. Çift eksenli tonozlar ise birbirini dik kesen tonozlardan oluşmaktadır. Çapraz tonozda yükler yalnızca dört köşede toplandığı için dört sütunla ayakta kalabilir. Diğer bütün tonozlar, aldıkları yükü duvarlara iletirler. Manastır tonozu, tekne tonoz, aynalı tonoz ve çokgen tonoz bu gruptadır (Tuluk, 1999, s. 19).

Tonozun ilk örneklerine Mezopotamya ve Mısır'da rastlanır. Bu tonozlar, bir duvara eğik biçimde yaslanan birbirinden bağımsız kemerlerin yan yana konmasıyla oluşmuştur. Dikdörtgen mekânların örtülmesinde kullanılan beşik tonoz, silindirik biçimlidir. Kare mekânların örtülmesinde ise manastır tonozu ve haçvari tonoz kullanılır. Geçmiş dönemlerde birden çok haçvari tonozun yan yana getirilmiş sütunlar üzerine oturtulmasıyla, büyük hacimlerin örtülmesi mümkün olabilmıştır (Erol, 1997, s. 92).

2.3 Kubbenin Tanımı

Türk Dil Kurumu'nun tanımına göre (1977, s. 363) kubbe “yarımküre biçiminde olan ve yapıyı örten dam” şeklinde tanımlanmıştır.

Hasol'un Mimarlık Sözlüğü'nde (1998, s. 277) 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.

Kubbeye, Arapça'da ‘Gobbe’, Farsça'da ‘Gonbed’ denilmekte olup, bu kelime Türkçe'ye kümbet olarak geçmiştir. Kümbet, Selçuklular döneminde türbeye verilen addır ve Selçuklu mimarisinin önemli bir parçasıdır. Selçuklular zamanında yapılan kendine özgü şekli olan ve üstünde kubbe bulunan anıtmezarlar, genellikle büyük devlet ve din adamları için yapılmıştır.

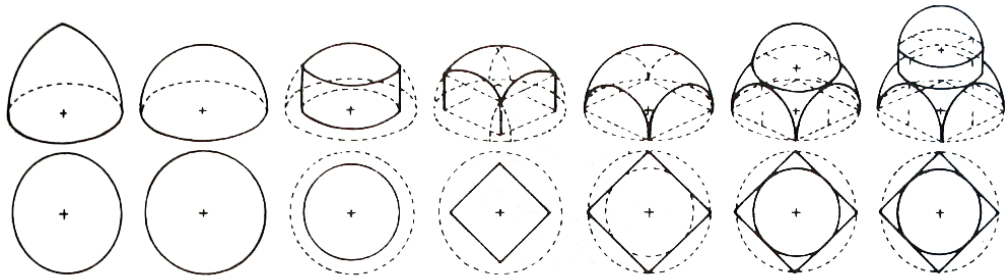
Kubbe kelimesi, Müslümanların Endülüs'teki hâkimiyetleri sırasında İspanyolca aracılığı ile batı dillerine girmiştir. Kubbeye İspanyolca ‘Cúpula’, Almanca ‘Kuppel’ ve Boşnakça ‘Kupola’ denmektedir.

Kubbenin yük aktarımı ve içinde gerçekleşen gerilmelerle ilgili olarak literatürde sıklıkla karşılaşılan ancak kısmen doğru kısmen de hatalı olan bir tanımlama bulunmaktadır. Örneğin Tuluk (1999) kubbelerdeki gerilmeleri “Kubbeyi oluşturan elemanların dizilme biçimleri sayesinde üstten gelen yükler yalnızca basınca çalışır ve alttaki strüktür elemanlarına yük aktarımı sağlanır. Bu nedenle kubbe yapımında kullanılacak elemanların, kemerlerde olduğu gibi basınç direnci yüksek, çekme direnci düşük olmalıdır” şeklinde açıklamaktadır. Taş veya tuğla malzemeyle oluşturulan yığma kâgir yapı sistemleriyle inşa edilmiş kubbelerin düşey kesitleri yönündeki gerilme türü için doğru olan bu tanımlama, kubbenin etek kısımlarındaki yatay kesitteki çekme gerilmesini göz ardı etmesi bakımından eksik bulunmaktadır. Zira Pantheon'da olduğu gibi kubbenin etek kısımlarındaki yatay çekme kuvvetine karşı çekme çemberi kullanılma zorunluluğu doğmuştur. Ayrıca kubbeyi oluşturan malzemelerin tanım içinde zikredilmemesi nedeniyle tüm kubbeler için geçerli gibi

görülen tanım, içinde sadece çekme gerilmelerinin olduğu pnömatik kubbelerde tamamen geçersiz kalmaktadır. İster alçak, ister yüksek basınçlı olsun pnömatik sistemlerle yapılmış kubbelerde sadece ve sadece çekme gerilmeleri oluşur ki bu gerçeklik Tuluk'un yaptığı tanıma uymamaktadır.

Kubbeyi oluşturan yapı bileşenlerinin dizilme biçimleri sayesinde üstten gelen yükler, kubbe içinde düşeyde sadece basınç gerilmesine neden olur ve kubbenin altındaki yapı elemanlarına aktarılır. Bu nedenle kubbe yapımında kullanılacak elemanların, kemerlerde olduğu gibi basınç direncinin yüksek olması gerekmektedir. Kubbe, etkili bir mekân belirleyici olmasının yanında simgesel özelliği nedeniyle de özellikle İslam mimarlığında çokça kullanılmıştır.

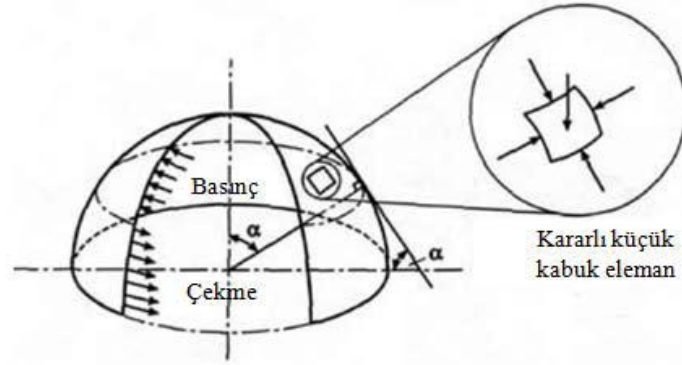
Bir kemerin merkezinden geçen düşey aksı çevresinde dönmesiyle elde edilen ve kemerle aynı statik özelliklere sahip olan kubbe, ilk uygulamalarda, özellikle Roma döneminde, geometrisinin getirdiği zorunluluktan dolayı daha çok dairesel ve çokgen planlı yapıların üst örtü elemanı olarak kullanılmıştır. Kare ya da dikdörtgen mekânlara uygulanabilmesi için dairesel planlı üst örtüden kare planlı altyapıya geçiş öğelerinin yardımı gerekmektedir. Şekil 2.7'de farklı kubbe biçimlenmeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Kubbe biçimlenmeleri (Hasol, 1998, s. 278)

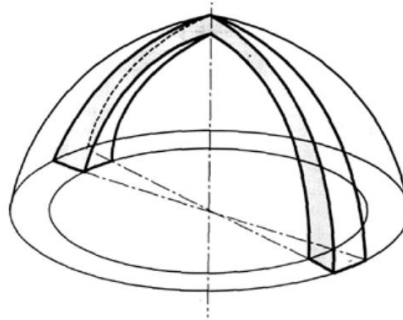
Kubbenin geometrik ve strüktürel karakteri, merkezi planlı yapı biçimini özendirmiştir. Kubbe, taşıyıcı sisteme her yönde eşit etki yapar. Bu nedenle kubbeli yapıya, merkezi yapı şeması daha uygundur. Sistemin tam simetrik olmadığı kubbeli yapılarda, büyük burulmalar oluşur. Strüktürel davranış dışında kubbeli yapıları merkezi olmaya iten diğer etken, onun simgeselliğidir. Hristiyan mimarlığında merkezi plan ile haç biçiminin simgesel ilişkisi açıktır (Kuban, 1998a, s. 46-48).

Eski çağlardan beri çeşitli amaçlar için inşa edilen kubbelerin gerçek davranışları çok karmaşıktır. Bu yapılar, üç boyutlu kuvvetlere maruz kalırlar. Bu kuvvetleri eğilme, basınç ve çekme gerilmeleri oluşturur. Ancak basitleştirmek için iki kabul yapılabilir ve bu kabuller tüm davranışın sadece bir kısmını yansıtır (Beckmann, 1995). İlk kabul, kubbenin diğer boyutlara oranla çok küçük kalınlıkta bir kabuk elemanı olduğunun kabul edilmesidir. Böylece, bu küçük kalınlıklı kabuk çok düşük eğilme dayanımına sahip olmakta ve kabukta basınç gerilmeleri meridyenler boyunca oluşmaktadır. Dairesel gerilmeler, kubbe şekli ve yük dağılımından dolayı kubbe tabanına doğru inildikçe basınç gerilmesinden çekme gerilmesine dönüşmektedir (Şekil 2.8) (Uçak, 2012, s. 3).



Şekil 2.8 Kabuk kubbe diyagramı, basınç ve çekme bölgesinin gösterimi (Uçak, 2012, s. 3)

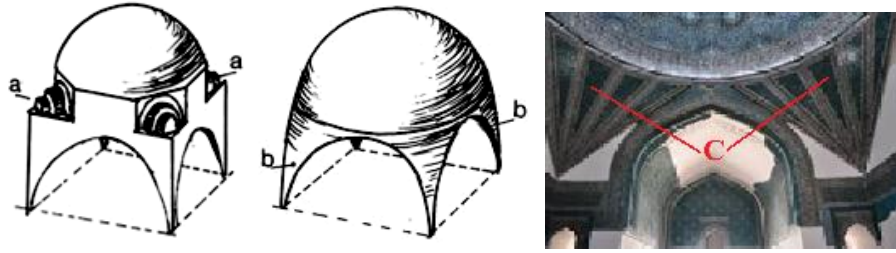
İkinci kabulde ise kubbe bir dizi kemer olarak dikkate alınmaktadır (Şekil 2.9). Eğer kemerdeki basınç çizgisi iç ve dış yüzeyler arasında kalıyorsa kemer yeteri kadar güçlü ve stabil olmaktadır. Kemer güçlü ve stabilse, meridyenler boyunca oluşabilecek çatlaklara rağmen kubbe de yeterince güçlü ve stabil olarak kabul edilmektedir (Uçak, 2012, s. 4).



Şekil 2.9 Kubbenin kemer diliminde gösterimi (Uçak, 2012, s. 4)

2.4 Kubbeli Yapılarda Geçiş Elemanlarının Tanımları

Kare taban üzerine kubbe yapımında en büyük problem, daireden kareye geçişte köşelerde oluşan üçgensel boşluklardır. Bu boşluklar için farklı bölgelerde farklı çözümler üretilmiştir. İranlı mimarlar trompu, Bizanslı mimarlar ise pandantifi geliştirmişlerdir. Anadolu Türk mimarlığında ise bu problem Türk üçgeni sayesinde çözülmüştür (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 a) Tromp, b) Pandantif c) Karatay Medresesi, Türk üçgeninin örneği (Les Coupoles, b.t)

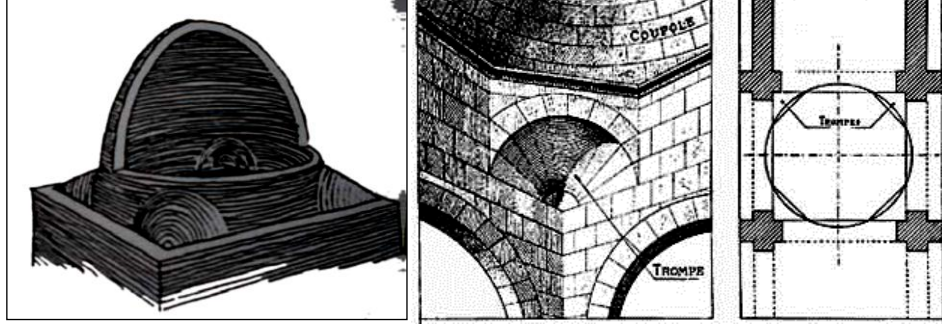
Geçiş elemanları, kare planlı bir yapıda kubbenin örtü elemanı olarak kullanılmasıyla ortaya çıkan bir ihtiyaçtır. Çünkü kubbeler, taşınması için sürekli bir mesnet ile kare planlı bir yapıda kullanıldığında kenarlardaki taşıyıcı kemer ve duvarlara ek olarak köşelerde de örtüye geçiş elemanı olarak adlandırılan taşıyıcı öğelere gereksinim duymaktadır. Kubbenin sürekli bir mesnede oturma gerekliliği, köşelerde kubbe eteğiyle temas sağlayan ve onun yükünü düzenli bir dağılımla taşıyıcı duvara aktaracak öğelere gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Bu öğeler;

- Tromp (tonoz bingi),
- Pandantif (küresel bingi) ve
- Türk Üçgeni olarak bilinmektedir.

Geçiş elemanlarından biri olan Türk Üçgeni, sütun, ayak, duvar, lento gibi doğrusal ve düzlemsel bir eleman, Tromp ve Pandantif ise kemer, kubbe, tonoz gibi eğrisel elemanlardır (Uçak, 2012, s.11).

2.4.1 Tromp

Hasol (1998, s. 454) trompu, “Kare planlı kubbeli bir yapının duvarları arasındaki köşelerin üst bölümüne yapılan ve binanın üstünü sekiz kenarlı bir şekil haline koyarak kubbenin oturmasına elverişli bir kaide meydana getirmek üzere köşeleme örtülen tonoz, tonoz bingi, köşe tonozu” olarak tanımlamaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Trombu gösteren şekiller (Hasol, 1998, s. 456; Les Coupoules, b.t)

“İslam mimarisinde dekoratif olarak da kullanılan tromp, taş ya da tuğladan yapılabilir. Osmanlı mimarlığında daha çok içi istiridye gibi dilimli, mukarnas dolgulu, yarım kubbe biçimli tromplar kullanılmıştır” (Tuluk, 1999, s. 20).

Tromplar, basit, ayrıtlı, yivli, mukarnaslı ve baklavalı tromp olmak üzere beş tiptedir. Basit tromp, ayrıtlı tromp (Aktuğ, 1989) ve yivli tromp uygulamalarına ait örnekler Şekil 2.12’de verilmektedir (Uçak, 2012, s. 17).



(a)

(b)

(c)

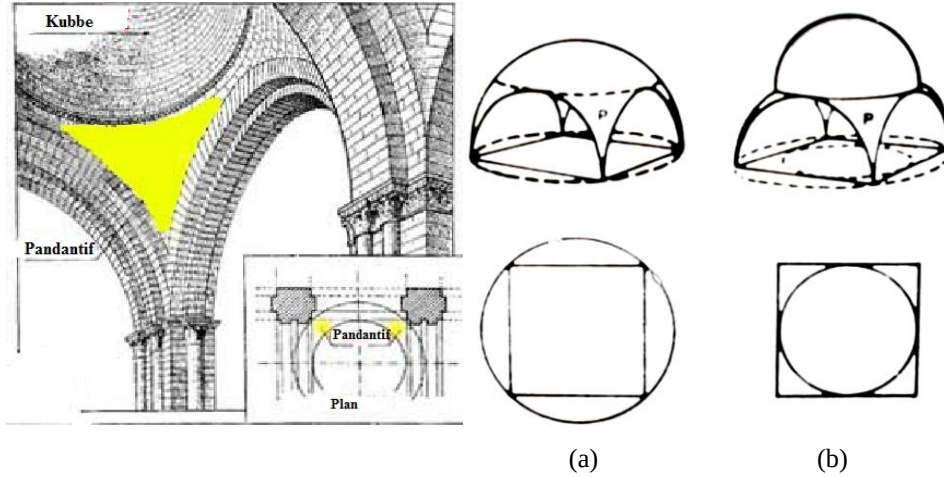
Şekil 2.12 Basit, ayrıtlı ve yivli tromplara ait çizim ve uygulama örnekleri (a) Ayrıtlı tromp çizimi , (b) Basit tromp örneği Mevlana Hamamı, Tokat (c) Yivli tromp örneği Mustafa Bey Hamamı, Amasya (Aktuğ, 1989).

2.4.2 Pandantif

Hasol, Mimarlık Terimleri Sözlüğü'nde (1998, s. 345) pandantifi; “bir kubbeyi taşıyan kemerler ile kubbe kaidesinin arasını kapatan ve kare bir plandan kubbenin dairesel kaidesine geçmeyi sağlayan küresel üçgen” şeklinde tanımlamaktadır.

Trompun daha gelişmiş olan pandantif, Yakınoğlu'nun çeşitli ülkelerindeki ilkel denemelerde görülür. Pandantifin, küçük çaplı kubbelerde taşırtma tekniğinde geçiş öğelerinin denenmesi sırasında bulunduğu düşünülmektedir. Küresel bingi olarak da adlandırılan pandantif, örtü biçimine bağlı olarak iki şekilde uygulanabilir:

1. Kubbenin çapı ile aynı çapta (yelken tonoz): Örtünün bir parçası gibi sürekli yüzey oluşturur.
2. Kubbenin örttüğü karenin dışına çizilen daire çapında: Pandantifin en çok kullanıldığı şekil budur. Örtüden ayrılmıştır, taşıyıcıların parçasıymış gibi görülebilir (Kuban, 1998a, s. 47-48) (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Pandantifi gösteren şekil ve Pandantif çeşitleri; (a) Kubbenin örttüğü karenin dışına çizilen daire çapında (b) Kubbenin çapı ile aynı çapta (Hasol, 1998, s. 345; Les Coupoles, b.t)

Pendantifler basit, mukarnaslı ve ayrıntılı pendantif olmak üzere üç tiptedir. Bunlara ait birer örnek Şekil 2.14'te verilmektedir (Uçak, 2012, s. 12).



(a)

(b)

(c)

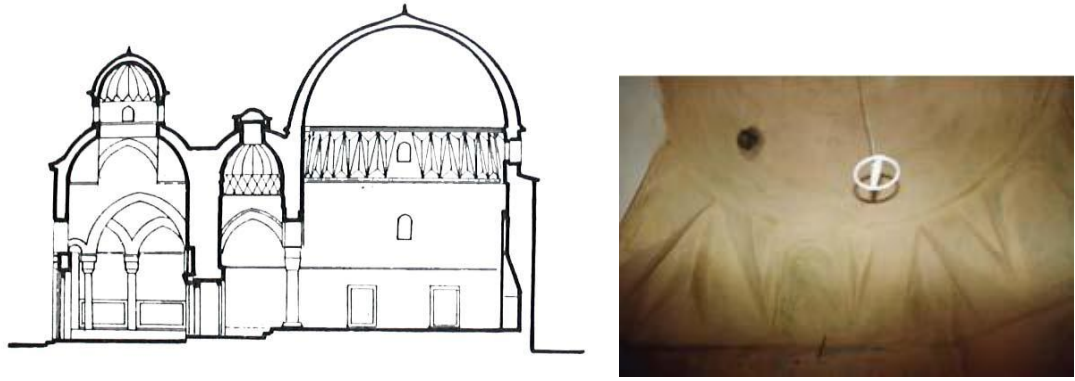
Şekil 2.14 (a) Yörgüç Paşa Hamamı, 1430, basit pandantif (b) Tokat Gedikpaşa Hamamı, 1474, İstanbul, mukarnaslı pandantif uygulamalarına ait örnekler, (c) Merzifon Çifte Hamamı, 1473, ayrıntılı pandantife ait uygulama örneği (Uçak, 2012, s. 12)

2.4.3 Türk Üçgeni

Hasol'un tanımlamasıyla Türk üçgeni (1998, s. 462); “Türk mimarisinde duvarla kubbe arasında bir geçiş ögesi olarak kullanılmış üçgen” şeklinde tanımlanmaktadır. En basit uygulamaları Uygur kubbelerinde görülür.

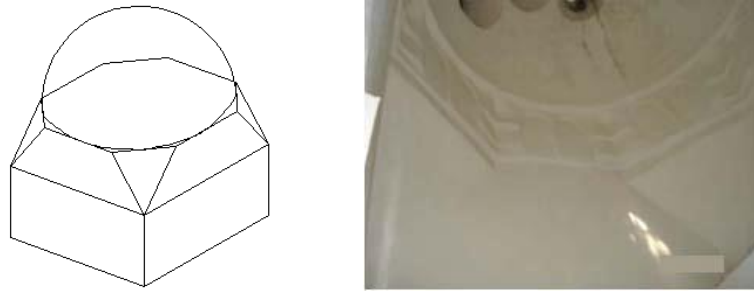
Anadolu Türk mimarlığında 15. Yüzyıl'dan önce kullanılan ve kubbe mesnet yüklerini alt yapı elemanına ileten Türk üçgeni, kubbe tabanının her bir kenarı, bir üçgenin tabanını oluşturacak ve tepesi, karenin köşe noktalarına gelecek şekilde yerleştirilir (Çamlıbel, 1998, s. 279).

Şekil 2.15'te Türk Üçgeni'ne ait bir kesit ve bu yapı elemanının cami yapısında kullanılmasına ait örnek verilmektedir. Türk Üçgeni, çokgen kasnağın kare taban köşesine isabet eden parçaların her biri üçgenin taban kenarı olacak şekilde ve üçgenin tepesi kare taban köşesine gelecek biçimde duvarın örülmesiyle oluşmaktadır (Bayraktar, 2006).



Şekil 2.15 Yeşil Camii, İznik ve Koca Mehmed Paşa Hamamı, Osmancık, Türk üçgeni örnekleri (Bayraktar, 2006)

Türk Üçgenleri düzlem, çoklu (ikili, üçlü ve çoklu) düzlem (Aktuğ, 1989), mukarnaslı düzlem, basit kısa üçgen dizisi, basit kuşaklama üçgen dizisi (Rumpler, 1956), baklavalı kısa üçgen dizisi, baklavalı kuşaklama üçgen dizisi olmak üzere yedi tiptedir. Düzlem üçgen uygulamasına ait bir örnek Şekil 2.16'da, ikili, üçlü ve çoklu düzlem üçgen uygulamasına ait bir örnek Şekil 2.17'de ve baklavalı kuşaklama üçgen dizisine ait bir örnek ise Şekil 2.18'de verilmektedir (Uçak, 2012, s. 13).



Şekil 2.16 Düzlem üçgenli kubbe geçişi ve uygulama örneği Edirne Tahtakale Hamamı, 1435 (Uçak, 2012)



Şekil 2.17 Çoklu düzlem üçgenlere ait çizim ve uygulama örneği Amasya'da Hızır Paşa Hamamı, 1466, (Aktuğ, 1989)

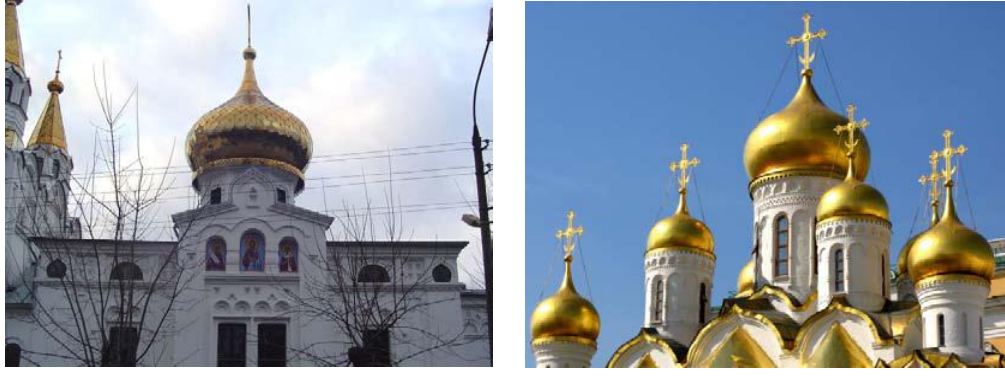


Şekil 2.18 Saray Hamamı, Edirne (1402) ve Yeşil Hamam, Bursa (1481), baklavalı kuşaklama üçgen dizisi örnekleri (Uçak, 2012)

2.5 Mimari Açıdan Kubbe Tipleri

Mimari açıdan kubbeler soğan, küresel, sivri, jeodezik, eliptik, parabolik, çokgen, asma, basık ve kaburgalı kubbeler olarak sınıflandırılmıştır.

Soğan biçimli kubbeler (onion domes), bir noktaya doğrusal bir şekilde inerek soğan görünümünde olan yapılardır. Bu kubbeler, genellikle Rus Ortodoks kiliseleriyle ilişkili mimari kubbelerdir. Böyle bir kubbenin yüksekliği genellikle genişliğinden fazladır. Bu tip kubbeler Almanya'nın güneyinde, Avusturya ve İsviçre'de Katolik kiliselerinde, ayrıca Hindistan ve Orta Doğu'da görülmektedir (Born, 1944). Ayrıca, Moskova'daki Saint Basil Katedrali, Tac Mahal, Aziz Vasili Katedrali'ne çok benzeyen ve birçok kişi tarafından karıştırılan Moskova Kremlin'de bulunan The Cathedral of the Annunciation olarak literatürde var olan katedral de soğan kubbelere sahip yapılara örnek gösterilebilir. Şekil 2.19'da bu tip kubbelere Dünya'dan çeşitli örnekler verilmektedir (Uçak, 2012, s. 5).



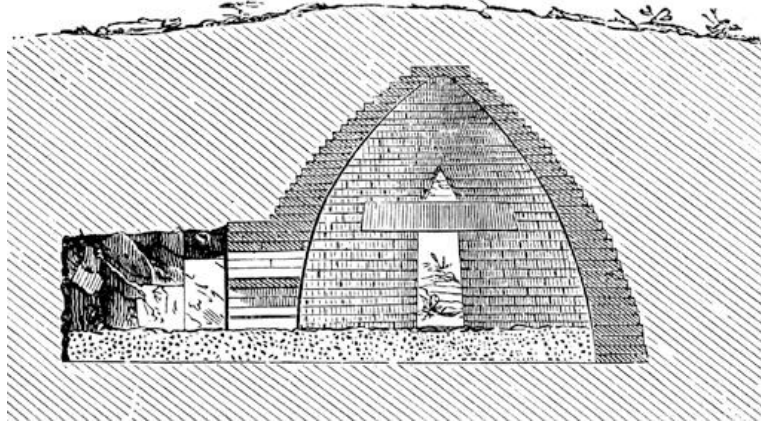
Şekil 2.19 Bogolubskaya Kilisesi, Rusya ve The Cathedral of the Annunciation, Rusya, soğan biçimindeki kubbelere ait örnekler (Uçak, 2012)

Küresel kubbeler (spherical domes) en yaygın kullanılan kubbelerdir. Bu kubbeler basit yarım küre şeklindedirler. Omar Camii bu tip kubbelere güzel bir örnektir. Şekil 2.20’de görüldüğü gibi bu tip kubbeler dairesel tabanlara uzanırlar (Uçak, 2012, s. 6).



Şekil 2.20 Omar Camii, Kudüs, Filistin Küresel kubbe örneği (Uçak, 2012)

Sivri kubbeler (corbel domes), yalnızca yatay tabakaları içeren gerçek kubbelerden farklıdır. Her biri hafifçe tepe noktasına kadar değişen kalınlığa sahip tabakalarla desteklenmiştir. Şekil 2.21’de en ünlü örneği olarak bilinen Miken Uygarlığı’na ait Atreus Hazinesi verilmektedir (Uçak, 2012, s. 6).



Şekil 2.21 Atrius hazinesi (Uçak, 2012)

Jeodezik kubbeler (geodesic domes), jeodezik kürelerin üst bölümlerinden ve bir çokyüzlü model içinde üçgen çerçevelerden oluşmaktadırlar. Tarihi yığma bir kubbeden farklı olarak tipik bir çelik jeodezik kubbe örneği Şekil 2.22’de verilmektedir (Langmead ve Garnaut, 2001). Bu yapı Japonya’nın Nagoya şehrinde 1997 yılında yaklaşık 40.500 kişi kapasiteli bir beysbol sahası olarak inşa edilmiştir (Uçak, 2012, s. 7).



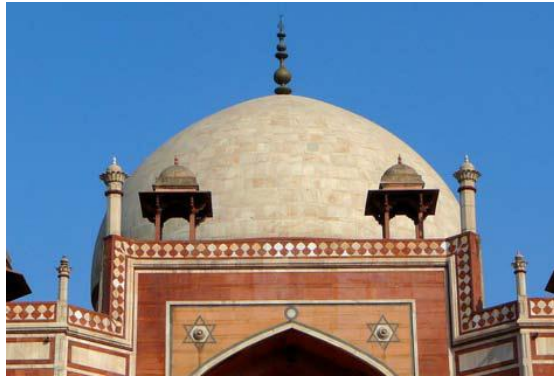
Şekil 2.22 Beysbol sahası, Nagoya jeodezik kubbe örneği (Uçak, 2012)

Eliptik kubbeler ya da oval kubbeler (elliptical domes or oval domes), ya planda ya profilde ya da her ikisinde oval şeklindedir. Bu terim Latince’deki “ovun” yani yumurta kelimesinden gelmektedir. Bu kubbelerin inşaları, Orta Çağ’dan daha eskilere dayanmalarına rağmen, birçok Rönesans ve Barok kubbeleri bu tiplerdendir. En büyük oval kubbe Francesco Gallo tarafından İtalya’nın Vicoforte şehrinde inşa edilmiştir. Tarihi müze olarak kullanılan bu yapıya ait resimler Şekil 2.23’te verilmektedir (Huerta, 2007; Uçak, 2012, s. 7).



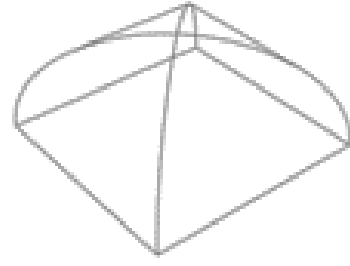
Şekil 2.23 Santuario di Vicoforte Müzesi, İtalya eliptik kubbe örneği (Uçak, 2012)

Parabolik kubbeler (parabolic domes), sabit yükün düzgün yayılı yük olmasından dolayı eğilme gerilmesinin sıfır olduğu nadir yapılardandır (Şekil 2.24). Kompozit yapıların gelişiminden önce eski çağlarda binaların inşasında yaygın bir şekilde kullanılmışlardır. Çoğunlukla eski yapılarda görülmektedir. Çünkü bir parabolik kubbenin tepe noktasına tekil bir yük uygulanırsa eğilme gerilmeleri sonsuz olmaktadır. Daha sonraları ise kubbenin tepe noktasında oluşabilecek bu sonsuz gerilmelerden kaçınmak için kubbe şekli değiştirilmiştir (Uçak, 2012, s. 8).



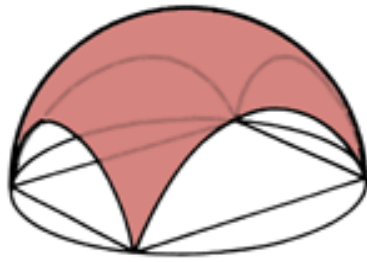
Şekil 2.24 Parabolik kubbe örneği (Uçak, 2012)

Çokgen kubbeler (polygonal domes), kubbesel tonoz (domical vaults), manastır tonozu (cloister vault) ya da kemerli kubbeler (coved domes) olarak da adlandırılmaktadırlar. Bu kubbeler yatay kesitlerinde, yani planlarında çokgen şekillerini sürdürmektedirler. Bunun en bilinen örneği Brunelleschi tasarımı olan Rönesans döneminde sekizgen kubbe olarak inşa edilen Floransa Katedrali'dir. Şekil 2.25'te Floransa Katedrali'ne ait resimler verilmektedir (Uçak, 2012, s. 9).



Şekil 2.25 Çokgen kubbe örneği, Floransa Katedrali, Floransa, İtalya (Uçak, 2012)

Asma kubbeler (sail domes), yelken kubbeler, yelken tonozu (sail vaults), pendentifli kubbeler, Bohemya tonozu (Bohemian vaults) ya da Bizans kubbeleri (Byzantine domes) olarak da bilinirler. Yelken kubbeler pendentif gibi düşünülebilir, her köşesinden aşağıya sabitlenmiş ve yukarıya doğru yükselen kare bir yelken izlenimi vermektedirler. Şekil 2.26’da tarihi yığma kubbelerden olmayan yelken kubbelerine ait bir örnek verilmektedir (Uçak, 2012, s. 9).



Şekil 2.26 Asma kubbe örneği ve opera binası, Dortmund, Almanya (Uçak, 2012)

Basık kubbeler ya da tabak kubbeler (saucer domes), geometrik bir şekilde dairesel tabana ve dilimli bir kesite sahip olarak tanımlanan, düşük eğimli, sığ kubbeler için kullanılan mimari bir terimdir. Bu durumda çok düşük bir kubbe tabak ya da basık kubbedir ve mevcut olan en geniş kubbelerin çoğu bu şekilde olmaktadır. Hindistan, Pakistan, İran ve Afganistan camilerinin çoğu bu tiptedir. Şekil 2.27’de yığma kubbe olmayan bir tabak kubbe örneği verilmektedir (Uçak, 2012, s. 9).



Şekil 2.27 Basık kubbe örneği, Louisiana Superdome Futbol Stadyumu, Amerika (Uçak, 2012)

Kaburgalı kubbeler (ribbed domes) ya da şemsiye kubbeler (umbrella domes), ayrıca bal kabağı, karpuz ya da paraşüt kubbeler olarak da bilinirler. Bu kubbe türü, kubbe merkezinden tabana doğru yayılan bağlar gibi parçalara ayrılmıştır. Bağlar arası malzeme bir parçadan diğerine kemerlenerek aşağı yönde kuvvet transfer edilmesini sağlamaktadır. Ayasofya'nın merkez kubbesinde bu metot kullanılarak yuvarlak pencerelerin kubbe tarafında bağlar arasına yerleştirilmesine izin verilmiştir. Ayrıca St. Peter Büyük Kilisesi'nin merkezi kubbesinde de aynı tip kubbe kullanılmıştır. Şekil 2.28'de şemsiye kubbe türüne ait örnekler verilmektedir (Uçak, 2012, s. 10).

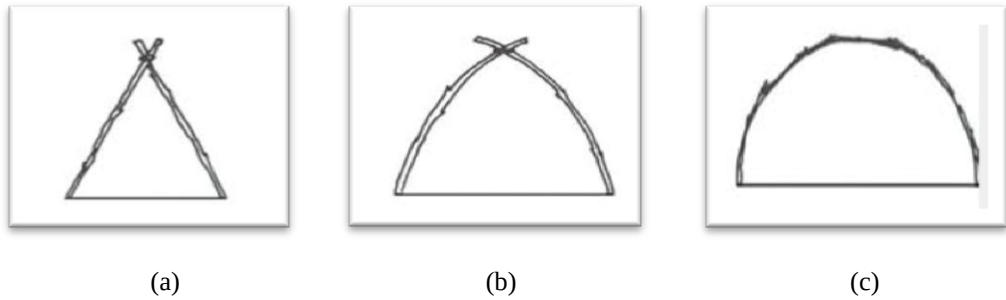


Şekil 2.28 Santa Croce Kilisesi, Floransa ve St. Peter Büyük Kilisesi, Vatikan, İtalya, Şemsiye kubbe örnekleri (Uçak, 2012)

2.6 Kubbelerin Tarihsel Gelişimi

Asırlar boyunca insanoğlu kemer, tonoz ve özellikle de kubbelerden etkilenmiş; mekân örtüleri, bölgesel farklılıklara ve buna bağlı olarak sosyal, teknik, kültürel ve dinsel inançlara göre çeşitli biçimler almıştır. Çoğu kültürde kemer, tonoz ve özellikle kubbe, kozmik ya da ilahi oranları ve ruhsal açıklamaları içeren, sembolik bir anlam taşır. Kubbenin ilk örneklerine Mezopotamya’da rastlanmakla birlikte kubbe, Roma, ilk Hristiyan, Sasani, Ermeni, Bizans ve İslam mimarilerinde de strüktürel eleman olarak kullanılmıştır.

Tarihteki ilk kubbesel yapılar, göçebe çadırlardır. Göçebe toplumların olduğu ilkel dönemlerde, yıldızlı gökyüzü ve kozmosla olan bağlantılar önemlidir. Bundan dolayı barınakları daireseldir. Örtülecek mekânın dairesel olması, kubbe fikrini doğurmuş olmalıdır. Önceleri koni biçiminde oluşturulan sazdan kubbeler, yarım daire kubbeye doğru bir gelişim göstermiştir (Şekil 2.29). Bu kulübeler Somali gibi göçebe ve geri kalmış toplumlarda günümüzde de görülmektedir (Şekil 2.30). Sazdan ve ağaçtan yapılan konik ya da küresel biçimdeki basit göçebe kulübeleri, marangozluğa dayalı birleşimlerin geliştirilmesiyle daha dayanıklı, geniş açıklıklı ve yüksek yapılara dönüşmüştür (Vaulted structures, 2005).

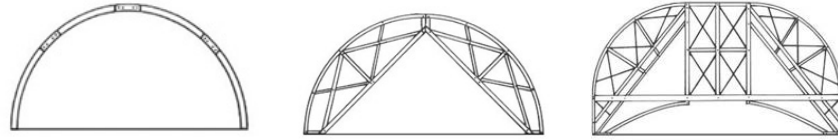


Şekil 2.29 Saz ve ağaç dallarından yapılmış kubbelerin gelişimi (a)Konik, (b)Yumurta biçiminde, (c)Yarım daire (Vaulted structures, 2005)



Şekil 2.30 Sazlardan yapılmış göçebe çadırı (Anonim, 1981, s. 20)

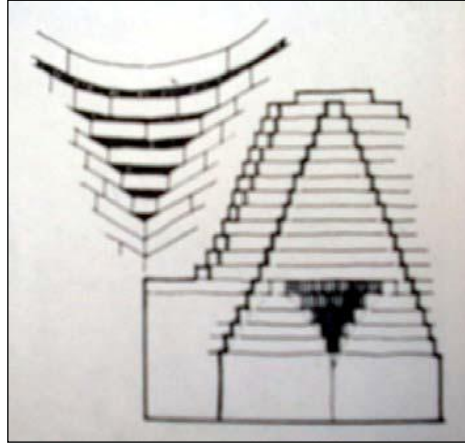
Önceleri hafifliği, esnekliği ve depreme dayanıklılığı açısından ahşap kubbeler tercih edilmiştir (Şekil 2.31). Fakat ahşap kubbeler, özellikle dini yapılarda sonsuzluk duygusunu vermede yeterli olamamaktadır. Bu nedenle kubbe yapımında taş kullanımının tercih edildiği düşünülmektedir. Ancak ahşap kubbelerden daha uzun ömürlü olmakla birlikte daha ağır olan taş kubbenin oturduğu duvar, itkiler sonucu eğilmektedir (Vaulted structures, 2005).



Şekil 2.31 Ahşap kubbelerin gelişimi (Vaulted structures, 2005)

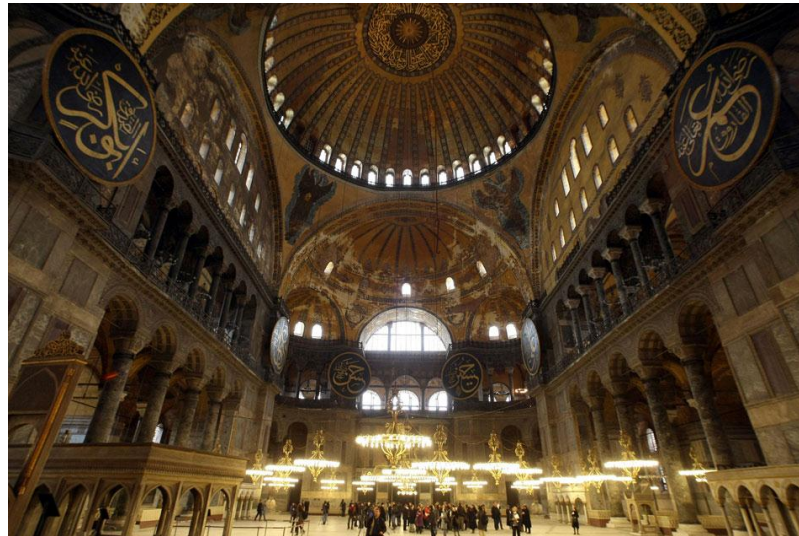
Ucuz ve kolay elde edilebilen bir malzeme olan kerpiç ile tonoz ve kubbe konstrüksiyonunun gelişimi; Mezopotamya, İran ve Orta Asya'da kubbeli yapı tarihinin ilk aşaması olmuştur (Kuban, 1998b, s. 41).

Mezopotamya'da taş ve ahşabın çok fazla bulunmamasından dolayı, dairesel planlı barınakların üzeri kerpiç ve tuğladan arı kovanı biçiminde olan bindirme kubbelerle kapatılmıştır. Miken dönemindeki mezar yapılarında da aynı yapım tekniğine rastlamak mümkündür (Şekil 2.32). Bu dönemlerde uygulanan kubbeler, yalnız basınç gerilmesinin olduğu kemer ve tonoz sistemlerinden çok farklıdır. Bu örnekler, daha sonraları yapılacak taş kubbeler için ilk örnek oluşturması bakımından önemlidir (Vaulted structures, 2005).



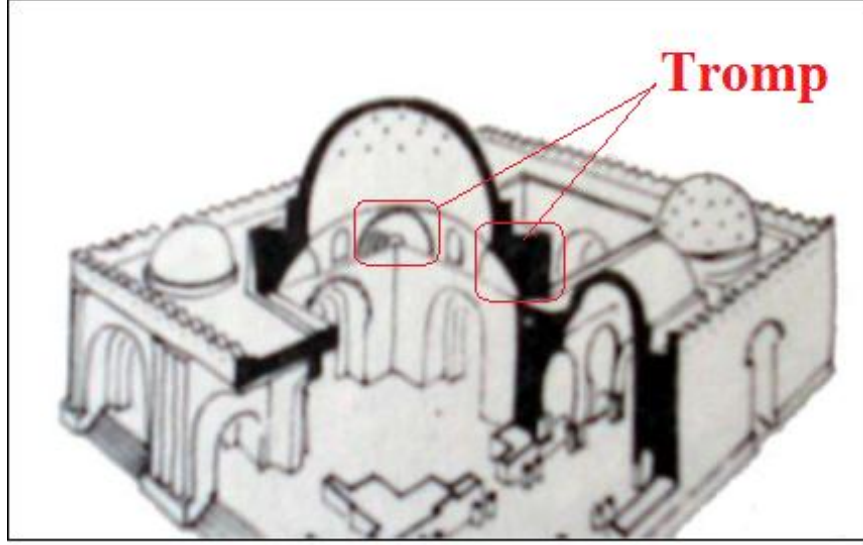
Şekil 2.32 Miken dönemi mezar yapısı (Kuban, 1998a, s. 46)

Kare plandan küresel üst örtüye geçişteki zorluklar Romalılar için hep bir sorun olmuştur. Bu sorunun üstesinden ilk olarak Bizanslılar gelmiş ve pendentif bulmuşlardır. Pendentifin kullanıldığı ilk yapı İstanbul'daki Ayasofya Camisi'dir (Şekil 2.33). Pendentif, Ayasofya'dan sonra Selçuklu ve Osmanlı'lardaki camilerde de kullanılmıştır.



Şekil 2.33 Ayasofya, İstanbul iç görünüşü (Haghiasophia, 2003)

İlk tromplu kubbeleri ise İran'da Sasaniler uygulamıştır (Şekil 2.34). İslam mimarlığında da Sasanilerden alınarak kullanılan trompun çeşitli türleri uygulanmıştır. Osmanlı mimarlığında içi istiridye gibi dilimli, en çok da mukamas dolgulu yarım kubbe biçimli tromplar görülmektedir.

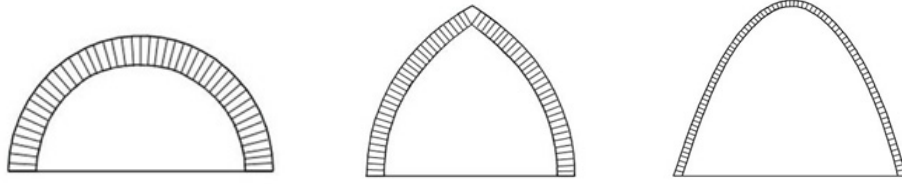


Şekil 2.34 Tromplu kubbe, bir Sasani sarayı (Kuban, 1998a, s. 45)

Kuban (1998b, s. 46), “Ortaçağ Avrupa’sında taş tonoz ve nervürlü tonozun, İran’da tuğla tonozun evrenselliğine paralel bir tavırla Osmanlı mimarisinin, tuğla kubbeyi tek örtü olarak benimsediğini” söyler.

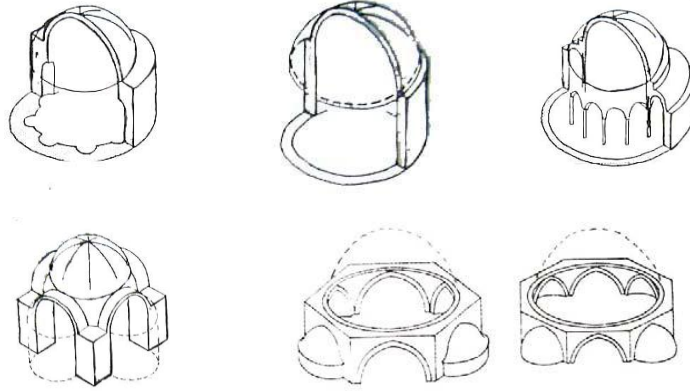
Osmanlı dini mimarisinde, mekânsal gereklilik sonucu merkezi planlı yapılar ortaya çıkmış, bunun sonucunda da kubbe ve yarım kubbeler, en çok kullanılan strüktürel elemanlar olmuştur. Erken dönemlerde, duvarlar tarafından taşınan kubbenin bulunduğu dörtgen mekânlar, duvardan kubbeye geçişi sağlayan kasnaklar yardımıyla oluşturulup yapı, kasnak dayanaklarıyla desteklenmiştir. Sonraları daha aydınlık ve geniş mekân arayışları, tek kubbenin oturduğu duvarlarla sınırlandırılmış mekân yerine merkezi kubbenin yanlara doğru çeşitli öğelerle genişletilmesini zorunlu kılmıştır. Bu nedenle orta mekânı oluşturan merkezi kubbe, duvarlar yerine ayaklara oturtularak ‘kubbeli çardak’ denilen çekirdek oluşturulurken yarım kubbeler, strüktürel ve mekânsal gelişime katkı sağlamıştır. Yarım kubbenin oturduğu duvar, diğer duvarlara göre daha kalın yapılır ve payandalar belirginleşir. Böylece diğer duvarların taşıyıcılığı azaltılır. Osmanlı döneminde kubbe yapımında farklı teknikler geliştirilmiş, kare dışında altıgen ve sekizgen üzerine de kubbe oluşturulmuştur (Tuluk, 1999, s. 10-11).

Yarım daire kubbe dışında da çeşitli kubbe türleri yapılmıştır. Gotik dönemde sivri kubbeler, Rönesans'ta kaburgalı ve çift cidarlı, zincir eğrisi biçiminde kubbeler gelişmiştir (Şekil 2.35).



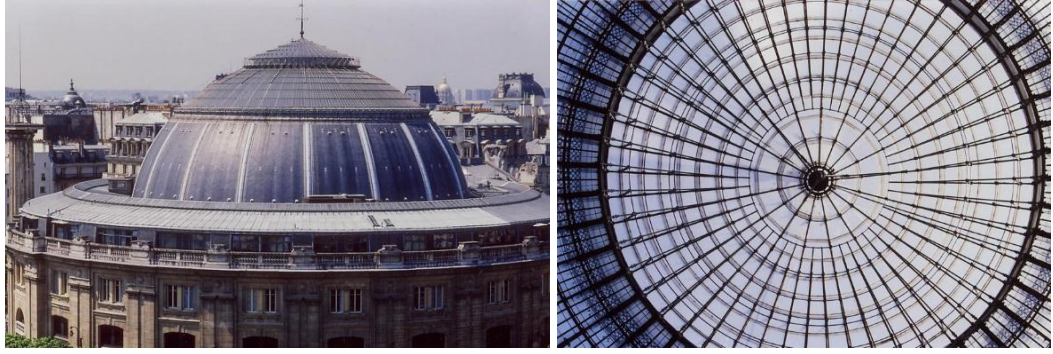
Şekil 2.35 Kâgir kubbelerin gelişimi (Vaulted structures, 2005)

Şekil 2.36'da kubbelerin taşıtılma şekilleri ve üstünü örttüğü mekânın geometrilerindeki değişim gözlenmektedir. Kubbeler dairesel mekânların üstünü örtbileceği gibi; kare, altıgen ve sekizgen mekânların da üstlerini örtbilmektedirler. Bu durumda yığma kubbelerde daireden kare, altıgen ve sekizgene geçişlerde pandantif, tromp veya Türk üçgeni kullanılmaktadır.



Şekil 2.36 Kubbe altı mekânlarının geometrilerindeki değişim (Vaulted structures, 2005)

Demir ve daha sonra çeliğin taşıyıcı sistemde kullanımına 19. Yüzyıl'da geçilmiştir. İlk dökme demir tek tabakalı nervürlü kubbe sistem olan 37 metre çapındaki Bourse to Commerce yapısı, 1806-1811'de F.J. Belanger ve F.Brunet tarafından tasarlanmıştır (Şekil 2.37) (Vardar Öz, 2012, s. 15).



Şekil 2.37 Bourse to Commerce yapısı, Paris (Perrot & Richard, 2004)

1874’de J. W. Schwedler, kendi ismini verdiği kubbe biçimini Berlin’in gaz ihtiyacını karşılamak üzere tasarladığı dört gaz deposunda uygulamıştır.

V.G.Shukhov, 1897’de, genişliği 38,40 metre, yüksekliği 73 metre olan ve pozitif eğriliğe sahip Exhibit Pavillion yapısını tasarlamıştır (Şekil 2.38). Bu yapı günümüzün diagrid yapı formunun ilk örneği olarak kabul edilmektedir (Vardar Öz, 2012, s. 17).



Şekil 2.38 Diagrid formu Exhibit Pavillion, Rusya (Vardar Öz, 2012)

20. Yüzyıl’ın başlarında, asılı zincir modelini kullanan Antonio Gaudi, üç boyutlu tasarımın öncülerindendir. Bu dönemde, tabakalı ahşap ile birlikte organik tutkallar geliştirildiğinden ahşap malzemenin mimaride daha yaygın kullanımı da söz konusudur (Vardar Öz, 2012, s. 17). Tutkallı tabakalı ahşap malzemeyle inşa edilmiş kubbeli yapılar bu gelişmeden sonra mimarlık tarihindeki yerini almıştır.

Alman mühendis W. Bauersfeld jeodezik kubbenin tasarımcısıdır (1922). Bauersfeld'in tasarımı olan ilk jeodezik kubbe Zeiss Planetarium (Almanya), Dyckerhoff ve Widmann firması tarafından (1926) hayata geçirilmiştir. Buckminster Fuller 1958'de bu tasarımı yeniden değerlendirmiş ve popüler hale getirmiştir. Küre formunda, çift tabakalı olarak geliştirdiği geniş açıklıklı ve rijit sistem, tek tabakalı jeodezik formun yaygınlaşmasına da olanak sağlamıştır (Şekil 2.39) (Vardar Öz, 2012, s. 18-21).



Şekil 2.39 Zeiss Planetarium,1926 ve Amerikan Pavyonu, Kanada, Fuller,1967 (Vardar Öz, 2012)

Zollinger (1906), lamella sistemi geliştirerek ilk olarak ahşap silindirik kabuk sistemlerde uygulamış; daha sonra H.Junkers çelik lamella sistemin patentini almıştır (Almanya, 1925). Wilson, Morris, Crane ve Anderson, 82 metre açıklığındaki Houston Astrodome'u (1965) çelik lamella kubbe olarak tasarlamıştır (Şekil 2.40) (Vardar Öz, 2012, s. 19).



Şekil 2.40 Houston Astrodome (Vardar Öz, 2012)

Teknolojinin gelişimi ile birlikte, farklı malzemeler ile geniş açıklık geçilmeye başlanmıştır. 1950’lerden bu yana, mimar ve mühendisler bu konuda araştırmalarını sürdürmüştür. 20. Yüzyıl’ın ortalarında, basınç ve çekmeye çalışan betonarme kabuklar tasarlanmaya başlanmıştır. E. Torroja, F. Candela, H. Isler, P.L. Nervi, O. Arup ve N. Esquillan betonarme kabuk sistemini dünya üzerinde yaygınlaştıran isimlerdir (Şekil 2.41) (Vardar Öz, 2012, s. 20).



Şekil 2.41 Palazzetto dello Sport, Nervi, 1957 (Palazzetto dello Sport, 2013)

20. Yüzyıl’ın sonlarında, bilgisayar kontrollü biçimlendirme sistemi (CNC) geliştirildikten sonra bu alanda çok geniş uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojiyle, serbest formlu yüzeylerde cam malzemenin kullanılması yaygın hale gelmiştir. 2001 yılında yapımı tamamlanmış olan Osaka Maritime Museum, 72 metre açıklık ve 32 metre yüksekliğinde olup, paslanmaz çelik çubuk eleman üzeri çift katlı cam ile kaplanmıştır. Kubbe, ölü yükler, kar yükü ve sismik yüklere karşı en iyi şekilde tasarlanmıştır (Şekil 2.42) (Vardar Öz, 2012, s. 22).



Şekil 2.42 Osaka Maritime Museum, Japonya, 2001 (Vardar Öz, 2012)

BÖLÜM ÜÇ

KUBBELERİN TAŞIYICI SİSTEM VE MALZEME AÇISINDAN İNCELENMESİ

Tezin üçüncü bölümü, mimarlık tarihi boyunca kubbe yapımında kullanılan taşıyıcı sistem malzemesindeki değişime göre kubbelerin yük taşıma ilkelerindeki farklılaşmanın irdelendiği bölümdür. 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. Bu bölüm kapsamında, kubbelerin taşıyıcı sistemleri göz önüne alınarak bir sınıflandırma yapılmaktadır.

3.1 Taşıyıcı Sistemlerine Göre Kubbeler

Taşıyıcı sistem veya strüktür denildiği zaman, yapı üzerine gelen sabit veya hareketli yüklerin yer çekimi sebebiyle temele aktarılması sürecinde görev alan yapısal elemanların sistemli bir organizasyonu anlaşılmalıdır. Kubbelerde bu yükler çok uzun yıllar boyunca salt basınç yüküne dirençli malzemeler tarafından temele iletildiği için kubbelerin basınca çalışan taşıyıcı sisteme sahip olduğu söylenmekte ve

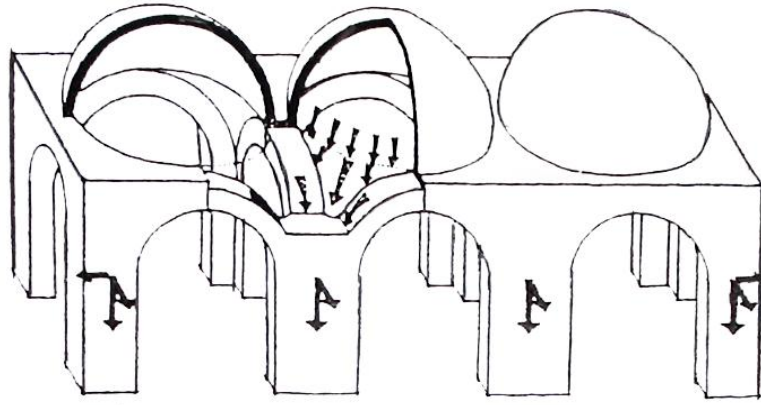
tanımlar bu yönde yapılmaktaydı. Oysa günümüzde üretilen çekmeye veya basınca karşı dirençli malzemelerin sistemli birleşimlerinden de kubbe üretimi yapılabilmektedir.

Bu bağlamda kubbeler, yük aktarım ve taşıyıcı sistem şekillerine göre yedi farklı grupta toplanmaktadır. Bunlar;

1. Yığma kubbeler,
2. Kaburgalı kubbeler,
3. Kabuk kubbeler,
4. Kemer taşıyıcılı kubbeler,
5. Çubuk ağı kubbeler,
6. Kablo destekli kubbeler ve
7. Pnömatik kubbeler olarak alt başlıklara ayrılmaktadır.

3.1.1 Yığma Kubbeler

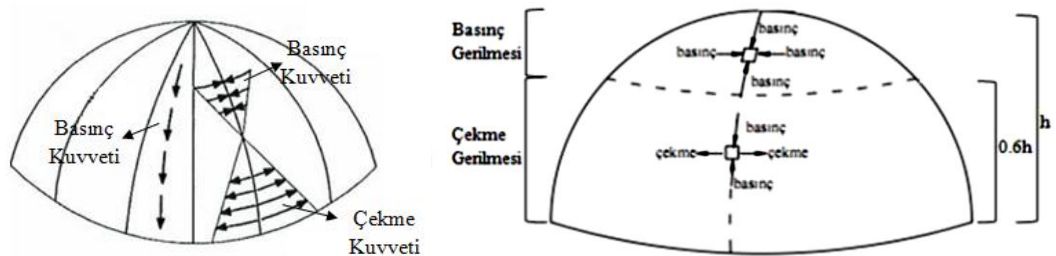
Tezin ikinci bölümünde açıklanan yığma kemerlerle aynı statik özelliklere sahip olan yığma kubbenin etek kısmında açılma yapmaması için, yanal hareketi engellenmiş mesnetlere ihtiyaç vardır. Kubbede yükler, meridyenler doğrultusunda kemerdeki yük aktarımına benzer şekilde basınç gerilmesiyle mesnetlere iletilir. “Kubbenin yükü, kubbeden düşey ayaklara oturan kemerlere iletilir. Kubbe ayakları mesnet yüklerinin düşey bileşenlerini kemerlere, yanal bileşenleri ise kemer düzlemlerine dik doğrultuda yerleştirilmiş yarım kubbeler ve payandalara iletir” (Saraç, 2003). Şekil 3.1’de kubbelere gelen yükün aktarılmasını gösteren örnek bir çizim verilmektedir. “Kubbeden kemerlere iletilen yüklerin kemer düzlemi içinde oluşturduğu itki kuvvetleri, gergilerle alınabildiği gibi, ayakların uzantısı olarak kullanılan ağırlık kütleleri aracılığıyla ayakların çekirdek alanı içine aktarılmaktadır” (Çılı ve Sesigür, 2007).



Şekil 3.1 Kubbeli sistemlerde yük aktarımı (Gökçe, 1977, s. 28)

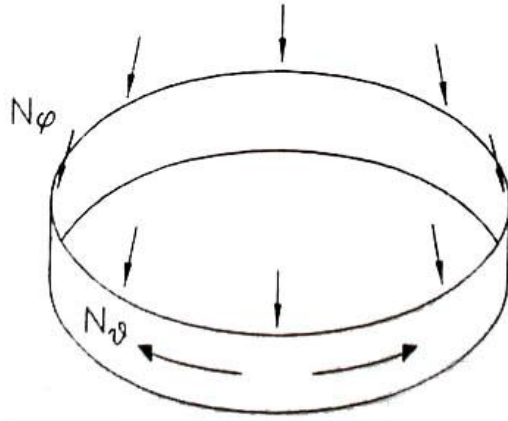
Yığma kubbeler de duvarlar gibi basınç altında mukavemet gösterirler. Bu yüzden kubbelerin yapım tekniği, kubbe duvarının devamlı basınç altında kalacağı varsayımına dayanmaktadır. “19. Yüzyıl’ın başlarında yapılan statik analizler sonucunda kubbenin yüzeyinde gerçekleşen yataydaki çekme ve basınç gerilmeleri ile düşeydeki basınç gerilmelerinin bölgeleri belirlenmiştir” (Cowan, b.t, s. 6). Şekil 3.2’de gösterildiği üzere kubbe yüksekliğinin alttan % 60’lık kısmında yatayda çekme, üstte kalan % 40’lık kısmında ise yatayda basınç gerilmeleri oluşmaktadır.

Kubbe mesnedine yakın duvar cidarlarında burulmadan kaynaklanan büyük çekme kuvvetleri oluşmaktadır (Şekil 3.2). Oluşan bu çekme kuvvetlerini kemer sistemiyle güvenli bir şekilde aktarmak klasik bir yöntemdir. Ayrıca, kubbe ayağında oluşturulan kemerli sistem, deprem yüklerinin kubbeden ana yapıya aktarılması için izolatör vazifesi görmektedir (Uçak, 2012, s. 20).



Şekil 3.2 Kubbelerde oluşan gerilmeler mekanizması (Ünay, 2002; Uçak, 2012)

Kubbenin oturduğu duvar kısmına kasnak denir. Kasnak, duvarın basıncını devamlı kılan önemli bir topuk elemanıdır. Kubbe duvarında devamlı basınç varken, kasnak yatay ekseninde dışa doğru kayma (N_ϕ), boyuna doğrultuda devamlı çekme (N_ψ) mevcuttur (Bayraktar, 2006; Uçak, 2012). Şekil 3.3'te kasnağın kubbede oluşan yatay çekme gerilmesini azaltmadaki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Kasnağın kubbede oluşan çekme gerilmesini azaltmadaki etkisini gösteren çizim örneği (Crochi, 1998).

Kasnak, kubbeli bir yapı için önemli bir yük dağıtım elemanıdır. Kasnağın açılması kubbe duvarlarındaki dengeyi bozmakta ve duvardaki basınç gerilmesini azaltmaktadır. Ön gerilme ile dayanım gösteren kubbeler, ön gerilmenin azalması ile deprem etkisi altında dağılmaktadır. Bu yüzden, kubbelerin, oturdukları kasnakların kontrolü mutlaka yapılmalı, gerekli durumda kasnağın oturduğu duvarlar kesme kuvvetlerine karşı güçlendirilmelidirler (Uçak, 2012, s. 19).

Yığma kubbeler, geleneksel basınca dirençli malzemelerin kullanıldığı ve yapıya gelen yüklerin sadece basınca dirençli malzemeler yardımıyla temele aktarıldığı kubbe tipidir. Önceleri taş malzemelerle yapılan yığma kubbeler, kubbe ağırlığını azaltmak için tuğlayla ve hatta kerpiçle de inşa edilebilmektedir.

Doğada bulunan ya da taş ocaklarından çıkarılan, homojen yapılı, atmosfer etkilerine dayanıklı olan doğal taş, akıcı kıvamdaki magma tabakasının zamanla soğuması ve sertleşmesi sonucunda oluşan bir malzemedir (Türkçü, 2000, s. 100).

Basınç kuvvetine karşı dayanıklı, çekme kuvvetine karşı zayıf bir malzeme olan taş, bu özelliklerinden dolayı kusursuz bir yığma yapı elemanı malzemesidir. Doğada da bolca bulunmasından dolayı basınca çalışan kemer, kubbe ve tonozlu yapılarda sıklıkla kullanılmıştır. Taştan yapılmış yapı elemanlarının dayanımını genellikle taş ve harç birleşiminin ortak davranışı belirler (Ünay, 2002, s. 78).

Tuğla, killi toprak ve balçığın, kaolinin ya da kısmen bunları içeren toprakların harmanlanıp gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ya da kiremit tozu, kül gibi katkı maddeleri ile karıştırılıp şekillendirildikten sonra fırınlanmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir (Türkçü, 2000, s. 110).

Tuğlalar, ilkel örneklerde güneşte kurutulmuş kerpiçten yapılmıştır. Fakat bu şekilde üretilen tuğlaların yağmura karşı mukavemeti olmadığından daha sonraları 1000°C’de pişirilerek dayanımı artırılmıştır. Ana malzemesi kil olan bu tuğlalar, ilk prefabrike elemanları temsil eder (Crochi, 1998, s. 3).

Kerpiç ve tuğlanın yapı malzemesi olarak kullanıldığı bölgelerde bağlayıcı olarak kullanılan ‘çamur’, ilk kullanılan harçtır. Kireç, kum ve su karışımından oluşan ‘kireç harcı’ının ilk olarak Mısırlılar tarafından kullanıldığı tahmin edilmekle birlikte Romalılar tarafından da kullanıldığı bilinmektedir. Romalılar, taş ve tuğla duvarları kireç harcıyla birleştirmiş, kubbe ve tonoz yapımında ise beton gibi dökülerek yapılan ‘puzzolan’ harcı kullanmışlardır (Çamlıbel, 1984). Puzzolan harcının ana malzemesi, volkanik kökenli bir kül olan puzzolan ve kireçtir. İçerisine çeşitli büyüklüklerde kırılmış ya da öğütülmüş tuğla parçaları, tuğla tozu, odun kömürünün de eklenmesiyle kullanılacak yere göre harç çeşitleri geliştirmişlerdir. Selçuklu ve Osmanlı dönemi yapılarında ise kireç ve kum karışımına öğütülmüş tuğla ve yumurta akı katılması ile yapılan ‘Horasan’ denilen harç kullanılmıştır (Kretschmer, 2000, s. 31).

Selimiye Camisi taştan yapılan yığma kubbelere örnek verilebilir (Şekil 3.4). Süleymaniye Camisi tuğladan yapılmış olup tuğla yığma kubbelere örnek sayılabilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4 Selimiye Camisi, Edirne, Türkiye (Selimiye Camii, 2009)



Şekil 3.5 Süleymaniye Camisi, İstanbul, Türkiye (Süleymaniye Camii, b.t)

3.1.2 Kaburgalı Kubbeler

“Kaburgalı kubbelerde, yükler yarım kemer şeklindeki kaburgalarla zemine aktarılır. Bu kaburgaların aralarını dolduran dolgu malzemesi ise farklı malzemelerden oluşturulup, yüklerini kaburgalara aktarmaktadır. Bu taşıyıcı

sistem, günümüzde yapımda çok sık kullanılan karkas sistemine benzemektedir” (Altın, 2010, s. 20).

“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” (Altın, 2010, s. 38). Ayrıca taş ve tuğla gibi kâgir malzemeler de kullanılmaktadır.

Kaburgalı kubbelerde taş ve tuğla gibi kâgir malzemeler kullanıldığında, kaburgalar taştan veya tuğladan yapılmış olup arası taş ve tuğla dolgudur. Ahşap kaburgalı kubbelerde, kaburgalar ahşaptan olup araları ahşap olabildiği gibi farklı bir malzemeden de seçilip uygulanabilir. Zaman içerisinde metal malzemelerin kullanılmaya başlanmasıyla, kaburgaları metalden yapılan kubbeler de inşa edilmeye başlamıştır. Dolgu malzemesi metal olabileceği gibi günümüzde sıklıkla uygulandığı üzere cam, ETFE (etilen-tetra-florür-etilen) veya daha farklı bir malzemeden de yapılabilir (Altın, 2010, s. 20-34).

Floransa Katedrali tuğla kaburgalı kubbelere örnek gösterilebilir (Şekil 3.6). Kaburgaların arası tuğla dolgudur. Ahşap kaburgalı kubbelere ise İzumo Dome örnek sayılabilir (Şekil 3.7). Kaburgalar tutkallı tabakalı ahşaptan yapılmış olup üstü beyaz teflon tabakalı membranla kaplıdır. Metal kaburgalı kubbelere örnek vermek gerekirse; çelik kaburgalarla inşa edilip kaplama malzemesi olarak camın kullanıldığı Alman Parlamento Binası Reichstag’ın kubbesi gösterilebilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.6 Floransa Katedrali, İtalya, kubbenin tasarımcısı Brunelleschi (Fraiman, 2014)



Şekil 3.7 İzumo Dome, İzumo, Japonya, 1992 (The detail of Izumo Dome, b.t)



Şekil 3.8 Reichstag Dome, Berlin, Almanya, 1999 (Steel galss structure, 2012)

3.1.3 Kabuk Kubbeler

Kabuk kubbeler, düzgün bir geometrik biçim gösteren ve prefabrikasyon yöntemlerinin en yaygın olarak kullanıldığı bir kabuk türüdür. Bu tür kabukların herhangi bir noktasına kuvvet tatbik edildiğinde, kabuk yüzeyi içinde, meridyenler ve paralel halkalar doğrultusunda olmak üzere, iki doğrultuda kuvvetler oluşur. Kabuk çapı 10-15 metreyi açtığı zaman, genellikle kabuk, dilimler halinde inşa edilir (Bahadır, 1997).

“Kabuk kubbeler, aynı yönde çift eğrilikli kabuk sistemlerdir. Kabuk kubbeler, tek parçalı olarak bir kerede yapılan ya da dökülen anlamına gelmektedir. Genellikle beton veya benzeri strüktürel malzeme kullanılarak yapılır” (Altın, 2010, s. 21).

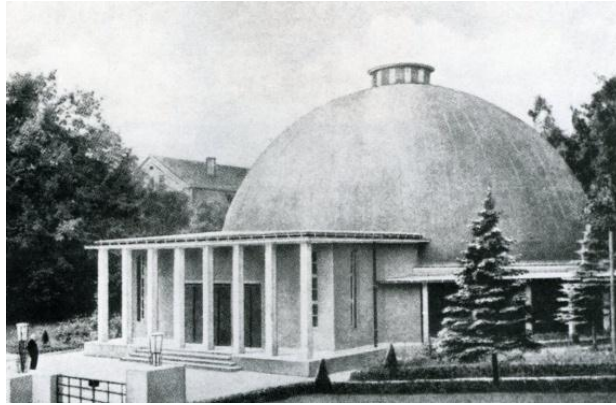
Kabuk kubbeleri sürekli olmalıdır. Bütün kubbeler, kemerler gibi uçlarında itki kuvvetleri oluştururlar. Basık kabuk kubbelerde, bu itkileri karşılamak için etek kısmında bir çevresel çekme halkası kullanılabilir (Sungur, 2005, s. 56-57).

Tarihsel gelişimde kabuk çeşitleri kubbe ile aşağı yukarı aynı zamanda ortaya çıkmıştır. Betonarmenin yapılarda kullanılmaya başlamasından sonra, masif kubbelerin yerini ince betonarme kabuk kubbeler almıştır. Kubbeler, kabuk kullanımının çok eski uygulamalarını oluşturmaktadır. Örneğin, Roma'daki Pantheon tapınağının 43 metre çapında yarım küreye yakın bir kubbesi olup, betondan yapılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Pantheon'un dış görünüşleri (Pantheon, b.t)

İlk ince betonarme kabuk kubbe, 1924 yılında Almanya'nın Jena şehrinde 40 metre çapında inşa edilmiş olan Zeiss Planetarium'un kubbesidir (Sungur, 2005, s. 28) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Zeiss Planetarium, 1924, Jena, Almanya (Zeiss Planetarium, b.t)

28,6 metre çapında olan Annunciation Yunan Ortodoks Kilisesi ve 18,6 metre çapında olan Kresge Auditorium betonarme kabuk kubbelerine örnek olarak gösterilebilir (Şekil 3.11) (Moore, 1999, s. 228).



Şekil 3.11 Annunciation Yunan Ortodoks Kilisesi ve Milwaki, 1956 ve Kresge Oditoryumu, Cambridge, 1954 (Annunciation Greek Orthodox Church, b.t; Sullivan, 1999)

Kabuk kubbeler ile yığma kubbeler etkinlik açısından birbirleriyle karşılaştırıldığında; oldukça ilginç şu saptama yapılmıştır. “Rönesans çağının ünlü yapıtlarından St. Petres Katedrali’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” (Türkçü, 1990, s. 5).

Kabuk kubbelerine uygun olan malzemeler ilk adımda homojen ve rijit olmalıdır. Rijit malzemeler arasından da kabuk sistemlerde görülen gerilmelere, kısaca çekme ve basınç gerilmelerine dayanıklı olan malzemeler seçilmelidir. Bu özelliğe sahip olan malzemeler; betonarme, metal saclar ve takviyeli plastik malzemelerdir (Türkçü, 2009, s. 81).

Kabuk sistemine en uygun malzeme, betonarme malzemedir. Beton istenen ve kalıbı yapılabilen her şekle dökülebilen, basınca dayanıklı bir malzemedir. Çekme kuvveti oluşan bölgelerde betonun bünyesine beton çeliği, çelik hasır katılır. Bugüne değin uygulanmış kabukların büyük çoğunluğunun malzemesi betonarmedir. Betonarme kabuklar büyük açıklıkları geçmek için uygundur (Türkçü, 2009, s. 82).

Çelik saclarla, alüminyum alaşımlı saclar söz konusu olmaktadır. Metal saclar, tek cidarlı olarak, silindir ve küre gibi biçimlerde endüstri tesislerinin su depoları, yakıt ve rafineri tankları gibi bölümlerinde kullanılmıştır. Çubuk iskeletle takviye

edilen metal saclı jeodezik kubbeler (Entegre çatılı jeodezik kubbeler) de yaygındır (Türkçü, 2009, s. 82).

Plastik malzemeler betona benzer özellikler gösterirler. Ana malzemeleri basınca dayanıklı iken, çekme dayanımları bir donatı ile artırılır. Betonarme elemanlardan farklı olarak ışık geçirgen veya yarı geçirgen olabilir (Türkçü, 2009, s. 82)

3.1.4 Kemer Taşıyıcılı Kubbeler

Kemer taşıyıcılı kubbeler, sisteme gelen yükleri belirli aralıklarla yerleştirilmiş kemerler yardımıyla temele aktaran, kemerlerin arasındaki boşlukların örtücü malzemelerle kaplandığı kubbelerdir. Genelde kemerler, gövdesi boşluklu çelik kemerler, tutkallı tabakalı kemerler veya uzay kafes kemerler şeklinde inşa edilmektedir.

63 metre açıklık ve 18 metre yüksekliğe sahip Jaca Hockey Arena (Şekil 3.12) gövdesi boşluklu kemerlere; 280 metre açıklığa sahip Nantong Sports Centre (Şekil 3.13) ise uzay kafes kemerlere örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 3.12 Jaca Hockey Arena, Jaca, İspanya, 2008 (City of Jaca Hockey Arena, 2009)



Şekil 3.13 Nantong Sports Centre, Nantong, Çin, 2006 (Nantong stadium, b.t)

Kemer taşıyıcılı kubbelerde kullanılan malzemeler taşıyıcı ve kaplama malzemesi olarak iki kategoride değerlendirilmektedir. Sisteme gelen yükleri temele aktarmada kullanılan ana taşıyıcılar çelik, uzay kafes, tutkallı tabakalı ahşap veya betonarmeden oluşturulabilmektedir. Bu malzemelerin hepsinin ortak özelliği sistemde oluşan çekme ve basınç kuvvetlerine karşı dayanım gösterebilmesidir.

Kemerlerin arasında kalan açıklıklar ise örtücü malzemelerle kapatılmaktadır. Bu örtü malzemeleri, ince metal veya ahşap levhalardan olabileceği gibi, membran, cam veya polimer levha malzemelerden de olabilmektedir. Örtücü malzemelerin kubbenin taşıyıcılığı üzerinde bir etkisi yoktur.

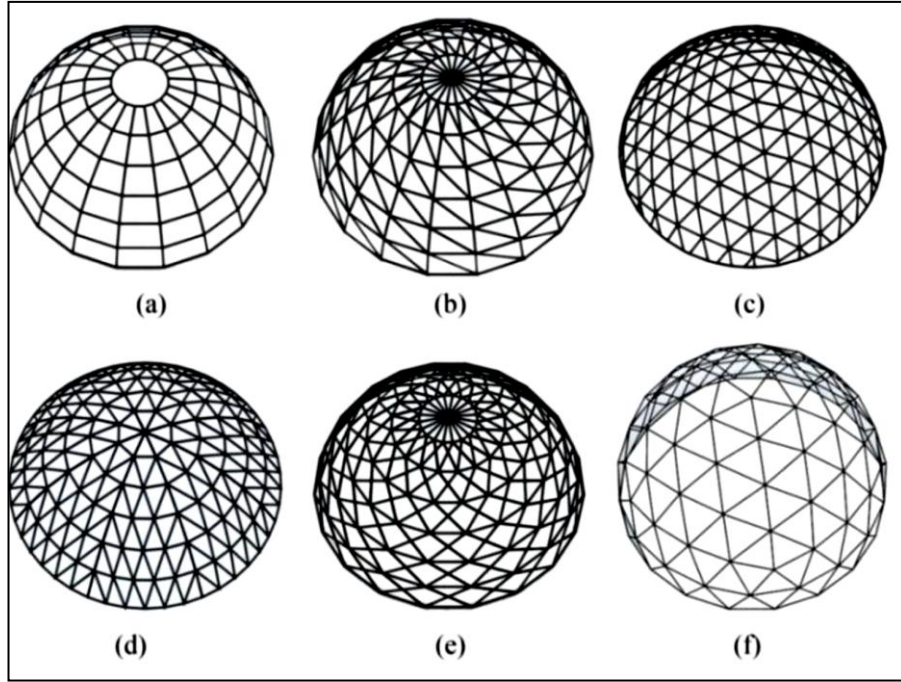
3.1.5 Çubuk Ağı Kubbeler

“Küre yüzeyinin farklı geometrik yöntemlerle küçük geometrik şekillere bölünerek, bu geometrik şekillerin çubuklarla ve bu çubukların birbirine bağlandığı düğüm noktalarıyla oluşturulduğu kubbelerdir” (Altın, 2012, s. 23).

“Bu sistemlerde plan yalnızca daire şeklinde değil, kare, üçgen, çokgen, gibi formlarda da olabilmekte ve üzeri kubbe sistemle geçilebilmektedir (Wenzel, 1978). Kubbe formları, küresel, parabolik ya da eliptik olarak şekillenmektedir” (Vardar Öz, 2012, s. 26).

“Çubuk elemanların ve düğüm noktalarının kubbe yüzeyinde farklı biçimler oluşturacak şekilde ve/veya farklı açılarla birleştirilmesi sonucunda aşağıdaki sistemler geliştirilmiştir” (Soykan, 2007, s. 84) (Şekil 3.14).

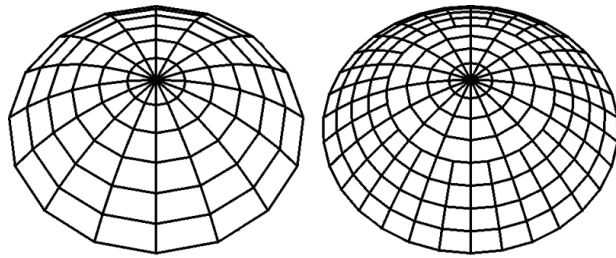
1. Nervürlü kubbe sistemler (a)
2. Schwedler kubbe sistemler (b)
3. Üç ve dört doğrultuda ızgara sistem (c)
4. Lamella kubbe sistemler (d ve e)
5. Jeodezik kubbe sistemler(f)



Şekil 3.14 Çubuk ağı kubbe tipleri (Vardar Öz, 2012)

3.1.5.1 Nervürlü Kubbe

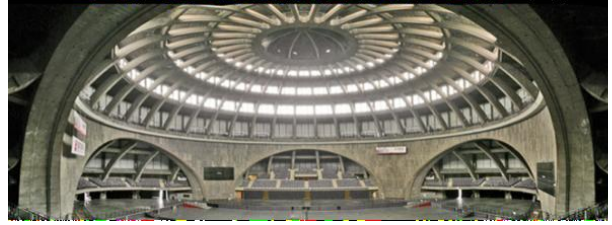
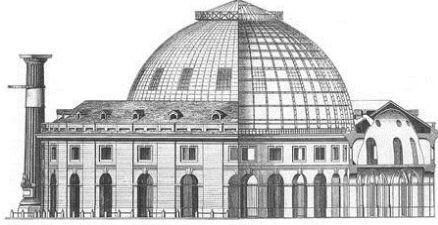
Üstte bir basınç çemberi, altta bir çekme çemberi ve basınç çemberinden ışınsal olarak uzanan nervürlerden oluşan nervürlü kubbelerdir. Basınç çemberinden uzanan nervürlerin ısısal genişlemeden etkilenmemesi için raydal doğrultuda düzenlenen ve yatay deplasmana izin veren kayıcı mesnetlere bağlanması gerekir (Lan, 2005; Urfalı, 2012) (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Nervürlü kubbe (Urfalı, 2012)

Halle au Blé yapısında (Bourse de commerce, Paris, 1808) cam ve metal (dövme demir) ilk defa birlikte kullanılmıştır. Max Berg tarafından Breslau'da (Almanya) (1913-1931, Wrocław, Polonya) tasarlanan Jahrhunderthalle yapısı, ilk betonarme

nervürlü kubbe örneğidir. Yapı 65 metre genişliğinde olup, beş çemberli ve 32 nervürlüdür (Urfalı, 2012) (Şekil 3.16).



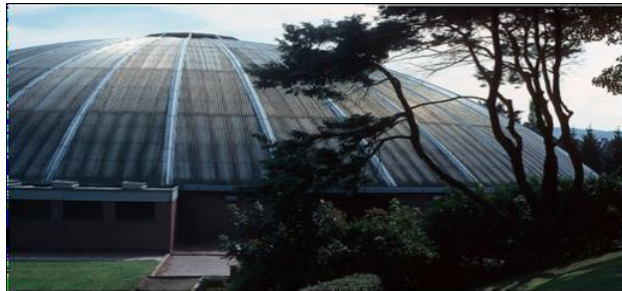
3.16 Halle au Blé (Paris) ve Jahrhunderthalle (Almanya) yapıları (Urfalı, 2012)

Günümüzde nervürlü kubbelerin ön üretimi ile imalat ve montaj açısından kolaylık sağlanmaktadır. Bu tip nervürlü kubbeler rijit birleşimli yapılmalıdır. 1952’de Legorretta & Legorretta ve Gideon-Toalm Fort Worth tarafından tasarlanan, 15 metre açıklıklı Noble Planetarium, çelik nervürlü kubbe örneklerindendir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Noble Planetarium, 1952, Teksas (Urfalı, 2012)

İngiltere’nin en büyük kubbelerinden biri olan, 67 metre açıklıklı Bell’s Sports Centre, en iyi ahşap kubbe örneklerinden birisidir, 35 metre uzunluğunda çubuk elemanlar ile oluşturulmuş kubbe 36 nervürlüdür (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Bell’s Sports Centre, 1966, İngiltere (Urfalı, 2012)

En iyi alüminyum nervürlü kubbe örneklerinden biri, Yunanistan'daki 61 metre açıklıklı Rodos Palace Oteli'dir (Şekil 3.19).

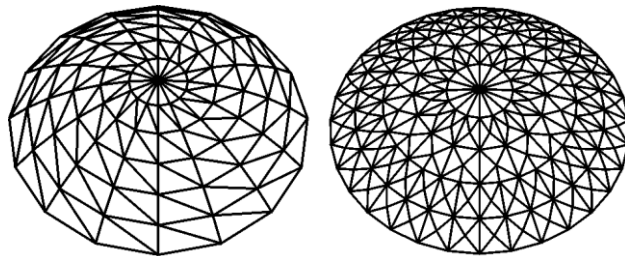


Şekil 3.19 Rodos Palace Hotel, Rhone, 1973, Yunanistan (Urfalı, 2012)

Nervürlü kubbelerin tepe noktalarındaki birleşim sorunları ve çatı kaplamasının montajındaki zorlanmalar bu tipteki kubbelerin olumsuz özellikleridir (Vardar Öz, 2005, s. 98).

3.1.5.2 Schwedler Kubbe

Nervürlü kubbede her nervür tek bir eleman sayılırken, Schwedler kubbede nervürler diğer elemanlar ile birlikte çalışır. Kesme kuvvetine karşı nervürler ve çemberler rijit birleştirilebilir veya simetrik olmayan yüklerden oluşacak kesme kuvvetlerine karşı bu elemanlar çapraz elemanlarla birleştirilir. Simetrik yükler söz konusu olduğunda ise düğüm noktaları mafsallı düzenlenir ve izostatik bu sistemin elle hesabı mümkündür (Lan, 2005; Urfalı, 2012) (Şekil 3.20). Aged Sports Plaza (Şekil 3.21) schwedler kubbelere tipik örnek olarak verilebilir.



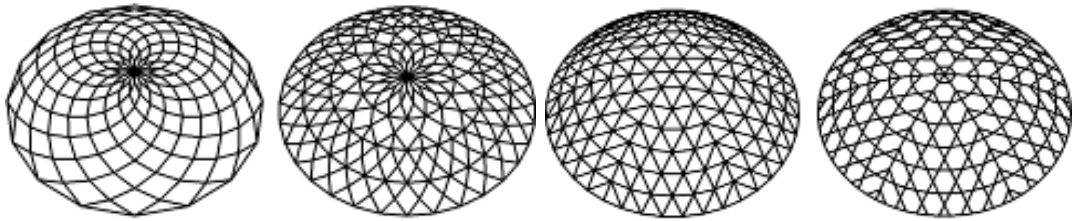
Şekil 3.20 Schwedler kubbe (Vardar Öz, 2012)



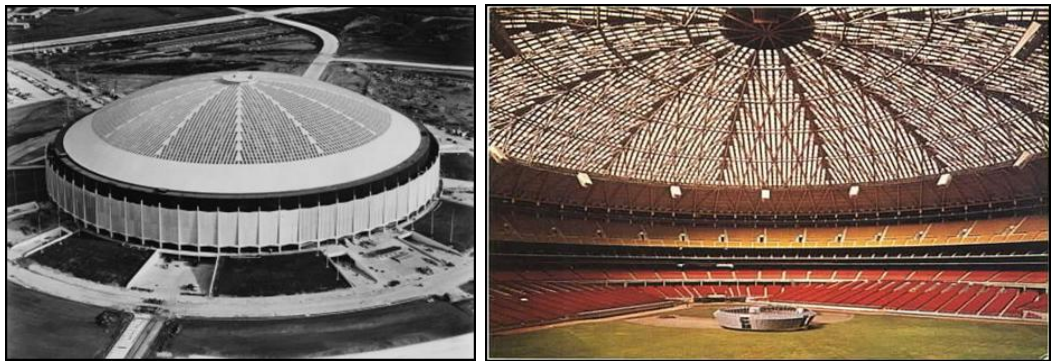
Şekil 3.21 Aged Sports Plaza, Gifu, Japonya (Urfalı, 2012)

3.1.5.3 Lamella Kubbe

Birbirine benzer elemanların çok sayıda kullanılması ve küre yüzeyinde baklava ya da elmas biçimi oluşturacak şekilde biraraya getirilmesiyle elde edilen sistem türüdür. Uygulamada sorun oluşmaması için kubbeyi oluşturan dilimler tepe noktasına doğru sayıca azaltılarak bağlanır (Lan, 2005; Urfalı, 2012) (Şekil 3.22). En iyi paralel lamella kubbe örneği, Dr. Kiewitt tarafından geliştirilen döneminin en geniş açıklıklı yapısı olan Houston Astrodome'dur. 217 metre açıklığında ve 63,4 metre yüksekliğinde olan kubbe, kesit yüksekliği 1,5 metre olan çelik elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.23). Ahşap malzeme kullanılarak yapılan lamella kubbe örneği ise, 30,5 metre açıklıklı Frederick High School yapısıdır (Şekil 3.24).



Şekil 3.22 Lamella kubbe (Vardar Öz, 2012)



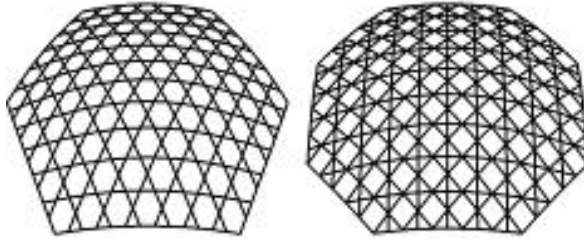
Şekil 3.23 The Astrodome, 1965, Houston, A.B.D. (Urfalı, 2012)



Şekil 3.24 Frederick High School, 1925, Oklahoma, A.B.D. (DB Basketball Alumni Reunion, 2014)

3.1.5.4 Üç ve Dört Doğrultuda Izgara Kubbe

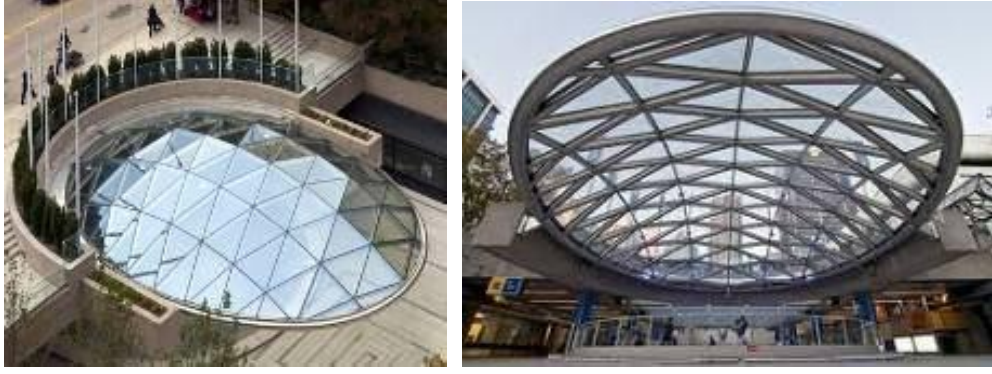
Kare, dikdörtgen, daire, üçgen veya altıgen formundaki farklı plan tipine sahip yapıları örtmek üzere kullanılan, üç ya da dört doğrultuda düzenlenen bu sistem türü asimetrik yüklere karşı dayanıklıdır (Lan, 2005; Urfalı, 2012) (Şekil 3.25). 187 metre çapında, 60 metre yüksekliğe sahip Nagoya Dome (Şekil 3.26), Robson Square Dome (Şekil 3.27) üç ve dört doğrultuda düzenlenen ızgara sistemler için örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 3.25 Üç ve dört doğrultuda ızgara kubbe (Vardar Öz, 2012)



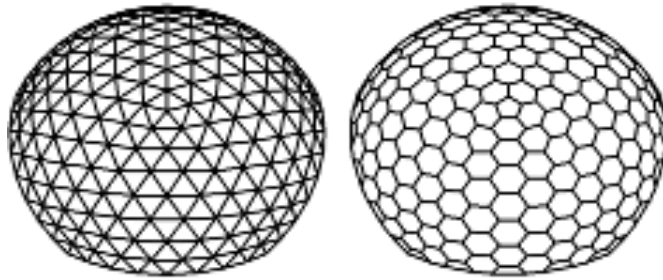
Şekil 3.26 Nagoya Dome, Japonya, 1997 (Urfalı, 2012)



Şekil 3.27 Robson Square Dome, Vancouver, Kanada, 2010 (Urfalı, 2012)

3.1.5.5 Jeodezik Kubbe

Matematiksel anlamda, bir küre üzerinde bulunan iki noktayı birleştiren en kısa çizgi jeodezik çizgi olarak tanımlanır. Jeodezik kubbe, jeodezik çizgiler kullanılarak, bir küre yüzeyine atanan noktaların birleştirilmesiyle elde edilen sistem türüdür (Lan, 2005; Urfalı, 2012) (Şekil 3.28). Sistem gelen ölü veya hareketli yükler, sadece çekme veya basınca çalışan çubuklar ve çubukları üçüncü boyutta birbirine bağlayan düğüm noktaları yardımıyla temele iletilmektedir. Yüklerin konumuna, şiddetine ve yönüne göre bazı çubuklar aksenal çekmeye veya aksenal basınca çalışmaktadır.



Şekil 3.28 Jeodezik kubbe (Vardar Öz, 2012)

Jeodezik kubbeler çift eğrilikli sistemlerdir. Sistemi oluşturan eğriler birbirleriyle aynı yönde olmak zorundadır. Eğriler çember yayı olabileceği gibi parabol veya elips yayı da olabilmektedirler. Jeodezik kubbelerin çift katmanlı yapılma zorunluluğu yoktur (Savaşır, 1999, s. 19). Tek katmanlı jeodezik kubbeler tez kapsamında çubuk ağı kubbeler içinde incelenmektedir.

36 metre çapında 18 metre yüksekliği olan Ontario Place (Şekil 3.29); 21 metre yüksekliğe sahip ve 42 metre çapındaki Bloedel Conservatory (Şekil 3.30) jeodezik kubbeler için örnek olarak gösterilebilir.

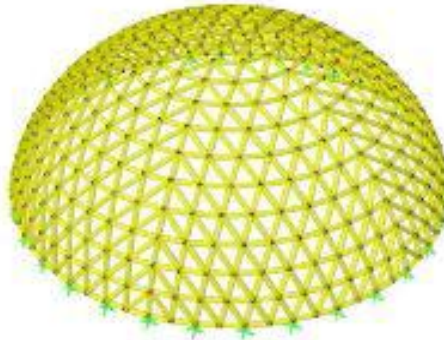


Şekil 3.29 Ontario Place, Toronto, Ontario, Kanada, 1971 (Urfalı, 2012)



Şekil 3.30 Bloedel Conservatory, Vancouver, Kanada, 1969 (Urfalı, 2012)

Tek katlı kubbesel uzay kafes sistemler, çubuk ve düğüm noktaları tek bir küre yüzeyi üzerinde bulunduğu veya alt ve diyagonal çubukların olmadığı sistemler olup; literatürde jeodezik kubbe olarak da adlandırılmaktadırlar (Şekil 3.31). Jeodezik kubbeler 30-40 metrelik orta açıklıklara uygundur. Daha büyük açıklıklarda çubukların burkulma olasılığı artmaktadır. ubukların burkulması, belli kurallara bağlı olan ve üstesinden gelinebilecek bir boyutlandırma sorunudur (Türkçü, 2003).

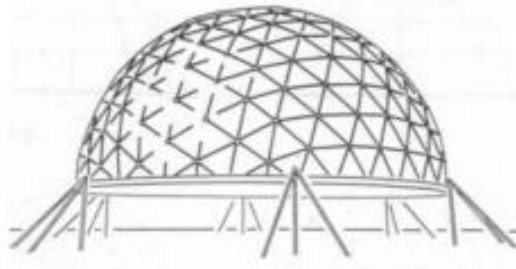


Şekil 3.31 Tek katlı kubbesel uzay kafes sistem (Soykan, 2007)

3.1.5.6 Çift Katlı Uzay Kafes Sistemli Kubbeler

Çift katlı uzay kafes sistemli kubbeler, kubbeyi oluşturan döne1 yüzey üzerinde bulunan taşıyıcı parçalardan veya düğüm noktaları bu yüzey üzerinde bulunan düzgün doğrusal elemanlardan meydana gelmektedir (Soykan, 2007, s. 21).

Kubbesel uzay kafes taşıyıcı sistemler yükleri mekân içinde yönlendirerek zemine aktarılmasına olanak veren basınca ve çekmeye çalışan son derece hafif taşıyıcı sistemlerdir. Büyük açıklıkların örtülmesin de önemli ölçüde malzemeden ekonomi sağlamaktadır. Bu tür taşıyıcı sistemlerde çubukların düğüm noktaları çok hassas ve bir o kadar da karmaşık kısımları olmaktadır. Düğüm noktaları, maliyeti büyük ölçüde artırmaktadır. Üçgen, kare, çokgen ve dairesel alanların örtülmelerinde bu sistemler tercih edilmektedir (Şekil 3.32) (Soykan, 2007, s. 14).

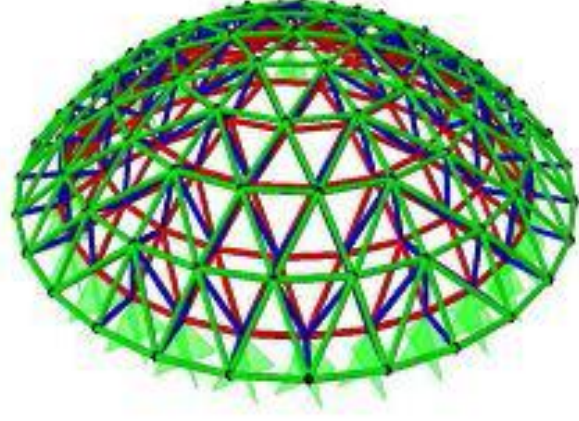


Şekil 3.32 Kubbesel uzay kafes sistem (Soykan, 2007)

Kubbesel uzay kafes sistemlerde taşıyıcı sistem; rijit çubuklarla düğüm noktalarından oluşan bir iskelettir Kubbesel uzay kafes sistemler; çubukların bulunduğu katmanlar açısından; tek ve çift katlı kubbesel uzay kafes sistemler olarak düzenlenebilir. (Soykan, 2007, s. 15). Tek katlı olanları jeodezik kubbeler başlığı altında Bölüm 3.1.5.5'te irdelenmiştir.

Çift Katlı Kubbesel Uzay Kafes Sistemler, büyük açıklıklar için uygun olmaktadır. Çubuk ve düğüm noktaları eşmerkezli iki kürenin üzerinde yer alıyorsa çift katlı kubbeler söz konusudur. Bunlar üst, alt ve diyagonal çubuklardan oluşan sistemlerdir (Şekil 3.33). Çift katlı kubbesel uzay kafes sistemlerin özellikleri ise, asimetrik yüklere karşı daha dirençli olmasıdır. Basınç çubuklarının burkulma

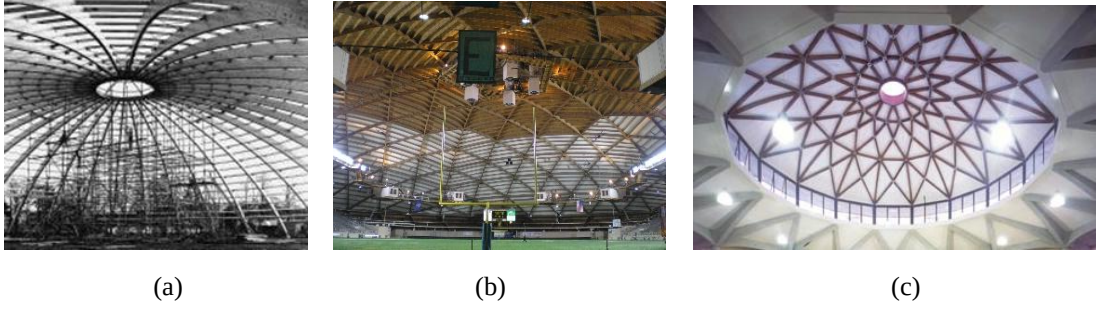
tehlikesi ile çubuk sistemlerde ikincil derecede ortaya çıkan eğilme gerilmeleri tek katlı sistemlere oranla daha azdır (Türkçü, 2003).



Şekil 3.33 Çift katlı kubbesel uzay kafes sistem (Soykan, 2007)

Çubuk ağı kubbelerde, taşıyıcı sistemi oluşturan çubuklar ahşap veya metalden yapılabilmektedir. Taşıyıcı sistemin arasındaki kaplama malzemeleri ise hafif ve yük taşıma özelliği az olan membran, cam panel, plastik veya polimer levhalardan seçilmektedir.

Taşıyıcı olarak kullanılan ahşap malzeme, jeodezik kubbelerin gelişim sürecinin başlarında daha çok kullanım alanı bulmuştur. Tutkallı tabakalı kompozit ahşap bileşenlerin kullanıldığı kubbeler ile teorik olarak 200 metreye kadar açıklık geçilebilmektedir (Türkçü, 2003, s. 174). Tutkallı tabakalı ahşap bileşenler ile oluşturulan Odate Dome, günümüzde dünyanın en geniş açıklık (178 metre) geçebilen ahşap taşıyıcılı kubbesidir. Ahşap kompozitlerin en yaygın kullanıldığı kubbe türleri; nervürlü, schwedler ve jeodezik kubbelerdir (Şekil 3.34). Ancak lamella kubbelerle de örnekler mevcuttur (Şekil 3.35).

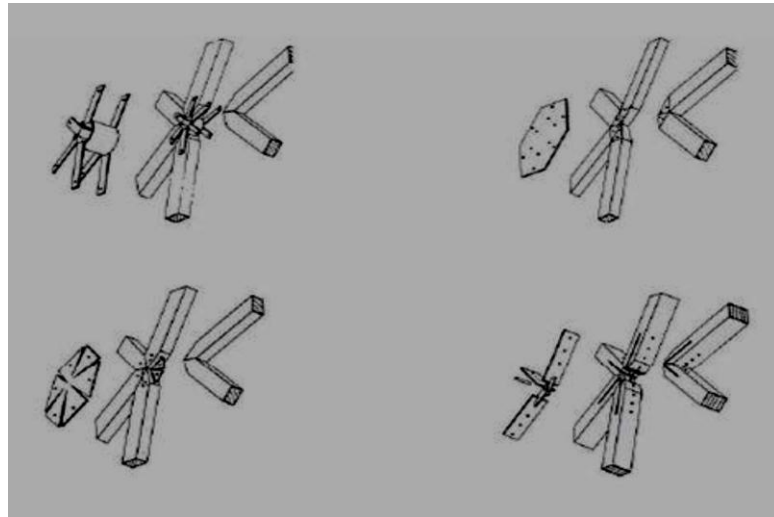


Şekil 3.34 (a) Sports Dome (Nervürlü kubbe), (b) Superior Dome (Jeodezik kubbe), (c) Southall Gurdwara (Schwedler kubbe) (Urfalı, 2012)

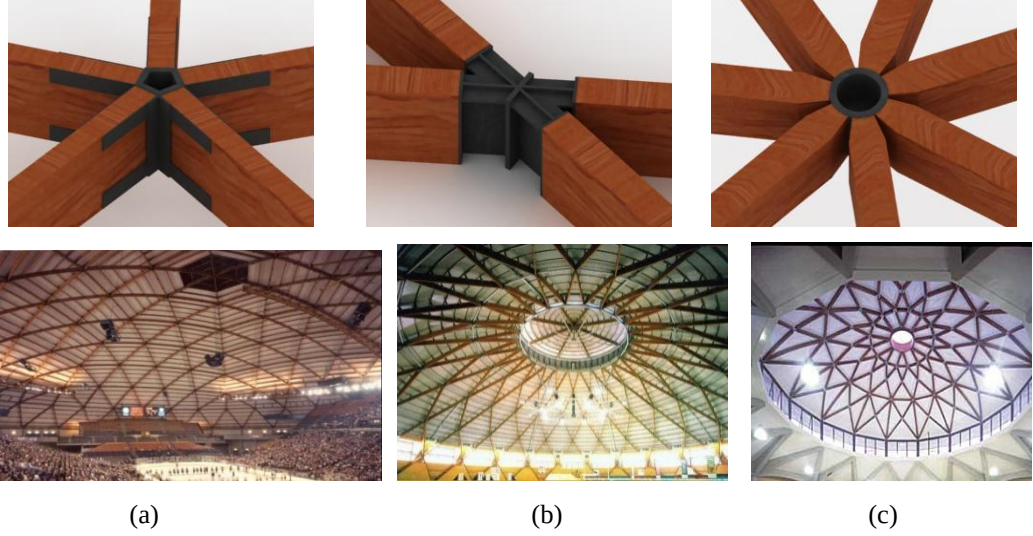


Şekil 3.35 Las Arenas Bullring, Barcelona ve Pyramid Meet Dome, İngiltere (Urfalı, 2012)

Ahşap kubbelerde, ahşap bileşenler birbirine çelik plak, halka ve cıvata gibi çelik bağlantılarla bağlanırlar (Şekil 3.36-3.37). Cıvatalı bağlantılar, kuvvetlere plaklar ve halkalar kadar dayanıklı değildirler.



Şekil 3.36 Ahşap kubbe tasarımında kullanılan çubuk bağlantıları tipleri (Urfalı, 2012)



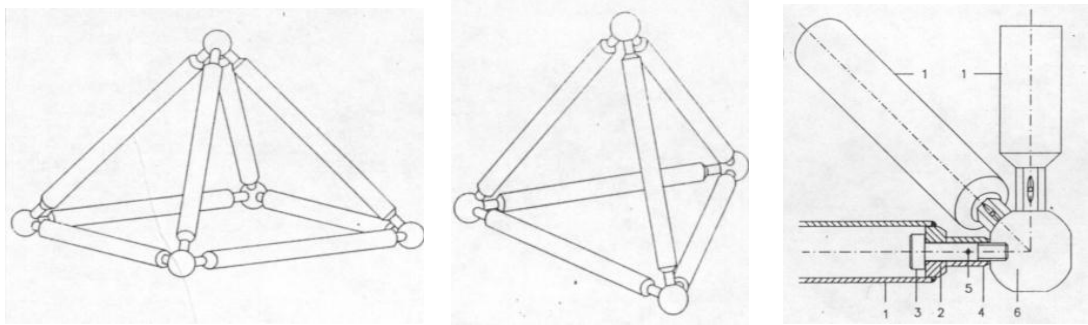
Şekil 3.37 (a) Tacoma Dome (b) Sydney Showground Dome (c) Gurdwara Southall Temple, iç görüşleri ve elaman bağlantıları (Urfalı, 2012)

İlk dökme demir malzemeli kubbelerin çoğu, genellikle aşağıda düz yukarıda eğik çubuklardan oluşan yarı kafes kirişlerden meydana gelmektedir. Kubbeler, dairesel duvarlar üzerinde desteklenip ve çevresi boyunca altta çekme halkasına ve tepedeki basınç halkasına bağlanmaktadır. Küçük kubbeler için, merkezi halka ve fener ihmal edilerek kirişler birbirlerine doğrudan bağlanmaktaydı. Sonraları, bağlantı halkalarının kapasitesini sık sık yükselten yatay itme kuvvetinin ortaya çıkması ile açıklığı artırma yoluna gidilmiştir. İtkinin karşılanamadığı çeşitli durumlarda bunun inşaat esnasında yapının çökmesine neden olduğu bilinmektedir. Bu durum birçok mühendisi kuşaklanmış kubbelerle ilgili detaylı analizler yapmaya teşvik etmiştir (Vural, 2000, s. 84).

Kubbeler için çok sayıda kuşaklama tipi kullanılmaktadır. En eski formlardan biri olan iskelet kubbeler, oldukça esnek olmalarına rağmen halen kullanılmaktadırlar. Kuşaklanmış kubbenin en basit formu, Schwedler tipi olarak tasvir edilmektedir. J.W. Schwedler ilk yapısını, Berlin’de bir gaz tankı olarak inşa etmiştir. 1863 yılından itibaren de dünya üzerinde sayısız Schwedler kubbesi uygulanmıştır. Föppl, Schwedler tarafından geliştirilen gevşek nitelikte olan çapraz elemanlar ile uygulanan ‘örgü kafes’ kubbelerine karşı, ‘ağ örgü’ tipi kubbeyi sadece üçgenler ile donatılmış ve katı çapraz elemanlar ile sağlamlaştırılmış olarak kafes kiriş konstrüksiyonunu ileri sürmüştür (Tekgüvercin, 2002, s. 47).

Çeşitli şekillerde uygulanabilir iskelet kubbelerin dışında, iki yönlü ve özellikle üç yönlü ızgara kubbeler oldukça kuvvetli ve asimetrik yüklere karşı dayanıklı olmaları nedeniyle kullanılmıştır (Soykan, 2007, s. 20).

Çelik uzay kubbe sistemlerin bileşenleri de uzay kafes bileşenlerinin aynısıdır. Uzay kafes sistemleri oluşturan temel öğeler: Düğüm noktaları (küreler), çubuklar ve konik parçalar, cıvata, somun ve pimler olarak sıralanabilmektedir (Sekil 3.38).



Sekil 3.38 Uzay kafes sistem tipleri ve düğüm noktasının detayı, 1.Boru 2. Konik 3. Cıvata 4. Somun 5. Pim 6. Küre (Soykan, 2007)

1970’li yıllarda tek tabakalı uzay kafes sistemli kubbelerde ana taşıyıcı olarak alüminyum malzemenin kullanıldığı örnekler gözlenmektedir. Bunlara 41,6 metre açıklıklı Des Moines Botanical Center yapısı, Amundsen-Scott South, Pole Station kubbesi ve 81 metre açıklıklı Limestone Blending Facility yapısı örnek verilebilir (Şekil 3.39). Alüminyum malzeme günümüzde en çok, fabrika yapılarında kullanım alanı bulmaktadır (Vardar Öz, 2012).



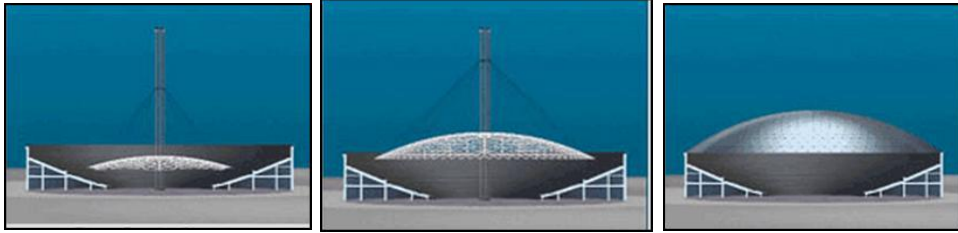
Şekil 3.39 Des Moines Botanical Center yapısı, A.B.D. 1979; Amundsen-Scott South Pole Station Antartika, 1975 ve Limestone Blending Facility yapısı, Mojave, CA, 1990 (Vardar Öz, 2012)

R. Duell ve Associates tarafından tasarlanmış, 126 metre çapında olan Spruce Goose Dome yapısı alüminyum malzeme ile en geniş açıklık geçen jeodezik kubbe örneklerindendir (Şekil 3.40) (Vardar Öz, 2005, s. 113).



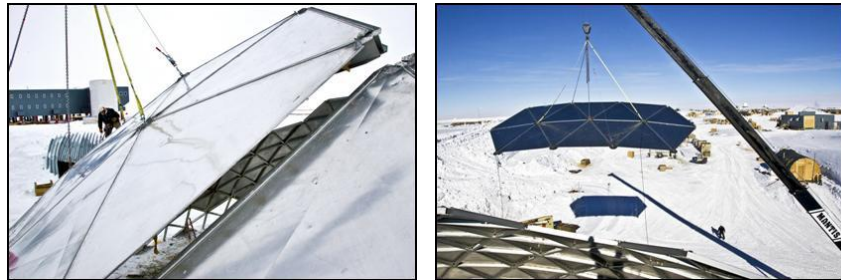
Şekil 3.40 Spruce Goose dome, 1982, Long Beach, ABD (Vardar Öz, 2012)

Alüminyum kubbelerin en çok kullanılan yapım yöntemlerinden biri, kule ile kaldırma yöntemidir. Yerde montajı yapılan sistemin, merkezde bir kule yardımı ile kaldırılmasıyla oluşur (Şekil 3.41) (Vardar Öz, 2005, s. 143).



Şekil 3.41 Kule ile kaldırma yöntemi (Vardar Öz, 2012)

Bir diğer yapım yöntemi, vinç yardımıyla kaldırma yöntemidir. Montajı yerde yapılan sistem elemanlarının vinç yardımı ile havada montajı gerçekleşir (Şekil 3.42) (Vardar Öz, 2005, s. 145).



Şekil 3.42 Vinç ile kaldırma yöntemi (Vardar Öz, 2012)

İlk alüminyum kubbe örneklerinden bir diğeri ise Henry Kaiser's Hilton Hawaiian Village yapısıdır. Vinç ile yapı alanına getirilip ardından montajı yapılan bir diğ er yapı örneğ i ise Osaka Maritime Museum yapısıdır (Şekil 3.43) (Vardar Öz, 2005, s. 34).

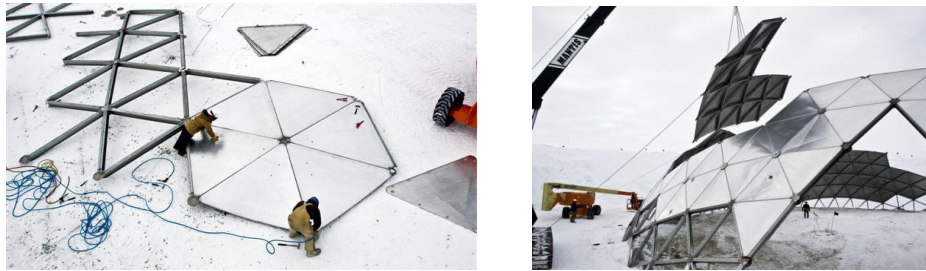


Şekil 3.43 Henry Kaiser's Hilton Hawaiian Village, Honolulu; Osaka Maritime Museum, Japonya (Vardar Öz, 2012)

Tek tabakalı ahşap kubbe sistem olarak tasarlanmış Blowing Bubbles Sports Centre ve alüminyum çubuk elemanlı kubbe sistem ile yapılmış South Pole Station yapısında, sistem montajı yerde yapılp, kriko yardımıyla yükseltilmiş ve son birleşimler yapılmıştır (Şekil 3.44-3.45).



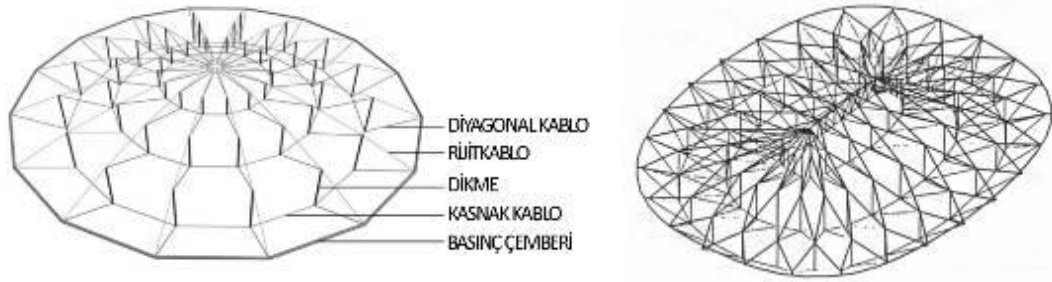
Şekil 3.44 Blowing Bubbles, Scunthorpe, İngiltere (Vardar Öz, 2012)



Şekil 3.45 Amundsen-Scott South Pole Station, Antartika (Vardar Öz, 2012)

3.1.6 Kablo Destekli 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 (Şekil 3.46) (Parke & Disney, 2002, s. 43).

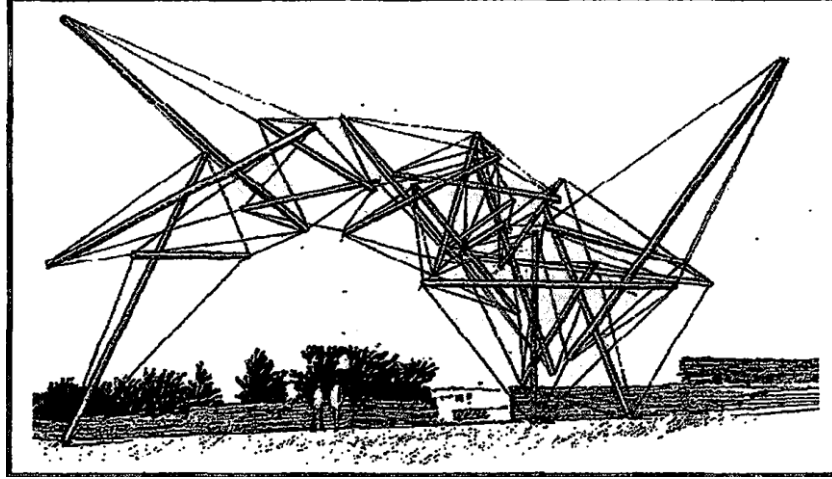


Şekil 3.46 Kablo sistemli kubbeler (Parke & Disney, 2002)

Kablo destekli kubbeler, üçe ayrılırki bunlar; Tensegriti kubbeler, çift tabakalı kablo sistemli kubbeler ve düşey taşıyıcıya bağlı kablo askılı sistemlerdir.

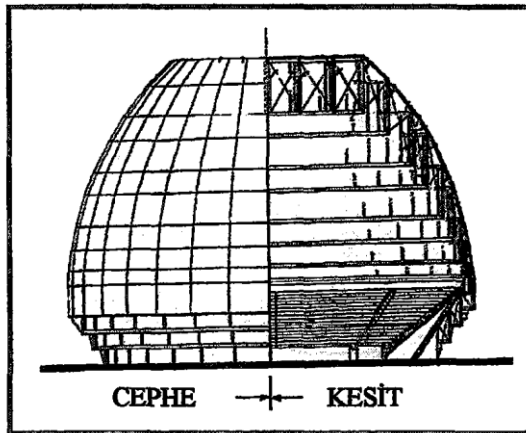
3.1.6.1 Tensegriti kubbeler

Tensegriti kubbeler, çekmeye çalışan kablolar ve basınca çalışan desteklerden oluşan üç boyutlu bir strüktür sistemidir. Bu strüktürde çekmeye çalışan kablolar sürekli olmaktadır. Fakat dikmeler tekildir. Hiçbir dikme bir başka dikmeye değmemektedir. 1948 yılında heykeltıraş Kenneth Snelson tarafından icat edilmiştir (Şekil 3.47) (Moore, 1999, s. 61).

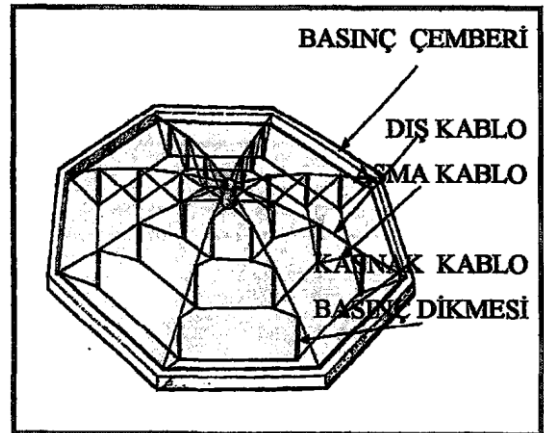


Şekil 3.47 Kenneth Snelson'un 1974 yılındaki tensegriti strüktürel heykeli (Moore, 1999)

Buckminster Fuller tarafından 1960 yılında geliştirilmiş ve tensegriti kubbelerin patenti alınmıştır (Şekil 3.48-a). Bu strüktürel sistemin dayanıklılığını ve stabil oluşunu, sistemi oluşturan kablo ve onları geren dikmeler sağlamaktadır. 1961 yılında Fuller tensegriti sistemine, rüzgar kuvvetinin oluşturduğu titresemeye dayanıklı hafif bir çatı strüktürü olarak patent almıştır. Bu patentin pratik alanda geniş çapta uygulaması David Geiger, Fuller'in üçgensel oluşumlarını değiştirmiş, onun yerine dikmeleri ve kabloları birbirlerine dik olarak yerleştirmiştir (şekil 3.48-b). Böylelikle strüktürel sistemde oluşan kuvvetler basitleşmiştir (Moore, 1999, s. 62).



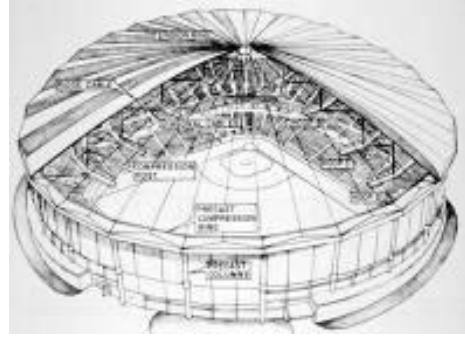
(a)



(b)

Şekil 3.48 a) Fuller'in tensegriti strüktürle tasarladığı ve patent aldığı kubbe , b) Geiger'in tensegriti strüktürle tasarladığı ve patent aldığı kubbe (Moore, 1999)

Kablolardaki basıklık oranı arttıkça merkezdeki çekme çemberinde meydana gelen gerilmeleri azaltmak için kablolara ön gerilme verilmelidir. Bu bağlamda 210 metre çapındaki Florida Suncoast Dome (Şekil 3.49), 120 metre açıklığın geçildiği Seoul Olympic Arena (Şekil 3.50), 82 metre açıklığa sahip Taoyuan County Stadium (Şekil 3.51) örnek gösterilebilir (Urfalı, 2012, s. 111).



Şekil 3.49 Florida Suncoast Dome, Florida, A.B.D., 1958 (Urfalı, 2012)



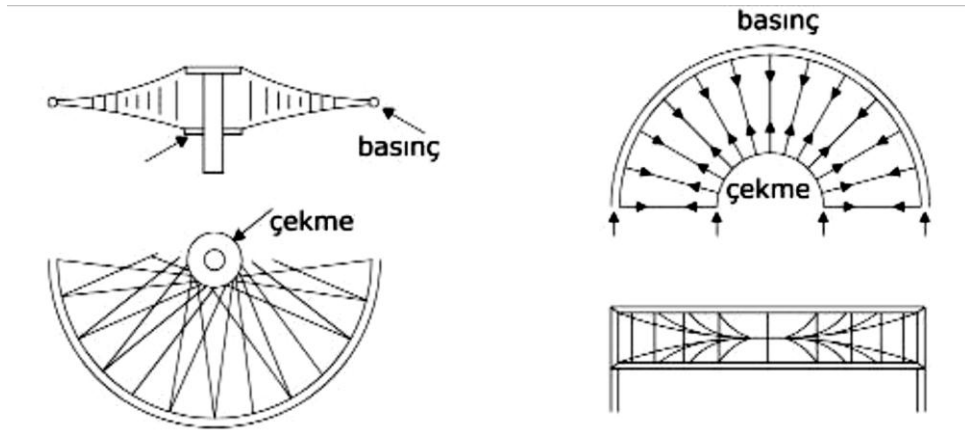
Şekil 3.50 Seoul Olympic Arena, Seoul, Güney Kore, 1988 (Urfalı, 2012)



Şekil 3.51 Taoyuan County Stadium, Tayvan, 1993, (Urfalı, 2012)

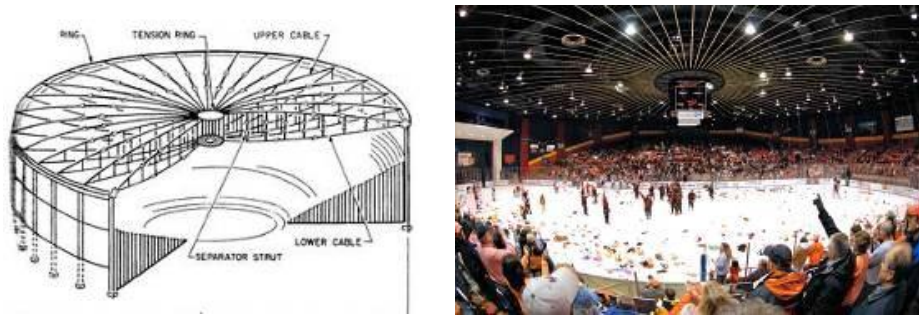
3.1.6.2 Çift Tabakalı Kablo Sistemli Kubbeler

Sistem, daire ya da elips planlı hacimleri geçmek üzere, daire alanın çevresinde basınç çemberi olarak çalışan çelik veya betonarme bir taşıyıcı, merkezde yer alan bir çekme çemberi ve çekme ile basınç çemberleri arasındaki radyal yönde kablolardan oluşmaktadır (Şekil 3.52) (Urfalı, 2012, s. 110).



Şekil 3.52 Çift eğrilikli ve çift tabakalı kablo sistemlerde çalışma prensibi (Urfalı, 2012)

73 metre çapındaki Utica Auditorium (Şekil 3.53) ve 135 metre çapındaki Sazka Arena (Şekil 3.54) çift tabakalı kablolu kubbe sistemlere tipik bir örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.53 Utica Auditorium, New York, A.B.D, 1960 (Urfalı, 2012)



Şekil 3.54 Sazka Arena, Prague, Çek Cumhuriyeti, 2004 (Urfalı, 2012)

3.1.6.3 Düşey Taşıyıcıya Bağlı Kablo Askılı Sistemler

Açıklığın geçilmesi amacıyla kurulan taşıyıcı sistemlerde kablolar ana taşıyıcı eleman olarak görev alırken, kablo askı sistemlerde kablo, ana taşıyıcı bir elemana bağlanarak askı ya da gergi elemanı biçiminde çalışır. Ankraj noktaları ya çekme kuvvetini temele ileten gergi kabloları ile birleştirilir ya da basınç kuvvetlerini zemine aktaran ayaklar ile mesnetlendirilir (Urfalı, 2012, s. 115).

103 metre x 175 metre eliptik plana sahip Montreal Olimpiyat Stadyumu düşey taşıyıcıya bağlı kablo askılı sistemlere örnek olarak gösterilebilir (Şekil 3.55).



Şekil 3.55 Montreal Olimpiyat Stadyumu, Quebec, Kanada, 1976 (Urfalı, 2012)

3.1.7 Hava Basıncılı Kubbeler (Pnömatik Sistemli Kubbeler)

Pnömatik sistemler; membran bir yüzeyin iki tarafında basınç farkı yaratarak, yüzeye ön germe verilmesi sureti ile oluşturulan strüktür sistemleridir. Bu özelliklerinden dolayı kapalı membran sistemler olarak da tanımlanırlar. Bu ön germeyi sağlayan madde katı, sıvı veya gaz olabilir. Kapalı bir hacim içerisindeki basınç azaltılırsa, dış hava basıncı membran yüzeyi içeri iter. Bir mekân yaratmak

için ise bunun tersi gereklidir. Yani iç basıncın dış basınca göre pozitif düzeyde tutulması gerekmektedir (Türkçü, 2009, s. 253-255).

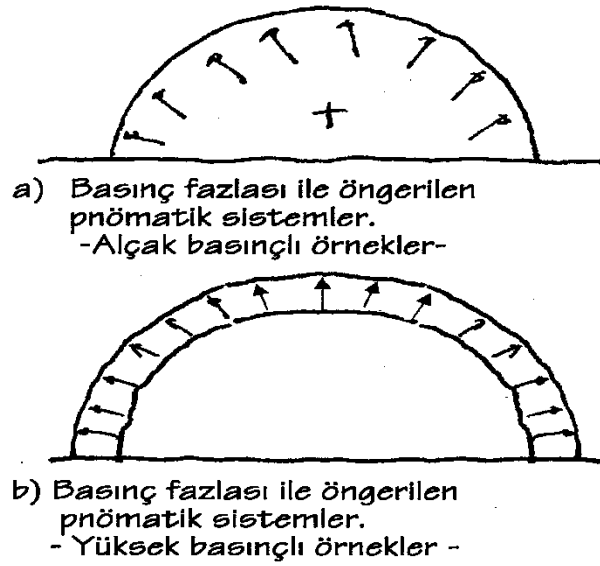
Pnömatik sistemlerin iki türü vardır:

a) Hava-destekli, alçak basınçlı, tek cidarlı (air-supported structures) sistemler;

Bu sistemlere basınçlı hava ile desteklenen tek tabakalı pnömatik sistemler olarak da adlandırılırlar (Şekil 3.56-a). Hava destekli pnömatik sistemler genelde kablolarla takviye edilir.

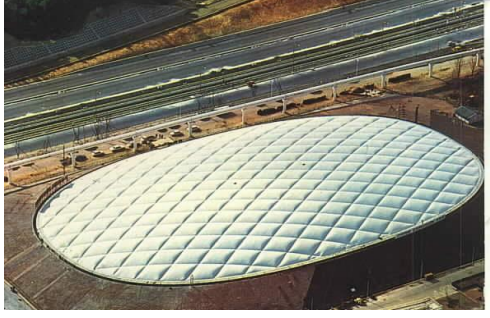
b) Hava-şişirmeli, yüksek basınçlı, iki cidarlı (air-inflated structures) sistemler;

Eğer iki membran, hava sızdırmayacak şekilde bir araya getirilip arada kalan boşluğa basınçlı hava (gaz) verilirse bu çift yüzeyli bir pnömatik sistemin oluşmasını sağlar (Şekil 3.56-b).



Şekil 3.56 Pnömatik sistemlerin türü (Türkçü, 2009, s. 256)

1970 yılında Osaka’da düzenlenen Expo’da inşa edilen 142 metre uzunluk ve 83,5 metre genişliğe sahip A.B.D. Pavyonu (Şekil 3.57), 1988 yılında inşa edilmiş 201 metre açıklığa sahip Tokyo Dome (Şekil 3.58) ve 1975 yılında inşa edilmiş 228 metre açıklık geçen Silver Dome (Şekil 3.59) hava destekli, kablo takviyeli pnömatik kubbelere örnek gösterilebilir.



Şekil 3.57 A.B.D. Pavyonu, Osaka, Japonya, 1970 (Urfalı, 2012)



Şekil 3.58 Tokyo Dome, Japonya ,1988 (Urfalı, 2012)



Şekil 3.59 Silver Dome, Michigan, A.B.D., 1975 (Urfalı, 2012)

Pnömatik sistemlerle kubbe oluşturmada öncelikle hava basıncına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu basınç, pnömatik sistemi ayakta tutmaya yarayan tek kuvvettir. Yığma kubbelerde yukarıdan aşağıya doğru olan yükler, pnömatik kubbelerde aşağıdan yukarıya doğru ters yönlü gerçekleşmektedir. Düşeyde sadece basınç gerilmesine maruz kalan yığma kubbelerin tam tersine; pnömatik kubbelerde sadece çekme gerilmesi oluşmaktadır. Bu nedenle çekmeye dirençli olan membran malzemeler küçük açıklıklı kubbelerde kullanılırken; büyük açıklıklı pnömatik kubbelerde membranı takviye etmek amacıyla sisteme eklenen kablo ağları kullanılmak durumundadır. Membran malzeme, sistemin taşıyıcı sistemini oluşturmanın yanı sıra örtücü özelliğiyle de kullanılmaktadır.

3.2 Malzemelerine Göre Kubbeler

Kubbe hem taşıyıcı hem de örtücü bir yapı elemanı olmasından dolayı iki işlevi bir arada barındırmaktadır. Taş, tuğla ve betonarme malzemeli kubbelerde her iki işlevi aynı malzeme ile karşılamak mümkün olmasına karşın, özellikle çelik taşıyıcılı kubbelerde örtü malzemesi olarak çelikten farklı (membran, cam, v.b) malzemeler kullanılabilmektedir. Bu durumda kubbelerde kullanılan malzeme ‘taşıyıcı sistem malzemesi’ ve ‘kaplama malzemesi’ olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

3.2.1 Taşıyıcı Sistem Malzemeleri

Taşıyıcı sistem malzemeleri yük taşıma özelliklerine göre kâgir, ahşap, betonarme, metal, kablo ve membran olmak üzere altıya ayrılmaktadır. Taşıyıcı sistemi oluşturan malzemelerle ilgili grublama önceki bölümde detaylı olarak anlatıldığından burada kısaca değinilecektir.

Taş ve tuğla gibi kâgir malzemeler sadece yığma kubbeler ile kaburgalı kubbelerde kullanılmaktadır. Ahşabın taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanıldığı kubbeler kaburgalı kubbelerdir. Tutkallı tabakalı ahşabın kullanıldığı kubbeler ise hem kaburgalı kubbeler hem de çubuk ağı kubbeler ve kemer taşıyıcılı kubbelerdir. Betonarme malzemeyle tek parçadan oluşan (monolitik) kabuk kubbeler yapılmaktadır. Taşıyıcı sistem malzemesi metal (genellikle çelik ve alüminyum) olan kubbeler ise; kaburgalı kubbeler, kemer taşıyıcılı kubbeler ve çubuk ağı kubbelerdir. Taşıyıcı sistem malzemesi olarak kablo ve membranın kullanıldığı kablo destekli kubbeler ve taşıyıcı sistem malzemesi olarak kablo destekli membran malzemenin kullanıldığı pnömatik sistemli kubbeler de bulunmaktadır.

3.2.2 Kaplama Malzemeleri

Yığma kubbelerde, kargir malzemeli kaburga kubbelerde, kabuk kubbelerde ve pnömatik kubbelerde taşıyıcı sistemi oluşturan malzemeler aynı zamanda mekânı sınırlayan ve kaplayan malzemeler olmaktadır. Bu nedenle bu tip kubbelerin kaplama

malzemelerine bu bölümde yer verilmemiştir. Buna karşın diğer kubbe tiplerinde taşıyıcı sistem malzemelerinden farklı malzemelerle kaplamalar yapılabilmektedir.

Bu malzemeler;

- Membran,
- Cam,
- Plastik levha ve
- Alüminyum levha ve olmak üzere dörde ayrılmaktadır.

3.2.2.1 Membran

Membran malzemeler oldukça ince yapılı ve esnekliğe sahip malzemelerdir. Bu nedenle sadece çekme gerilmelerine dirençlidirler. Günümüzde PVC (poli-vinil-klorür), PTFE (poly-tetra-fluoro-ethylene) ve ETFE (etilen-tetra-florür-etilen) gibi isimlerle anılan membran malzemeler kullanılmaktadır.

PVC (poli-vinil-klorür) türü membranlar, poliamid polyester ya da polivinil gibi yüksek dayanımlı elyaf malzemeden oluşmaktadır. Bu tür membran örtülere, kendini temizlemesi ve dayanıklılığının artırması için dış yüzeyine PVDF (poli-vinil-di-florür) ya da akrilik uygulanması önerilmektedir. 182°C sıcaklığa kadar dayanıklıdır. 1995 yılında yapımı tamamlanan Transworld Dome Stadium (Edward Jones Dome) yapısının örtüsü PVC türü membran ile kapatılmıştır (Vardar Öz, 2012) (Şekil 3.60).



Şekil 3.60 Transworld Dome Stadium, Edward Jones Dome (Vardar Öz, 2012)

PTFE (poly-tetra-fluoro-ethylene) türü membranlar, cam elyaf üzeri poli-tetra-florür-etilenden (PTFE) oluşmaktadır. Üzerine PVC malzemede olduğu gibi ek bir ürün gerektirmez, fakat PVC'den daha pahalı bir malzemedir. -200°C ile + 260°C aralığındaki sıcaklığa dayanıklıdır (Vardar Öz, 2012).

ETFE (etilen-tetra-florür-etilen) türü membranlar diğer iki membran malzemelerine göre saydamlığı fazla olmasına rağmen dayanıklılığı da bir o kadar azdır. Bu sebeple kablolu asma germe sistemlerde kullanılması önerilmez. ETFE, elastik ve plastik malzemelerde olan yüksek polimerli kimyasal maddeden oluştuğu için PTFE membran malzemesine göre daha sınırlı elastikiyete sahiptir. Bu sebepten tek tabakalı uzay kafes sistemlerde daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca ETFE membran elemanları daha komplekstir. Bu sebepten hiperbolik yüzeylerde rahatlıkla kullanılmaktadır (Vardar Öz, 2012).

3.2.2.2 Cam

Camlar, yüksek sıcaklıklarda bile yüksek bir ağırlığa sahip sıvılar olup, normal sıcaklıkta kristalleşmeden katılaştıran, katı cisimlerin mekanik özellikleri yanında sıvı cisimlerin özelliklerini de gösteren inorganik esaslı bir silikat sistemidir. Camın ana maddesi saydamlık özelliğini sağlayan, amorf bünye içinde erimiş ve dağılmış durumda bulunan SiO_2 (Silisyum Dioksit) dir. Saydamlık, geçen ışığın gelen ışığa oranı olup camlarda % 80-98'dir. Bu nedenle cam, henüz en saydam plastikten daha yüksek bir saydamlığa sahiptir (Parlak, 1998) (Şekil 3.61).



Şekil 3.61 Çatı alanı 2800 m² olan, Mansueti Library yapısının cam kaplaması, Chicago, A.B.D., 2011 (Parlak, 1998)

3.2.2.3 Plastik Levhalar

Plastik levhalar üçe ayrılmaktadırlar: PVC levhalar, polikarbonat levhalar ve CTP levhalar. PVC levhalar, ışık geçirgen çatı örtü malzemesi olarak kullanılan, polivinilklorür polimerlerinin sıkıştırılması ya da basınç altında ısıtılmasıyla ince film tabakaları haline getirilmesi sonucunda oluşan, termoplastik bir malzemedir. Polikarbonat levhalar ise, ışık geçirimli çatı örtü malzemesi olarak kullanılan çapraz bağlı molekül yapısına sahip polikarbonat reçinesi esaslı malzemelerdir. CTP, cam elyafı ile takviye edilerek fiziksel dayanımı artırılmış, doymamış polyesterden oluşan kompozit bir malzemedir (Erdem, 2003).

3.2.2.4 Alüminyum Levhalar

Alüminyum kompozit çatı kaplama levhaları, dışta özel profil verilmiş bir alüminyum yüzey, ortada genellikle poliüretan köpük tabakası ve iç taraftaki yüzeyde de alüminyum levhadan oluşmaktadır. Üretim olanakları dolayısıyla bu çatı örtü malzemeleri belirli bir genişlikte olmak kaydıyla değişik boylarda üretilmektedir. Tek tabakadan oluşan çatı kaplama levhalarına oranla; dayanımı daha yüksek, ısı yalıtım özelliği olan, özellikle fabrika, imalathane gibi büyük açıklıklı yapıların çok az ekle örtülmesine olanak veren bu malzemeler, bu tür yapılarda ortaya çıkabilen çatıların iç yüzeylerindeki yoğunlaşma oluşumunu da büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır (Ersoy, 2001).

3.2.2.5 Ahşap Çatı Altı Kaplamaları

OSB (Oriented Strand Board) fırınlanmış ahşabın yongalanması ve bu parçaların yapıştırıcı ile preslenmiş plaka ürün haline getirilmesidir. Suya ve neme son derece dayanıklıdır. Levha şeklinde boylu boyunca ahşap yongası ve talaş birbirine paralel yayılmak suretiyle ve her katman birbirine şaşırtmalı düzenlenerek, son katman ile ilk katmanın yönleri aynı olması koşulu ile elde edilir. Taşınması ve nakliyesi kolaydır. Yapı güvenliğini artırır. Dekoratifdir, taban ve tavan kaplamasına elverişlidir. Neme, böceklenmeye ve küfe dayanıklıdır. Tek tabakalı uzay kafes sistemlerde ahşap taşıyıcı sistemi bağlayıcı olarak kullanılırlar (Vardar Öz, 2012).

BÖLÜM DÖRT

KUBBE FORMUNDAKİ YAPI ÖRNEKLERİNİN İRDELENMESİ

Tezin dördüncü bölümünde mimarlık tarihi içinde önemli rol oynamış, günümüzde de ayakta durabilen geleneksel kubbeler ile çağdaş taşıyıcı sisteme sahip son dönemde inşa edilmiş kubbe formundaki yapı örnekleri incelenmektedir. Daha sonra bu örneklerin çeşitli kriterler bağlamında analizleri yapıp; elde edilen bulgular tablolar ve grafikler yardımıyla sunulmaktadır.

4.1 Kubbe Formundaki Yapı Örneklerinin İncelenmesi

Bu bölüm kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda, dünya üzerinde ve mimarlık tarihinde önemli bir yere sahip olan çok sayıda kubbe örneği elde edilmiştir. Bu örneklerden aynı taşıyıcı sisteme sahip olan bazı kubbeli yapılar elenerek tez kapsamına alınmamış, böylece elde edilen 52 adet kubbeli yapı örneği tez kapsamında ele alınıp incelenmiştir. Seçilen örneklerde yapısal özelliklerin mümkün olduğunca farklı olmasına özen gösterilmiştir. Seçilen örneklerin detaylandırılması için literatür bilgilerine ve kubbeli binaların strüktürleri üzerine gerekli bilgi ve kaynaklara ulaşılmıştır. Bu bölümde sunulan kubbe örnekleri geçmişten günümüze doğru kronolojik bir sıralama ile irdelenmiştir.

Seçilen kubbeli binalar incelenirken, her birinin yapıldığı yer ve yıl, kubbenin geçtiği açıklık (kubbenin çapı), kubbenin yüksekliği, kubbenin taşıyıcı sistemi ve malzemesi, plan geometrisi ve yapının işlevi gibi kriterler ele alınmıştır.

4.1.1 Pantheon

Tablo 4.1 Pantheon’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Roma, İtalya
Yapım Yılı	M.S. 128
Mimari Tasarım	İmparator Hadrian
Geçilen Açıklık	43,4 metre
Yapı Yüksekliği	43,4 metre
Taşıyıcı Sistem	Beton kabuk kubbe, kaset döşeme
Kaplama Malzemesi	Beton
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Dini yapı, tapınak

Pantheon, M.S. 118 ve 128 yılları arasında İmparator Hadrian tarafından inşa ettirilmiştir. Pantheon Roma’da bulunmakta ve dünyadaki en ünlü kubbeli binalardan biri sayılmaktadır (Tablo 4.1). Yaklaşık iki bin yıldır ayakta durabilen bina, Roma’da bulunan Romalılara ait anıtlar içerisinde en iyi korunmuş olanıdır. Aslında bir pagan tapınağı olarak inşa edilen Pantheon, 609 yılında bir katolik kilisesine dönüştürülmüştür (Uçak, 2012, s. 23) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Pantheon’un kubbesine ait dış ve iç görünüşler ile kubbenin kesiti (Pantheon, 2010)

Pantheon 43,4 metre açıklık geçen bir kubbeye sahiptir. Yapıldığı dönem düşünüldüğünde bu açıklık oldukça büyük bir başarı olarak görülmektedir. Bu başarının elde edilmesinde kubbeyi oluşturan malzemelerin önemi büyüktür. Roma’lılar kubbenin yapımında volkanik küllerden elde edilen bir çeşit çimento olan puzolan ve çok hafif bir çeşit taş olan sünger taşının birleşiminden elde edilen bir beton kullanmıştır. Burada amaç kubbenin ağırlığının azaltılmasıdır. Kubbe malzemesinin seçimi yanı sıra kubbeyi hafiflemek adına birkaç önemli karar daha almışlardır. Bunlar; kubbenin etek kısımlarında kalın, tepesine yaklaştıkça incelen bir kesit kullanımı; kubbenin iç mekâna bakan yüzünde kaset döşemeye benzer şekilde

döşemenin inceltilmesi; kubbenin tepesine basınç çemberi koyup bu bölgenin açık yapılmasıdır. Kubbenin tepe noktasında çapı 9 metre olan daire şeklindeki açıklığa göz pencere denilmektedir. Kubbenin yükünü alttaki duvarlara aktarımı sırasında oluşan yanıl kuvvetleri karşılamak için kubbenin etek kısmına betondan 7 adet çekme çemberi eklenmiştir. Böylece dış duvarları 6 metre kalınlığa erişmiş ve bu duvarlar, kubbeye verilmesi gereken yatay destek ihtiyacını karşılamaktadır (Moore, 2002, s. 22). Kubbenin beton kabuk kalınlığı tepede 1,2 metre olup eteğinde 6,4 metredir ve kubbenin ağırlığı yaklaşık 5.000 tondur (Altın, 2010, s. 41-42).

4.1.2 Ayasofya

Tablo 4.2 Ayasofya'ya ait bilgiler

Yapım Yeri	İstanbul, Türkiye
Yapım Yılı	537
Mimari Tasarım	Anthemios ve Isidoros
Geçilen Açıklık	30,80 metre – 32,6 metre
Yapı Yüksekliği	55,60 metre
Taşıyıcı Sistem	Kaburgalı yığma taş kubbe
Kaplama Malzemesi	Kaburgaların arası taş ve tuğla
Plan Geometrisi	Kare
Yapının İşlevi	Dini yapı,

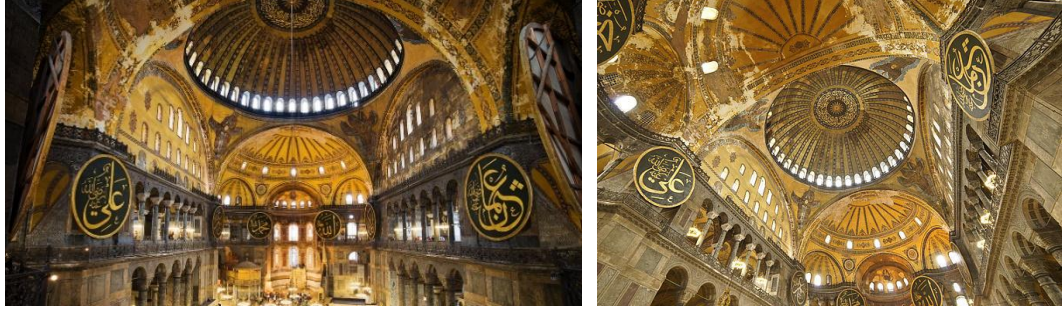
Ayasofya, 532 yılında Bizans İmparatoru Justinianus tarafından dönemin iki önemli Mimarı olan Tralles'li (Aydın) Anthemios ve Miletos'lu (Milet) İsidoros'a yaptırılmıştır. Bu yapı 1453 yılına kadar bir patrik katedrali olarak kullanılmış, 1453'te camiye çevrilmiş, 1935'te ise müze olmuştur (Tablo 4.2). Günümüzde görülen Ayasofya aslında aynı yere üçüncü kez inşa edilen kilise olduğundan, Üçüncü Ayasofya olarak da bilinmektedir. İlk iki kilise isyanlar sırasında yıkılmıştır (Uçak, 2012, s. 27). Yapıldığı dönemde dünyanın en büyük açıklık geçen kubbesi olan Ayasofya'nın merkezi kubbesi, günümüzde de dünyadaki en büyük açıklık geçen yığma taş kubbesi ünvanına sahiptir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Ayasofya'nın dış görüntüsü (Hagia Sophia Dome, b.t)

“Ayasofya'nın mimarisindeki yenilik geleneksel bazilikal plan ile merkezi kubbeli planın bir araya getirilmesidir” (Anonim-a, b.t). Bunun yanı sıra kare planlı bir mekânın üzerine kubbe yerleştirebilmek için karenin köşelerinde ilk kez pandantifler kullanılmıştır. Bu özelliğiyle daha önce yapılan kubbeli yapılardan sadece daha büyük bir yapı yapmanın ötesinde, daha önce hiç görülmemiş bir teknikle devrim niteliğinde bir yapı yaratılmıştır (Savaşır, 2014, s. 621).

Ayasofya'nın ana ibadet mekânı, iki tarafında dört büyük paye ve bunların aralarına yerleştirilmiş sütunlarla ayırmış iki yan neften (Kilise mimarisinde apsise dik ya da paralel olarak yer alan ve birbirlerinden sütun ya da paye dizileriyle ayrılan uzunlamasına mekânlara verilen ad) oluşmaktadır. Dikdörtgen olan ana ibadet mekânı 55,60 metre yüksekliğindeki elips biçimli kubbe ile örtülmüştür. İlk yapıldığı haliyle kubbenin daha şişkin olduğu ancak daha sonraki bir dönemde oluşan bir deprem sonucu kubbenin daha yayvan bir hal aldığı görülmektedir. Statik problemler yaratan bu kubbe düzenlemesi için çözümler yaratılmaya çalışılmıştır. Örneğin kubbenin taşınabilmesi için kubbe, dört büyük kemer üzerine oturtulmuştur (Şekil 4.3.). Uzun bir mekân olan orta nefin üstünü kapatmak için doğu –batı ekseninde iki büyük yarım kubbe yerleştirilmiş ve bunların ana kubbeyi desteklemesi düşünülmüştür. Burada karşılanan ağırlığın dış duvarlara kadar getirilerek zemine indirilmesine çalışılmışsa da bu yeterli olmamıştır. Bu nedenle Ayasofya'nın batı ve doğu cephelerine sıklıkla yeni payandalar atılarak kubbenin desteklenmesi amaçlanmıştır (Erdoğan, 2012, s. 5).



Şekil 4.3 Ayasofya'nın iç görüntüsü (Hagia Sophia, 2013)

Ana kubbe, kırk adet hafif tuğla kaburga tarafından taşınmaktadır ve aralarında kırk adet eğrisel yüzeyli ağ vardır. Bu eğrisel yüzeyli dolgu, özel hafif tuğlalardan oluşturulmuştur. Böylelikle kubbenin ağırlığı iyice hafifletilmiştir. Dışarıdan, aralarında küçük pencereler oluşturan, kırk adet birbirine yakın -1,10 metre aralıklı-tuğladan inşa edilmiş kısa kaburga tarafından desteklenmiştir. Bunların arasındaki pencereler kemerlidir. Bu pencereler, kaburgaların arasındaki tuğla dolguyla birlikte kubbe strüktürüne çok iyi bir destek oluşturmaktadır (Altın, 2010, s. 45).

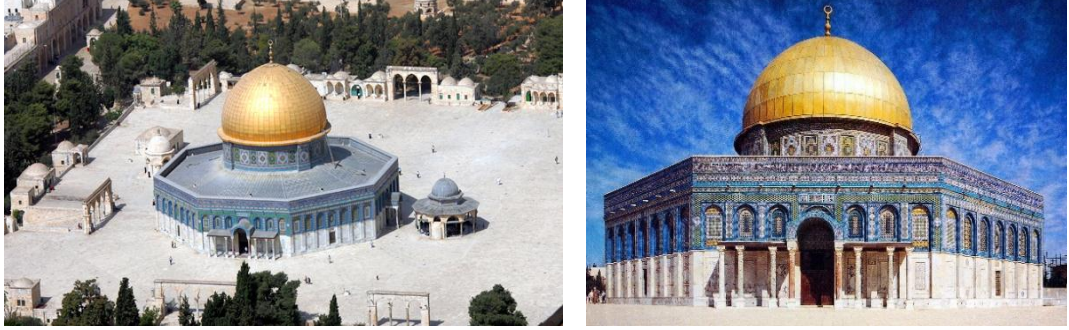
4.1.3 Kubbet-üs Sahra

Tablo 4.3 Kubbet-üs Sahra'ya ait bilgiler

Yapım Yeri	Küfus, İsrail
Yapım Yılı	691
Mimari Tasarım	Caliph Abd al-Malik İbn Marwan
Geçilen Açıklık	20 metre
Yapı Yüksekliği	34 metre
Taşıyıcı Sistem	Ahşap kaburgalı kubbe
Kaplama Malzemesi	Altın varak
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Dini yapı

Kubbet-üs Sahra İsrail'de bulunmaktadır. Tüm İslam Dünyası için en önemli dini yerlerden ve en etkileyici kubbeli binalarından biridir. 687-691 yılları arasında Caliph Abd al-Malik İbn Marwan tarafından inşa edilen ve Müslümanlar'a ait olan bu mabet, bir taçlandırma başarı örneği olan parlak, altından kubbesiyle Kudüs'te birçok noktadan görülebilmektedir (Tablo 4.3). Ancak, kubbe gerçekte altından yapılmış olsa da, zaman içerisinde birçok defa değiştirilmiştir. Önce alüminyum bir

kubbe kullanılmıştır. Bugün ise kubbe bakırdan yapılmıştır ve üzerinde altın varak bulunmaktadır (Uçak, 2012, s. 23) (Şekil 4.4).

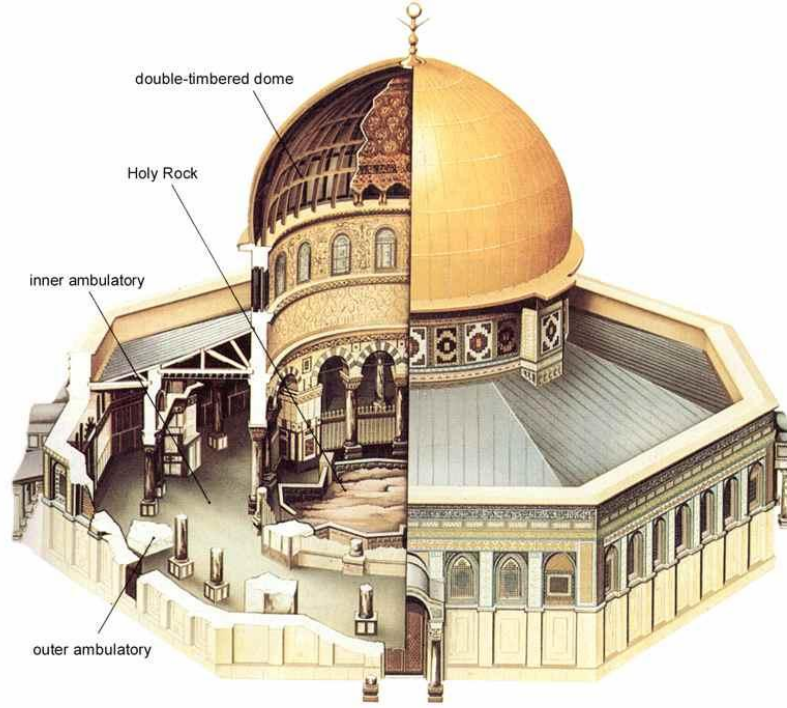


Şekil 4.4 Kübbet-Üs-Sahra'nın dış görünüşü (Dome of The Rock, b.t)

Bu bina Kudüs'te Müslümanlar ve Yahudiler tarafından kutsal kabul edilen (Muallak Taşı adı verilen) bir kaya üzerinde olup ortası kubbeli sekizgen bir binadır. Ortasında kutsal kayayı örten ahşap iskeletle yapılmış 20 metre çaplı bir kubbe bulunmaktadır (Şekil 4.5). Bu kubbe 16 pencere boşluğu ve sütun ihtiva eden bir silindirik davulumsu yapı üzerinde bulunmaktadır. Bu silindirik davulumsu yapı zeminden yükselen ve bir daire şeklinde yapılmış, aralarında 24 boşluk bulunan sütunlar üzerine oturmaktadır. Sütunlar arası boşluk ondokuzar metre eninde olup sütun yüksekliği 11 metredir. Binanın dış duvarlarının yüzeyleri porselen çiniden oluşmaktadır ve binanın sekizgen şeklini aksettirmektedirler. Hem dış duvarlar ve hem de davulumsu silindirik yapıda pencereler bulunmaktadır. Binanın iç yüzeyi ve kubbesi Kur'an sûreleri ve çeşitli motiflerle süslenmiştir. Duvarlar Kanuni Sultan Süleyman tarafından verilmiş olan çini karolarla kaplıdır (Şekil 4.6). Kubbenin altından bulunan zemin satışı Muallak Taşı denilen kayadan oluşmaktadır (Kübbet-Üs-Sahra, 2014).



Şekil 4.5 Kübbet-Üs-Sahra'nın iç görünüşü (Dome of The Rock, 2012)



Şekil 4.6 Kübbet-Üs-Sahra'ya ait kesit görüntüsü (Early middle ages, 2010)

4.1.4 Floransa Katedrali

Tablo 4.4 Floransa Katedrali'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	Floransa, İtalya
Yapım Yılı	1436
Mimari Tasarım	Arnolfo di Cambio-Filippo Brunelleschi
Geçilen Açıklık	42 metre
Yapı Yüksekliği	91 metre
Taşıyıcı Sistem	Kaburgalı tuğla kubbe
Kaplama Malzemesi	Kaburgaların arası tuğla
Plan Geometrisi	Sekizgen
Yapının İşlevi	Dini yapı

Floransa Katedrali 'Santa Maria del Fiore' adıyla da bilinmektedir. Katedral'in ilk mimarı Arnolfo di Cambio'dur. Ancak yapımı 140 yıl sürdüğü için birçok mimar değiştirmiştir. Katedralin kubbesini mimar ve heykeltıraş olan Filippo Brunelleschi tasarlamıştır. Bu nedenle Brunelleschi'nin kubbesi olarak adlandırılmaktadır. Kubbenin taşıyıcı sistemi kaburgalı kubbedir. Sekizgen bir mekânın üstünü örten kubbe, 42 metre açıklık geçmektedir (Tablo 4.4).

Floransa Katedrali'nin kubbesi içiçe iki katmandan oluşmaktadır. İç kubbe çapı genişletmek, dış kabuk yapısı ise dekoratif bir etki yaratmak ve kötü hava koşullarına karşı koruyucu bir katman görevi üstlenmek için inşa edilmiştir (Uçak, 2012, s. 24) (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Floransa Katedrali'nin dış ve iç görünüşü (Brunelleschi's Dome, b.t)

Muhteşem kubbe yapısı, kubbenin alt kısmından üst kısmına doğru derinliği gittikçe azalan yirmi dört adet taş kemer kaburgası ile desteklenmektedir. Nervürlü (şemsiye) sekizgen kubbesinin yüksekliği 91 metre, üzerindeki fenerle birlikte 114,5 metredir. Ayrıca kubbe açıklığı 42 metredir (Uçak, 2012, s. 24). Yapıldığı dönem itibariyle Roma'daki Pantheon'u geçerek dünyadaki en büyük açıklık geçen kubbeli yapısı olmuştur.

Floransa Katedrali'nin kubbesi, 8 parçalı bir manastır tonozu olarak kabul edilebilir. Dik bir kesite sahiptir. Yapım yöntemi Gotik tekniğe çok şey borçludur, çünkü dışarıdan görünen, köşedeki sekiz adet anal tuğla kaburga ile bunların arasındaki dışarıdan algılanmayan ikişer adet daha küçük kaburgayla inşa edilmiştir. Bu kaburgaların üzerinde kubbenin iki eşmerkezli tuğla kabuğa taşınmaktadır. Yani kubbe çift cidarlıdır. İnşa edilen en büyük tuğla kubbedir. Modern çağa kadar inşa edilmiş en büyük kubbe olarak kalmıştır (Altın, 2010, s. 48-49).

4.1.5 Süleymaniye Camii

Tablo 4.5 Süleymaniye Camii'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	İstanbul, Türkiye
Yapım Yılı	1557
Mimari Tasarım	Mimar Sinan
Geçilen Açıklık	27,5 metre
Yapı Yüksekliği	53 metre
Taşıyıcı Sistem	Yığma tuğla kubbe
Kaplama Malzemesi	Kurşun
Plan Geometrisi	Kare
Yapının İşlevi	Dini yapı

Süleymaniye Camii, Klasik Osmanlı mimarisinin en önemli örneklerinden biridir. Yapımından günümüze dek İstanbul'da yüzü aşkın deprem gerçekleşmesine karşın, caminin duvarlarında en ufak bir çatlak oluşmamıştır. Dört fil ayağı üzerine oturan caminin kubbesi 53 metre yüksekliğinde ve 27,5 metre çapındadır. Bu ana kubbe, Ayasofya'da da görüldüğü gibi, iki yarım kubbe ile desteklenmektedir (Süleymaniye camii, b.t) (Tablo 4.5) (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Süleymaniye Camii'ne ait dıştan ve içten görüntüler (Süleymaniye camii, b.t)

Kubbe 2 mm kalınlığında kurşun ile kaplı olup, kurşun altında yaklaşık olarak 7 cm kalınlığında bir sıva tabakası bulunmaktadır. Kubbe örgüsü tuğla ile oluşturulmuş olup tuğla kalınlığı 4-6 cm arasında değişmektedir. Ana kubbe yaklaşık olarak 30 metre açıklığındaki kemerlere mesnetlenmiş, kubbe mesnetlerinin düzlem dışına hareketini engellemek amacıyla kuzey-güney doğrultusunda 22,8 metre çaplı yarım kubbeler, doğu-batı ve radyal doğrultularda 6-9 metre aralıklarla payandalar düzenlenmiştir. Kubbenin pencere hizasından ve iç yüzeyine yakın olarak belirlenen dövme demir çemberler bulunmaktadır (Çılı, Çelik ve Sesigür, 2011, s. 38).

4.1.6 Aziz Vasil Katedrali

Tablo 4.6 Aziz Vasil Katedrali'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	Moskova, Rusya
Yapım Yılı	1561
Mimari Tasarım	İvan Vasiliyeviç
Geçilen Açıklık	-----
Yapı Yüksekliği	En fazla 47,5 metre
Taşıyıcı Sistem	Ahşap kaburgalı kubbe
Kaplama Malzemesi	Renkli metal levhalar
Plan Geometrisi	Sekizgen ve kare
Yapının İşlevi	Dini yapı

Aziz Vasili Katedrali, Moskova Kızıl Meydan'da bulunan soğana benzeyen rengârenk ve kubbemsi çatılarıyla ünlü bir katedraldir. 1555-1561 yılları arasında Rus Devleti'nin Kazan ve Astrahan hanlıklarına karşı kazandığı zaferleri kutlamak amacıyla Korkunç İvan tarafından yaptırılmıştır (Tablo 4.6). Değişik şekilde tasarlanmış olan sekiz kubbe, sekiz ayrı zaferi simgelemektedir (St Basil's Chatedral, 2013) (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Aziz Vasil Katedrali'nin dış ve iç görünüşleri ve planı (St Basil's Chatedral, 2013)

Aziz Vasil Katedrali'nin temeli aynı döneme ait diğer katedraller gibi beyaz taştan yapılmıştır. Bu binanın inşası için kullanılan önemli diğer malzeme ise bu dönemlerde yeni malzeme olan kırmızı tuğladır. Bu tuğla duvarlar, zemin ve birinci katlarda profesyonel çizim ve ölçüme sahiptir ama bina yükseldikçe ve sonraki aşamalarda inşaatın hızlandırılmasıyla birlikte diğer katlarda daha az düzenle yapılmıştır. 1954-1955 yılları arasında yapılan restorasyon çalışmaları sonunda bu pasif tuğla duvarların arkasında bu kilisenin tüm yüksekliğini çalıştıran bir ahşap çerçeve bulunduğu ortaya çıkmıştır. Birbirine özenle bağlı ince işçiliğe sahip bu çerçeve sistemi sonraki dönemlerde yapılan kiliselerde de kullanılmaktadır (St Basil's Chatedral, 2013).

4.1.7 Selimiye Camii

Tablo 4.7 Selimiye Camii'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	Edirne, Türkiye
Yapım Yılı	1574
Mimari Tasarım	Mimar Sinan
Geçilen Açıklık	31,22 metre
Yapı Yüksekliği	42,25 metre
Taşıyıcı Sistem	Yığma taş kubbe
Kaplama Malzemesi	Taş
Plan Geometrisi	Sekizgen
Yapının İşlevi	Dini yapı

Selimiye Camii, Edirne ilinin merkezinde bulunan ve yüksekliği 42,25 metre, çapı 31,22 metre olan muazzam kubbesiyle dikkat çeken Mimar Sinan'ın en ünlü eserlerinden biridir (Tablo 4.7). Büyük kubbe, 6 metre genişliğindeki kemerlerle birbirine bağlanan ve 8 adet fil ayağı denen dev sütunlar üzerine oturmaktadır. 31,22 metre çapında muazzam kubbenin ağırlığı 20000kN (2039 t) olup bu ağırlık, payanda 8 kemer ile karşılanmaktadır. Kubbe üzerindeki kurşunun ağırlığı 180 kN (18 t)'dur. Kubbenin ağırlığını fil ayaklarına aktarmada Türk üçgenleri kullanılmıştır (Şekil 4.10) (Uçak, 2012, s. 27).



Şekil 4.10 Selimiye Camii'nin genel görünüşü (Selimiye camii, 2009)

Kubbenin tabanında yani kubbe kasnağında, her bir fil ayağına denk gelen birer adet ve bunların arasında da dörder adet olmak üzere toplam 40 adet pencere vardır. Ayasofya'da da 40 adet pencere vardır ve Sinan bu kubbesiyle Ayasofya'ya eşdeğer kabul edilebilecek nitelikte inşa etmiş, ancak bunu çok daha sade ve yalın, üstelik daha stabil bir şekilde başarmıştır. Ayrıca tüm pencerelerde çift doğrama kullanarak yapının enerji ihtiyacını azaltmıştır (Altın, 2010, s. 57-58).

4.1.8 St. Peter Katedrali

Tablo 4.8 St. Peter Katedrali'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	Roma, İtalya
Yapım Yılı	1591
Mimari Tasarım	Michelangelo Buonarroti
Geçilen Açıklık	41,6 metre
Yapı Yüksekliği	117,6 metre
Taşıyıcı Sistem	Kaburgalı tuğla kubbe
Kaplama Malzemesi	Tuğla
Plan Geometrisi	Kare
Yapının İşlevi	Dini yapı

1546'da Michelangelo kubbenin yapımı görevini devralmıştır. Michelangelo, yunan haçı şeklinde tasarladığı kiliseyi gösterişli bir kubbeye taçlandırmıştır. Daha önce Bramante'nin orijinal tasarımında birtakım aksaklıklar vardı. Yapı çok fazla hacme ve yükseliğe sahipken, dev kubbeyi destekleyecek kütlesi çok azdı. Michelangelo bunu hissederek duvarları kalınlaştırmış, planda daha sıkı ve daha katı bir daire çevresi yaratmıştır. 1564'te Michelangelo'nun ölümünden sonra kubbenin ilerlemiş çalışmalarını devralan Ligorio, Vignola, Porta ve Domenico Fontana kubbeyi 1585-1590 yılları arasında tamamlamışlardır. Sonradan V. Paul tarafından Yunan haçı şeklindeki plan Latin haçına dönüştürülmüş ve günümüzdeki cephe yapıya eklenmiştir. Ancak kubbe tamamıyla Michelangelo'ya aittir ve 1591'de bitirilmiştir (Altın, 2010, s. 52-53) (Şekil 4.11) (Tablo 4.8).



Şekil 4.11 St. Peter Katedrali'nin dış ve iç görünüşü (St Peters Basilica Dome, b.t)

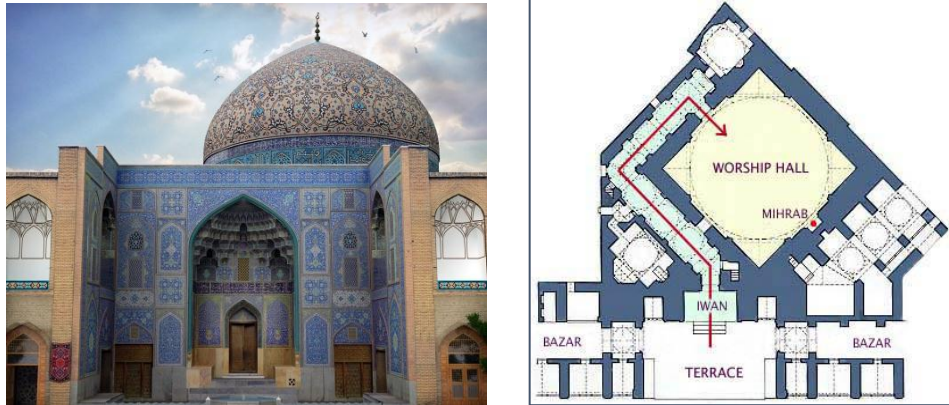
Tuğla ile oluşturulmuş çift cidarlı, demir zincirlerle destekli kubbenin çapı 41,6 metre ve yüksekliği döşeme kotundan 117,6 metredir (Altın, 2010, s. 51).

4.1.9 Şeyh Lütfullah Camii

Tablo 4.9 Şeyh Lütfullah Camii 'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	İsfahan, İran
Yapım Yılı	1619
Mimari Tasarım	Ustad Mohammad Reza Isfahani
Geçilen Açıklık	13 metre
Yapı Yüksekliği	32 metre
Taşıyıcı Sistem	Yığma tuğla kubbe
Kaplama Malzemesi	Firuze taşları
Plan Geometrisi	Kare
Yapının İşlevi	Dini yapı

İran'ın tarihi camilerinden olan Şeyh Lütfullah Camii'si İsfahan şehrinin merkezinde yer alan İmam Meydanı'nın (Nakş-ı Cihan), doğu tarafında yer almaktadır. Bu cami Şah Abbas tarafından kayınpederi Şeyh Lütfullah adına 17. Yüzyıl'da yaptırılmıştır. Caminin tasarımcısı Muhammed Rıza İsfahani'dir. Minaresiz ve avlusuz olarak yapılan bu caminin taşıyıcı sistemi yığma tuğladır. İlk yapıldığında cami olarak değil dini sohbetler, dersler ve kişisel ibadet amacı ile tasarlanmıştır (Tablo 4.9) (Şekil 4.12) (Fathalipour, b.t).



Şekil 4. 12 Şeyh Lütfullah Camii'nin dış görünüşü ve planı (Sheikh Lotfollah Mosque, 2004)

Bu camide yapılan kubbenin ağırlığı tromplar vesilesiyle kare şeklinde olan, kalınlığı 2 metreye ulaşan ve kubbenin oturduğu mekâna oluşturan duvarlara aktarılmaktadır. Bu kubbenin etrafına yerleştirilen pencereler ve gözenekler caminin aydınlatmasını sağlamakta olup, caminin iç alanına ayrı bir manevi atmosfer

kazandırmaktadır. Bu kubbe çok büyük olmamakla birlikte daha çok kullanılan süslemeleriyle önem taşımaktadır. Bu süslemelerde, mermer taşlar ve rengarenk fayanslar üzerinde geometrik motifler, çiçekler, tavuslar ve yazılan yazılar göze çarpmaktadır. Bu cami meydanda bulunan diğer binalarla tamamen uyumlu bir şekilde yer almaktadır (Şekil 4.13) (Fathalipour, b.t).



Şekil 4.13 Şeyh Lütfullah Cami'nin iç görünüşü (Sheikh Lotfollah Mosque, 2004)

4.1.10 Mescid-i İmam

Tablo 4.10 Mescid-i İmam'a ait bilgiler

Yapım Yeri	İsfahan, İran
Yapım Yılı	1619
Mimari Tasarım	Ustad Aliakbar Isfahani
Geçilen Açıklık	25 metre
Yapı Yüksekliği	53 metre
Taşıyıcı Sistem	Yığma tuğla kubbe
Kaplama Malzemesi	Yedi renkli mozaik çini
Plan Geometrisi	Kare
Yapının İşlevi	Dini yapı

Şah Camii, yeni adıyla İmam Camii, Dünya'nın en büyük meydanlarından biri olan İmam Meydanı'nın (Nakş-ı Cihan Meydanı) güney tarafında yer almaktadır. Yapımına 1611 yılında başlanmış olan cami 1619 yılında tamamlanmıştır. Geçilen açıklığı 25 metreye ulaşan bu caminin taşıyıcı sistemi yığma tuğladır ve aynı döneme ait diğer camilerde de kullanıldığı gibi bu camide de kubbenin yükü tromplar, fil ayağı ve kemerler yardımıyla kalın duvarlara aktarılmaktadır (The Royal Mosque, 2006) (Tablo 4.10).



Şekil 4.14 Mescid-İmam'ın dış ve iç görünüşleri (The Royal Mosque, 2006)

Bu caminin kubbesinin içinde ve dışında kullanılan yedi renkli mozaik çini süslemeler bu yapıyı İsfahan kentinin sembolü haline getirmiştir. Yapıda muhteşem bir akustik özellik bulunmaktadır. Kubbenin altında oluşan sesin 49 kez yansyarak her tarafa yayıldığı görülmektedir (The Royal Mosque, 2006) (Şekil 4.14).

4.1.11 Tac Mahal

Tablo 4.11 Tac Mahal'e ait bilgiler

Yapım Yeri	Agra, Hindistan
Yapım Yılı	1653
Mimari Tasarım	Mehmet İsa Efendi, Mimar İsmail Efendi
Geçilen Açıklık	17,7 metre
Yapı Yüksekliği	82 metre
Taşıyıcı Sistem	Yığma taş kubbe
Kaplama Malzemesi	Beyaz mermer taş
Plan Geometrisi	Sekizgen
Yapının İşlevi	Anıt, mezar

Tac Mahal, Hindistan'ın Agra şehrinde, 1632-1653 yılları arasında 22 yıllık bir sürede ve 20.000 kişi tarafından inşa edilmiştir. Mimar Sinan'ın öğrencilerinden Mehmet İsa Efendi ve Mehmet İsmail Efendi tarafından inşa edilmiş bu binanın taşıyıcı sistemi yığma kâgir olup malzemesi taştır. Tamamen beyaz mermerden yapılan ve yerden yüksekliği 82 metre olan kubbede geçilen açıklık 17,7 metredir. Her cephede 33 metre yüksekliğinde büyük bir merkez kemer bulunmaktadır (Tablo 4.11) (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Tac Mahal’a ait dış ve iç görünüşler (Taj Mahal, b.t)

İç mekânı örten 30 metre yüksekliğindeki alt kubbeyle üst kubbe arasında boş bir alan vardır. Akustik açıdan kubbesi, insan ağzından çıkan her sesin yedi kez yankılanarak yayılma özelliğine sahiptir. Tac Mahal’in süslemelerini oluşturan malzemeler arasında akik, sedef, firuze, zümrüt, yakut, pırlanta ve iri inciler yer almaktadır.

4.1.12 St. Paul Katedrali

Tablo 4.12 St. Paul Katedrali’ne ait bilgiler

Yapım Yeri	Londra, İngiltere
Yapım Yılı	1710
Mimari Tasarım	Sir Christopher Wren
Geçilen Açıklık	30,7 metre
Yapı Yüksekliği	67,33 metre
Taşıyıcı Sistem	Kaburgalı tuğla kubbe
Kaplama Malzemesi	Kurşun ve ahşap
Plan Geometrisi	Sekizgen
Yapının İşlevi	Dini yapı

“St. Paul Katedrali Geç Rönesans/ Brok stili bir yapıdır. Ana strüktürü Dorset’ten getirilen Portland taşıdır. İngiltere’deki en büyük katedral olan St. Paul, Sir Christopher Wren’in büyük yapıtıdır. Bu tasarımla Wren, İngiliz mimarlığına yeni formlar ve mimari kombinasyonlardan oluşan bir repertuar getirmiştir” (Altın, 2010, s. 61) (Tablo 4.12).



Şekil 4.16 St. Paul Katedrali'ne ait dış ve iç görünüş (St Paul's Dome, b.t)

Merkezi kubbe, 8 düşey kaburga ile taşınmaktadır. Tuğladan yapılmış iki cidar ve bir de kurşun ve ahşap levhadan oluşan bir kabuk olmak üzere toplam üç cidardan oluşturulmuştur: Bu cidarlardan en içte olanı tuğladan yapılmış bir kabuktur. Kilit taşı yerine kullanılan ve basınç çemberi olarak görev yapan çatı feneri desteklemek için tuğladan i bir kabuk yapılmıştır. En üstte yer alan ve dışarıdan da görülebilen katedralin toplam büyüklüğüyle orantılı ahşap ve kurşun levhadan oluşturulmuş son bir dış kabuk bulunmaktadır. Kubbe 8 kolon üzerinde taşınmaktadır. Bu kolonların dördü bir Latin haçını simgelemektedir (Roth, 2000, s. 153). Wren, kubbe kasnağındaki büyük yük ve itme kuvveti problemini ilginç bir şekilde çözmüştür. Kubbe kasnağında bir kolon sırası oluşturmuş, içteki tuğla koninin tabanı etrafındaki büyük Portland taşının içine masif demir zincirler yerleştirilmiştir (Bishop, 1938, s. 56). Böylelikle itme kuvvetlerini bir çeşit betonarme mantığı ile karşılamıştır. Burada betonarme betonu yerine kullanılan Portland taşı basınç kuvvetlerini karşılarken, demir donatı yerine kullanılan masif demir zincirler ise çekme kuvvetini karşılamaktadır (Altın, 2010, s. 62). Yani bu kubbe için, 'yığma bir kubbe' demek yerine, bu tez kapsamında 'kaburgalı kubbe' olarak değerlendirmek daha doğru olacaktır (Şekil 4.16).

4.1.13 Capitol Dome (Beyaz Saray Kubbesi)

Tablo 4.13 Capitol Dome’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Washington, A.B.D.
Yapım Yılı	1865
Mimari Tasarım	Thomas U. Walter
Geçilen Açıklık	29 metre
Yapı Yüksekliği	88 metre
Taşıyıcı Sistem	Kaburgalı dökme demir kubbe
Kaplama Malzemesi	Bakır
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Kongre binası

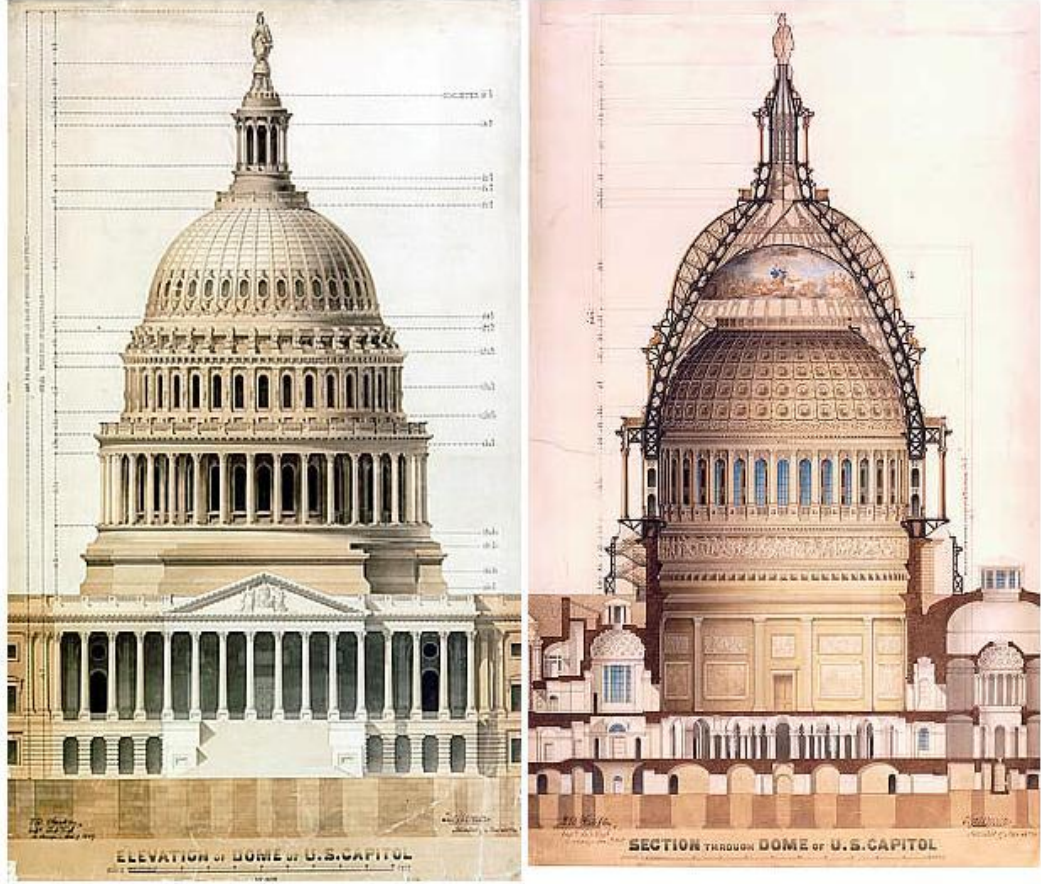
A.B.D.’nin en büyük kubbelerinden biri olan Capitol Dome, Washington DC şehrin en önemli siyasi binası olan Beyaz Saray’da yer almaktadır. George Washington tarafından 1793 yılında temeli atılan bu bina ve kubbesi inşasından sonra çok kez değiştirilmiş ve restore edilmiştir. Bu binanın ilk kubbesi 1824 yılında Bostonlu mimar Charles Bulfinch tarafından yapılmış, kubbeye yangın tehlikesine karşı sürekli onarım ihtiyacı bulunduğundan 1855 yılında, Philadelphia’lı mimar Thomas U. Walter tarafından daha büyük ve daha iyi yanmaz bir kubbe ile eski kubbenin değiştirilmesinin istenmesi sonucunda bu mimar çift kabuklu bir kubbe tasarlamıştır (Şekil 4.17) (Kapitol, 2000).



Şekil 4.17 Capitol Dome’a ait dış ve iç görünüş (Kapitol, 2000)

Kubbenin geçtiği açıklık 29 metre olup, dairesel bir mekânı örtmektedir. Binanın yüksekliği 88 metredir. Taşıyıcı sistemi dökme demir kaburgalardan oluşmaktadır. Dış kabuk yüksekliği içte yer alan kubbeden daha fazla olan bu çift kubbe 36 adet kavisli demir kaburga ve bir halka tarafından desteklenmektedir.

Taştan yapılmış gibi görünen iç kubbe de aslında her parçası dökme demirden yapılmıştır. Bu kubbe 1863'te kullanıma açılmıştır ve günümüze kadar da kullanılmaktadır. Kubbenin yüzeyi bakırla kaplanmıştır (Tablo 4.13) (Şekil 4.18) (Kapitol, 2000).



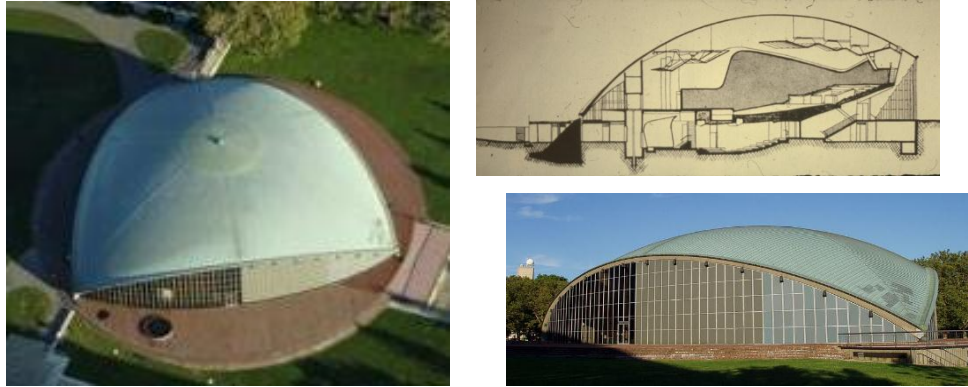
Şekil 4.18 Capitol Dome'a ait kesit ve görünüş (Kapitol, 2000)

4.1.14 Kresge Oditoryumu

Tablo 4.14 Kresge Oditoryumu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Kembriç, A.B.D.
Yapım Yılı	1955
Mimari Tasarım	Eero Saarinen
Geçilen Açıklık	34 metre
Yapı Yüksekliği	18,6 metre
Taşıyıcı Sistem	Betonarme kabuk kubbe
Kaplama Malzemesi	Bakır levhalar, cam
Plan Geometrisi	Üçgen benzer
Yapının İşlevi	Oditoryum

1955 yılında yapımı biten bu yapı, üçgene benzer bir plan oluşturacak şekilde, küreden üç jeodezik yayla kesilmiş bir basık kubbedir. Üç noktadan temellere mafsallı olarak mesnetlenen bu küre kapağı, 34 metre yarıçapındaki bir tam kürenin sekizde birlik ($1/8$ lik) bir parçasıdır. Mesnetler arasında yer alan 18,6 metre yüksekliğindeki kemerli boşluklar, düşeyde cam yüzeyli ve planda eğriseldir. Mesnetler arasındaki serbest açıklık ise 48 metredir (Tablo 4.14) (Sungur, 2005, s. 39).



Şekil 4.19 Kresge Oditoryumu, 1955, Kembriç, A.B.D. (Kresge Auditorium, b.t)

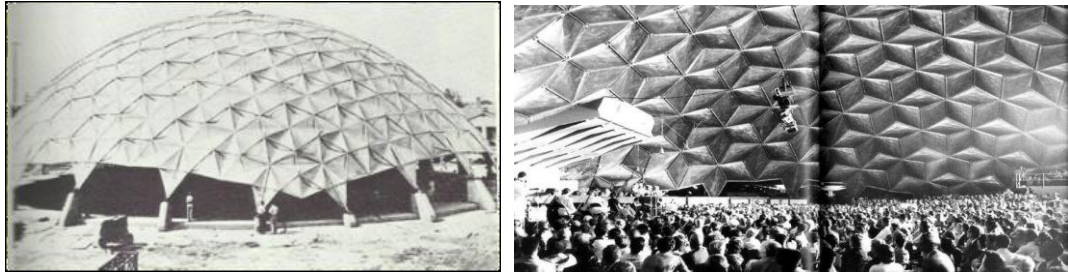
Tepede yaklaşık olarak 8 cm olan betonarme kabuk kalınlığı, mesnetlerdeki gerilme yığılmalarını karşılaması için üç mesnette 50 cm' ye kadar artırılmış, hatta çok kalınlaşan bu mesnetlerde çelik donatı yerine çelik profiller kullanılmıştır. İlk yapıldığı durumda betonla kaplı olarak bırakılmış olan kabuğun dış yüzeyi, sonradan kabuğun üzerine çakılan çitalara tutturulan bakır levhalarla kaplanarak, çatının yalıtım özelliğinin artırılması yoluna gidilmiştir (Şekil 4.19) (Sungur, 2005, s. 39).

4.1.15 Kaiser Aluminum Dome

Tablo 4.15 Kaiser Aluminum Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Hawaii,
Yapım Yılı	1957
Mimari Tasarım	D. Richter
Geçilen Açıklık	44 metre
Yapı Yüksekliği	15 metre
Taşıyıcı Sistem	Alüminyum jeodezik kabuk kubbe
Kaplama Malzemesi	Alüminyum paneller
Plan Geometrisi	Beşgen
Yapının İşlevi	Çok amaçlı salon

1957 yılında Hawaii, Honolulu'da, Kaiser Alüminyum Şirketi, ilk olarak gerilmiş yüzeyli alüminyum bir kubbe yapılmıştır (Tablo 4.15). Bu kubbenin strüktürel avantajları düşük maliyet, hızlı montaj ve yüksek yapısal güçtür. Bu kubbe elmas formundaki panellerden oluşmaktadır. Bu paneller sertleştirilmiş kenar ve çapraz destekler ile birlikte üretilmiştir. Bu modüller jeodezik kubbenin yüzeyi ile strüktürel sistemini birleştirmiştir (Moore, 1999, s. 70; Sungur, 2005, s. 106) (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Kaiser Aluminum Dome'un dış ve iç görünüşü (Kaiser Aluminum Dome, b.t)

Bu kubbe, yarımküre kubbeden daha küçük bir boyuttadır. Beş noktadan zemine bağlı ve desteklenmiştir. Kubbenin çapı 44 metredir. On değişik boyutta 575 panelden oluşmaktadır. Merkeze yerleştirilen geçici bir dikme kubbenin inşası sırasında strüktürel sistemin en önemli taşıyıcısı olmuştur. Bu taşıyıcının yardımıyla kubbenin inşası tepe noktasından başlayıp, zemine doğru yapılmış ve yerde daha önce oluşturulan temellere bağlanmıştır. Bu temeller kubbenin esas taşıyıcısı olmuştur (Moore, 1999, s. 70; Sungur, 2005, s. 106).

4.1.16 Palazzetto dello Sport (Küçük Spor Sarayı)

Tablo 4.16 Palazzetto dello Sport’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Roma, İtalya
Yapım Yılı	1957
Mimari Tasarım	Pier Luigi Nervi
Geçilen Açıklık	60 metre
Yapı Yüksekliği	21 metre
Taşıyıcı Sistem	Betonarme lamella kabuk kubbe
Kaplama Malzemesi	Beton
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Spor salonu

Palazzetto dello Sport, Nervi’nin 1957 yılında İtalya’da inşa edilen ince beton malzemeli kabuk kubbeli ikinci büyük yapısı olup, dairesel bir mekânı örtmektedir. Yaklaşık olarak 60 metre açıklığı olan kabuğun geometrisi basık bir küre kapağıdır (Tablo 4.21). Mesnet elemanlarıyla kabuk arasında, katlanmış plaklara benzeyen geçiş elemanlarından bir ara bölge oluşturulmuştur (Sungur, 2005).



Şekil 4.21 Palazzetto dello Sport’a ait dış ve iç görünüşler (Palazzetto dello Sport, 2013)

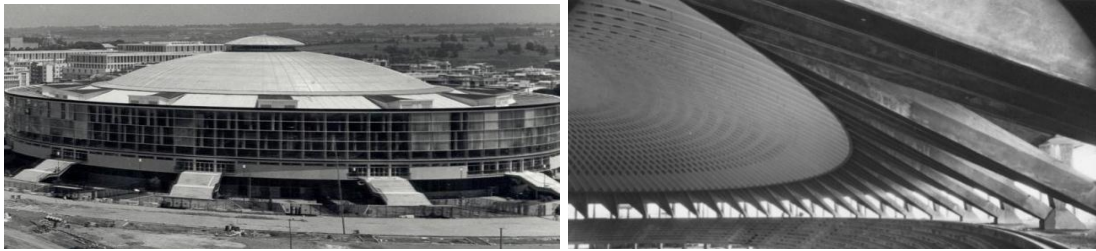
Kabuğun salona bakan iç yüzünde baklava dilimi şeklinde kesişen 1620 tane nervür yer almaktadır. Bu elemanların üzerinde ince bir beton tabakası vardır. 124 yılında Pantheon’un tasarımcısı tarafından uygulanan aynı ilkenin izlemesiyle yapılmış olan bu nervürler, kabuğun dolu bir kubbeye oranla daha rijit ve daha hafif olmasını sağlamaktadır. İnce kabuklarda söz konusu olan burkulma problemi bu şekilde aşılmıştır. Kabuğun merkezindeki basınç çemberi, hem doğal aydınlatma için hem de ısıtılma tesisatının asılması için kullanılmaktadır (Şekil 4.21) (Sungur, 2005, s. 40).

4.1.17 Palazzo dello Sport (Büyük Spor Sarayı)

Tablo 4.17 Palazzo dello Sport’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Roma, İtalya
Yapım Yılı	1960
Mimari Tasarım	Pier Luigi Nervi
Geçilen Açıklık	100 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Betonarme lamella kabuk kubbe
Kaplama Malzemesi	-----
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Spor salonu

Nervi’nin 1960’daki Roma Olimpiyat Oyunları için tasarladığı ve 1959 yılında inşaatı tamamlanan betonarme malzemeli kabuk kubbenin açıklığı 100 metredir. Betonarme lamella kabuk kubbe şeklinde inşa edilen bu kabuğun geometrisi basık küre kapağıdır. Altındaki mekân ise dairesel geometriye sahiptir (Tablo 4.17).



Şekil 4.22 Palazzo dello Sport’un dış ve iç görünüşü (Palazzo Dome, 2012)

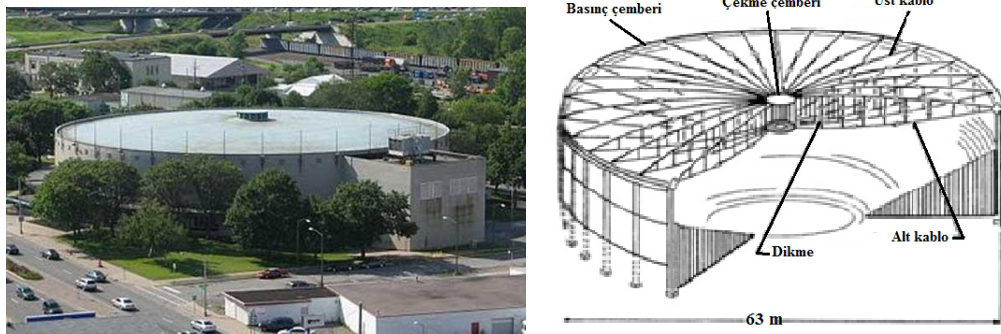
Ancak Palazzetto dello Sport’un dış görünümü biçim-strüktür bütünleşmesini açık bir şekilde yansıtırken, Palazzo dello Sport’tan farklı olarak burada, kabukla giydirmeye cephinin içine saklanmıştır. Küçük Spor Sarayı’ndan farklı olarak burada, kabukla kolonlar arasındaki dalgalı geçiş bölümü kalkmış ve kubbeyi dış çekme çemberinde destekleyen kolonlar içe alınarak üçgen plaklar şeklinde yapılmıştır. Kubbenin alt yüzeyinde boylam doğrultusunda yerleştirilmiş V şeklinde prefabrik elemanlar, dış çekme çemberine oturmaktadır (Sungur, 2005, s. 40) (Şekil 4.22).

4.1.18 Utica Oditoryumu

Tablo 4.18 Utica Oditoryumu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	New York, A.B.D
Yapım Yılı	1960
Mimari Tasarım	Lev Letlin ve ortakları
Geçilen Açıklık	63 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Çift tabakalı kablo sistem
Kaplama Malzemesi	-----
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Oditoryum

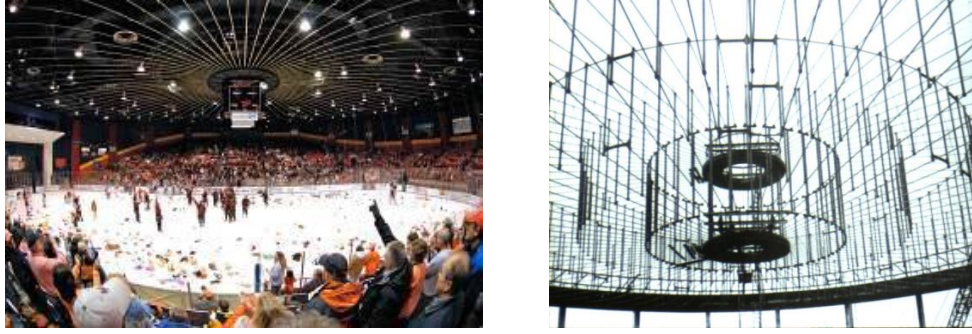
Utica Oditoryum'u 1960 yılında Utica, New York'ta inşa edilmiştir. Strüktür mühendisleri Lev Letlin ve ortaklarıdır. Çatı, bisiklet tekerleği şeklindeki bir strüktür sistem ile inşa edilmiş olup, çapı 63 metredir. Çatının örttüğü mekânın plan geometrisi daire şeklindedir (Tablo 4.18). Utica Oditoryumu, çift kablolu asma strüktürel sistemlere bir örnektir. Çelik kabloları, paralel bir şekilde yerleştirmenin en büyük dezavantajı sistemde oluşacak yatay itme kuvvetini asma çelik kablolar ile dengelemektir. Dairesel bir düzlemde oluşan itme kuvvetlerini ise basınç çemberi ile dengelemek mümkündür (Moore, 1999, s. 146).



Şekil 4.23 Utica Oditoryumu'nun dış görünüşü ve sistemin taşıyıcı elemanları (Utica Auditorium, b.t)

Sistem radyal asma kablolar ile taşınmaktadır. Kubbenin dışında yer alan 63 metre çapa sahip betonarme basınç çemberi ile iç kısmında yer alan çekme çemberinin alt kısmına bağlı radyal kablolar, sistemin yerçekimi kuvvetine karşı dengede kalmasını sağlamaktadır (Şekil 4.23). Aynı şekilde kubbeyi yukarı doğru

kaldırarak olan kuvvetler, basınç çemberi ile çekme çemberinin üst kısmına bağlanmış olan radyal kablolar ile dengelenmektedir. Bu iki ayrı kuvvete karşı direnç radyal kabloların iki ayrı çekme çemberine bağlanmasıyla sağlanmaktadır. Bu çemberler birbirlerine düşey desteklerle bağlanmışlardır. Basınç çember çevresinde yer alan kolonlar tarafından taşınmaktadır (Şekil 4.24) (Moore, 1999, s. 146).



Şekil 4.24 Utic Oditoryumu'nun iç görünüşü (Utica Auditorium, b.t)

4.1.19 Missouri Botanik Bahçesi

Tablo 4.19 Missouri Botanik Bahçesi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	St. Louis, A.B.D.
Yapım Yılı	1961
Mimari Tasarım	Murphy ve Mackey
Geçilen Açıklık	53 metre
Yapı Yüksekliği	21 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe
Kaplama Malzemesi	Alüminyum, akrilik paneller, cam
Plan Geometrisi	Beşgen
Yapının İşlevi	Botanik bahçesi

1961 yılında St. Louis'de yapılmış olan bu yapı Murphy ve Mackey adındaki mimarlar tarafından inşa edilmiştir. Strüktürel hesaplamaları Synergetics şirketi tarafından yapılmıştır. Yapı, kürenin dörtte biri boyutunda botanik bahçesidir. Geçilen açıklık 53 metredir (Tablo 4.19). Missouri'deki bütün bitki çeşitleri bu yapıda bulunmaktadır. Strüktürel sistem, çift katmanlı uzay kafes sistemden oluşmaktadır. Bu sistem altıgen bir kalıp içerisinde yerleştirilmiş olan alüminyum tüplerin, üçgen düzen içerisindeki çelik kablolarla dengede tutulmasıyla oluşturulmuştur (Moore, 1999, s. 71).



Şekil 4.25 Missouri Botanik Bahçesi'nin dış görünüşleri (The Climatron, 2013)

Kubbe, betonarme ayaklarla beş noktadan desteklenmektedir. Yapı, 21 metrelik bir yüksekliği sahiptir. Akrilik kaplama yüzey, kafesin altında yer alan ve kubbenin taşınmasında strüktürel olarak hiçbir etkinliği olmayan, üçgensel bir düzen içerisinde yerleştirilmiş alüminyum tübüler elemanların çelik kablolarla desteklenmesiyle kubbe yüzeyine asılı durmaktadır. Kubbenin iç yüzeyine asılı duran 3.625 tane akrilik panel zaman içerisinde bozulmuştur. Yerlerine strüktürel kafesin geometrik yüzeyi ile denk düşebilecek altıgen cam paneller kullanılmıştır (Şekil 4.25) (Moore, 1999, s. 71).

4.1.20 Illini Hall

Tablo 4.20 Illini Hall'e ait bilgiler

Yapım Yeri	Urbana, Champaign, A. B. D.
Yapım Yılı	1963
Mimari Tasarım	Harrison ve Abramovitz
Geçilen Açıklık	122 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Betonarme katlanmış plak kubbe
Kaplama Malzemesi	Betonarme
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Çok amaçlı salon

Katlanmış plak sistemlere örnek, A.B.D.'de 1963 yılında yapımı tamamlanan Illini Hall çok amaçlı salon olarak tasarlanmıştır. Harrison ve Abramovitz tarafından tasarlanan yapının kubbesi 122 metre açıklık geçebilmektedir. Dairesel bir mekânı örten kubbenin taşıyıcı sistemi betonarme katlanmış plak kubbedir. Dolayısıyla kaplama malzemesi de betonarme plağın dış yüzüdür (Tablo 4.20). Çok amaçlı salonda 16.000 seyirci oturmaktadır.



Şekil 4.26 İllini Hall'e ait dış ve iç görünüşler (Illini Hall, 2006)

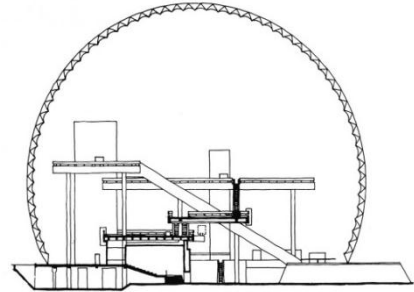
Büyük bir çanak görünümündeki salonun 122 metre çapındaki kubbesi, burkulmayı önlemek için katlanmış plak biçiminde yapılmıştır. Betonarme katlanmış plağın kalınlığı ortalama 8,7 cm'dir. Kubbenin tepesinde bir adet basınç çemberi bulunmaktadır. Kubbe, çevresinde bulunan ve dışa doğru olan itkileri karşılayan bir adet çekme halkası üzerinde durmaktadır. Tribünleri taşıyan çanak şeklindeki benzer biçiminde katlanmış plaklar, aynı zamanda çevre lobisinin tavanını oluşturulmaktadır. Bu çanağın üst ucunda oluşan dışa doğru itkiler, gene çevredeki bir adet çekme halkası tarafından karşılanmaktadır. Çanak biçimindeki katlanmış plağın taşıyıcı sistemi, yükleri içe doğru temellere aktarmaktadır. Temellerde oluşacak içe doğru yatay itkiler ise dairesel basınç halkası temeller tarafından karşılanmaktadır. Plakların birleşim yerlerinde sürekli rijit bağlantıları sağlamak üzere çelik pimler kullanılmıştır (Şekil 4.26) (Sungur, 2005, s. 25).

4.1.21 Amerikan Pavyonu, Expo 67

Tablo 4.21 Expo 67, Amerikan Pavyonu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Montreal, Kanada
Yapım Yılı	1967
Mimari Tasarım	B. M. Fuller
Geçilen Açıklık	76 metre
Yapı Yüksekliği	60,8 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe
Kaplama Malzemesi	Pleksiglas akrilik paneller
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Sergi alanı

1967 yılında Montreal Dünya Fuarı için tasarladığı Amerikan Pavyonu'nda B. M. Fuller hem geçici hem de hafif bir yapı tasarlamak istemiş ve böylece taşıyıcı sistemi çift katlı uzay kafes strüktür olan bir jeodezik kubbe yaratmıştır. Ayrıca kaplama malzemesi olarak Pleksiglas akrilik paneller kullanmış, böylece hem hafiflik hem de şeffaflık yönünde kazanımlar elde etmiştir (Tablo 4.21) (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Amerikan Pavyonu'nun dış görünüşü ve kesiti (Stanton, 1997)

Diğer tüm kubbelerinde olduğu gibi strüktürü, çelik borular ve düğüm noktalarıyla imal edilmiş uzay kafeslerle tasarlayan B. M. Fuller, A.B.D.'nin Dünya Sergisi arazisi üzerinde 20 kat yüksekliğe çıkan, 76 metre çapında küresel bir pavyon tasarlamıştır. Tamamen akrilik panellerle kaplanan strüktürün mekân içi ısı ve ışık denetimi ise, güneş ışınlarının doğrultusuna göre hareket eden gölgeleme elemanları ile sağlanmıştır (Vardar Öz, 2012).

A.B.D. Pavyonu, yürüyen merdivenler ve rampalar ile bağlanan farklı kotlardaki çoklu sergi platformlarını kapsayacak şekilde planlandı. Pavyonun en rağbet gören gösterilerinden biri ise, 38 metre uzunluğundaki yürüyen merdiven ile ulaşılan, ay peyzajının simüle edildiği ve 1/1 ölçekli uzay aracı maketlerinin sergilendiği sergi oldu (Şekil 4.28). Expo'nun sona ermesi ile birlikte Fuller'in jeodezik kubbesi, ABD tarafından Montreal'e hediye edildi ve "Montreal Biosphere" adını aldı. İlk olarak botanik işlevini üstlenen yapı, 1976 yılındaki yenilemesi sırasında çıkan yangın nedeniyle uzunca bir süre kapalı kaldı (Şekil 4.28) (Moore, 1999, s. 72).



Şekil 4.28 A.B.D. Pavyonu'nun, yürüyen merdiveni ve pavyonda çıkan yangını (A Fuller vision for the future: Buckminster Fuller exhibit at the MCA, 2009)

1990 senesinde Environment Canada isimli çevre örgütünün satın alması ile Montreal Biosphere, "Kanada göllerini, özellikle de St. Lawrence Nehri eko-sistemini incelemeye adanmış" bir eko-müzeye dönüştürüldü. Fuller'in özgün planlarına dayandırılarak Eric Gauthier tarafından yenilenen yapı, 1995'te yeniden ziyarete açılmıştır (Şekil 4.29) (Moore, 1999, s. 73).



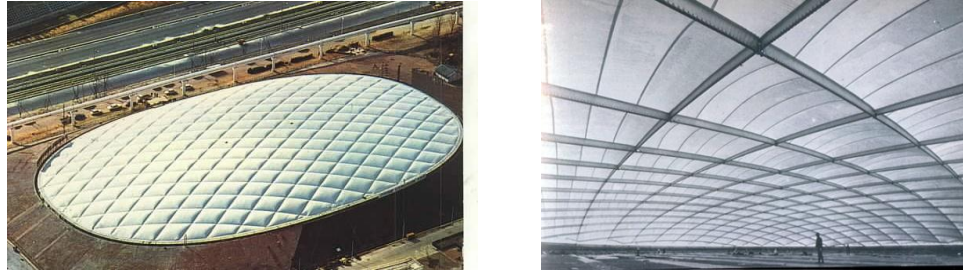
Şekil 4.29 Amerikan Pavyonu'nun, yenilenen yapısının şekli (The Pavilion wars, 2009)

4.1.22 Amerikan Pavyonu, Expo 70

Tablo 4.22 Expo 70, Amerikan Pavyonu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Osaka, Japonya
Yapım Yılı	1970
Mimari Tasarım	Davies, Brody ve ortakları
Geçilen Açıklık	142 metre uzunluğu ve 83,5 metre genişliği
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Kablo takviyeli hava destekli pnömatik kubbe
Kaplama Malzemesi	Vinil kaplama fiberglas membran
Plan Geometrisi	Oval (elips ile dikdörtgen arasında)
Yapının İşlevi	Sergi alanı

Bu yapı, 142 metre uzunluğunda ve 83,5 metre genişliğinde oval bir alanı örten hava destekli, kablolarla güçlendirilmiş çok basık bir geometriye sahip şişirme sistemdir. Yapının böyle bir basık geometriye sahip olması, depremlere ve saatte 200 km hızla esecek rüzgarlara karşı dayanıklı olmasına olanak sağlamaktadır. Çatı membranı, üzeri vinil kaplama yapılmış cam liflerinden oluşmaktadır (Tablo 4.22) (Sungur, 2005, s. 88).



Şekil 4.30 A.B.D. Pavyonu'nun dış ve iç görünüşü (US Pavilion Expo 70, b.t)

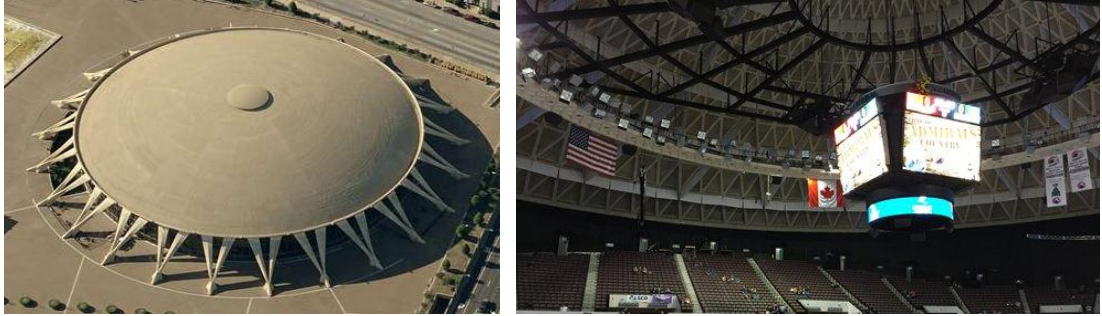
Kabloların baklava biçimi modelinde düzenlenmesi, çelikte %25 tasarruf sağlamış, halkadaki kablo ek parçalarının sayısını azaltmış ve öteki seçeneklere oranla daha iyi bir aerodinamik kesit sağlamıştır (Şekil 4.30). Membran yatay itkileri, çevredeki bir basınç halkası (betonarme basınç kirişi) ile karşılanmıştır. Bu basınç halkası, 1,2 metre yüksekliğinde ve 3,5 metre genişliğinde bir kesite sahiptir ve bir beton temele oturmaktadır. Takviye kablolarının baklava biçiminde düzenlenmesi sayesinde basınç halkasının biçimi, iç basınç ve yerçekimi yükleri gibi düzgün yayılı yüklerden ötürü funiküler (ip eğrisi) olmaktadır; böylelikle basınç halkasında eğilme momenti oluşmaz, sadece basınç gerilmeleri ortaya çıkar (Sungur, 2005, s. 89).

4.1.23 Norfolk Scope

Tablo 4.23 Norfolk Scope'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Norfolk, Virginia, A.B.D.
Yapım Yılı	1971
Mimari Tasarım	Pier Luigi Nervi, Williams ve Tazewell
Geçilen Açıklık	134 metre
Yapı Yüksekliği	33,5 metre
Taşıyıcı Sistem	Betonarme lamella kabuk kubbe
Kaplama Malzemesi	Betonarme
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Çok amaçlı salon

Norfolk Scope, A.B.D.'nin Virginia Eyaleti'nde, 1971 yılında inşa edilmiş olup Pier Luigi Nervi tarafından dairesel planlı çok amaçlı salon olarak tasarlanmıştır. Norfolk Scope'un kubbesi betonarme malzemeden oluşmuş olup lamella kabuk kubbe şeklindedir. Kubbenin geçtiği en büyük açıklık 134 metre, yüksekliği ise 33,5 metredir (Tablo 423).



Şekil 4.31 Norfolk Scope'a ait dış ve iç görünüş (Norfolk Virginia, 2002)

24 adet uçan payanda tarafından kubbenin ağırlığı zemine aktarılmaktadır. Payandaların gerilimi toprak altında yer alan 24 adet dikey kolon tarafından sağlanmaktadır (Şekil 4.31).

4.1.24 The South Pole Dome (Güney Kutup Kubbesi)

Tablo 4.24 The South Pole Dome’a ait bilgiler

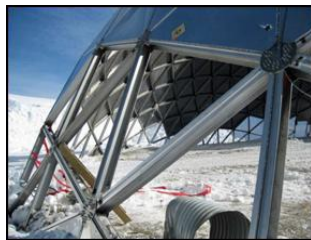
Yapım Yeri	Antartika
Yapım Yılı	1973
Mimari Tasarım	TEMCOR firması
Geçilen Açıklık	50 metre
Yapı Yüksekliği	16 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe
Kaplama Malzemesi	Alüminyum
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Araştırma istasyonu

TEMCOR firması tarafından tasarlanan The South Pole Dome, 1973 yılında Antartika’da inşa edilmiştir. Kubbenin geçtiği açıklık 50 metre olup yüksekliği 16 metredir. Çelik çubuk ağlarıyla oluşturulan jeodezik kubbenin kaplama malzemesi alüminyum panellerdir (Tablo 4.24) (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 The South Pole Dome’un dış ve iç görünüşü (South Pole Station, 2008)

Kubbenin yapımında 3 metre uzunluğundaki alüminyum çubuk elemanlarda, 152 mm I profil ve 35 cm çapında dairesel alüminyum plakalar kullanılmıştır. Düğüm noktaları ve mesnet bölgelerinde bulonlu birleşim uygulanmıştır. Yapının montajında, merkezi bir kule ve bileşenleri kaldırmak için vinç kullanılmıştır (Şekil 4.33) (Vardar Öz, 2012, s. 122).



Şekil 4.33 The South Pole Dome’un düğüm noktaları ve yapının montajı (Vardar Öz, 2012)

4.1.25 Silver Dome

Tablo 4.25 Silver Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Ponatiac, Michigan, A.B.D.
Yapım Yılı	1975
Mimari Tasarım	O'Dell-Hewlett ve Luckenbach
Geçilen Açıklık	228 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Kablo takviyeli hava destekli pnömatik kubbe
Kaplama Malzemesi	Teflon kaplı fiberglas membran
Plan Geometrisi	Sekizgen
Yapının İşlevi	Spor salonu

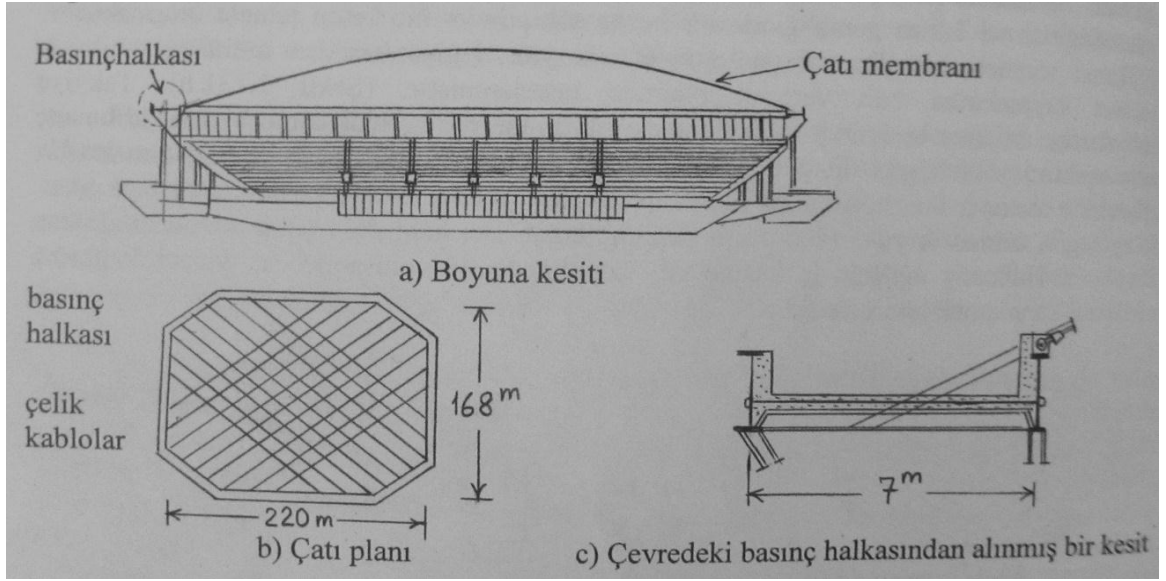
Michigan'da inşa edilen Silver Dome, Osaka'daki Expo 70'de inşa edilen A.B.D. Pavyonu'nun sistem özelliklerinin çoğuna sahiptir. Hava-destekli (tek tabaklı) pnömatik çatı, basık geometrili bir şişirme sistem olup, baklava-biçimi modelinde destek kabloları ve bir çevre halkası tarafından desteklenmektedir. Çatı 220 metre uzunluğunda ve 168 metre genişliğindedir (Şekil 4.35-b). En büyük açıklık 228 metre olup bir kablo 8 ton ağırlığındadır. Kablo çapı 1,69 cm olup, çatı membran ağırlığı toplam 50 ton civarındadır. Çatı membranı, teflon kaplamalı cam lifli (fiberglas) bezdir. Bu kaplama türü, Expo 70 A.B.D. Pavyonu'nda vinil kaplama beze göre epeyce geliştirilmiş olup güneşe karşı daha dayanıklı ve kir tutmayı en aza indiren bir yüzeye sahiptir (Tablo 4.25) (Şekil 4.34) (Sungur, 2005, s. 89-90; Türkçü, 2009, s. 273).



Şekil 4.34 Silver Dome'un dış ve iç görünüşü (Silver Dome, 2009)

Pnömatik çatıyı ters yönde destekleyen kablolar, köşeleri kesilerek sekizgene dönüştürülmüş bir dikdörtgen planın köşegenleri doğrultusunda yer almaktadır.

Çevre halkası, düzensiz bir sekizgen olması dolayısıyla, simetrik yükleme altında bile eğilme momentleri etkisi altındadır ve sürekli kemerden çok bir kiriş gibi davranmaktadır. Bu çevre halkası kirişi, kompozit H kesitli olup betonarme ve çelik profillerden oluşmaktadır (Şekil 4.25-c). Çevre halkası, bir ucundan çelik kolonlara ve öteki ucundan da eğik dikmelere mesnetleşmiştir. Bu basınç halkasına, membran içinden geçen ve şişirme sistemin basırlığını sağlayan destek kabloları bağlanmaktadır (Sungur, 2005, s. 89-90).



Şekil 4.35 Silver Dome Stadyumu (Sungur, 2005, s. 90)

Çatıda, çevre halkasına birleşen 75 mm çapındaki çelik destek kabloları ile oluşturulmuş 100 tane panel bulunmaktadır. Montajda hızlı vinçler ve bir helikopter kullanılmıştır. İç basıncın aniden kaybedilmesini önlemek amacıyla, yapının giriş ve çıkışlarında çift kapı sistemi kullanılmıştır (Sungur, 2005, s. 90).

4.1.26 King Dome

Tablo 4.26 King Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Seattle, Washington, A.B.D.
Yapım Yılı	1975
Mimari Tasarım	Naramore, Skilling & Praeger
Geçilen Açıklık	201,5 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Betonarme nervürlü kabuk kubbe
Kaplama Malzemesi	-----
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Stadyum

King Dome Washington'un Seattle şehrinde 1975 yılında yapılmıştır. Naramore, Skilling & Praeger tarafından stadyum olarak tasarlanmıştır. Taşıyıcı sistemi betonarme nervürlü kabuk kubbedir. Kubbe 201,5 metre çapında olup dairesel bir mekânı örtmektedir (Tablo 4.26) (The Seattle King Dome, b.t).



Şekil 4.36 King Dome'a ait dış ve iç görünüş (The Seattle Kingdome, b.t)

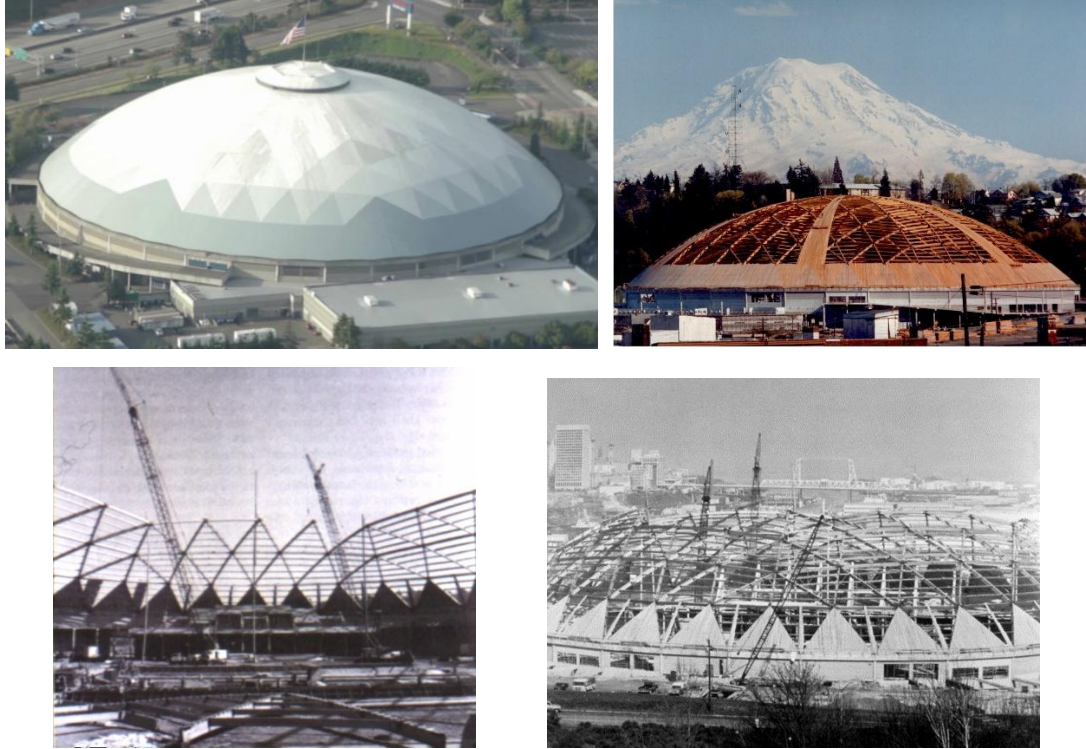
Çatı tasarımı 40 nervürle bölünerek bir şemsiye forma sahiptir. Bu 40 adet nervür kubbenin tepesinde bir basınç çemberi bulunmakta olup, temelleri ise bir çekme çemberinin üzerindedir. Bu çekme çemberi 40 adet kolon üzerinde bulunmaktadır (The Seattle King Dome, b.t) (Şekil 4.36).

4.1.27 Tacoma Dome

Tablo 4.27 Tacoma Dome'a ait bilgiler

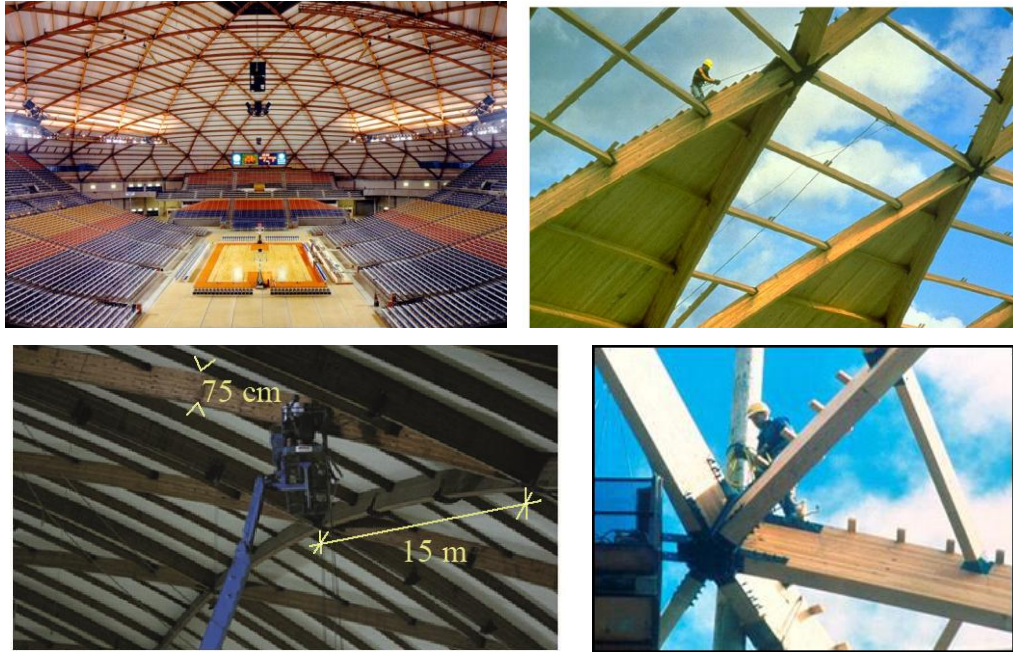
Yapım Yeri	Tacoma, Washington, A.B.D.
Yapım Yılı	1982
Mimari Tasarım	Mc Granahan, Messenger Associates
Geçilen Açıklık	161,5 metre
Yapı Yüksekliği	48 metre
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	Poliüretan membran
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Spor salonu

161,5 metre açıklık geçen ve 48 metre yüksekliğe sahip ızgara kubbe, dünyanın üçüncü en geniş ahşap kubbesidir. Yapı, birçok farklı spor aktivitesine ev sahipliği yapmaktadır (Tablo 4.27). Kubbesi, küre kapağı formundadır (Şekil 4.37). Yapı tam yarımküre formunda olsaydı, hem gereğinden daha yüksek bir yapı olurdu hem de zemine doğru eleman boylarında farklılıklar bulunması gerekirdi (Yılmaz, 2011, s. 101).



Şekil 4.37 Tacoma Dome'un yapım aşamaları ve dış görünüşleri (Tacoma Dome, b.t)

Eleman uzunluğu 15 metre olan sistemin tutkallı tabakalı ahşap eleman boyutları, 17-22 cm x 75 cm'dir. Altıgen ve üçgen ızgara kombinasyonlu kubbe sistemin düğüm noktalarında, ahşap elemanlar çelik merkezli bağlantı elemanlarına bulon ile birleştirilmiştir. Kubbede, zemine oturan son sıra üçgen birimlerden, diğher her eleman altıgen birimlerden oluşmaktadır. Yani, her bir birleşim noktasında 6 eleman bulunmaktadır. Sistem, dairesel öngermeli beton kirişle oturtulmuştur. Kubbe üzeri, poliüretan malzeme ile kaplanmış, temeli öngermeli betondan yapılmıştır (Yılmaz, 2011, s. 101; Müller, 2000, s. 139) (Şekil 4.38).



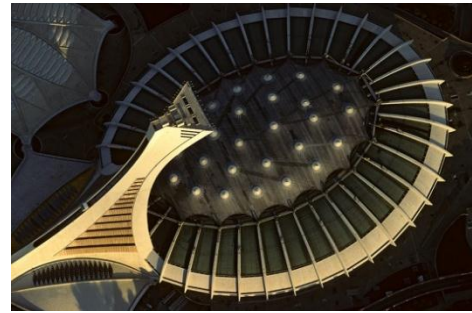
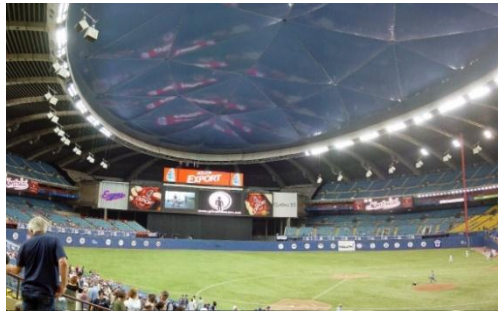
Şekil 4.38 Tacoma Dome'a ait bağlantı noktalarının boyutları ve elemanları (Domes, b.t)

4.1.28 Montreal Olimpiyat Stadyumu

Tablo 4.28 Montreal Olimpiyat Stadyumu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Montreal, Kanada
Yapım Yılı	1987
Mimari Tasarım	Roger Taillibert
Geçilen Açıklık	120 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Kablo askılı membran sistem
Kaplama Malzemesi	Kevlar membranı
Plan Geometrisi	Eliptik
Yapının İşlevi	Stadyum

Montreal O.S. 1987 yılında Kanada'da inşa edilmiştir. Tasarımı Roger Taillibert aittir. Geçilen açıklık 120 metre olup, yapı eliptik bir plan şemasına sahiptir (Tablo 4.28). Yapının en belirgin özelliği, açılıp kapanabilir olarak tasarlanan çatısıdır. Kevlar membranı ile örtülü olan üst örtünün kablolar üzerinde hareket ederek açılması planlanmış, ilk açılmadan sonra membranda oluşan yırtık nedeniyle bir daha kapanamamıştır. Bu çatı, membran örtüyü taşıyan çelik kulenin eğik konumundan ötürü, dünyanın ilk en büyük eğik strüktürüne sahip yapısıdır (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 Montreal Stadyumu'nun dış ve görünüşü (Çalış, 2012)

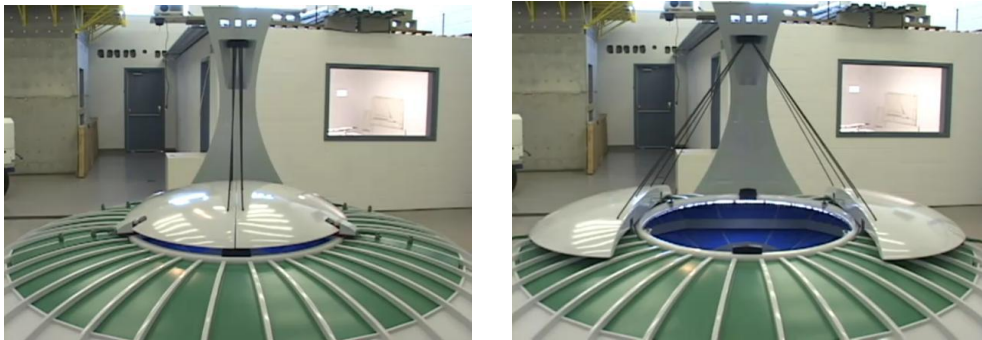
Montreal Olimpiyat Stadı'nın 1987'den bu yana kullanılan örtü malzemesi olan hareketli çatı sisteminde, membran malzeme belirli noktalarından çelik kablolarla eğik dev kuleye asılmıştır. Bu çelik kablolar ile membran malzemenin kulenin tepe noktasına doğru toplanması sağlanmıştır. Fakat birçok mekanik sorundan dolayı membran malzemede yırtılmalar oluşmuş, bu da üst örtü bakım maliyetinin artmasına

neden olmuştur. Bu sebeplerle başarısızlığa uğrayan bu sistem, şu an taşıyıcı kurguda hareketli bir sistem ile yenilenme aşamasındadır (Çalış, 2012, s. 119) (Şekil 4.40).



Şekil 4.40 Montreal Olimpiyat Stadı'nın hareketli çatısı (Çalış, 2012)

Taşıyıcı kurguda hareketli üst örtü projesi, yer çekimi ve potansiyel enerjiden faydalanarak tasarlanmış bir sistemden oluşmaktadır. Bu sistemde, ortadan ikiye bölünmüş disk şeklindeki çatı; depolanmış basınçlı hava ve yer çekiminin yardımıyla hareket etmektedir. Stadyumun hemen yanı başında bulunan kuleden sarkan çelik halatların bir uçları iki parçalı çatıya ayrı ayrı bağlıyken diğer uçları kulede asılı bulunan ve aşağı yukarı hareket edebilen ağırlığa bağlanmıştır. 100PSI basınca sahip sistem, basınçlı hava yardımıyla kılavuzlar üzerinde bulunan ortadan ikiye bölünmüş çatıyı sağa ve sola hareket ettirerek açmakta ve halatlarla kulede bulunan ağırlığı da yukarı doğru kaldırmaktadır. Çatı tamamen açıldıktan sonra kuledeki ağırlık kilitlenerek kapanma için gereken potansiyel enerji depolanmaktadır. Kapanma hareketi ise çelik halatlarla çatıya bağlı ağırlığın yer çekimi yardımı ile kontrollü bir şekilde aşağıya doğru hareket ettirilmesiyle sağlanmıştır. Böylece diğer hareketli çatı sistemlerine nazaran daha düşük elektrik enerjisi ile çatı açılıp kapanmaktadır (Çalış, 2012) (Şekil 4.41).



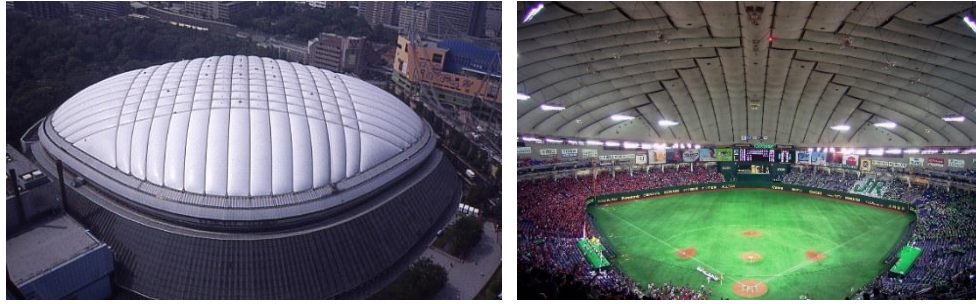
Şekil 4.41 Montreal Olimpiyat Stadı'nın yeni hareketli çatısı (Çalış, 2012)

4.1.29 Tokyo Dome

Tablo 4.29 Tokyo Dome’ a ait bilgiler

Yapım Yeri	Tokyo, Japonya
Yapım Yılı	1988
Mimari Tasarım	Nikken Sekkai ve Takenaka Firmaları
Geçilen Açıklık	201 metre
Yapı Yüksekliği	60,7 metre
Taşıyıcı Sistem	Kablo takviyeli hava destekli pnömatik kubbe
Kaplama Malzemesi	PTFE kaplı fiberglas membran
Plan Geometrisi	Kare
Yapının İşlevi	Sergi alanı, spor ve konser salonu

Tokyo Dome, 1988 yılında Japonya’da inşa edilen ilk kubbeli stadyumdur. Nikken Sekkai ve Takenaka Firmaları tarafından tasarlanan stadyum 201 metre açıklık geçebilmektedir. Taşıyıcı sistemi kablo takviyeli hava destekli pnömatik sistem olan kubbenin kaplama malzemesi PTFE kaplı fiberglas membrandır. Bu yapının çatı örtüsü, bir kenarı 180 metre olan, köşeleri yuvarlatılmış kare planlı bir şişme membrandır. Kareye yakın bir geometriye sahip olan mekanı örten kubbenin yerden yüksekliği 55,2 metre, oyun alanından yüksekliği ise 60,7 metredir (Tablo 4.29).



Şekil 4.42 Tokyo Dome’un dış ve iç görünüşü (Tokyo Dome, 2015)

Tokyo Dome, bir beyzbol stadyumunun üstünü örten, sadece 0,8 mm kalınlığındaki PTFE kaplı cam lifli membrandan üretilmiş iki katlı bir strüktürdür (Şekil 4.42). Bu yapı da Silver Dome benzeri olup yüksekliği kablolarla bastırılmış hava destekli bir şişirme yapıdır. Çatının sınırı, bir basınç halkası ve bu halkanın mesnetlendiği çerçevelerden oluşmaktadır. 0.30 kN/m^2 ’lik bir iç basınç ve 28 kablo yardımıyla rijitliği sağlanan kubbenin plandaki öz ağırlığı, çelik kablolar dahil, sadece 0.125 kN/m^2 olup kar ve rüzgar yükünden çok daha azdır (Sungur, 2005, s. 91-92).

4.1.30 Seoul Olimpiyat Stadyumu

Tablo 4.30 Seoul Olimpiyat Stadyumu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Seoul, Kore
Yapım Yılı	1988
Mimari Tasarım	David H. Geiger
Geçilen Açıklık	120 metre
Yapı Yüksekliği	
Taşıyıcı Sistem	Kablo destekli tensegriti kubbe
Kaplama Malzemesi	Silikon Fiberglas Membran
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Jimnastik Stadyumu

Geiger, 1988'de Seoul Olimpiyatları için iki adet tensegriti kubbe tasarlamıştır. Bu iki kubbeden büyük olanı Jimnastik Stadyumu'dur. Bu kubbenin gelişimi, Geiger'in stadyumların çatı örtüleri ile ilgili bir araştırmasıyla ortaya çıkmıştır. Stadyumların çatıları, hava destekli (pnömatik) bir strüktürel sistem kadar ekonomik olmalıdır. Ayrıca taşıyıcı sistemlerin üzeri suya karşı izole edilmiş bir membran ile kaplanmalıdır. Geiger'in patent almış olan strüktürel sisteminin kullanıldığı kubbe 120 metre açıklık geçmektedir (Moore, 1999, s. 63; Sungur, 2005, s. 101) (Tablo 4.30) (Şekil 4.43).



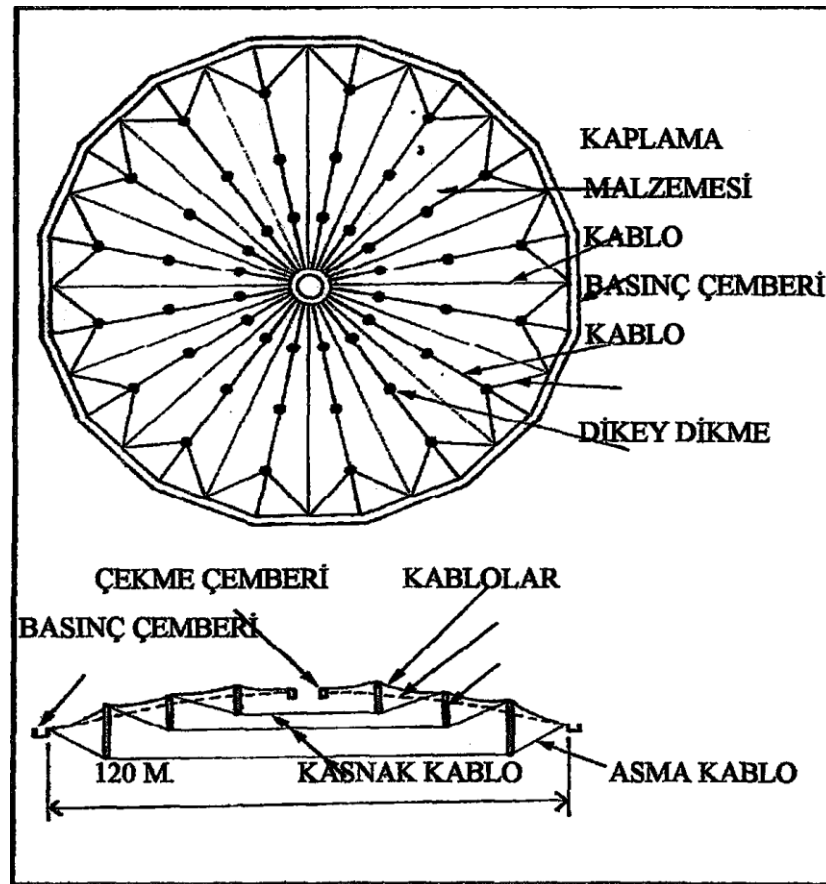
Şekil 4.43 Seoul Stadyumu'nun dış ve iç görünüşü (Structural Gymnastics for the Olympics, b.t)

Seoul Stadyumu'nun kubbesinde strüktürel eleman olarak devamlı kablolar ve basınç çubukları kullanılmıştır. Çatıda oluşan kuvvetler, merkezde yer alan dairesel çekme halkasından ışınsal kablolar, çekme kasnakları ve düşey basınç halkasına transfer edilmektedir. Kubbede kablolar kullanılarak yapılmış dairesel üç adet kasnak bulunmaktadır. Bu kasnaklar birbirlerinden 14.5 metre mesafeyle yerleştirilmiştir (Moore, 1999, s. 63; Sungur, 2005, s. 101) (Şekil 4.44 – 4.45).



Şekil 4.44 Seoul Stadyumu'nun tensegriti sisteminin elemanları (Structural Gymnastics for the Olympics, b.t)

Bu kubbeye benzer olan küçük kubbe, iki kasnaklı strüktürel sistem kullanılarak yapılmıştır. Bu sistemlerden birincisi diğerine nazaran daha büyük bir açıklık geçebildiği için avantajlıdır. Çatının taşıyıcı sisteminin birim ağırlığı 9.8 kg/m^2 dir. Bu birim ağırlık hemen hemen iki sistemde de aynıdır. Ayrıca her iki sistemin maliyetleri de birbirine çok yakındır. Kubbeyi kaplayan örtü, yüksek dirençli, silikon kaplama fiberglas membrandır. Membrandan gün ışığının 6% si geçmektedir (Moore, 1999, s. 64).



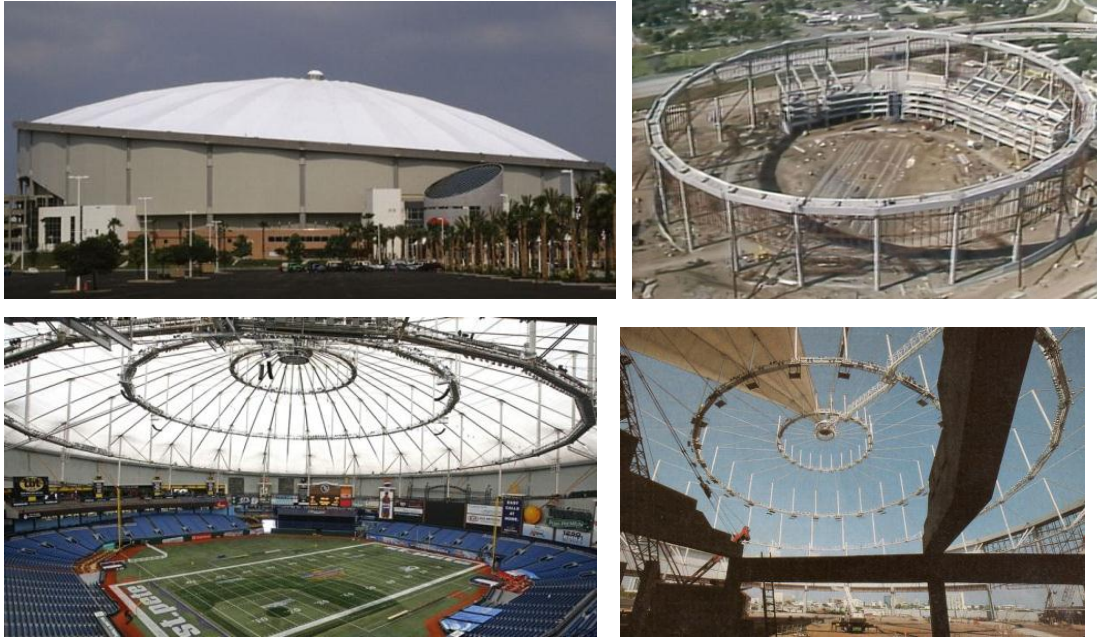
Şekil 4.45 Seoul Stadyumu'nun tensegriti çatı planı ve kesiti (Moore, 1999, s. 64)

4.1.31 Suncoast Dome

Tablo 4.31 Suncoast Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	St. Petersburg, Florida, A.B.D.
Yapım Yılı	1989
Mimari Tasarım	David H. Geiger
Geçilen Açıklık	210 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Kablo destekli tensegriti kubbe
Kaplama Malzemesi	Teflon kaplı fiberlas membran
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Çok amaçlı salon

Geiger'in tasarladığı en büyük tensegriti kubbelerinden bir tanesi Suncoast Dome'dur. 1989 yılında St. Petersburg'da yapılmıştır. Çok amaçlı salon olarak tasarlanmıştır. Yapı 43.000 koltuk sayısına sahip bir basketbol stadyumu, 13.940 m²'lik kolonsuz sergi salonu, 20.000 seyirci kapasiteli tenis sahası veya 50.000 konser salonu olarak kullanılabilmektedir (Tablo 4.31) (Moore, 1999, s. 64).

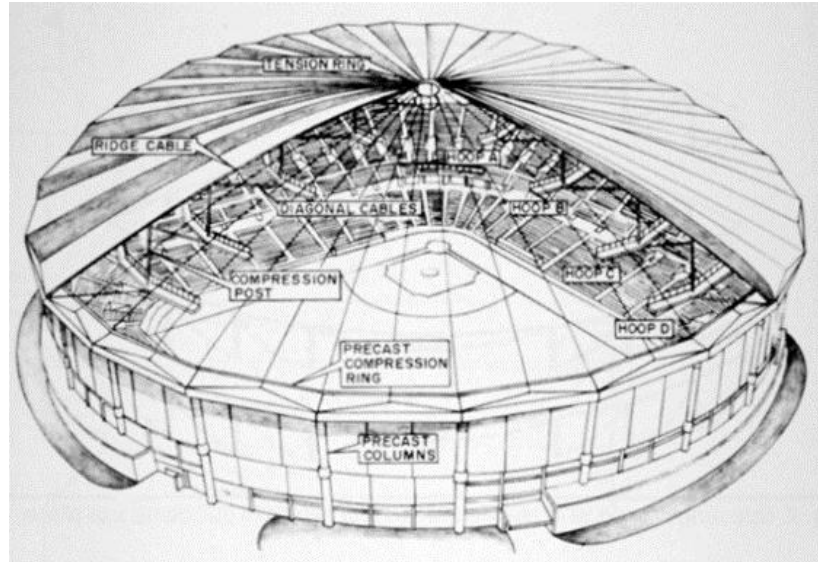
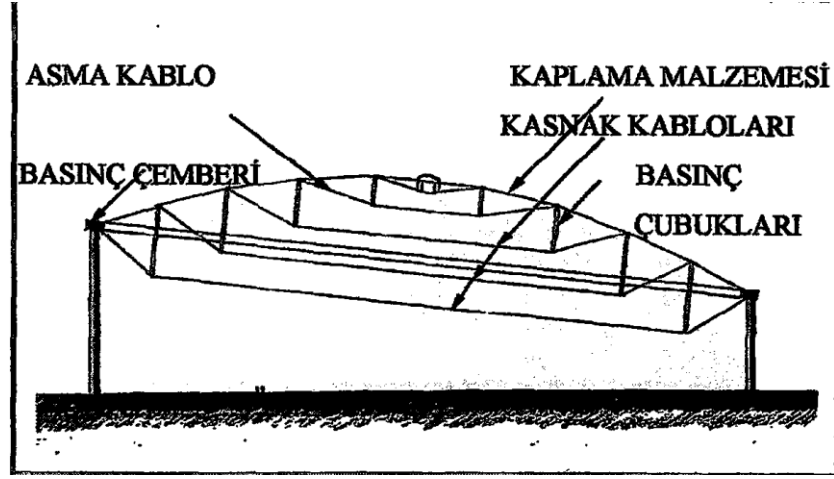


Şekil 4.46 Suncoast Dome'un dış ve iç görünüşü (Suncoast Dome, b.t)

Çapı 210 metre olan kubbe, dört adet çember kablosuna sahiptir. Bu çember kabloları, havalandırması için yapılacak hacmi en aza indirmek amacıyla 6 derece

eğimli yapılmıştır. Fakat bu eğim verilirken basketbol için gerekli yükseklik sağlanmıştır (Sungur, 2005, s. 102) (Şekil 4.46).

Yerçekimi yüklerini karşılamak için, ışınsal kablolarla asılmış merkezdeki 63 metre çapında beton basınç halkası ile gerilimi azaltıyor. Kaldırma kuvvetleri basınç halkasından üst gerilim halkasına benzer bir dengeleme kablosu örüntüsü ile karşılanıyor. Bu karşılıklı kablo çiftleri ve merkezdeki iki gerilim halkası dikey desteklerle ayrılmış. Basınç halkası betonla kuvvetlendirilmiş ve çevre kolonlarla desteklenmiştir (Şekil 4.47).



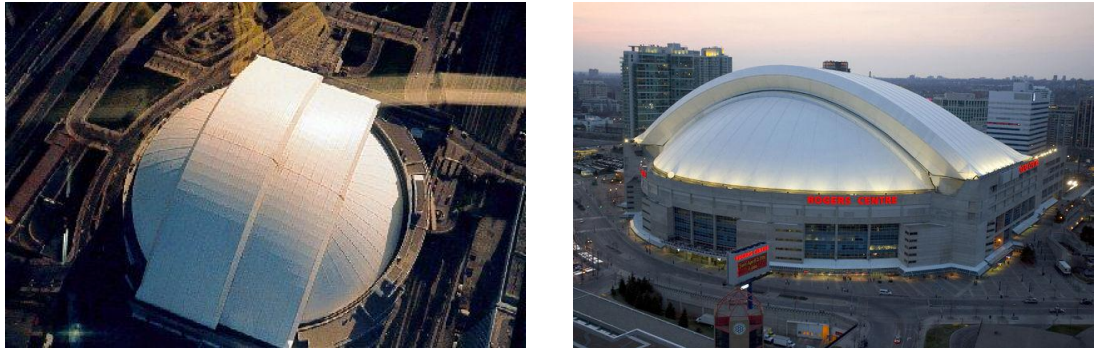
Şekil 4.47 Suncoast Dome'un kesitleri ve tensegriti sistemin elemanları (Tensegrity, b.t)

4.1.32 Toronto Sky Dome

Tablo 4.32 Toronto Sky Dome'a ait bilgiler

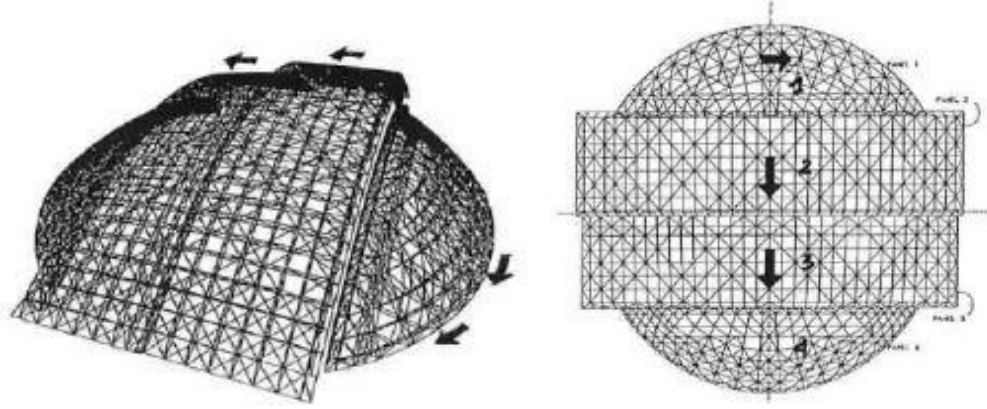
Yapım Yeri	Toronto, Kanada
Yapım Yılı	1989
Mimari Tasarım	Rod Robbie
Geçilen Açıklık	180 metre
Yapı Yüksekliği	53 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	Çelik çerçeve panel, PVC kaplı membran
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Çok amaçlı stadyum

1989 yılında Kanada'da inşa edilen Toronto Sky Dome, Rod Robbie tarafından tasarlanmıştır. Kubbenin geçtiği en büyük açıklık 180 metre olup kubbe 53 metre yüksekliğe sahiptir. Kubbenin taşıyıcı sistemi çelik çubuk ağlarından oluşmaktadır. Dairesel bir alanı örten kubbenin kaplama malzemesi PVC kaplı membrandır (Tablo 4.32). Toronto Sky Dome dünyanın ilk hareketli (hem kayar hem döner) olan stadyumudur (Şekil 4.48).



Şekil 4.48 Toronto Sky Dome'un dış görünüşleri (Çalış, 2012)

Parabolik yay şekline sahip hareketli üç parçadan ve sabit bir parçadan oluşan çatının; en küçük boyuttaki parçası sabit, orta kısımda bulunan en büyük iki parçası ileri geri hareket edebilen ve diğer tarafta olan orta büyüklükteki parçası ise stadyumun taşıyıcı kirişleri üzerinde 180° dönerek hareket edebilmektedir. Bu çatı parçalarının geometrisi kenarda bulunan parçalarda çeyrek kubbe, ortadakilerde ise parabolik kemer şeklindedir (Çalış, 2012, s. 151).



Şekil 4.49 Hareketli çeyrek kubbe ile hareketli parabolik kemerler ve çatı parçalarının hareket yönleri (Çalış, 2012)

Çelik kılavuz raylar üzerinde hareket eden parabolik yay şeklindeki makaslardan oluşturulan çatı parçalarının üst örtüleri; üst tabakaları 75mm kalınlığında fiberglasla, alt tabakaları ise 38mm kalınlığında naylonla güçlendirilmiş mikrolitglas malzemelerle kaplanmış polyester beyaz PVC membrandan oluşturulmuştur ve 3.6Kn/m^2 rüzgâr yükü ve kar yükü gibi dış etkenlere dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır (Çalış, 2012, s. 152-153).



Şekil 4.50 Toronto Sky Dome'un hareketli çatısı (Çalış, 2012)

4.1.33 Yakima Sun Dome

Tablo 4.33 Yakima Sun Dome’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Yakima, Washington, A.B.D.
Yapım Yılı	1990
Mimari Tasarım	Loofburrow ve ortakları
Geçilen Açıklık	82,3 metre
Yapı Yüksekliği	48,8 metre
Taşıyıcı Sistem	Betonarme kabuk kubbe
Kaplama Malzemesi	Betonarme
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Çok amaçlı salon

Yakima Sun Dome Washington’da Yakima şehrinde 1990 yılında inşa edilmiş olup Loofburrow ve ortakları tarafından tasarlanmıştır. Bu kubbe dairesel bir mekânı örtmektedir. Sun Dome spor etkinlikleri (yani basketbol, futbol, voleybol), buz gösterileri, at gösterileri, sirkler, boks ve konserlerin yanı sıra fuarlar, sempozyumlar ve kongreler gibi birçok işlevi bünyesinde barındırmaktadır. Taşıyıcı sistemi betonarme kabuk olan kubbe 48,8 metre yüksekliğinde ve 82,30 metre çapındadır (Tablo 4.33).



Şekil 4.51 Yakima Sun Dome’un dış ve iç görünüşleri (Reinforced Concrete Thin Shell Sports Facilities, 2008)

Çatı tasarımı 24 nervürle bölünerek bir şemsiye forma sahiptir. Bu 24 nervür kubbenin tepesinde bir basınç çemberine ulaşılmakta olup, temelleri bir çekme çemberinin üzerindedir. Bu çekme çemberi 24 betonarme kolon üzerinde bulunmaktadır (Şekil 4.51). Kubbenin yapı mühendisi olan, Christian Sen benzer bir çatı tasarımını 40 nervürlü olan King Dome’da 1975 yılında kullanılmıştır.

4.1.34 Superior Dome

Tablo 4.34 Superior Dome'a ait bilgiler

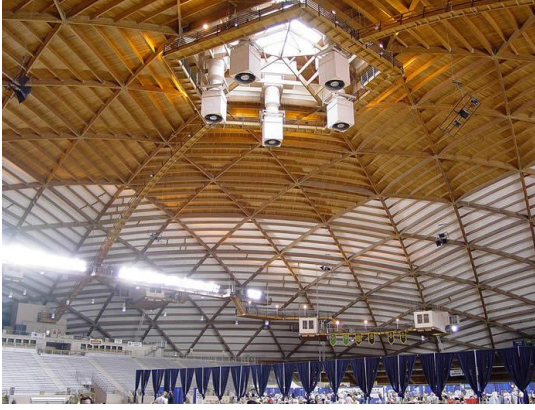
Yapım Yeri	Morquette, Michigan, A.B.D.
Yapım Yılı	1991
Mimari Tasarım	T. M. P. ortakları
Geçilen Açıklık	163,4 metre
Yapı Yüksekliği	49 metre
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	-----
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Stadyum

A.B.D.'nin Northern Michigan Üniversitesi'nin spor kulübüne ait olan bu yapı, inşa edildiği tarihte 163,4 metre açıklığı ile dünyanın ikinci en geniş açıklıklı ahşap kubbelerinden birisidir. Taşıyıcı sistemi tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı lamella kubbedir. 8000 kişi kapasitelidir. Tacoma Dome ile benzer biçimlidir. Merkezdeki yüksekliği 49 metre olup neredeyse 14 katlı bir bina yüksekliğine yakındır. Jeodezik kubbe esasına göre tasarlanmıştır (Tablo 4.34) (Şekil 4.52) (Yılmaz, 2011).



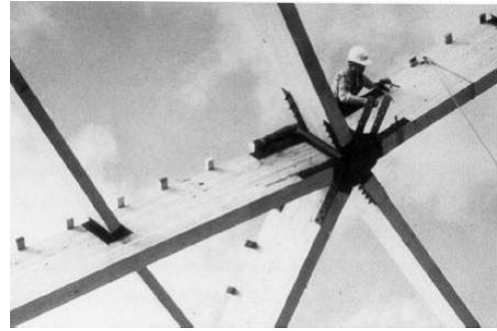
Şekil 4.52 Superior Dome'un dış görüntüleri (Superior Dome, 2015)

Toplam 781 adet tutkallı tabakalı ahşap elemandan oluşmaktadır. Yapının bulunduğu şehirde özellikle kış şartlarının oldukça sert geçmesinden dolayı 293 kg/m^2 kar yüküne ve 130 km/saat şiddetinde rüzgâra dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Yapının inşası iki aşamada olmuştur. Kubbenin kurulumunu içeren ilk aşama Ağustos 1991'de, soyunma odaları, ofisler, ıslak hacimler gibi iç mekânların tamamlanmasını içeren ikinci aşama ise Mayıs 1995'te tamamlanmıştır (Şekil 4.53) (Müller, 2000, s. 142).



Şekil 4.53 Superior Dome'un iç görünüşü (Altunkaya, 2007, s. 113)

Kubbenin ana taşıyıcı sistemi, kubbeyi destekleyen 40 adet betonarme payanda ve eğrisel formu tutkallı tabakalanmış ahşap çubuklardır. Tali elemanlar ise tutkallı tabakalanmış ahşap yivlere geçmeli eğrisel çubuklar ve temelde 76 cm derinlik ve 152 cm genişliğindeki ön gerilmeli beton halkalardır. Bağlantı öğeleri çelik plaklar, çiviler ve cıvatalardır. Eğrisel çubuk elemanların derinliği 95 cm, genişliği 22 cm olup uzunlukları değişkendir (Şekil 4.54) (Altunkaya, 2007, s. 113).



Şekil 4.54 Superior Dome'un eleman bağlantısı ve birleşim detayı (Altunkaya, 2007, s. 113)

4.1.35 İzumo Dome

Tablo 4.35 İzumo Dome’a ait bilgiler

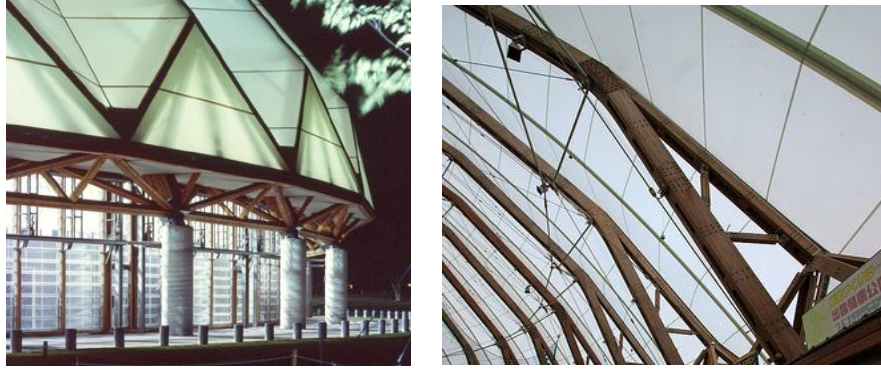
Yapım Yeri	Izumo, Japonya
Yapım Yılı	1992
Mimari Tasarım	Kajima Design; Shigeru Ban, Arata Yoshida
Geçilen Açıklık	143 metre
Yapı Yüksekliği	49 metre
Taşıyıcı Sistem	Kaburgalı tutkallı tabakalı ahşap kubbe
Kaplama Malzemesi	Yarısaydam beyaz teflon membran
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Stadyum

İzumo Dome, Japonya’nın İzumo şehrinde 1992 yılında yapılmış olup stadyum olarak kullanılmaktadır. Kapattığı alt mekân, dairesel forma sahiptir. Kubbenin oldukça etkileyici yapısı, Kajima Corporation tarafından tasarlanmış olup, 49 metre yüksekliğinde ve 143 metre çapındadır. Kaburga biçimli katlanmış plak strüktüre sahiptir (Tablo 4.35). Tasarım, Japon şemsiyesinden örnek alınarak yarısaydam beyaz teflon ile kaplanmıştır ki, bu yüzden hiç bir yapay aydınlatma kullanmaya ihtiyaç duyulmamaktadır (Şekil 4.55) (Altunkaya, 2007, s. 117).



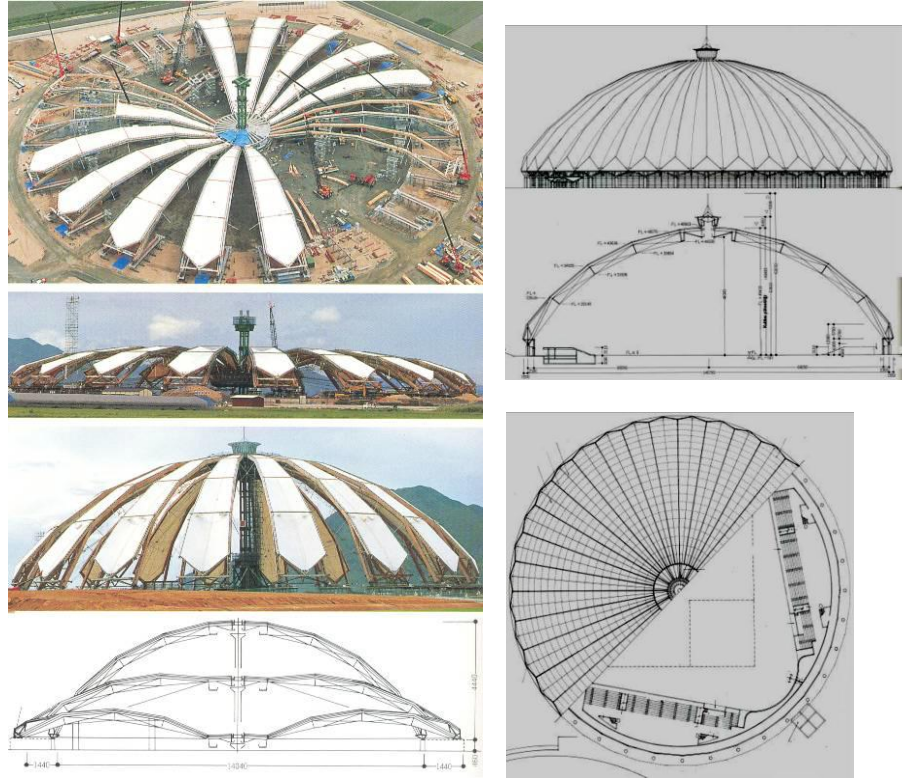
Şekil 4.55 İzumo Dome’un dış ve iç görünüşü (İzumo dome, 2007)

Kubbenin taşıyıcı sistemi, 36 adet tutkallı tabakalı ahşap kaburga ile oluşturulmuştur. Kaburgaları yatayda bağlayan birleşimler bulunmamaktadır. Bağlantı için halka kablolar ve çelik donatılar kullanılmıştır (Şekil 4.56) (Ishi, 1995, s. 286; Kolbay, 2010, s. 102).



Şekil 4.56 İzumo Dome'un uygulama detayları (Kolbay, 2010)

Kubbe strüktürünün montajında “yükseltme” yöntemi denenmiştir. Kubbe toplamda 36 adet kemerle taşınılmaktadır. Kemerler zeminde bir araya getirilmiş, strüktürü tamamlayan donatı ve membran kaplama eklenmiştir. Daha sonra merkezdeki halka geçici bir taşıyıcı birim üzerinde yükseltilmiştir. Kubbeyi tamamlayan destek bileşenleri ve gergi kabloları eklendikten sonra geçici taşıyıcı kaldırılmıştır (Ishii, 1995, s. 286; Kolbay, 2010, s. 102). Kubbenin oluşturulması ve sistem montaj süreci açısından İzumo Dome diğer kubbelerden ayrıcalıklı bir yere sahiptir (Şekil 4.57).



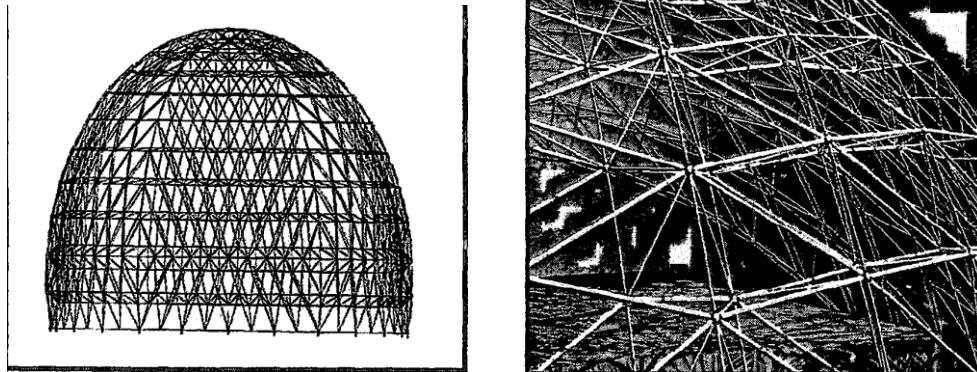
Şekil 4.57 Kubbenin montaj sırasında kaldırılma aşamaları ve yapıya ait plan ve kesit (Kolbay, 2010)

4.1.36 Birleşmiş Milletler Pavyonu, Expo 92

Tablo 4.36 Birleşmiş Milletler Pavyonu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Seville, İspanya
Yapım Yılı	1992
Mimari Tasarım	Jose Ramon Rodriguez Gautier
Geçilen Açıklık	18 metre
Yapı Yüksekliği	22 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı Jeodezik kubbe
Kaplama Malzemesi	Cam paneller
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Sergi alanı

B.M.P. 1992 yılında gerçekleştirilen Seville Dünya Fuarı'ndaki en dikkat çekici heykelsi kubbelerden biridir. Mimarlar; Jose Ramon Rodriguez Gautier, Javier Morales ve Luis Urunuela'dır. Jeodezik kubbe çift katlı uzay kafes sistemi olan bir strüktürel sisteme sahiptir. 18 metre açıklık geçen kubbenin yüksekliği 22 metre olup parabolik bir kesite sahiptir. Kubbenin yüzeyinde bulunan beyaz renkli tübüler uzay kafes elemanlarla, kaplama malzemesi olarak kullanılan mavi renkteki cam paneller görsel bir zıtlık içerisinde (Tablo 4.36) (Şekil 4.58) (Chilton, 2000).



Şekil 4.58 Birleşmiş Milletler Pavyonu'nun dış görünüşü ve cephe detayı (Chilton, 2000).

Kubbenin toplam yüzey alanı $1,244 \text{ m}^2$ 'dir. Strüktürel sistem 13 noktadan zemine bağlanmıştır. Kubbenin yüzeyindeki her bir gridal parça 10 kg/m^2 ağırlığındadır. Her bir düğüm noktası 38 kg ağırlığındadır. Kubbenin konstrüksiyonu $\pm 30^\circ\text{C}$ 'lık ısı değişimlerinde esnekliğini koruyabilmektedir (Chilton, 2000).

4.1.37 Georgia Dome

Tablo 4.37 Georgia Dome’ a ait bilgiler

Yapım Yeri	Atlanta, Georgia
Yapım Yılı	1992
Mimari Tasarım	Rosser Fabrap International
Geçilen Açıklık	228 metre
Yapı Yüksekliği	82 metre
Taşıyıcı Sistem	Kablo destekli tensegriti kubbe
Kaplama Malzemesi	Teflon kaplı fiberblas membran
Plan Geometrisi	Oval
Yapının İşlevi	Stadyum

Georgia Dome, 1992 yılında Atlanta Georgia’da yapılmış olan en büyük kablo destekli tensegriti kubbeli yapıdır. Rosser Fabrap International bu yapının mimarlarıdır. Kubbenin geçtiği en büyük açıklık 228 metredir (Tablo 4.37). Yapının strüktür mühendisleri Weidlinger ve ortaklarıdır. Geniş bir alanın üzerini örten bu kubbenin strüktürel sisteminde, Geiger’in tasarımından çok Buckminster Fuller’in orijinal üçgen geometrisi kullanılmıştır. Üçgen geometriye sahip strüktürel sistem, tam yuvarlak olmayan basketbol stadyumu için uygun bulunmuştur. Ayrıca bu geometrik biçim simetrik olmayan yüklerin sisteme uyumunu kolaylaştırmaktadır (Şekil 4.59) (Moore, 1999, s. 64-65).



Şekil 4.59 Georgia Dome’un dış görünüşleri (Georgia Dome, b.t)

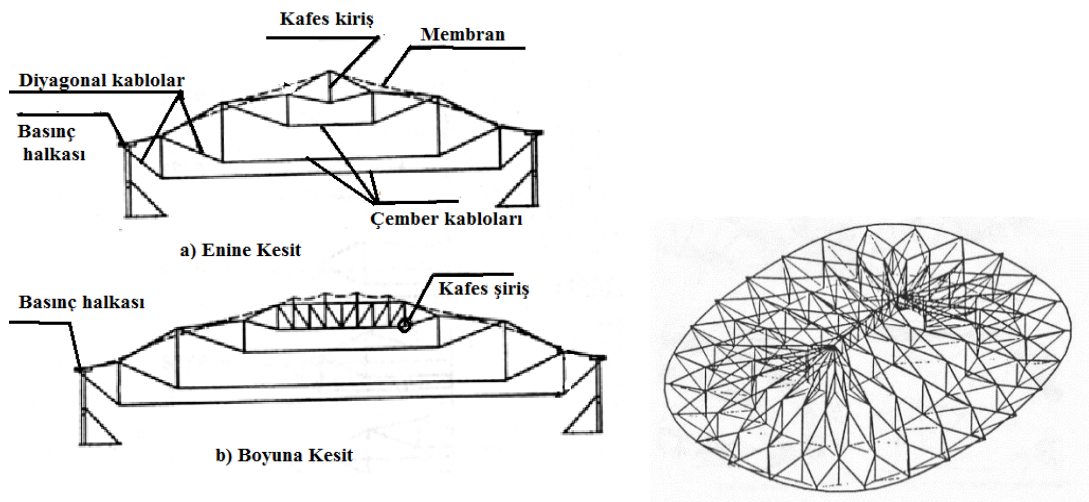
Üçgenlerden meydana gelen kubbe oldukça kompleks ve birçok bitim noktasına sahip bir sistem olarak tasarlanmıştır. Bitim noktaları altı kablonun bir noktada birleşmesinden oluşmaktadır. Bu noktalarda dikmeler kullanılmaktadır. Bu kubbeye ‘Hiper-Tensegrity’ kubbe denilmektedir. Çünkü bu kubbe, hiperbolik paraboloid

örtü yüzeylerle, tensegriti sisteminin birleşiminden oluşmuştur. Plan yerleşiminde iki tane yarım dairesel parça, birbirlerine 56 metre uzunluğundaki doğrusal makaslarla bağlanmıştır. Tam daire olmayan basınç çemberi, basınç ve eğilme etkilerine karşı sistemin dengesini sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Hiper –Tensegrity kubbe, 37.175 m^2 ' lik bir alanı örtmektedir (Şekil 4.60) (Moore, 1999, s. 64-65).



Şekil 4.60 Georgia Dome'un iç görünüşü ve tensegriti sistemin elemanları (Atlanta Georgia Dome, b.t)

Böyle bir kubbe düzenlemesi, simetrik olmayan yüklere daha çok uyum sağlarken bir futbol stadyumu büyüklüğünde bir kapalı alan için daha uygun olan oval bir plana sahiptir. Uzunluğu 241 metre ve eni 193 metre olan bu büyük alan, yatay ve eğik incecik kablolar ile bu kablolar arasına yerleştirilmiş yine ince düşey çubuklardan oluşturulmuş son derece narin oval bir kubbe ile örtülmüştür. Tümüyle çelik olan bu taşıyıcı sistem, üçgen ve baklava dilimi şeklindeki membran parçalarıyla kaplanmıştır (Şekil 4.61) (Sungur, 2005, s. 102).



Şekil 4.61 Georgia Dome'un taşıyıcı sistemi ve izometrik çizimi (Construction Documents, b.t)

4.1.38 Fukuoka Dome

Tablo 4.38 Fukuoka Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Fukuoka, Japonya
Yapım Yılı	1993
Mimari Tasarım	Takenaka Corp. & Maeda Corp.
Geçilen Açıklık	222 metre
Yapı Yüksekliği	84 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	Titanyum
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Çok amaçlı stadyum

Fukuoka Dome, Japonya'da hareketli kubbe çatıya sahip ilk beyzbol parkı olarak 1993'te açılmıştır (Tablo 4.38). Stadyum 222 metre iç ölçü, 295 metre çapa sahiptir ve bunun sonucunda en geniş stadyum olmuştur. Profesyonel beyzbol, konser ve diğer spor faaliyetleri için kullanılmaktadır. Tasarım yaklaşımı olarak, bir merkez etrafında dairesel sınırlar üzerinde dönme hareket özelliğine sahip kubbesel çatı uygulanmıştır (Şekil 4.62) (Çalış, 2012, s. 133-135).



Şekil 4.62 Fukuoka Dome'un hareketli çatısı ve iç görünüşü (Çalış, 2012)

Çatı üç adet yelpaze biçiminde çelik çerçeve panelden yapılmıştır ve yüzey alanı 50.000 m²'dir. Her bir panel 4 metre kalınlığındadır. Yüzey kaplaması olan titanyum 3 mm kalınlığında olup toplamda çatı ağırlığı 12.000 tondur. Kubbe bir araya toplanmış 24 adet çelik tekerlek hareket mekanizması tarafından desteklenmektedir ki bu tekerlek kırımlar geniş bir beton çember kiriş üzerinde yer almaktadır. 4000 ile 4200 ton ağırlığa sahip iki panel, sabitlenmiş üçüncü panelin altına dönerek yerleşmektedir. Kuvvetli rüzgâr ve deprem anında panellerin birbirleriyle çarpışmalarını önlemek için titreşim kontrol amortisörleri kullanılmıştır (Çalış, 2012).

4.1.39 Le Comptoir Forestier

Tablo 4.39 Le Comptoir Forestier’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Walloon, Belçika
Yapım Yılı	1995
Mimari Tasarım	Philippe Samyn and Partners
Geçilen Açıklık	27 metre
Yapı Yüksekliği	12,5 metre
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap kemer taşıyıcılı kubbe
Kaplama Malzemesi	T profilli cam ve alüminyum
Plan Geometrisi	Elips plan formu
Yapının İşlevi	Endüstri binası

Le Comptoir Forestier 1995 yılında, Belçika’nın Wallon şehrinde inşa edilmiştir. Elips plan biçimine sahip olan yapı, 27 metre genişlik ve 12,5 metre yüksekliktedir. Yapıda kullanılan ahşap elemanlar, ladin ve meşe ağaçlarından üretilmiştir. Endüstri binası olarak tasarlanan yapının kaplama malzemesi T profilli cam ve alüminyumdur (Tablo 4.39) (Şekil 4.62) (Altunkaya, 2007, s. 143-145).



Şekil 4.62 Le Comptoir Forestier’in dış görünüşü (Le Comptoir Forestier, 2011)

Le Comptoir Forestier binasının ana taşıyıcıları tutkallı tabakalı ahşap ızgaralardan oluşmaktadır. Tutkallı tabakalı ahşap ana taşıyıcıların üzerinde ızgara sistemi oluşturmak üzere ahşaptan ikincil elemanlar vardır. Kirişlerin birbirine birleşiminde cıvatalar ve metal çiviler; kemerlerin temel betonuna bağlantısında plakalar ve dişli vidalar kullanılmıştır (Altunkaya, 2007, s. 143-145).

4.1.40 Odate Dome

Tablo 4.40 Odate Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Odate, Akita, Japonya
Yapım Yılı	1997
Mimari Tasarım	Toyo Ito
Geçilen Açıklık	178 metre
Yapı Yüksekliği	52 metre
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap kemer taşıyıcılı kubbe
Kaplama Malzemesi	Yarısaydam teflon kaplı PTFE f.b. membran
Plan Geometrisi	Diresel
Yapının İşlevi	Çok Amaçlı Stadyum, Beysbol sahası

Odate Dome Japonya'nın Odate şehrinde stadyum yapısı olarak 1997 yılında inşa edilmiştir. Dairesel bir mekânı örtmektedir. Kubbe, Toyo Ito tarafından tasarlanmış olup, 52 metre yüksekliğinde ve 178 metre açıklığı ile dünyanın en geniş ahşap kubbesidir. Tutkallı tabakalı ahşap malzemeden yapılmış olup, üç tabakalı kemer taşıyıcılı ızgara kubbedir. Kaplama malzemesi ise yarı saydam teflon kaplı PTFE fiberglas membrandır (Tablo 4.40).



Şekil 4.63 Odate Dome'un genel görünüşü (Naja, 2008)

Bu stadyum Japonya'nın çok fazla kar yağan bir bölgesinde yer almaktadır. Bu yüzden tutkallı tabakalı ahşap taşıyıcılı kubbenin üzerine gelen kar yükünü azaltmak amacıyla özel bir detaya sahip kaplama malzemesi ile kaplıdır. Bu kaplama malzemesi bir yüzü teflon kaplı, arası hava boşluklu çift membrandan oluşmaktadır. Bu hava boşluğundan sıcak hava sirkülasyonu yapılmak suretiyle membran üzerine yağın karların erimesi sağlanmakta ve böylece karın oluşturacağı ölü yükten biran önce kurtulunmaktadır (Şekil 4.63).

4.1.41 Komatsu Dome

Tablo 4.41 Komatsu Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Komatsu, Japonya
Yapım Yılı	1997
Mimari Tasarım	Yamashita Sekkei Inc. & Taisei Corp
Geçilen Açıklık	55 metre
Yapı Yüksekliği	59 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik kemer taşıyıcılı kubbe
Kaplama Malzemesi	PTFE kaplı cam yünü membran
Plan Geometrisi	Eliptik
Yapının İşlevi	Çok amaçlı stadyum

1997 yılında Japonya'da inşa edilen Komatsu Dome'un tasarımcısı Y.S.I.'dır. 55 metre açıklık geçen kubbenin yerden yüksekliği 59 metredir. Çelik kemerlerin taşıdığı kubbenin kaplama malzemesi PTFE kaplı cam yünü membrandır. Komatsu Dome çeşitli sporlar için yapılmış bir stadyumdur. Bölgesel ağır iklim şartlarına karşı çıkabilmek için yapı hareket edebilme özelliğine sahip bir çatı şeklinde tasarlanmıştır. Komatsu Dome'un kapladığı mekân elips planlıdır (Tablo 4.41) (Şekil 4.64).



Şekil 4.64 Komatsu Dome'un dış görünüşü (Çalış, 2012)

Membran malzemeden oluşan çatı, çelik bir strüktür ile çerçevelenmiş iki adet kayar panelden oluşmaktadır. Bu membran paneller birbirine paralel raylar üzerinde hareket ederek çatı strüktürünün en üst noktasına doğru basit bir kayma hareketi yapmaktadır. Bu paneller üçer adet gergi kirişinin bir noktada birleştirilmesiyle elde edilen yapısal kirişlerden oluşmaktadır. Tüm strüktürel çelik çerçevelerin güvenilirliğini artırmak için çatı strüktürü, güçlendirilmiş betonarme ters kesik koni şeklindeki duvarların üzerine oturtulmuştur ve bu duvarlarla çatı strüktürü arasına kenar halka kirişi yerleştirilmiştir (Çalış, 2012).

4.1.42 Sidney Showground Dome

Tablo 4.42 Sidney Showground Dome'a ait bilgiler

Yapım Yeri	Sidney, Avustralya
Yapım Yılı	1998
Mimari Tasarım	Ancher, Mortlock ve Wooley
Geçilen Açıklık	97 metre
Yapı Yüksekliği	42 metre
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	-----
Plan Geometrisi	Dairesel form
Yapının İşlevi	Gösteri ve sergi merkezi

Sidney Showground Dome, Sidney Olimpik Sergi Merkezi'nin çatısını oluşturmaktadır. Ekonomik nedenler ve çevresel faktörlerden dolayı, kubbe, tutkallı tabakalı ahşap malzemeden tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Olimpik Sergi Merkezi, iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, 97 metre açıklıklı kubbe yapısı ve kubbenin yanında yer alan salondur. Kubbe, jeodezik yapıda olup dairesel bir mekânı örtmektedir (Tablo 4.42) (Şekil 4.65).



Şekil 4. 65 Sidney Showground Dome'un dış ve iç görünüşleri (Showground exhibition, 2011)

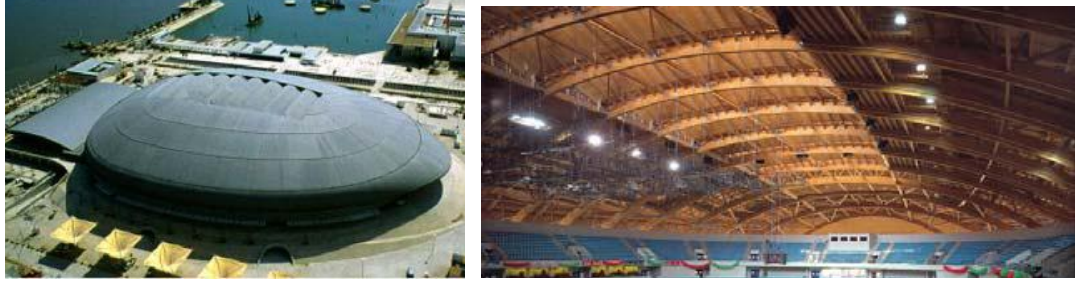
Kubbeyi oluşturan basınç elemanlarında Radiata çamı, destek elemanlarında ise çelik malzeme kullanılmıştır. Projelendirmede esas alınan yüklere karşı sağlam bir yapı oluşturmak için, kubbeyi oluşturan tutkallı tabakalı ahşap elemanlar, tepeden 800/130 mm enkesitle başlayıp, zemine doğru kalınlaşmaktadır. Tüm kubbede, çelik kablolarla çaprazlama yapılmış ve dörtlü birleşim yapan tutkallı tabakalı ahşap elemanların, açıklıklarının fazla olduğu yerlerde, deformasyonların engellenmesi için çelik boru profiller kullanılmıştır. Yine, tutkallı tabakalı ahşap elemanlar betonarme ayağa oturmaktadır (Yılmaz, 2011, s. 103).

4.1.43 Atlantico Pavyonu

Tablo 4.43 Atlantico Pavyonu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Lisbon, Portekiz
Yapım Yılı	1998
Mimari Tasarım	Regino Cruz, Skidmore, Owing & Merrill
Geçilen Açıklık	114 metre
Yapı Yüksekliği	36 metre
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap kemerler
Kaplama Malzemesi	Ahşap kaplama örtü malzemesi
Plan Geometrisi	Düzgün bir forma sahip değil
Yapının İşlevi	Çok amaçlı salon

Atlantico Pavyonu 1998 yılında Portekiz'in Lisbon şehrinde çok amaçlı salon olarak inşa edilmiştir. Kubbe 114 metre açıklığa ve 36 metre yüksekliğe sahip olup Regino Cruz ve S.O.M. tarafından tasarlanmıştır. Tutkallı tabakalı ahşap kemerler tarafından taşınan kubbenin kaplama malzemesi de ahşaptır. Kubbe düzgün bir geometrik forma sahip değildir (Tablo 4.43) (Altunkaya, 2007, s. 125-126).



Şekil 4.66 Atlantico Pavyonu'nun dış ve iç görünüşü (Atlantico Pavilion, 2011)

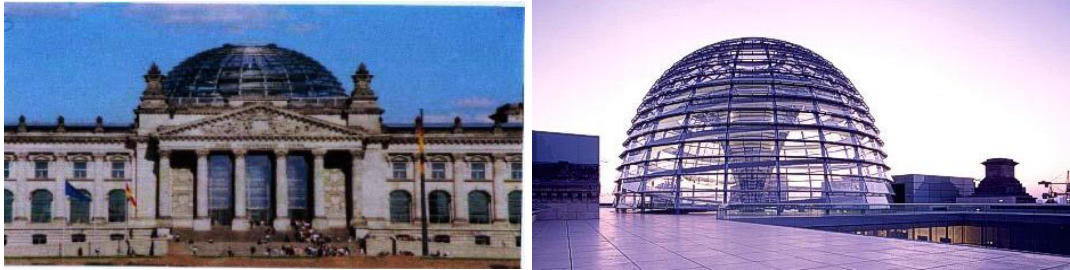
2 veya 3 parça tutkallı tabakalı ahşabın birbirine tutkallanmasıyla oluşturulmuş kafes kemerler Atlantico Pavyonu'nun ana strüktürü olup yine tutkallı tabakalı ahşap çubuk elemanlar ile metal borulardan oluşan tali bir strüktüre sahiptir. Bağlantı elemanları çiviler, tabakalı ahşap üretilirken yerleştirilmiş çelik plaklar, cıvatalar ve vidalar (14 mm çapında, 95 mm ve 105 mm uzunluğunda) dır. Kafes kemerler 150 metre uzunluk ve 1900 mm yüksekliğindedir (Şekil 4.66) (Altunkaya, 2007, s. 125-127).

4.1.44 Reichstag Parlamento Binası

Tablo 4.44 Reichstag Parlamento Binası'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Berlin, Almanya
Yapım Yılı	1999
Mimari Tasarım	Sir Norman Foster
Geçilen Açıklık	38 metre
Yapı Yüksekliği	23,5 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik kaburgalı kubbe
Kaplama Malzemesi	Cam
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Parlamento binası

Reichstag Parlamento Binası, Almanya'nın Berlin şehrinde bulunmaktadır. Orijinal bina 1884-1894 yıllarında inşa edilmiş olup 1933 yılında savaş sırasında yanmıştır. 1988-1991 yılları arasında yeniden onarılarak 1999 yılında tekrar kullanıma açılmıştır. Yapının üst kısmında yer alan cam kubbe, İngiliz mimar Sir Norman Foster tarafından tasarlanmış olup, yapı yeniden inşa edildiği zaman binaya eklenmiştir (Şekil 4.67) (Tokabaş, 2005, s. 93).



Şekil 4.67 Reichstag Alman Parlamento Binası (Tokabaş, 2005, s. 93)

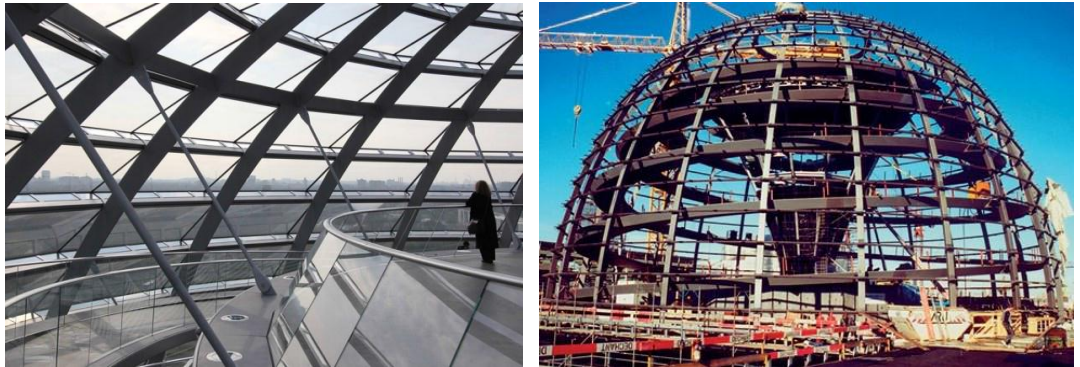
Çelik kubbe strüktürü, temelde 38 metre çapında ve 23,5 metre yüksekliğinde olup yapının dış görünüşüne farklı bir yorum kazandırmıştır (Tablo 4.44). Kubbe kullandığı pasif ve aktif enerji kontrol teknolojisi ile işlevsel olarak makineye benzer bir işleyişe sahipken, yapı diliyle de teknolojik bir anlatıma sahiptir. Kubbe kullanmakta olduğu çelik elemanlarla; bu teknolojik üstünlük anlatımı ile parlamento ve ülkenin gücünü (yan anlam) vurgulamaktadır. Çelik kubbe, hafif, geçici, standart elemanlarla dantelsi örüntülü bir strüktür ve tamamlayıcılar elde edilmesinde kullanılmıştır (Sipahioğlu, 2006, s. 69-72).

Üçgensel 24 adet ana çelik kirişin tepe noktasında 9 metre çapındaki dairesel basınç çemberi etrafında birleşmesi sonucu oluşturulan çelik strüktür yatayda 210 x 100 mm boyutlarındaki 1,7 metre aralıklarla yerleştirilen toplamda 17 adet yamuk biçimli çelik kiriş ile bağlanmaktadır. Ana strüktüre 60 mm çapındaki çelik çubuklara asılı 1,6 metre genişliğindeki çift sarmal gözetleme platformu ise kubbenin başlangıç noktasından başlayıp 16 metre yukarıdaki teras çatıya kadar ulaşmaktadır. Ayrıca bu rampa kubbenin merkezi vurgusunu tamamladığı gibi kubbe içerisindeki akustik dengeyi de sağlamaktadır (Şekil 4.68) (Aydın, 2011, s. 81).



Şekil 4.68 Reichstag Alman Parlamento Binası'nın iç görünüşü (Reichstag dome structures, b.t)

Kubbenin dış yüzeyi, tamamen alüminyum çerçeveler içerisine yerleştirilmiş, 24 mm kalınlığında lamine, dağılmaz cam ile kaplanmıştır. Yapının çatısının üzerindeki fotovoltaik paneller, çok fazla olmamakla birlikte 40 Kw'lık bir enerji üretmekte bitkilerin doğal hava almasını sağlamakta ve güneş perdesi görevini görmektedir (Şekil 4.69) (Tokabaş, 2005, s. 96).



Şekil 4.69 Reichstag Alman Parlamento Binası'nın kubbesinin taşıyıcı detayları (Aydın, 2011)

4.1.45 Millennium Dome

Tablo 4.45 Millennium Dome’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Londra, İngiltere
Yapım Yılı	1999
Mimari Tasarım	Richard Rogers
Geçilen Açıklık	365 metre
Yapı Yüksekliği	50 metre
Taşıyıcı Sistem	Kablo destekli membran kubbe
Kaplama Malzemesi	PTFE kaplı fiberglas membran
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Sergi alanı

Mimar Richard Rogers’ın 1999 yılında tamamlanan Millennium Dome yapısı çatı strüktürünün formuna uygun olarak dairesel şekilde düzenlenen dikme dizisiyle tanınmaktadır. Yapı, 365 metre çapıyla dünyanın en geniş bölünmemiş mekânı olup, içinde “30 Sydney Operası” yer alabilecek kapasiteye sahiptir. Taşıyıcı sistemi, kablo destekli membran olup kaplama malzemesi PTFE kaplı fiberglas membrandır (Tablo 4.45). Membran kubbe 12 adet dikmeye asılan kablolar yardımıyla ayakta durmaktadır (Şekil 4.70).



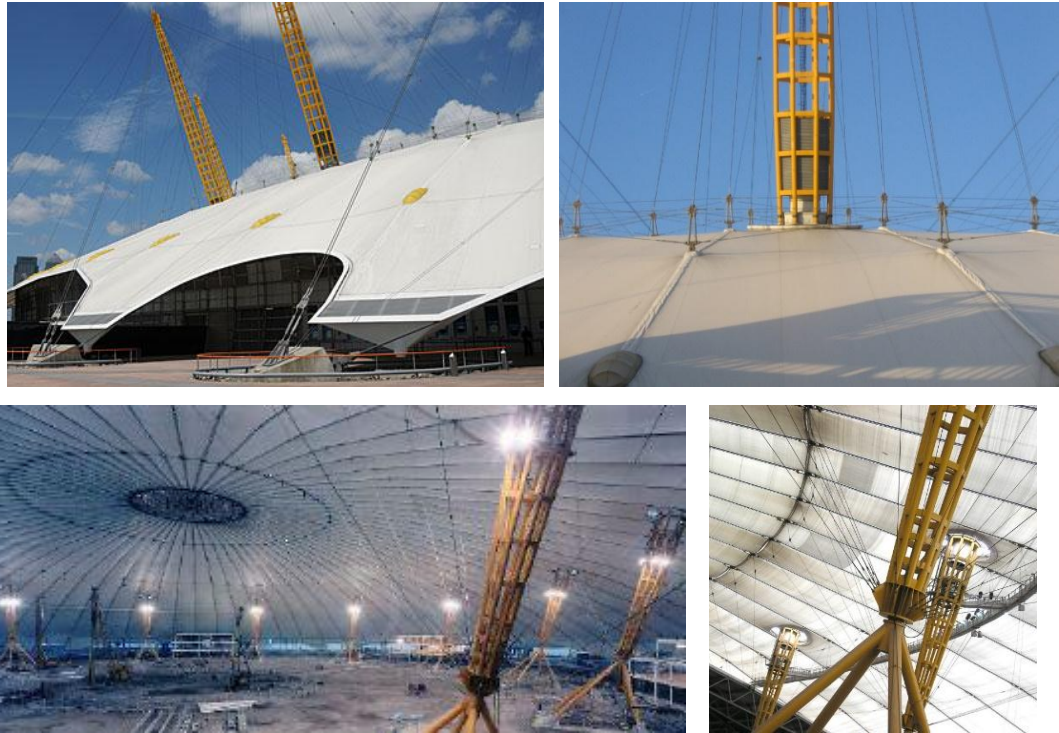
Şekil 4.70 Millennium Dome’un genel görünüşü (Harbour, b.t)

Yapıda 70 km uzunluğunda çelik halat kullanılmıştır. Dörder katlı ve merkezi bir arenanın etrafında kümelenen 14 adet pavyonu dış etkenlerden koruyan ve örten membran kubbe, şimdiye kadar dünyada yapılmış benzerlerinin en büyüğü olan Atlanta’daki Georgi Dome’un tam iki katı büyüklüğündedir. 100 metre uzunluğundaki 12 adet dikmeye asılı 365 metre çaplı mambran, her biri bir ton

ağırlığında 144 ayrı panelle bölünmüş ve 43 mm çapındaki çelik halatlar yardımıyla gerilmiştir (Strüktürel sistemler ve strüktürel malzemeler açısından analiz, 2008).

Britanya'nın en büyük projelerden biri olan "Millenium Dome" ya da "Binyıl Kubbesi", Londra'daki Greenwich Yarımadası üzerinde inşa edilen ve yaklaşık 758 milyon sterline mal olmuştur. Kubbenin altında sürekli sergiler açılmaktadır. Eğitim, bilim, ulusal kimlik ve inanç gibi bölümler oluşturulan kubbe altında, çeşitli gösteriler için de mekânlar oluşturulmuştur (Strüktürel sistemler ve strüktürel malzemeler açısından analiz, 2008).

Yapı form olarak bir kubbe şeklindedir. Yapısal öğeler bu formun net bir şekilde ortaya çıkmasını sağlamıştır. Kubbenin üstünden yükselen dikmeler mimari tasarıma görsel olarak farklılık yaratmıştır. Sarı renkte kullanılmış, canlı, orada olduğunu belli eden dikmeler tasarımda saklanmak istenen bir öğe değil de, tasarımda onun elemanı olarak yer almıştır (Şekil 4.71) (Strüktürel sistemler ve strüktürel malzemeler açısından analiz, 2008).



Şekil 4.71 Millennium Dome'un kablolarının bağlantı detayı (Urban, 2008)

4.1.46 Eden Projesi

Tablo 4.46 Eden Projesi'ne ait bilgiler

Yapım Yeri	St. Blazey, İngiltere
Yapım Yılı	2001
Mimari Tasarım	Nicholas Grimshaw
Geçilen Açıklık	En büyüğü 125 metre
Yapı Yüksekliği	55 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe
Kaplama Malzemesi	ETFE kaplı membran
Plan Geometrisi	Düzgün geometrik forma sahip değil
Yapının İşlevi	Sera kompleksi

Eden Projesi, İngiltere'de 2001 yılında inşa edilmiştir. Yapı çelik çubuklardan yapılmıştır. Çok sayıda jeodezik kubbeden oluşmuş olan yapının, en büyüğünün çapı 125 metredir. Bu kubbe yerden 55 metre yüksekliğe sahip olup, yapı bir sera kompleksidir. Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanan yapının taşıyıcı sistemi çelik çubuk ağları olup kaplama malzemesi ETFE kaplı membrandır (Tablo 4.46). Bu projede 3 katman ETFE film tabakası kullanılmıştır. Kubbenin iç kısımlarında ise PVC film tabakaları kullanılmışlardır (Baktır, 2006).



Şekil 4.72 Eden Projesi'ne ait dış ve iç görünüş (The Eden Project, 2015)

Eden Projesi'nde birbiriyle bağlantılı sekiz adet jeodezik kubbe vardır. Çelik çubuklar, altıgen ve beşgenlerden oluşan çift tabakalı bir strüktür oluşturur (Şekil 4.72). Altıgen çerçevelerden en büyüğü 11 metre açıklığa sahip olup, çerçeveyi oluşturan çelik boruların çapı 193 mm'dir. Kaplama malzemesi olan ETFE, cama oranla daha iyi bir ısı yalıtımı ve daha fazla ışık geçirme özelliğe sahip olup, camın ağırlığının %1'i kadar bir ağırlığa sahiptir (Altın, 2010, s. 79).

4.1.47 Oita Stadyumu

Tablo 4.47 Oita Stadyumu'na ait bilgiler

Yapım Yeri	Oita, Japonya
Yapım Yılı	2001
Mimari Tasarım	Kisho Kurokawa
Geçilen Açıklık	160 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Çelik kemer taşıyıcılı kubbe
Kaplama Malzemesi	Kompozit plastik levha (Teflon)
Plan Geometrisi	Oval formu
Yapının İşlevi	Stadyum

Oita Stadyumu 2002 Dünya Kupası için tasarlanmıştır. Ancak 2008'de Japonya'da düzenlenen Atletizm Şampiyonası'nın ikinci turuna uygun bir şekilde büyültülmüş, büyük ölçekli çok amaçlı bir spor alanı haline getirilmiştir. Strüktürel form olarak küre seçilmesiyle stadyumun üst örtüsü tamamen açılabilir. Ayrıca hareketli panellerin de strüktürel formu eş eğrilikte olmasıyla hareket esnasında yapı formunda bir değişiklik olmaması amaçlanmıştır. Big Eye adıyla da bilinen bu yapı, formlar ve strüktürel olarak tıpkı bir göz gibi hareket etmektedir (Şekil 4.73) (Çalış, 2012, s. 95). Stadyumun geçtiği açıklık 160 metre olup taşıyıcı sistemi çelik kemerlerdir (Tablo 4.47).



Şekil 4.73 Oita Stadyumu'nun genel görünüşü (Çalış,2012)

Yapı birbirine paralel 7 adet çelik kemer, bu kemerlere dik yönde bir diğer kemer, yedi kemer arasında bulunan kemer parçaları ve göz biçimini veren oval çelik kirişten oluşmaktadır. Yapı strüktürünü oluşturan eğilmeye çalışan eğrisel omurga kirişleri üzerinde hareketli çatı panelleri yavaş yavaş hareket etmektedir. Bu hareketli

paneller altta bir vinç elemanına sahip kablo elemanlar yardımıyla yukarıya çekilmektedir. Oita stadyumunun eğrisel çatısı, iki katmanlı bir strüktüre sahiptir. Birinci katman sabit ve güçlendirilmiş beton pilonlara yastı, titanyumla kaplanmış kemer strüktürlerden oluşmaktadır. Boru şeklindeki kemerli strüktür bu proje için inşaat alanı büyüklüğünden kaynaklı olarak en makul çözümdür. İkinci katman ise az bir bakım gerektiren basit bir sistemden oluşan, iki ray üzerinde kayarak hareket edebilen iki adet yarım ay biçimindeki eliptik formlu kabuklardır (Çalış, 2012, s. 96).



Şekil 4. 74 Oita Stadyumu'nun iç görüntüsü (Çalış, 2012)

Her bir kaburga diğer kaburgalardan farklı bir eğriliğe sahiptir ve her bir kablo eleman diğer kablolardan farklı bir yüke sahiptir. Oita Stadyumu'nun hareketli panelleri, yükleri hesaplayabilen ve kontrol edebilen gelişmiş bir teknoloji ile bilgisayar tarafından güçlendirilmiş dış kablolar tarafından desteklenmektedir (Sharp & Kobayashi, 2002).

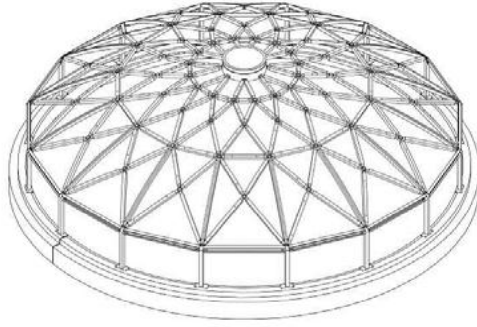
%25 ışık geçirgenliği olan ultra modern teflon membran panellerin kullanımıyla gündüz saatlerinde yapay ışıklandırma ihtiyacı giderilmiştir. Ayrıca sahanın gün ışığı alması açısından eliptik çatı kuzey-güney aksı boyunca açılmaktadır (Kurokawa, 2002).

4.1.48 Gurdwara Southall Temple

Tablo 4.48 Gurdwara Southall Temple’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Londra, İngiltere
Yapım Yılı	2003
Mimari Tasarım	Architects Co Partnership
Geçilen Açıklık	18 metre
Yapı Yüksekliği	14 metre
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	Ahşap kaplama panelleri
Plan Geometrisi	Dairesel form
Yapının İşlevi	Dini yapı- tapınak

Gurdwara Southall Temple 2003 yılında Londra şehrinde yapılmıştır. Architects Co Partnership tarafından dini yapı olarak tasarlanmıştır. Taşıyıcı sistemi tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı olan jeodezik kubbe, 14 metre yüksekliğinde ve 18 metre çapındadır. Dairesel forma sahip olan yapı 33 mm kalınlığında ahşap paneller ile kaplıdır. Kubbenin bağlantı öğeleri, paslanmaz çelik bağlantı elemanları ve silindirik biçimli metal merkezi bağlantı elemanlarıdır (Tablo 4.48) (Şekil 4.75).



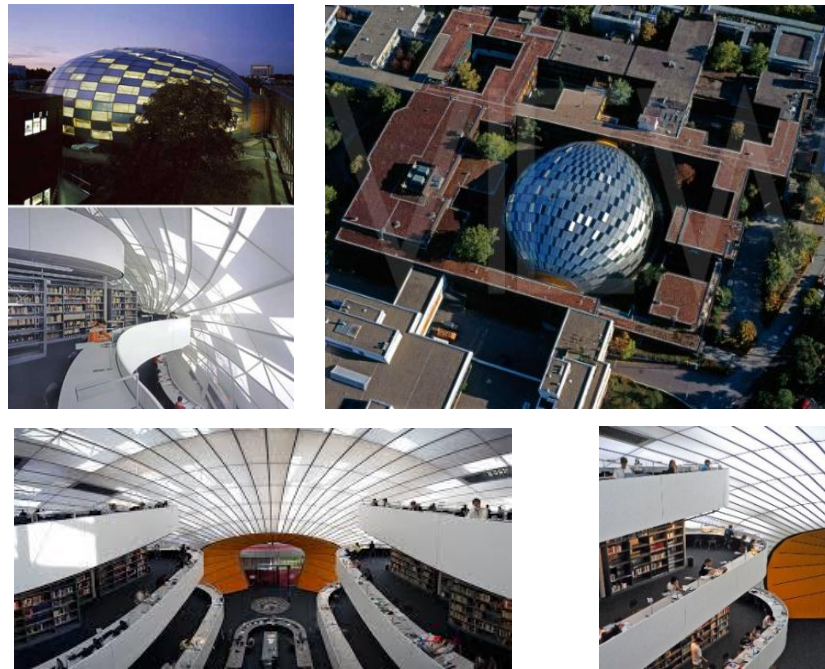
Şekil 4.75 Gurdwara Southall Temple’a ait taşıyıcı sistem şeması, iç görünüşü ve bağlantı elemanı (Southall Gurdwara, b.t; Altunkaya, 2007)

4.1.49 Library for Faculty of Philology

Tablo 4.49 Library for Faculty of Philology'ye ait bilgiler

Yapım Yeri	Beijing, Çin
Yapım Yılı	2007
Mimari Tasarım	Paul Andreu
Geçilen Açıklık	55 metre
Yapı Yüksekliği	19 metre
Taşıyıcı Sistem	Çelik çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	Alüminyum ve cam paneller
Plan Geometrisi	Eliptik
Yapının İşlevi	Kütüphane

Library for Faculty of Philology, 2007 yılında Çin'in Beijing şehrinde inşa edilmiştir. Yapı, Filoloji Fakültesi'nin kütüphane binası olarak tasarlanmıştır. Kubbenin taşıyıcı sistemi, iki doğrultuda çalışan çelik çerçeve sistem olarak düzenlenmiştir. Radyal bir geometriye sahip olan yapı, 64 metre x 55 metre boyutlarında, 19 metre yüksekliğindedir. Dış cephesi alüminyum ve cam panellerle kaplıdır (Tablo 4.49). Dolu-boş şeklinde düzenlenen paneller yardımıyla içeriye giren ışık miktarı düzenlenmektedir (Şekil 4.76) (Urfalı, 2012, s. 96).



Şekil 4.76 Library for Faculty of Philology'ye ait iç ve dış görünüşler (Library for Faculty of Philology, 2015)

4.1.50 The National Grand Theatre

Tablo 4.50 The National Grand Theatre'in genel bilgileri

Yapım Yeri	Beijing, Çin
Yapım Yılı	2007
Mimari Tasarım	Paul Andreu
Geçilen Açıklık	En fazla 213 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Çelik kemer taşıyıcılı kubbe
Kaplama Malzemesi	Cam ve titanyum
Plan Geometrisi	Elips
Yapının İşlevi	Alışveriş merkezi, tiyatro ve restoran

The National Grand Theatre, 2007 yılında Çin'in Beijing şehrinde inşa edilmiş, alışveriş merkezi, tiyatro ve restoran işlevlerini bünyesinde barındıran bir yapıdır. 213 metre x 144 metre boyutlarında, elips planlı olan yapının tasarımı Paul Andreu'ye aittir. Taşıyıcı sistemi, iki doğrultuda çalışan çelik kemerlerin oluşturduğu bir ızgara sistemi olup kaplama malzemesi cam ve titanyumdur (Tablo 4.50). Kemerlerin oluşturduğu ızgaraların arasındaki mesafe 3,5 metredir (Şekil 4.77) (Urfalı, 2012, s. 96).



Şekil 4.77 The National Grand Theatre'a ait iç ve dış görünüşler (National Grand Theatre, 2007)

4.1.51 ELT Tenerife

Tablo 4.51 ELT Tenerife'ye ait bilgiler

Yapım Yeri	Tenerife, İspanya
Yapım Yılı	2008
Mimari Tasarım	A.Schmid, ELT Design Study
Geçilen Açıklık	15 metre
Yapı Yüksekliği	7,5 metre
Taşıyıcı Sistem	Hava şişirmeli pnömatik kubbe
Kaplama Malzemesi	Polyester / PVC kumaş
Plan Geometrisi	Yarım küre formunda geometri
Yapının İşlevi	Uzay gözlem evi

ELT Tenerife yapısı, A.Schmid ve ELT Design Study tarafından uzay gözlem evi olarak tasarlanmıştır. Tasarım yaklaşımı olarak, küresel çatının tam ortasından geçen iki adet yarım daire şeklinde çelik profilin sağa ve sola hareket etmesiyle açılıp kapanabilen hava şişirmeli hareketli bir kubbe sistemi uygulanmıştır. Kubbenin geçtiği açıklık 15 metre, yüksekliği ise 7,5 metredir. Hem taşıyıcı hem de örtücü görevi olan pnömatik sistem için PVC membran kullanılmıştır (Tablo 4.51) (Şekil 4.78).



Şekil 4.78 ELT Tenerife'ye ait genel görünüş (Tensinet, 2012; Çalış, 2012)

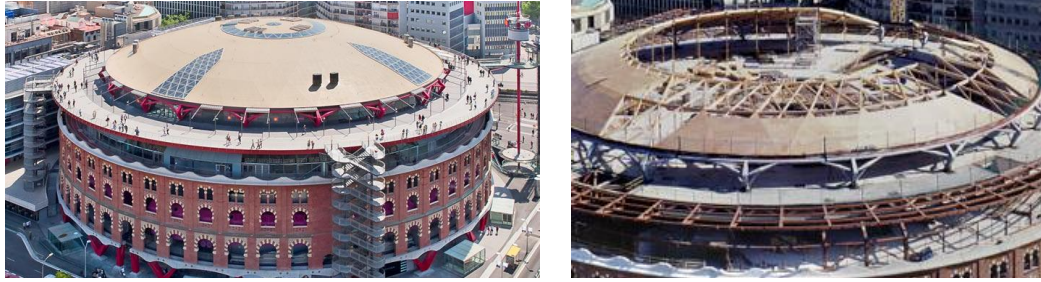
Teleskobun manevra kabiliyetini artırmak amacıyla; dairesel çatının tam ortasında iki adet yarım daire şeklinde çelik profilin başlangıç ve bitiş uçlarından mafsallanmasıyla dikey ekseninde birbirine paralel bu iki daire parçası sağa ve sola açılarak üst örtüde hareketlilik sağlanmıştır. Çelik profiller ile desteklenen ve 15 metre çapa sahip bu sistem ufuk çizgisinden ufuk çizgisine açılımını 7 dakikada tamamlayabilmektedir (Çalış, 2012, s. 60).

4.1.52 Las Arenas

Tablo 4.52 Las Arenas’a ait bilgiler

Yapım Yeri	Barselona, İspanya
Yapım Yılı	2011
Mimari Tasarım	Rogers Stirk Harbour & Partners.
Geçilen Açıklık	30 metre
Yapı Yüksekliği	-----
Taşıyıcı Sistem	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe
Kaplama Malzemesi	Membran ve cam
Plan Geometrisi	Dairesel
Yapının İşlevi	Alışveriş merkezi

Las Arenas yıllar önce Barselona’da inşa edilmiş olan tarihi bir yapıdır. Güncel gelişmelere paralel olarak restore edilmiş ve bu kapsamda kubbesi de yenilenmiştir. Rogers Stirk Harbour & Partners tarafından tasarlanan kubbe, 30 metre çapa sahiptir. Lamella kubbenin taşıyıcı sistemi tutkallı tabakalı ahşap ile oluşturulmuştur. Kaplama malzemesi olarak yer yer membran yer yer de cam kullanılmıştır. Las Arenas daireysel plan şemasına sahip bir AVM olarak hayatına devam etmektedir (Tablo 4.52) (Şekil 4.79) (Yılmaz, 2011).



Şekil 4.79 Las Arenas’ın genel görünüşü ve kubbenin inşasından bir görünüm (Las Arenas, 2014)

Yeni tasarlanan projede sadece eski yapının dış duvarları kalmış, içine yepyeni bir yapı kurulmuştur. Tarihi dış duvarlar, iç kısımdan çelik elemanlarla desteklenmiş ve sağlamlaştırılmıştır. Yeni yapı, genel olarak çelik ve betondan inşa edilmiş olsa da, oluşturulan panoramik çatı katı, ahşap kubbe sistemiyle oluşturulmuştur. Çatı, lamella kubbe olarak 76 metre çevreli olarak tasarlanmıştır. Merkezden 15 metre yarıçap mesafede bir çember oluşturulmuş ve merkezdeki birleşimler azaltılmıştır. Köknar ağacından üretilmiş tutkallı tabakalı ahşap elemanlar kullanılmıştır (Yılmaz, 2011).

4.2 Kubbe Formundaki Yapılarının Analizi

Bu bölüme kadar, çalışmanın amaç bölümünde de açıklandığı üzere Türkçe ve yabancı literatürlere yapılan kaynak taraması sonucu elde edilen kubbe formundaki yapıların örnekleri incelenmiş ve ana hatları esas alınarak kubbelerle ilgili bilgiler verilmiştir. Örneklerin irdelendiği bu bölümde ise, incelenen örneklerden elde edilen bilgiler karşılaştırmalı olarak grafiklendirilmiştir. Bu bölüm, yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen kubbe örnekleri arasından seçilmiş ve dördüncü bölümde tüm yapısal özellikleriyle birlikte detaylandırılarak irdelenen 52 adet kubbenin analizinin yapıldığı bölümdür. İrdelenen örneklerde yapısal özelliklerin mümkün olduğunca farklı olmasına özen gösterilmiştir.

İncelenen ve tez kapsamına dahil edilen 52 adet kubbe örneği;

- Yapım yeri
- Yapım yılı
- Geçilen açıklık
- Yükseklik
- Taşıyıcı sistem
- Kaplama malzemesi
- Plan geometrisi
- Yapının işlevi ile ilgili bilgiler Tablo 4.54’te bir arada olarak verilmiştir.

Yapılan analizler öncesinde dördüncü bölümde detaylı olarak verilen bu bilgiler toplam olarak verildiği bir tablo hazırlanması gerekli görülmüştür.

Tablo 4.53 Örneklerin karşılaştırılması

Yapı	Yapım yeri	Yapım yılı	Geçilen açıklık	Yükseklik	Taşıyıcı sistem	Kaplama malzemesi	Plan geometrisi	Yapının işlevi	
1. Pantheon	Roma, İtalya	128	43,4 m.	43,4 m.	Kabuk beton kubbe	Beton	Dairesel	Dini yapı	
2. Ayasofya	İstanbul, Türkiye	537	31,37 m.	55,60 m.	Yığma taş kubbe	Kaburgaların arası taş ve tuğla	Kare	Dini yapı	
3. Kubbet-üs Sahra	Küfus, Filistin	691	20 m.	34 m.	Kaburgalı ahşap kubbe	Altın varak	Dairesel	Dini yapı	
4. Floransa Katedrali	Floransa, İtalya	1436	42 m.	91 m.	Kaburgalı tuğla kubbe	Kaburgaların arası tuğla	Sekizgen	Dini yapı	
5. Süleymaniye Camii	İstanbul, Türkiye	1557	27,5 m.	53 m.	Yığma tuğla kubbe	Kurşun	Kare	Dini yapı	
6. Aziz Vasil Katedrali	Moskova, Rusya	1561	-----	47,5 m.	Ahşap kaburgalı kubbe	Renkli metal levhalar	Sekizgen ve kare	Dini yapı	
7. Selimiye Camii	Edirne, Türkiye	1574	31,22 m.	42,25 m.	Yığma taş kubbe	Taş	Sekizgen	Dini yapı	
8. St. Peter Katedrali	Roma, İtalya	1591	41,6 m.	117,6 m.	Kaburgalı tuğla kubbe	Tuğla	Kare	Dini yapı	
9. Şeyh Lütfullah Camii	İsfahan, İran	1619	13 m.	32 m.	Yığma tuğla kubbe	Firuze taşları (Yedi renk karo)	Kare	Dini yapı	
10. Mescid-i İmam (Şah)	İsfahan, İran	1619	25 m.	53 m.	Yığma tuğla kubbe	Firuze taşları (Yedi renk karo)	Kare	Dini yapı	
11. Tac Mahal	Agra, Hindistan	1653	17,7 m.	82 m.	Yığma taş kubbe	Beyaz mermer taş	Sekizgen	Anıt	

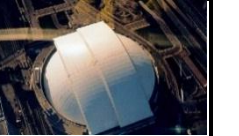
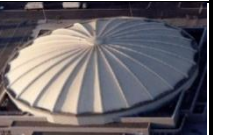
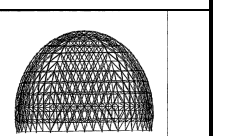
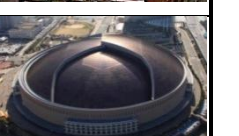
Tablo 4.53'ün devamı

Yapı	Yapım yeri	Yapım yılı	Geçilen açıklık	Yükseklik	Taşıyıcı sistem	Kaplama malzemesi	Plan geometrisi	Yapının işlevi	
12. St. Paul Katedrali	Londra, İngiltere	1710	30,7 m.	67,33 m.	Kaburgalı tuğla kubbe	Kurşun ve ahşap	Sekizgen	Dini yapı	
13. Capitol Dome	Washington, A.B.D.	1865	29 m.	88 m.	Kaburgalı dökme demir kubbe	Bakır	Dairesel	Kongre Binası	
14. Kresge Oditoryumu	Kembriç, A.B.D.	1955	34 m.	18,6 m.	Betonarme kabuk kubbe	Bakır levhalar, cam	Üçgen benzer	Oditoryum	
15. Kaiser Aluminum Dome	Hawaii, A.B.D.	1957	44 m.	15 m.	Alüminyum jeodezik kabuk kubbe	Alüminyum paneller	Beşgen	Çok amaçlı salon	
16. Palazzetto dello Sport	Roma, İtalya	1957	60 m.	21 m.	Betonarme kabuk kubbe	Betonarme	Dairesel	Spor salonu	
17. Palazzo dello Sport	Roma, İtalya	1960	100 m.	-----	Betonarme lamella kabuk kubbe	-----	Dairesel	Spor salonu	
18. Utica Oditoryumu	New York, A.B.D.	1960	63 m.	-----	Çelik çift tabakalı kablo sistemi kubbe	-----	Dairesel	Oditoryum	
19. Missouri Botanik Bahçesi	St. Louis, Missouri, A.B.D.	1961	53 m.	21 m.	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe	Alüminyum, akrilik paneller, cam	Beşgen	Botanik bahçesi	
20. Illini Hall	Urbana, Champaign, A.B.D.	1963	122 m.	-----	Betonarme katlanmış plak kubbe	Betonarme	Dairesel	Çok amaçlı salon	
21. Amerikan Pavyonu, Expo 67	Montreal, Kanada	1967	76 m.	60,8 m.	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe	Pleksiglas akrilik paneller	Dairesel	Sergi alanı	

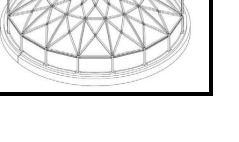
Tablo 4.53'ün devamı

Yapı	Yapım yeri	Yapım yılı	Geçilen açıklık	Yükseklik	Taşıyıcı sistem	Kaplama malzemesi	Plan geometrisi	Yapının işlevi	
22. Amerikan Pavyonu, Expo 70	Osaka, Japonya	1970	142 m.	-----	Kablo takviyeli hava destekli pnömatik kubbe	Vinil kaplama fiberglas membran	Eliptik, Elips ile dikdörtgen arasında	Sergi alanı	
23. Norfolk Scope	Norfolk, Virginia, A.B.D.	1971	134 m.	33,5 m.	Betonarme lamella kabuk kubbe	Betonarme	Dairesel	Çok amaçlı salon	
24. The South Pole Dome	Antarktika, Güney kutup	1973	50 m.	16 m.	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe	Alüminyum	Dairesel	Araştırma istasyonu	
25. Silver Dome	Ponatiac, Michigan, A.B.D.	1975	228 m.	-----	Kablo takviyeli hava desteki pnömatik kubbe	Teflon kaplı fiberglas membran	Sekizgen	Spor salonu	
26. King Dome	Seattle, Washington, A.B.D.	1975	201,5 m.	-----	Betonarme nervürlü kabuk kubbe	Betonarme	Dairesel	Stadyum	
27. Tacoma Dome	Tacoma, Washington, A.B.D.	1982	161 m.	48 m.	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe	Poliüretan membran	Dairesel	Spor salonu	
28. Montreal Olimpiyat Stadyumu	Montreal, Kanada	1987	120 m.	-----	Kablo askılı membran sistem	Kevlar membranı	Eliptik	Stadyum	
29. Tokyo Dome	Tokyo, Japonya	1988	201 m.	60,7 m.	Kablo takviyeli hava destekli pnömatik kubbe	PTFE kaplı fiberglas membran	Kare	Çok amaçlı salon	
30. Seoul Olimpik Stadyumu	Seul, Kore	1988	120 m.	-----	Kablo destekli tensegriti kubbe	Silikon fiberglas membran	Dairesel	Stadyum	

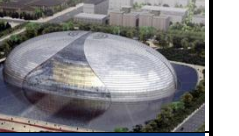
Tablo 4.53'ün devamı

Yapı	Yapım yeri	Yapım yılı	Geçilen açıklık	Yükseklik	Taşıyıcı sistem	Kaplama malzemesi	Plan geometrisi	Yapının işlevi	
31. Suncoast Dome	St Petersburg, Florida, A.B.D.	1989	210 m.	-----	Kablo destekli tensegriti kubbe	Teflon kaplı fiberglas membran	Dairesel	Çok amaçlı salon	
32. Toronto Sky Dome	Toronto, Kanada	1989	180 m.	53 m.	Çelik çubuk ağı kubbe	Çelik çerçeve panel, PVC kaplı membran	Dairesel	Stadyum	
33. Yakima Sun Dome	Yakima, Washington, A.B.D.	1990	82,3 m.	48,8 m.	Betonarme kabuk kubbe	Betonarme	Dairesel	Stadyum	
34. Superior Dome	Morquette, Michigan, A.B.D.	1991	163,4 m.	49 m.	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe	-----	Dairesel	Stadyum	
35. İzumo Dome	İzumo, Japonya	1992	143 m.	49 m.	Tutkallı tabakalı ahşap kaburgalı kubbe	Yarısaydam beyaz teflon film	Dairesel	Stadyum	
36. Birleşmiş Milletler Pavyonu Expo 92	Seville, İspanya	1992	18 m.	22 m.	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe	Cam paneller	Dairesel	Sergi alanı	
37. Georgia Dome	Atlanta, Georgia	1992	228 m.	82 m.	Kablo destekli tensegriti kubbe	Teflon kaplı fiberglas membran	Eliptik, Oval	Stadyum	
38. Fukuoka Dome	Fukuoka, Japonya	1993	222 m.	84 m.	Çelik çubuk ağı kubbe	Titanyum	Dairesel	Çok amaçlı stadyum	
39. Le Comptoir Forestier	Walloon, Belçika	1995	27 m.	12,5 m.	Tutkallı tabakalı ahşap kemer taşıyıcılı kubbe	T profilli cam ve alüminyum	Eliptik	Endüstri binası	

Tablo 4.53'ün devamı

Yapı	Yapım yeri	Yapım yılı	Geçilen açıklık	Yükseklik	Taşıyıcı sistem	Kaplama malzemesi	Plan geometrisi	Yapının işlevi	
40. Odate Dome	Odate, Akita, Japonya	1997	178 m.	52 m.	Tutkallı tabakalı ahşap kemer taşıyıcılı ızgara kubbe	Yarı saydam teflon örtü malzeme, PTFE cam lifi	Dairesel	Çok amaçlı stadyum	
41. Komatsu Dome	Komatsu, Japonya	1997	55 m.	59 m.	Çelik kemer taşıyıcı kubbe	PTFE kaplı cam yünü membran	Eliptik	Çok amaçlı stadyum	
42. Sidney Showground Dome	Sidney, Avustralya	1998	97 m.	42 m.	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe	-----	Dairesel	Gösteri ve sergi alanı	
43. Atlantico Pavyonu	Lisbon, Portekiz	1998	114 m.	36 m.	Tutkallı tabakalı ahşap kemer taşıyıcılı kubbe	Ahşap kaplama örtü malzemesi	Düzgün geometrik forma sahip olmayan	Çok amaçlı salon	
44. Reichstag Parlamento Binası	Berlin, Almanya	1999	38 m.	23,5 m.	Çelik kaburgalı kubbe	Cam	Dairesel	Parlamento binası	
45. Millennium Dome	Londra, İngiltere	1999	365 m.	50 m.	Kablo destekli membran kubbe	PTFE kaplı fiberglas membran	Dairesel	Sergi alanı	
46. Eden Projesi	St. Blazey, İngiltere	2001	125 m.	55 m.	Çelik çubuk ağı jeodezik kubbe	ETFE kaplı membran	Düzgün geometrik forma sahip olmayan	Sera kompleksi	
47. Oita Stadyumu	Oita, Japonya	2001	160 m.	-----	Çelik kemer taşıyıcılı kubbe	Kompozit plastik levha (Teflon)	Eliptik, Oval	Stadyum	
48. Gurdwara Southall Temple	Londra, İngiltere	2003	18 m.	14 m.	Tutkallı tabakalı ahşap çubuk ağı kubbe	Ahşap kaplama panelleri	Dairesel	Dini yapı	

Tablo 4.53'ün devamı

Yapı	Yapım yeri	Yapım yılı	Geçilen açıklık	Yükseklik	Taşıyıcı sistem	Kaplama malzemesi	Plan geometrisi	Yapının işlevi	
49. Library for Faculty of Philology	Beijing, Çin	2007	55 m.	19 m.	Çelik çubuk ağı kubbe	Alüminyum ve cam paneller	Dairesel	Kütüphane	
50. The National Grand Theatre	Beijing, Çin	2007	213 m.	-----	Çelik kemer taşıyıcılı kubbe	Cam ve titanyum	Elips	Sanat merkezi	
51. ELT Tenerife	Tenerife, İspanya	2008	15 m.	15 m.	Hava şişirmeli pnömatik kubbe	Polyester / PVC kumaş	Eliptik	Uzay gözlem evi	
52. Las Arenas	Barselona, İspanya	2011	30 m.	-----	Tutkalı tabakalı ahşap çubuk ağı lamella kubbe	-----	Dairesel	Alışveriş merkezi	

Tez kapsamına dahil edilen 52 adet örnek kubbe kapsamında yapılan bu analizler, kubbe örneklerindeki değişime bağlı olarak farklı sonuçlar da verebilir. Ancak burada amaç kabaca bir durum tespiti yapmaktır. Tezin kapsam bölümünde de açıklandığı üzere belirlenen 52 adet kubbe örneği, öncelikle mimarlık tarihinde önemli bir yeri olan yapılardan seçilmiştir. Bir sonraki belirleme kriteri ise aynı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip kubbeli yapılardan en büyük açıklığa sahip olan kubbeli yapıyı tez kapsamına alma, diğerlerini almama yönündedir. Aynı taşıyıcı sistem özelliğine sahip olup farklı kaplama malzemesi ile örtülen kubbeler de tez kapsamına alınmış, böylece 52 adet kubbe örneği belirlenmiştir.

Bu bağlamda yapılan analizler kategorize edilmiş ve üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar;

1. Yapı ve yapının kullanımıyla ilgili bulgular ve irdeleme,
2. Strüktür sistemiyle ilgili bulgular ve irdeleme,
3. Malzemeyle ilgili bulgular ve irdelemedir.

4.2.1 Yapı ve Ypının kullanımıyla ilgili bulgular ve irdeleme

Tez kapsamında irdelenen 52 adet kubbe örneğinin, taşıyıcı sistem ve taşıyıcı sistem malzemesi kriterleri dışında kalan, yapı ve yapının kullanım özelliklerini içeren Tablo 4.53'teki bilgiler bir araya getirilerek bir takım analizler yapılmıştır. Bu analizler;

1. Yapının işlevi,
2. Yapım yılı,
3. Plan geometrisi ve
4. Geçilen açıklık şeklindedir.

4.2.1.1 Yapının İşlevi

Tez kapsamına alınan 52 adet kubbeli yapının işlevlerinin neler olduğu irdelendiğinde Tablo 4.54'teki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.54 İşlevlerine göre kubbelerin sayıları

İşlevi	Sayısı	İşlevi	Sayısı
Spor salonu-Stadyum	16	Alışveriş merkezi	1
Dini yapı	12	Anıt	1
Çok amaçlı salon	6	Parlamento	1
Sergi alanı	5	Botanik bahçesi	1
Oditoryum	2	Sera kompleksi	1
Kongre binası	1	Kütüphane	1
Uzay gözlem evi	1	Sanat merkezi	1
Endüstri binası	1	Araştırma istasyonu	1

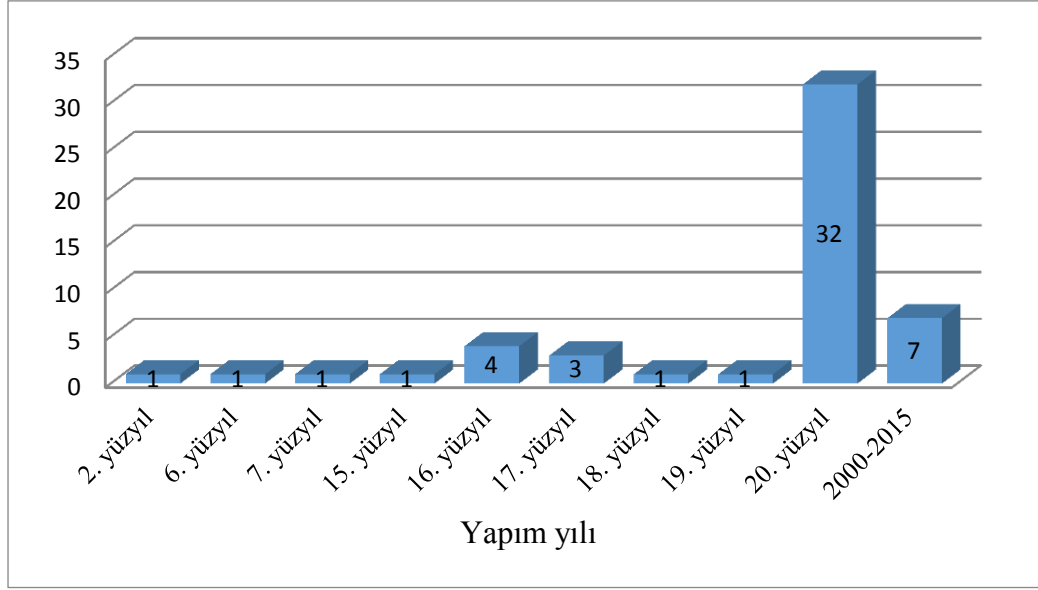
Tablo 4.54’e göre kubbelerin farklı işlevlere sahip yapılarda kullanılabildiği; ancak incelenen 52 adet kubbeli yapı örnek içinde en çok kullanımın stadyum ve spor salonu gibi büyük açıklık gerektiren yapılar ile dini yapılarda olduğu görülmektedir. Bu işlevleri, sergi alanı ve çok amaçlı salon üst örtülerinin takip etmekte olduğu gözlenmektedir. Yaygın kullanım işlevlerinin dışında oditoryum, kongre binası, parlamento binası, botanik bahçesi, endüstri binası, sera kompleksi, kütüphane, uzay gözlem evi, araştırma istasyonu ve anıt işlevli yapılarda da kubbeler kullanılmaktadır.

4.2.1.2 Yapım Yılı

Kubbeli yapılara ilişkin yapılan ikinci analiz yapıların yapım yıllarının analizidir. Kubbelerin yapım yılları yüzyıllık dönemler bazında analiz edilerek Tablo 4.55 ve Şekil 4.80’de sunulmaktadır.

Tablo 4.55 Yapım yılına göre kubbeli yapı örneklerindeki değişim

Yapım yılı	Yapı sayısı	Yapım yılı	Yapı sayısı
2. yüzyıl	1	17. yüzyıl	3
6. yüzyıl	1	18. yüzyıl	1
7. yüzyıl	1	19. yüzyıl	1
15. yüzyıl	1	20. yüzyıl	32
16. yüzyıl	4	2000-2015	7



Şekil 4.80 Örneklerin yapım yıllarına göre dağılımı

Tablo 4.55'e göre, tez kapsamında incelenen 52 adet kubbe örneği arasından ilk kubbeli bina 2. Yüzyıl'da inşa edilmiş olan Pantheon'dur. Pantheon'u 6. Yüzyıl, 7. Yüzyıl ve 15. Yüzyıl'da inşa edilmiş olan birer adet dini yapılar izlemektedir. 16. Yüzyıl, yığma kâgir inşa edilen kubbeli binalarda geçilebilen açıklık açısından bir zirve noktasıdır. Bu yüzyıldan itibaren, yığma kubbelerde geçilebilen açıklıklar düşmekte ve mimarlık tarihine girebilen yığma kubbeli yapılar azalmaktadır. 20. Yüzyıl'ın başlarında eğilmeye çalışabilen betonarme ve çeliğin yapılarda kullanımı ile birlikte kubbeli yapıların yapımında büyük bir artış gözlenmektedir. Salt çekmeye çalışan malzemelerin kullanımı sonrasında ise daha hafif kubbeler yapılmaya başlanmış ve geçilen açıklıklar daha da artmıştır. Şekil 4.85'te son 15 yıl içinde inşa edilmiş kubbeli bina örnekleri 20. Yüzyıl'daki örneklerden daha az gibi görülebilir ancak buradaki 8 kubbeli binanın sadece 15 yıl içinde inşa edildiği unutulmamalıdır.

4.2.1.3 Plan Geometrisi

Kubbeli yapılarla ilgili yapılan bir diğer analiz ise kubbe altında kalan mekânın geometrisiyle ilgilidir. Geometrik olarak bir kürenin yatay kesitinden daire elde edilmekte olup bir küre parçası olan kubbenin de dairesel bir mekânı örtmesi beklenir. Ancak kubbeler tromp ve pandantif gibi strüktürel elemanlar yardımıyla kare ve sekizgen mekânları da örtebilmektedir. Kemer şeklindeki kaburgalar

yardımıyla eliptik mekânları örten kubbeler, üç yönlü çubuk ağı taşıyıcılar sayesinde üçgen ve beşgen mekânları da örtebilmektedir. Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbeli yapının, kubbe altı mekân geometrisi incelendiğinde, kubbenin altında kalan mekânda çeşitli plan geometrilerinin kullanıldığı saptanmıştır ki, bu plan geometrileri;

1. Üçgen,
2. Kare,
3. Beşgen,
4. Sekizgen,
5. Dairesel,
6. Eliptik ve

7. Düzgün olmayan geometrik forma sahip plan geometrileri olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan çalışmadaki 52 yapının plan geometrilerine göre analizi Tablo 4.56’da verilmektedir.

Tablo 4.56 Analizi yapılan kubbelerin plan geometrilerine göre dağılımı

Plan geometrisi	Sayısı
Dairesel	27
Eliptik	8
Kare	6
Sekizgen	6
Düzgün olmayan geometrik forma	2
Beşgen	2
Üçgen	1

Kubbeler, Tablo 4.56’da sayılan düzgün veya düzgün olmayan geometrik formlu plan tiplerine sahip mekânların üzerini örtebilmektedirler. Düzgün geometrik formlar kare, beşgen, daire, üçgen, sekizgen veya elips olarak düşünüldüğünde; incelenen kubbelerin birçoğunun düzgün geometrik plan formuna sahip mekânların üstünü örttüğü gözlemlenmiştir. Bu bağlamda incelenen 52 adet örnek kubbeden 27 adedinin dairessel bir mekânı örttüğü 8 adedinin eliptik, 6 adedinin kare, 6 adedinin sekizgen, 2 adedinin beşgen, 2 adedinin düzgün geometrik forma sahip olmayan ve 1

adedinin üçgen bir mekânı örttüğü belirlenmiştir. Bu analize göre seçilen örneklerin yarısının dairesel bir mekânı örttüğü, bunun da küre formuna en uygun geometrik mekân şekli olması düşünülmektedir.

4.2.1.4 Geçilen Açıklık

Kubbeli yapılarda kubbenin geçebildiği en büyük açıklık mimarlar arasında prestij sebebi olarak görülmektedir. Ayasofya'nın yapımından sonra imparator Jüstinyen'in Kubbet-üs Sahra'yı kastederek "seni geçtim Süleyman" diye çılgınlık attığı, Mimar Sinan'ın Ayasofya'dan daha büyük açıklık geçebilen bir cami yapabilmek için tüm ömrünü harcadığı, bilinmektedir. Yeni malzeme ve yapım yöntemlerinin geliştirilmesi sonucu 365 metre açıklık geçebilen Millenium Dome geçilebilen açıklık konusunda liderliği elinde bulundurmaktadır.

Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbe örneğinde, kubbelerin geçebildiği açıklık mesafelerinin birbirinden çok farklı olması nedeniyle, açıklıklar ellişer metrelik aralıklarla sekiz grup altında incelemeye alınmıştır. Aziz Vasil Katedrali için açıklık bilgisine ulaşamadığı için 51 adet kubbeli yapı analize dahil edilmiştir. Yapılan çalışmadaki geçilen açıklıklara göre kubbeli bina sayıları Tablo 4.57'de verilmektedir.

Tablo 4.57 Analizi yapılan kubbelerin geçilen açıklıklarına göre dağılımı

Geçilen açıklık	Sayısı
0 metre - 49 metre	20
50 metre – 99 metre	9
100 metre - 149 metre	9
150 metre - 199 metre	5
200 metre - 249 metre	7
250 metre -299 metre	0
300 metre - 349 metre	0
350 metre – 400 metre	1

52 adet örnek kubbe incelendiğinde 20 adedinin 0 metre ile 49 metre arasında, 9 adedinin 50 metre ile 99 metre arasında, 9 adedinin 100 metre ile 149 metre arasında, 5 adedinin 150 metre ile 199 metre arasında, 7 adedinin 200 metre ile 249 metre arasında ve 1 adedinin 350 metre ile 400 metre arasında açıklık geçtiği görülmektedir. Kubbenin geçtiği açıklık arttıkça uygulanmış örneklerin sayısı azaldığı belirlenmekte olup, yapılan analizler Tablo 4.58’de de görülmektedir.

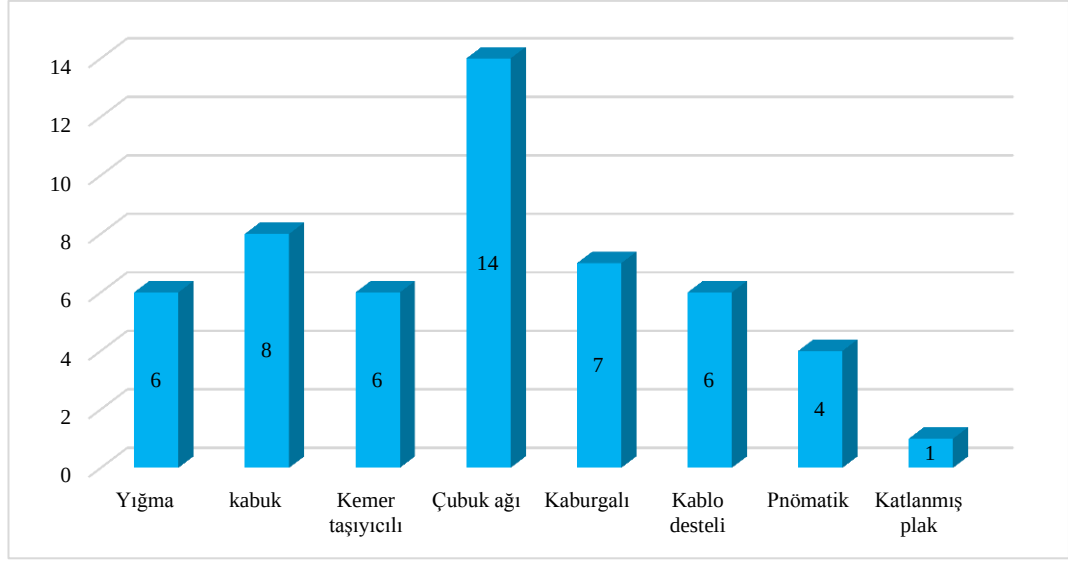
4.2.2 Strüktür Sistemiyle İlgili Bulgular ve İrdellemeler

Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbeli yapının kubbesinin taşıyıcı sistem ile ilgili olarak analizler yapılmıştır. Öncelikle bu 52 kubbenin taşıyıcı sistemlerinin bir araya getirildiği bir analiz yapılmış ve kaç farklı strüktür sisteminin kullanılabileceği belirlenmiştir. Daha sonra kriterlerin ikili analizleri yapılmıştır. Bu bağlamda toplam 5 adet analiz yapılmıştır ki, bunlar;

1. Strüktür türü
2. Strüktür türü - geçilen açıklık
3. Strüktür türü - yapım yılı
4. Strüktür türü - yapının işlevi
5. Strüktür türü - plan geometrisi

4.2.2.1 Strüktür türü

Strüktür, en genel anlamıyla yapının taşıyıcı sistemini ifade etmekte olup, kubbelerin irdelendiği bu tez kapsamında yapının taşıyıcı sisteminden ziyade kubbenin taşıyıcı sistemini ifade etmektedir. Bu bağlamda kubbelerin strüktür türleri sekiz farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar; yığma kubbeler, kabuk kubbeler, kaburgalı kubbeler, kemer taşıyıcılı kubbeler, çubuk ağı kubbeler, hava basınçlı kubbeler (pnömatik kubbeler), kablo destekli kubbeler ve katlamış plak kubbeler olarak sınıflandırılabilir. Tez kapsamında incelenen 52 kubbenin taşıyıcı sistem türlerinin dağılımı Şekil 4.81’de gösterilmiştir.



Şekil 4.81 İncelenen kubbelerin strüktür türlerinin dağılımı

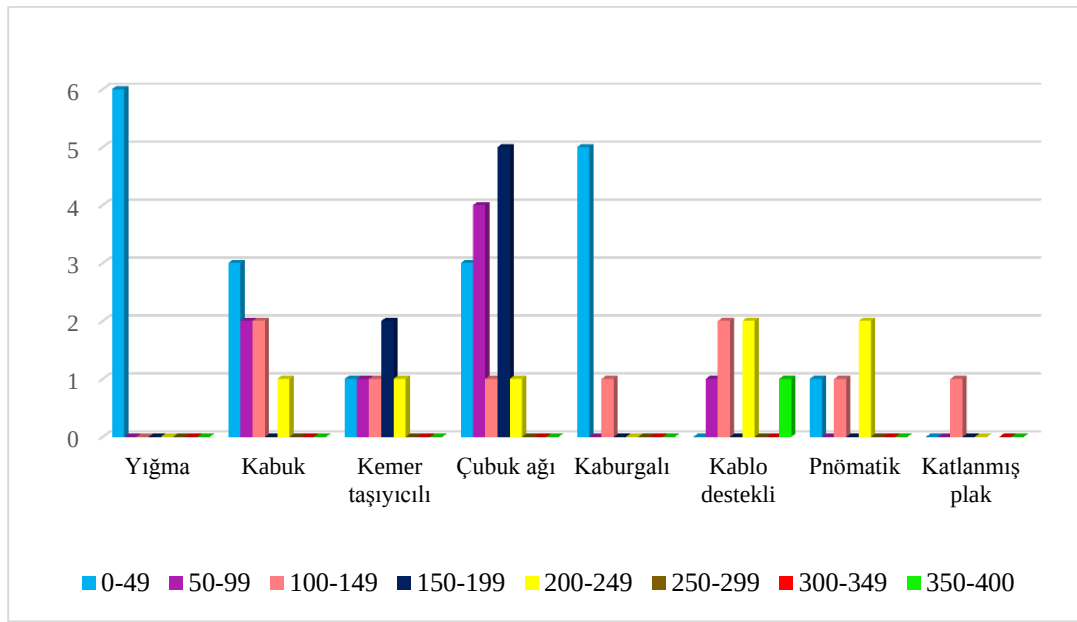
52 adet kubbe örneği taşıyıcı sistem açısından irdelendiğinde 6 adedinin yığma, 8 adedinin kabuk, 6 adedinin kemer taşıyıcılı, 14 adedinin çubuk ağı, 7 adedinin kaburgalı, 6 adedinin kablo destekli, 4 adedinin pnömatik ve 1 adedinin katlanmış plak yapım sistemine sahip olduğu belirlenmektedir. Bu bağlamda en çok kullanılan taşıyıcı sistem türü çubuk ağı olarak belirlenmektedir. Bu strüktürün yanı sıra kabuk ve yığma strüktürlerin de yaygın olarak uygulandığı gözlemlenmektedir. Diğer tercih edilen strüktürler arasında kablo destekli, kemer taşıyıcılı, kaburgalı ve pnömatik sistemler görülmektedir. En az kullanılan strüktürü ise katlanmış plak olarak belirlenmiştir.

Sadece taşıyıcı sistem türüne göre yapılmaya çalışılan analiz ile belli bir sonuca ulaşmak zordur. Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbe örneğindeki değişim veya örnek sayısının 52 yerine farklı sayıda seçilmiş olması durumunda Şekil 4.81’den farklı sonuçlar elde edilmesi olasıdır. Bu nedenle taşıyıcı sistem türü ile “geçilen açıklık”, “yapım yılı”, yapının işlevi” ve “plan geometrisi” gibi dört kriter ikili olarak değerlendirmeye alınmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde paylaşılmıştır.

4.2.2.2 Strüktür Türü - Geçilen Açıklık

Kubbelerin taşıyıcı sistem malzemesi ve yapım sistemindeki değişimin, kubbenin geçebildiği en büyük açıklık üzerindeki etkisi bu bölümde incelenmektedir. Tarihsel

süreç içinde geliştirilen yeni yapım sistemleri ve bu yapım sistemlerinin artan etkinlik değeri doğrultusunda daha hafif ama daha büyük açıklık geçebilen kubbeler yapılmıştır. Bu bağlamda kubbelerin taşıyıcı sistemindeki değişim, geçilebilen açıklık üzerinde etkili olmaktadır. Seçilen 52 adet kubbe örneğinden Moskova’da bulunan Aziz Vasil Katedrali’nin kubbelerinin geçtiği açıklıklarla ilgili bilgi bulunamamasından dolayı; tez kapsamında incelenen diğer 51 adet kubbe, taşıyıcı sistem değişiminin geçebildiği açıklık kriterlerine göre karşılaştırıldığında Şekil 4.82 elde edilmektedir.



Şekil 4.82 İncelenen kubbelerin strüktür türlerine göre geçilen açıklıklardaki değişim

51 adet kubbe örneği taşıyıcı sistem- geçilen açıklık açısından irdelendiğinde yığma (taş ve tuğla) kubbelerin tümünün 50 metreden küçük açıklıklara sahip olduğu ve en büyük açıklığın **31,37 metreyle Ayasofya’ya** ait olduğu görülmektedir.

Taşıyıcı sistemi kabuk olan 8 adet kubbe örneğinden 3 adedinin 50 metreden küçük açıklığa sahip olduğu, 2 adedinin 50 metre ile 99 metre arasında olduğu, 2 adedinin 100 metre ile 149 metre arasında olduğu, 1 adedinin de 200 metre ile 249 metre arasında olduğu belirlenmiştir. İncelenen örneklerde kabuk taşıyıcı sistemli kubbelerden en büyük açıklığa sahip olanı **201,5 metreyle King Dome’**dur.

Kemer taşıyıcılı 6 adet kubbeden 1 adedinin 50 metreden küçük açıklık geçtiği, 1 adedinin 50 metre ile 99 metre arasında açıklık geçtiği, 1 adedinin 100 metre ile 149 metre arasında açıklık geçtiği, 2 adedinin 150 ile 199 metre arasında açıklık geçtiği ve 1 adedinin de 200 metre ile 249 metre arasında açıklık geçebildiği belirlenmiştir. İncelenen kemer taşıyıcılı sistemli kubbeler arasında en büyük açıklık **213 metreyle The National Grand Theatre**'a aittir.

Çubuk ağı taşıyıcı sistemli kubbe sayısı 14 olup bunlardan 3 adedi 50 metreden küçük açıklığa, 4 adedi 50 metre ile 99 metre arasında açıklığa, 1 adedi 100 metre ile 149 metre arasında açıklığa, 5 adedinin 150 ile 199 metre arasında açıklığa ve 1 adedi de 200 metre ile 249 metre arasında açıklığa sahiptir. İncelenen çubuk ağı kubbe örnekleri içinde en büyük açıklık **222 metreyle Fukuoka Dome**'a aittir.

Toplam 6 adet kaburgalı kubbe incelenmiş olup bunlardan 5 adedi 50 metreden küçük açıklığa, 1 adedi ise 100 metre ile 149 metre arasında açıklığa sahiptir ve bu kubbe **143 metre açıklık ile İzumo Dome**'dur.

İncelenen örnek kubbelerden 6 adedi kablo destekli kubbe olup 1 adedi 50 metre ile 99 metre arasında açıklığa, 2 adedi 100 metre ile 149 metre arasında açıklığa, 2 adedi 200 metre ile 249 metre arasında açıklığa ve 1 adedi de 350 metre ile 400 metre arasında açıklığa sahiptir. İncelenen 52 adet örnek kubbe içinde en büyük açıklığa sahip olan kubbe, kablo destekli olan ve **365 metre açıklık geçen Millennium Dome**'dur.

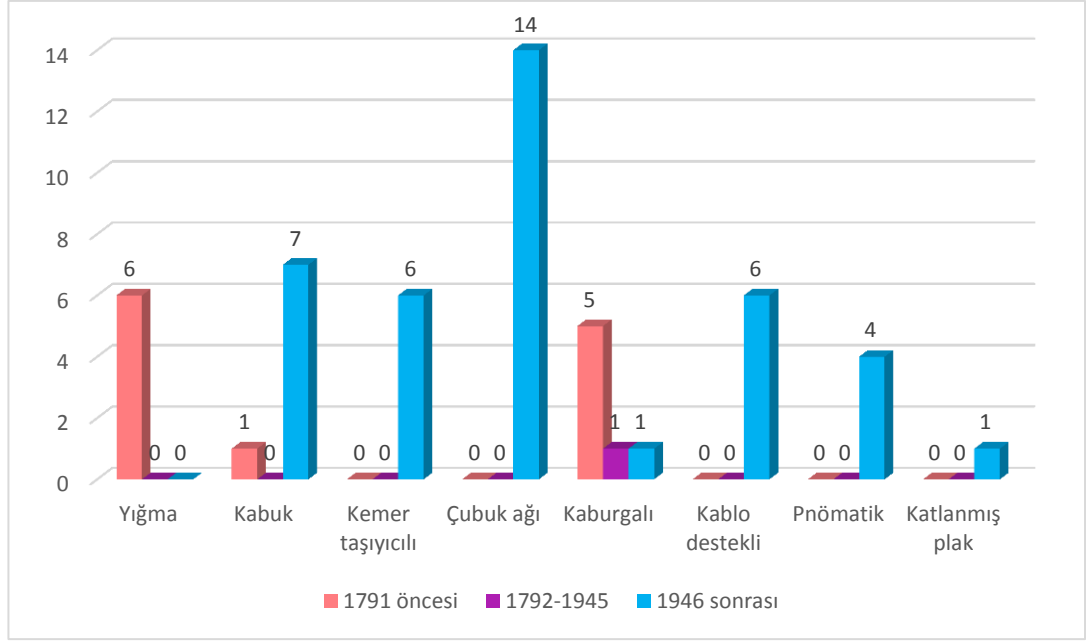
Pnömatik taşıyıcı sistemli toplam 4 adet kubbe incelenmiş olup bunlardan 1 adedi 50 metreden küçük, 1 adedi 100 metre ile 149 metre arasında ve 2 adedi de 200 metre ile 249 metre arasında açıklık geçebilmektedir. İncelenen örnekler içinde pnömatik sistemli olan en büyük kubbe açıklığı **228 metre ile Silver Dome**'a aittir.

İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi katlanmış plak taşıyıcı sisteme sahip olup bu kubbe **122 metre ile Illini Hall**'dür.

Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbeli binaların 50 metreden küçük açıklıklarda yığma sisteminin daha çok uygulandığı görülmektedir. 50 ila 99 metre açıklıklarda çubuk ağı sistemi daha çok uygulandığı gözlemlenmektedir. 100 ila 149 metre açıklıklarda da kabuk ve kablo destekli daha çok kullanıldığı belirlenmektedir. 150 ila 199 metre açıklıklarda çubuk ağı ve kemer taşıyıcılı sistemlerin daha çok uygulandığı gözlemlenmektedir. 200 ila 249 metre açıklıklarda ise kablo destekli ve pnömatik sistemlerin daha çok uygulandığı görülmektedir. İncelenen yapılardan 300 metrenin üzerindeki açıklıkların yalnızca kablo sistemlerle geçilebildiği gözlemlenmiştir.

4.2.2.3 Strüktür Türü -Yapım Yılı

Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbenin, yapım yıllarının strüktüre etkisinin olup olmadığı yönünde bir analiz yapılmak istendiğinde Şekil 4.83 elde edilmiştir. Şekil 4.83'te görüldüğü üzere ilk yapılan kubbelerin taşıyıcı sisteminin yığma, beton kabuk veya kaburga sistem olduğu görülmektedir. Daha sonra Sanayi Devrimi ile birlikte dökme demirin yapılarda kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Bu nedenle 1758-1791 tarihlerindeki Sanayi Devrimi'nden sonraki yıllarda taşıyıcı sistem açısından bir değişme ve gelişme görülmektedir. Ayrıca beton ile yapısal çeliğin birlikte kullanıldığı betonarme kabuk sistemlerin de bu dönemde geliştirildiği yadsınamaz bir gelişmedir. Mimarlık tarihindeki taşıyıcı sistemler açısından bir diğer gelişme ise II. Dünya Savaşı olmuştur. Savaşa katılan ülkeler uçakları saklamak amacıyla taşınabilir ve hafif strüktürlerden uzay kafes sistemleri, radarların üzerini örtebilmek için membran sistemler ve pnömatik sistemleri geliştirmişlerdir. Dolayısıyla taşıyıcı sistemlerin gelişiminde önemli rol oynayan bu iki kırılma noktası tez kapsamındaki kubbelerin taşıyıcı sistemlerinin yıllara göre analizinde de kullanılmıştır. Analizin sonuçları Şekil 4.83'te verilmektedir.



Şekil 4.83 Kubbelerin strüktür türlerine ve yapım yıllarına göre analizi

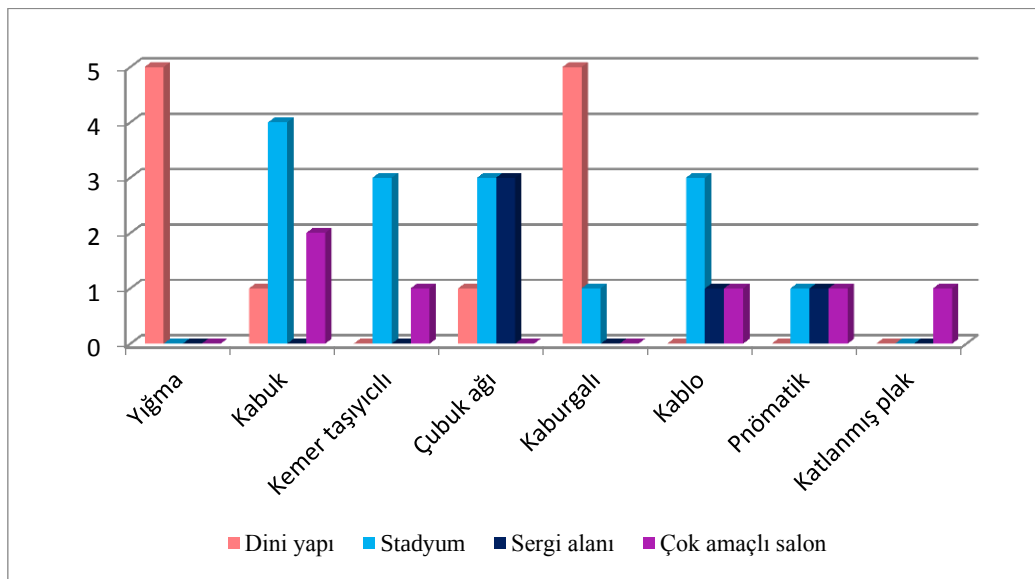
Şekil 4.83'e göre 52 adet kubbe örneği taşıyıcı sistem ve yapım yılı açısından irdelendiğinde yığma kubbelerin tümünün Sanayi Devrimi öncesinde yapıldığı görülmektedir. Taşıyıcı sistemi kabuk olan 8 adet kubbe örneğinden 1 adedinin Sanayi Devrimi öncesinde, 7 adedinin ise II. Dünya Savaşı sonrasında inşa edildiği belirlenmiştir. Kemer taşıyıcılı 6 adet kubbenin tamamının II. Dünya Savaşı sonrasında inşa edildiği görülmektedir. Çubuk ağı taşıyıcı sistemli kubbe sayısı 14 olup bunların tamamının II. Dünya savaşı sonrasında üretildiği gözlenmektedir. Tez kapsamında incelenen kaburgalı kubbe sayısı toplam 7 olup bunlardan 5 adedi Sanayi Devrimi öncesinde, 1 adedi Sanayi Devrimi ve II. Dünya Savaşı arasındaki dönemde ve 1 adedi ise II. Dünya Savaşı sonrası döneme inşa edilmiştir. İncelenen örnek kubbelerden 6 adedi kablo destekli olup kubbelerin tümünün II. Dünya Savaşı sonrasında yapıldığı görülmektedir. Pnömatik taşıyıcı sistemli toplam 4 adet kubbe incelenmiş olup bunların da tamamının II. Dünya Savaşı sonrasında yapıldığı belirlenmiştir. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi katlanmış plak taşıyıcı sisteme sahip olup bu kubbe de II. Dünya Savaşı sonrasında yapılmıştır.

Tez kapsamında incelenen ve Sanayi Devrimi öncesi inşa edilen kubbelerin yığma, kabuk veya kaburgalı sistemlerden biriyle yapıldığı görülmektedir. İncelenen örnek kubbelerden yalnızca 1 adedi Sanayi Devrimi ile II. Dünya Savaşı arasındaki

dönemde inşa edilmiş olup bu kubbenin taşıyıcı sistemi kaburgalı sistemdir. II. Dünya Savaşı sonrasındaki döneminde ise kabuk, kemer taşıyıcılı, çubuk ağı, kaburgalı, kablo destekli, pnömatik ve katlanmış plak sistemlerle yapılan kubbe örnekleri bulunmaktadır. Tez kapsamında yığma kubbelerin tamamının Sanayi Devrimi öncesinde yapıldığı ve yığma olarak yapılabilecek en büyük açıklıklara ulaşılabilirdiği belirlenmektedir. Zamanla teknolojinin ilerlemesiyle artık yığma sistemlerin kullanılmadığı görülmekte olup, kabuk, kemer taşıyıcılı, çubuk ağı, kablo destekli ve pnömatik sistemlerinin daha çok uygulandığı gözlemlenmiştir. İncelenen örnekler içerisinde II. Dünya Savaşı sonrası döneminde en çok çubuk ağı kubbelerin tercih edildiği belirlenmiştir.

4.2.2.4 Strüktür Türü –Yapının İşlevi

Kubbelerin yapım sistemleri ile bulundukları yapıların işlevleri arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı, incelenen 52 adet kubbe örneği kapsamında irdelenmiştir. Tablo 4.54’te de görüldüğü üzere kubbeli binalar en çok stadyum, çok amaçlı salon, dini yapı ve sergi alanı olarak işlevlendirilmiştir. Diğer işlevli binalardan sadece birer adet olması nedeniyle bu bölümdeki analiz kapsamına alınmamıştır. Bu kabule göre toplam 39 adet kubbeli yapı bu kapsamda incelenmeye alınmıştır. Yapılan çalışmadaki 39 kubbenin yapım sistemi ile yapının işlevleri Şekil 4.84’te verilmektedir.



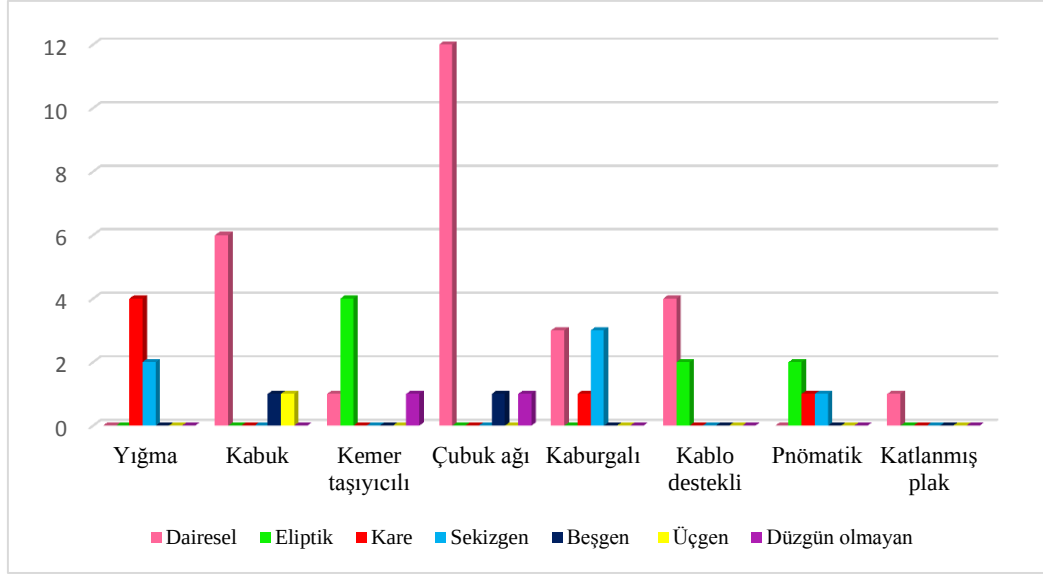
Şekil 4.84 Kubbelerin yapım sistemleri ile işlevlerinin karşılaştırılması

39 adet kubbe örneği, yapım sistemleri ile kubbeli yapının işlevleri açısından irdelendiğinde; yığma (taş ve tuğla) kubbelerin tümünün dini yapı olarak kullanıldığı görülmüştür. Taşıyıcı sistemi kabuk olan 7 adet kubbe örneğinden 1 adedinin dini yapı, 4 adedinin stadyum ve 2 adedinin çok amaçlı salon olarak kullanıldığı görülmektedir. Kemer taşıyıcılı 4 adet kubbeden 3 adedinin stadyum ve 1 adedinin çok amaçlı salon olarak kullanıldığı görülmektedir. Çubuk ağı taşıyıcı sistemli kubbe sayısı 7 olup bunlardan 1 adedinin dini yapı, 3 adedinin stadyum ve 3 adedinin sergi alanı olarak kullanıldığı görülmektedir. Toplam 6 adet kaburgalı kubbe incelenmiş olup bunlardan 5 adedi dini yapı ve 1 adedinin stadyum olarak kullanıldığı görülmektedir. İncelenen örnek kubbelerden 5 adedi kablo destekli olup kubbelerin 3 adedinin stadyum, 1 adedinin sergi alanı ve 1 adedinin çok amaçlı salon olarak kullanıldığı görülmektedir. Pnömatik taşıyıcı sistemli toplam 3 adet kubbe incelenmiş olup bunlardan 1 adedinin stadyum, 1 adedinin sergi alanı ve 1 adedinin çok amaçlı salon olarak kullanıldığı görülmektedir. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi katlanmış plak taşıyıcı sisteme sahip olup bu kubbe çok amaçlı salon olarak kullanılmaktadır.

Tez kapsamında incelenen örneklerde yığma sistemler yalnızca dini yapılarda kullanılmakta olup, büyük açıklık gerektiren işlevlere sahip yapılarda yığma sistemlerinin uygun olmadığı görülmektedir. Çok amaçlı salonlarda bulunan kubbelerde kabuk yapım sisteminin daha çok uygulandığı görülmektedir. Stadyumlarda ise daha çok kabuk kubbeler, ondan sonra çubuk ağı kubbeler, kablo destekli kubbeler ve kemer taşıyıcı sistemli kubbeler kullanılmıştır. Sergi alanlarının üzerinde ise çubuk ağı kubbe sisteminin en fazla kullanıldığı görülmektedir.

4.2.2.5 Strüktür Türü – Plan Geometrisi

Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbe örneği, taşıyıcı sistem türlerine ve kubbenin kapattığı mekânın plan geometrisine göre karşılaştırılmıştır. Tez kapsamında incelenen kubbe örnekleri; üçgen, kare, beşgen, sekizgen, dairesel, eliptik ve düzgün olmayan planlı mekânların üstünü örtmektedir. Yapılan çalışmadaki 52 adet kubbenin taşıyıcı sistem türlerinin plan geometrilerine göre değişimi Şekil 4.85'te verilmektedir.



Şekil 4.85 Kubbelerin strüktür türlerine göre plan geometrileri

52 adet kubbe örneği taşıyıcı sistem ile plan geometrisi açısından irdelendiğinde taş ve tuğla malzemeli yığma kubbe sayısının 6 olduğu, incelenen diğer örneklerden 4 adedinin kare ve 2 adedinin de sekizgen plan geometrisine sahip olduğu görülmektedir. Taşıyıcı sistemi kabuk olan 8 adet kubbe örneğinden 6 adedi dairesel, 1 adedi beşgen ve 1 adedi üçgen plan geometrisine sahiptir. Kemer taşıyıcılı 6 adet kubbeden 1 adedinin dairesel, 4 adedinin eliptik ve 1 adedinin de düzgün olmayan plan geometrisine sahip olduğu görülmüştür. Çubuk ağı taşıyıcı sistemli kubbe sayısı 14 olup bu kubbelerin 12 adedinin dairesel, 1 adedinin beşgen ve 1 adedinin de düzgün olmayan plan geometrisine sahip olduğu belirlenmiştir. Toplam 7 adet kaburgalı kubbe incelenmiş olup kaburga kubbelerin 3 adedi dairesel plan geometrisine, 3 adedinin sekizgen plan geometrisine ve 1 adedi de kare plan geometrisine sahiptir. İncelenen örnek kubbelerden 6 adedi kablo destekli olup bu kubbelerin 4 adedi dairesel ve 2 adedi de eliptik plan geometrisine sahiptir. Pnömatik taşıyıcı sistemli toplam 4 adet kubbe incelenmiş olup bunlardan 2 adedinin eliptik, 1 adedinin sekizgen ve 1 adedinin de kare plan geometrisine sahip olduğu görülmüştür. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi katlanmış plak taşıyıcı sisteme sahip olup bu kubbenin dairesel plan geometrisine sahip olduğu görülmektedir.

Tez kapsamında incelenen yığma kubbelerde kare ve sekizgen plan geometrilerinin uygulandığı görülmektedir. Kabuk kubbelerde ise dairesel plan

geometrisi daha çok tercih edilmiştir. Kemer taşıyıcılı kubbelerde eliptik plan geometrisi; çubuk ağı kubbelerde ise dairesel plan geometrisinin daha çok tercih edildiği Şekil 4.85'ten görülmektedir. Kaburgalı kubbelerde sekizgen ve dairesel plan geometrisinin daha çok tercih edildiği; kablo destekli kubbelerde ise dairesel plan geometrisinin daha yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Pnömatik kubbelerin sıklıkla eliptik plan geometrisine sahip mekânların üstünü örttüğü de çıkan bir diğer sonuçtur.

4.2.3 Malzemeyle İlgili Bulgular ve İrdeleme

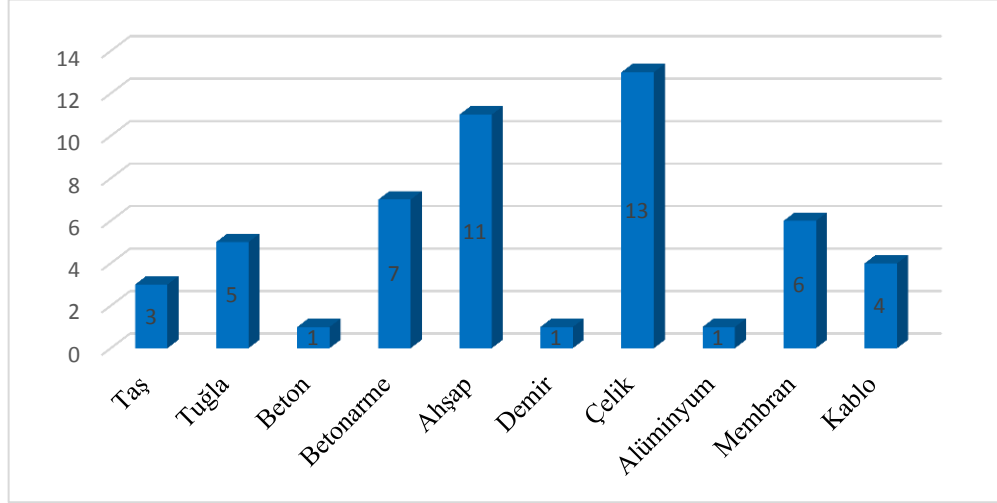
Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbeli yapının kubbesinin taşıyıcı sistem malzemesi ile ilgili olarak birtakım analizler yapılmıştır. Öncelikle bu 52 kubbenin taşıyıcı sistem malzemelerinin bir araya getirildiği bir analiz yapılmış ve kaç farklı malzeme ile kubbe yapılabileceği belirlenmiştir. Daha sonra kriterlerin ikili analizleri yapılmıştır. Bu bağlamda toplam 5 adet analiz yapılmıştır ki, bunlar;

1. Malzeme türü
2. Malzeme türü - geçilen açıklık
3. Malzeme türü - yapım yılı
4. Malzeme türü - yapının işlevi
5. Malzeme türü - plan geometrisidir.

4.2.3.1 Malzeme Türü

Kubbelerde kullanılan malzemeler taşıyıcı sistemi oluşturan malzemeler ve kaplama malzemeleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Yığma ve kabuk kubbe gibi kubbelerde üst örtü hem taşıyıcı hem de kaplayıcı olarak kullanılır. Kaburga ve kablo kubbe gibi kubbelerde ise taşıyıcı sistem malzemesiyle kaplama malzemesi birbirinden farklı olabilmektedir. Malzeme türünün irdelendiği bu bölümde kastedilen malzeme; taşıyıcı sistem malzemesidir. Tez kapsamındaki kubbe örnekleri incelendiğinde on farklı malzeme ile kubbelerin inşa edilebildiği görülmüştür. Bunlar; taş, tuğla, beton, betonarme, ahşap, demir, çelik, alüminyum, membran ve

kablo malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır. Yapılan çalışmadaki 52 adet kubbenin malzeme türlerinin dağılımı Şekil 4.86’da gösterilmektedir.

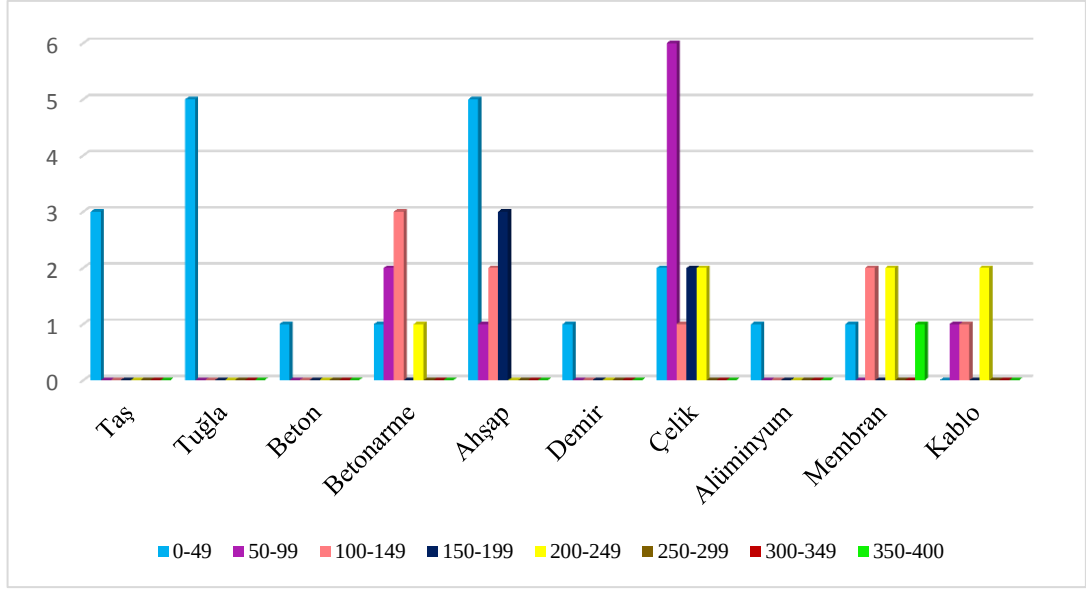


Şekil 4.86 İncelenen kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerinin dağılımı

52 adet kubbe örneği malzeme açısından irdelendiğinde 3 adedinin taş, 5 adedinin tuğla, 1 adedinin beton, 7 adedinin betonarme, 11 adedinin ahşap, 1 adedi demir, 13 adedinin çelik, 1 adedinin alüminyum, 6 adedinin membran ve 4 adedinin kablo malzemesine sahip olduğu belirlenmektedir. Bu bağlamda en çok kullanılan malzeme türü çelik ve ahşap olmaktadır. Bu malzemelerin yanı sıra betonarme ve membran malzemenin de yaygın olarak uygulandığı gözlemlenmektedir. Diğer tercih edilen malzemeler arasında taş, tuğla, beton, demir, alüminyum ve kablo görülmektedir.

4.2.3.2 Malzeme Türü - Geçilen Açıklık

Kubbenin malzeme türü değişiminin, kubbelerin geçebildiği en büyük açıklığa olan etkisinin irdelendiği bu analizde; daha önce de ifade edilen nedenlerden dolayı Aziz Vasil Katedrali’nin kubbesi kapsam dışı bırakılmıştır. Böylece 51 adet kubbe bu kapsamda incelenmeye alınmış olup analiz Şekil 4.87’de verilmektedir.



Şekil 4.87 İncelenen kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerine göre geçilen açıklıklar

51 adet kubbe örneği malzeme türü - geçilen açıklık açısından irdelendiğinde taş kubbelerin tümünün 50 metreden küçük açıklıklara sahip olduğu ve en büyük açıklığın **31,37 metreyle Ayasofya**'ya ait olduğu görülmektedir.

51 adet kubbe örneği malzeme türü - geçilen açıklık açısından irdelendiğinde tuğla kubbelerin tümünün 50 metreden küçük açıklıklara sahip olduğu ve en büyük açıklığın **42 metreyle Floransa Katedrali**'ne ait olduğu görülmektedir.

İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi beton malzemeye yapılmış olup bu kubbe **43,4 metre** ile **Pantheon**'dur.

Malzeme türü betonarme olan 7 adet kubbe örneğinden 1 adedinin 50 metreden küçük açıklığa sahip olduğu, 2 adedinin 50 metre ile 99 metre arasında olduğu, 3 adedinin 100 metre ile 149 metre arasında olduğu ve 1 adedinin de 200 metre ile 249 metre arasında olduğu belirlenmiştir. İncelenen örneklerde betonarme malzemeli kubbelerden en büyük açıklığa sahip olanı **201,5 metreyle King Dome**'dur.

Ahşap malzemeli 11 adet kubbeden 5 adedinin 50 metreden küçük açıklık geçtiği, 1 adedinin 50 metre ile 99 metre arasında açıklık geçtiği, 2 adedinin 100 metre ile 149 metre arasında açıklık geçtiği, 3 adedinin 150 metre ile 199 metre arasında açıklık

geçtiği belirlenmiştir. İncelenen ahşap malzemeli kubbeler arasında en büyük açıklık **178 metreyle Odate Dome**'a aittir.

İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi demir ile yapılmış olup bu kubbe **29 metre** ile **Capitol Dome**'a aittir.

Çelik malzemeli kubbe sayısı 13 olup bunlardan 2 adedi 50 metreden küçük açıklığa, 6 adedi 50 metre ile 99 metre arasında açıklığa, 1 adedi 100 metre ile 149 metre arasında açıklığa, 2 adedi 150 metre ile 199 metre arasında açıklığa ve 2 adedi 200 metre ile 249 metre arasında açıklığa sahiptir. İncelenen metal malzemeli kubbe örnekleri içinde en büyük açıklık **222 metreyle Fukuoka Dome**'a aittir.

İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi alüminyum ile yapılmış olup bu kubbe **44 metre** ile **Kaiser Aluminum Dome**'a aittir.

İncelenen örnek kubbelerden 6 adedi membran malzemeli kubbe olup 1 adedi 50 metreden küçük açıklığa, 2 adedi 100 metre ile 149 metre arasında açıklığa, 2 adedi 200 metre ile 249 metre arasında açıklığa ve 1 adedi de 350 metre ile 400 açıklığa sahiptir. İncelenen örnek kubbeler içinde en büyük açıklığa sahip olan kubbe, membran malzemeli olan ve **365 metre açıklık geçen Millennium Dome**'dur.

Kablo malzemeli toplam 4 adet kubbe incelenmiş olup bunlardan 1 adedi 50 metre ile 99 metre arasında, 1 adedi 100 metre ile 149 metre arasında ve 2 adedi de 200 metre ile 249 metre arasında açıklık geçebilmektedir. İncelenen örnekler içinde kablo malzemeli olan en büyük kubbe açıklığı **228 metre ile Georgia Dome**'a aittir.

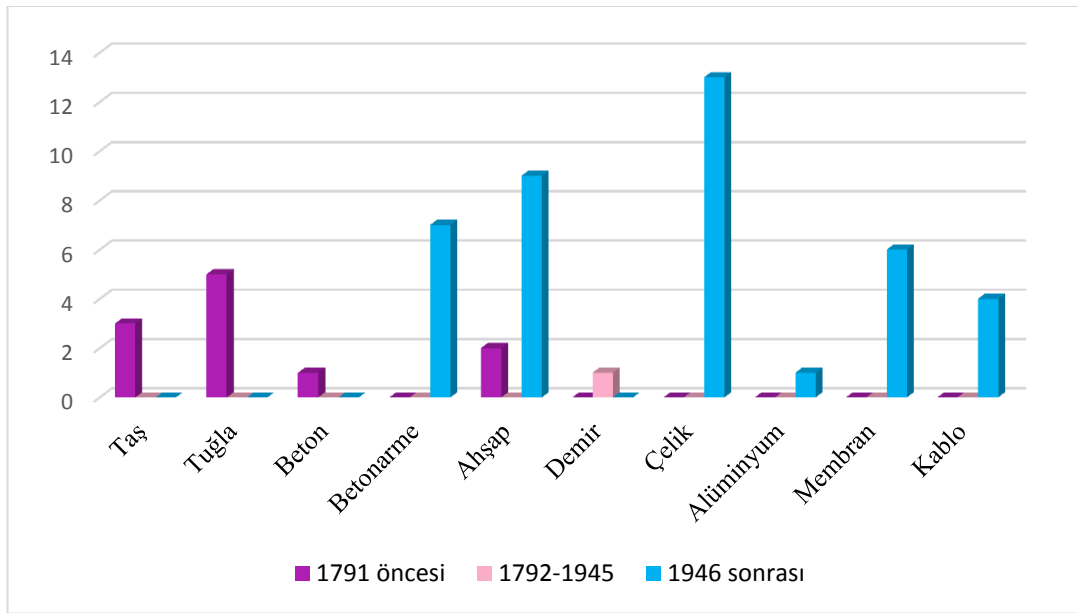
Tez kapsamında incelenen örnekler 50 metreden küçük açıklıkların taş ve tuğla malzemesinin daha çok uygulandığı görülmektedir. 50-200 metre büyük açıklıklarda betonarme, ahşap, çelik, membran ve kablo malzemesinin kullanıldığı belirlenmektedir. Tutkallı tabakalı ahşap malzeme ile yapılan kubbeler günümüzde 200 metreye kadar bir açıklığı geçebilmektedir. 200-300 metre büyük açıklıklarda ise

betonarme, çelik, membran ve kablo malzemesinin uygulandığı görülmektedir. 300 metreden büyük açıklıklarda ise yalnızca membran malzemesi uygulanmaktadır.

Bu analizin bir diğer sonucu da malzemenin birim ağırlığındaki azalmanın, kubbenin geçebildiği açıklığın artmasındaki rolüdür. Birim ağırlığı fazla olan taş ve tuğla malzemeler ile çok büyük açıklıklar geçilemezken, en etkin strüktürlerden biri olan membran malzemenin birim ağırlığının taş ve tuğla malzemeye göre çok düşük olmasından dolayı, çok büyük açıklıkları rahatlıkla örtebildiği gözlenmiştir.

4.2.3.3 Malzeme Türü -Yapım Yılı

Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbenin, yapım yıllarının taşıyıcı sistem malzemesinin değişimine etkisinin olup olmadığı yönünde bir analiz yapıldığında Şekil 4.88 elde edilmiştir. Şekil 4.88’de on farklı malzeme türü Sanayi Devrimi (1791) öncesi, Sanayi Devrimi ile II. Dünya Savaşı (1945) arası ve II. Dünya Savaşı sonrası dönemlerine göre üç gruba ayrılmış ve her bir dönemde inşa edilen kubbelerin taşıyıcı sistem malzemeleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.88’de verilmektedir.



Şekil 4.88 Kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türleri ile yapım yıllarının karşılaştırılması

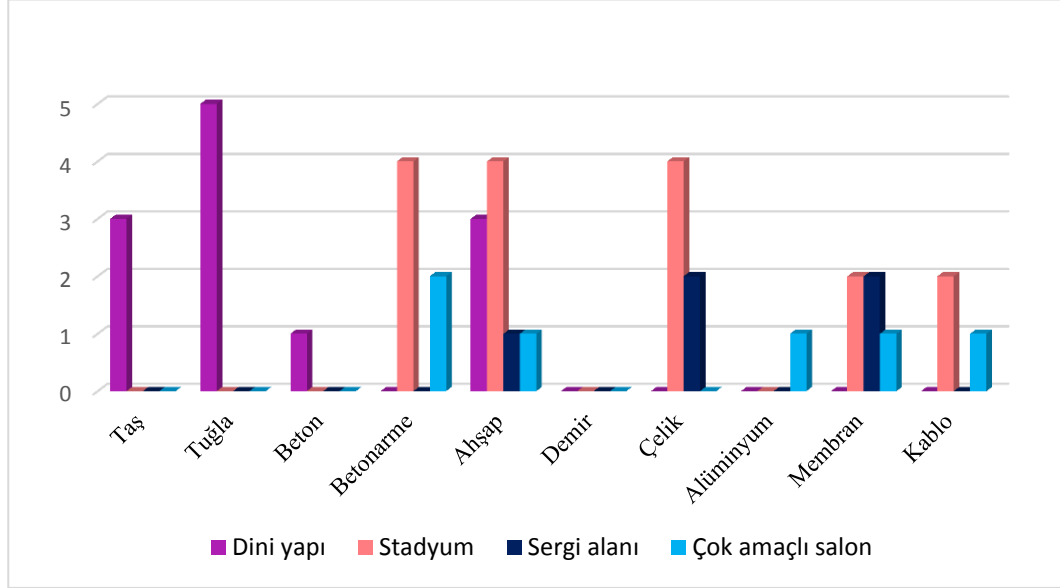
52 adet kubbe örneği, malzeme ve yapım yılı açısından irdelendiğinde taş, tuğla ve beton kubbelerin tümünün Sanayi Devrimi öncesi yapıldığı görülmektedir. Malzemesi betonarme olan 7 adet kubbe örneğinden tümünün II. Dünya Savaşı sonrasında yapıldığı belirlenmiştir. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi demir taşıyıcı sistem malzemesine sahip olup bu kubbe de Sanayi Devrimi ile II. Dünya Savaşı arasındaki dönemde yapılmıştır. Ahşap malzemeli 11 adet kubbeden 2 adedinin Sanayi Devrimi öncesi, 9 adedi II. Dünya Savaşı sonrasında yapıldığı; toplam 13 adet olan çelik malzemeli kubbelerin tümünün II. Dünya Savaşı sonrasında yapıldığı görülmektedir. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi alüminyum ile yapılmış olup bu kubbe II. Dünya Savaşı sonrasında yapılmıştır. Toplam 6 adet membran malzemeli kubbe incelenmiş olup bunların tümünün II. Dünya Savaşı sonrasında yapıldığı görülmüştür. İncelenen örnek kubbelerden 4 adedi kablo malzemeli olup kubbelerin tümü II. Dünya Savaşı sonrasında yapılmıştır.

Tez kapsamında incelen örneklerden Sanayi Devrimi öncesi inşa edilenlerinin taş, tuğla, ahşap ve beton malzemelerden biriyle inşa edildiği görülmüştür. İncelenen örnek kubbelerden yalnızca 1 adedi Sanayi Devrimi ile II. Dünya Savaşı arasındaki dönemde inşa edilmiş olup bu kubbenin taşıyıcı sistem malzemesi dökme demirdir. Zamanla teknolojinin ilerlemesiyle artık taş, tuğla, demir ve beton malzemenin de taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. II. Dünya Savaşı sonrasında ise betonarme, ahşap, çelik, alüminyum, membran ve kablo malzemelerin daha çok uygulandığı belirlenmiştir.

4.2.3.4 Malzeme Türü –Yapının İşlevi

Kubbelerin taşıyıcı sistem malzemeleri ile bulundukları yapıların işlevleri arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı, incelenen 52 adet kubbe örneği kapsamında irdelenmiştir. Tablo 4.54’te de görüldüğü üzere kubbeli yapılar en çok stadyum, çok amaçlı salon, dini yapı ve sergi alanı olarak kullanılan mekânların üstlerini örtmektedir. Diğer işlevli binalardan sadece birer adet olduğu için değerlendirmeye alınmamıştır. Buna göre Tablo 4.54’teki örnekler dört grup altında incelemeye alınmış olup toplam 39 kubbeli yapı bu kapsamda incelenmeye alınmıştır. Yapılan

çalışmadaki 39 kubbenin taşıyıcı sistem malzemesi ile yapının işlevleri Şekil 4.89’da verilmektedir.



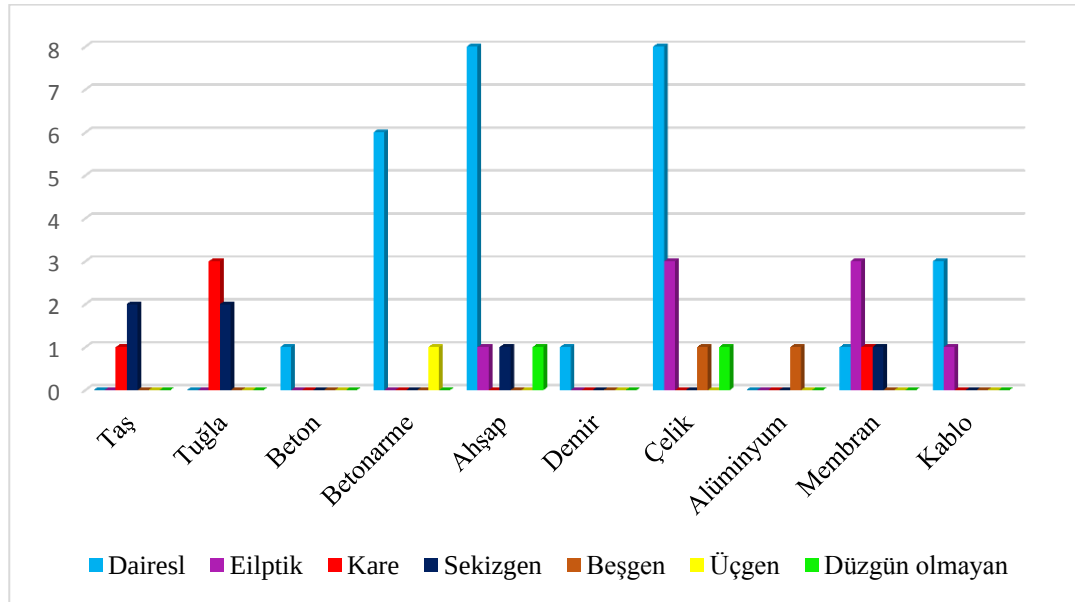
Şekil 4.89 Kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerindeki değişim ve yapıların işlevleri

39 adet kubbe örneği, malzemeleri ile kubbeli yapının işlevleri açısından irdelendiğinde; taş ve tuğla malzemeli kubbelerin tümünün dini yapı olarak kullanıldığı görülmüştür. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi beton malzemeye yapılmış olup bu kubbe dini bir yapının üzerinde bulunmaktadır. Malzemesi betonarme olan 6 adet kubbe örneğinden 4 adedinin stadyum ve 2 adedinin çok amaçlı salon olarak kullanıldığı görülmektedir. Ahşap malzemeli 9 adet kubbeden 3 adedinin dini yapı, 4 adedinin stadyum, 1 adedinin sergi alanı ve 1 adedinin çok amaçlı salon olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Çelik malzemeli kubbe sayısı 6 olup bunlardan 4 adedinin stadyum ve 2 adedinin de sergi alanı olarak kullanıldığı görülmektedir. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi alüminyum ile yapılmış olup bu kubbenin çok amaçlı salon işlevli bir mekânı örttüğü belirlenmiştir. Toplam 5 adet membran malzemeli kubbe incelenmiş olup bunlardan 2 adedinin stadyum, 2 adedinin sergi alanı ve 1 adedinin de çok amaçlı salon olarak kullanıldığı görülmektedir. İncelenen örnek kubbelerden 3 adedi kablo malzemeli olup kubbelerin 2 adedinin stadyum ve 1 adedinin çok amaçlı salon olarak kullanıldığı analiz sonucu bulunmuştur.

Tez kapsamında incelenen örneklerde taş ve tuğla kubbeler yalnızca dini yapılarda kullanılmakta olup, büyük açıklık gerektiren işlevlere sahip yapılarda taş ve tuğla malzemelerinin uygun olmadığı belirlenmiştir. Çok amaçlı salonların üstünü örtmede kullanılan kubbelerde betonarme malzemenin daha çok uygulandığı görülmektedir. Stadyumlarda ise daha çok çelik kubbeler, ondan sonra betonarme kubbeler ve ahşap kubbeler kullanılmıştır. Sergi alanlarının üzerinde ise çelik kubbelerin en fazla kullanıldığı görülmektedir.

4.2.3.5 Malzeme Türü – Plan Geometrisi

Tez kapsamında incelenen 52 adet kubbe örneği, taşıyıcı sistem malzeme türlerine ve kubbenin kapattığı mekânın plan geometrisine göre karşılaştırılmıştır. Tez kapsamında incelenen kubbe örnekleri; üçgen, kare, beşgen, sekizgen, dairesel, eliptik ve düzgün olmayan planlı mekânların üstünü örtmektedir. Yapılan çalışmadaki 52 adet kubbenin taşıyıcı sistem malzeme türlerinin plan geometrilerine göre değişimi Şekil 4.90’da verilmiştir.



Şekil 4.90 Kubbelerin taşıyıcı sistem malzeme türlerine göre plan geometrileri

52 adet kubbe örneği taşıyıcı sistem malzemesi ve plan geometrisi açısından irdelendiğinde taş kubbelerin 1 adedinin kare ve 3 adedinin ise sekizgen plan geometrisine sahip olduğu görülmektedir. Tuğla kubbelerin ise 3 adedinin kare ve 2

adedinin sekizgen plan geometrisine sahip olduğu belirlenmiştir. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi beton taşıyıcı sistem malzemesine sahip olup bu kubbe dairesel plan geometrisine sahiptir. Betonarme olan 7 adet kubbe örneğinden 6 adedi dairesel ve 1 adedi ise üçgen plan geometrisine sahiptir. Ahşap taşıyıcı sistem malzemeli 11 adet kubbeden 8 adedinin dairesel, 1 adedinin eliptik, 1 adedinin sekizgen ve 1 adedinin de düzgün olmayan plan geometrisine sahip olduğu görülmüştür. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi demir taşıyıcı sistem malzemesine sahip olup bu kubbe dairesel plan geometrisine sahip bir mekânın üstünü örtmektedir. Çelik taşıyıcı sistem malzemeli kubbe sayısı 13 olup bu kubbeden 8 adedi dairesel, 3 adedi eliptik, 1 adedi beşgen ve 1 adedi düzgün olmayan plan geometrisine sahip mekânların üstünü örtmektedir. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi alüminyum taşıyıcı sistem malzemesine sahip olup bu kubbe beşgen plan geometrisine sahip bir mekânın üstünde yer almaktadır. Toplam 6 adet membran kubbe incelenmiş olup bunlardan 1 adedinin dairesel, 3 adedinin eliptik, 1 adedinin kare ve 1 adedinin sekizgen plan geometrisine sahip olduğu görülmüştür. İncelenen örnek kubbelerden 4 adedi kablo taşıyıcı sistem malzemeli olup kubbelerin 3 adedinin dairesel ve 1 adedinin de eliptik plan geometrisine sahip olduğu yapılan analizlerden anlaşılmaktadır. İncelenen kubbe örneklerinden sadece 1 adedi katlanmış plak taşıyıcı sisteme sahip olup bu kubbe dairesel planlı bir mekânın üzerinde yer almaktadır.

Tez kapsamında incelenen 52 kubbe örneğinde taş ve tuğla malzemeli kubbelerin kare ve sekizgen plan mekânlarda uygulandığı belirlenmiştir. Betonarme ve beton taşıyıcı sistem malzemesi ise dairesel planlı mekânlarda tercih edilmiştir. Ahşap ve çelik taşıyıcı sistem malzemeli kubbelerin ise dairesel planlı mekânları örttüğü belirlenmiştir. Membran kubbelerin kullanıldığı mekânlar ise eliptik plan geometrisine sahiptir. Kablo taşıyıcı sistem malzemesine sahip olan kubbeler ise dairesel plan geometrili mekânlarda daha çok uygulanmıştır.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Kubbeler, mimarlık tarihi boyunca ortada düşey taşıyıcı olmaksızın büyük açıklıkların üstünü örtmede kullanılan bir üst örtü elemanı, ardından da simgesel anlama sahip olan bir yapı elemanı olarak birçok yapıda kullanılmıştır. Öyle ki yapılan bu kubbeler bulundukları ülkelerin ve şehirlerin simgesi olan yapılar üzerinde bulunmaktadır. Tac Mahal Hindistan'ın, Aziz Vasil Katedrali Rusya'nın, Ayasofya Türkiye'nin, Capitol Dome A.B.D.'nin, Şeyh Lütfullah Camii İsfahan Şehri'nin, Floransa Katedrali Floransa Şehri'nin, Pantheon Roma'nın, Millenium Dome Londra'nın, Kubbet-üs Sahra Kudüs'ün simgesi konumunda olan yapılardır. Bu denli önemli bir konumda bulunan kubbelerin taşıyıcı sistemleri ve taşıyıcı sistem malzemeleri üzerine yapılan bilimsel bir çalışma olmaması tezin çıkış noktasını oluşturmuştur. Tezin amaç bölümünde de belirtildiği üzere kubbelerin taşıyıcı sistem ve malzeme çeşitliliğini vurgulamak, bu konuda analizler yaparak literatüre katkıda bulunulmak istenmiştir.

Tezin ilk bölümlerinde, örtücü ve taşıyıcı bir yapı elemanı olarak kullanılan kubbelerin tarihçesi ile kubbenin formları incelenmiştir. Ardından, kubbelerin yük aktarım prensiplerine, kubbe yapımında kullanılan taşıyıcı sistem ve kaplama malzemelerine değinilmiştir. Üzerinde kubbe barındıran binalarla ilgili kapsamlı bir literatür araştırmasının ardından seçilen 52 adet kubbe örneği irdelenmiş ve sunulmuştur. Tezin dördüncü bölümünde ise kubbeli yapının örtüğü mekânın işlevi, kubbenin geçtiği açıklık, yapım yılı ve plan geometrisi kriterlerine göre 52 adet kubbenin analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tez kapsamında incelenen 52 adet kubbe örneği ile belirlendiğinden dolayı, örneklerin değişimi ile daha farklı sonuçlar da elde edilebilecektir. Aşağıda bulunan sonuçlar tez kapsamındaki 52 adet kubbe örneği gözönüne alınarak hazırlanmıştır. Bu sonuçlar;

Kubbelerin örtüğü yapılar çok farklı işlevlere sahip olabilmektedirler. Bu işlevler en yaygın olarak stadyum ve spor salonu gibi büyük açıklık gerektiren yapılar ile dini yapılarda karşımıza çıktığı belirlenmiştir. Bu işlevleri, sergi alanı ve çok amaçlı salon

üst örtülerinin takip etmekte olduğu gözlenmektedir. Bu yaygın kullanım işlevlerinin dışında oditoryum, kongre binası, parlamento binası, botanik bahçesi, endüstri binası, sera kompleksi, kütüphane, uzay gözlem evi, araştırma istasyonu ve anıt işlevli binalarda da kullandığı belirlenmiştir.

52 adet kubbe taşıyıcı sistem ve geçilen açıklık bakımından karşılaştırıldığında 50 metreden küçük açıklıklarda yığma sisteminin daha çok uygulandığı görülmektedir. 50 ila 99 metre açıklıklarda çubuk ağı sistemi daha çok uygulandığı gözlemlenmektedir. 100 ila 149 metre açıklıklarda da kabuk ve kablo destekli daha çok kullanıldığı belirlenmektedir. 150 ila 199 metre açıklıklarda çubuk ağı ve kemer taşıyıcılı sistemlerin daha çok uygulandığı gözlemlenmektedir. 200 ila 249 metre açıklıklarda ise kablo destekli ve pnömatik sistemlerin daha çok uygulandığı görülmektedir. İncelenen yapılardan 300 metrenin üzerindeki açıklıkların yalnızca kablo sistemlerle geçilebildiği gözlemlenmiştir.

Tez kapsamında incelenen ve Sanayi Devrimi öncesi inşa edilen kubbelerin yığma, kabuk veya kaburgalı sistemlerden biriyle yapıldığı görülmektedir. İncelenen örnek kubbelerden yalnızca 1 adedi Sanayi Devrimi ile II. Dünya Savaşı arasındaki dönemde inşa edilmiş olup bu kubbenin taşıyıcı sistemi kaburgalı sistemdir. II. Dünya Savaşı sonrasındaki döneminde ise kabuk, kemer taşıyıcılı, çubuk ağı, kaburgalı, kablo destekli, pnömatik ve katlanmış plak sistemlerle yapılan kubbe örnekleri bulunmaktadır. Tez kapsamında yığma kubbelerin tamamının Sanayi Devrimi öncesinde yapıldığı ve yığma olarak yapılabilecek en büyük açıklıklara ulaşılabildiği belirlenmektedir. Zamanla teknolojinin ilerlemesiyle artık yığma sistemlerin kullanılmadığı görülmekte olup, kabuk, kemer taşıyıcılı, çubuk ağı, kablo destekli ve pnömatik sistemlerinin daha çok uygulandığı gözlemlenmiştir. İncelenen örnekler içerisinde II. Dünya Savaşı sonrası döneminde en çok çubuk ağı kubbelerin tercih edildiği belirlenmiştir.

52 adet kubbe taşıyıcı sistem ve yapının işlevi bakımından karşılaştırıldığında yığma sistemler yalnızca dini yapılarda kullanılmakta olup, büyük açıklık gerektiren işlevlere sahip yapılarda yığma sistemlerinin uygun olmadığı görülmektedir. Çok

amaçlı salonlarda bulunan kubbelerde kabuk yapım sisteminin daha çok uygulandığı gözlemlenmektedir. Stadyumlarda ise daha çok çubuk ağı kubbeler, ondan sonra kabuk kubbeler, kablo destekli kubbeler ve kemer taşıyıcı sistemli kubbeler kullanılmıştır. Sergi alanlarının üzerinde ise çubuk ağı kubbe sisteminin en fazla kullanıldığı belirlenmektedir.

52 adet kubbe taşıyıcı sistem ve plan geometrisi açısından karşılaştırıldığında yığma kubbelerin kare ve sekizgen; çubuk ağı, kabuk, kablo destekli ve kaburgalı kubbelerin dairesel; kemer taşıyıcılı ve pnömatik kubbelerin eliptik plan geometrilerine sahip olan mekânlarının üzerini örtüğü belirlenmiştir.

51 adet kubbe taşıyıcı sistem malzemesi ve geçilen açıklık bakımından karşılaştırıldığında 50 metreden küçük açıklıklarda taş ve tuğla malzemesinin daha çok uygulandığı görülmektedir. 50-200 metre büyük açıklıklarda betonarme, ahşap, çelik, membran ve kablo malzemesinin kullanıldığı belirlenmektedir. Tutkalı tabakalanmış ahşap malzemesi 200 metreye kadar bir açıklığı geçebilmektedir. 200-300 metre büyük açıklıklarda ise betonarme, çelik, membran ve kablo malzemesinin uygulandığı gözlemlenmektedir. 300 metreden büyük açıklıklara yalnızca membran malzemesi uygulanmaktadır.

Bu analizin bir diğer sonucu da malzemenin birim ağırlığındaki azalmanın, kubbenin geçebildiği açıklığın artmasındaki rolüdür. Birim ağırlığı fazla olan taş ve tuğla malzemeler ile çok büyük açıklıklar geçilemezken, en etkin strüktürlerden biri olan membran malzemenin birim ağırlığının taş ve tuğla malzemeye göre çok düşük olmasından dolayı, çok büyük açıklıkları rahatlıkla örtebildiği gözlenmiştir.

Tez kapsamında incelen örneklerden Sanayi Devrimi öncesi inşa edilenlerinin taş, tuğla, ahşap ve beton malzemelerden biriyle inşa edildiği görülmüştür. İncelenen örnek kubbelerden yalnızca 1 adedi Sanayi Devrimi ile II. Dünya Savaşı arasındaki dönemde inşa edilmiş olup bu kubbenin taşıyıcı sistemi malzemesi dökme demirdir. II. Dünya Savaşı sonrasında ise betonarme, ahşap, çelik, alüminyum, membran ve kablo malzemelerin daha çok uygulandığı belirlenmiştir.

52 adet kubbe taşıyıcı sistem malzemesi ve yapının işlevi açısından karşılaştırıldığında taş ve tuğla kubbeler yalnızca dini yapılarda kullanılmakta olup, büyük açıklık gerektiren işlevlere sahip yapılarda taş ve tuğla malzemelerinin uygun olmadığı görülmektedir. Çok amaçlı salonlarda bulunan kubbelerde betonarme kubbelerin daha çok uygulandığı belirlenmektedir. Stadyumlarda ise daha çok çelik kubbeler, ondan sonra betonarme kubbeler ve ahşap kubbeler kullanılmıştır. Sergi alanlarının üzerinde ise çelik kubbelerde en fazla kullanıldığı gözlenmektedir.

52 adet kubbe taşıyıcı sistem malzemesi ve plan geometrisi açısından karşılaştırıldığında taş ve tuğla malzemeli kubbelerin kare ve sekizgen plan geometrilerinin uygulandığı görülmektedir. Betonarme ve beton taşıyıcı sistem malzemesi ise dairesel plan geometrisi daha çok tercih edildiği belirlenmektedir. Ahşap ve çelik taşıyıcı sistem malzemeli kubbelerde ise dairesel plan geometrisi daha çok uygulandığı gözlenmektedir. Membran kubbelerde eliptik ve kablo taşıyıcı sistem malzemesinde dairesel plan geometrisi daha çok uygulandığı belirlenmektedir.

Tezin giriş bölümünde ifade edilen amaçlar doğrultusunda elde edilen genel sonuçlar ise aşağıda açıklanmaktadır:

Kubbeler taş, tuğla, beton, betonarme, ahşap, çelik, alüminyum, membran, kablo vb. malzemelerden yapılmaktadır. Taş ve tuğla gibi kâgir malzemeler, yığma kubbelerde uygundur. Betonarme, kabuk kubbelerde uygundur. Ahşap taşıyıcı sistem malzemesi ise kemer taşıyıcılı ve kaburgalı kubbelerde uygundur. Çelik taşıyıcı sistem malzemesi çubuk ağı kubbeler ve kemer taşıyıcılı ve kaburgalı kubbelerde uygundur. Membran taşıyıcı sistem malzemesi pnömatik kubbelerde ve kablo destekli kubbelerde, kablo taşıyıcı sistem malzemesi de kablo destekli kubbelerde kullanılmaktadır.

Büyük açıklık geçebilen kubbeler spor salonu, sergi alanı gibi yerlere yapılmakta olup, küçük açıklıklı kubbeler ise tapınak, konser ve konferans salonu işlevine sahip olan mekânın üzerini örtmektedir.

Kubbelerde kaplama malzemesi olarak PVC, cam, bakır, paslanmaz çelik, alüminyum, teflon, ahşap ve membran gibi malzemeler kullanılmasının yanısıra hem taşıyıcı hemde kaplama malzemesi olan taş, tuğla ve betonarme kullanılmaktadır.

Taşıyıcı sistem malzemesi olarak büyük açıklıklarda ahşap, çelik ve membran, küçük açıklıklarda ise taş ve tuğla gibi kâgir malzemeler kullanılmıştır. Bu nedenle büyük açıklıklara kâgir malzemeler uygun değildir.

Bu tezde geniş açıklık geçen kubbelerin tarihsel süreçte geçirdiği değişim ve gelişmeler malzeme ve strüktür açısından örneklerle gözönüne serilmektedir. Kubbenin ağırlığını azaltan yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesi sonucu elde edilen hafiflik sayesinde günümüzde daha geniş açıklıkları geçebilen kubbelerin yapımı mümkün olmaktadır. İlerleyen yıllarda geliştirilecek yeni malzemeler ve yeni yapım sistemleriyle de günümüzdekinden daha büyük açıklık geçebilen kubbelerin yapımının mümkün olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

A Fuller vision for the future: Buckminster Fuller exhibit at the MCA, (2009). 19 Aralık 2012, <http://www.examiner.com/article/a-fuller-vision-for-the-future-buckminster-fuller-exhibit-at-the-mca>

Akıncı, Ş. (1998). *İstanbul'un fethinden lale devrine kadar Osmanlı kâgir mimarisinde yapım teknikleri 1453- 1730*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Aktuğ, İ. (1989). *Batı Anadolu 14. Yüzyıl beylikler mimarisinde yapım teknikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Arun, G. (2005). *Yığma kâgir yapı davranışı*, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Altunkaya, P. (2007). *Tutkallı tabakalanmış ahşap strüktür sistemlerinin mimaride kullanım olanakları*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Altın, M. (2010). *Pantheon'dan günümüze kubbelerin gelişimi* (1. Baskı). İstanbul: Yalın Yayıncılık.

Anonim, (1981). *Yapı Dergisi*, (40). İstanbul: YEM Yayınevi

Annunciation Greek Orthodox Church, (b.t). 15 Ekim 2014, http://www.peterbeers.net/interests/flw_rt/Wisconsin/annunciation_greek_church/annunciation_church.htm

Atlanta Georgia Dome, (b.t). 8 Kasım 2014, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/images2.html>

Atlantico Pavilion, (2011). 5 Kasım 2014, <http://www.vt.edu/spotlight/achievement/2011-05-16-turner/turner.html>

Aydın, B. (2011). *Sürdürülebilir çelik yapı uygulama olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Bahadır, Ş. S. (1997). *Büyük açıklıklı yapılarda taşıyıcı sistemler*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Baktır, S. (2006). *Yapı malzemelerindeki teknolojik gelişmelerin mimari biçimlenmeye etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Bayraktar, A. (2006). *Tarihi yapıların analitik incelenmesi ve sismik güçlendirme metotları*, (1. Baskı). İstanbul: Beta Yayınları.

Beckmann, P. (1995). *Structural aspects of building conservation*. UK: McGraw-Hill International.

Born, W. (1944). *The introduction of the bulbous dome into gothic architecture and its subsequent development*, (19).

Brunelleschi's Dome, (b.t). 21 Mayıs 2014, <http://www3.delta.edu/sewiley/brunelleschidome.html>

Cowan, H. J. (b.t). *An historical outline of architectural science*. Architectural Science Series,

Crochi, G. (1998). *The conservation and structural restoration of architectural heritage*. UK, Dorchester: Computational Mechanics Publications.

Charleson, A. W. (2005). *Structure as architecture* (First ed.). Italy: An imprint of – Elsevier.

Chilton, J. (2000). *Space grid structure*, England: Architectural Press

City of Jaca Hockey Arena, (2009). 24 Ekim 2014, <http://www.archdaily.com/17739/city-of-jaca-hockey-arena-coll-barreu-arquitectos/>

Construction Documents, (b.t). 8 Kasım 2014, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/condoc.html>

Çalış, R. (2012). *Hareketli çatıların yapısal özelliklerinin sistematik olarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Çamlıbel, N. (1984). *Geleneksel yapılarda stabilitenin iyileştirilmesi (temellerin takviyesi)*, İstanbul: Işık Baskı Atölyesi

Çamlıbel, N. (1998). *Sinan mimarlığında yapı strüktürünün analitik incelenmesi*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.

Çarbaş, S. (2008). *Optimum topological design of geometrically nonlinear single layer lamella domes using harmony search method*. Yüksek Lisan Tezi, Middle East Technical University.

Çelebi, R. (2001). *Yapı bilgisi*, (12). İstanbul. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları.

Çılı, F. ve Sesigür, H. (2007). *Tarihi yapıların onarımı/güçlendirilmesi*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Seminer Notları.

Çılı, F., Çelik, O. C. ve Sesigür, H. (2011). *Süleymaniye Camii taşıyıcı sisteminin onarımı ve güçlendirme çalışmaları*, (3) Vakıf Restorasyon Yıllığı

DB Basketball Alumni Reunion, (2014). 13 Ekim 2014, <http://douglassalumni.blogspot.com.tr/2014/01/db-basketball-alumni-reunion-still.html>

Domes, (b.t). 13 Kasım 2013, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/ DOMES/dome.html>

Dome of The Rock, (b.t). 24 Mart 2015, <http://witcombe.sbc.edu/sacredplaces/domeofrock.html>

Dome of The Rock, (2012). 27 Mart 2015, <https://avivalevdavid.wordpress.com/the-research/my-experience/dscn1450-2/>

Early Middle Ages, (2010). 27 Mart 2015, <http://users.clas.ufl.edu/fcurta/EARLYMED.html>

Eşsiz, Ö. (2001). *İleri teknoloji yapılarında alt sisitemlerin bütünleşmesi*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.

Erol, A. İ. (1997). *Mimarlıkta taşıyıcı sistemler*. Yüksek Lisan Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

Erdem, H. (2003). *Metal çerçeveli cam giydirme cephe sistemleri ve geçirimsizlik çözümleri üzerine bir inceleme*. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Trabzon.

Ersoy, H. Y. (2001). *Kompozit Malzeme*. İstanbul: Literatür Yayınları.

Fathalipour, N. (b.t). *The Sheikh Lotfollah Mosque, Consolidating Shi'ism, forming spirituality, and creating the infinite dome*, Candidate University of New Brunswick, Law and History of Art and Archaeology

Fraiman, M. (2014). *Florence Cathedral*. 8 Aralık 2014, <http://europetravelz.com/florence-cathedral-why-you-should-visit-the-duomo-of-florence/>

Georgia Dome, (b.t). 8 Kasım 2014, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/GEORGIA/g-anal.html>

Gökçe, G. (1977). *Başlangıçtan günümüze mimaride strüktür*. Yapı Dergisi, (23), İstanbul: YEM Yayınları.

Gürel, S. (1986). *Strüktür*. Mimarlık Dergisi (51). İstanbul: Mimarlar Odası Yayın Organı.

Hasol, D. (1998). *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü*. İstanbul: YEM Yayınları.

Harbour, R. S. (b.t). *Millennium experience*. 26 Şubat 2013, http://www.rsh-p.com/work/buildings/millennium_experience

Haghiasophia, (2003). 26 Şubat 2012, <http://www.istanbulportal.com/istanbulportal/ayasofya/haghiasophia3-2.jpg>

Hagia Sophia, (2013). 27 Şubat 2014, <http://www.livescience.com/27574-hagia-sophia.html>

Hagia Sophia Dome, (b.t). 19 Aralık 2012, <https://buildingfailures.wordpress.com/0553/02/05/hagia-sophia-dome-failure/>

Huerta, S. (2007). *Oval domes: history, geometry and mechanics*. Nexus Network Journal, (9).

Hiraoğlu, E. E. (2007). *Ahşap ve çelik makas sistemlerin malzeme ve sistem özelliklerinin incelenmesi, bir örnek yapı üzerinde değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

İzumo dome, (2007). 11 Mart 2012, <https://www.flickr.com/photos/guiashi/543587124>

Illini Hall, (2006). 14 Şubat 2014, http://www.illinoisloyalty.com/GoIllini/20060226_senior_night

Ishii, K. (1995). *Membrane Structures in Japan*. Tokyo: SPS Publishing Company

Kaiser Aluminum Dome, (b.t). 12 Ocak 2015, http://www.morleymarkson.com/morleymarkson_website/Kaiser_Aluminum_Dome.html

Kapitol, (2000). 8 Nisan 2015, <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/743590>

Kayalar, R. (2010). *Geniş açıklıklı binalarda belirli kimi taşıyıcı sistemlerin malzeme ve formlarının açıklık geçmeaçasından incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Kolbay, D. S. (2010). *Çatılarda ahşap strüktür bileşenlerinin tasarım etkenleri*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul

Kuban, D. (1998a). *Mimarlık kavramları*. İstanbul: YEM Yayınları

Kuban, D. (1998b). *Sinan'ın sanatı ve Selimiye*. İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları

Kuran, A. (1964). *İlk devir Osmanlı mimarisinde cami*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Yayın

Kidder, F. E. (b.t). *Building construction and superintendence*. 19 Aralık 2012, <http://chestofbooks.com/architecture/domes.html>

Kresge Auditorium, (1999). 14 Kasım 2013, <https://www.bluffton.edu/~sullivanm/kresgea/kresgea.html>

Kresge Auditorium, (b.t). 8 Mart 2013, <https://libraries.mit.edu/archives/exhibits/saarinen/index1.html>

- Kretschmer, F. (2000). *Antik Roma'da mimarlık ve mühendislik*. (Z. Z. İlkelen, çev.). İstanbul. Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Lan, T.T. (2005). *Space frame structure*. Beijing, China: CRC Press.
- Las Arenas, (2014). 7 Aralık 2014, <http://www.bdonline.co.uk/las-arenas-bullring-barcelona/5005268.article>
- Le Comptoir Forestier, (2011). 13 Ekim 2012, <http://www.globalview.be/search.asp?pid=3&idp=21729>
- Les Coupoles, (b.t). 8 Kasım 2014, http://www.edelo.net/roman/archi_voutement.htm
- Library for Faculty of Philology, (2015). 14 Şubat 2015, <http://picsora.com/1225625-the-library-of-the-faculty-of-philology-in-the-free-university-berlin.html>
- Macdonald, A. J. (2001). *Structure and architecture* (Second ed.). Britain: Architectural Press
- Moore, F. (1999). *Understanding structure* (7. Basıkı).(M. Gholabchi, çev.). Tahran Üniversitesi İntişaratı Yayınları. (Orijinal çalışma basım tarihi 2001)
- Müller, Ch. (2000). *Holzleimbau; Laminated timber construction*. Berlin.
- Naja, R. (2008). *Odate dome / Toyo Ito*, 9 Haziran 2013, <http://www.archdaily.com/348732/ad-classics-odate-dome-toyo-ito/>
- Nantong stadium, (b.t). 24 Ekim 2014, http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/asia/china/nantong_stadium.shtml

National Grand Theatre, (2007). 25 Şubat 2015, <http://www.china.org.cn/english/culture/227352.htm>

Norfolk Virginia, (2002). 24 Haziran 2014, <http://www.bluffton.edu/~sullivanm/virginia/norfolk/scope/scope.html>

Özkahraman, M. (1994). *Anadolu Selçuklu mimarisinde kemerlerin analitik incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Pantheon, (2010). 17 Aralık 2012, <http://people.umass.edu/latour/Italy/Pantheon/2010>

Pantheon, (b.t). 10 Kasım 2014, <http://www.mmdtkw.org/RT04-Pantheon.html>

Palazzetto dello Sport, (2013). 12 Aralık 2014 , <http://www.virtusroma.it/ticketing/il-palazzetto-dello-sport/>

Palazzo Dome, (2012). 24 Mart 2015, <http://eurspa.it/patrimonio/e42-la-storia>

Parke, G. & Howard, C. (1993). *Space structures*. London: Thomas Telford.

Parke, G. & Disney, P. (2002). *Space structures 5* (First ed.). London, UK. Thomas Telford Publishing.

Parlak, N. (1998). *Uzay kafes sistem ve örtü elemanları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Pastel, R. (2008). *Kabuk sistemler*. 6 Haziran 2013, <http://www.mimarlikformu.com/showthread.php?t=7875>

Perrot A. & Richard D. (2004). *Bourse-du-commerce*. 15 Kasım 2013, <http://www.perrot-richard.com/en/project/Bourse-du-Commerce-Paris/>

Reichstag dome structures, (b.t). 25 Nisan 2013, <http://imgarcade.com/1/reichstag-dome-structure/>

Reinforced Concrete Thin Shell Sports Facilities, (2008). 4 Ekim 2013, <http://www.monolithic.org/history/reinforced-concrete-thin-shell-sports-facilities>

Roth, L. M. (2000). *Mimarlığın öyküsü*. İstanbul: Kabalcı Yayınevi

Salvadori, M. and, Heller, R. (1980). *Mimarlıkta taşıyıcı sistem* (1. Baskı). (H. Karataş, B.Utku, çev.). İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi. (Orijinal çalışma basım tarihi 1992)

Saraç, M. (2003). *Tarihi yığma kargir yapıların güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Savaşır, K. (1999). *Silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerde yükseklik ve geçilen açıklık bakımından tek ve çift tabakalı sistemlerin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Savaşır, K. (2014). Bir abidenin kişileştirilmesi: kızıl saçlı bilge. *Uluslararası İstanbul Tarihi Yarımada Sempozyumu 2013*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Selimiye Camii, (2009). 23 Nisan 2013, <http://vdb.gib.gov.tr/edirnevdb/kultur/selimiye.html>

Sharp, D. & Kobayashi, K. (2002). *Kisho Kurokawa, Oita stadium, Oita, Japan*. Fellbach: Edition Axel Menges

Sheikh Lotfollah Mosque, (2004). 18 Mart 2015, http://www.ne.jp/asahi/arc/ind/2_meisaku/53_lotfollah/lot_eng.htm

Showground exhibition, (2011). 16 Ekim 2012, <http://www.thefifthestate.com.au/case-studies/tristram-carfrae-a-retrospective/23107>

Silver dome, (2009). 4 Kasım 2012, <http://www.detroitnews.com/article/20091117/METRO/911170327>

Sipahioğlu, V. (2006). *Teknolojik anlatımın aracı olarak''çelik mimarlığı''*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

South Pole Station, (2008). 7 Temmuz 2014, <http://www.expeditions.udel.edu/antarctica08/blog-dec-21-2008.html>

Southall Gurdwara, (b.t). 9 Şubat 2015, <http://www.cowleytimberwork.co.uk/Geodesic.html>

Soykan, K. (2007). *Çelik uzay kubbe sistemlerin ağırlıkça optimum dizaynı*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya

Sullivan, M. A. (1999). *Kresge Auditorium*. 13 Mart 2013, <http://www.bluffton.edu/~sullivanm/kresgea/kresgea.html>

Suncoast Dome, (b.t). 17 Ekim 2014, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/TIMELN/suncoast/suncoast.html>

Sungur, K. (2005). *Taşıyıcı sistem ve yapı statikği*, (1. Baskı). İstanbul, Birsan Yayınevi

Superior Dome, (2015). 26 Nisan 2015, <https://www.nmu.edu/sportsrecsports/node/113>

Süleymaniye Camii, (b.t). 7 Şubat 2013, http://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCleymaniye_Camii

St Basil's Chatedral, (2013). 24 Aralık 2014, <http://architectureassociate.blogspot.com.tr/2013/07/st-basils-cathedral-moscow.html>

St Paul's Dome, (b.t). 21 Şubat 2015, http://faculty.goucher.edu/eng211/sistine_chapel_ceiling_fresco_vs_st_Pauls.htm

St Peters Basilica Dome, (b.t). 23 Mart 2015, <http://imgbuddy.com/st-peters-basilica-dome.asp>

Stability notions, (2005). 27 Aralık 2012, http://www.earth-auroville.com/stability_notions_en.php

Stanton, J. (1997). *United States pavillion*, 26 Kasım 2012, <http://britton.disted.camosun.bc.ca/expo67/unitedstates.html>

Steel galss structure, (2012). 7 Aralık 2014, <http://www.waagner-biro.com/en/divisions/steel-glass-structures/references/reference/reichstag-building-dome>

Structural Gymnastics for the Olympics, (b.t). 17 Ekim 2014, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/SEOUL/s-struc.html>

Structural materials, (2010). 27 Ekim 2014, <http://tukangarsitek.blogspot.com.tr/2010/12/structural-materials-timber.html>

Strüktürel sistemler ve strüktürel malzemeler açısından analiz, (2008). 12 Ekim 2013, <http://www.nuveforum.net/1151-struktur-sistem-analizi/35096-millennium-dome-r-rogers-londra-1999-a/>

Tacoma Dome, (b.t). 14 Kasım 2012, <http://www.ce.udel.edu/courses/CIEG%20301/dome3-tacomadome.html>

Taj Mahal, (b.t). 26 Mart 2015, <http://imgkid.com/taj-mahal-interior-dome.shtml>

Tekgüvercin, Z. D. (2002). *Uzay kafes sistemler tarihi gelism güncel durum*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tensegrity, (b.t). 18 Ekim 2014, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/TENSEGRI/tensegri.html>

Tensile Structures, (b.t). 4 Aralık 2013, <http://wwwclasses.usc.edu/architecture/structures/Arch213B/lectures/04-tensile.pdf>

The Climatron, (2013). 17 Ocak 2015, <http://stlouispatina.com/the-climatron/>

The design and constrction of two cable domes for the Korean Olympics, (b.t). 22 Aralık 2012, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/SEOUL/s-desig.html>

The detail of Izumo Dome, (b.t). 17 Aralık 2014, <http://www.anc-d.u-fukui.ac.jp/~ishikawa/japanese%20structure/shimane/1992-mb-JPN3-07/Izumo%20Dome.htm>

The Eden Project, (2015). 27 Şubat 2015, <http://mimoa.eu/projects/United%20Kingdom/Bodelva/The%20Eden%20Project>

The pavilion wars, (2009). 19 Aralık 2012, <http://shanghaiscrap.com/category/expo-2010/uspavilion/page/5/>

The Royal Mosque, (2006). 18 Mart 2015, http://www.ne.jp/asahi/arc/ind/2_meisaku/55_shah/sha_eng.htm

The Seattle Kingdome, (b.t). 16 Haziran 2014, http://www.engr.psu.edu/ae/thinshells/module%20III/case_study_2.htm

Tokyo Dome, (2015). 24 Nisan 2015, http://en.wikipedia.org/wiki/Tokyo_Dome

Tokabaşı, P. (2005). *Kapalı atrium tasarımı ve yapısal özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Tuluk, Ö. İ. (1999). *Mekâna bağlı strüktür analizi: Osmanlı dini mimarisinde örnekleme (15- 17. yy)*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Türkçü, H. Ç. (1990). *Çağdaş yapım ve strüktür sistemleri 1* (2. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi

Türkçü, H. Ç. (2000). *Yapım* (2. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi

Türkçü, H. Ç. (2003). *Çağdaş taşıyıcı sistemler* (2. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi

Türkçü, H. Ç. (2009). *Çağdaş taşıyıcı sistemler* (2. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi

Uçak, Ş. (2012). *Tarihi yığma kubbelerin dinamik davranışlarının operasyonel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Urban, P. (2008). *The o2/Millennium dome*, 27 Şubat 2013, <http://www.urban75.org/london/the-o2-millennium-dome.html>

Urfalı, F. (2012). *Güncel çelik yapı sistemlerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

US Pavilion Expo 70, (b.t). 18 Haziran 2014, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/DOMES/OSAKA/cable.html>

Utica Auditorium, (b.t). 26 Mart 2015, <http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/TENSEGRI/tensegri.html>

Ünay, A. İ. (2002). *Tarihi yapıların depreme dayanımı*. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi. Basım İşliğı.

Vardar Öz, Ö. M. (2012). *Tek tabakalı uzay kafes sistemlerin tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Vaulted structures, (2005). 16 Ekim 2012, <http://www.earth-auroville.com>

Yılmaz, G. D. (2011). *Ahşap kompozit elemanlarla oluşturulmuş geniş açıklıklı sistemlerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yonar, C. O. (2009). *Asma germe sistemler*, 14 Haziran 2013, <http://www.sermimar.net/asma-germe-sistemler-ve-ozellikleri.html>

Zeiss Planetarium, (b.t). 17 Aralık 2014, http://www.engr.psu.edu/ae/ThinShells/module%20I/case_studies.htm