

154480

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAREKETLİ ÇATILAR

Mimar Özgür ÖZGE

**FBE Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Görün ARUN (YTÜ)

Prof. Dr. Görün Arun

Prof. A. Zafer ÖZTÜRK

Prof. Dr. Görün Arun

28.1.04

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. HAREKETLİ ÇATILARIN SINIFLANDIRILMASI.....	6
2.1 Çerçeve Tipi Hareketli Çatılar.....	7
2.2 Membran Hareketli Çatılar.....	8
2.3 Genişleyebilen Çerçeve Tipi Hareketli Çatılar.....	12
3. TASARIM FAKTÖRLERİ.....	19
3.1 Çerçeve Tipi Hareketli Çatıların Tasarım Faktörleri.....	19
3.1.1 Çerçevenin Strüktürel Tasarımı.....	19
3.1.2 Hareket Mekanizması.....	19
3.1.3 Mimari Tasarım Faktörleri.....	21
3.1.4 Strüktürel Tasarımda Yük Faktörleri.....	22
3.1.5 Güvenlik Faktörleri.....	24
3.2 Membran Hareketli Çatıların Tasarım Faktörleri.....	25
3.2.1 Hareket Mekanizması.....	25
3.2.2 Tasarım Faktörleri.....	26
3.3 Genişleyebilen Çerçeve Tipi Hareketli Çatıların Tasarım Faktörleri.....	26
3.3.1 Form Oluşum İlkeleri.....	27
3.3.2 Temel Tasarım Faktörleri.....	29
4. UYGULAMALAR.....	33
4.1 Colosseum.....	33
4.2 Pittsburgh Civic Arena.....	35
4.3 Frei Otto ve Ekibinin Çalışmaları.....	37
4.3.1 Bad Hersfeld Açık Hava Tiyatrosu.....	37
4.3.2 Lyon, Fransa'daki Bir Yüzme Havuzunun Çatısı.....	38
4.4 Montreal Olimpiyat Stadyumu.....	40
4.5 Toronto Sky Dome.....	43
4.6 Fukuoka Dome.....	51
4.7 Ariake Colosseum.....	56
4.8 Ocean Dome.....	60
4.9 Amsterdam Arena.....	65
4.10 Komatsu Dome.....	68
4.11 Gerry Webber Tenis Kortu.....	76
4.12 Zaragoza Arena.....	80
4.13 San Sebastian, İspanya'da Çok Amaçlı Merkez.....	82
4.14 Pusan Dome.....	88

	Sayfa
4.15 Ohita Dome.....	91
4.16 Toyota Stadyumu	96
4.17 Victoria Docklands Stadyumu.....	103
4.18 Miller Park Stadyumu.....	106
4.19 Hareketli Döner Kubbe Çatı Önerisi.....	109
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	113
6. PROJE ÖNERİSİ	115
KAYNAKLAR.....	135
ÖZGEÇMİŞ.....	137



SİMGE LİSTESİ

G	Deprem yükü katsayısı
k	Her açılı elemandaki çubuk sayısı
l	Açılı elemanı oluşturan çubukların uzunluğu
n	Çok açılı elemanlardan oluşturulmuş sistemdeki dilim sayısı
O	Çubuk strüktür merkezi
R_{max}	Açık pozisyonda O merkez noktası ile en dış noktalar arasındaki mesafe
R_{min}	Açık pozisyonda O merkez noktası ile en iç noktalar arasındaki mesafe
r_{max}	Kapalı pozisyonda O merkez noktası ile en dış noktalar arasındaki mesafe
r_{min}	Kapalı pozisyonda O merkez noktası ile en iç noktalar arasındaki mesafe
r^*	Çok açılı elemanın merkezine olan uzaklığı
α	İki komşu çok açılı eleman arasındaki açı
π	180 derecelik açı
ϕ	Dairesel hareketle genişleyen strüktürlerde elemanın açık pozisyondan kapalı pozisyona geçerken katettiği dönme açısı
ω	Dairesel hareketle genişleyen strüktürlerde limit açısı
ν	Çok açılı elemanın merkezindeki açı
ξ	Kirişin parametresi

KISALTMA LİSTESİ

AW Atelier Warmbom – Frei Otto, Ewald Bubner – et al.

EL Mitteilung der Entwicklungsstatte für den Leichtbau, Berlin

IASS International Association for Shell and Spatial Structures

IL Instituts für Leichte Flächentragwerke, Stuttgart

FIFA Federation of International Football Association



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Roma'daki Colosseum ve hareketli çatısı.....1
Şekil 1.2	Ortaçağ çadırları, Bedevi çadırları, Yurtlar.....2
Şekil 1.3	Pittsburgh Civic Arena.....2
Şekil 1.4	Frei Otto ve ekibinin çalışmalarından biri.....3
Şekil 1.5	Montreal Olimpiyat Stadyumu.....3
Şekil 1.6	Toronto Sky Dome.....4
Şekil 1.7	Fukuoka Dome.....4
Şekil 1.8	Ocean Dome.....5
Şekil 2.1	Kayar sistemler.....6
Şekil 2.2	Katlanan sitemler.....7
Şekil 2.3	Pittsburgh Civic Arena.....7
Şekil 2.4	Toronto Sky Dome.....8
Şekil 2.5	Fukuoka Dome.....8
Şekil 2.6	Ariake Colosseum.....8
Şekil 2.7	Colosseum'daki hareketli çatı.....9
Şekil 2.8	Açık hava tiyatrosu hareketli çatısı, Cannes.....10
Şekil 2.9	Montreal Olimpiyat Stadyumu.....10
Şekil 2.10	Zaragoza boğa güreşi arenasının çatısı.....10
Şekil 2.11	Yüzme havuzu, Unterluss, Almanya.....12
Şekil 2.12	Mush Baloon, Osaka, Japonya.....12
Şekil 2.13	Uçak hangarı, Stuttgart, Almanya.....12
Şekil 2.14	Genişleyebilen elemanlardan oluşmuş strüktür tipi.....13
Şekil 2.15	Genişleyebilen uzaysal strüktürden oluşmuş hareketli çatı, Bergisel Stadı.....13
Şekil 2.16	Çubuklar ve makas mafsalları ile oluşturulmuş strüktür tipi.....13
Şekil 2.17	Pinero'nun hareketli çatı çalışmalarından bir örnek.....14
Şekil 2.18	Basit açılı eleman, Hoberman (1990).....14
Şekil 2.19	Iris Dome, Hoberman (1991).....15
Şekil 2.20	Çok açılı eleman.....15
Şekil 2.21	Çok açılı elemanlardan oluşmuş genişleyebilir dairesel strüktür.....15
Şekil 2.22	Genişleyebilen çerçeve strüktürlerin üç boyutlu bir modeli.....16
Şekil 2.23	Çok açılı dönme hareketi.....16
Şekil 2.24	Kaplama plakları ile oluşturulmuş bir strüktür.....17
Şekil 2.25	Plaklarla kaplanmış üç boyutlu bir strüktür modeli.....17
Şekil 2.26	Plak strüktürlere bir örnek.....18
Şekil 3.1	Hareket Yöntemleri.....20
Şekil 3.2	Membran hareketli çatıların hareket mekanizması.....26
Şekil 3.3	$k:n = 3:6$ olan bir çubuk strüktür şeması.....27
Şekil 3.4	Açık ve kapalı durumlardaki mesafeler.....28
Şekil 3.5	υ , ω , ϕ açıları ve hareket dairesi.....29
Şekil 3.6	Düzlemsel bir strüktürün üçüncü boyuta aktarılması.....30
Şekil 3.7	Üç boyutlu strüktürler için özel bağlantı noktası.....30
Şekil 3.8	Sistemin yarı çapındaki değişime uyum gösteren mafsallı mesnetler.....31
Şekil 3.9	Dairesel ve eliptik strüktürler için kaplama plakları.....31
Şekil 4.1	Colosseum ve hareketli çatısı.....33
Şekil 4.2	Colosseum.....33
Şekil 4.3	Pittsburgh Civic Arena.....35
Şekil 4.4	Pittsburgh Civic Arena çatı çerçevesi.....36
Şekil 4.5	Pittsburgh Civic Arena kesiti.....36
Şekil 4.6	Bad Hersfeld açık hava tiyatrosu.....37

Şekil 4.7	Bad Hersfeld plan ve görüntüler.....	38
Şekil 4.8	Bad Hersfeld çatısının hareket mekanizması.....	38
Şekil 4.9	Lyon'daki yüzme havuzunun içerden ve dışardan görüntüsü	39
Şekil 4.10	Montreal Olimpiyat Stadyumu çatısı açık ve kapalıyken.....	40
Şekil 4.11	Montreal Olimpiyat Stadyumunun üzerindeki membran hareketli çatı.....	41
Şekil 4.12	Montreal Olimpiyat Stadyumu genel görünüş ve membran hareketli çatı.....	42
Şekil 4.13	Toronto Sky Dome.....	43
Şekil 4.14	Toronto Sky Dome çatı çerçeve planı.....	44
Şekil 4.15	Toronto Sky Dome çatı çerçevesi.....	44
Şekil 4.16	Toronto Sky Dome çatı hareket planı.....	45
Şekil 4.17	Toronto Sky Dome hareket mekanizması.....	46
Şekil 4.18	Toronto Sky Dome hareket mekanizması.....	47
Şekil 4.19	Toronto Sky Dome'un açılma pozisyonları.....	47
Şekil 4.20	Toronto Sky Dome plan.....	48
Şekil 4.21	Toronto Sky Dome kesitler.....	49
Şekil 4.22	Toronto Sky Dome cepheler.....	49
Şekil 4.23	Toronto Sky Dome çatı kapalıyken bir görünüş.....	50
Şekil 4.24	Toronto Sky Dome çatı açıkken içeriden bir görünüş.....	50
Şekil 4.25	Toronto Sky Dome çatının kuş bakışı görünüşü.....	50
Şekil 4.26	Fukuoka Dome.....	51
Şekil 4.27	Fukuoka Dome çatının açık ve kapalı durumları.....	52
Şekil 4.28	Fukuoka Dome kesit.....	52
Şekil 4.29	Fukuoka Dome hareket mekanizması.....	53
Şekil 4.30	Fukuoka Dome hareket mekanizması.....	53
Şekil 4.31	Fukuoka Dome hareket mekanizması.....	54
Şekil 4.32	Fukuoka Dome açık pozisyon.....	55
Şekil 4.33	Fukuoka Dome çatı açılırken.....	55
Şekil 4.34	Ariake Colosseum genel görünüm.....	56
Şekil 4.35	Ariake Colosseum kesit ve planlar.....	57
Şekil 4.36	Ariake Colosseum cepheler.....	57
Şekil 4.37	Ariake Colosseum çeşitli durumlarda çatı planı.....	58
Şekil 4.38	Ariake Colosseum hareket mekanizması.....	58
Şekil 4.39	Ariake Colosseum çatı çerçevesi.....	58
Şekil 4.40	Ariake Colosseum hareketi sağlayan mekanizma.....	59
Şekil 4.41	Ocean Dome çatı açıkken genel görünüş.....	60
Şekil 4.42	Ocean Dome çatı kapalıyken.....	61
Şekil 4.43	Ocean Dome hareket mekanizması	62
Şekil 4.44	Ocean Dome hareket mekanizması (izometrik).....	62
Şekil 4.45	Ocean Dome hareket mekanizması.....	63
Şekil 4.46	Ocean Dome çevresel kolonlar ve hareket yolu kesiti.....	63
Şekil 4.47	Ocean Dome içeriden bir görünüş.....	64
Şekil 4.48	Amsterdam Arena çatısının açık hali.....	65
Şekil 4.49	Amsterdam Arena çatının kapalı hali.....	66
Şekil 4.50	Amsterdam Arena stadyumun içeriden görüntüsü.....	66
Şekil 4.51	Amsterdam Arena Kuzey – Batı görüntüsü.....	67
Şekil 4.52	Amsterdam Arena Güney – Doğu görüntüsü.....	67
Şekil 4.53	Komatsu Dome çatı açıkken dış görünüş.....	68
Şekil 4.54	Komatsu Dome dış görünüş.....	69
Şekil 4.55	Komatsu Dome çerçeve sistemi.....	69
Şekil 4.56	Komatsu Dome membran çatının kesiti.....	70

	Sayfa
Şekil 4.57	Komatsu Dome membran çatının kesiti..... 70
Şekil 4.58	Komatsu Dome membran panelin şekli..... 71
Şekil 4.59	Komatsu Dome hareket mekanizması..... 72
Şekil 4.60	Komatsu Dome tekerlek detayları..... 73
Şekil 4.61	Komatsu Dome hareket mekanizması..... 73
Şekil 4.62	Komatsu Dome kesiti 73
Şekil 4.63	Komatsu Dome vaziyet planı..... 74
Şekil 4.64	Komatsu Dome çatı açıkken içeriden görünüş..... 75
Şekil 4.65	Gerry Webber tenis kortunun çatısı açıkken..... 76
Şekil 4.66	Gerry Webber tenis kortunun çatısı kapalıyken..... 77
Şekil 4.67	Gerry Webber plan ve kesit..... 78
Şekil 4.68	Gerry Webber hareketli çatının hareketi..... 79
Şekil 4.69	Zaragoza Arena, İspanya..... 80
Şekil 4.70	Zaragoza Arena membran hareketli çatısı..... 81
Şekil 4.71	San Sebastian çok amaçlı merkezin çatısı açık ve kapalıyken..... 82
Şekil 4.72	San Sebastian ilk tasarlanan proje..... 83
Şekil 4.73	San Sebastian uçlar kesildikten sonraki proje..... 83
Şekil 4.74	San Sebastian uygulama projesi..... 84
Şekil 4.75	San Sebastian çatı çerçevesi..... 85
Şekil 4.76	San Sebastian hareketli parçanın planı ve kesiti..... 85
Şekil 4.77	San Sebastian çatı perspektif görünüş..... 86
Şekil 4.78	San Sebastian arenanın içten görünüşü..... 87
Şekil 4.79	Pusan Dome açık ve kapalı durumlar..... 88
Şekil 4.80	Pusan Dome perspektif..... 89
Şekil 4.81	Pusan Dome açık ve kapalı durumlarda çatı planı..... 90
Şekil 4.82	Pusan Dome kesit..... 90
Şekil 4.83	Pusan Dome zürafa şeklindeki kolon ve kablo strüktür kesiti..... 90
Şekil 4.84	Ohita Dome..... 91
Şekil 4.85	Ohita Dome çatı planı..... 92
Şekil 4.86	Ohita Dome hareketli paneller çerçevesi..... 93
Şekil 4.87	Ohita Dome çerçeve sistemi..... 93
Şekil 4.88	Ohita Dome çatı kapalı pozisyonda..... 94
Şekil 4.89	Ohita Dome iç görünüş..... 94
Şekil 4.90	Ohita Dome çatının açık ve kapalı durumları..... 95
Şekil 4.91	Toyota Stadyumu'nun genel görünüşü..... 96
Şekil 4.92	Toyota Stadyumu içeriden görünüş..... 97
Şekil 4.93	Toyota Stadyumu açılış – kapanış aşamaları..... 98
Şekil 4.94	Toyota Stadyumu çatının planı ve izometrisi..... 99
Şekil 4.95	Toyota Stadyumu çatının açık ve kapalı pozisyonları..... 100
Şekil 4.96	Toyota Stadyumu çatının açılıp kapanma aşamaları..... 101
Şekil 4.97	Toyota Stadyumu çatının açık ve kapalı pozisyonları..... 101
Şekil 4.98	Toyota Stadyumu..... 101
Şekil 4.99	Toyota Stadyumu plan ve görüntüşler..... 102
Şekil 4.100	Çatı kapalıyken Toyota Stadyumu'nun görünüşü..... 102
Şekil 4.101	Victoria Docklands Stadyumunun plan ve kesiti..... 104
Şekil 4.102	Space Truss Scheme izometrik görünüş..... 105
Şekil 4.103	Miller Park Stadyumu çatının açık ve kapalı durumları..... 107
Şekil 4.104	Miller Park Stadyumu çatı çerçevesi ile çerçeveyi oluşturan giriş..... 108
Şekil 4.105	Plan ve kesit..... 110
Şekil 4.106	3-boyutlu çok açılı eleman bağlantı noktası..... 111

	Sayfa
Şekil 4.107	Genişleyebilen iç ve dış halkalar..... 111
Şekil 4.108	Açılış kapanış aşaması..... 112
Şekil 6.1	Vaziyet planı..... 117
Şekil 6.2	AA kesiti..... 118
Şekil 6.3	BB kesiti..... 119
Şekil 6.4	Kuzey görünüşü..... 120
Şekil 6.5	Güney görünüşü..... 121
Şekil 6.6	Batı görünüşü..... 122
Şekil 6.7	Doğu görünüşü..... 123
Şekil 6.8	Çelik çerçeve planı..... 124
Şekil 6.9	Çelik çerçeve görünüş..... 125
Şekil 6.10	Çelik çerçeve görünüş..... 126
Şekil 6.11	Çelik çerçeve perspektif..... 127
Şekil 6.12	Hareketli panel planı..... 128
Şekil 6.13	Hareketli panel perspektif..... 129
Şekil 6.14	Izgara planı..... 130
Şekil 6.15	Izgara görünüş..... 131
Şekil 6.16	Izgara görünüş..... 132
Şekil 6.17	Izgara perspektif..... 133
Şekil 6.18	Strüktür perspektifi..... 134

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Frei Otto ve ekibinin hareketli çatı çalışmaları..... 9
Çizelge 2.2	Membran hareketli çatıların hareket matrisi.....11
Çizelge 2.3	Pnömatik hareketli çatı örnekleri.....11
Çizelge 3.1	Açık durumdaki maksimum rüzgar hızı.....22
Çizelge 3.2	Hareketli çatılardaki deprem yükleri.....23
Çizelge 4.1	Hareketli panellerin boyutları ve ağırlıkları.....45
Çizelge 4.2	Toronto Sky Dome'un analizi için dikkate alınan yük durumu.....48



ÖNSÖZ

Bu tezde esas olarak yeni ve gelişmekte olan bir yapım sistemi olan hareketli çatılara değinilmiştir. Tezin amacı hareketli çatıların tasarımı konusunda bilgi vermektir. Bu nedenle hareketli çatıların tanımı, tarihçesi, sınıflandırılması ve tasarım faktörleri ile bazı örneklere değinilmiştir. Böylece tasarımcıların hareketli çatılar konusunda başvurabilecekleri yeni bir kaynak ortaya çıkmıştır.

Bu tezin hazırlanması sırasında bana her türlü yardımda bulunan danışman hocam Prof. Dr. Görün Arun'a, tez projesiyle ilgili dökümanlara ulaşmamı sağlayan Galatasaray Spor Kulübü'ne ve bana bu çalışmamda destek olan herkese teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Son yıllarda spor yapılarının üstünün örtülmesinde sabit strüktürler kadar hareketli çatılar da kullanılmaktadır. İlk başlarda bir lüks gibi görünen hareketli çatılar yıllar geçtikçe olumlu yanlarının artması sonucunda bir gereksinim haline gelmiştir.

Bir yapıda hareketli çatı kullanımına karar verebilmek ve tasarımı doğru bir biçimde yapabilmek için bu konu hakkındaki kaynaklar taranmalı ve gerekli değerlendirmeler yapılmalıdır. Yeni ve gelişmekte olan bir sistem olması nedeniyle hareketli çatıların tasarımına yönelik çok sayıda kaynak bulunmamaktadır. Bu tez, hareketli çatıların tasarımı konusunda bilgilendirme amacıyla hazırlanmıştır.

Tezin birinci bölümünde kısaca hareketli çatıların tanımı yapılmış ve tarihçesi anlatılmıştır. İkinci bölümde ise yapım sistemlerine göre sınıflandırma yapılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde, yapım sistemine göre tasarım faktörleri belirtilmiştir. Dördüncü bölümde ise hareketli çatı örnekleri sunulmuştur.

Bütün bu çalışmalardan sonra hareketli çatıların şu andaki durumu, tasarım sorunları ve gelecekteki yönelimler hakkında sonuçlar çıkarılmış ve bazı önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca, Ali Sami Yen Stadyumu üzerine yapılan bir hareketli çatı çalışması ile uygulamaya yönelik bir proje önerisi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hareketli çatılar, genişleyebilen strüktürler, spor yapıları, geniş açıklık, membran.

ABSTRACT

In recent years, as well as fixed structures, retractable structures have been used as a roof system for sports buildings. Retractable roofs, which are defined as a luxury in the beginning, have become a necessity in recent years because of their increasing advantages.

It is necessary to investigate and evaluate all documents related to retractable roofs in order to design and use them in a right way. Retractable roofs is a new and developing subject, so there are few documents about this topic. This thesis is prepared to inform about the design of retractable roof structures.

In the first part of the thesis, retractable roofs are briefly described. In the second part they are classified by means of their structural system. In the third part design criterias are stated according to structural systems. In the last part some examples of actual retractable roofs are given.

After all this study the state of the art, design problems and future directions of retractable roof structures are analyzed and some proposals are given. In the end a retractable roof project in Ali Sami Yen Stadium is studied.

Keywords: Retractable roofs, expandable structures, sport buildings, wide span, membrane.



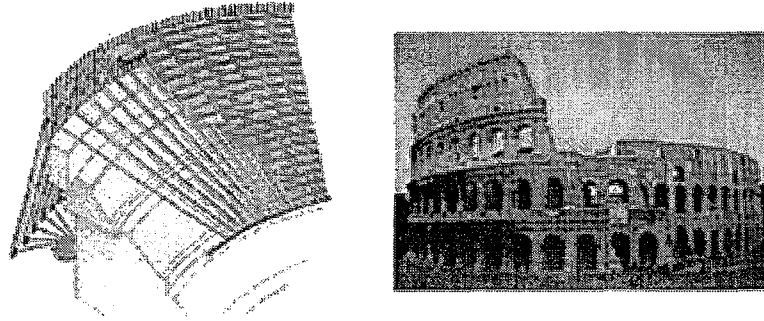
1. GİRİŞ

Tanım: Hareketli çatılar bir yapı çatısının tamamının veya bir kısmının, hem açık hem de kapalı durumlarda kullanımının sağlandığı çatılardır.

İnsanoğlu varoluşundan bugüne yağmur, kar, rüzgar, sıcak ve soğuk gibi kendisini olumsuz yönde etkileyen doğa olaylarından korunma içgüdüleriyle beraber çeşitli yapılar ve buluşlar yapmıştır. Günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle artık sadece korunma içgüdüğü değil, insanoğlunun doğayı ve çevresini kontrol etme isteği de söz konusudur. Buckminster Fuller'in Manhattan yarımadasının üstünü 3 kilometre çapında bir kubbeye örtme projesi, insanoğlunun çevresine hükmedebilme rüyasını ifade eden ütöpik bir düşüncedir. Aslında, bu proje olumsuz hava koşullarından insanları korurken doğal ışık, temiz hava gibi insanların gereksinimleri bu kubbenin dışında kalmaktaydı.

Gerek doğa olaylarından korunmak, gerekse doğayla iç içe olmak için geliştirilebilecek en ideal çözüm, gerektiğinde açılabilip gerektiğinde kapanabilecek üst örtülerdir. Çatıları hareketli olan yapılarda gerek görüldüğünde çatı açılarak dış ortamın doğal ışık ve doğal havalandırma şartları yapı içine alınır. Gerek görüldüğünde çatı kapatılarak yapıyı kullananlar yağmur, kar, rüzgar, soğuk ve sıcak gibi hava koşullarından korunur.

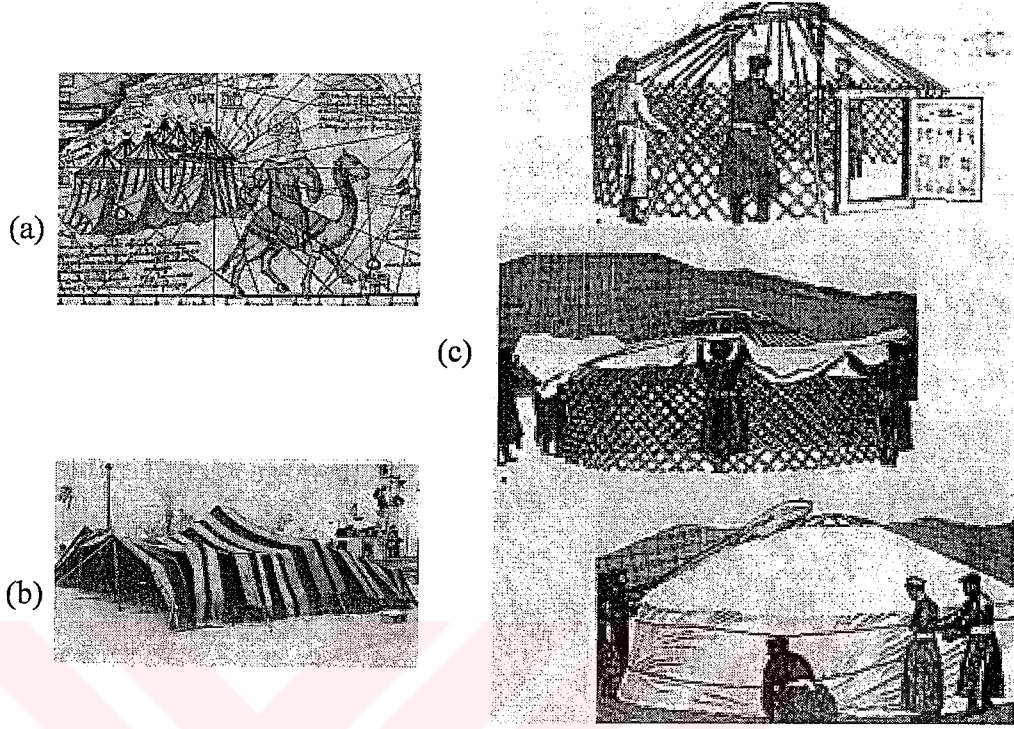
Hareketli çatılar eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Roma'daki Colosseum'un izleyici bölümünün üstünde ipler ve makaralar yardımıyla hareket ettirilen "velarium" adı verilen çadır bezine benzeyen bir örtünün bulunduğu bilinmektedir(Şekil 1.1). Kalıntılar arasında bulunan direkler de burada eskiden bir hareketli çatı bulunduğunu doğrular niteliktedir.



Şekil 1.1 Roma'daki Colosseum ve hareketli çatısı [National Geographic, 1992]

Göçebe ve savaşçı toplumlar yolculuk yaparken yanlarında çeşitli çadırlar taşımaktaydı. Bu çadırlar insan gücüyle kolayca kurulup sökülebilmekteydi. Örtü, ahşap direkler ve kablolar kullanılarak yapılan bu çadırlar aslında birer hareketli yapıydı. Ortaçağ çadırları, bedevi

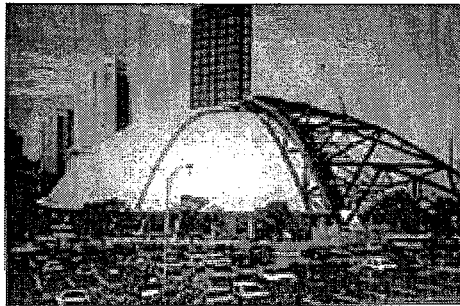
çadırları, Osmanlıların ve Moğolların kullandığı “yurt” adı verilen çadırlar ile Amerikan yerlilerinin kullandığı “tepee” adı verilen çadırlar bunlardan bazılarıydı (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 (a)Ortaçağ çadırları, (b)Bedevi çadırları, (c)Yurtlar [Escrig, 2000]

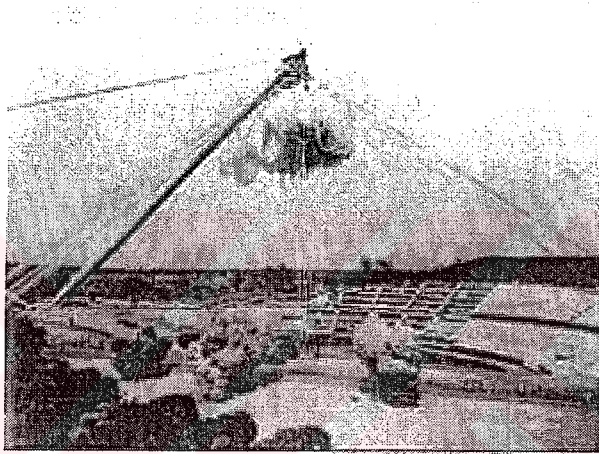
Günümüzde ise hareketli çatıların en temel ve en küçük örneği şemsiyelerdir. 1930’lu yılların başında gezer köprü vinç teknolojisi kullanılarak bazı küçük ölçekli hareketli çatılar yapılmıştır. Gezer köprü vinçlerin kullanımı çok eskiye dayandığından, bu teknolojinin hareketli çatılara uyarlanması kolay olmuştur. Yirminci yüzyılın başlarında, Landcaster (1938), H.H.Stevens (1942) ve Walter Bird (1956) tarafından küçük ölçekli pnömatik hareketli çatılar tasarlanıp uygulanmıştır.

1951 yılında A.B.D’nin Pittsburgh kentinde bulunan Civic Arena binası o zamana kadar gezer köprü vinç teknolojisiyle üretilmiş en büyük hareketli çatıdır. Bu binanın 127 metre çapındaki oditoryum salonunun üzeri hareketli bir çatı ile örtülmüştür(Şekil 1.3).

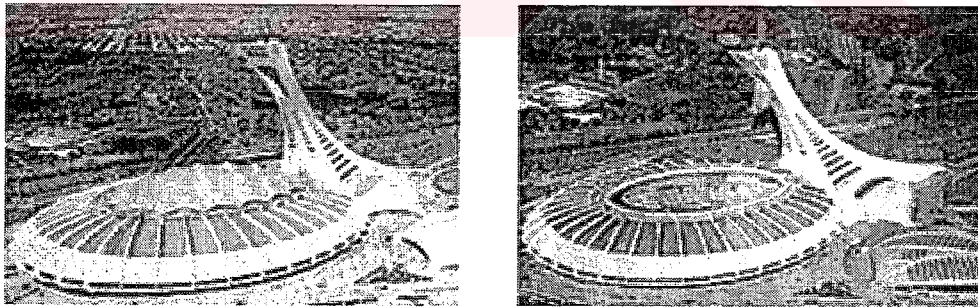


Şekil 1.3 Pittsburgh Civic Arena [Ishii, 2000]

Daha sonraları bu alan buz hokeyi pisti olarak kullanılmıştır. Almanya’da başını Prof.Frei Otto’nun çektiği bir ekip 1954 yılında membran malzemeyle yapılan hareketli çatılar üzerinde araştırmalar başlatmış ve birçok başarılı uygulama geliştirmiştir(Şekil 1.4). Bu araştırmalarda elde edilen bilgiler ve deneyimler ışığında birçok hareketli çatı tasarlanmıştır. Bunlardan biri, hareketli çatıların tarihinde bir dönüm noktası sayılan Montreal Olimpiyat Stadyumudur(Şekil 1.5). Fransız mimar Taillebert tarafından yapılan bu proje şaşırtıcı olduğu kadar astronomik derecede pahalıydı. Planlandığı zamanda tamamlanamayan ve tamamlandıktan sonra bile doğru düzgün çalışmayan bu hareketli çatı, kötü bir örnek olmasına rağmen hareketli çatıların tasarımında önemli bir rol oynamıştır.



Şekil 1.4 Frei Otto ve ekibinin çalışmalarından biri [Ishii, 2000]



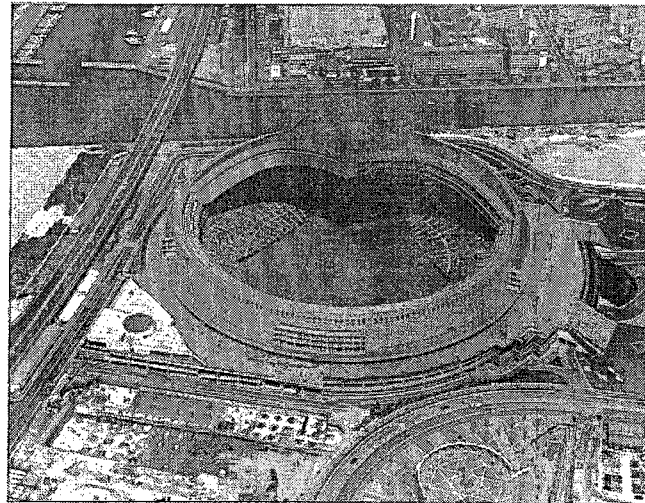
Şekil 1.5 Montreal Olimpiyat Stadı [Escrig, 2000]

Hareketli çatılar son 15 yıla kadar tenis kortları, yüzme havuzları ve buz pateni pistleri gibi küçük ölçekli spor yapılarında ve tersane, ambar, depo gibi endüstri yapılarında kullanılmıştır. Teknolojinin gelişmesi ve deneyimlerin artmasıyla beraber daha büyük açıklıkları geçebilen hareketli çatılar yapılmaya başlanmıştır. Bunların başında Kanada’da yapılmış olan beysbol sahası gelmektedir. 1989 yılında tamamlanan ve 180 metre açıklık geçen Toronto Sky Dome adındaki bu yapı ilk rijit modern hareketli çatı olarak kabul edilebilir(Şekil 1.6). Japonya’daki 222 metre çapındaki Fukuoka Dome(Şekil 1.7) ile 25,000 m²’lik bir alanı örten Ocean Dome(Şekil 1.8) bu alandaki en önemli örneklerden birkaçıdır.



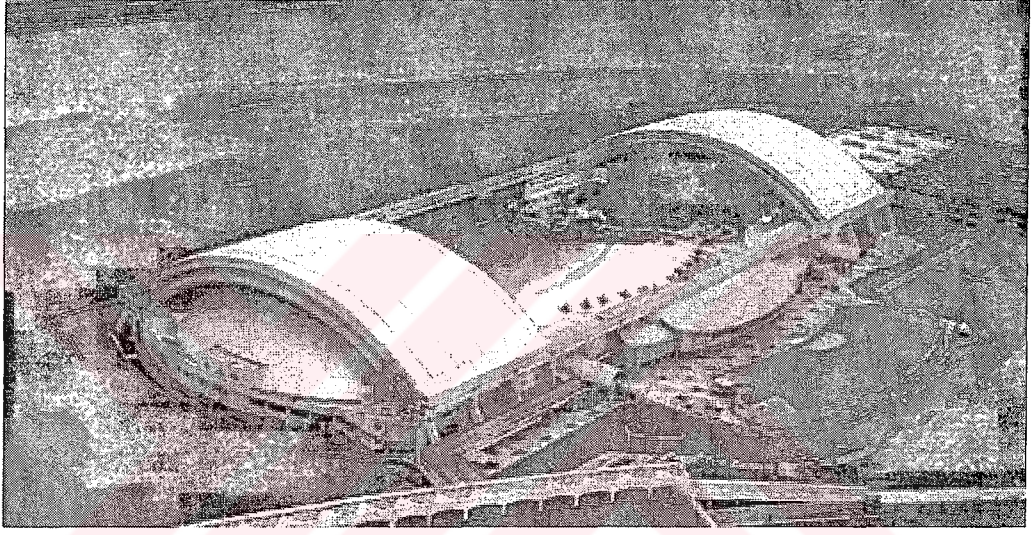
Şekil 1.6 Toronto Sky Dome [Robbie, 1992]

Sürekli gelişmekte olan hareketli çatılar, yaklaşık 15-20 yıldan beri stadyumlarda kullanılmaktadır. Bugüne kadar yaklaşık 15 büyük stadyumun üstü hareketli çatı ile örtülmüştür ve bir o kadar da uygulanmak üzere hazırlanmış proje bulunmaktadır. Bir spor yapısında hareketli çatı yapılıp yapılmayacağı halkın talebine bağlı olduğu kadar çevresel ve ekonomik faktörlere de bağlıdır. Bugüne kadar hareketli çatıların inşaat maliyeti, bakım maliyeti, yönetim maliyeti ve işletme maliyeti bakımından ekonomik olmaması benimsenmesini engelliyordu. Ancak zaman içinde bu çatıların getirdiği avantajlar, dezavantajlarından daha baskın hale gelmiş ve hareketli çatılar artık lüks bir gereksinim olmaktan çıkmıştır.



Şekil 1.7 Fukuoka Dome [Ishii, 2000]

Olimpiyatlar, Dünya ve Avrupa şampiyonaları gibi uluslararası organizasyonlar için son 10-15 yılda dünya genelinde birçok büyük açıklıklı saha yapılmıştır. Ancak, bir şehirde genellikle bir kez bu tip organizasyon gerçekleştirildiğinden, bu yapılar sadece organizasyon süresinde kullanılmakta ve daha sonra atıl bir biçimde bir kenarda unutulmaktadır. Roma Olimpiyat Stadı, Münih Olimpiyat Stadı gibi istisnalar olmasına rağmen bir çok stadyum verimli kullanılamamakta ve gün geçtikçe zarar etmektedir. Bu nedenle bu tip yapıların çok amaçlı hale getirilerek sportif etkinliklerin yanı sıra, konserler, konferanslar gibi çeşitli etkinliklere de ev sahipliği yapabilecek hale getirilmesi ekonomik verimliliğini artırır.



Şekil 1.8 Ocean Dome [Ishii, 2000]

Genelde A.B.D’de bu tip yapıların çok amaçlı kullanılması yaygınken Avrupa’daki stadyumlar daha geleneksel bir yaklaşım içerisinde sabit yarı açık çatılı olarak yapılmaktadır. Son yıllarda, özellikle uzak doğu ülkelerinde de bu tip yapılara büyük bir ilgi vardır. Dünya genelinde yeni hareketli çatılar yapılırken, eski yapıları da elden geçirilerek çatıları hareketli hale getirilmektedir.

2. HAREKETLİ ÇATILARIN SINIFLANDIRILMASI

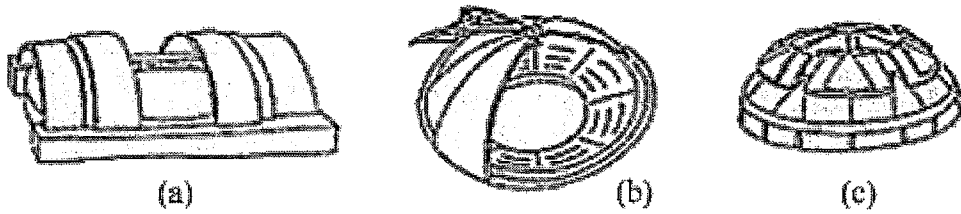
Dünya genelinde birçok hareketli çatı çeşitli sistemler kullanılarak yapılmıştır. Hareketli çatıların çoğunda yapı boyunca hareket eden gezer köprü vinç sistemine benzer sistemler kullanılmıştır. Gezer köprü vinçler uzun yıllardan beri kullanıldığı ve hemen her ülkede tasarımları için belirlenmiş standartları olduğu için hareket sistemini hareketli çatılara uygulamak kolay ve güvenli olmuştur. Fakat zaman içinde değişen kullanıcı gereksinimleriyle geçilen açıklıkların artması sistemin biraz pahalı ve ağır olmasını gerektirdiği için, teknolojinin de gelişmesiyle yeni sistemler oluşturulmuştur.

Günümüzde hareketli çatıların yapımında kullanılan çeşitli sistemler vardır. Bunlar hareket yöntemlerine ve yapım sistemlerine bağlı olarak iki şekilde sınıflandırılır.

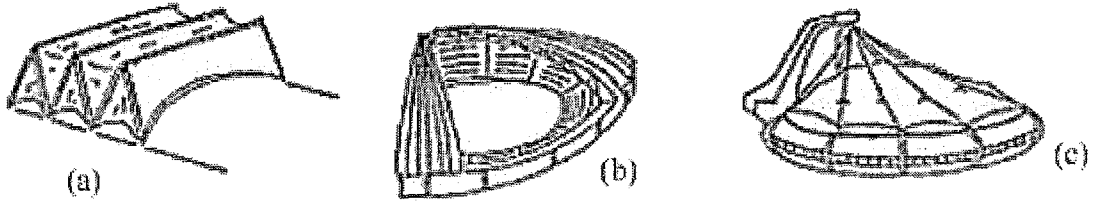
Hareketli çatılar açılış/kapanış yöntemine göre üçe ayrılır:

1. Kayar Sistemler: Bu sistemde çatı panelleri yatayda veya düşeyde hareket ederek üst üste biner. Paneller paralel olarak veya dönerek hareket eder. Şekil 2.1’de bu sisteme ait örnekler görülmektedir.
2. Katlanan Sistemler: Bu sistemde çatı panelleri çeşitli yöntemlerle katlanarak hareket etmektedir. Bu yöntemler yatay katlanma, dönerek katlanma ve düşey katlanma olarak Şekil 2.2’de gösterilmiştir.
3. Genişleyen Sistemler: Bu sistemde çatı panelini oluşturan strüktür geri çekilebilir/genişleyebilir tiptedir.

Yukarıdakilere ek olarak yöntemlerin birlikte kullanıldığı karma sistemler de vardır.



Şekil 2.1 Kayar sistemler: yatayda paralel olarak üst üste binen elemanlar(a), Dönerek üst üste binen elemanlar(b), Düşeyde üst üste binen elemanlar(c)



Şekil 2.2 Katlanan sistemler: yatayda katlanan sistem(a), dönerek katlanan sistem(b), düşeyde katlanan sistem(c)

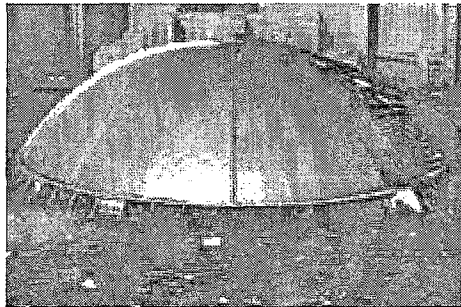
Hareketli çatılar yapım sistemine göre:

1. Çerçeve tipi hareketli çatılar
2. Membran tipi hareketli çatılar
3. Genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılar

olarak sınıflandırılır.

2.1 Çerçeve Tipi Hareketli Çatılar

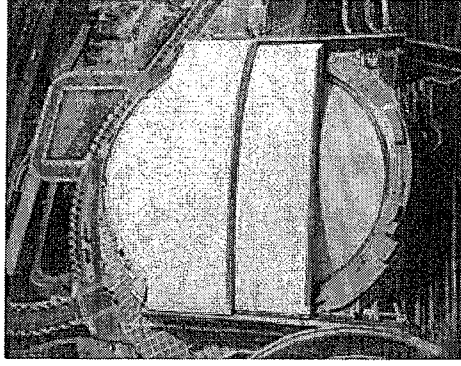
Çerçeve tipi hareketli çatılarda çatının açılıp kapanması, rijit veya esnek malzeme örtüsüne sahip bir çerçevenin gezer köprü vinç teknolojisi ile tamamen veya kısmen döndürülmesi veya yatayda kaydırılmasıyla sağlanır. Genellikle çelik malzemedен üretilen çerçeveler çok büyük açıklık geçtiğinde sistem ağırlaşır. Böylece hareketi zorlaşır ve maliyeti artar. Güvenlik açısından da olumsuzluklar bulunmasına rağmen birçok hareketli çatı bu sistem kullanılarak yapılmıştır. 1961 yılında yapılan Pittsburgh Civic Arena ilk çerçeve tipi hareketli çatı olarak tanımlanabilir(Şekil 2.3). 127 metre çapında ve 33 metre yüksekliğindeki bir alanın örtülmesinde kullanılan bu çatının açılıp kapanması 2 dakika gibi kısa bir zaman içinde gerçekleştirilmekteydi.



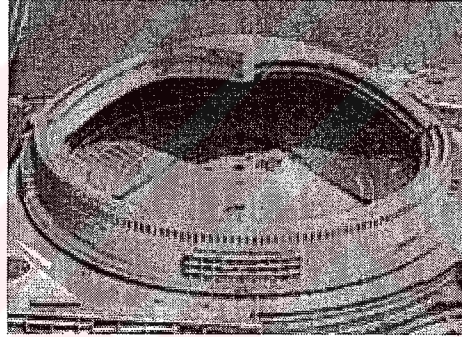
Şekil 2.3 Pittsburgh Civic Arena [Ishii, 2000]

Çerçeve tipi hareketli çatılarda devrim 1989 yılında gerçekleşti. O yıllarda açılan bir yarışma ile Toronto'daki çok amaçlı bir stadyumun projesi için çeşitli hareketli çatı önerileri getirildi. Toronto Sky Dome (Şekil 2.4) adındaki bu yapı 180 metre çapındaydı ve dünyanın rijit çelik

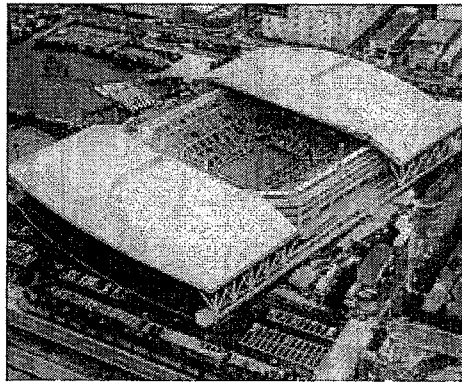
hareketli çatı olarak yapılmış ilk çok amaçlı stadyumudur. Bu yapının tamamlanmasından sonra birçok çerçeve tipi hareketli çatı yapılmaya başlanmıştır. Japonya’da bulunan 222 metre çapındaki Fukuoka Dome (Şekil 2.5) ile 136 metre açıklık geçen Ariake Colosseum (Şekil 2.6) bu sistemin en çarpıcı örneklerinde sadece birkaçıdır. Diğer örneklere ilerleyen bölümlerde ayrıntılı bir biçimde değinilmiştir.



Şekil 2.4 Toronto Sky Dome [Ishii, 2000]



Şekil 2.5 Fukuoka Dome [Ishii, 2000]

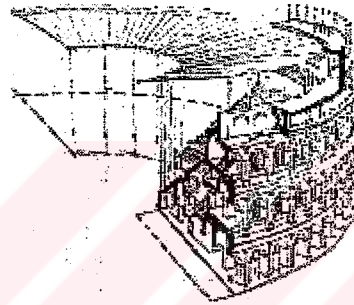


Şekil 2.6 Ariake Colosseum [Ishii, 2000]

2.2 Membran Hareketli Çatılar

Membran hareketli çatılarda, membran örtü malzemesi kablolar ve makaralar yardımıyla çeşitli şekillerde katlanarak çatının açılıp kapanmasını sağlar. Pnömatik membran hareketli çatılar da bu gruptadır.

Membranlar esnek, hafif ve katlanabilir malzemelerdir ve eski tarihlerden beri çeşitli yapılarda çeşitli amaçlarla kullanılmıştır. Batı Afrika çöllerinde yaşayan Tuaregler'in kullandığı çadırlar, Türkler, Tatarlar ve Moğollar'ın kullandığı yurtlar ve Amerikan yerlilerinin kullandığı "tepee" adı verilen çadırlar, dokuma ve keçeden oluşan membran örtü, ahşap direkler, ipler ve kazıklardan oluşmaktaydı. Bunlar taşınabilir çadırlardı. Dokuma membran malzemesinin sabit bina üzerinde hareketli olarak kullanılması Romalılar zamanına dayanır. Romalılar o zamanki gemilerde kullanılan yelkene benzeyen ve "velarium" adı verilen membran malzeme ile başta Colosseum olmak üzere çeşitli alanların üzerini örtmüşlerdir. Bu membran örtü kablolar yardımıyla hareket ettirilerek seyircilerin Roma güneşinden korunması sağlanmıştır.



Şekil 2.7 Colosseum'daki hareketli çatı [Escrig, 2000]

1954 yılında Almanya'nın Stuttgart Üniversitesi'nde başını Prof.Frei Otto'nun çektiği bir grup membran malzeme ile hareketli çatı üzerinde araştırmalar başlatmış ve birçok başarılı örnek geliştirmiştir. Bu araştırmalar ve uygulamalar sonucu hareketli çatıların kullanımı yaygınlaşmış ve sonraki tasarımcıları da etkilemiştir. [Ishii, 2000]

Çizelge 2.1 Frei Otto ve ekibinin hareketli çatı çalışmaları [Ishii, 2000]

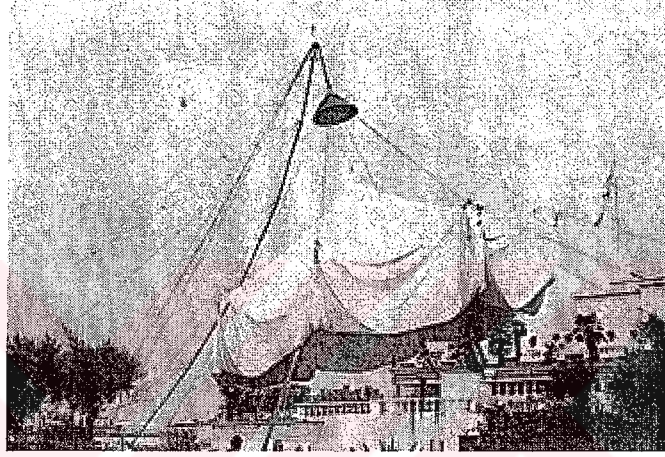
Yıl	Kullanım Amacı	Yer	Hareket sistemi	Mimar	Yapısal tasarım
1965	Açık hava tiyatrosu	Cannes, Fransa	Merkezde toplanan	R.Taillibert	EL*
1966	Yüzme havuzu	Carnot, Fransa	Merkezde toplanan	R.Taillibert	EL
1967	Açık hava tiyatrosu	Bad Hersfeld, Almanya	Merkezde toplanan	EL	EL
1970	Yüzme havuzu	Regensburg, Almanya	Merkezde toplanan	J.Bilasco, Girard	AW**
1971	Buz pateni pisti	Conflans, Fransa	Merkezde toplanan	AW	AW
1971	Örtü	Köln, Almanya	Şemsiye şeklinde katlanma	AW	AW

* Mitteilung der Entwicklungsstätte für den Leichtbau, Berlin

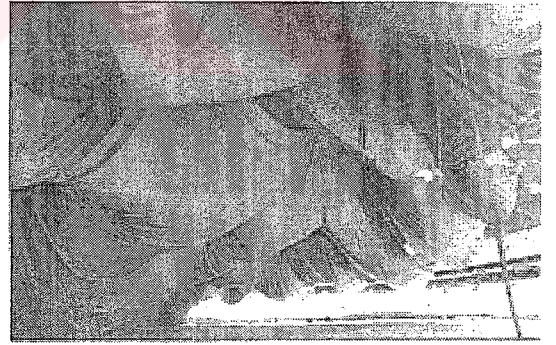
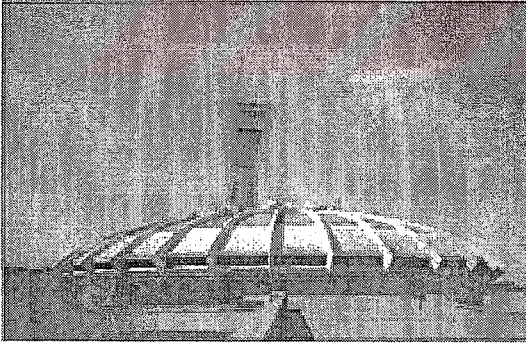
** Atelier Warmborn – Frei Otto, Ewald Bubner et al.

Bu çatılarda membran olarak PVC kaplı polyester elyaf malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin kuvveti ve dayanıklılığındaki ilerleme hareketli çatıların yayılmasını kolaylaştırmıştır. Bu çalışmalarda membran malzeme özel olarak geliştirilmiş elektrik motorlu kablo çekiciler yardımıyla hareket ettirilmiştir.

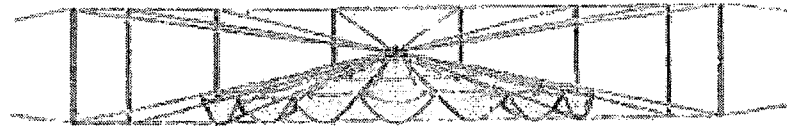
Günümüzde membran malzeme genelde rijit hareketli çatılarda kaplama örtüsü olarak kullanılmaktadır. Bazı küçük ölçekli membran hareketli çatılar da yapılmıştır. Bunlardan bazıları, Montreal Olimpiyat Stadyumu ve Jörg Schlaich tarafından yapılan Zaragoza boğa güreşi arenasıdır.



Şekil 2.8 Açık hava tiyatrosu hareketli çatısı, Cannes [Otto, 1976]















Şekil 2.9 Montreal olimpiyat stadı [Ishii, 2000]



Şekil 2.10 Zaragoza boğa güreşi arenası'nın çatısı [Ishii, 2000]

Membran hareketli çatılar hareket tiplerine göre sınıflandırılabilir. Çizelge 2.2'de bu sınıflandırma görülmektedir.

Çizelge 2.2 Membran hareketli çatıların hareket matrisi [Ishii, 2000]

Yapım Sistemi	Hareket tipi		Paralel	Merkezi	Dairesel	Çevresel
Destek Strüktürü Sabit	Membran	Toplanarak				
		Yuvarlanarak				
Destek Strüktürü Hareketli	Destek Strüktürü	Kayarak				
		Katlanarak				
		Dönerek				

Pnömatik Hareketli Çatılar

Pnömatik yapılar hareketli çatılarda da kullanılmıştır. Yirminci yüzyılın başlarında, Landcaster(1938), H.H.Stevens(1942), Walter Bird(1956) ve diğerleri tarafından küçük boyutlarda pnömatik hareketli çatı örnekleri tasarlanıp geliştirilmiştir. [Ishii, 2000]

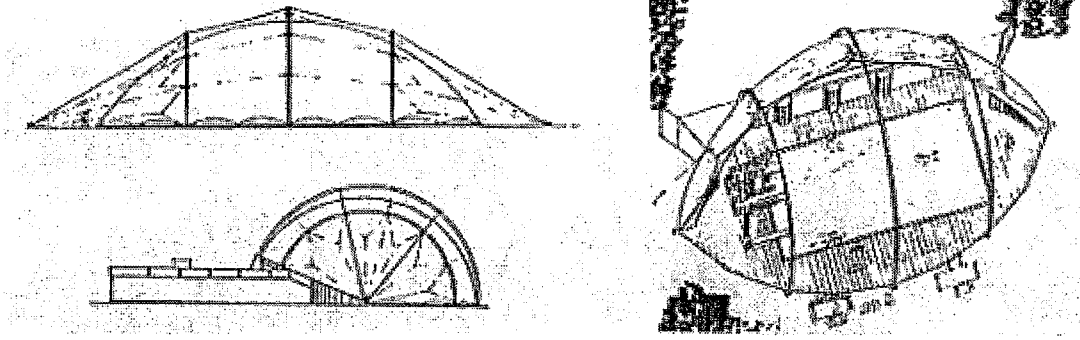
Pnömatik membran strüktüre sahip hareketli çatılar üzerindeki çalışmalar, IL tarafından başlatılmış ve sistematik olarak derlenmiştir (IL-12-1975). Bu tip genel araştırma daha sonraları birçok uygulamaya yol açmıştır.

Ancak yapılan uygulamalar küçük geçici strüktürlerdir. Aşağıda bazı pnömatik hareketli çatı örnekleri görülmektedir.

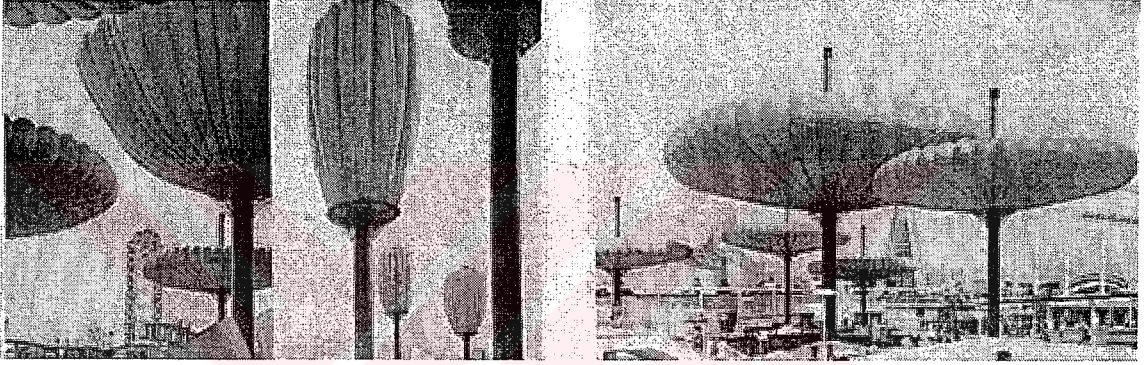
Çizelge 2.3 Pnömatik hareketli çatı örnekleri

Mush Baloon (Osaka) – 1970	Gölgelek. Rüzgar hızı yüksekken çatı geri çekilmektedir. 15 m/sn hıza kadar ise açılmaktadır.
Mitsui Symbol Tower (Osaka) – 1970	Rüzgar yükünü azaltmak için şekil değiştirilebilir. Sembol kulesi. 50 – 25 metre
Bir havuzun çatısı (Unterluss) – 1971	Membran çelik boru kemerler boyunca hareket ettirilmektedir. Açılmış halde, iç basınç strüktürün stabilizasyonu için ayarlanmıştır.
Uçak hangarı (Stuttgart) – 1993	Helyum dolu kirişlerin açılıp kapanması. Hangarın çapı 24 metre

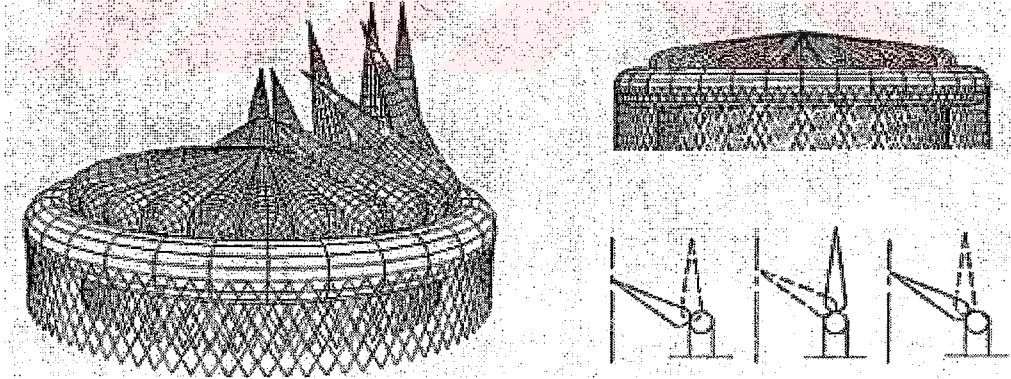
Her ne kadar bunlar küçük hava membran strüktürleri olsa da, bu tip strüktürler hala daha araştırma aşamasındadır, fakat geleceğin hareketli çatısı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.11 Yüzme havuzu, Unterluss, Almanya [Ishii, 2000]



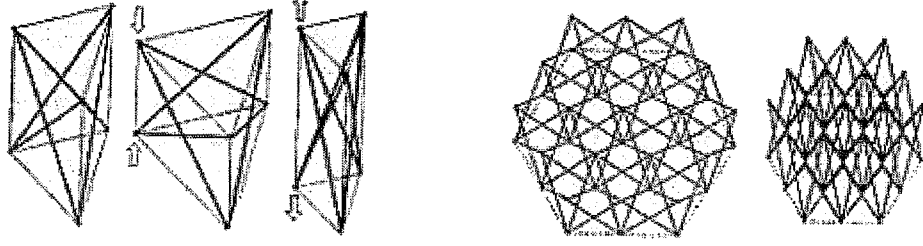
Şekil 2.12 Mush Baloon, Osaka [Ishii, 2000]



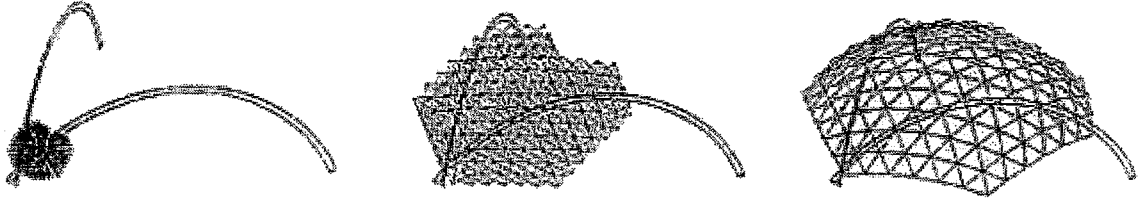
Şekil 2.13 Uçak hangarı, Stuttgart [Ishii, 2000]

2.3 Genişleyebilen Çerçeve Tipi Hareketli Çatılar

Genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılarda çubuklardan veya plaklardan oluşan çerçeve, strüktürün çevresine doğru genişler ve çatının açılması sağlanır. Bu tip hareketli çatılar montajı hızlı ve kolay olan uzaysal strüktürlerdir. Önceleri açılabilir/toplanabilir geçici yapılarda kullanılan bu strüktür daha sonraları hareketli çatılarda da kullanılmıştır.

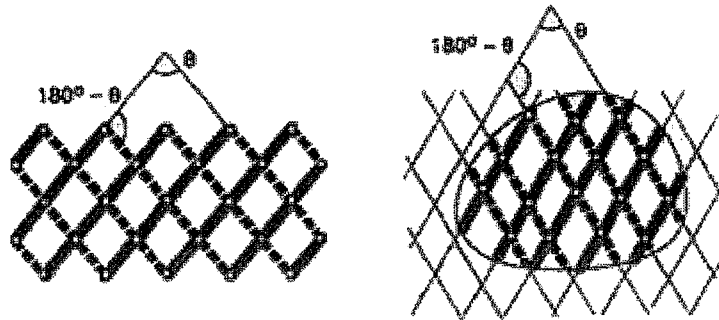


Şekil 2.14 Genişleyebilen elemanlardan oluşmuş strüktür tipi [Ishii, 2000]



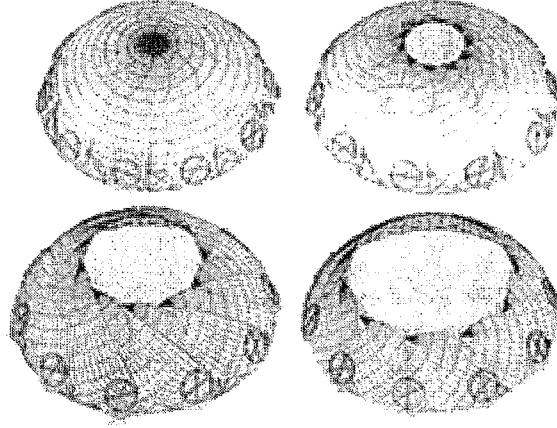
Şekil 2.15 Genişleyebilen uzaysal strüktürden oluşmuş hareketli çatı, Bergisel stadyumu [Ishii, 2000]

Bundan önce açıklanan çerçeve tipi hareketli çatılar rijit, birbirinden bağımsız çatı kütlelerinin hareketine dayanmaktadır. Genişleyebilen hareketli sistemlerdeki gelişmeler sonucunda, bağımsız olarak çalışan çatı kütleleri yerine, bir bütün olarak açılıp kapanabilen hareketli çatılar yapmak mümkün olmuştur. Sistemin temelinde şaraplık, elbise askısı, bahçe çiti ve pencerelerde kullanılan makas mafsalları ile birbirine bağlanmış çubuklar bulunmaktadır. Makas mafsalı; eksenini strüktürün düzlemine dik olarak dönen birleşim noktalarına verilen addır.



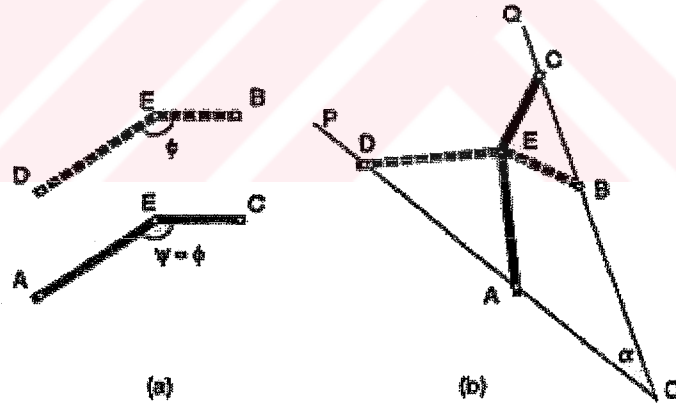
Şekil 2.16 Çubuklar ve makas mafsalları ile oluşturulmuş strüktür tipi [You ve Pellegrino, 1997)

Hareketli çatılara ilk bütünsel yaklaşımı öneren kişi İspanyol mühendis ve mucit Pinero'dur. Fuller, Otto, Calatrava ve Escrig tarafından geliştirilen bu sistem, Hoberman ve Pellegrino'nun çalışmaları ile yürütülmektedir.[Servadio, 1995]



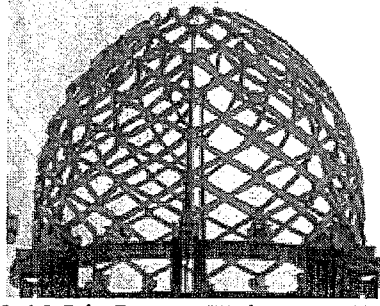
Şekil 2.17 Pinero'nun hareketli çatı çalışmalarından bir örnek [Escrig, 2000]

Sevilla Üniversitesinden Prof.Felix Escrig'in çalışmaları genelde çubukların birleşiminden oluşmakta ve ek olarak membran ve plaklar da kullanılmaktadır. Amerikalı mühendis Chuck Hoberman'ın 1990'da basit açılı elemanı bulmasıyla, makas mafsalları kullanarak hareketli çatı strüktürleri yapımında büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Basit açılı eleman, Şekil 2.18'de de görüldüğü gibi makas mafsallarıyla bağlanmış iki özdeş çubuktan oluşmaktadır. Hoberman, bu elemanları kullanarak Iris Dome'u ve daha birçok katlanabilir strüktürü yapmıştır (Şekil 2.19).

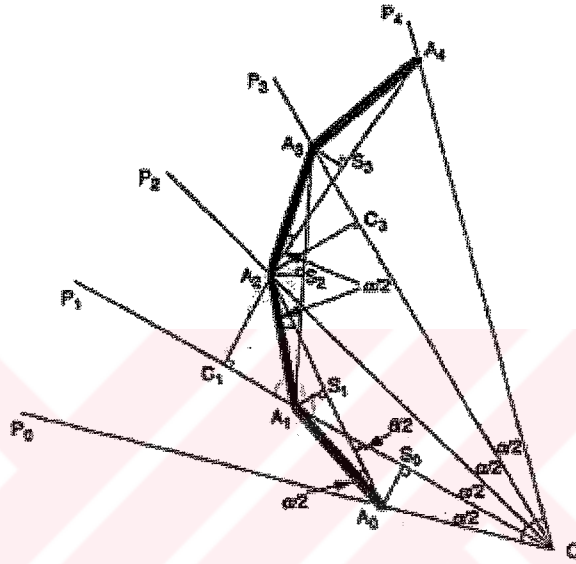


Şekil 2.18 Basit açılı eleman, Hoberman(1990) [You ve Pellegrino, 1997]

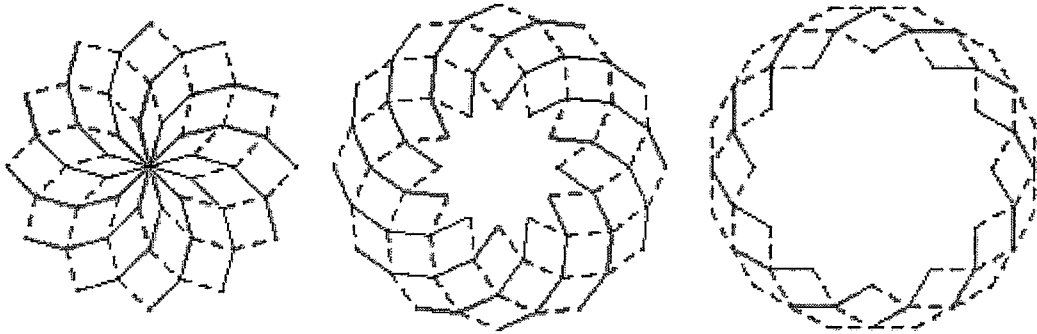
Daha sonraları You ve Pellegrino'nun "çok açılı eleman"ı ortaya koymasıyla strüktür daha da geliştirilmiştir. Çok açılı elemanlar; (Şekil 2.20), Hoberman'ın basit açılı elemanında olduğu gibi ayrı çubuklardan değil, birbirlerine rijit bir şekilde bağlanmış belli sayıda çubuklardan oluşmaktadır. Çok açılı elemanlardan oluşturulan genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılar daireye yakın, eşkenar çokgen alanların örtülmesinde kullanılır(Şekil 2.21).



Şekil 2.19 Iris Dome, Hoberman(1991) [1]



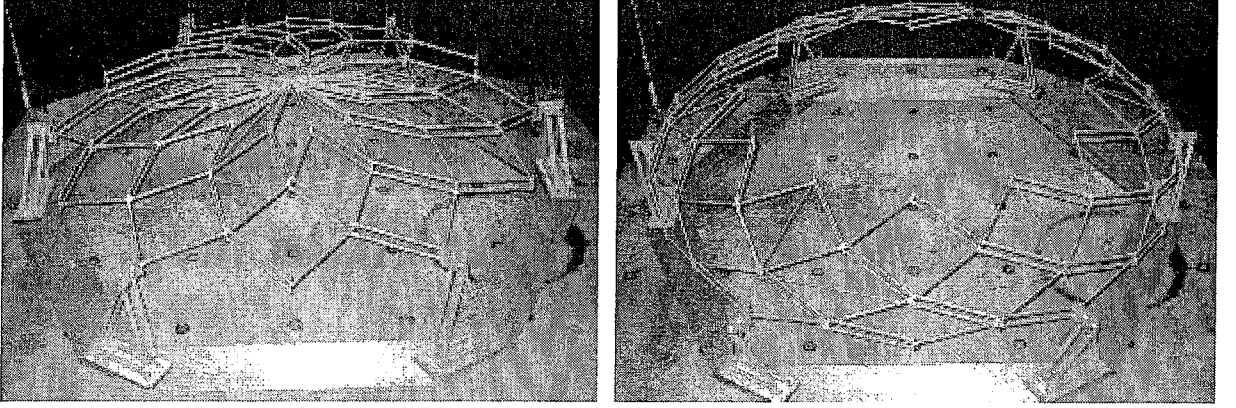
Şekil 2.20 Çok açılı eleman [You ve Pellegrino, 1997]



Şekil 2.21 Çok açılı elemanlardan oluşmuş genişleyebilir dairesel strüktür [Jensen ve Pellegrino,2002]

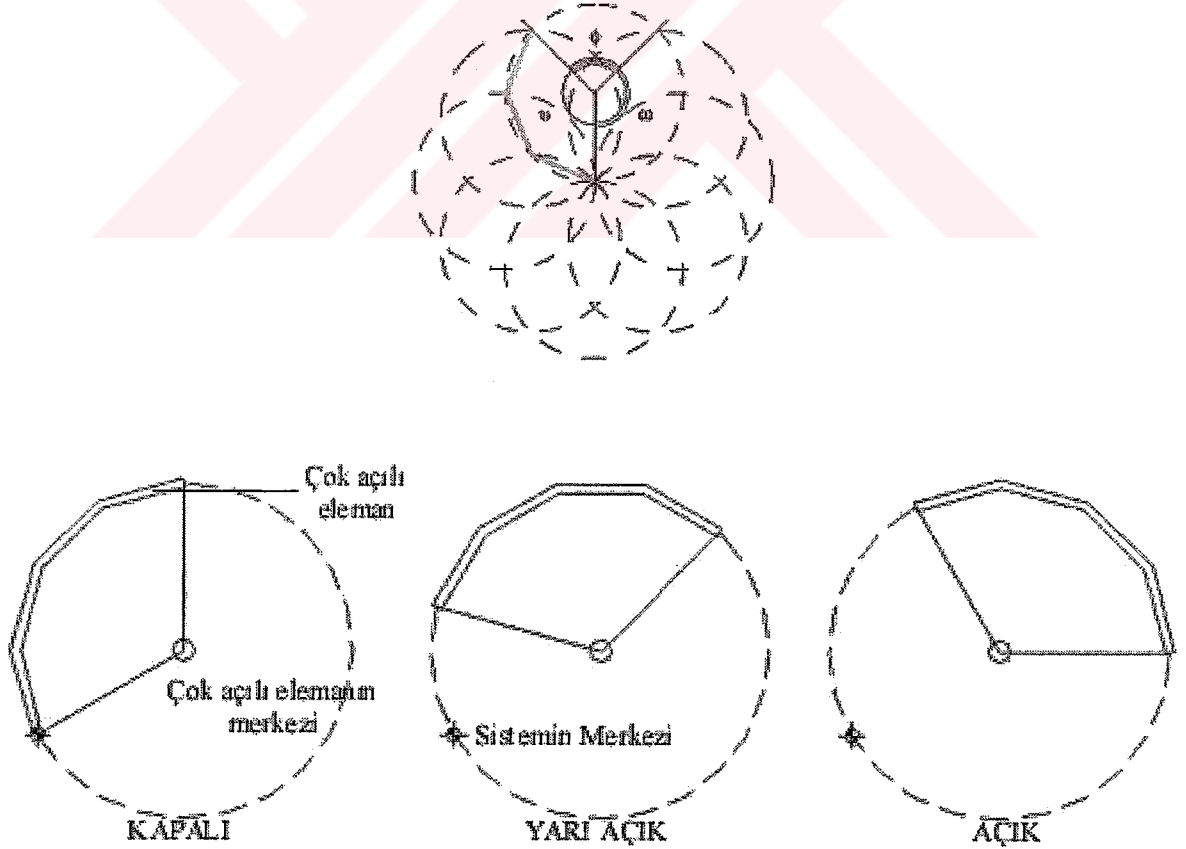
Bu çubukların her biri çevreye doğru geri çekilebilmekte ve her plan şeklinde uygulanabilmektedir. Sistemin hareketi, Şekil 2.21'de de görüldüğü gibi mafsalsal noktalarının ışınsal olarak strüktürün çevresine doğru gitmesi olarak tanımlanabilir. Bu sistem, hareketli çatıları kenara çekilmek zorunda olan spor yapıları için uygun bir tasarımdır. Düzlemsel olarak çalışan genişleyebilen çubuk strüktürlerin büyük açıklıklar geçebilmesi için kubbe

formunda olması gerekir (Şekil 2.22). Hareket süresince, sistemin kenar elemanları sürekli yer değiştirdiği için sistem, radyal doğrultuda içeri ve dışarı hareket edebilen uçları mafsallı düzenlenmiş dikmeler üzerine oturtulursa bu harekete uyum gösterir.



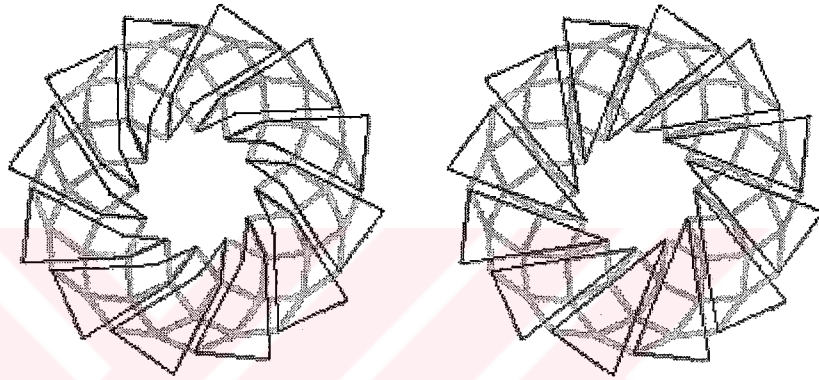
Şekil 2.22 Genişleyebilen çerçeve strüktürlerin üç boyutlu bir modeli [Jensen, 2001]

Kassabian'ın yaptığı araştırmalar, sistemin açılıp kapanması sırasında her çok açılı elemanın kendi merkezi etrafında döndüğünü ortaya koymuştur(Şekil 2.23). Böylece sistem, hareket eden dikmeler yerine bu merkezlere yerleştirilmiş sabit dikmelere oturtulabilmektedir.

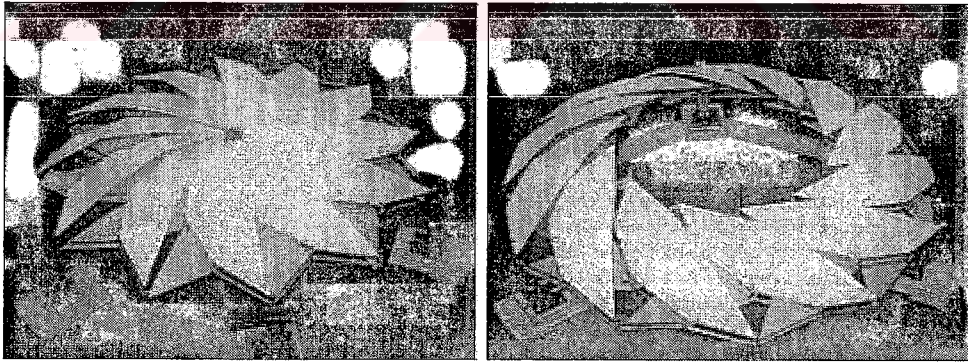


Şekil 2.23 Çok açılı elemanın dönme hareketi

Çok açılı elemanlardan oluşan bir hareketli çatıda kaplama örtüsü değişik şekillerde tasarlanabilir. Kassabian, genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılarda sürekli olarak katlanıp dayanıklılığını yitiren membran malzeme yerine hareket esnasında birbirlerini engellemeyecek şekilde tasarlanmış rijit plaklar kullanılmasını önermiştir. Ayrıca bu plaklar örtü olarak hem açık hem de kapalı pozisyonda boşluk bırakmayan sürekli bir yüzey oluşturmaktadır. Kaplama örtüsü, her biri bir “çok açılı eleman”a sabitlenmiş ön gerilmeli membran ya da uygun şekillerde rijit plaklar olabilir (Şekil 2.24).[Jensen, 2001]

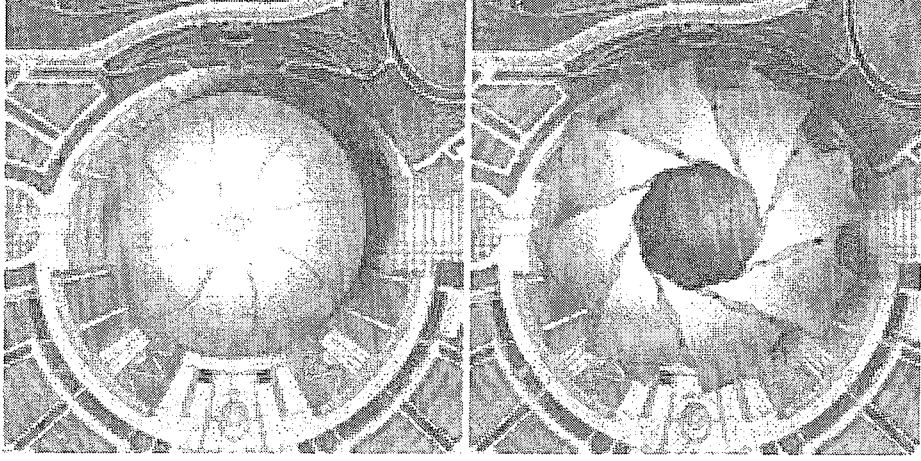


Şekil 2.24 Kaplama plakları ile oluşturulmuş bir strüktür [Jensen, 2001]



Şekil 2.25 Plaklarla kaplanmış üç boyutlu bir strüktür modeli [Pellegrino, 1997]

Rijit plaklar uygun geometrik şartlarda düzenlenirse, çubuk strüktürlerin bağlantıları kaplama elemanlarının altında kalacağı için çubuk strüktüre gerek kalmadan tüm strüktür genişleyebilir plaklardan oluşturulabilir (Şekil 2.26).[Jensen, 2001]



Şekil 2.26 Plak strüktüre bir örnek [1]



3. TASARIM FAKTÖRLERİ

3.1 Çerçeve Tipi Hareketli Çatıların Tasarım Faktörleri

3.1.1 Çerçevenin Strüktürel Tasarımı

Çerçeve tipi hareketli çatılarda, sabit çatıların aksine çatı çerçevesi çok sayıda parçaya bölünür. Her bölünmüş parça bağımsız bir strüktür olduğundan, görsel olarak çatının tümünde bir bütünlük sağlanamaz. Dairesel kubbe şeklindeki çatılarda kemer etkisi baskındır. Çatıyı oluşturan parçalar üzerlerine gelen yükleri uygun şekilde aktaracak rijitlikteki çerçevelerden oluşturulmalıdır. Her parçanın taşıdığı yük ve dış kuvvetler farklı olduğundan davranışları da farklı olacaktır. Her ne kadar bölünmüş parçalar birer bağımsız strüktür de olsa, aynı giriş tarafından taşınır. Bağımsız panellerin girişle etkileşimi komşu panelin davranışı etkileyebilir.

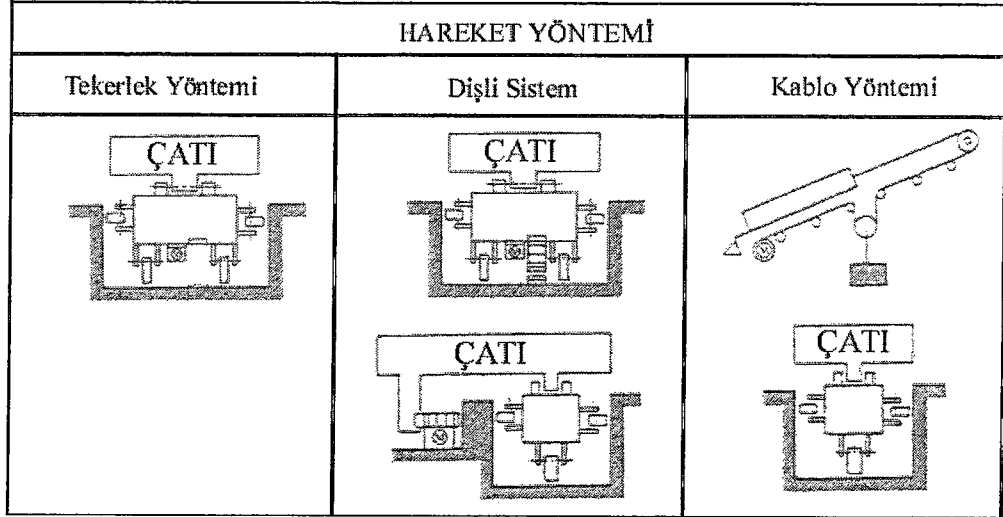
Bağımsız panelleri yeterli boyuttaki boşluklar birbirinden ayırır. Bu şekilde paneller için gerekli olan yapım ve hareket toleransı sağlanır. Bazı yapılarda, çatının kapalı olduğu durumlarda bu boşluklar esnek kapaklar ile kapanır. Bu kapakların dayanımı üzerine etkileyen yükleri panellere aktaracak yeterlilikte olmalıdır. Panellerin güvenli bir şekilde hareket etmeleri için yeterli yapım ve hareket toleransı bırakılmalıdır. Rüzgar, deprem, kar v.b. yükler nedeniyle iki komşu panel arasındaki deformasyon farklılıkları, panel arasındaki boşlukları ve aradaki kapakların çalışabilirliğini etkilememelidir.

3.1.2 Hareket Mekanizması

Hareket mekanizması yükleri hareketli çatıdan girişe güvenli bir şekilde aktarmalıdır. Hareketi sağlayan sistem, strüktüre uyacak şekilde tasarlanmalı, fren ve hareket durumlarında güvenilir olmalıdır.

Uygulanmış olan hareketli çatılarda, hareket yöntemi gezer köprü vinçlerin hareket yöntemine benzemektedir. Gezer köprü vinç teknolojisinin eski tarihlerden beri kullanılması ve sağlam temellere dayanması hareketli çatıların hareket mekanizmasının ne kadar güvenli olduklarının göstergesidir.

Hareketli çatılar eğri ya da düz raylar üzerinde hareket ederler. Çatı parçalarının düşeyde düzenlenen eğri raylar üzerindeki hareketi tekerleklerden kaynaklanan sürtünme kuvvetiyle sağlanamayabilir. Hareketli çatıların tasarımına bağlı olarak hareket yöntemleri; yatay raylar üzerinde hareket eden motorlu tekerlekler; kablo ile çekilerek raylar üzerinde hareket eden tekerlekler ve düşeyde eğri raylar üzerinde hareket eden dişliler ile düzenlenir.



Şekil 3.1 Hareket Yöntemleri [Ishii, 2000]

Hareket mekanizmasını oluşturulurken dikkat edilen noktalar şunlardır:

Hareketli çatının hareket sıklığına bağlı olarak toplam tekerlek sayısı, tekerlek çapı, tekerlek aralığı ve tekerleklerin birbirleriyle olan bağlantısı düzenlenmelidir.

Raylar seviye, açıklık ve eğrilik gibi faktörler dikkate alınarak düzgün bir şekilde alt kirişe sıkıca sabitlenmelidir. Ray bağlantılarında ısı değişiklikleri sonucu meydana gelebilecek genişleme ve büzülme dikkate alınmalıdır.

Hareket mekanizması, çatının tahmin edilen şiddetli rüzgar koşulları altında bile belli bir hızda düzgün bir şekilde hareket etmesini sağlayabilmek için yeterli güç ve bir güç transfer mekanizmasıyla donatılmalıdır.

Hareketli çatıların kilitlenmesinde iki yöntem uygulanabilir. Bunlardan biri olan pimli kilit yönteminde, hareketli çatı veya hareket mekanizması daha önceden belirlenmiş yerlerde kilitler aracılığıyla sabitlenir. Diğer yöntem olan ray mengersi ise beklenmeyen bir yük altında veya acil bir durumda çatının herhangi bir pozisyonda geçici olarak sabitlenmesi gerektiğinde kullanılır. Örneğin büyük ölçekli hareketli çatılarda bir deprem durumunda ray mengerseleri otomatik olarak devreye girer ve çatının hareketini durdurur.

Durdurucular ve tamponlar hareket yolunun sonunda hareketli parçaların durmasını sağlayacak şekilde monte edilmelidir. Hareketini gerekli yerde bitirmeyip devam eden hareketli çatıları durdurmak için kullanılan bu aletler çarpışma sonucu meydana gelen yükleri sönmüleyerek alttaki strüktürün bu çarpışmadan en az etkilenmesini sağlar. Kauçuk, hidrolik ve yaylı olarak çeşitleri bulunmaktadır.

Frenler, hareketli çatının hareketini gerektiğinde durdurabilmeli ve hareketin başlama ve bitiş hızını kontrol edebilmelidir.

Hareket mekanizması arızaları ile güç kesintisi durumunda devreye girmek üzere dış bir elektrik kaynağı ve güç ekipmanı bulundurulmalıdır. Yedek güç kaynağı devreye girdiğinde mekanizma normalde olduğu gibi çalışabilmelidir.

Rüzgar yükünün kaldırma etkisiyle tekerlekler ile raylar arasındaki sürtünme kuvveti azalır. Özellikle eğimli raylarda bu azalma miktarı daha büyük olur. Kablo ile çekme yönteminde ise rüzgar kabloların yerlerinden çıkmasına neden olabilir.

Ayrıca, kar yağışı durumunda raylarda kar yığılması veya don olayına karşı gerekli önlemler alınarak hareketin engellenmesi önlenmiş olur.

3.1.3 Mimari Tasarım Faktörleri

Çerçeve tipi hareketli çatıların tasarımında dikkat edilecek noktalar kullanım amaçlarına, kullanıcı ihtiyaçlarına, çevre faktörlerine, arazi koşullarına ve çatı büyüklüğüne bağlı olarak değişir.

Yapının kullanım amacına göre çatının ne kadar açılacağı, ne sıklıkta kullanılacağı, hangi koşullar altında açılıp kapatılacağı ve ne kadar sürede açılacağı belirlenmelidir. Örneğin, futbol sahalarında tribünlerin 90%'ı çatı ile örtülmelidir. Bazı yapılarda çatı, yağmur yağsa bile kapatılmaz. Tenis kortları gibi yapılar en ufak yağmurda bile kullanılmaz hale geldiğinden çok kısa bir süre içerisinde kapatılabilmelidir.

Çatı, açık haldeyken gölgesinin etkileri dikkate alınmalıdır. Bazen çatının saha üzerindeki gölgesi gerçekleştirilen etkinliği, sporcuları ve televizyon yayınlarını olumsuz yönde etkileyebilir.

Çatının açık haldeki pozisyonu, tribünler üzerinde düzgün bir hava akımı yaratacak şekilde tasarlanmalıdır. Kapalı durumdaki bir çatı da tribünler üstünde düzgün bir hava akımı yaratacak bir biçimde şekillendirilmelidir.

Hareketli çatıya asılan ekipmanlar çatının çalışmasını engellememelidir.

Hareketli çatıya sahip yapılarda yangın güvenliği sağlanmalı ve felaket önleme planı oluşturulmalıdır. Hareketli çatılar için yapılan felaket önleme planı sabit çatılarınkiyle aynıdır. Yangının önlenmesi, yangının ilk genişlemesinin önlenmesi, yangının yayılmasının önlenmesi, yangın denetleme ve boşaltma planları bu felaket önleme planını oluşturmaktadır. Bu faktörler açık ve kapalı durumlar için ayrı ayrı ele alınmalıdır. Çatının açık durumunda dışarıda şiddetli rüzgarın olması dumanın yukarı yükselmesini engelleyeceği için, boşaltım işlemi olumsuz yönde etkilenebilir. Çatı kapalıyken duman yukarı yükselir ve çatıda toplanır.

Boşaltım işleminin daha uzun bir sürede gerçekleştirilebilmesi için çatının yüksek olmasında fayda vardır.

Son olarak bir çatının hareketli olması yapının maliyetinde belli bir artışa neden olur. Bu nedenle çatının hareketli yapılabilmeyeceğine karar verilmeden önce ekonomik verimlilik, üretim verimliliği ve işletilebilirlik açısından tasarım iyice değerlendirilmelidir.

3.1.4 Strüktürel Tasarımda Yük Faktörleri

Çerçeve tipi hareketli çatılarda açık, kapalı ve yarı açık durumların her birinde çatıya etkileyen çeşitli yükler ve dış kuvvetler uygun bir şekilde değerlendirilmelidir. Hareket sırasında yüklerin değerlendirilmesi hareketli çatılara özgü bir problemdir.

a) Rüzgar Yükü

Hareketli çatılarda açık, kapalı, yarı açık ve hareket durumlarının her birinde çatıya etkileyen rüzgar yükleri farklılık gösterir. Eğer çatı strüktürü bu durumların hepsinde rüzgar yüküne karşı koyacak şekilde tasarlanırsa yapının verim/maliyet oranı düşer boyutu artar. Bu nedenle strüktür tasarımında çatıya etkileyen maksimum rüzgar yükü her bir durum için ayrı ayrı belirlenir.

Çizelge 3.1’de bazı hareketli çatıların açık durumdaki maksimum rüzgar hızları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Açık durumdaki maksimum rüzgar hızı [Ishii, 2000]

Hareketli Çatı	Açık durum	Açık durumdaki tasarım değeri	Hareket durumundaki tasarım değeri
Ariake Colosseum	20 m/sn	20 m/sn	20 m/sn
Fukuoka Dome	10 m/sn ortalama	20 m/sn	20 m/sn
Mukogawa yüzme havuzu	15 m/sn	15 m/sn	15 m/sn
Technical Training Center Ball Dome	10 m/sn ortalama	Maksimum dinamik rüzgar basıncının yarısı	Maksimum dinamik rüzgar basıncının ¼’i
Ocean Dome	10 m/sn ortalama	---	16 m/sn ortalama
Toronto Sky Dome	18 m/sn ortalama	18 m/sn ortalama	18 m/sn ortalama
Pittsburgh Civic Arena	Özel bir değer yok	---	---
Montreal Olimpiyat Stadı	Değer yok*	---	---

* Bir değer belirlenmemiştir çünkü, yapı açık durumdayken en büyük rüzgar hızına dayanmak üzere yapılmıştır. Ancak, açılış ve kapanış işlemleri rüzgar hızı 7 m/sn’den daha az iken yapılmalıdır.

Çatı kapalı durumdayken maksimum rüzgar kuvvetlerini karşılayabilir. Büyük ölçekli hareketli çatılarda tasarım rüzgar hızı maksimum rüzgar hızından büyük alınır. Çatı açık durumdayken tasarım rüzgar hızını maksimum rüzgar hızından büyük almak güvenlik açısından gereklidir. Bir hareketli çatının rüzgar yükleri altındaki yönetimi genelde anemometre okumalarına göre gerçekleştirilir. Anemometrelerde okunan rüzgar hızı önceden belirlenmiş tasarım rüzgar hızının üzerindeyse çatı hareket ettirilmez. Hareket sırasında rüzgar hızında ani bir artış meydana gelirse hareket durdurulur, ray mingeneleri veya pimli kilitlerle çatı sabitlenir.

b) Deprem Yüğü

Deprem riskinin olduğu bölgelerde, hareketli çatılar tamamen açık veya tamamen kapalı durumlarda depreme dayanıklı olmalıdır. Deprem küçük ölçekli çatılarda dikkate alınmaz. Ancak büyük ölçekli çatılar için önemlidir. Bu nedenle büyük ölçekli çatılarda sismograf kullanılmalıdır. Çatının hareketi sırasında meydana gelebilecek bir deprem küçük ve büyük ölçekli çatılarda özel problemler yaratabilir.

Belirlenmiş bir büyüklükte veya üzerinde bir deprem meydana gelirse hareket mekanizması otomatik olarak frenler veya ray mingeneleri aracılığıyla derhal durdurulur. Genelde, tekerleklerle hareket eden çatılarda, tekerlek ile ray arasındaki sürtünme katsayısı yaklaşık 0.15'dir. Bu değer çok şiddetli bir deprem dışındaki durumlarda tekerleğin kaymasını önleyebilir. Tekerlekler frenlere rağmen kaysa bile, rayların sonuna yerleştirilmiş olan durdurucular ile çarpışmadan kaynaklanacak şok sönümlenir. Depremler sırasında çatının raydan çıkma, yıkılma ve asılı kalma sorunları önemlidir.

Çizelge 3.2 Hareketli çatılardaki deprem yükleri [Ishii, 2000]

Toronto Sky Dome	Yerçekiminin %8 büyüklüğüne göre belirlenmiş tepki spektrumu analizine dayanan sismik etkiler elastik analizle belirlenmişti
Ocean Dome	25 kine*ye kadar güvenli, 50 kineye kadar raydan çıkma yok
Technical Training Center Ball Dome	Tamamen kapalı veya tamamen açık durumun yarısı
Ushiku şehri spor parkı yüzme havuzu	Küçük olduğu için tasarım değeri yok
Ariake Colosseum	25 kineye kadar güvenli, 50 kineye kadar raydan çıkma yok
Fukuoka Dome	25 kineye kadar güvenli, 50 kineye kadar raydan çıkma yok
Gezer köprü vinç yapıları	Dikkate alınmamış

* 1 Kine bir depremin hızını ifade etmek için kullanılan bir birimdir. Kine cm/sn cinsinden ifade edilir.

c) Kar Yüğü

Kar yağışı sezonunda kullanılacak bir hareketli çatıda eğer kar yığılması bekleniliyorsa çatının hangi durumda tutulacağı belirlenmelidir. Üzerine kar yığılmış olan bir çatıyı yüksek kar yükünden kurtarmak için hareket ettirmek çok tehlikelidir. Genelde, güvenlik açısından çerçeve tipi hareketli çatılar kar yağış sezonunda kapalı tutulur.

d) Diğer Yükler

Gezer köprü vinçlerde, vincin yanal ve dairesel hareketlerine bağılı olarak hızının artması veya azalması sonucu ortaya çıkan atalet kuvveti, merkezkaç kuvveti, tekerleklerin hareket yönünün dikine meydana gelen yatay yükler ve rayların yerleşmesi sonucu zoraki yön değıştirme ile ortaya çıkan yükler dikkate alınır. Buna ek olarak, eğer tamponlar ve durdurucular kullanıldıysa çarpışmadan kaynaklanan dinamik kuvvetler de dikkate alınır.

Normal hareket sırasında hızlanma ve yavaşlamadan kaynaklanan dinamik yükler, hareketli çatının acil olarak durdurulmasından kaynaklanan dinamik yükler, paralel raylar üzerinde hareket eden düzlemsel hareketli panellerde paralelliğın tam sağlanamamasından kaynaklanan dinamik yükler, ray montajında meydana gelebilecek yapım toleransı nedeniyle ortaya çıkabilecek farklılıklar ve panellerin hareketi sırasında kiriş dayanımının değışmesi daha önceleri yapılmış olan hareketli çatılarda dikkate alınan diğer yüklerdir.

3.1.5 Güvenlik Faktörleri

Hareketli çatıların güvenlik faktörleri sabit çatılarınkiyle aynıdır. Ancak, hareketli çatılarla ilgili olan özel problemler de değılendirilmelidir.

Genelde karmaşık sistemli hareketli çatılardan kaçınılmalıdır. Açılış ve kapanışı basit bir şekilde kontrol edilebilen hareketli bir sistem ve mekanizma kullanılmalıdır. Açılış ve kapanış durumu ile aletlerini görüntüleyebilecek bir sistem seçilmelidir. İşletmenin tüm strüktürü görebileceğı bir yere bir işletme odası veya kontrol odası kurulmalıdır. Eğer bu imkansızsa alternatif bir yöntem düşünölmelidir

Kolay bakımı olan bir hareketli sistem ve mekanizma seçilmelidir. Özellikle hareket mekanizmasını denetlemek üzere periyodik ve rastgele denetimler yapılmalıdır. Bundan dolayı, hataların ve uygunsuz durumların bu denetimler sırasında belirlenebileceğı bir sistem

kurulmalı ve bu sistem içerisinde bakım olanağı da sağlanmalıdır. Eğer bir parça değişecekse buna kolaylık sağlayan bir sistem tercih edilmelidir.

Hareketli çatıların güvenliğini sağlamak için günlük denetimler şarttır. Özellikle hareket mekanizması ve rayların denetimi oldukça önemlidir. Eskiden, yapılar hareketsiz oldukları gerçeğine dayanarak tasarlanıp, yönetilmişlerdir. Bunun tersine, hareketli çatılı yapılarda hareketli kısımlar yeterli denetimle yönetilmelidir.

Rayların pozisyonundan kaynaklanan yük değişimi sonucu kaynaklanan sorunlar güvenlik açısından dikkate alınmalıdır. Yatay ve düşeydeki ray toleransları periyodik denetimler ile gözlemlenmeli ve tasarım sınırları içinde olmasına dikkat edilmelidir. Raylar, alttaki strüktürün veya temelin deformasyonu sonucu yer değiştirebilir. Bu nedenle ray sistemi ileride değişikliğe ve düzeltmeye imkan verecek şekilde tasarlanmalıdır.

3.2 Membran Hareketli Çatıların Tasarım Faktörleri

3.2.1 Hareket Mekanizması

Membran hareketli çatıların hareket ettirilmesinde 3 sistem kullanılır:

1. Makara Sistemi:

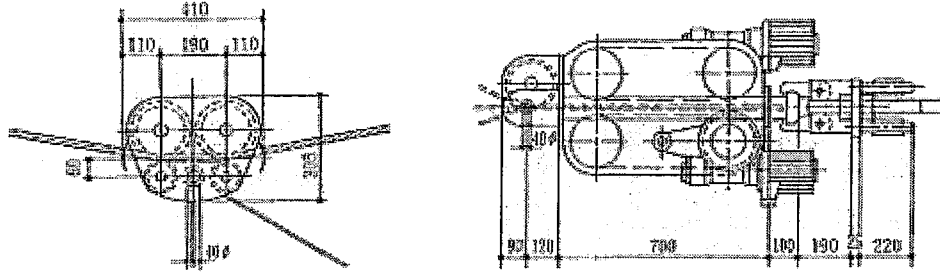
Makara sisteminde güç kaynağı olmayan bir makara çekme ve denge halatlarıyla beraber kablo üzerinde hareket ettirilerek çatının açılıp kapanması sağlanır.

2. Çekici sistemi:

Bu sistem güç kaynağı olan makara sistemidir. Makara içindeki motor kuvvetiyle kablo üzerinde hareket ettirilerek membranın açılıp kapanması sağlanır. Bu sistemde hareket motor gücünün yanısıra makara ile kablo arasındaki sürtünme kuvveti ile sağlanır. Sürtünme kuvveti tekerlek etrafına halat sarılarak, kablo üzerine düz ya da burgulu tel sarılarak ve kabloya zincir veya dirsekli makara tutturularak artırılabilir.

3. Vinçli sistem:

Çatının sabit kısmında bulunan vinçler yardımıyla membran kablo ile çekilerek hareket ettirilir.



Şekil 3.2 Membran hareketli çatıların hareket mekanizması (solda makara sistemi, sağda çekici sistemi) [Ishii, 2000]

3.2.2 Tasarım Faktörleri

Membran hareketli çatıların tasarımında rüzgar ve kar önemli faktörlerdir. Membran, rüzgar altında tehlikeli bir titreşim altında kalmamalı ve çatının şeklinde bir deformasyon olmamalıdır. Çatı kapalıyken membran ön gerilmeli olmalı ve rüzgar altında çırpınması ve dalgalanması engellenmelidir. Ön gerilme işlemi çekiciler, vinçler veya membran kenarına yerleştirilen özel aletlerle gerçekleştirilir. Ayrıca, hareket esnasında membran bir yelken gibi dalgalanarak zarar görebileceği için şiddetli rüzgar koşulları altında hareket ettirilmez.

Açık durumda gevşek olan membran rüzgardan kaynaklanan olumsuz etkilere karşı üzerine asılan ağırlıklar veya rijit elemanlarla korunur ve sabit yapı parçalarına temas ettirilmez.

Kar yükünün yanısıra ani kar yığılması da olumsuz etkilere neden olur. Çatı suyu uygun noktalardan membranla birlikte hareket eden esnek drenaj boruları ile çatıdan atılır. Çatı formundan kaynaklanabilecek su birikimleri uygun yerlerden açılan deliklerle boşaltılır.

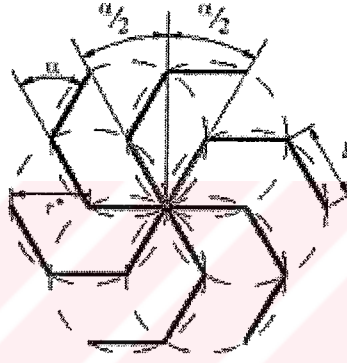
Membranın dayanımı zaman içerisinde azalır. Bu azalma önceden belirlenmiş sınırların altına inerse membran değiştirilir veya tekrar güçlendirilir. Bu nedenle membranın dayanımı periyodik olarak kontrol edilir. Ayrıca kabloların ve membranın ön gerilmesi de periyodik olarak denetlenir.

3.3 Genişleyebilen Çerçeve Tipi Hareketli Çatıların Tasarım Faktörleri

Çok açılı elemanlardan oluşturulan genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılar henüz geliştirilme aşamasında olduğundan ve yapılmış birkaç küçük boyutlu örnek dışında uygulama bulunmadığından uygulamaya yönelik tasarım faktörlerinden söz edilmesi için henüz erkendir. Ancak temel tasarım faktörleri ve formu oluşturan ilkelerden bahsedilebilir.

3.3.1 Form Oluşum İlkeleri

Çok açılı elemanlardan oluşturulan genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılar daireye yakın, eşkenar çokgen alanların örtülmesinde kullanılır. Çok açılı elemanlardan oluşan strüktürlerin geometrisi, açılı elemanı oluşturan çubuk uzunluğu l , her açılı elemandaki çubuk sayısı k , ve sistemi oluşturan dilim sayısı n , tarafından belirlenir. Çok açılı elemanlardan oluşturulan bu strüktürlerde saat ve saatin tersi yönünde n sayıda çok açılı eleman kullanılır. Şekil 3.3’de görülen çok açılı elemanlardan oluşmuş dairesel strüktürün saat ve saatin tersi yönünde 6’şar adet çok açılı eleman ($n = 6$ dilim) ve her açılı eleman l uzunluğunda 3 çubukla oluşmaktadır ($k = 3$).[Jensen, 2001]



Şekil 3.3 k:n = 3:6 olan bir strüktür şeması [Jensen, 2001]

Bu değişkenlerden, çok açılı elemanın merkezine olan uzaklığı, r^* , bulunabilir.

$$\alpha = 2\pi/n \quad (\text{burada } \pi = 180^\circ \text{ dir}) \quad (3.1)$$

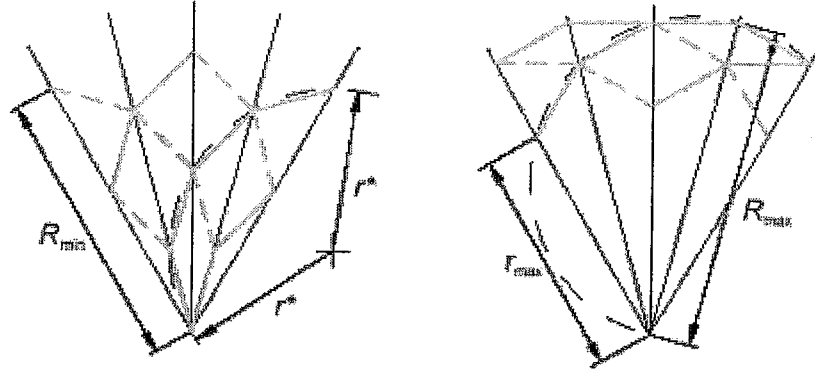
ve

$$r^* = l / (2\sin(\alpha/2)) \quad (3.2)$$

Çok açılı elemanlardan oluşmuş bir hareketli çatı daha önce de bahsedildiği gibi iki şekilde hareket edebilir; ışınsal ve dairesel.

1. Işınsal olarak genişleyen strüktürler

Işınsal olarak genişleyen çubuk strüktürler, elemanların ve bağlantı noktalarının boyutları nedeniyle tamamen kapalı veya tamamen açık durumlara ulaşamaz. Kapalı pozisyonda strüktürün “O” merkezi ile en iç noktalar arasındaki mesafeye r_{min} , en dış noktaları arasındaki mesafeye de r_{max} denir. Açık pozisyonda ise strüktürün “O” merkezi ile en iç noktalar arasındaki mesafeye R_{min} , en dış noktaları arasındaki mesafeye de R_{max} denir. Bu, Şekil 3.4’de R_{min} ’in sifıra eşit olduğu durumda gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Açık ve kapalı durumlardaki mesafeler [Jensen, 2001]

$$R_{max} = 2r^* \quad (3.3)$$

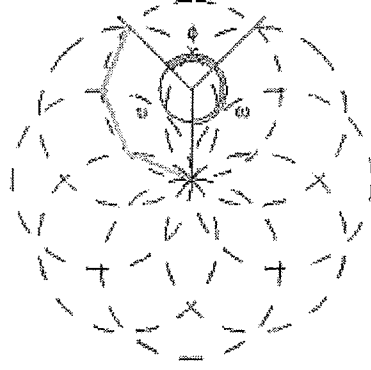
$$R_{min} = 2r^* \sin(k\pi/n) \quad (3.4)$$

$$r_{max} = 2r^* \cos[(k-1)\pi/n] \quad (3.5)$$

buradan strüktürün konfigürasyonunun esas belirleyicilerinin n ve k olduğu ortadadır.

2. Dairesel hareketle genişleyen strüktürler

Çok açılı elemanların dairesel hareketi, n sayıdaki daire ile belirlenebilir [Jensen, 2001]. Böylece strüktürün hareketi her elemanın kendi dairesinin merkezi etrafında dönmesi olarak tanımlanabilir. Dönme açısı, ϕ , elemanın açık pozisyondan kapalı pozisyona geçerken katettiği açıdır (Şekil 3.5). Kapalı pozisyonda her eleman merkezde buluşmaktadır. Ayrıca hareket daireleri de merkezde buluşmaktadır. Komşu iki açılı eleman hareket dairelerinin kesişme noktasında buluştuğunda açık duruma ulaşılmış olur. Bu iki karşıt diyagonal bağlantı noktasının buluşması sonucu hareketin mümkün olmamasıyla uyuşan bir durumdur.



Şekil 3.5 v , ϕ , ω açıları ve hareket dairesi [Jensen, 2001]

Sistemin merkezinde dilimleri oluşturan iki komşu çok açılı çubuk arasındaki açı Denklem 3.1'de de gösterildiği gibi:

$$2\pi/n = \alpha$$

Her çok açılı elemanın merkezindeki v açısı, α ile çok açılı elemanı oluşturan çubuk sayısı k 'nin çarpımından bulunur:

$$v = 2k\pi/n \quad (3.6)$$

İki komşu hareket dairesi iki noktada kesişir. Bu noktaların çok açılı elemanın merkezi ile oluşturduğu açılara ω limit açısı denir:

$$\omega = \pi - (2\pi/n) \quad (3.7)$$

Elemanın açık pozisyondan kapalı pozisyona geçerken katettiği ϕ dönme açısı:

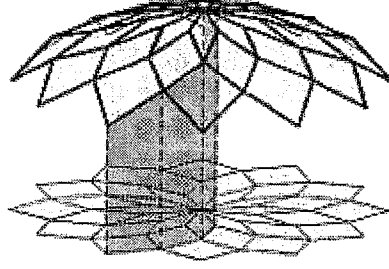
$$\phi = 2\pi - \omega - v = \pi + (1-k)(2\pi/n) \quad (3.8)$$

3.3.2 Temel Tasarım Faktörleri

Yapılan küçük boyutlu uygulamalardan ve hareketli çatıların temel gereksinimlerinden yola çıkarak bazı tasarım kriterleri belirtilebilir:

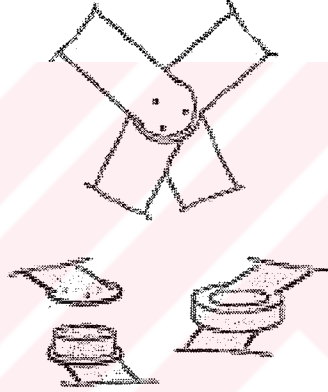
Form:

Bir düzlemde çalıştırılmak üzere geliştirilmiş bu sistemin strüktürel açıdan daha kuvvetli olabilmesi ve üzerine gelen yükleri daha kolay aktarabilmesi için kubbe formunda olması gerekir (Şekil 3.6)



Şekil 3.6 Düzlemsel bir strüktürün üçüncü boyuta aktarılması [Pellegrino, 1997]

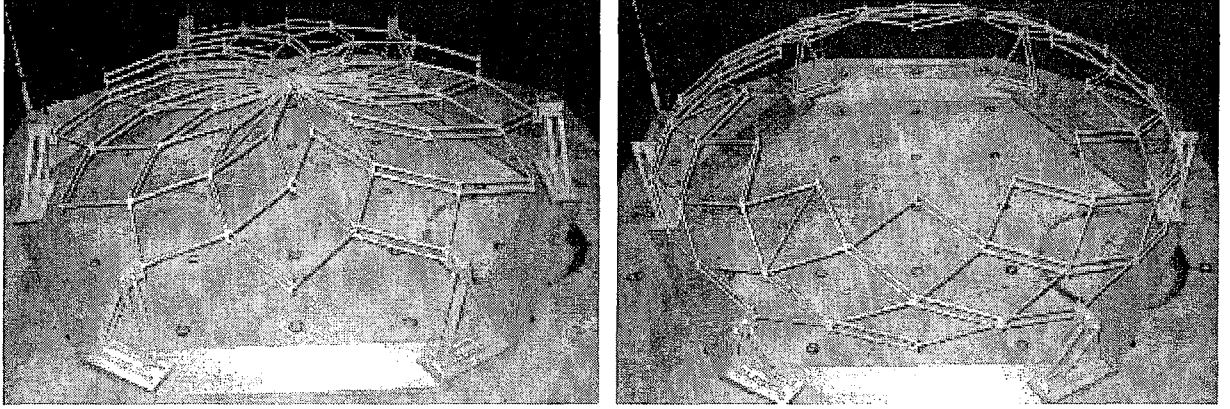
Üç boyutlu bir düzenlemede çok açılı elemanlar arasındaki birleşim noktaları sistemin düzlemine dik olmalıdır. Böylece iki boyutlu oluşumun sahip olduğu kinematik serbestlik, üçüncü boyuta da yansıtılabilir. Bunu gerçekleştirebilmek için bazı birleşim noktaları çözümleri yapılmıştır(Şekil 3.7)



Şekil 3.7 Üç boyutlu strüktürler için özel bağlantı noktası çözümleri [You ve Pellegrino,1997]

Mesnet durumu:

Gerek iki boyutlu gerekse üç boyutlu düzenlemelerde ışınsal olarak genişleyen strüktürlerde sistemin R yarı çapı ilk önce artar sonra biraz azalır. Sistemin yarı çapındaki bu değişimlere uyum gösterebilecek mesnetler geliştirilmiştir (Şekil 3.8). Dairesel harekete sahip strüktürlerde böyle bir problem olmadığından sistem sabit noktalardan mesnetlenir.



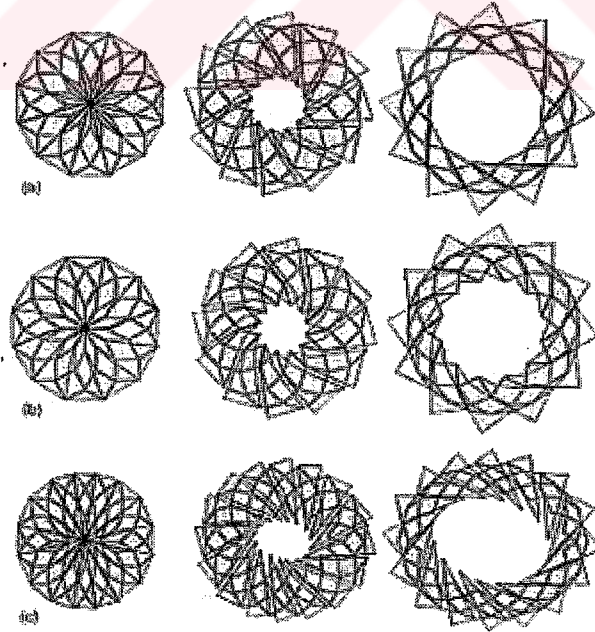
Şekil 3.8 Sistemin yarı çapındaki değişime uyum gösteren mafsallı mesnetler [2]

Çatı kaplaması:

Çubuk strüktürlerde kaplama örtüsü olarak sürekli açılıp kapanmaktan dayanıklılığını yitiren membranlar yerine rijit plakların takılması daha uygundur

Plaklar hareket esnasında birbirlerini engellemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca üç boyutlu oluşumlarda plaklar arasında oluşabilecek düşey boşluklar da dikkate alınmalıdır

Kaplama elemanlarının tasarımında en genel çözüm bir daireyi oluşturan üçgen dilimlerinin kullanılmasıdır. Şekil 3.9 a-c'de dairesel ve eliptik strüktürlerde kullanılan kaplama elemanlarına örnek verilmiştir.



Şekil 3.9 Dairesel (a,b) ve eliptik (c) strüktürler için kaplama plakaları [Pellegrino, 1997]

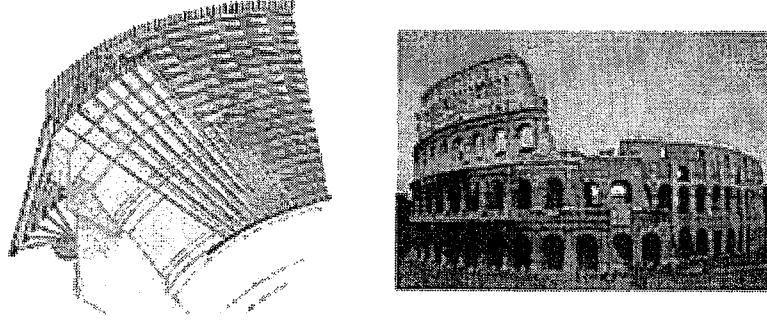
Sistem açıldığında dairesel bir açıklık isteniyorsa, bu üçgen kaplama dilimlerinin kenarları daire yayı şeklinde oluşturulur.

Çubuk strüktürler, elemanların ve bağlantı noktalarının boyutları nedeniyle tamamen açık veya tamamen kapalı durumlara ulaşamaz. Bu nedenle kapalı durumda ortada bir boşluk oluşmaktadır. Plak kaplamalar veya dilimlenmiş plaklarla oluşturulması bu soruna bir çözümdür.



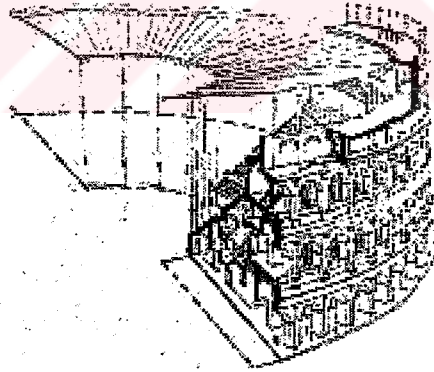
4. UYGULAMALAR

4.1 Colosseum



Şekil 4.1 Colosseum ve hareketli çatısı [National Geographic, 1992]

İlk hareketli çatı ihtiyacı Colosseum'un Romalı tasarımcıları tarafından hissedilmişti. M.S. 70 yılında Vespasian tarafından başlatılıp, M.S. 82'de Domitian tarafından tamamlanan Roma'daki Colosseum'un tribün kısmı üzerinde bulunan *velarium* adı verilen örtü klasik bir hareketli çatı örneğidir. O zamanki gemilerde kullanılan yelkenlere benzeyen bu örtü, altında bulunan kablo ağı tarafından desteklenmekteydi. Esas olarak güneşten korunmak amacıyla kullanılan bu örtü 50,000 kişilik Colosseum tribünlerinin üzerini örtmekteydi.



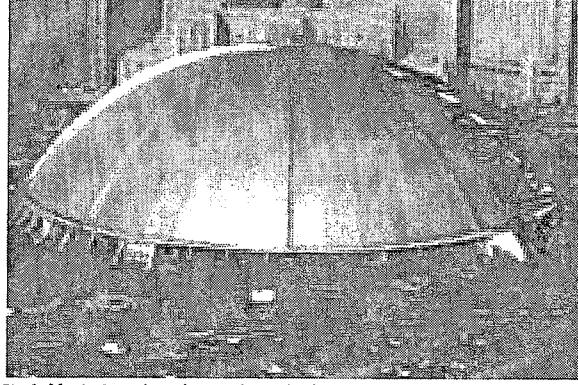
Şekil 4.2 Colosseum [Escrig, 2000]

Colosseum, 156 x 188 metre boyutlarındaki elips şeklinde bir gösteri arenasıdır. Ortadaki gösteri alanı 54 x 85 metre boyutlarındadır. 50 metrelik dış halka üzerindeki velarium yaklaşık 23,000 m²'lik bir alanı örtmekteydi ve Colosseum'un çevresinde bulunan direklerden desteklenen iplerle çekilerek hareket ettirilmekteydi. Kendir otundan yapılan bu ipler 40 N/mm²'lik bir dayanıma sahipti. Bu dayanım günümüzdeki çelik kabloların %0.3'ü kadardır. İçteki halkaya bağlanan radyal kablolar ise kendir otundan ve birbirine halkalar ile bağlanmış olan demir çubuklardan yapılmıştı. Velarium ise kablo ağının üzerine sadece serilmiş ve

stabilizasyon kabloları kullanılmamıştı. Bu nedenle aerodinamik olarak oldukça dayanıksız olan bu örtülerin her biri rüzgarda salınan bayrak gibiydi.



4.2 Pittsburgh Civic Arena



Şekil 4.3 Pittsburgh Civic Arena [Ishii, 2000]

1961 yılında yapılan Pittsburgh Civic Arena ilk modern hareketli çatıdır. İlk başlarda oditoryum binası olarak kullanılan bu yapı daha sonraları buz hokeyi salonu olarak kullanılmıştır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Pittsburgh, A.B.D.

Tamamlanma yılı _____ 1961

Mimarlar _____ Mitchell & Ritchey

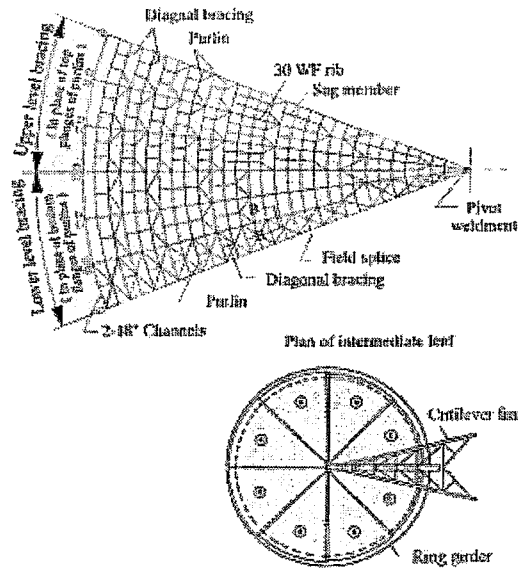
Mühendisler _____ Ammon & Whitney

Sistem _____ Dönerek üstüste binen çatı elemanlarından oluşan çerçeve tipi hareketli çatı

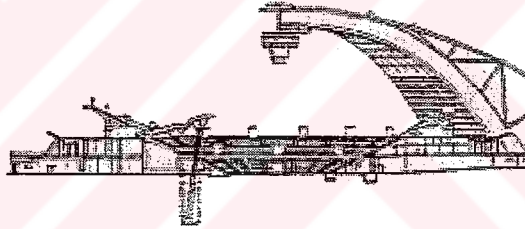
Kullanım amacı _____ Spor salonu ve oditoryum

Kapanış süresi _____ 2.5 dakika

6 adet kubbe dilimi şeklindeki çelik çerçevenin dış çevre boyunca bulunan raylar üzerinde merkez etrafında döndürülerek 2 sabit dilimin üstüne gelmesiyle açılma hareketinin sağlandığı 127 m çapında ve 53 m yüksekliğindeki bu çatı 12,500m²'lik bir alanı örtmekteydi. Çatı kaplaması olarak paslanmaz çelik kullanıldı. Bu çatı, konsol kirişlerin sapmasına ayak uyduramadı ve şu anda tamamen kapalı ve kullanılmaz durumda. İlk başta çatının ağırlığını azaltmak için alüminyum kullanılması planlanmıştı. Ancak olası deformasyon ve finansal kısıtlamalar nedeniyle çelik bir çatı yapılmıştır.



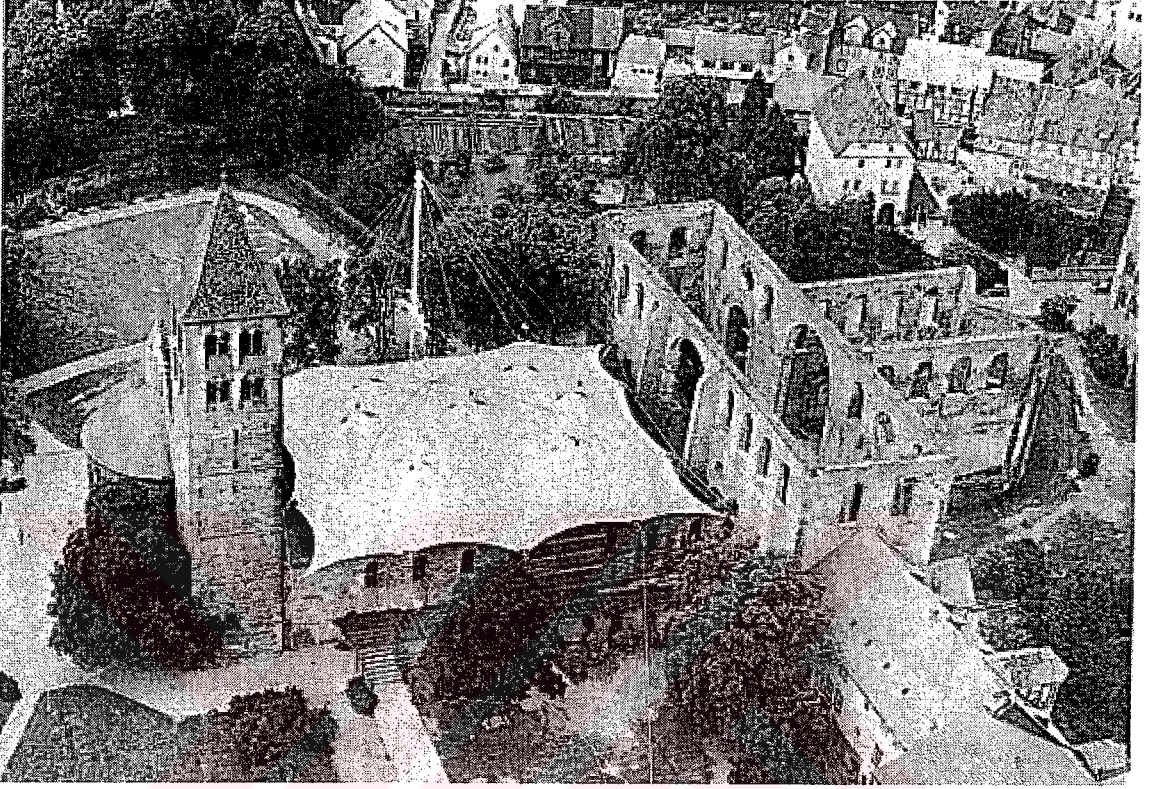
Şekil 4.4 Pittsburgh Civic Arena çatı çerçevesi [Ishii, 2000]



Şekil 4.5 Kesit [Ishii, 2000]

4.3 Frei Otto Ve Ekibinin Çalışmaları

4.3.1 Bad Hersfeld Açık Hava Tiyatrosu



Şekil 4.6 Bad Hersfeld açık hava tiyatrosu [Otto, 1976]

Frei Otto ve ekibinin çalışmalarından biri olan Almanya Bad Hersfeld'deki açık hava tiyatrosu üzerindeki hareketli membran çatı tiyatro seyircisini ani bir yağmurdan korumak üzere yapılmıştır.

Yapı Özellikleri

Yer _____ Bad Hersfeld, Almanya

Tamamlanma yılı _____ 1966

Mimar _____ Frei Otto(EL)

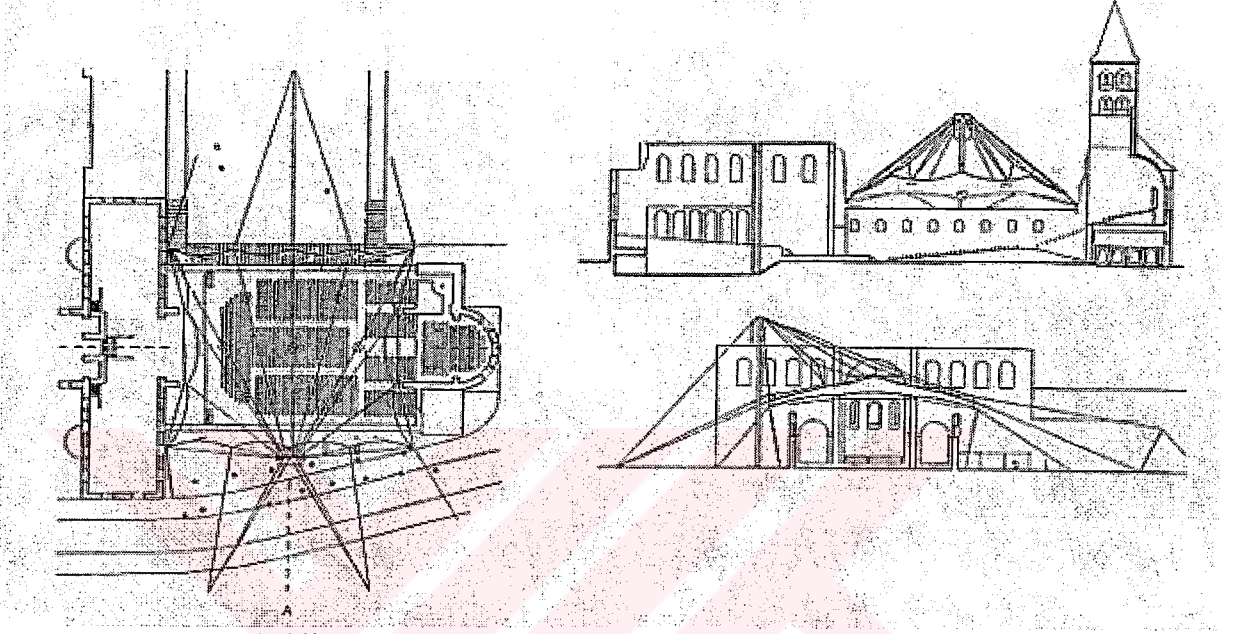
Strüktürel Tasarım(Çatı) _____ Frei Otto(EL)

Sistem _____ Merkezde toplanan membran hareketli çatı

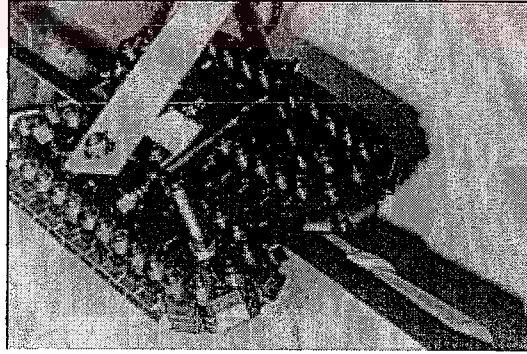
Kapanış süresi _____ 4 dakika

Kullanım amacı _____ Açık hava tiyatrosu

Boyutları 45 m x 37 m olan bu çatının gerildiği dikmenin yüksekliği 32 m'dir. 14 dış, 7 iç noktadan gerilmiş olan bu tepe noktalı membran, elektrikli motorların yardımıyla kablolarla çekilerek hareket ettirilmektedir. Çatının kapladığı alan 1,315 m²'dir. Membran malzeme olarak PVC kaplı polyester kullanılmıştır.



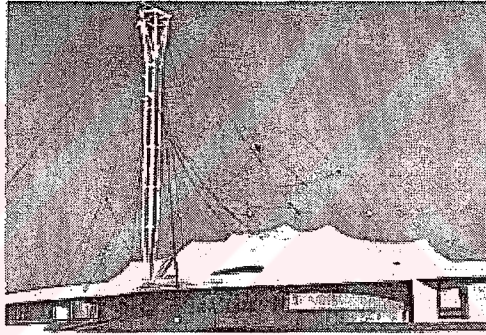
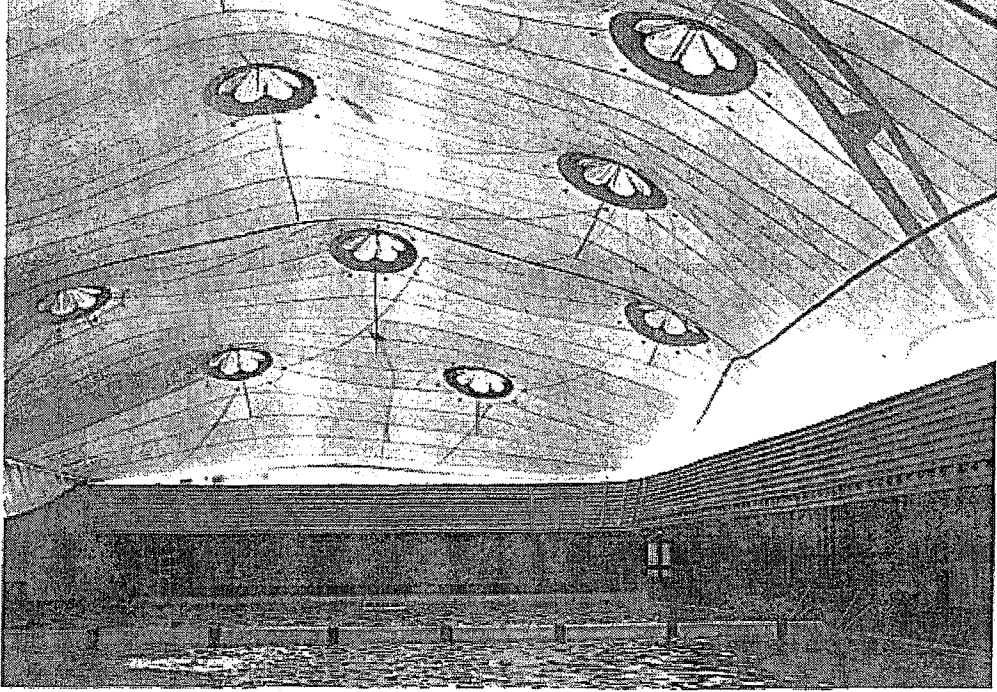
Şekil 4.7 Bad Hersfeld plan ve görünüşler [Ishii, 2000]



Şekil 4.8 Bad Hersfeld çatısının hareket mekanizması [Ishii, 2000]

4.3.2 Lyon, Fransa'daki Bir Yüzme Havuzunun Çatısı

1970 yılında Frei Otto ve ekibi tarafından yapılan bu çatı tepe noktalı membran bir çatıdır. 14 adet dış ve 16 iç noktadan gerilmiştir. Uzunluğu 62 metre, genişliği 33 metre, maksimum yüksekliği 9.5 metre olan bu çatı yarısaydam membran ile kaplanmıştır. Elektrik motorlu kablo çekiciler yardımıyla açılıp kapanmaktadır.

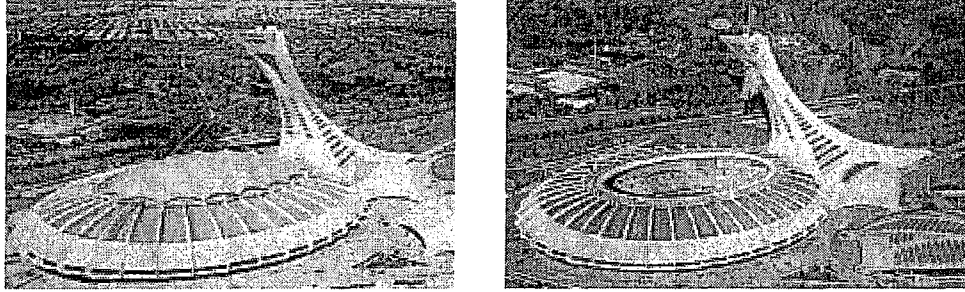


Şekil 4.9 Lyon'daki yüzme havuzunun içeriden ve dışarıdan görünüşü [Otto, 1976]

Havuz hareketli çatı ile kapatıldığı için bütün mevsimlerde kullanılabilir. Kışın içerisi sıcak hava ile ısıtıldığından çatının üzerindeki kar erimekte ve herhangi bir probleme neden olmamaktadır. Yüzme havuzları açısından bakıldığında hareketli membran çatılar diğer çatılara göre sadece daha ekonomik değil aynı zamanda hafiflik ve yarı saydamlık gibi başka avantajları da bulunmaktadır.

4.4 Montreal Olimpiyat Stadyumu

1976 Montreal Olimpiyatları için Fransız mimar Taillebert tarafından yapılan Montreal Olimpiyat Stadyumu ilk büyük membran hareketli çatı uygulaması olarak da tanımlanabilir.



Şekil 4.10 Montreal Olimpiyat Stadyumu çatı açık ve kapalıyken [Escrig, 2000]

Yapı özellikleri

Yer _____ Montreal, Kanada

Tamamlanma yılı _____ 1987

Mimar _____ R.Taillebert

Mühendisler _____ LAVALIN+, Schlaich Bergermann & Partners

Sistem _____ Merkezde toplanan membran hareketli çatı

Kullanım amacı _____ Çok amaçlı stadyum

Kapanma süresi _____ Yaklaşık 45 dakika

Seyirci kapasitesi _____ 62,000 kişi

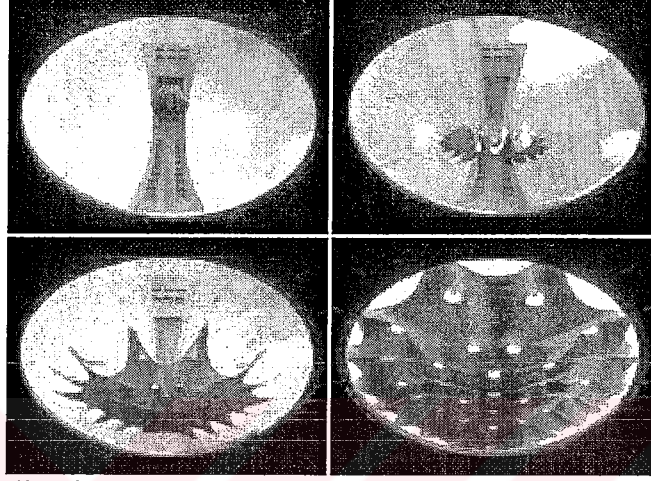
Montreal Olimpiyat Stadyumu 305 m x 260 m boyutlarındaki bir elips şeklindedir. Membran hareketli çatı ise 120 m x 180 m boyutlarındaki bir elips olup 18,500 m²'lik bir alanı örtmektedir. Membran çatının asıldığı dışarıdaki betonarme destek kulesi ise 168 m yüksekliğindedir.

Hareketli çatı, betonarme stadyumun çatısının iç çevresi ile dışarıdaki betonarme kule arasına gerilen kablolar yardımıyla katlanarak hareket eden membran bir örtüdür. Membran malzeme olarak 6 kN/cm dayanıma sahip Kevlar membranı kullanılmıştır.

Montreal Olimpiyat Stadyumunun membran hareketli çatısı planlanandan 12 sene sonra 1988 yılında tamamlanabilmiş ve \$117 milyon ek masrafa neden olmuştur. Yüksek derecede elastik ve kuvvetli olan Kevlar membranı ilk kez Montreal Olimpiyat Stadı için kullanılmıştır. Ancak, bu örtü yağmur ve kar yüzünden bir kaç kez yırtılmış ve ömrünü kaybetmiştir.

Örtünün yırtılmasına neden olan rüzgar 6 m/sn hızında esiyordu. Ayrıca yine 25 cm'lik kar yağışı, vadilerde 1.5 metrelik kar yığılmasına neden oldu.

Bu olaylardan sonra hareketli çatı kullanılamaz hale gelmiş ve kaldırılmıştır. Bu örnekten çıkarılan dersler ile membran hareketli çatıların tasarımında bazı noktalar dikkate alınmaya başlanmıştır.



Şekil 4.11 Montreal Olimpiyat Stadyumunun üzerindeki membran hareketli çatı [Ishii, 2000]

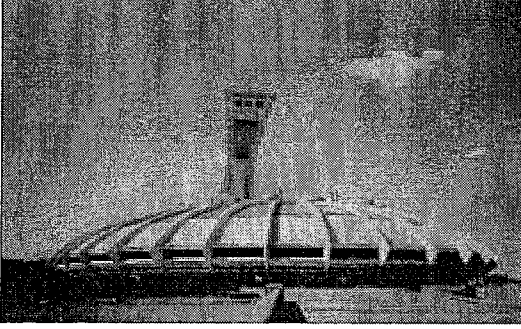
Montreal Olimpiyat Stadında yaşanan deneyimler aşağıdakileri ortaya çıkarmıştır:

- Böyle bir çatının geometrisi daha fazla derinliğe, daha dik eğime ve daha küçük eğriliğe sahip olmalıydı.
- Asma strüktürlerde, askı kabloları çatının merkezine oldukça yakın yerlerden sabitlenmelidir.
- Tasarım yük değerleri dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Kısmi ve asimetrik rüzgar ve kar yükleri dikkatlice belirlenmelidir çünkü bu değerler düzgün yüklere göre daha kritik hale gelebilirler. Dinamik rüzgar yükü de ayrıca belirlenmelidir.
- Çarpışmayı ve gerilim yoğunluğunu önlemek için daha az elastik ve daha sünek bir membran malzeme kullanılmalıdır.
- Bu tip büyük hareketli membran çatılarda, bölgesel güçlendirmeler yapılmalıdır.

i) membranın kar ve rüzgar yükü altında gerilim yoğunluğu olan bölgelerinde

ii) membran zarar gördüğünde, zarar gören kısım derhal onarılmalı ve daha büyük zararlar önlenmelidir.

- Bu tip sıradışı herhangi bir strüktürde, daha ilk aşamada yapısal davranışının belirlenmesi gereklidir. Rüzgar yükünü, gerilimi, yer değiştirmeyi ve yapının dinamik davranışını belirleyebilecek ekipman gereklidir.



Şekil 4.12 Solda genel görünüş, sağda ise membran hareketli çatı [Ishii, 2000]

Ayrıca, bu örnekteki gibi yeni bir malzeme dikkatli bir biçimde araştırılmalı, yapısal ve güvenlik özelliklerine dikkat edilmelidir.



4.5 Toronto Sky Dome



Şekil 4.13 Toronto Sky Dome [Robbie, 1992]

Toronto Sky Dome, dünyanın ilk çok amaçlı rijit çelik hareketli çatıya sahip stadyumudur. Hareketli çatısı Sky Dome'un çok amaçlılığını sağlayan en önemli faktördür. Çatı, kapalıyken hava koşullarından bağımsız her türlü etkinliğin yapılmasına olanak sağlar. İyi havalarda ise çatı açılarak kullanıcılar için uygun bir ortam sağlanır.

Toronto Sky Dome ilk iki yılında 200 defanın üzerinde açılıp kapanmıştır. Bu açılış/kapanışların bazıları içeride seyirci olduğu zaman yapılmıştır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Toronto, Kanada

Tamamlandığı Yıl _____ 1989

Mimarlar _____ Rod Robbie (RAN Consortium)

Mühendisler _____ C.M.Allen (RAN Consortium)

Sistem _____ Dönerek ve paralel hareketle üstüste binen çatı elemanlarından oluşan çerçeve tipi hareketli çatı

Kapanış Süresi _____ 20 dakika

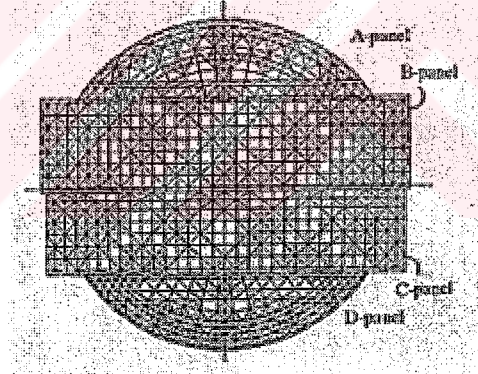
Kullanım amacı _____ Çok amaçlı stadyum

Seyirci kapasitesi _____ 54,000 kişi

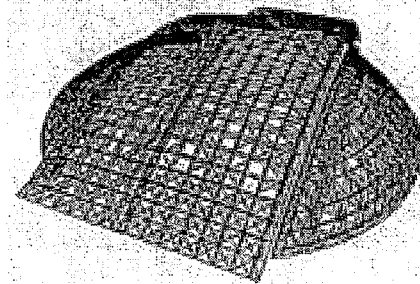
Proje Maliyeti _____ \$ 184,182,000 (\$ 3,542/koltuk)

İnşaat Maliyeti _____ \$ 252,000,000 (\$ 4,846/koltuk)

Toronto Sky Dome'un çatısı 180 metre çapında ve 53 metre yüksekliğindeki bir alanı örtmektedir. Çatı 4 adet rijit çelik çerçeve panelden oluşan bir kubbe şeklindedir. Bu panellerden kenarda bulunanları çeyrek kubbe, ortada bulunanlar ise parabolik kemer şeklindedir.



Şekil 4.14 Çatı çerçeve planı [Allen, 1992]

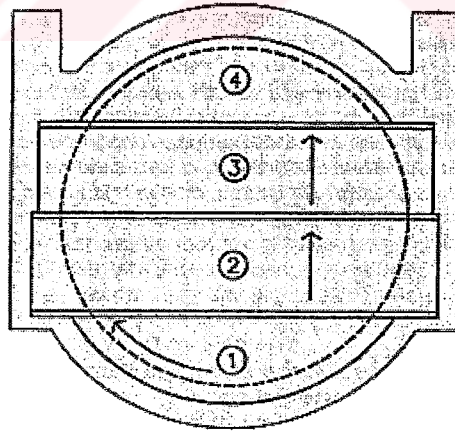


Şekil 4.15 Çatı çerçevesi [Allen, 1992]

Çizelge 4.1 Hareketli panellerin boyutları ve ağırlıkları [Charalambu, 1992]

BİRİM	ŞEKİL VEYA STRÜKTÜREL TİP	PANEL AĞIRLIĞI (t)	AÇIKLIK (m)	GENİŞLİK (m)	HAREKET MESAFESİ (m)
PANEL 1	ÇEYREK KUBBE	1800	175	-	309
PANEL 2	PARABOLİK KEMER	2400	208	55	103
PANEL 3	PARABOLİK KEMER	2200	202	48	55

Hareketli panellerin arasındaki boşluk 1 m, yükseklikleri ise 4 m'dir. Stadın kuzey ucunda bulunan 4 no'lu panel en aşağı seviyede bulunmaktadır ve sabittir. Stadın güney ucundaki 1 no'lu panel yatayda dairesel bir hareketle dönerek 4 no'lu panelin üzerine biner. Ortada bulunan 2 ve 3 no'lu paneller yatay doğrusal hareketle diğer iki panelin üstüne biner ve çatının açılması sağlanır. Bu işlem sonucu çatının 91%'i açılır. Çatı kaplama malzemesi olarak çelik plakalar, yalıtım tabakası ve PVC kaplı membran kullanılmıştır.



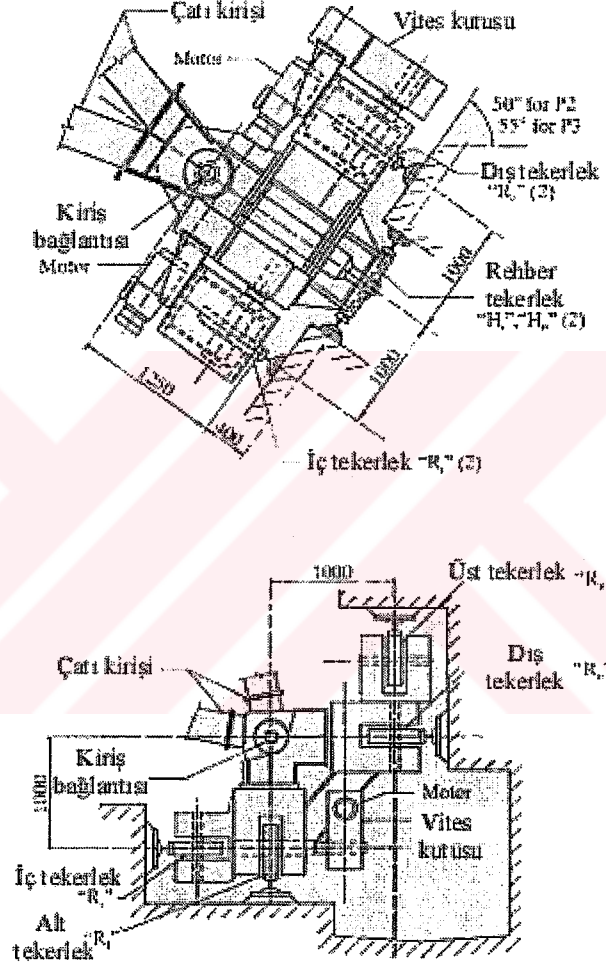
Şekil 4.16 Çatı hareket planı [Allen, 1992]

Çatının hareket sistemi belirlenirken şu noktalara dikkat edilmiştir:

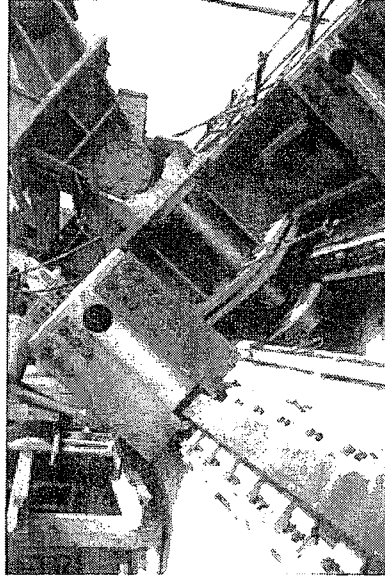
- Çatı yaklaşık 20 dakika içinde açılıp/kapanmalıdır
- Çatı yılda ortalama 200 kez açılıp kapanacaktır
- Sistem ve parçalarının kullanım ömrü 100 yıl olmalıdır

- Kullanılacak olan hareket mekanizması güvenilir, servis ve bakım kolaylığı olan ve hata-emniyet sistemine sahip bir mekanizma olmalıdır.

Hareket mekanizması belirlenirken 1 no'lu panelde yeterli tekerlek aderansı olduğundan, tekerlekli sistem kullanılmıştır. 2 ve 3 no'lu paneller için yeterli tekerlek aderansı olmadığından dişli sistem seçilmiştir.

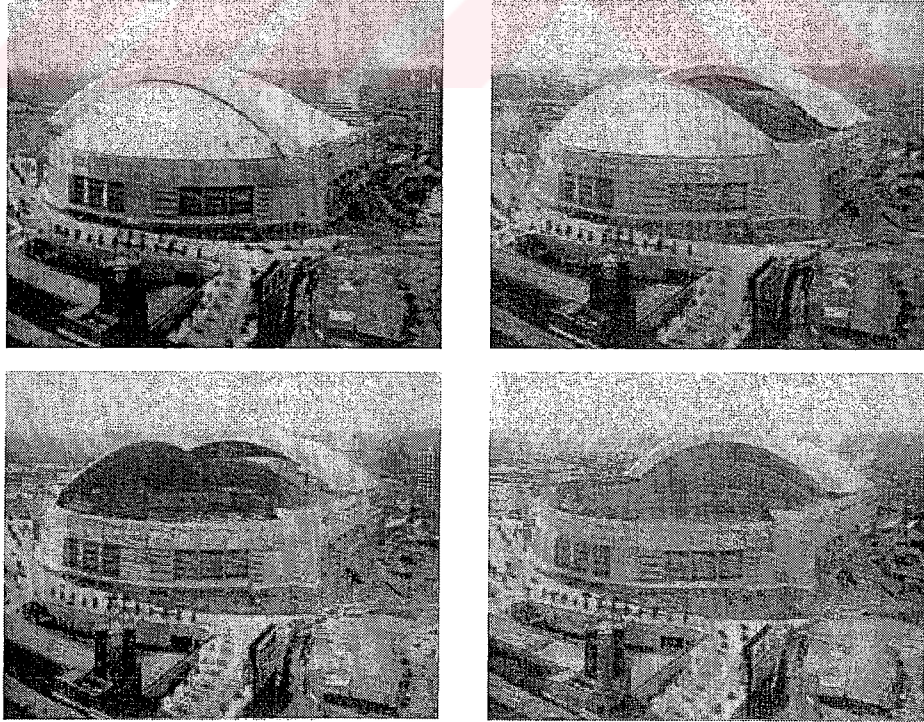


Şekil 4.17 Toronto Sky Dome hareket mekanizması [Charalambu, 1992]



Şekil 4.18 Toronto Sky Dome Hareket mekanizması [Charalambu, 1992]

Toronto Sky Dome'un hareketli çatısı tasarlanırken en önemli noktalardan biri çatı açıldığında yapının çatısızmış gibi hissedilmesini sağlayabilmektir. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan çatı 91% oranında açılabilir. Ayrıca çatının gölgesi, seyircileri ve TV yayınlarını rahatsız etmeyecek şekilde düşmektedir. Diğer bir önemli nokta da çatının açık durumdaki pozisyonunun yapı izdüşümü üzerinde kalması ev komşu arazileri işgal etmemesidir. Ayrıca, çatı ve hareket mekanizmasının 100 yıllık bir kullanım ömrü vardır.

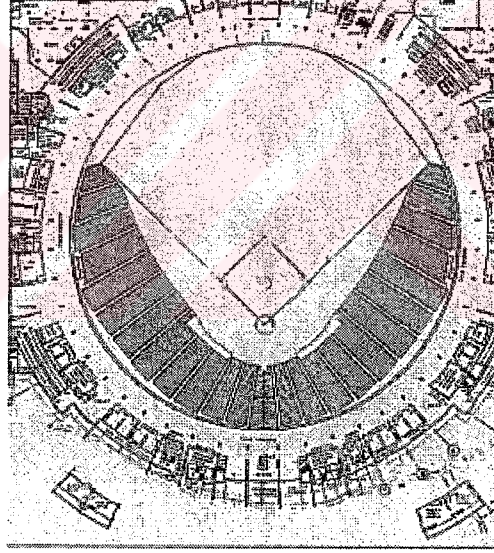


Şekil 4.19 Toronto Sky Dome'un açılma pozisyonları [Robbie, 1992]

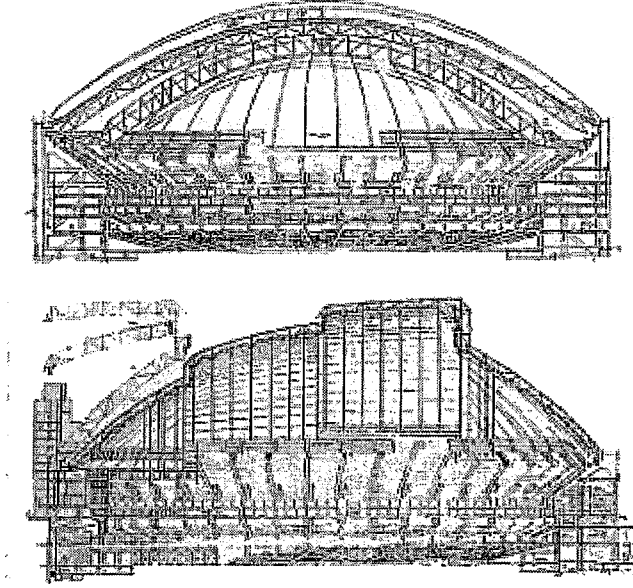
Toronto Sky Dome'da tasarım sırasında dikkate alınan yükler şöyledir:

Çizelge 4.2 Toronto Sky Dome'un analizi için dikkate alınan yük durumu [Ishii, 2000]

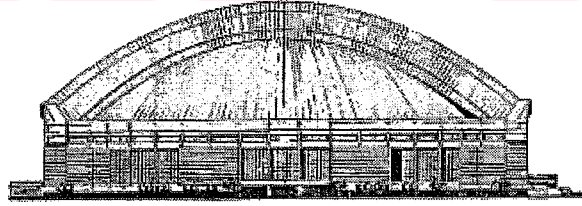
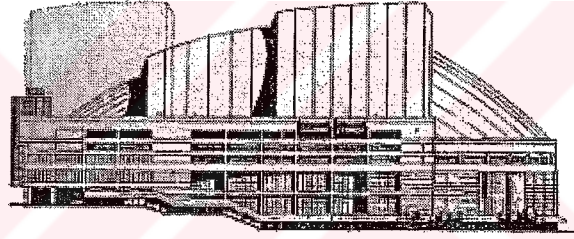
Ölü yük	Çelik elemanların ağırlığı. Çatını ağırlığıyla ortaya çıkan düzenli ölü yük.
Kar yükleri	NBC'nin öngörütleri ve rüzgar tüneli testiyle yapılan kar çalışmaları ile belirlenmiştir.
Rüzgar yükleri	Rüzgar tüneli testi ile belirlenmiştir. 65 km/s hızdaki rüzgara kadar çalıştırılabilir.
Sismik etkiler	Elastik analiz
Dinamik etkiler	Panel hareket halindeyken frenlerin devreye girmesinden kaynaklanan yükler
Isıl yükler	Isıl etkilere maruz kaldı.
Eğrilik etkisi	Panel 2 ve Panel 3 arasındaki senkronizasyon farkından kaynaklanan dönme etkisi
Tekrar periyodu	Bütün hareketli yükler için 100 yılda bir tekrar periyodu kullanılmıştır.



Şekil 4.20 Plan [Ishii, 2000]



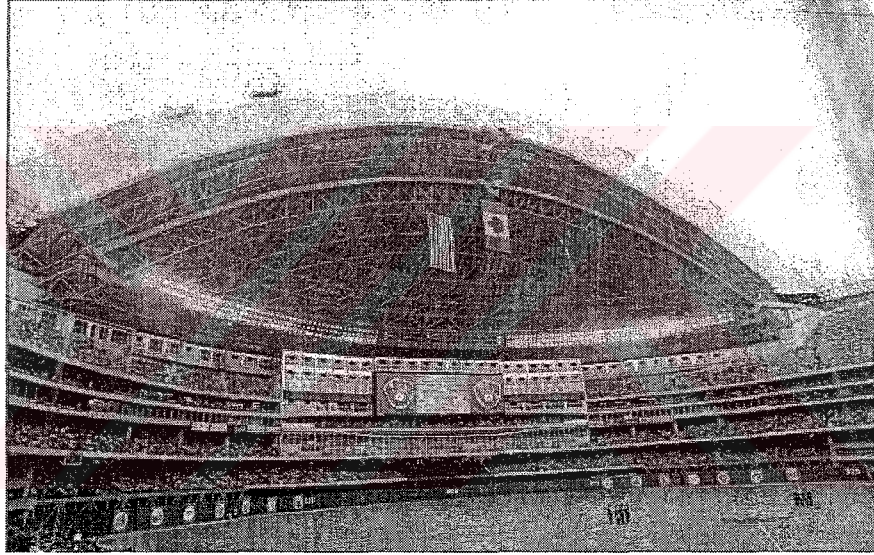
Şekil 4.21 Kesitler [Ishii, 2000]



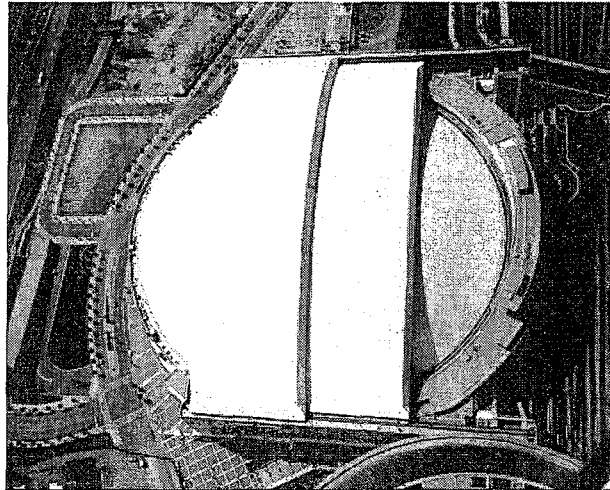
Şekil 4.22 Cepheler [Ishii, 2000]



Şekil 4.23 Çatı kapalıyken bir görünüş [Allen, 1992]



Şekil 4.24 Çatı açıkken içeriden bir görünüş [Ishii, 2000]



Şekil 4.25 Çatının kuş bakışı görünüşü [Ishii, 2000]

4.6 Fukuoka Dome



Şekil 4.26 Fukuoka Dome [Ishii, 2000]

Fukuoka Dome boyut olarak en büyük hareketli çatılardan biridir. Yapı, beysbol maçlarına ek olarak konserler, sergiler, fuarlar ve toplantılara ev sahipliği yapacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle çatısı hareketli yapılmıştır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Fukuoka Pref., Japonya

Tamamlanma yılı _____ 1993

Mimar _____ Takenaka Corp. & Maeda Corp.

Mühendislik _____ Takenaka Corp. & Maeda Corp.

Sistem _____ Dönme hareketiyle üstüste binen çatı elemanlarından oluşan çerçeve tipi hareketli çatı

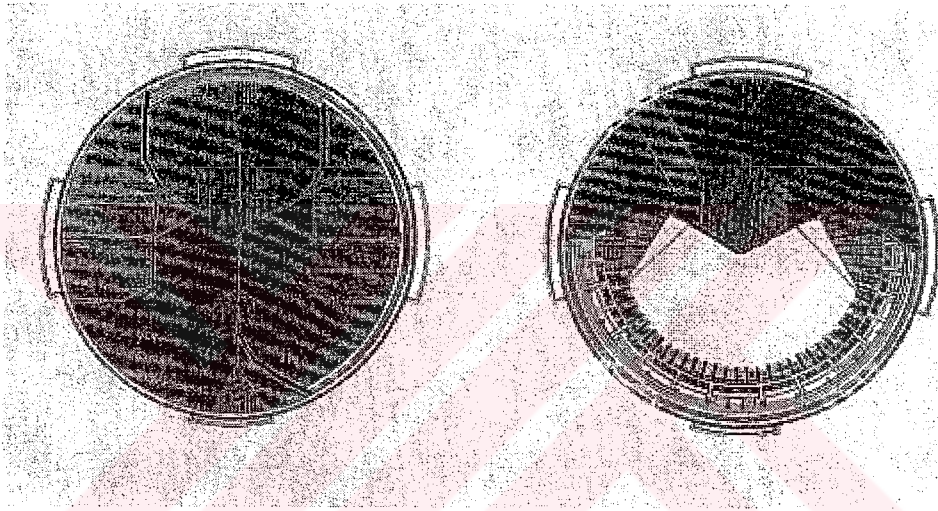
Kapanış süresi _____ 20 dakika

Kullanım amacı _____ Çok amaçlı stadyum

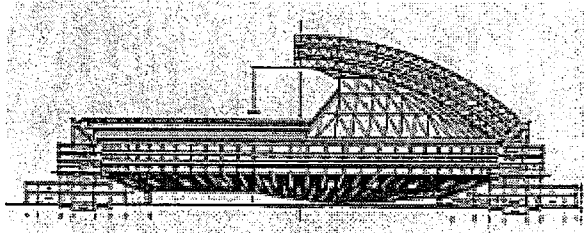
Seyirci kapasitesi _____ 48,000 kişi

Fukuoka Dome 222 m çapında ve 84 m yüksekliğindeki bir alanı 290 kg/m^2 ağırlığındaki çelik çerçeve hareketli çatıyla örtmektedir. Dairesel kubbe şeklindeki bu çatı planda 3'e bölünmüştür. Her çatı paneli 125° açıya sahiptir ve yelpaze şeklindeki çelik kirişlerden oluşmaktadır. Bu üç panelin en altta bulunanı sabittir; diğer iki hareketli panel ise binanın çevresinde bulunan hareket mekanizması ve altındaki kirişle desteklenmektedir.

Panellerin yüksekliği 4 metre; yükselme/açıklık oranı ise 0.2'dir. kaplama malzemesi olarak tuzun olumsuz etkilerine karşı koyabilecek titanyum kullanılmıştır. Çatı 63% oranında açılmaktadır ve gölgesi yıl boyunca saha üzerine düşmemektedir.



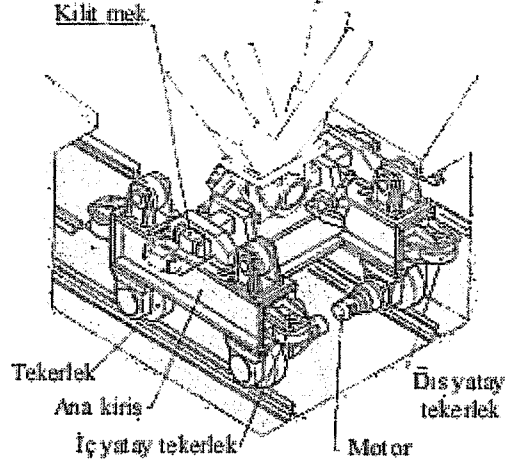
Şekil 4.27 Çatının açık ve kapalı durumları [Ishii, 2000]



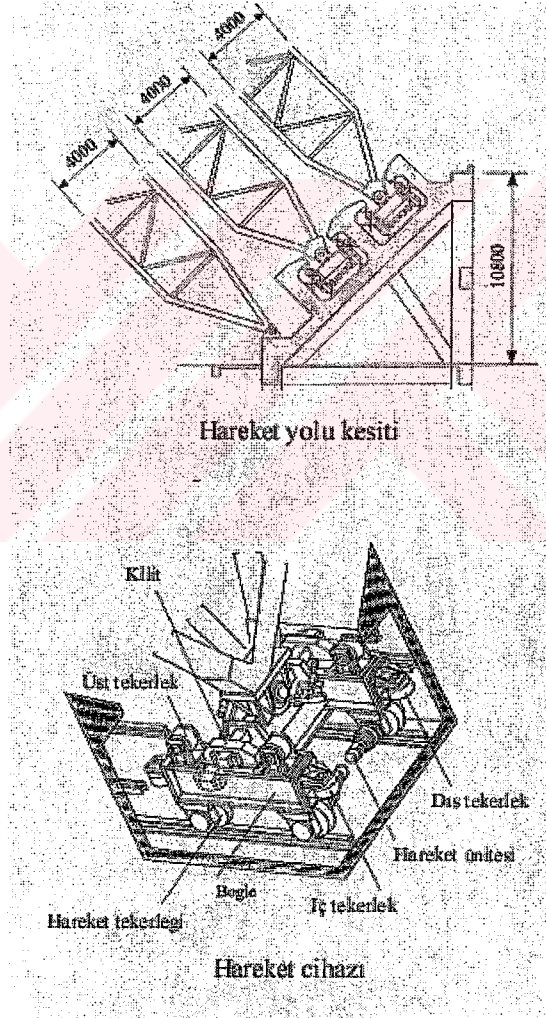
Şekil 4.28 Kesit [Ishii, 2000]

- Hareket sistemi ve yol:

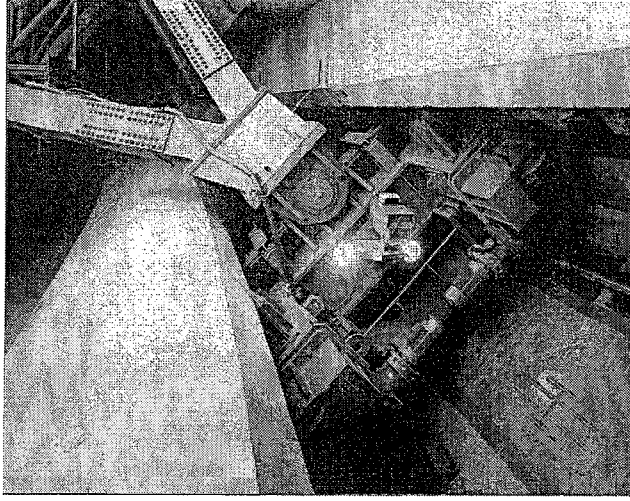
Her panel 4000 ton ağırlığındadır ve 24 adet çelik tekerlekli hareket mekanizması tarafından desteklenmektedir. 45° 'lik açı ile 6 adet ray üzerinde bulunan hareket mekanizmalarının çelik tekerlekleri aracılığıyla yüklerin transferi sağlanmaktadır. Raylar bina dış çevresine yerleştirilmiş betonarme döşeme plakları üzerine oturmaktadır. Böylece, açılış kapanış sırasındaki dinamik yüklere karşı koyabilmekte ve konsantre tepki yüklerinin homojen olarak dağılımını sağlayabilmektedir. Her panelin sonuna bir deprem durumunda komşu panelle çarpışmayı önleyecek hidrolik sönümleyiciler yerleştirilmiştir.



Şekil 4.29 Fukuoka Dome hareket mekanizması [Ishii, 2000]



Şekil 4.30 Fukuoka Dome hareket mekanizması [Ishii, 2000]



Şekil 4.31 Fukuoka Dome hareket mekanizması [Ishii, 2000]

Çatı tamamen kapalı, tamamen açık ve yarı açık (60°) durumlarda kullanılmaktadır. Çatı kuvvetli rüzgar, deprem veya kar gibi acil durumlarda kullanılmamakta ve kapalı tutulmaktadır.

Çatı tasarlanırken dikkat edilen yükler aşağıdaki gibidir.

- Ölü ve Hareketli yükler

Çatı yüzeyine düşen ortalama ölü yük (çatı kaplama malzemeleri ve çelik çerçeve ağırlığı dahil) 200 kg/m^2 'dir. Buna ek olarak alt panelde elektrik ve mekanik ekipmanlar dolayısıyla yaklaşık 500 ton ek yük vardır. Ayrıca 10 kg/m^2 'lik uzun süreli yük de tüm çatıya asılacak eşyalar için geçerlidir.

- Rüzgar yükü

Çatının tepesindeki (84.5m) ortalama tasarım rüzgar hızı 47.7 m/sn 'dir (100 yılda 1). Saha koşulları kullanım koşullarına göre değiştiği için spor ve konserler/sergiler için ayrı yönetim stratejisi belirlenmiştir. Rüzgar hızı, binanın dışında 10 metre yüksekliğe yerleştirilmiş iki adet anemometreyle ölçülür. 10 dakikalık periyodlarla ortalama rüzgar hızını ölçerler.

Konser veya sergi durumunda eğer rüzgar hızı 10 m/sn üzerine çıkarsa çatı kapatılır. Böylece serginin zarar görmemesi sağlanır.

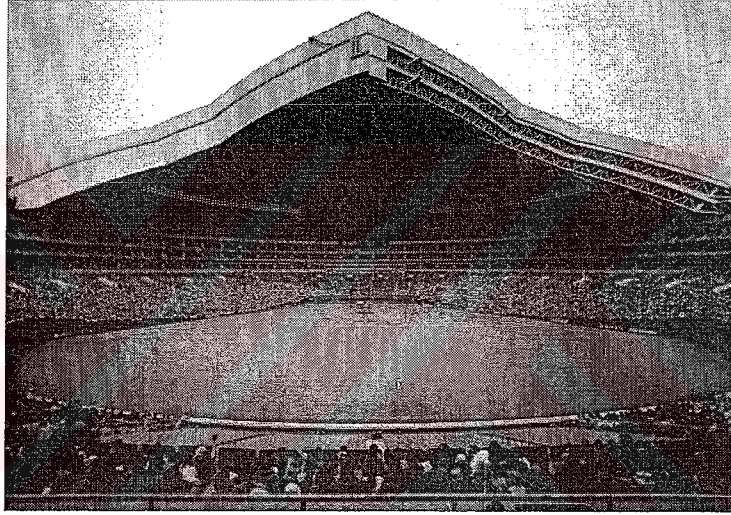
- Deprem yükü

Deprem yükü yatayda $0.5-0.7G$, düşeyde ise $0.1-0.45G$ alınmıştır. Hareket yolu üzerine yerleştirilmiş sismograflar eğer 50 gal'den büyük bir değer gösterirse, ve sismik uyarı sistemi devredeyse bir deprem sırasında uygun yönetim gerçekleştirilir.

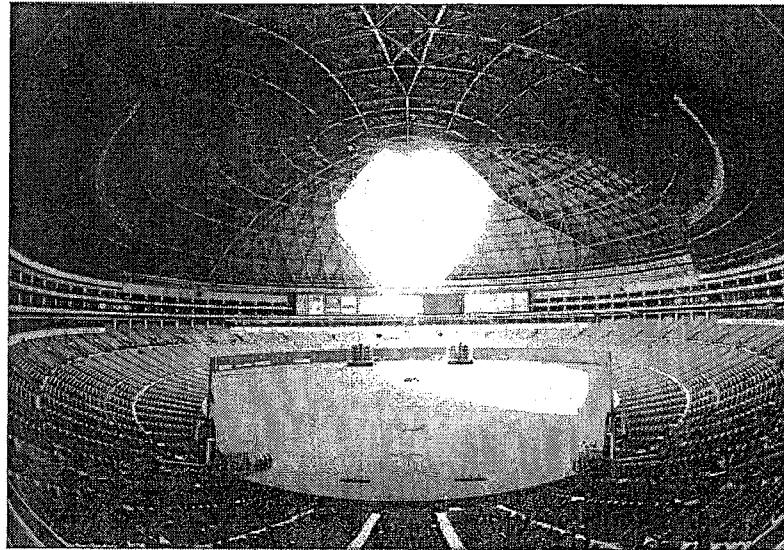
Bina kullanılmadığında çatı kapalı tutulur. Bina yöneticisi hava tahminlerini dikkate alarak uygun bir işletme sistemi geliştirir. Böylece şiddetli rüzgar, yağmur veya kar gibi acil durumlarda ne yapılacağı önceden belli olur.

Kar yağışı olduğunda veya beklendiğinde çatı kapalı tutulur. Ayrıca çatının hareket ettiği yol üzerinde kar birikmişse çatı hareket ettirilmez. Ayrıca yukarıdan düşebilecek kar kütlelerine karşı da önlem alınmıştır.

Bir yangın durumunda çeşitli duman durumları kullanıcılar için tehlikelidir. Dışarıdaki rüzgarın etkisine bağlı olarak önceden tahmin edilemeyen bazı tehlikeli durumlar görülebilir. Bu yüzden bir yangın durumunda çatının o anki pozisyonu korunur. Eğer hareket ediyorsa derhal durdurulur.



Şekil 4.32 Fukuoka Dome açık pozisyon [Ishii, 2000]



Şekil 4.33 Fukoka Dome çatı açılırken [Ishii, 2000]

4.7 Ariake Colosseum



Şekil 4.34 Ariake Colosseum genel görünüm [Ishii, 2000]

Japonya’da bulunan Ariake Colosseum ilk başta açık bir tenis kortu olarak tasarlanmış fakat daha sonraları hava koşullarından etkilenmeden çok amaçlı kullanımı sağlayabilmek amacıyla hareketli çatı eklenmiştir.

Yapı Özellikleri

Yer _____Tokyo, Japonya

Tamamlanma yılı _____1991

Mimar _____Kenchiku Mode Kenkyujo Co. Ltd.

Mühendis _____Kenchiku Mode Kenkyujo Co. Ltd.

Sistem _____Paralel olarak hareket eden çatı elemanlarından oluşan çerçeve tipi hareketli çatı

Kapanış süresi _____17.5 dakika

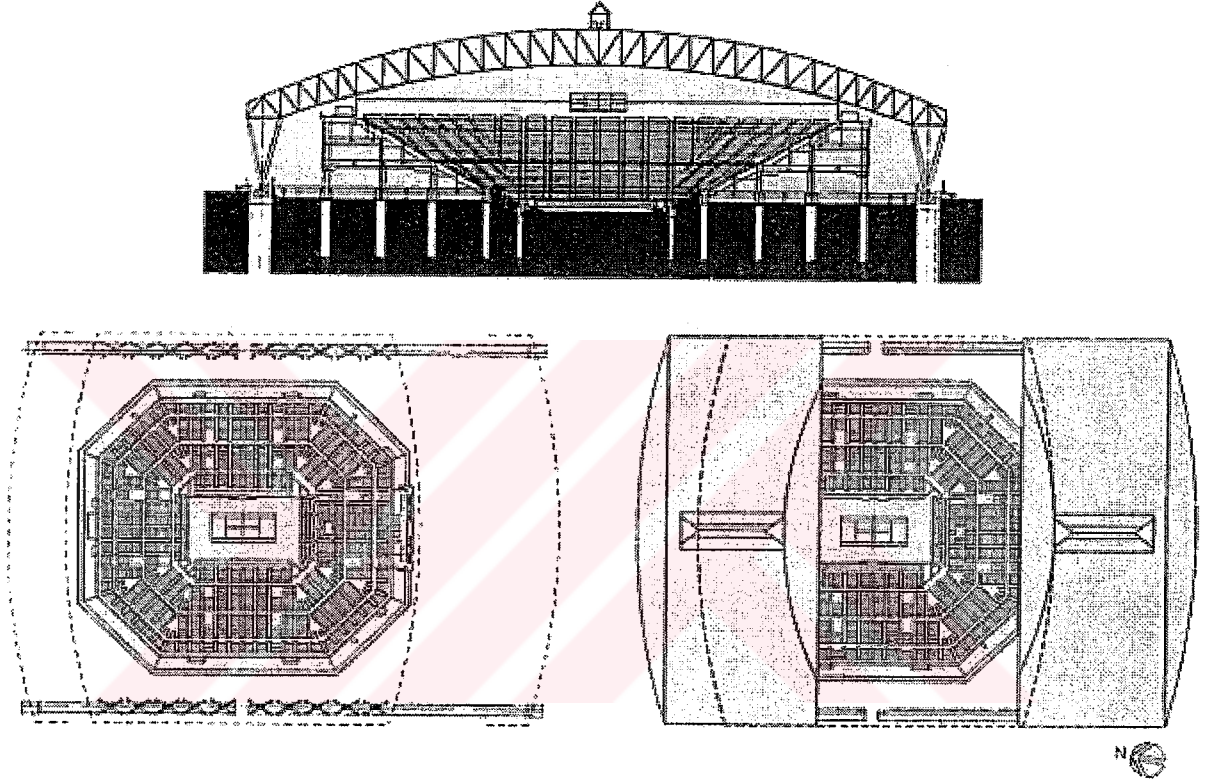
Kullanım amacı _____Tenis kortu ve çok amaçlı salon

Seyirci Kapasitesi _____10,000 kişi

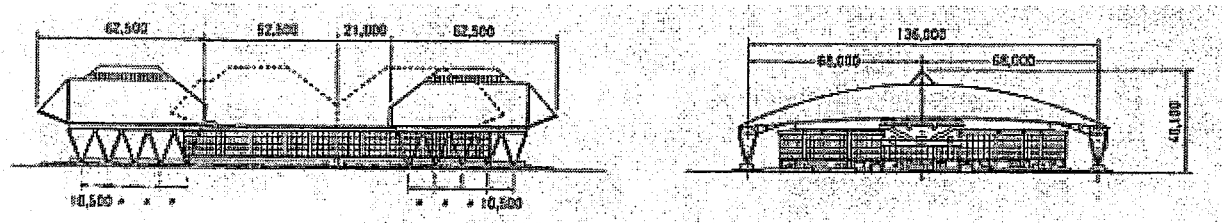
Çatı tasarlanırken basit bir strüktür ve hareket mekanizması planlanmıştır. İki adet çelik çerçeve çatı panelinden oluşan hareketli çatı 24,814 m²’lik bir alana sahiptir. Çatı kaplaması olarak çelik plaklar kullanılmıştır. İlk başta çatının betonarme perde duvarlar üzerinde hareket

etmesi planlanmış fakat sınırlı süre ve finansal zorluklar nedeniyle zemin seviyesine raylar yapılmış ve çatı bunlar üzerinde hareket ettirilmiştir. Çatı altındaki strüktürden tamamen bağımsızdır.

Çatı, 20 m/sn hızındaki rüzgara kadar açılıp kapanabilmektedir. Çatı 68% oranında açılmaktadır. İki çatı panelinin birleştiği kenarlar eğik yapılmıştır. Böylece saha üzerine gölge düşmesi engellenmiştir.

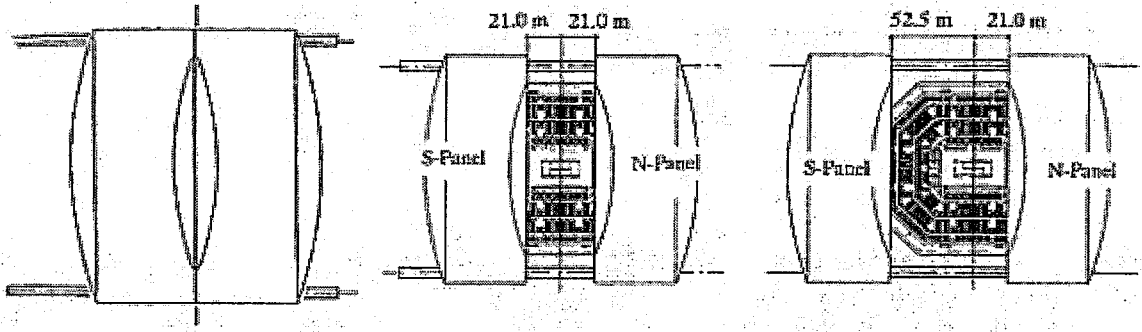


Şekil 4.35 Ariake Colosseum kesit ve planlar [Ishii, 2000]

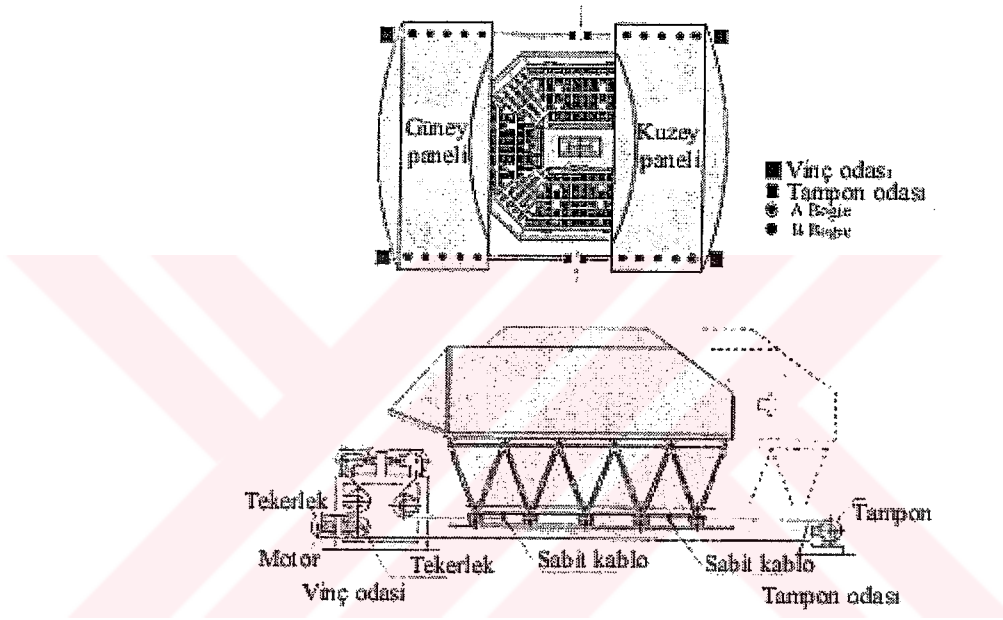


Şekil 4.36 Cepheler [Ishii, 2000]

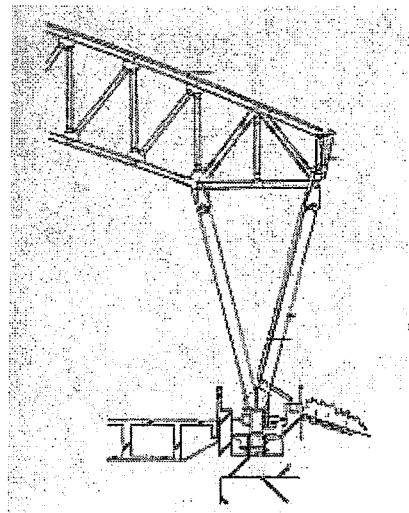
Ekonomik verimlilik ve güvenilirlik nedeniyle kablo ile çekme yöntemi kullanılmıştır. Tekerleklerde elektrik mekanizması veya motor bulunmamaktadır. Her panel paralel iki ray üzerinde hareket etmektedir ve bunların her birinde içinde motor olan iki adet vinç odası bulunmaktadır.



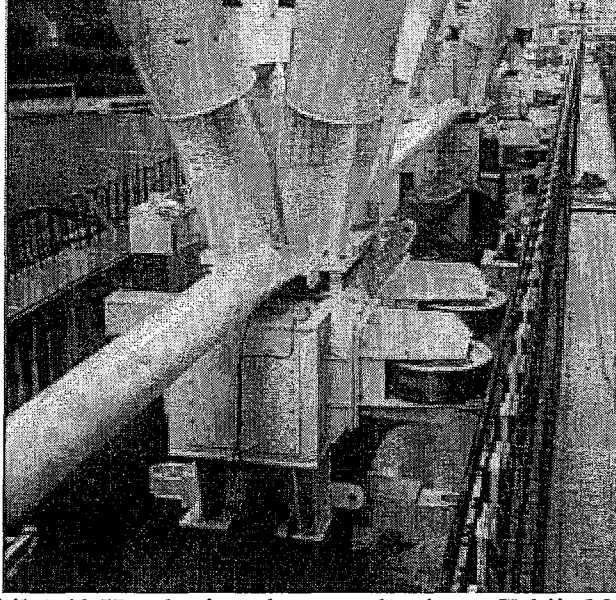
Şekil 4.37 Çeşitli durumlarda çatı planları [Ishii, 2000]



Şekil 4.38 Ariake Colosseum hareket mekanizması [Ishii, 2000]



Şekil 4.39 Çatı çerçevesi [Ishii, 2000]



Şekil 4.40 Hareketi sağlayan mekanizma [Ishii, 2000]



4.8 Ocean Dome



Şekil 4.41 Ocean Dome çatı açırken genel görünüş [Ishii, 2000]

Ocean Dome dünyanın en büyük dalgalı havuzunu, yapay plajlarını ve diğer eğlence aktivitelerini hareketli çatısı altında barındıran bir konaklama kompleksidir. Yapı, 300 metre uzunluğunda, 100 metre genişliğinde, ve 30 metre yüksekliğinde kubbeli bir hacimden oluşmaktadır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Miyazaki Pref., Japonya

Tamamlanma yılı _____ 1993

Mimar _____ Kobe Shipyard & Machinery Works, Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

Mühendis _____ Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

Sistem _____ Paralel hareketle üstüste binen çatı elemanlarından oluşan çerçeve tipi hareketli çatı

Kapanış süresi _____ 10 dakika

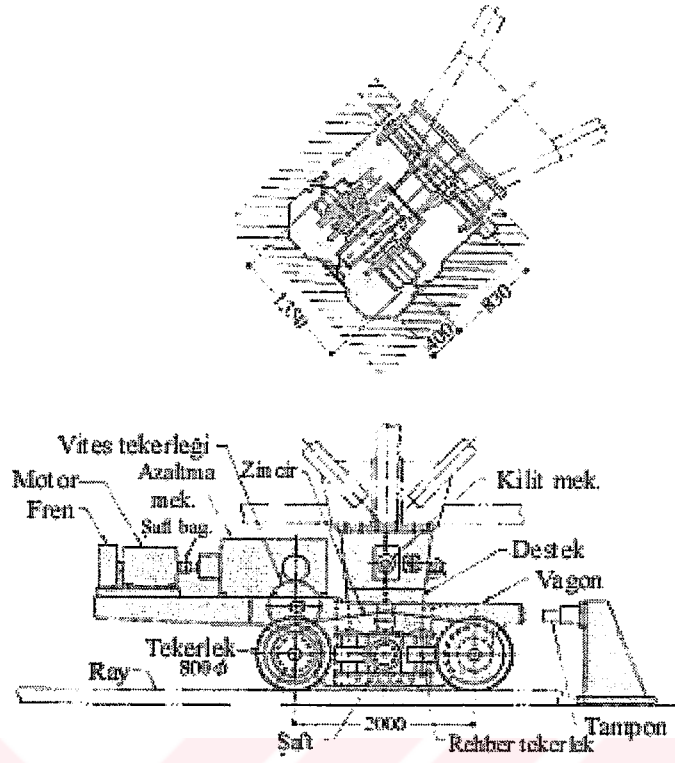
Kullanım amacı _____ Yüzme havuzu



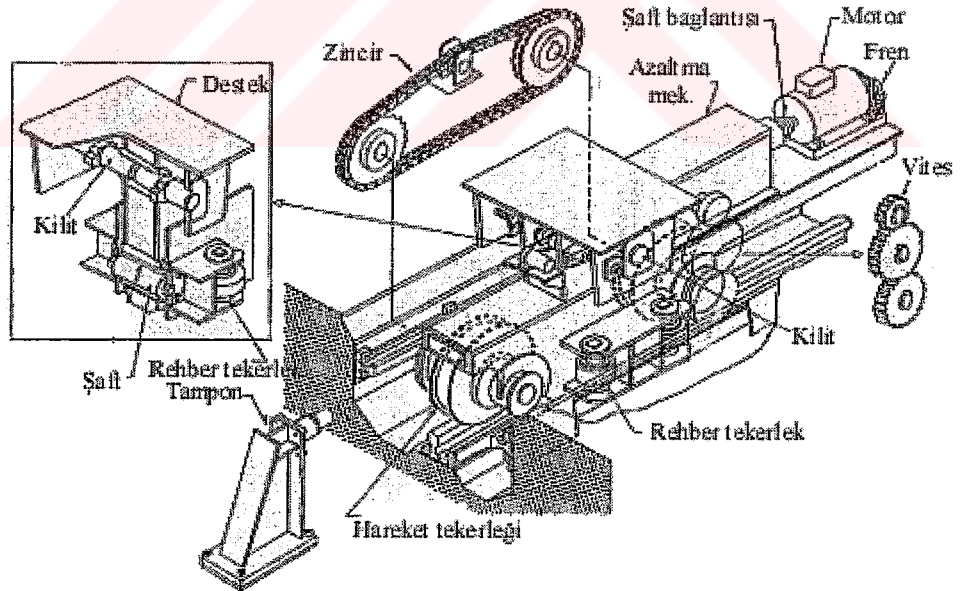
Şekil 4.42 Ocean Dome çatı kapalıyken [Ishii, 2000]

Hareketli çatı dışarıdaki eğik betonarme kolonlar ile betonarme kirişin üzerine oturmaktadır. Hareketli çatı, strüktürel olarak bağımsız 4 adet 51.5 m genişliğinde panelden oluşmaktadır ve 22,726m²'lik bir alana sahiptir. Her panel kemer şeklindeki çelik çerçeve kirişlerden oluşmakta ve 110 m açıklık geçmektedir. Her panelde 3 m yüksekliğinde 5 ana kiriş ve 2 m yüksekliğinde 6 adet yardımcı kiriş vardır. Çatı açıkken, yapının her iki tarafında da hareketli panellerden ikisi diğer sabit panelin üzerine gelir ve %65'lik bir açıklık oranı sağlanır. Hareketli paneller yatay hareketle sabit panellerin üzerine biner ve çatının açılması sağlanır. Sabit paneller titanyum çelik plaklarla, hareketli paneller ise PTFE kaplı cam lifi ile kaplanmıştır.

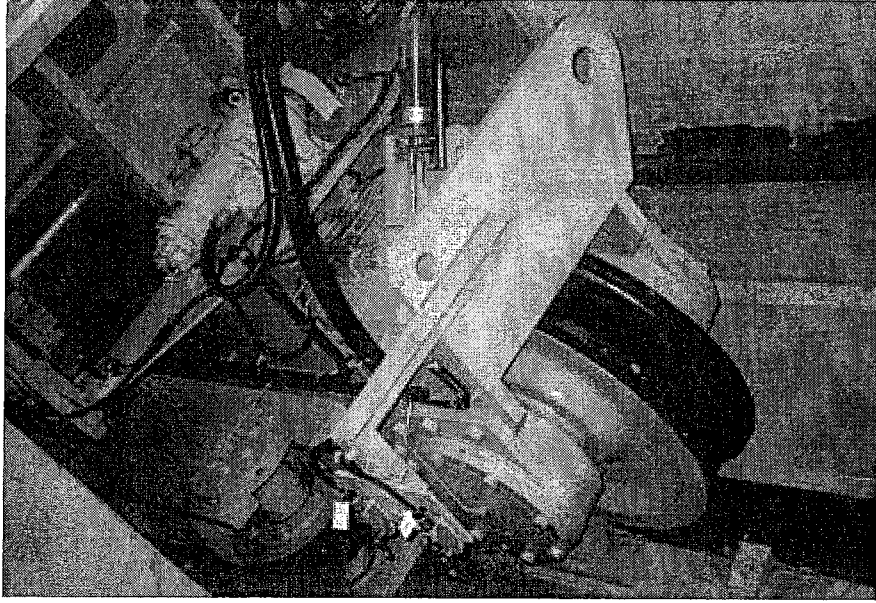
Hareket mekanizması her panelin iki tarafında ana kirişlerin destek noktalarına yerleştirilmiştir. Paneller raylar üzerinde elektrik gücü ile paralel olarak hareket etmektedir. Hareket hızı 9 m/dk olan çatı 10 dakikada açılabilir. Çatı panellerinin senkronizasyonu alıcılar yardımıyla sağlanmaktadır.



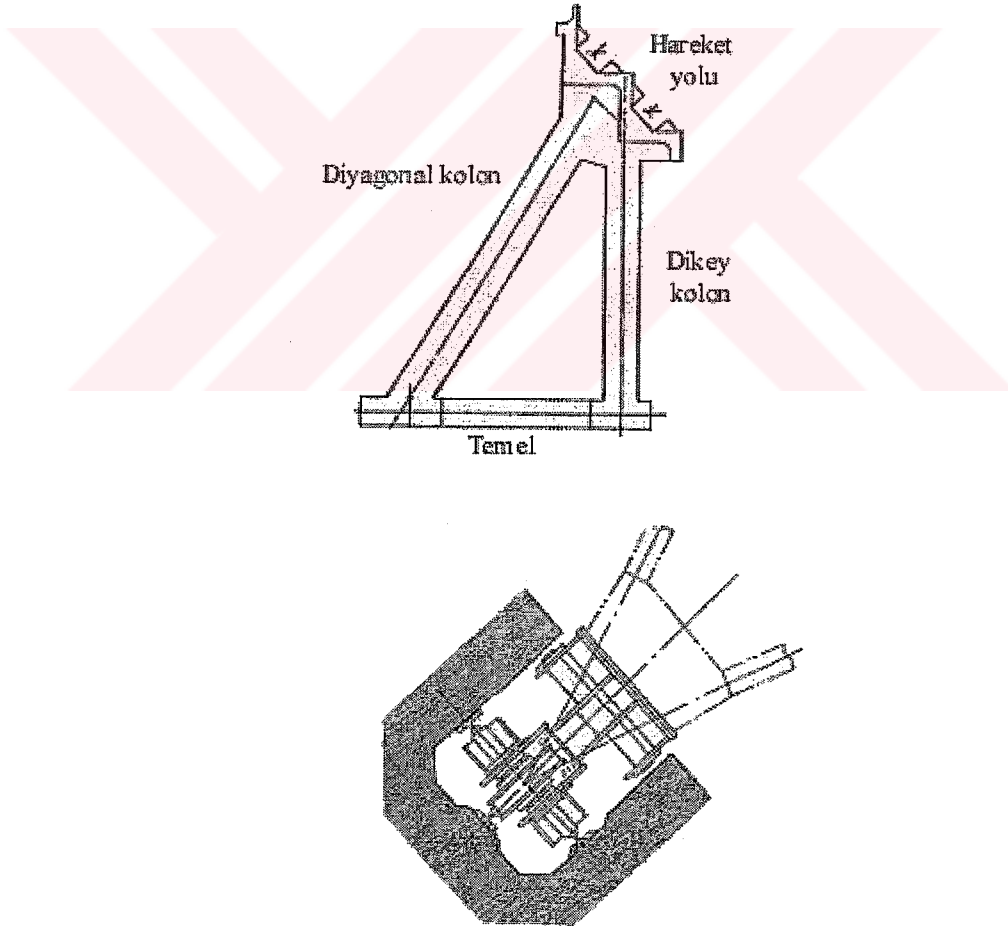
Şekil 4.43 Ocean Dome hareket mekanizması [Ishii, 2000]



Şekil 4.44 Ocean Dome hareket mekanizması (izometrik) [Ishii, 2000]



Şekil 4.45 Hareket mekanizması [Ishii, 2000]

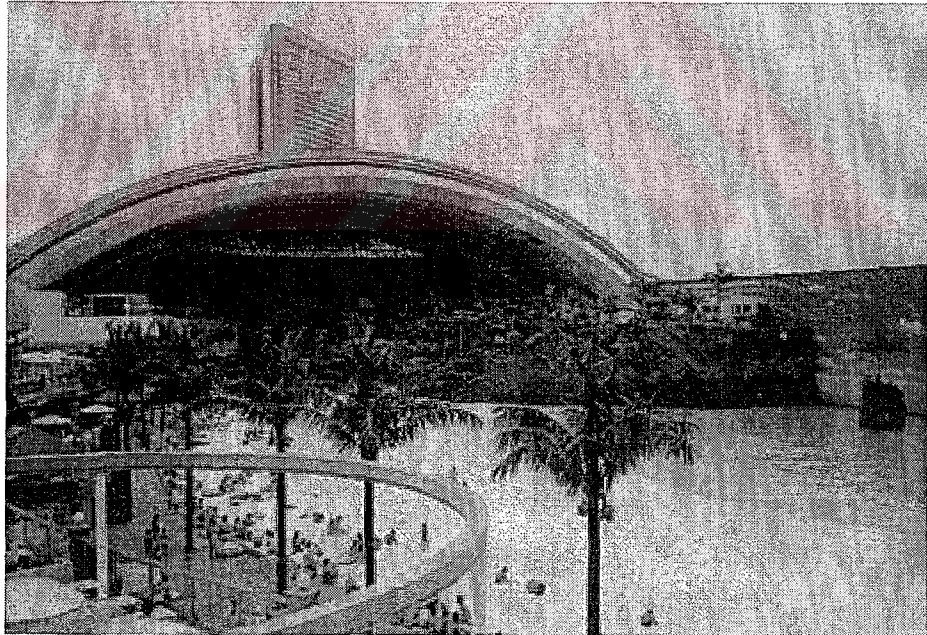


Şekil 4.46 Çevresel kolonlar ve hareket yolu kesiti [Ishii, 2000]

Çatı tasarlanırken rüzgar tüneli testi ile belirlenen rüzgar yükü kat sayıları ve Japonya'da 100 yılda bir meydana gelen en şiddetli rüzgar göz önünde bulundurulmuştur. Fırtına durumunda hareketli çatı güvenlik nedeniyle kapalı tutulur. Buna ek olarak, yerleştirilen anemometreler yardımıyla kontrol odasından rüzgar hızı gözlemlenmektedir. Böylece çatının açılıp kapanması için yeterli bilgi sağlanmış olur.

Çatı tasarlanırken yatay deprem yüklerinin yanı sıra yapının büyüklüğü nedeniyle düşey yükler de dikkate alınmıştır. Ayrıca, yapı farklı zeminler üzerine oturduğundan deprem sırasında oluşabilecek davranış farklılıkları dikkate alınmıştır. Araziye yerleştirilen sismometre yardımıyla deprem olduğunda çatının çalışmaması sağlanır. Eğer açılış kapanış esnasında deprem meydana gelirse hareket otomatik olarak durur. Deprem sonrası bir araştırma ve test sürüşü yapılır. Daha sonra normal işletim sistemine geri dönlür.

Çatının tasarımında hareketin başlangıcı ve duruşu sırasında ortaya çıkan dinamik yükler, senkronizasyon farkından kaynaklanan yükler ve çatıyı destekleyen kirişte veya temelde meydana gelebilecek deformasyon dolayısıyla oluşacak zorlamalar da dikkate alınmıştır.



Şekil 4.47 Ocean Dome içeriden bir görünüş [Ishii, 2000]

4.9 Amsterdam Arena



Şekil 4.48 Amsterdam Arena çatısının açık hali [Ishii, 2000]

Amsterdam'daki bu stadyum futbol dışındaki etkinliklerin kapalı bir ortamda yapılmasını sağlayabilmek için hareketli çatılı yapılmıştır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Amsterdam, Hollanda

Tamamlanma yılı _____ 1996

Mimar ve Mühendis _____ Grabowski & Poort B.V.

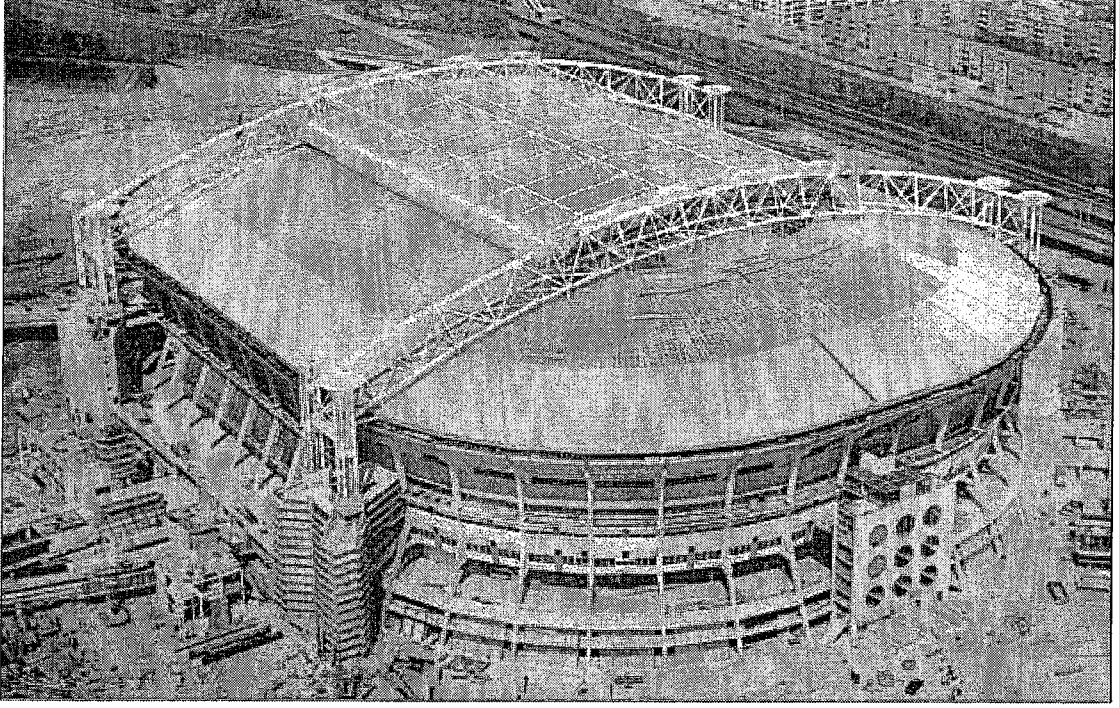
Çatı mühendisleri _____ Ballast Nedam Engineering B.V. & Bailey Technogroup

Sistem _____ Kirişler üzerinde paralel olarak hareket ederek üstüste binen çatı elemanlarından oluşan çerçeve tipi hareketli çatı

Kapanış süresi _____ 30 dakika

Kullanım amacı _____ Futbol

Seyirci kapasitesi _____ 50,000 kişi

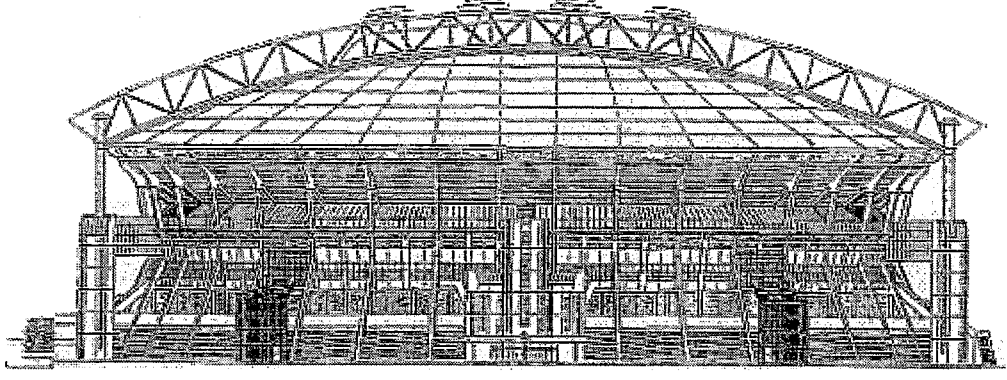


Şekil 4.49 Çatının kapalı hali [Ishii, 2000]

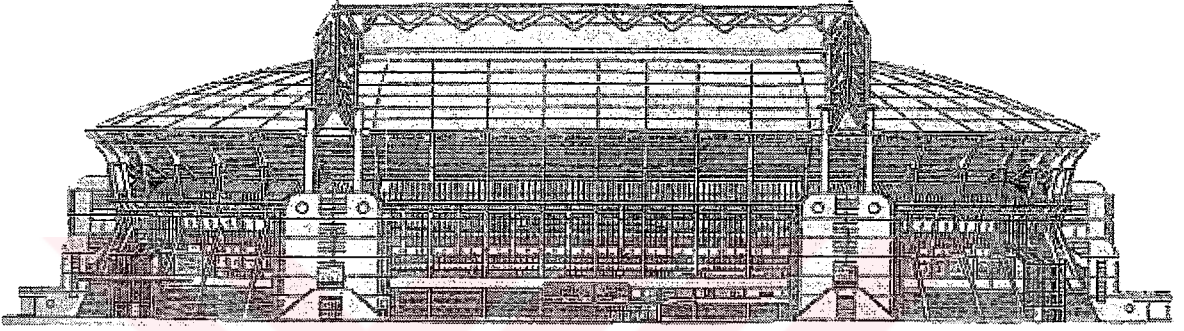
Stadyum, 75 m yüksekliğe ve 180 m x 250 m'lik boyutlara sahiptir. 37.5m x 108m boyutlarındaki iki adet çelik çerçeve panelden oluşan hareketli çatının eğimi 5°'dir. Çatıya gelen tüm yanal yükler 4 adet kule şeklindeki betonarme merdivenler aracılığıyla zemine aktarılmaktadır. Çatının çelik strüktürü aşıklar ile birinci ve ikinci derecede uzay kafes kirişlerden oluşmaktadır. Hareketli çatı panelleri yarı saydam plastik tabaka, delikli tabaka ve alüminyum tabakadan oluşan sandviç panellerle kaplanmıştır.



Şekil 4.50 Stadyumun içeriden görünüşü [Ishii, 2000]



Şekil 4.51 Kuzey-Batı görünüşü [Ishii, 2000]



Şekil 4.52 Güney – Doğu görünüşü [Ishii, 2000]

4.10 Komatsu Dome



Şekil 4.53 Komatsu Dome çatı açırken dış görünüş [Ishii, 2000]

Komatsu Dome Japonya'nın en büyük adası olan Honshu'nun ortalarında deniz kıyısında yapılmış olan çok amaçlı bir stadyumdur. Bu bölge aşırı kar yağışlarıyla bilinmektedir. Bu nedenle, ağır kar yağışlarıyla başa çıkabilmek için stadyumun çatısı kubbe şeklinde yapılmıştır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Komatsu, Japonya

Tamamlanma yılı _____ 1997

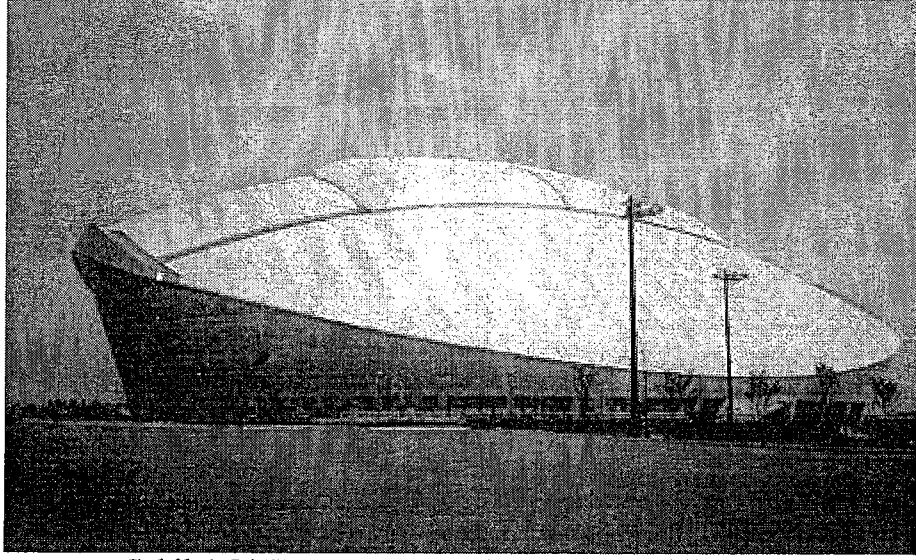
Mimar ve Mühendis _____ Yamashita Sekkei Inc. & Taisei Corp.

Sistem _____ Kaş şeklindeki kemerler üzerinde paralel hareket ederek üstüste binen çatı panellerinden oluşan çerçeve tipi hareketli çatı

Kapanış süresi _____ 10 dakika

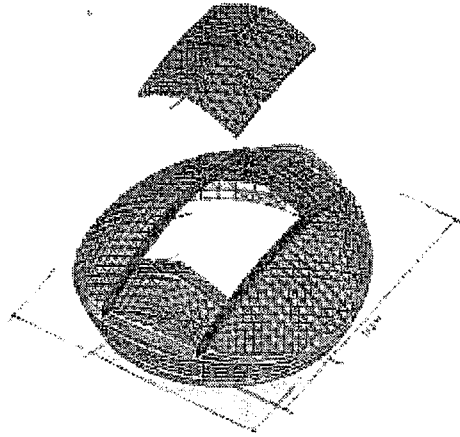
Kullanım amacı _____ Çok amaçlı saha

Seyirci kapasitesi _____ 1,500 kişi (hareketli tribünler)

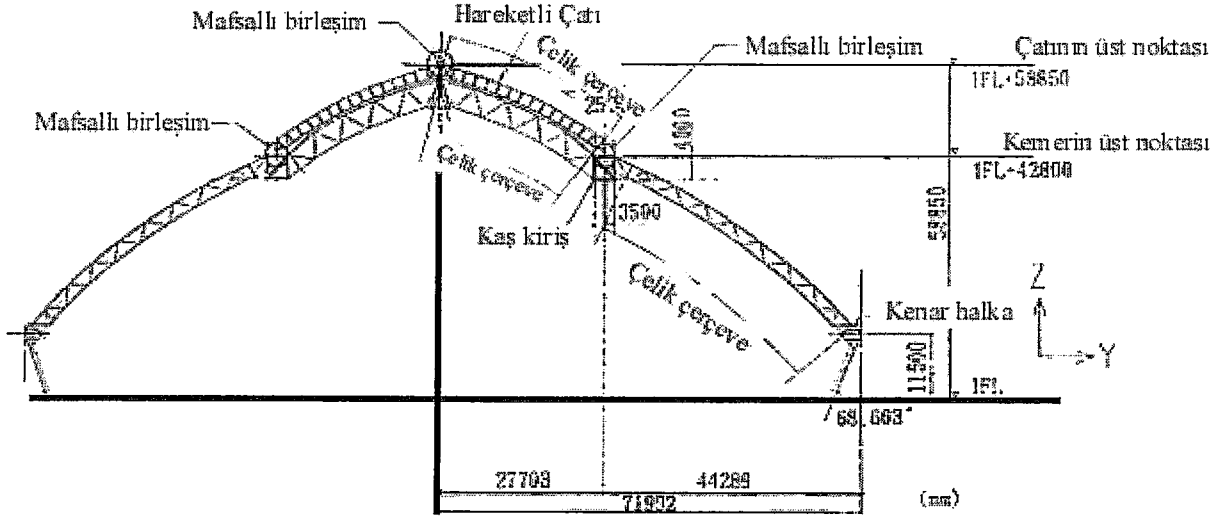


Şekil 4.54 Komatsu Dome dış görünüş [Ishii, 2000]

Komatsu Dome 135 metre çapındaki bir dairesel açıklık üzerini örten ters kesik koni şeklindeki duvarların üzerine yerleştirilmiş oval kambur bir çatıdan oluşmaktadır. Çatının maksimum çapı 162 metre, minimum çapı ise 148 metredir. Çatı, çelik çerçeveli bir membran strüktürüdür. İki paralel kaşkemer arasındaki hareketli çatı panelleri uzun doğrultuda yerleştirilmiştir. Bu iki paralel kirişe dik kafes kirişler vardır. Çevre kolonları, kirişler ve duvarlar betonarmedir. Çatı ile çevre duvarları arasındaki kenar halka kiriş ile çevresel kirişlerin bazıları öngerilmeli betondan yapılmıştır. Hareketli çatı $3,850\text{m}^2$ 'lik bir alanı örtmektedir.

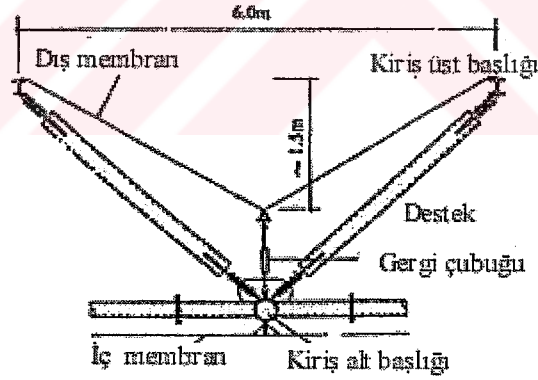


Şekil 4.55 Komatsu Dome çerçeve sistemi [Ishii, 2000]

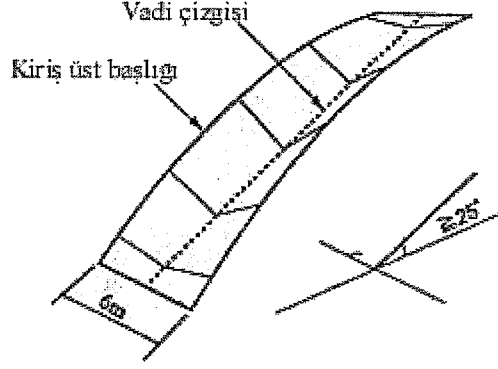


Şekil 4.56 Membran çatının kesiti [Ishii, 2000]

Membran hareketli çatı PTFE kaplı cam yünü membrandan yapılmıştır. Bu membran üzerinde yığılan karı etkili bir biçimde dökülebilmektedir. Çatının eğimi, üzerine yığılan karların doğal yollardan dökülebilmesi için 25 dereceden büyük tutulmuştur. Her membran panel karların dökülmesini sağlamak için V-şeklinde yapılmıştır.



Şekil 4.57 Membran çatının kesiti [Ishii, 2000]



Şekil 4.58 Membran panelin şekli [Ishii, 2000]

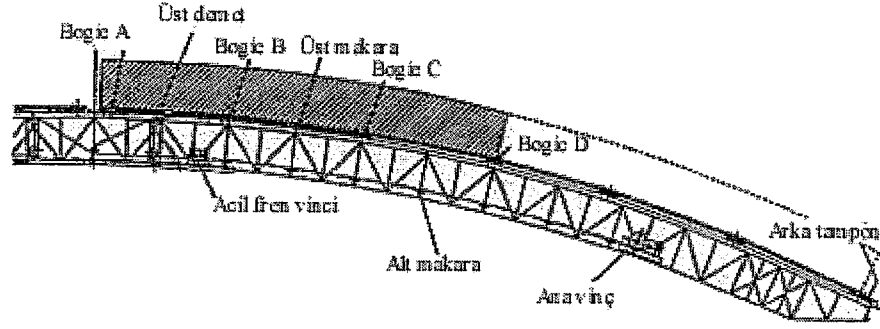
Hareket sistemi olarak kablo ile çekme yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni, arzulanan hafifliğin sağlanması ile bakım ve işletme kolaylığıdır.

İki paralel kaş şeklindeki kemer oval çatının uzun doğrultusu boyunca yerleştirilmiştir. Yay şeklindeki raylar ise bu kaş şeklindeki kemerler boyunca yerleştirilmiştir. Çatı, iki hareketli çatı panelinin düşey hareketi sonucu açılıp kapanmaktadır. Çatı tamamen açıldığında ortada 70 x 55 m'lik bir açıklık elde edilmektedir. Hareketli parçalar tepede bulunduğu mafsallar ile birleştirilmektedir.

Tekerleklerden oluşan hareket ekipmanı mafsallı birleşimlerle raylara yerleştirilmiştir. Böylece raylarda meydana gelebilecek düşey farklılıklara hem yatay da hem de düşey de ayak uydurabilmektedir. Hareket yöntemi ise vinçler kullanarak kablo ile çekilerek sağlanmaktadır. Hareketli çatı yılda ortalama 200 kez kullanılmaktadır. Çatının hareket hızı 3.6 m/dk'dır ve kullanım ömrü 50 yıldır.

Hareketli çatı için temel hareket ünitesi vinçlerdir. Her hareketli parçanın 4 adet vinci vardır. Bu vinçler iki tarafa da yerleştirilmiştir. Ana vinçler kaş şeklindeki kirişlerin içine monte edilmiştir. Her ana vinç motor, elektromanyetik fren, vites kutusu ve kablo sarma makarasından oluşmaktadır.

Arka tamponlar, elektromanyetik frenler, acil durum frenleri, kilitleme aparatları, kaldırmayı önleyici cihazlar ve diğer güvenlik özellikleri hareket esnasında çatının kontrolünün kaybedilmesini ya da raydan çıkmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 4.59 Hareket mekanizması [Ishii, 2000]

Çatının yük durumu ve yönetimi:

Deprem:

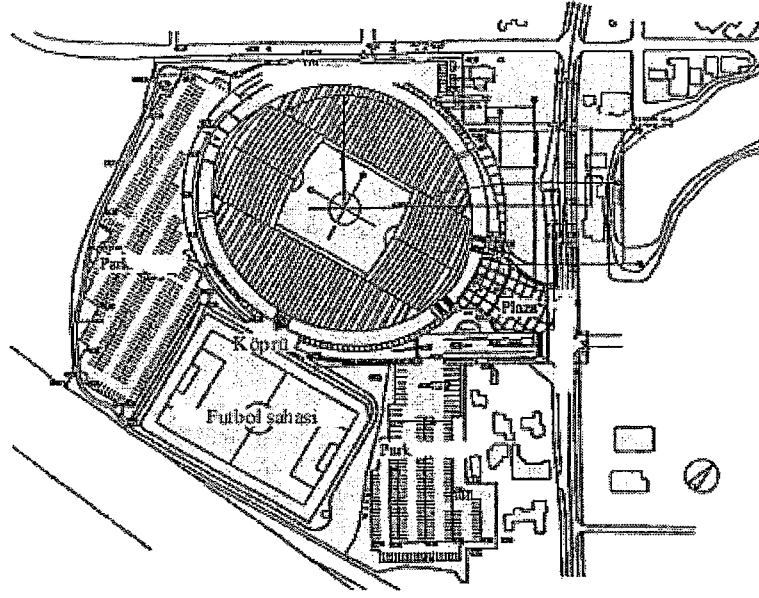
Eğer çatı hareket ederken zemindeki sismik ivme 25 gal üzerinde tespit edilirse, vinçlerde bulunan elektromanyetik bir fren hareketi durdurur. Hareket mekanizması 100 gal ivmesindeki bir depreme kadar çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Rüzgar:

Meteoroloji yetkilileri tarafından eğer şiddetli bir rüzgar uyarısı yapılırsa veya ortalama rüzgar hızı anemometreler tarafından 15 m/sn üzerinde belirlenirse çatı hareket ettirilmez. Hareket esnasında rüzgar tasarım yükleri tünel testleri sonucunda 10 dakikanın üzerinde 30 m/sn olarak alınmıştır.

Kar:

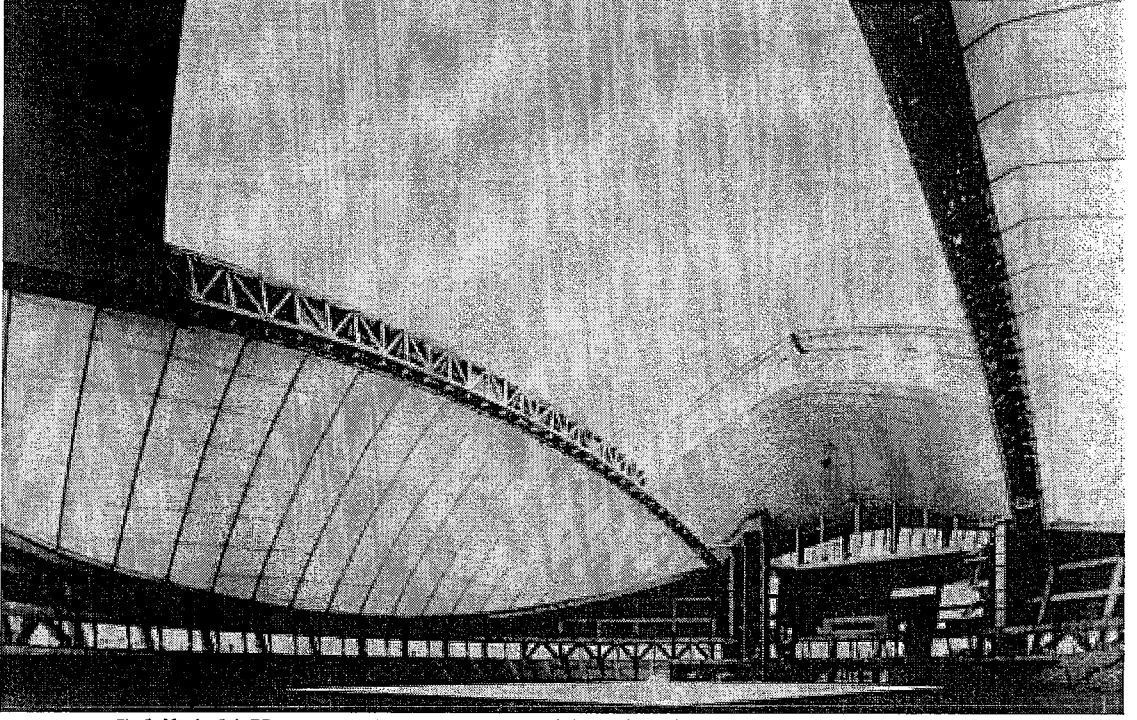
Çatı 450 kg/m²'ye kadar olan kar yükünü karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Çatı, donduğunda veya kar yağışı sırasında hareket ettirilmez. Bu yüzden hareket esnasında kar yükü hesaba alınmamıştır. Raylar üzerinde hareket eden tekerlekler atmosfere açıktır. Bunun sonucunda, kar yağışı nedeniyle kışın tekerlekler raylara yapışabilir ve çatı üzerindeki karlar düşmez. Bu kar yığılmasını önlemek için çatının üstünde rayları kardan koruyan bir kar önleyici örtü kullanılmıştır.



Şekil 4.63 Komatsu Dome vaziyet planı [Ishii, 2000]

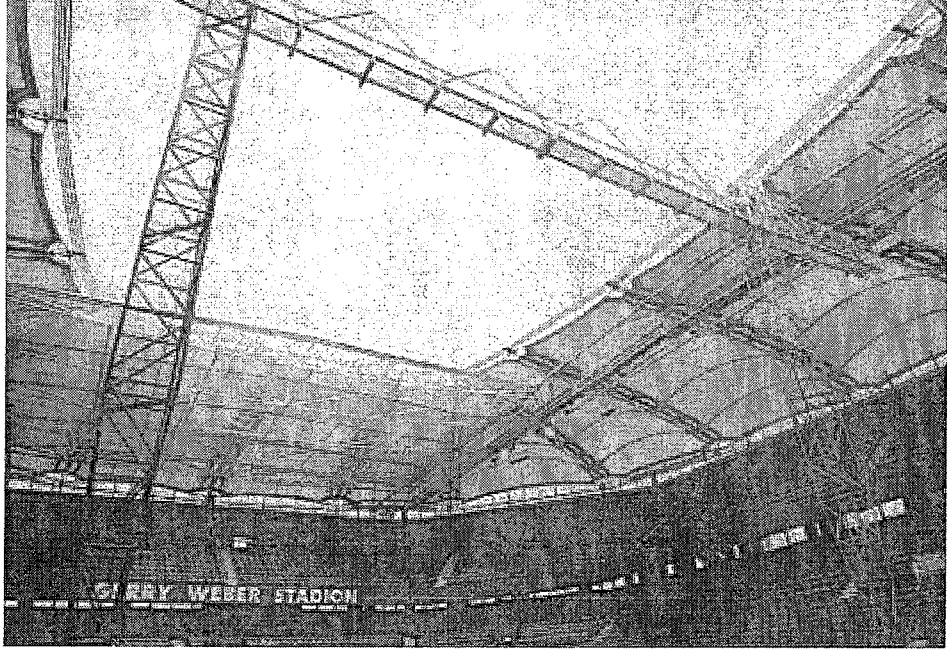
Komatsu Dome'da güvenlik açısından hata-emniyet tasarımı gerçekleştirilmiştir:

- Açılış kapanış sırasında insan hatasını önlemek için otomatik bir sistem kurulmuştur
- Hareket işlemine başlamadan önce raylar kameralar ile görüntülenip hataya yol açacak şeyler olup olmadığı kontrol edilir
- Rüzgar hızı için uygunsuz yönetimi önlemek için tasarım rüzgar hızını aşan bir rüzgar oluştuğunda devreye giren bir alarm sistemi kurulmuştur
- Kar veya buz düşmesinden oluşacak kazaları önlemek için çatı, üzerinde kar varken hareket ettirilmez
- Hareket esnasında meydana gelebilecek bir deprem sonucu oluşabilecek kazaları önlemek için otomatik durdurucular yerleştirilmiştir. Bu aletler, önceden belirlenmiş deprem büyüklüğünü aşan bir deprem meydana geldiğinde hareket mekanizmasını otomatik olarak durdurur
- Açılış veya kapanış sırasında meydana gelebilecek bir güç kesintisi sonucu çatının kontrol dışı hareket etmesini önlemek için vinçlerde elektromanyetik frenler devreye girer



Şekil 4.64 Komatsu Dome çatı açıkken içeriden görünüş [Ishii, 2000]

4.11 Gerry Webber Tenis Kortu



Şekil 4.65 Gerry Webber tenis kortu çatısı açıkken [Ishii, 2000]

Gerry Webber tenis kortu hafif bir membran hareketli çatıdır. Kortun zemini düşük bir nem oranında bile kullanılmaz hale geldiğinden hareketi kolay ve hızlı bir çatı yapılmıştır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Halle/Westfalia, Almanya

Tamamlanma yılı _____ 1995

Mimar _____ Schlaich, Bergermann & Partner

Mühendis _____ Schlaich, Bergermann & Partner

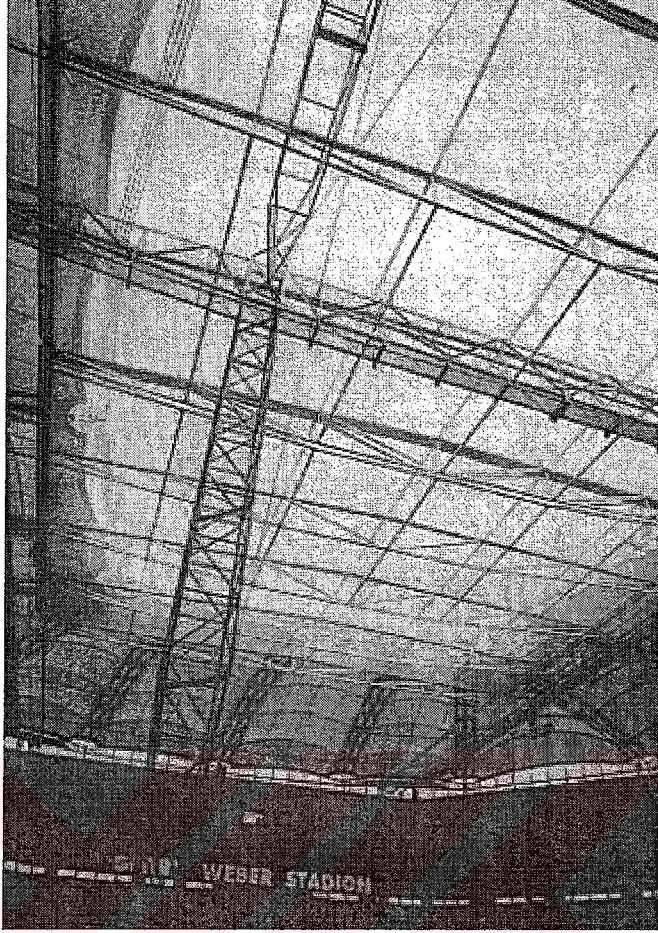
Sistem _____ Paralel hareketle üstüste binen çatı elemanlarından oluşan membran hareketli çatı

Kapanış süresi _____ 1.5 dakika

Kullanım amacı _____ Tenis kortu

Seyirci kapasitesi _____ 12,400 kişi

Gerry Webber tenis kortu 96 m x 84 m boyutlarındadır. 6,200 m²'lik çatının yüksekliği 20.5 m'dir. Altındaki strüktürün betonarme olduğu yapıda sabit çatı strüktürü kablo ağı ve PVC kaplı polyester membranından oluşturulmuştur. Hareketli çatı elemanları ise pnömatik olarak dengelenmiş membran yastıklardan oluşturulmuştur. Kortun toplam maliyeti 6.6 Milyon DM'dir.



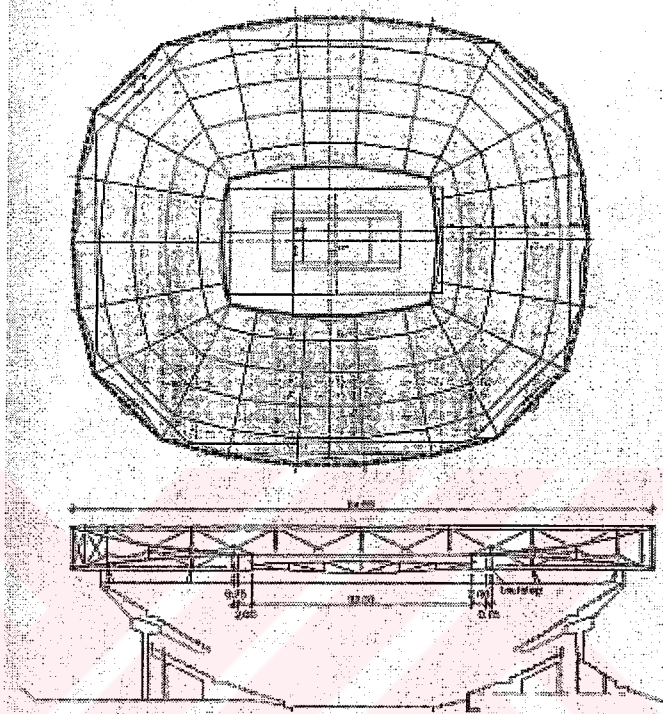
Şekil 4.66 Gerry Webber tenis kortu çatısı kapalıyken [Ishii, 2000]

Hafif bir çatı yapma isteği sonucunda ortaya bir iç çekme çemberi ile iki adet dış basınç çemberi arasına gerilmiş radyal kablo kirişlerden oluşan bir strüktür çıkmıştır. Altındaki tribün yapısı çatı hesaba katılmadan tamamlandığı için bu çatının temelleri stadyumun dışında ayrı bir biçimde düzenlenmiştir.

İki basınç çemberi plandaki eğrilikleriyle kablo kirişlerin yatay kuvvetlerini dengelemektedir. Ayrıca geniş kolon açıklıklarından kaynaklanan kablo kirişlerin düşey kuvvetini destek noktalarına ileten bir kafes kiriş başlığı görevi de görmektedir. Kablo kirişler sadece dış kafes kirişi desteklemekle kalmaz; ayrıca plandaki eğrilikleriyle dönmesini de engeller. Böylece dış kafes kirişin kendi dönme dayanımına gerek kalmaz.

İç çatı açıklığını alttaki tenis kortunun boyutuna (25 m x 40 m) getirebilmek için çekme çemberinin 4 köşesinde bulunan ikişer adet kablo kiriş diğerlerine göre daha çok gerilerek köşeler daha büyük açılı olmuştur. Böylece istenilen geometri sağlanmıştır. Dış çatı genişliği tüm çatı boyunca aynıdır (28 m).

Dıştaki sabit çatı, hareketli iç çatı ile tamamlanmıştır. Çatıdan asılan 32 metre genişliğindeki 2 adet ray üzerinde 2 yatay çatı paneli hareket etmektedir. Açık pozisyonda sabit çatı altında olan bu çatı panelleri yatay hareketle merkezde buluşup ortadaki açıklığın üstünü kapamaktadır.



Şekil 4.67 Plan ve kesit [Ishii, 2000]

İçteki çatı için tasarım kriterleri:

Kort düşük bir nem oranında bile kullanılmaz hale geldiği için çatı çok kısa bir sürede kapatılmalıdır. Bu problem 1.5 dakika gibi kısa bir kapanma süresiyle çözülmüştür.

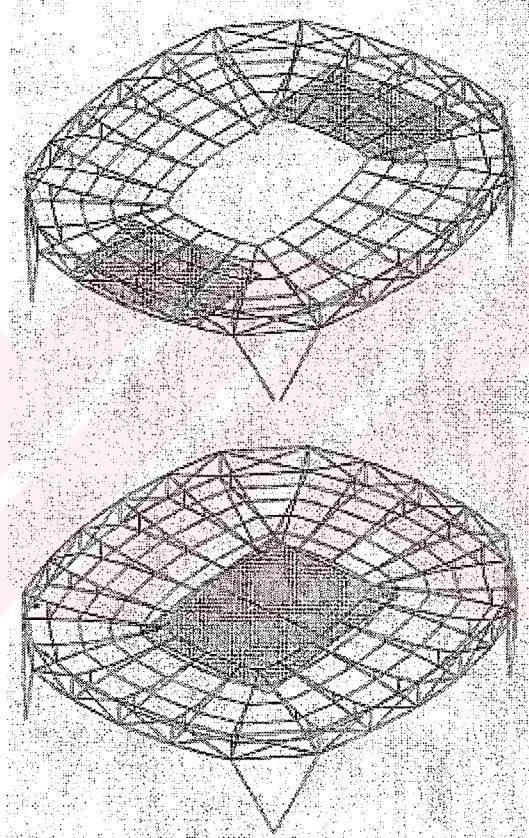
Çatının, kapalı durumda açıktaki gibi bir etki yaratabilmesi için transparan olması gerekmektedir. Bu, filigran çelik strüktür ve pnömatis olarak dengelenen transparan membrandan yapılmış hava yastıkları ile sağlanmıştır.

Hareketli Membran Çatı:

Hareketli çatı basit bir mekanizma ile hareket ettirilmektedir. Bir paneli her iki yönde de hareket ettirebilmek için, sapma tekerlekleri kullanan bir vinç ile sabit kablo noktaları kullanılmıştır. Hareket boyunca yol üzerinde bulunan anahtarlarla hız durumu ayarlanır. Her panelde 10 adet tekerlek bulunur. Bu tekerlekler işlem sırasındaki sesi en az seviyede tutabilmek için özel bir plastikten yapılmıştır. İç çatı, derinlikleri 0.5 m ile 1.9 m arasında değişen ve 32 m açıklık geçen 5 adet çelik kirişten oluşmaktadır. Bunlar hafif diyagonaller ve

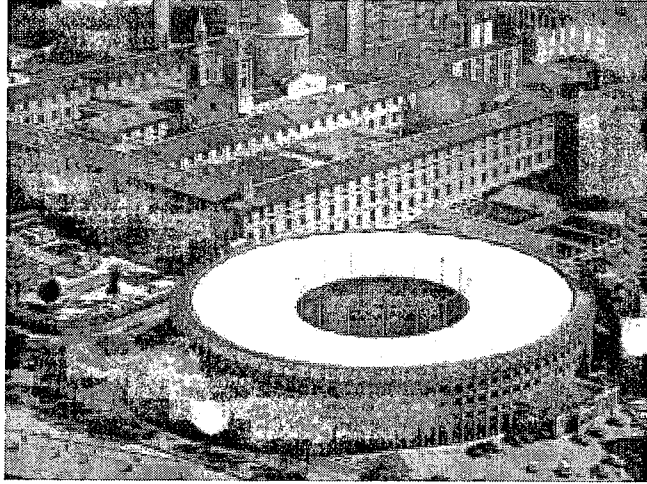
ince kirişler ile birbirlerine bağlanmıştır. Böylece gerekli dayanıma sahip rijit bir panel oluşturulmuştur.

Hava dengeli yastıklar(5.5 m x 32 m) bu kirişler arasında bulunur. İki adet şeffaf Hostafon ET (politetrafloroetilen'in bir modifikasyonu) tabakasından oluşan bu yastıklar sürekli iç basınç ile dengelenir. Böylece çapraz yönde üzerine gelen rüzgar yüklerini transfer edebilir. Kar yükü bu tasarımda ele alınmamıştır. Yastıkların iç basıncı çatıya monte edilmiş olan ses yalıtımlı vantilatörler ile sağlanır. Çatı ani bir fırtına ve yağmur durumunda etkinliğin kesilmemesini sağlar.



Şekil 4.68 Hareketli çatının hareketi [Ishii, 2000]

4.12 Zaragoza Arena



Şekil 4.69 Zaragoza Arena, İspanya [Escrig, 2000]

İspanya'nın Zaragoza şehrinde bulunan boğa güreşi arenasını, 1988 yılında üzerinin kapatılması kararı alındığı zaman yılın büyük bir bölümünde kullanılmıyordu. Yine de yılda yaklaşık 24 gün açık kalması gereken bu arena için Jörg Schlaich bir hareketli çatı önerisinde bulundu.

Yapı özellikleri

Yer _____ Zaragoza, İspanya

Tamamlanma yılı _____ 1988

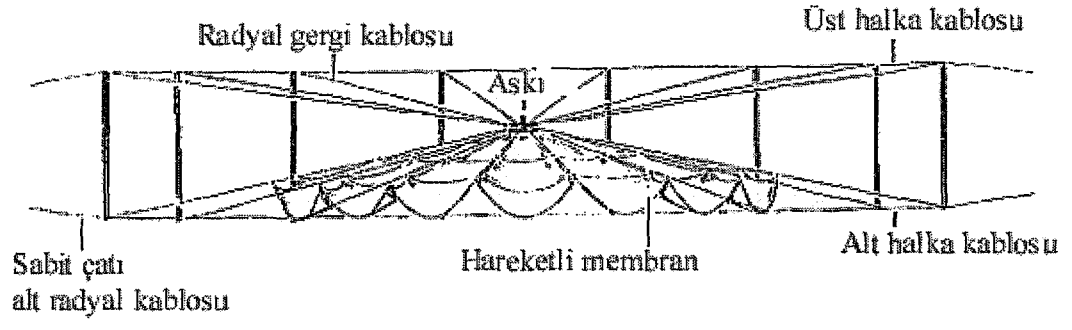
Mimar _____ Schlaich Bergermann and Partner

Strüktürel Tasarım(Çatı) _____ Schlaich Bergermann and Partner

Sistem _____ Merkezde toplanan membran hareketli çatı

Kullanım _____ Boğa güreşi ve çok amaçlı arena

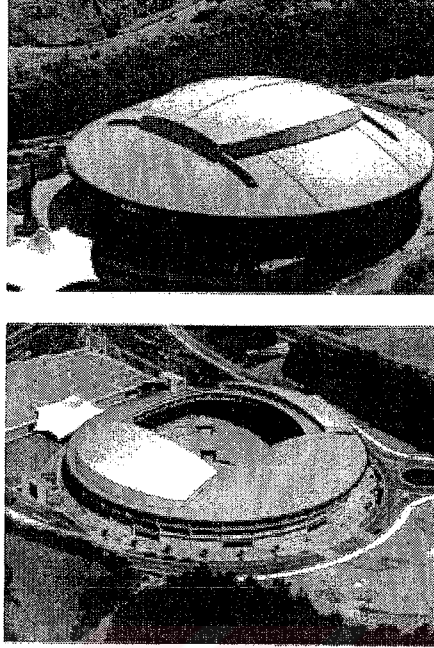
Çatının altında bulunan 18. yüzyıldan kalma yapının etkilenmemesi için hafif bir çatı tasarlanmıştır. Bu nedenle 82.7 m çapındaki dairesel yapının üzeri kablo ağı ve membran ile örtülmüştür. Rijit, kalıcı bir örtü seyircilerin üzerini örterken ortada bulunan 36 metre çapındaki örtü ise geri çekilebilir bir özelliğe sahiptir. Ortadaki PVC kaplı polyester kumaş aynen bir perde gibi geriye çekilebilmektedir. Bu proje diğer ağır hareketli çatılarla bir kontrast oluşturmaktadır.



Şekil 4.70 Zaragoza Arena membran hareketli çatısı [Ishii, 2000]



4.13 San Sebastian, İspanya’da Çok Amaçlı Merkez



Şekil 4.71 Çok amaçlı merkezin çatısı açık ve kapalıyken [Apezteguia, 2001]

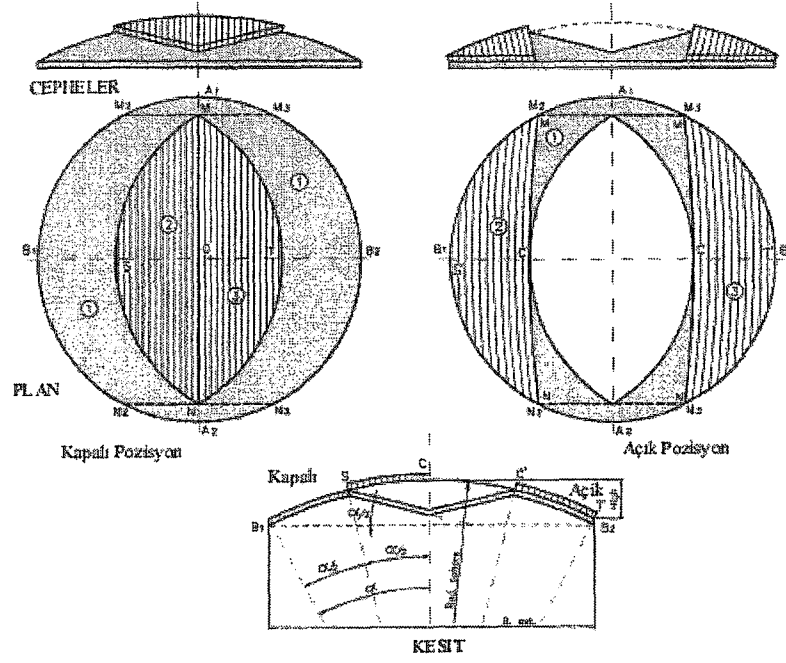
San Sebastian, İspanya’da 1999 yılında 101.3 metre çapındaki bir boğa güreşi arenasının üstünün örtülmesinde göz kapağı şeklinde açılıp kapanan bir hareketli çatı kullanılmıştır.

Buradaki hareketli çatı üç temel gereksinimi karşılamak zorundaydı:

1. Çatı açıklığı tam olarak arenanın ortasına yerleştirmeli ve aktivitenin yapıldığı alanın üzerini açmalıdır. Sabit çatı ise tribünlerin üstünü örtmelidir. Seyircilerin kendilerini açık havada hissedebilmeleri için açıklık en azından arenanın çapının yarısı kadar olmalıdır.
2. Açılış ve kapanışta kullanılan hareketli bölümler sabit bölümün üzerinde hareket etmeli ve hiç bir şekilde komşu alanları işgal etmemelidir.
3. Çatı içerideki iklimlendirmeye izin verecek şekilde yapılmalıdır. Membran kullanımı bu nedenle kısıtlanmıştır.

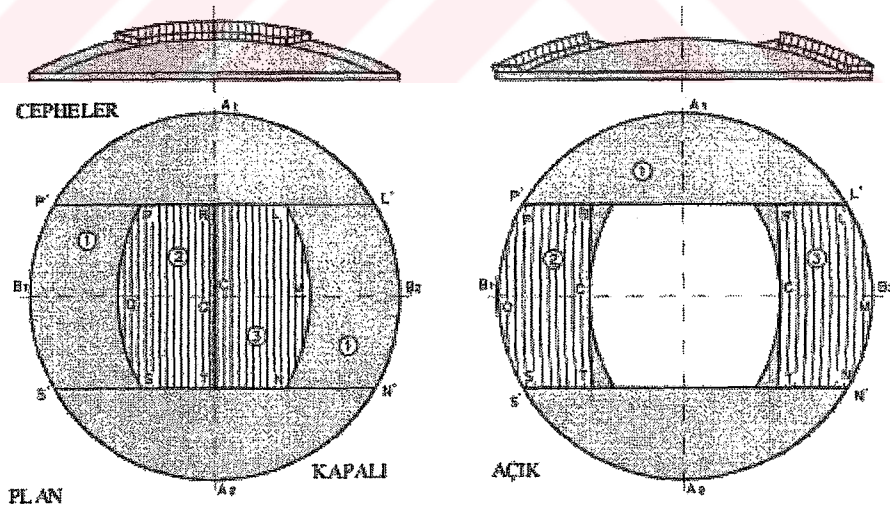
Çatının planda yuvarlak olması ve strüktürel ekonomiklik nedeniyle kubbe şekli ön plana çıkmıştır.

Çatı ilk başta Şekil 4.72’deki gibi kurulmuştur.



Şekil 4.72 İlk tasarlanan proje [Apezteguia, 2001]

Bu kurulum çatı açıklığına oval bir görünüm kazandırmıştır. Fakat pratikte bu oval halkanın fazlalıklarından ucundan keserek kurtulmak gereklidir. Bu durumun getirdiği bazı avantajlar vardır:



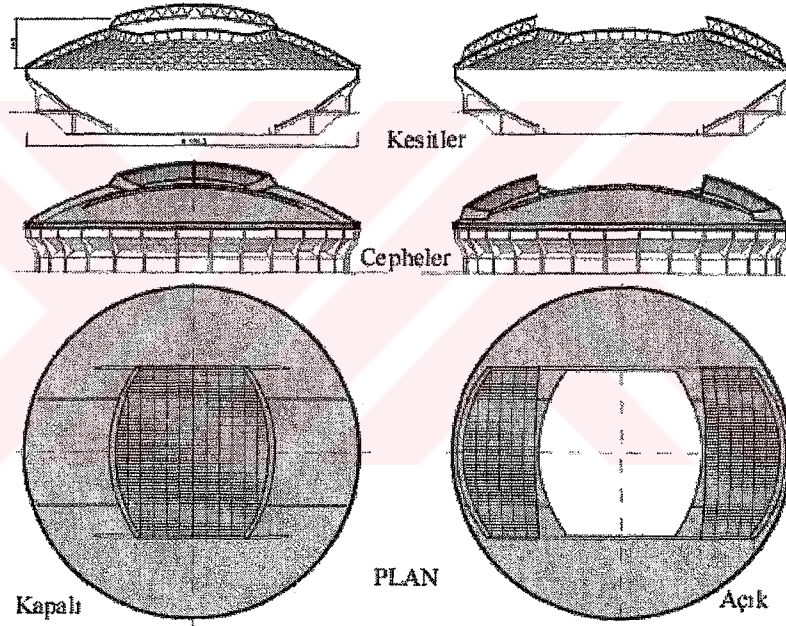
Şekil 4.73 Uçlar kesildikten sonraki proje [Apezteguia, 2001]

- Açıklığın kenarında daha homojen sıkıştırılmış bir halka oluşturduğundan yapım kolaylaşır.

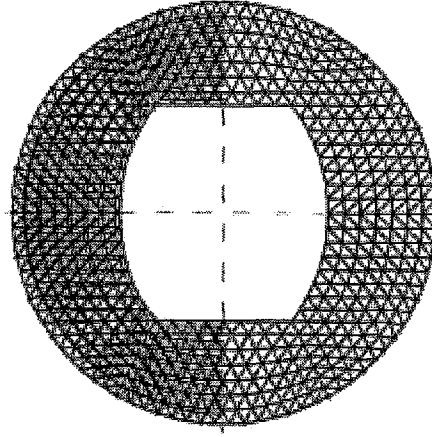
- Hareketli panellerin geçtiği açıklığı azaltır ve işletilmesini, hareket ettirilmesini kolay hale getirir.
- Son olarak, her ne kadar açıklık boyutu azalsa da, söz konusu olan alan merkezden uzak olduğu için önemli değildir.

San Sebastian'daki çok amaçlı merkez

Sabit çatı strüktürü çift tabakalı bir uzay çerçeveden oluşmaktadır. Bu tür strüktürün iki avantajı vardır. Birincisi, çatı parçalarının üzerine gelen yüklerin parça birleşim noktasında yoğunlaşmasından meydana gelen yerel eğilmeyi karşılayabilmesidir. İkincisi ise, strüktürün iç ve dış konturlarındaki uyumsuzluktan kaynaklanan kompleks strüktüre uyum gösterebilmesidir.



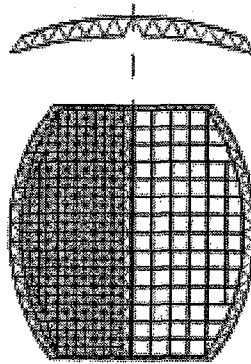
Şekil 4.74 Uygulama projesi [Apezteguia, 2001]



Şekil 4.75 Çatı çerçevesi [Apezteguia, 2001]

Şekil 4.76'da planı görülen hareketli kısım ise sabit kısmın üzerinde uzay çerçeveden oluşturulmuştur. Bu durumda seçilen strüktürel tipoloji ile aşırı hafif bir strüktür elde edilmiştir. Hem sabit bölümün uzay kafesi hem de hareketli bölümün uzay kafesi ORTZ strüktür sistemiyle yapılmıştır. Bu sistem büyük çatılarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

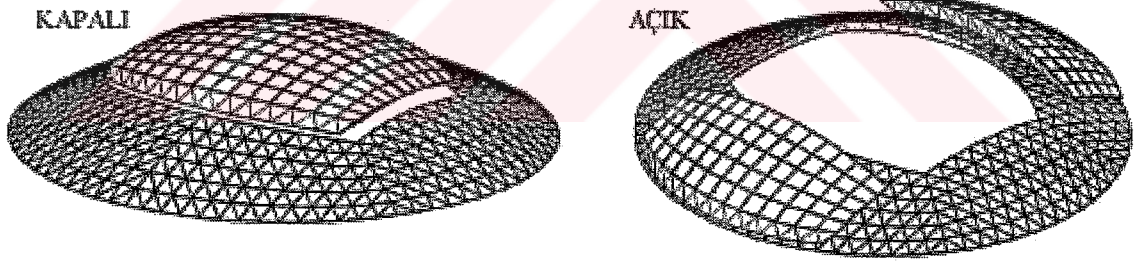
Her parça yaklaşık olarak 1,300 m²'lik bir alanı örtmekte ve dört noktadan sabit bölüm üzerinde bulunan parçalar üzerindeki hareket mekanizması tarafından desteklenmektedir. Bu destek noktalarından ikisi parçaların yan tarafında bulunur. Diğer iki destek noktası ise her parçanın arka tarafında bulunmakta ve hareket ile dikey tutma elemanları içermektedir. Bu elemanlar rüzgarın kaldırma etkisine karşı koymaları için yerleştirilmişlerdir. Çatı kaplaması için iki tür sistem kullanılmıştır. Sabit bölüm için kullanılan opak sistem üç tabakadan oluşmaktadır. En alt örtü çelik profilli örtüden oluşmaktadır. Orta tabaka ise yalıtım malzemesinde oluşmaktadır. En dış tabaka ise "situ" adı verilen bir malzeme içinde eritilerek su geçirmezliği güçlendirilmiş PVC kaplı polyester kumaştan oluşmaktadır. Hareketli kısım ise alüminyum profiller arasına yerleştirilen polikarbonat örtü ile örtülmüş ve yarısaydam bir görünüm kazandırılmıştır.



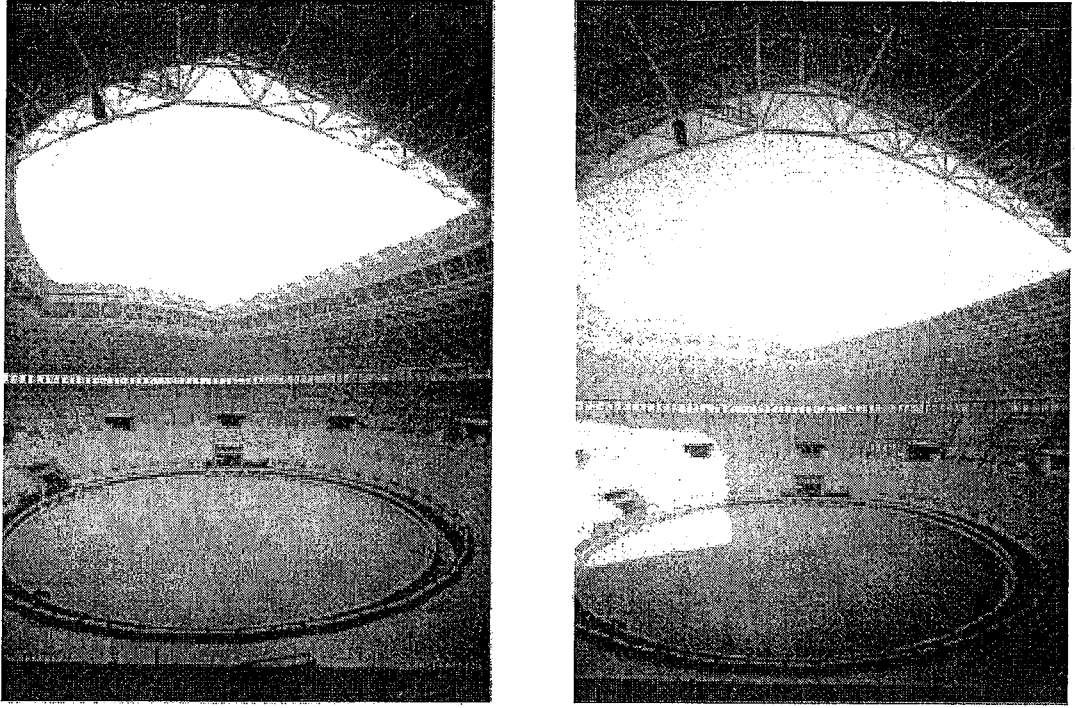
Şekil 4.76 Hareketli parçanın planı ve kesiti [Apezteguia, 2001]

Teknik Özellikler

Destekler arası mesafe _____	101.3 metre
Destekler üzerindeki toplam yükseklik _____	20.5 metre
Merkezi açıklık _____	50 x 52 metre
Strüktürel tipoloji _____	Küresel kubbe
Strüktürel bağlantı elemanları _____	ORTZ uzay kafes
Çelik strüktürün toplam ağırlığı _____	320 ton
Hareketli elemanların ağırlığı _____	120 ton
Hareket şekli _____	Dairesel yükselme-alçalma
Hareket sistemi _____	Dişliler ve çubuklar
Hareket üniteleri _____	8 adet motor
Açılış/kapanış süresi _____	12 dakika

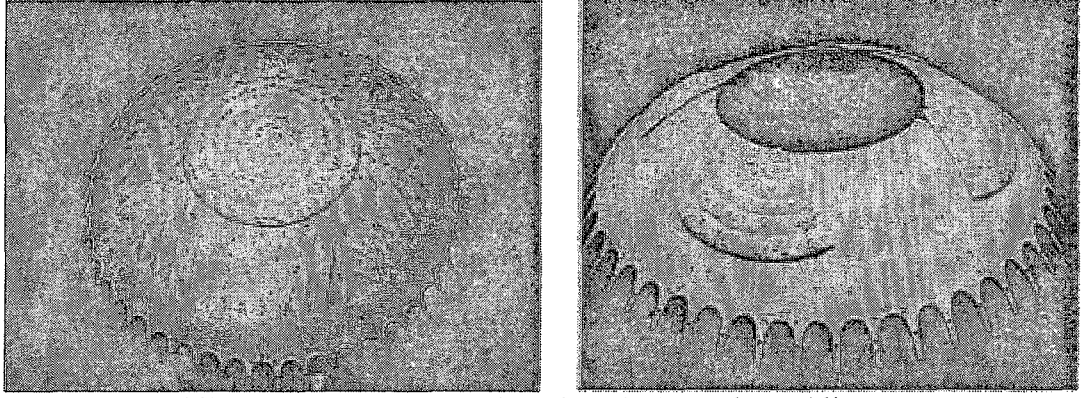


Şekil 4.77 Çatı perspektif görünüş [Apezteguia, 2001]



Şekil 4.78 Arena'nın içten görünüşü [Apezteguia, 2001]

4.14 Pusan Dome



Şekil 4.79 Pusan Dome açık ve kapalı durumlar [Ishii, 2000]

Pusan Dome hareketli çatısı o güne kadar yapılmış olan ağır çelik kirişli hareketli çatılardan farklı olarak hafif bir alternatiftir. 50 kg/m^2 ağırlığıyla daha önceki ağır strüktürlerin 1/6'i ağırlığındadır. Ancak, 2002 Dünya Futbol Şampiyonası için tasarlanan Pusan Dome'un hareketli çatısı yetiştirilemediği için yapılamamıştır.

Yapı özellikleri

Yer _____ Pusan, Kore

Tamamlanma yılı _____ 2000

Mimar _____ Space Group, Kore

Strüktürel Tasarım _____ Weidlinger Associates

Sistem _____ Radyal hareket ile üstüste binen çatı panellerinden oluşmuş hareketli çatı

Kapanış süresi _____ 15 dakika

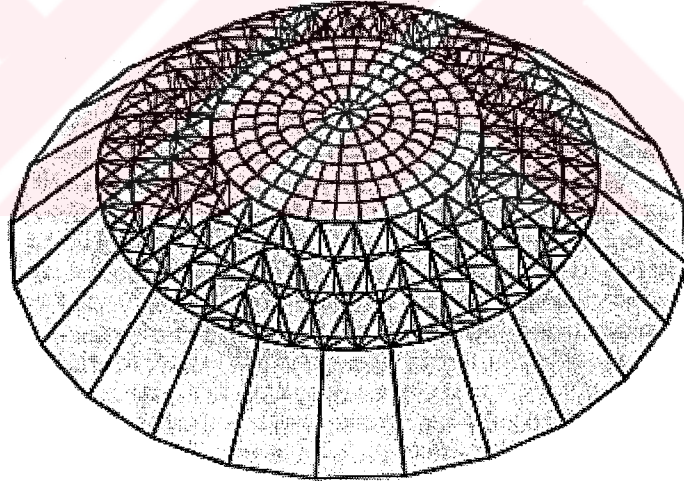
Kullanım amacı _____ Futbol sahası

Seyirci kapasitesi _____ 80,000

Pusan Dome'un strüktürü üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm 310 metre çapındaki taban alanına ışınsal olarak yerleştirilmiş zürafa şeklindeki betonarme kolonlar ve tribünlerin üstünü örten betonarme kabuktan oluşmaktadır. 43 m yüksekliğe kadar çıkan bu kolonlar ortada 236 m çapında bir açıklık oluşturmaktadır. Bu açıklığın kenarından çıkan 54 m genişliğinde bir halka şeklindeki gergi kubbe ikinci bölümü oluşturur. Bu kubbe sabit bir çatıdır ve membran ile kaplanmıştır.

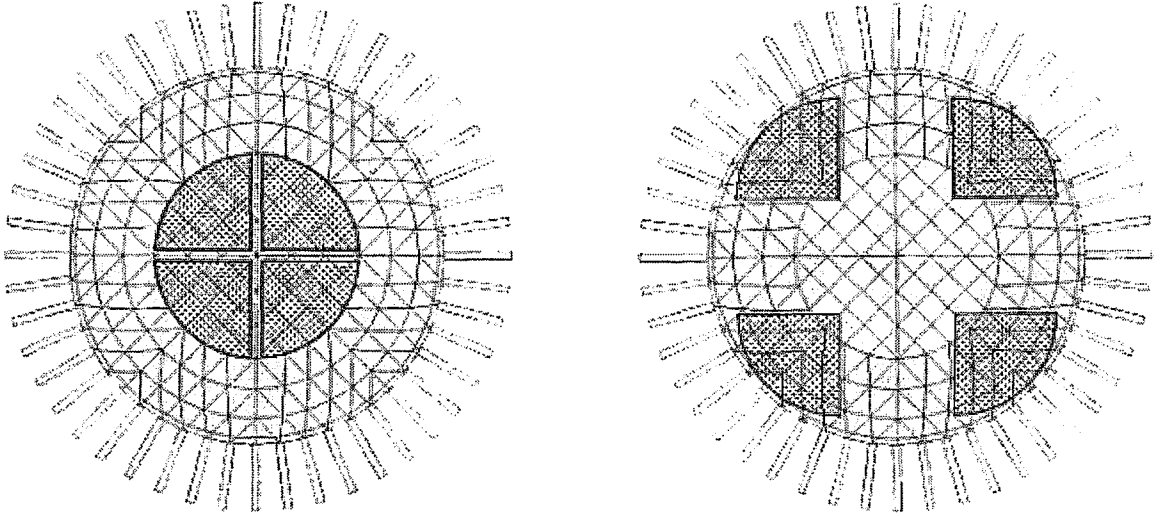
Geriye kalan 128 m çapındaki açıklık Tensegrity* ile geçilmiştir. Bu strüktürün üstü 4 adet yaprak şeklinde hareketli membran panel (65 m x 90 m) ile kapanmaktadır. Hareketli parçaların toplam alanı 12,900 m²'dir. Burada kullanılan membran PTFE kaplı cam lifidir.

Bu hareketli bölüm üst kablo kirişlere bağlı özel olarak tasarlanmış raylar üzerinde hareket etmektedir. Hareketli kesim rüzgar yüklerinden daha hafif olduğu için raylar üzerindeki tekerlekler, kanal şeklindeki rayların içinde bulunmaktadır. Böylece rüzgarın kaldırma kuvvetine ve yerçekimine karşı önlem alınmıştır. Membranı desteklemek için hareketli kısımlar birbiriyle bağlı kirişlerden yapılmış ve bu kirişlerden kirişlere geçen kemer şeklindeki borularla bir eyer yüzeyi elde edilmiştir. Hareket zincirle çekme yöntemi ile sağlanır. Zinciri hareket ettiren motorlar hareketli parçanın üstündedir. Zincir ise rayların içinde bulunmaktadır. Her tekerlek üzerinde bulunan elektrikli motorlar ile çatı 15 dakika içinde açılmaktadır. Çatının açılma veya kapanma işleminin gerçekleştirilmesi için rüzgar hızının 10 m/sn altında olması gerekmektedir. Eğer rüzgar bu hızın üzerindeyse işletim sistemi otomatik olarak durur.

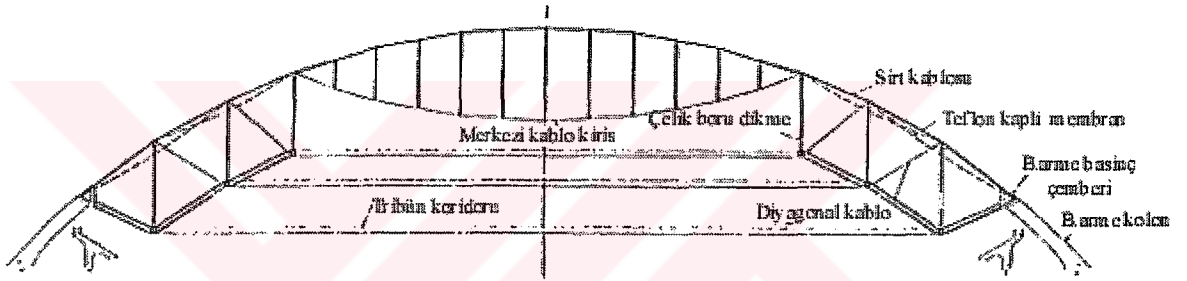


Şekil 4.80 Perspektif [Levy, 1995]

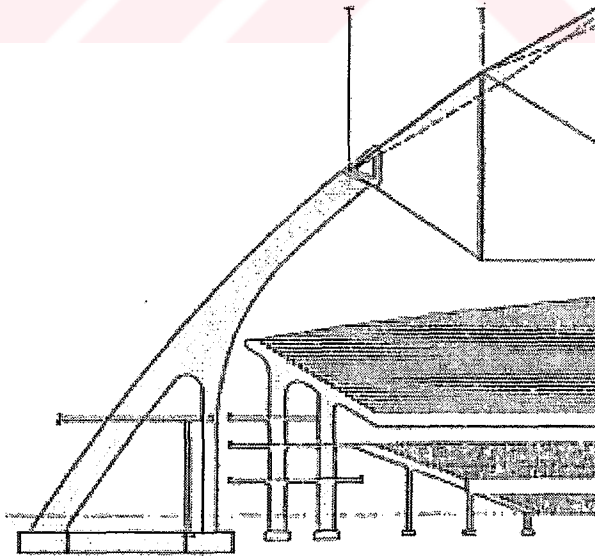
* Çubuklar ve kablolardan oluşturulan hafif bir strüktür tipi.



Şekil 4.81 Pusan Dome açık ve kapalı durumlarda çatı planı [Ishii, 2000]

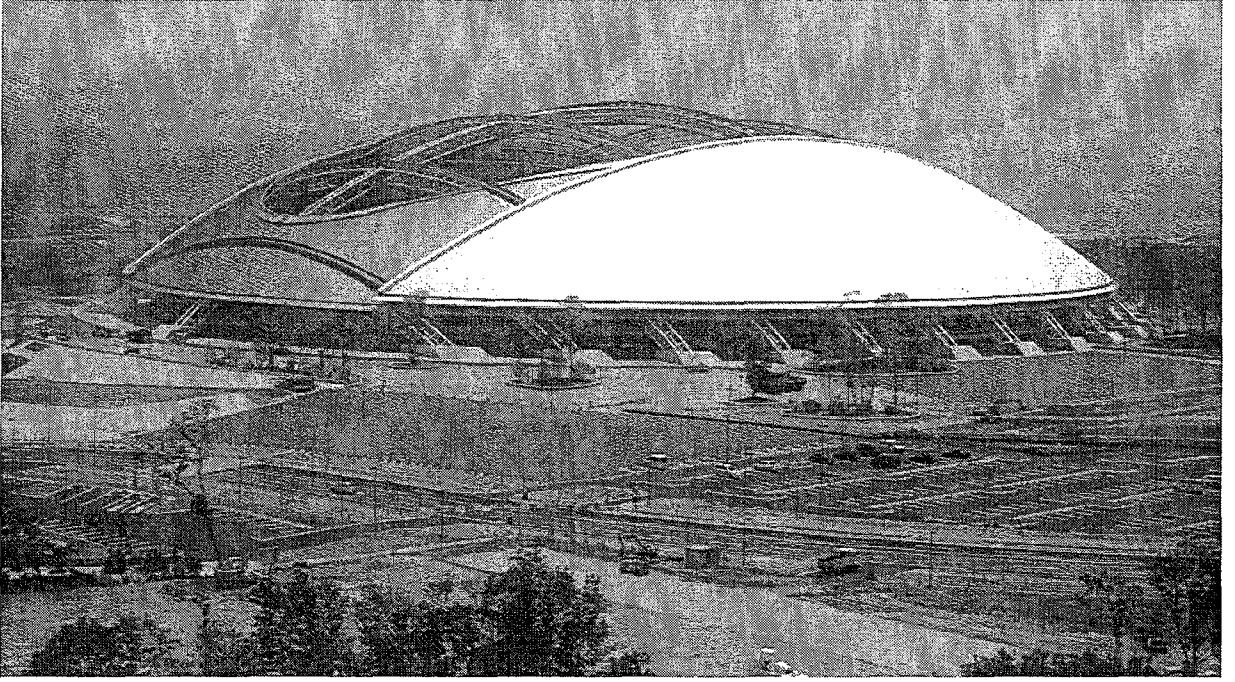


Şekil 4.82 Pusan Dome kesit [Ishii, 2000]



Şekil 4.83 Zürafa şeklindeki kolon ve kablo strüktür kesiti [Ishii, 2000]

4.15 Ohita Dome



Şekil 4.84 Ohita Dome [Tasarım, 2002b]

Japonya'daki Ohita Dome esas olarak futbol amacıyla kullanılmaktadır. 2002 Dünya Futbol Şampiyonası için yapılan Ohita Dome, hareketli çatısı sayesinde aynı zamanda konserler ve gösteriler gibi etkinlikler için de kullanılabilir. Küre şeklindeki çatı saha-zeminin güneşten faydalanması için açılır.

Ohita Dome'da çatıyı oluşturan ana çerçeve sabit dururken, hareketli hafif paneller çerçeve üzerinde hareket eder. Böylece yapının hem hafif hem de ekonomik olması sağlanmıştır.

Yapı Özellikleri

Yer _____ Ohita, Japonya

Tamamlanma yılı _____ 1998

Mimarlar _____ K.Kurokawa & Takenaka Corp.

Mühendisler _____ K.Kurokawa & Takenaka Corp.

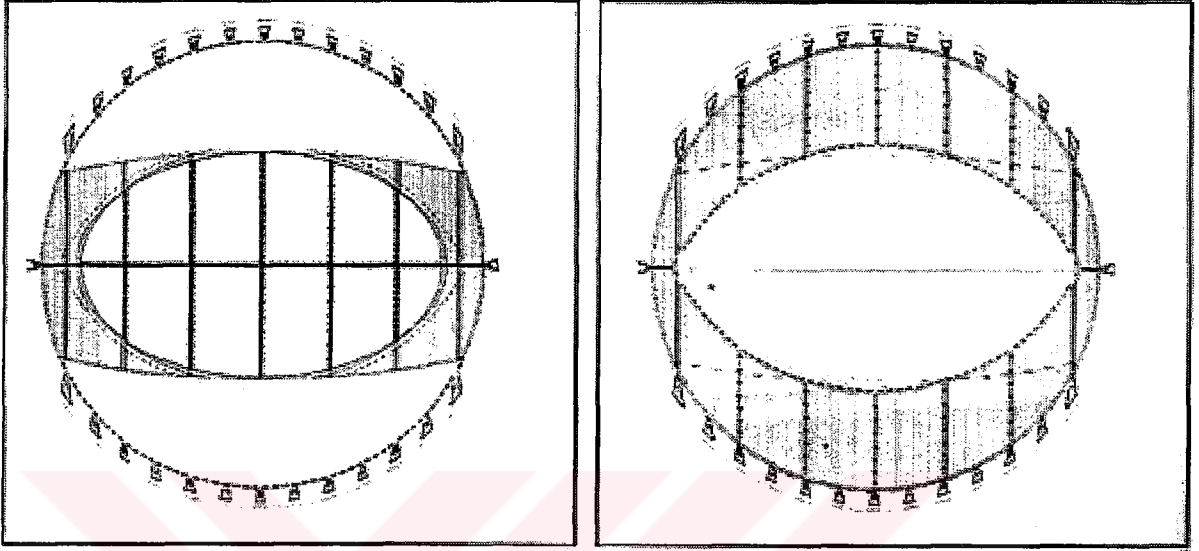
Sistem _____ Sabit ana çerçeve üzerinde hareket eden panellerle oluşturulmuş hareketli çatı

Kapanış süresi _____ 15 dakika

Kullanım amacı _____ Futbol

Seyirci kapasitesi _____ 43,000

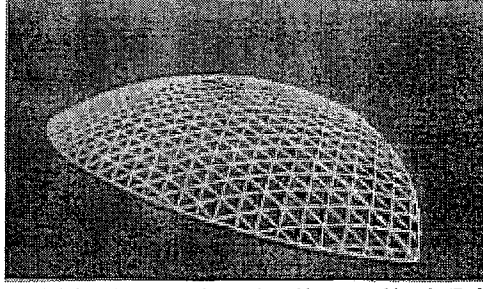
25 milyar ¥ maliyete sahip Ohita Dome esas olarak futbol amacıyla kullanıldığından FIFA standartlarını karşılamaktadır. Bu nedenle tribünlerin 90%'ının üstü sabit çatıya sahiptir. Hareketli çatı ise 80% oranında açılır ve gölgesi sahanın üzerine minimum oranda düşer. Aynı zamanda rüzgar etkisi de azdır. Kapalı durumdayken su geçirmezlik sağlanmıştır.



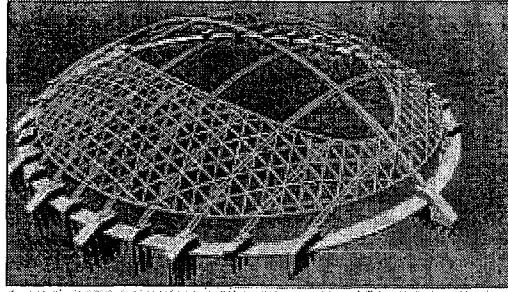
Şekil 4.85 Ohita Dome çatı planı [Ishii, 2000]

Ohita Dome'un çatı çerçevesi, merkezinde 274 m açıklığa sahip bir ana kemer çerçeve ile buna dik (çatı hareket yönü), 40 metre aralıklarla yerleştirilmiş kemer çerçevelerden oluşmuş küresel bir çelik strüktürdür. Çatı strüktürünün tamamı bölünmemiştir, fakat çatı strüktürü ana çerçeve ile sağlanmış ve hareketli paneller bu çerçeve üzerinde hareket etmektedir. Bu yöntemde, çatı çerçeve strüktürü sabittir ve hareketli çatı daha ekonomik ve hafif olarak yapılabilir. Ana çerçeve aydınlatma elemanları ve kameraların yerleştirilmesi için kullanılmaktadır. Hareketli paneller, bu yay şeklindeki çerçeve üzerinde kablo ile çekme yöntemiyle hareket ettirilmektedir.

Ana kemer çerçeve üçgen şeklinde oluşturulan çelik borulardan oluşan bir kiriştir. Sabit çatı strüktürü titanyum plaklarla kaplanmıştır. Ana çerçeveye dik kemerler üzerinde hareket eden paneller çelik çerçeveli üçgen kafes kirişe sahip membranlardan oluşturulmuştur. Hareketli panellerde kullanılan politetrafloro-etilen kaplı cam lifi membran %25 yarı saydamlığa sahiptir ve çatı kapalıyken bile içerisinin aydınlık olmasını sağlar.



Şekil 4.86 Ohita Dome hareketli panelleri [Ishii, 2000]

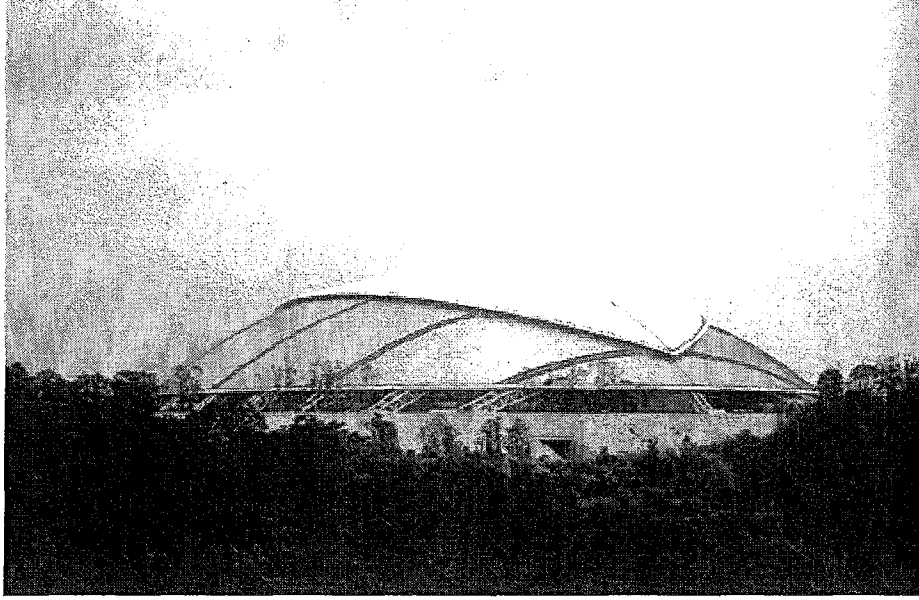


Şekil 4.87 Ohita stadyumu çerçeve sistemi [Ishii, 2000]

Hareketli çatı panelleri çatının eğik yüzeyinde dikey yöndeki kemerler arasında kablo ile çekilerek hareket ettirilir. Açık durumdayken kemerlerin ortada kalması her ne kadar görsel bir soruna neden olsa da ekonomik verimliliği nedeniyle tercih edilmiştir. Bakım ve işletim için gerekli olan insan gücünü en aza indirmek için yüksek derecede güvenilir bir kablo ile çekme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem birçok uygulamada daha kullanılmıştır.

Hareketli çatı açılış kapanış sırasında peyzajı bozmadan sabit çatının düzgün küresel yüzeyi boyunca hareket eder. En fazla 20 m/sn hızında rüzgar altında çalışabilen bu çatının açılması/kapanması için maksimum 20 dakikalık bir süre gerekmektedir. Fırtına gibi spor etkinliklerinin yapılmasını engelleyen meteorolojik olaylar meydana geldiği zaman, hareketli çatı sabit çatı strüktürün üzerine çekilerek kapatılır. Böylece, rüzgara açık alan en aza indirgenir ve rüzgar yükü azaltılmış olur. Ayrıca çatı kapalıyken, 40 metre açıklığın ortasında sabit çatı ile hareketli paneller arasında kilitler kullanılır. Böylece, rüzgardan kaynaklanan eğilme momenti en aza indirgenir.

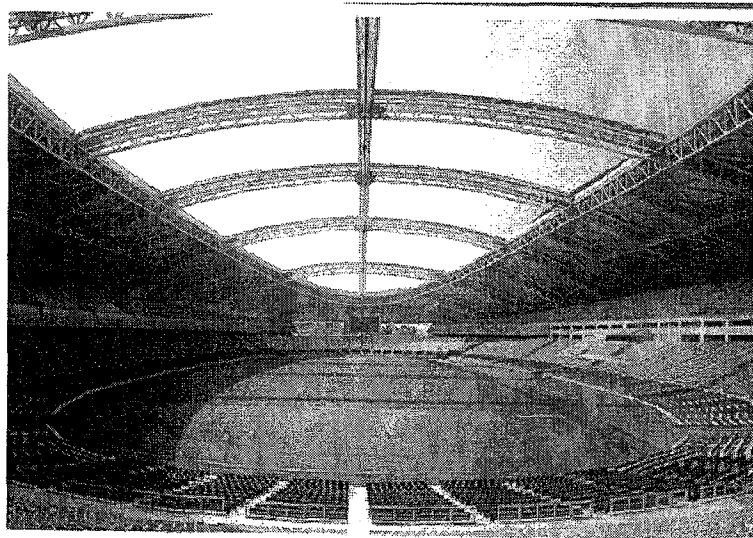
Eğer bir etkinlik sırasında deprem veya elektrik kesintisi meydana gelirse, yapının içindeki durum görüntü odasındaki çeşitli kameralarla görüntülenir. Eğer gerekli görülürse, dört aşamalı bir hata-emniyet sistemi uygulanır. Bu hata emniyet sistemi şok emici, iki adet hareket frenleme sistemi ve raylardaki frenlerden oluşmaktadır.



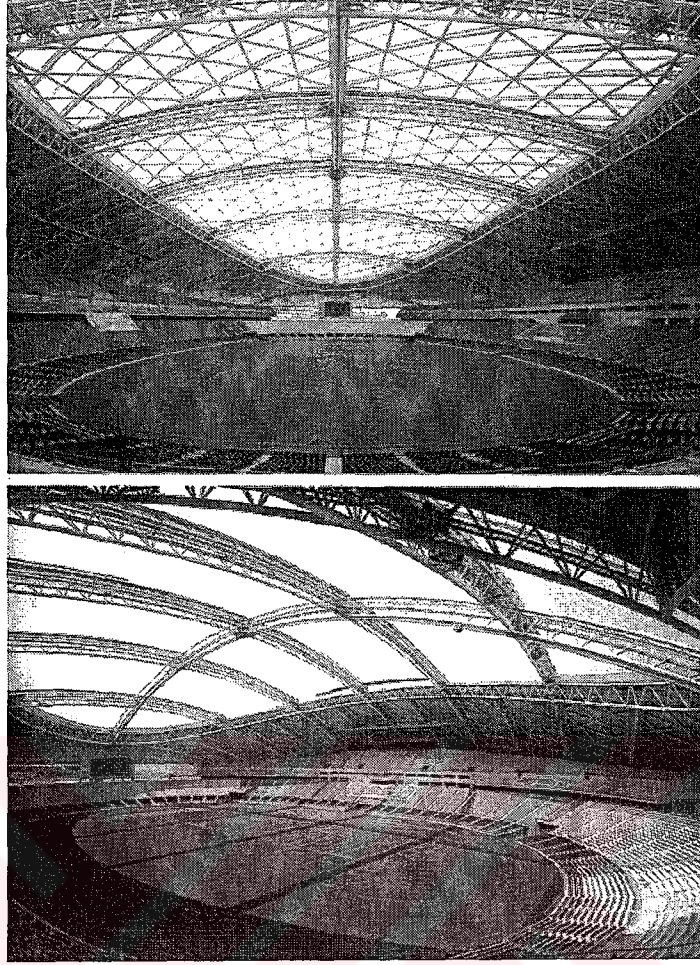
Şekil 4.88 Çatı kapalı pozisyonda [Tasarım, 2002b]

Tribünler ve alt strüktür betonarmeden oluşmaktadır. Kirişlerde ve merdivenlerde öngerilmeli elemanlar kullanılmıştır. Çatı ve tribünler rijit ve sıkı bir zemin tarafından desteklenmektedir. Zeminde direkt temellerle desteklenen bu strüktür, dolgu alanlarda ise yerinde dökme kazık temellerle desteklenmiştir.

Kemer çerçevenin ayağındaki itme kuvveti temel kısmında sürtünme kuvvetiyle, kazık temel kısmında ise yatay dirençle karşılanmaktadır. Değişik temellerdeki itme kuvvetini karşılamayı sağlamak ve sismik dalgaların yayılmasındaki aşama farklılıklarıyla başa çıkmak için her temel ile ana kemer depreme karşı güvenliği arttırmak için çekme halkalarıyla birbirlerine bağlanmıştır.

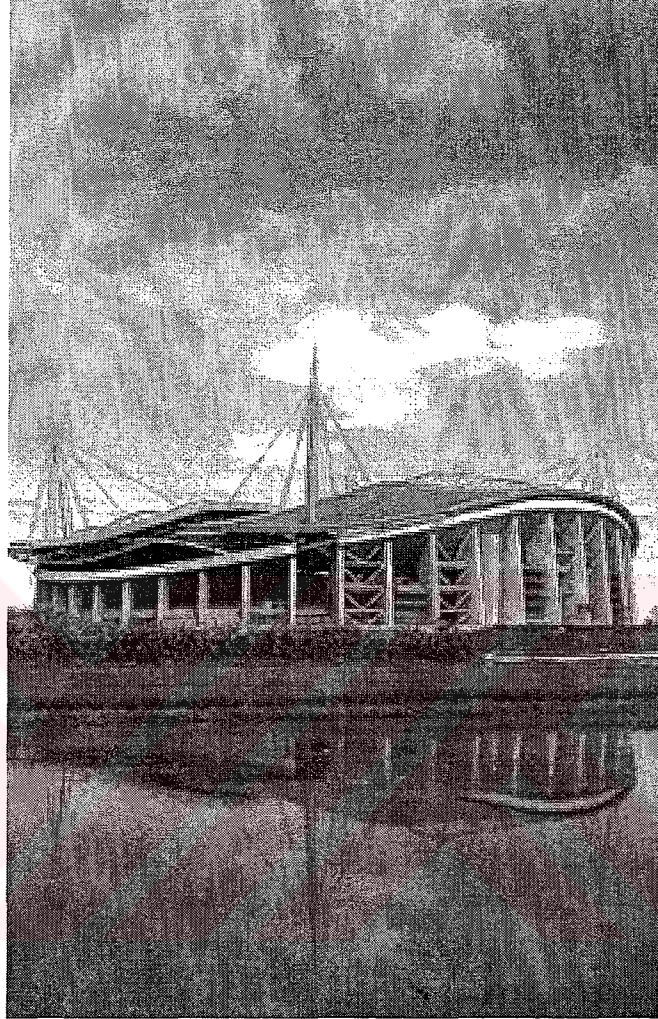


Şekil 4.89 Ohita Dome iç görünüş [Tasarım, 2002b]



Şekil 4.90 Çatının açık ve kapalı durumları [Tasarım, 2002b]

4.16 Toyota Stadyumu



Şekil 4.91 Toyota Stadyumu'nun genel görünüşü [Tasarım, 2002a]

Toyota Stadyumu başta futbol olmak üzere çeşitli sportif etkinlikler için tasarlanmış 45,000 kişi kapasiteli bir yapıdır.

Hareketli çatı açık durumdayken güneşten maksimum faydalanmak ve rüzgarı bloke etmek için stadın kuzey tarafında tutulmaktadır. Güneye doğru genişleyerek sahanın %100'ünü örter. Bu stadyumun çatısı çift tabakalı pnömatrik membrandan oluşmakta ve hava girmesi ve çıkmasıyla açılıp kapanabilmektedir. Bu çatı hafiflik ve ekonomik verimliliğe iyi bir örnektir.

Yapı özellikleri

Yer _____ Toyota, Aichi, Japonya

Tamamlanma yılı _____ 2001

Mimar _____ Kisho Kurokawa Architects & Associates

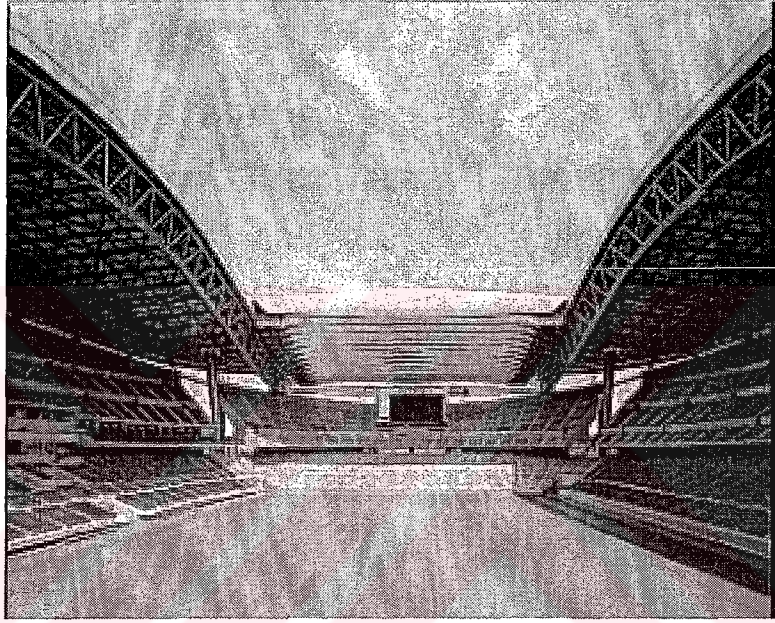
Mühendisler _____ Ove Arup & Partners Japan

Sistem _____ Pnömatik katlanabilir hareket

Kapanış süresi _____ 50 dakika

Kullanım amacı _____ Futbol

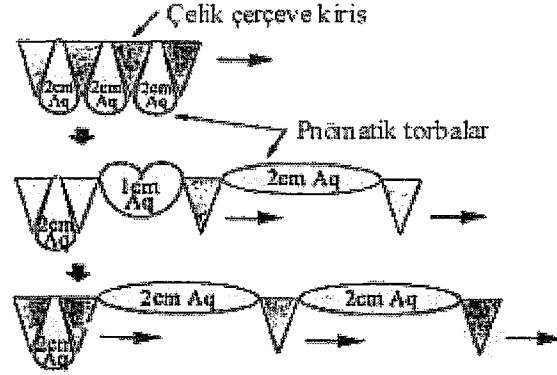
Seyirci kapasitesi _____ 45,700



Şekil 4.92 Toyota Stadyumunun içeriden görünüşü [Tasarım, 2002a]

Toyota Stadyumu üzerindeki 224 x 90 metre ölçülerindeki hareketli çatı genelde açıktır ve stadın kuzey tarafında toplanmaktadır. Yılda ortalama 75 kere açılması/kapanması düşünülerek tasarlanmıştır. Hareketli çatı, strüktürel bir çerçeve olarak, sabit çatı kirişleri arasında 90 metrelik bir açıklığı geçen 14 adet hareketli üçgen kafes kirişten oluşmaktadır. Bu kirişler arasında 13 adet çift tabakalı membran ve katlanabilir bağlantı kirişleri bulunmaktadır. Çatı bu membranlara hava üflenmesiyle veya içinden hava çekilmesiyle katlanarak açılıp kapanmaktadır. Bu çift tabakalı membranların her birine hava torbası adı verilebilir. Her torba 13.5 metre genişliğinde ve 73 metre uzunluğundadır. Membranlar içine yerleştirilmiş kablolar sayesinde rahatlıkla yukarı aşağı hareket edebilmektedir. Bir dişli ve dişli çubuk sistemi kirişlerin her iki ucuna da yerleştirilerek hareket sağlanmıştır. Katlanabilir kirişlere bağlı hareketli kirişler yükleri uzunlamasına karşılamakta ve açılış kapanış esnasında hava torbalarının stabilizasyonunu sağlamaktadır. Çatı açık durumda UV ışınlarına maruz kalmayacağından ve esnekliğinden dolayı membran malzeme olarak PVC-Polyester

seçilmiştir. Membran strüktürü dengede tutabilmek için hareket esnasında ve kapalıyken iç hava basıncı 20mmAq, toplanmış durumda ise 10mmAq'dir.

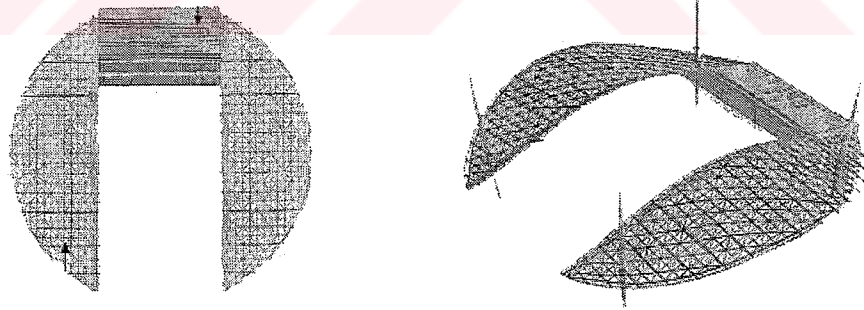


Şekil 4.93 Açılış – kapanış aşamaları [Jensen, 2001]

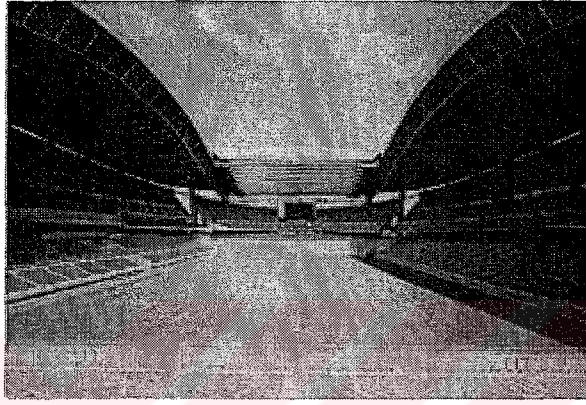
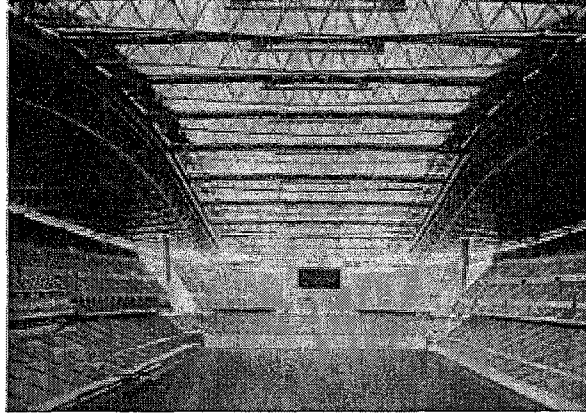
Hareketli Çatının bileşenleri ve fonksiyonları:

- (1) Hareketli kafes kirişler: her kiriş 92 metre uzunluğundadır ve kiriş, merkezinden alınan bir kesitte 3,300 mm genişliğe ve 6,000 mm yüksekliğe sahiptir. 14 adet kafes kiriş hava torbalarından kaynaklanan kuvvete ve diğer dış kuvvetler karşı koymaktadır. Üfleyiciler (5) her kirişin merkezine yerleştirilmiştir. Çekiciler (9), bitiş yayı (2) ve döndürme mekanizması her kirişin uçlarına yerleştirilmiştir. Üst yüzey ise yağmur suyunun atılması için bir dere görevi görmektedir.
- (2) Bitiş Yayları: bu yaylar hareketli her kirişin her iki ucuna da yerleştirilmiştir. Bu yaylar bir deprem esnasında hareketli çatı ile sabit çatı arasındaki deformasyon farkının karşılamaktadır.
- (3) Örtü: örtü çatı açık durumdayken hava torbaları arasına yağmur suyu toplanmasını engellemektedir.
- (4) Hava torbaları: 13.5 x 75 metre ölçülerindeki bu torbalar çift tabakalı membran strüktürden oluşmaktadır. Membran olarak PVC polyester kumaş kullanılmıştır. Buradaki amaç katlanabilir olması ve açık durumdayken UV ışınlarına maruz kalmamasıdır. Bu torbalardan 13 adet vardır. Her torbanın iç hava basıncı 20 mmAq.
- (5) Üfleyiciler: üfleyiciler her hareketli kirişin orta noktasında bulunmaktadır. Her yere iki tip üfleyici konmuştur. Birincisi sabit basıncı korurken, ikincisi açılma veya kapanma sırasında meydana gelen basınç farklarını karşılamaktadır.

- (6) Kablolar: kablolar çatı açılırken membranın üst tarafındaki katlanma işlemini sağlar. Kabloların her iki ucuda bağlantı kirişlerine bağlıdır. Kablo çapı 40 mm'dir.
- (7) Bağlantı kirişleri: 26 adet bağlantı kirişi hareketli kafes kirişlerin uçlarına yakın yerleştirilmiştir. Bu kirişler hava torbalarının ve kabloların oluşturduğu yatay uzunlamasına yüklerle karşı koyan bir strüktürel çerçeve oluşturmaktadır. Katlanabilir olan bu bağlantı kirişleri hava torbalarının katlanma hareketini sağlar. Bu kirişlerin içlerine yerleştirilen güç silindirleri hem bu kirişleri hem de kendilerini kaldırabilir. Bunlar çekiciler tarafından hareket anında senkronize olarak kontrol edilir.
- (8) Kayar kapılar: bu kapılar, bağlantı kirişlerinin geometrisi değiştiğinde kirişlerin sonlarında ortaya çıkan boşlukları kapatmaya yarar. Bağlantı kirişleri ile senkronize halde hareket eder.
- (9) Çekiciler: 28 adet çekici hareketli kafes kirişlerin her iki ucunda da bulunur. Dişli çubuk sistemiyle kendi kendine hareket etme kapasitesine sahiptir. Sabit çatının her iki tarafında bulunan kaş şeklindeki kemer kirişler üzerinde tekerlekler yardımıyla hareket eder.



Şekil 4.94 Çatının planı ve izometrisi [Tasarım, 2002a]



Şekil 4.95 Çatının açık ve kapalı pozisyonları [Tasarım, 2002a]

Hareket aşaması:

0.adım: açık durum

1.adım: güney taraftaki T1 kirişi harekete başlar

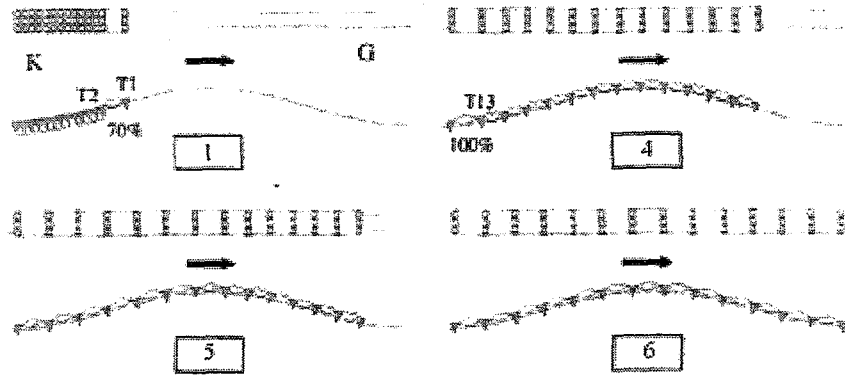
2.adım: T1 kirişi 9.5 m hareket edince (tam uzamış halinin %70'i), T2 kirişi hareket etmeye başlar

3.adım: aynı şekilde, her kiriş kendisinden önceki kiriş %70 açılım seviyesine geldiğinde harekete başlar

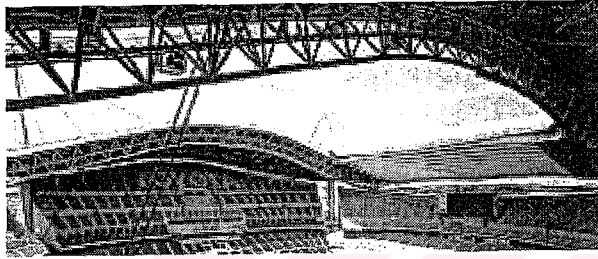
4.adım: T13 kirişi tamamen uzayana kadar açılır

5.adım: kirişler T12'den T1'e doğru tamamen uzamak üzere açılır

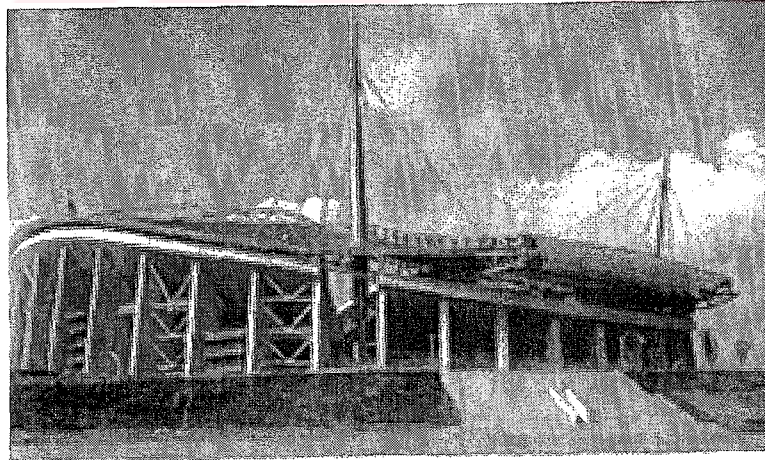
6.adım: tamamen kapalı



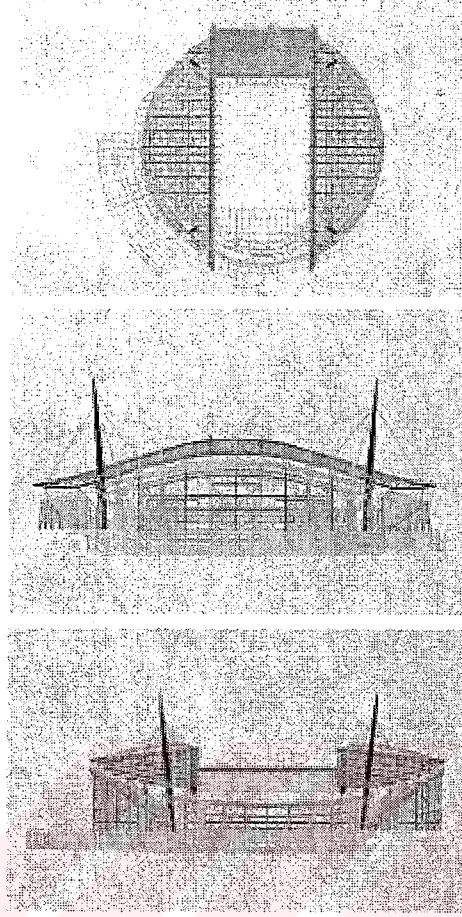
Şekil 4.96 Çatının açılıp kapanma aşamaları [Kayashima vd., 2001]



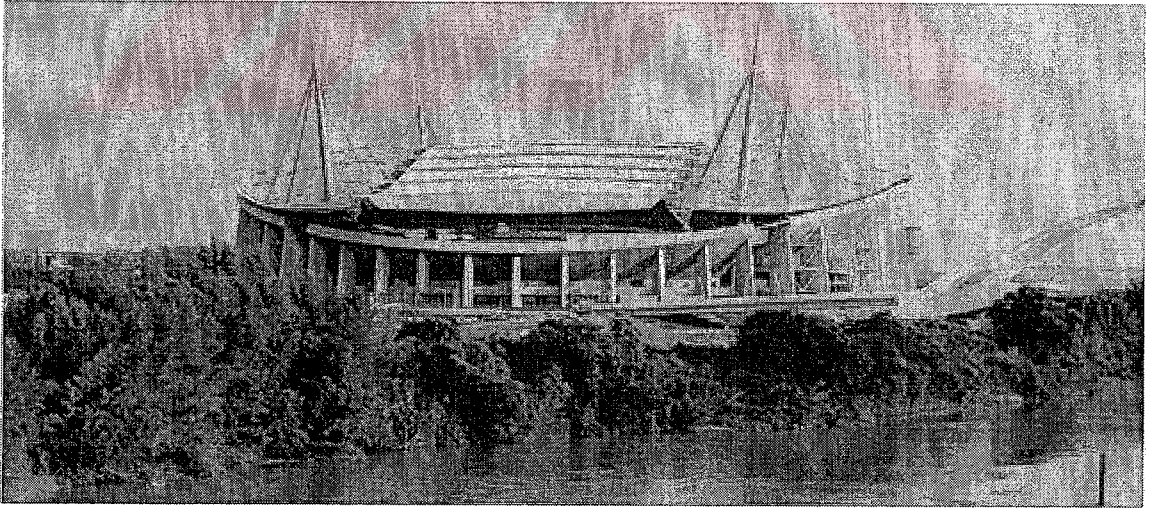
Şekil 4.97 Çatının açık ve kapalı pozisyonları [Tasarım, 2002a]



Şekil 4.98 Toyota Stadyumu [Tasarım, 2002a]



Şekil 4.99 Plan ve görünüşler [Tasarım, 2002a]



Şekil 4.100 Çatı kapalıyken Toyota Stadyumu'nun görünüşü [Tasarım, 2002a]

4.17 Victoria Docklands Stadyumu

Victoria Docklands Stadium dünyanın en büyük hareketli çatılı stadyumlarından biridir. Açık bir stadyum olarak tasarlanmış ve hareketli çatısı sayesinde kapanarak çok amaçlı bir merkez kullanımına kavuşmuştur. Stadyumda yapılacak sporlar Avustralya futbolu, futbol ve rugby'dir. 165 metre açıklığa sahip hareketli çatı tasarımın temel unsurudur. Saha zemininin çim olması nedeniyle maksimum doğal ışığa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda tasarlanacak çatının açık durumdayken saha üzerinde minimum gölge yapması gerekmektedir.

Özellikle Avustralya Futbolu için tasarlanan bu stadyum 50,000 kişilik bir kapasiteye sahiptir. Ayrıca futbol, rugby ve çeşitli konserlere de ev sahipliği yapabilmektedir.

Stadyum özetle şu esas özelliklere sahiptir:

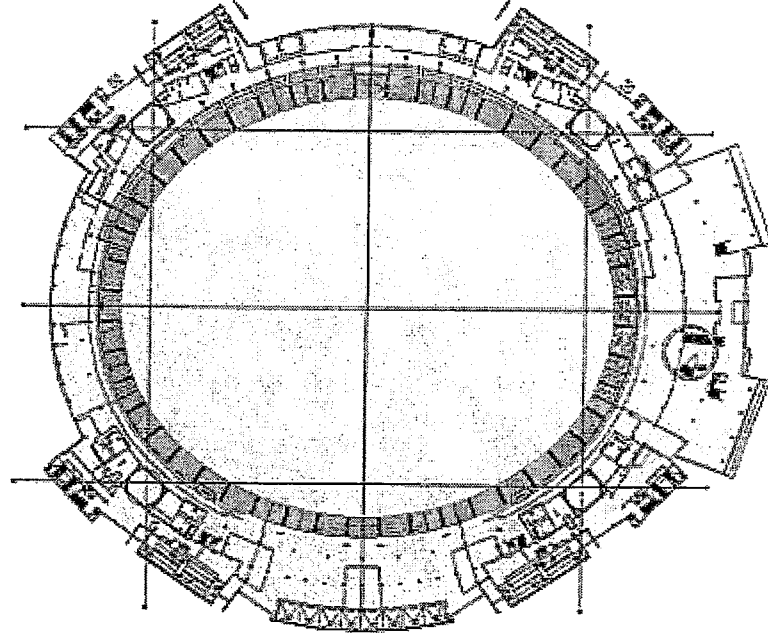
- 52,000 kişilik seyirci kapasitesi
- 6,500 kişilik yemek alanı
- 66 loca
- Zemin seviyesi altında 2,500 araçlık otopark
- Konserler için akustik olarak tasarlanmış çatı
- Doğal havalandırılmalı stadyum
- 12,500 kişilik tribün bölümü hareketli (kullanım amacına göre saha boyutu değişebildiğinden dolayı)

Şekil 4.101'de 254 x 215 metre boyutlarındaki stadyumun planı görülmektedir

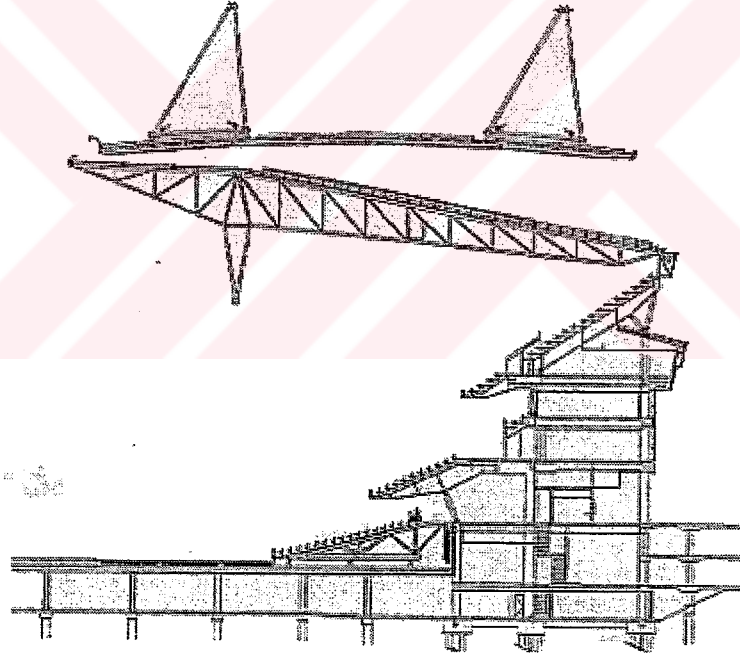
Zayıf zemin nedeniyle stadyuma daha fazla yük bindirmemek için çatının hafif olması gerekmektedir ve ekonomik bir çözüm şarttı. Kapalı durumlarda konser amacıyla da kullanılacak olmasından dolayı stadyumun çatısında akustik önlemler alınmalıydı. Ayrıca zeminin çim olması nedeniyle gün ışığından maksimum faydalanmayı sağlayacak bir çatı gerekmektedir. Ayrıca maçları ve televizyon yayınlarını etkileyebilecek olan çatının gölgesinin saha üzerine düşmesi en az seviyede tutulmalıydı. Üç öneri getirildi bunlardan *Space Truss Scheme* adı verileni seçildi.

Space Truss Scheme:

Çatı esas olarak 160 x 100 metrelik açık alanı çerçeveleyen ve tribünlerin arkasındaki ana kolonları çerçeveleyen sabit çatı üzerindeki ikincil kirişleri destekleyen dört adet ana kirişten



PLAN

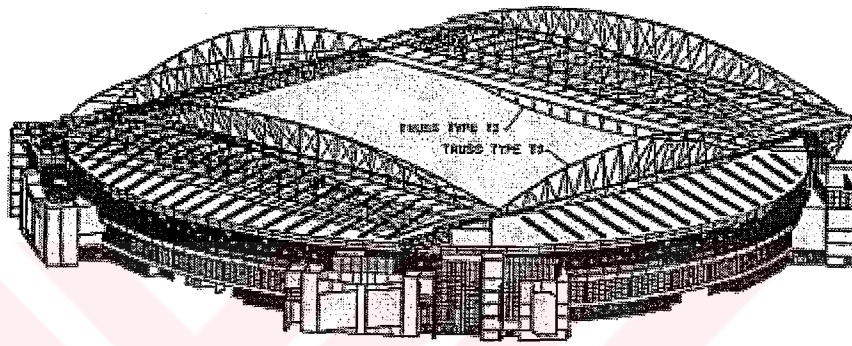


KESIT

Şekil 4.101 Stadyumun plan ve kesiti [Dean ve Marley, 1998]

oluşmaktadır. Çatının kendi ağırlığını en az seviyede tutmak ve gerekli sağlamlığı vermek için Şekil 4.102'de görülen derin yay şeklinde gergiler ve kemer şeklinde kirişler kullanılmıştır. Hareket eden her panel 50 metre genişliğinde ve T3 kirişleri arasında 165 metre açıklık geçmektedir. Hareketli paneller üç boyutlu ikiz yay şeklindeki gergi kirişlerin altından çıkmaktadır. Hareketli çatıyı ve kuzey ile güney yönündeki sabit çatı kirişlerini destekleyen T3 kirişi 14 metre derinliğinde ve dört köşedeki çekirdek kolonlar arasında 120 metre açıklık

geçmektedir. Bu çekirdek kolonlar yapının stabilitesini sağlamakta ve üzerinde televizyon ekranları bulunmaktadır. Bu, çatı yüklerinin üst kiriş tarafından kemer davranışıyla karşılandığı etkili bir sistemdir. Üstteki kirişin bükülme olasılığı önemli bir noktadır. Bu bükülme, yüklerin sabit çatıdaki T1 kirişleri tarafından alınarak stadyumun çevresinde bulunan çembere aktarılmasıyla önlenmiştir. Çatı açıklığının doğu ve batı tarafları T2 adı verilen yay gergi kirişlerle çerçevelenmiştir. Bu T2 kirişlerinin ikincil kirişler altında zincir eğrisi şeklinde alt kirişleri de bulunmaktadır. Sabit çatıdaki ikincil kirişler 15 metrede bir 40 metrelik açıklık geçmektedir.



SPACE TRUSS SCHEME

Şekil 4.102 Space Truss Scheme izometrik görünüm [Dean ve Morley, 1998]

Bu sistemin özellikleri özetle şöyle sıralanabilir:

- Çatı açıklığı sabit tribünlerle izdüşüm olarak birbirlerini tutmaktadır.
- Düz çatı sahanın maksimum gün ışığından faydalanmasını sağlamaktadır.
- Yatay vinç rayları ile, kablo,askı ya da pinyon dişlisine gerek kalmamaktadır.

Hareket sistemi olarak elektrikle hareket eden çekiciler kullanılmıştır. Çatı 8 dakikada kapanabilmektedir.

4.18 Miller Park Stadyumu

42,000 kişilik seyirci kapasitesi, localar, yemek alanları ve diğer olanaklara sahip olan Miller Park beyzbol stadyumu, Milwaukke, Wisconsin, A.B.D’de bulunmaktadır. Stadyumun zemini doğal çim olduğundan, zemin iyi ışık almalı ve kötü havalarda üstü örtülebilmelidir. Bu nedenle hareketli bir çatı düşünülmüştür.

Göz önünde bulundurulan bazı mimari tasarım kriterleri şunlardır:

- 10 dakika içinde açılıp kapanmanın sağlanması
- Sahanın sezon boyunca normalde açık olarak kullanılacak olması
- Çatı açıkken mümkün olan en fazla sayıda seyircinin güneşten faydalanması
- Çatının stadyumun tasarımıyla bir bütünlük sağlaması

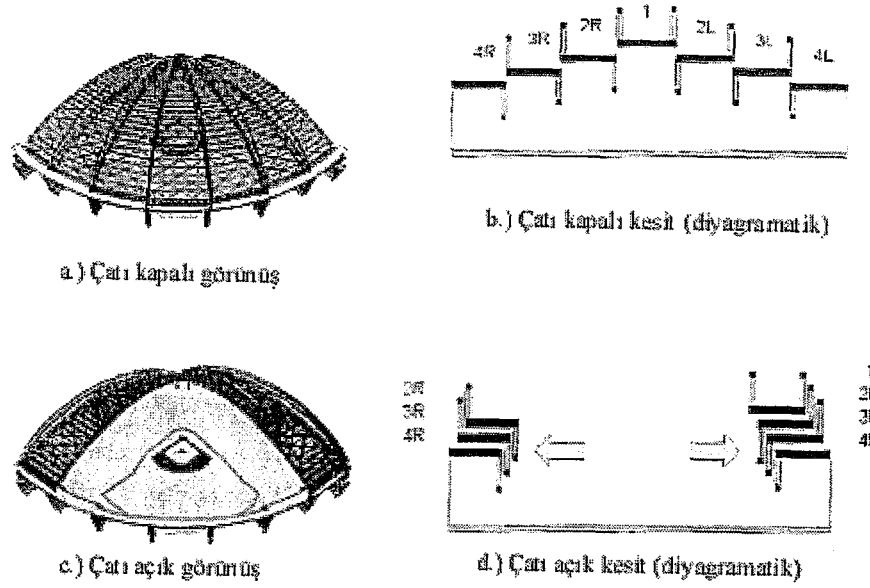
Esas mimari amaçlardan biri çatı ile stadyum arasında bütünlük sağlamak olduğundan çatı açıkken stadyum planıyla aynı izdüşümde yapılmıştır. Buna ek olarak çatı açıkken mümkün olduğunca az alan kaplamaktadır. Böylece seyirciler güneşten faydalanabilir. Önerilen yelpaze şekli, bir beysbol sahasının geometrisine uymaktaydı ve mimari tasarımın ana noktalarından birini oluşturmaktaydı.

Gerekli olan açıklığı geçecek çatının kubbe veya kemer kullanılarak dış itkilerle desteklenmesi veya daha basit destekler isteyen kirişlerle yapılması bir tercih meselesiydi. Kemer veya kubbe çözümünde her ne kadar daha az çelik kullanılsa da yapım aşamasında ekstra maliyet getirmekteydi. Ayrıca çatının hareket eden bölümlerinde daha büyük yükler meydana gelmekte ve yapı ikincil etkilere karşı daha hassas hale gelmektedir. Miller Park’ta yelpaze şeklindeki dilimlerin basit şekilde desteklenerek, destek elemanlarının boyutlarının kontrol edilebileceği sonucuna varılmıştır. Yarışma aşamasında çatı, ortak merkezli raylar üzerinde hareket eden yedisi hareketli dokuz adet panelden oluşmaktaydı. Tasarım aşamasında hareket eden panellerin sayısı azaltıldı.

Çatı Geometrisi:

Son tasarımda, çatı yelpaze şeklinde beş hareketli iki de sabit panelden oluşmaktadır. Panel 1 en yükseğidir ve çatı kapalıyken stadyumun tam ortasında bulunmaktadır. 2 ve 3 numaralı panel çiftleri hareket eden panellerdir. Bu hareket eden paneller sahanın arkasında bulunan pivotlar etrafında dönmektedir. Hareket eden panellerden üçü doğu tarafına ikisi de batı tarafına giderek sabit panellerin üzerine otururlar.

Çatının açılması ve kapanmasına ilişkin şekiller Şekil 4.103 a-d arasında verilmiştir.



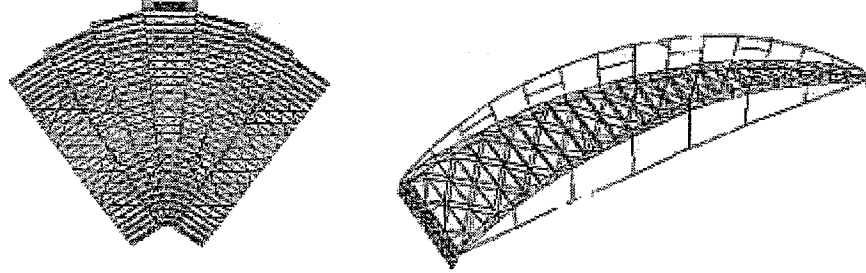
Şekil 4.103 Çatının açık ve kapalı durumları [Hewitt vd., 1998]

Hareket eden her bölümün geometrisi birbirine benzemektedir. Çatı parçaları planda kama şeklindedir ve yüzeyleri maksimum 30° lik eğime sahiptir. Sahanın merkezine doğru olan dilimler diğerlerine göre daha büyük ve yüksek yapılmıştır. Böylece dilimler çatı açık durumdayken birbirleri üzerine oturabilmektedir. Ayrıca kapalı durumda iken de maksimum iç mekan yüksekliği sağlanmaktadır. Her panelin düşey yükler altında kendi dengesi içinde olması gerektiği sonucundan yola çıkarak her elemanın geçeceği açıklığa göre derinliğe sahip olması gerekir. Bu nedenle alçakta bulunan parçaların iç ve dış tarafları aşağıda belirtildiği gibi birbirinden farklıdır.

- Her parçanın uzun kenarları kemer kirişlerle desteklenmektedir. 2 ve 3 numaralı panellerde sahanın merkezine doğru olan kısımlarda bu kemer kirişler aşağı kısımda bulunan ve kemer kirişlerden asılan gergi bağlarıyla tutulmuştur.
- Panel 2 ve 3'ün uzun olan dış tarafında ve panel 1'in her iki tarafında kenar kirişleri üst kısımda bulunan sıkıştırma kirişleri tarafından desteklenmektedir.

Çatı, 180 metre açıklığa sahiptir. İki ana kiriş, ve bu kirişlerin arasında aşıkları ve kaplamayı destekleyen ikincil kirişler vardır.

Pivot ucunda tüm paneller iki kolon arasında bulunan çelik çerçeve tarafından taşınmaktadır. Bu çerçeve çatıdan kaynaklanacak rüzgar kuvvetine karşı desteklenmiştir.



Şekil 4.104 Çatı çerçevesi ve çerçeveyi oluşturan kiriş [Hewitt vd., 1998]

Yükler:

Esas yükler kar ve rüzgardan kaynaklanan yüklerdir.

- Rüzgar: 9 metre yükseklikte 100 yılın en hızlı rüzgarı 124 km/s

Açılıp kapanma sırasında maksimum rüzgar hızı 64 km/s

- Kar: 35psf , panel birleşim noktalarında 200 psf
- Deprem: deprem riski olmayan bölge

4.19 Hareketli Döner Kubbe Çatı Önerisi:

“Retractable Loop Dome” adı verilen hareketli çatı sistemi, kubbenin şeklinin kendi merkezindeki gözünün çapında meydana gelecek değişikliğe bağlı olarak değişmesini sağlayan bir sistemdir ve aşağıdaki mimari avantajlara sahiptir:

1. Gözün çapını değiştirerek çevresel kontrol sağlamak mümkündür
2. Çevreye doğru katlanma kullanarak rasyonel bir yapım sağlanır
3. Sistemin tümünde meydana gelecek değişimle elde edilen artistik bir dinamizm

Ancak, bu kubbe, yapısal rasyonellikle ilgili problemler nedeniyle yapılamamıştır.

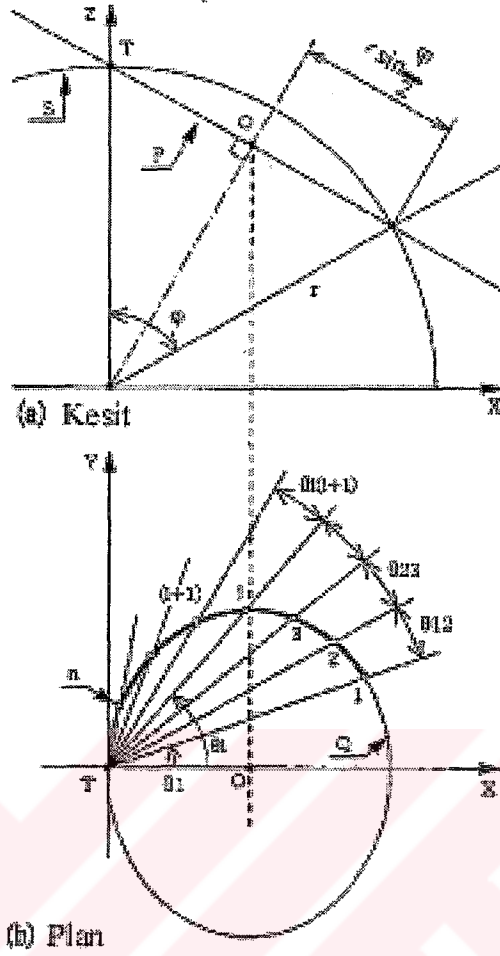
Bu tip kubbeler için iki tür iyi bilinen eleman vardır; Chuck Hoberman’ın Iris Dome’da kullandığı açılı elemanın dahiyane bir geometrik özelliği vardır. Z.You ve S.Pellegrino ise iki boyutlu katlanabilir bir strüktürün temel elemanı olan genel çok açılı elemanı keşfetmişlerdir. Daha sonra ise bunu eğik bir yüzey üzerine yansıtarak hareketli bir kubbe çatı elde etmeye çalışmışlardır. Bu fikirler, her ne kadar kinetik şartlar teorik olarak sağlansa da, üzerinden gelmesi gereken bazı problemler vardı. Bu problemler bağlantı noktaları gibi strüktürel detaylarla ilgili konulardır. Hoberman’ın açılı elemanı bir düzlemde mafsallı bağlantılı olmalıydı ve bu nedenle üretim zorluğu ve mesnet noktalarının stabilitesi gibi bazı sorunları vardı. You ve Pellegrino’nun elemanları ise teorik nedenlerden dolayı bağlantı noktaları planın izdüşümüne dik olmalıydı ve bu nedenle bağlantı noktaları üretimi ve sistemin stabilitesi bakımından özellikle çok eğrilikli yüzeylerde problemler oluşmaktaydı. Bunlara ek olarak her iki sistemde bir kabuğun sağlayabileceği strüktürel dayanımı sağlayamamaktaydı.

Strüktürel Sistem

3 boyutlu çok açılı makas eleman:

Üç boyutlu çok açılı makas bir eleman bu tip kubbeler için temel elemandır. Bu elemanın geometrik şekli bir küreyi bir düzlemlle keserek elde edilmektedir. Makasların bağlantı noktalarının $(1,2,\dots,i,i+1,\dots,n)$ yerleri S küresinde şöyle belirlenmektedir.

1. S küresini eğik P düzlemiyle keserek T noktasındaki kesişim (Şekil 4.105 a)
2. bağlantı noktasını Q dairesinde işaretlemek (Şekil 4.105 b)



Şekil 4.105 a-b Plan ve kesit [Kokawa, 2001]

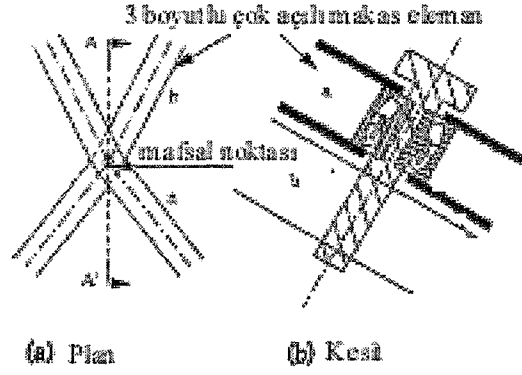
Bu da:

XY düzleminde $\theta_{1,2} = \theta_{2,3} = \dots = \theta_{i,i+1} = \dots = \theta_{n-1,n}$

Bu eleman aks simetrisinde elastik deformasyon göstermeden rijit bir şekilde hareket edebilmektedir.

Makas Noktaları

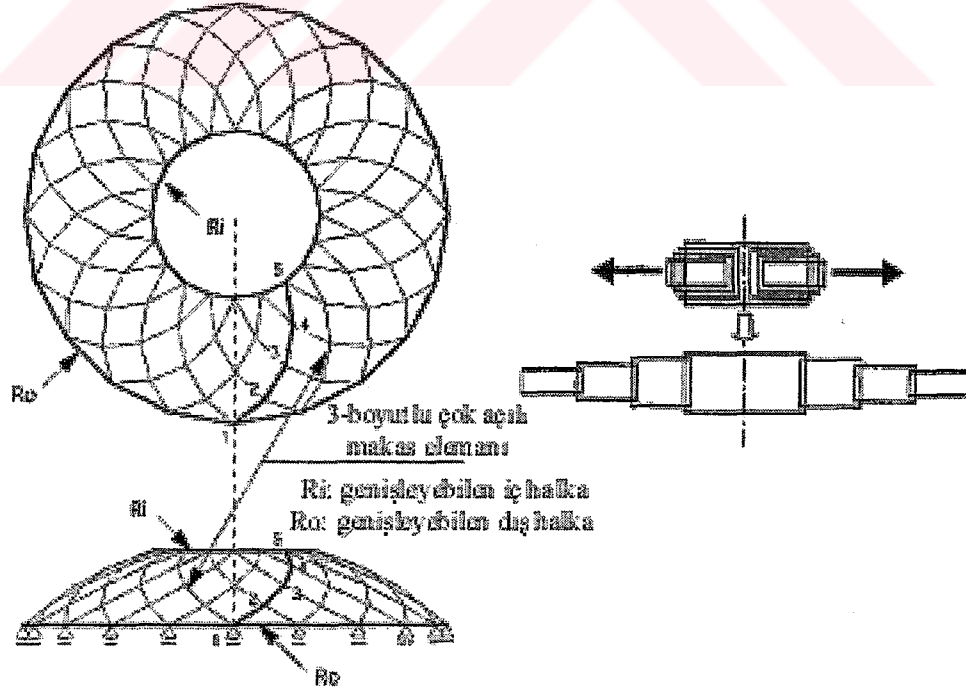
Makasların bağlantı noktası ile S küresinin normal yönü birbirleri ile Şekil 4.106'da görüldüğü gibi örtüşmektedir. Ancak, geri çekilme esnasında, her elemanın delik aksları her kürenin merkezine doğru hareket eder. Bu nedenle, bağlantı aksı ile delik aksı arasında yönelmede bir farklılık olur ki buda açıda küçük bir farklılığa yol açar.



Şekil 4.106 3-boyutlu çok açılı eleman bağlantı noktası [Kokawa, 2001]

Genişleyebilen dairesel halkalar

Böyle bir kubbeyi uygulayabilmek için, stabil olmayan strüktür stabil hale getirilmelidir. Burada esas olan bugünün teknolojisiyle geniş bir açıklık için nasıl bir sistem ortaya koyulması gerektiğidir. Bu nedenle hem içe hem de dışa genişleyebilen halkalar getirilmiştir. Bu halkalar kabuk gibi davranmayı sağlayarak gerekli strüktürel verimliliği sağlamaktadır. Her genişleyebilen halka düzgün bir poligon oluşturan genişleyebilen çubuklardan oluşmaktadır.

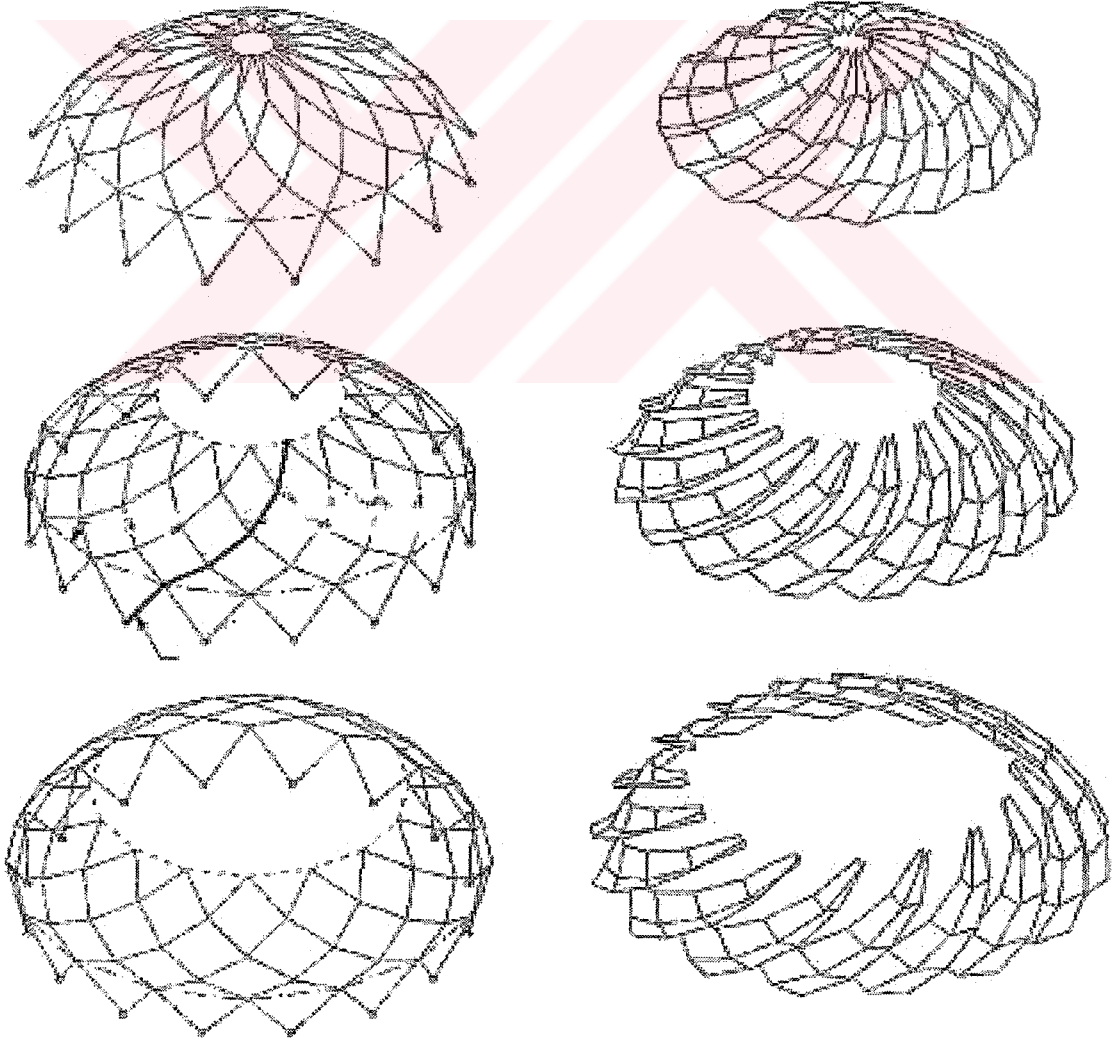


Şekil 4.107 Genişleyebilen iç ve dış halkalar [Kokawa, 2001]

Değişen kurulumun simülasyonu

Şekil 4.107'de gösterilen strüktür(üst yapı) ile dış halka ile taban arasına yerleştirilmiş tek tabakalı bir kiriş strüktürü(alt yapı) birleştirerek yeni bir "retractable loop-dome" strüktür modeli yapılabilir. Bu örnekte, kiriş strüktürü her iki halkaya da iğne bağlantısı ile bağlanmıştır ve geometrisinin değişmesini sağlayan bir mekanizması olduğu kabul edilmiştir. Böyle bir örneğin modeli Şekil 4.108'de görülmektedir.

Burada, üst yapının geometrik parametrelerinin Şekil 4.105'deki kesiti gösterilenle aynıdır. $D(1)$ (dış halkanın çapı) $t=0$ durumunda $D(0)$ (tabanın çapı)'a eşittir. ξ (kirişin parametresi, Şekil 4.) 55° 'dir. Şekil 4.108'de görüldüğü gibi, iç halka ciddi bir boyut değişikliğine uğramakta ve bütün yapının geometrik şeklinde inanılmaz bir şekil değişikliği meydana gelmektedir. Bu kubbe, diğer kubbelerde daha önce görülmemiş bir dinamik ifade vermektedir.



Şekil 4.108 Açılış kapanış aşaması [Kokawa, 2001]

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hareketli çatılar eski çağlardan beri kullanılmasına rağmen bu konudaki ilerleme özellikle 20.yüzyılın ikinci yarısındaki gelişmelerden sonra kaydedilmiştir. Hareketli çatılar daha önceleri küçük ölçekli spor yapılarında ve endüstri yapılarında kullanılmıştır. Yeni yapı malzemelerinin ve teknolojilerinin kullanılmasıyla daha büyük açıklıkların geçilmesi sağlanmıştır. Bunu sonucu olarak hareketli çatılar, stadyumlar gibi geniş açıklıklı yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Buradaki en önemli faktör bu tip yapıların hareketli çatılara olan ihtiyacıdır. Olumsuz hava koşullarından korunmanın yanısıra tek kullanımı olan stadyum gibi yapılarda çok amaçlı kullanımın sağlanmasıyla yapının daha etkin bir biçimde kullanımı amaçlanmıştır. Böylece diğer bir önemli faktör olan ekonomik verimlilik artırılmış olur. Bu nedenle özellikle büyük spor yapılarında hareketli çatılara olan ihtiyaç artmış ve son 10-15 yıl içerisinde birçok uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu süreç içerisinde yapılan her uygulamadan elde edilen bilgi ve deneyimle sonraki tasarımlar için avantaj sağlanmıştır. Bu arada birçok tasarım problemi yaşanmış ve bazı uygulamalar başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Bu başarısızlıklardan çıkarılan dersler sonraki uygulamalara olumlu şekilde yansıtılmıştır.

Hareketli çatı sistemi seçiminde ağırlık, maliyet, geçilen açıklık, yük durumu, güvenlik, bakım, işletme, yönetim, hız ve hareket sistemi gibi faktörler etkili olmaktadır.

Çerçeve tipi hareketli çatılar ağır ve pahalı bir sistem olmasına rağmen çok büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılmaktadır. Üzerine gelen yüklere karşı çok dayanıklı olan bu sistem genelde çelik malzeme ile oluşturulmaktadır. Güvenlik, bakım ve işletme açısından pek fazla sorunu bulunmayan bu sistem ağırlığı nedeniyle biraz yavaş hareket etmektedir. Hareket sistemi olarak genelde bilinen ve yönetmelikleri bulunan bir sistem olan vinçlerin hareket sistemi kullanılmaktadır. Ana çerçevenin hareket ettirilmediği örnekler hem hafif hem ekonomik hem de hızlıdır. Buna örnek olarak Pusan Dome ve Ohita Stadyumu gösterilebilir. Hareketli panellerin hafifletilmesine yönelik çözümler çerçeve tipi hareketli çatıların en büyük ihtiyacıdır. Bütün bunlarla beraber çerçeve tipi hareketli çatı en çok kullanılan hareketli çatı sistemidir.

Membran hareketli çatılar ise hafif ve ucuz bir sistem olmasına rağmen büyük açıklıkların geçildiği yapılarda fazla kullanılmamışlardır. Ayrıca kar ve rüzgar gibi yüklere karşı yaşanan bazı problemler de olumsuz taraflarındandır. Ancak yeni malzemeler ve teknolojiler ile birlikte bu tip sorunlar çözülmeye başlanmıştır. İşletmesi, yönetimi ve bakımı kolaylıkla gerçekleştirilebilen bu sistemde güvenliğin sağlanması membran malzeme kadar hareket sistemiyle de ilgilidir. Geleneksel kablo – makara sisteminin yanısıra pnömatik membran

çatılardaki hava ile hareket yöntemi de kullanılmaktadır. Membran hareketli çatıların daha yaygın kullanımının sağlanmasının diğer bir yolu da çerçeve tipi hareketli çatılarla beraber karma olarak kullanılmasıdır. Böylece iki sisteminde olumlu yanları birleşirken olumsuzluklar ortadan kalkar. Pnömatik membran çatı, çelik çerçeve ve asma strüktürün bir arada kullanıldığı Japonya'daki Toyota Stadyumu bunu en iyi örneğidir.

Yeni bir sistem olan genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatılar ise hafifliği, kolay montajı ve ekonomikliği ile teoride önemli bir avantaja sahiptir. Genelde çubuklarla oluşturulan çerçeve strüktürün kullanıldığı bu çatıların küçük ölçekli birkaç uygulaması vardır. Ancak daha yaygın olarak büyük ölçekli yapılarda kullanılabilmesi için mesnet ve bağlantı noktalarındaki birleşim sorunları ile yüklere karşı dayanımdaki sorunların çözülmesi gerekir. Plaklardan oluşan strüktür tipi ise daha sorunsuz bir çatı sistemi olsa da, genelde daire ve elips şeklindeki yapılarla kullanılabilmesi ve geçilen açıklığın çubuk sisteme göre daha küçük olması nedeniyle fazla tercih edilmeyebilir. Araştırmaların devamı ve uygulamaların artması bu sistemin sorunlarının çözümünü beraberinde getirecektir. Sorunlarından arındırılmış bir genişleyebilen çerçeve tipi hareketli çatı geleceğin hareketli çatı sistemi olarak gösterilebilir.

6. PROJE ÖNERİSİ

6.1 Ali Sami Yen Stadyumu

Galatasaray Spor Kulübü seyirci kapasitesini arttırmak ve çok amaçlı kullanımın sağlamak amacıyla Ali Sami Yen stadyumunu yenileme kararı aldı ve yeni bir stadyum projesi hazırlattı. 2003 – 2004 sezonundan itibaren Olimpiyat Stadyumuna taşınan Galatasaray, Ali Sami Yen stadyumunun inşaatı için çalışmalara başlamıştır.

Hazırlanan yeni projede seyirci kapasitesi 25,000'den 42,000'e çıkartılmıştır. Bu proje ayrıca loca, restoran, kafe, mağaza, sinema v.b gibi fonksiyonları da barındırmaktadır.

6.2 Stadyumun Hareketli Çatı Gereksinimi

Hazırlanan projede stadyumun çatısı yarı açık bir şekilde sabit bir strüktürle tasarlanmıştır. Ancak son yıllarda kış aylarında kendini gösteren olumsuz hava koşulları nedeniyle Ali Sami Yen stadyumundaki karşılaşmalar birçok kez ertelenmiştir. Ayrıca saha zemini de olumsuz hava koşulları nedeniyle zarar görmüştür. Özellikle şiddetli kar yağışı sonucu saha zemini bozulmakta ve ancak aylar süren çalışmalar sonucunda eski haline getirilebilmektedir. Yarı açık sabit bir çatı yerine hareketli bir çatı kullanımıyla bu sorun giderilebilir. Projede her ne kadar çok amaçlı kullanım sağlansa da, hareketli çatının kullanımıyla fuar ve konser gibi büyük çaptaki etkinliklerin de gerçekleştirilmelerini sağlayacak bir ortam hazırlanabilir. Bu nedenle bu tezde Ali Sami Yen stadyumu projesi üzerinde bir hareketli çatı çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada projenin çatısı yok sayılmış ve alttaki strüktür üzerine bir hareketli çatı projesi geliştirilmiştir.

6.3 Tasarımda Dikkate Alınan Kriterler

Çatı tasarlanırken önceden bilinen bazı şartlar sonucunda ortaya çıkan faktörler şöyledir:

- Çatının sabit kısmı FIFA standartlarına göre tribünlerin 90%'ının üstünü örtmelidir
- Çatı şiddetli kar ve yağmur durumu ile konser, fuar gibi kapalı alan ihtiyaç duyulan durumlarda kullanılacaktır.
- Çatı olumsuz hava koşulları durumunda zeminin etkilenmeyeceği bir süre içerisinde kapatılmalıdır.
- Çatı, alttaki strüktürden bağımsız olarak yapılacağı için taşıyıcı sisteminin de ayrı tasarlanması gerekir

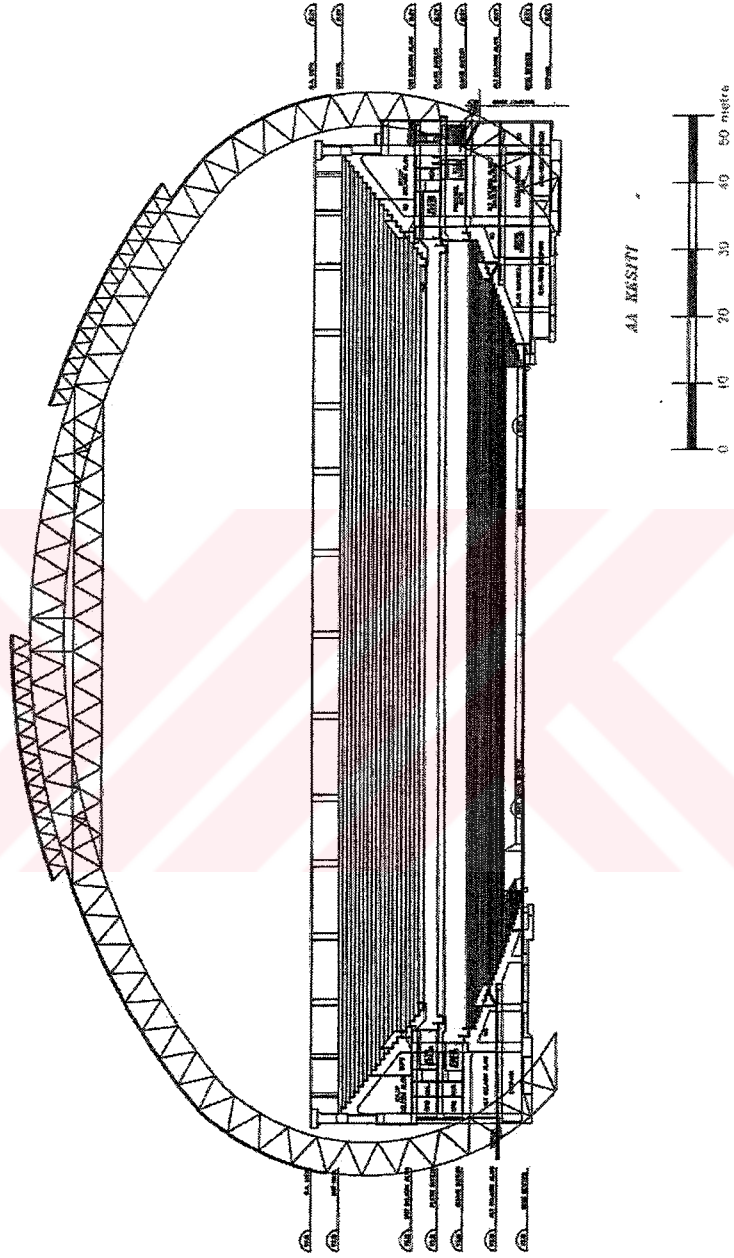
- Stadyumun üstünde bulunduğu arazinin durumu sınırlayıcıdır. Çatı bu arazi sınırları içinde yerleştirilmelidir.

Çatı tasarlanırken ilk önce çatının hangi yönde ve nasıl açılıp kapanacağı ile geometrisi bir eskiz çalışması ile tasarlanmıştır. Böylece ana taşıyıcılar, sabit ve hareketli kısımların yerleri belirlenmiştir. Daha sonra ise kaplama malzemesi ile onu taşıyacak olan ızgaraya karar verilmiştir. Bunun sonucunda ana taşıyıcıların yeri, boyutları ve geometrisi tekrar belirlenmiştir.

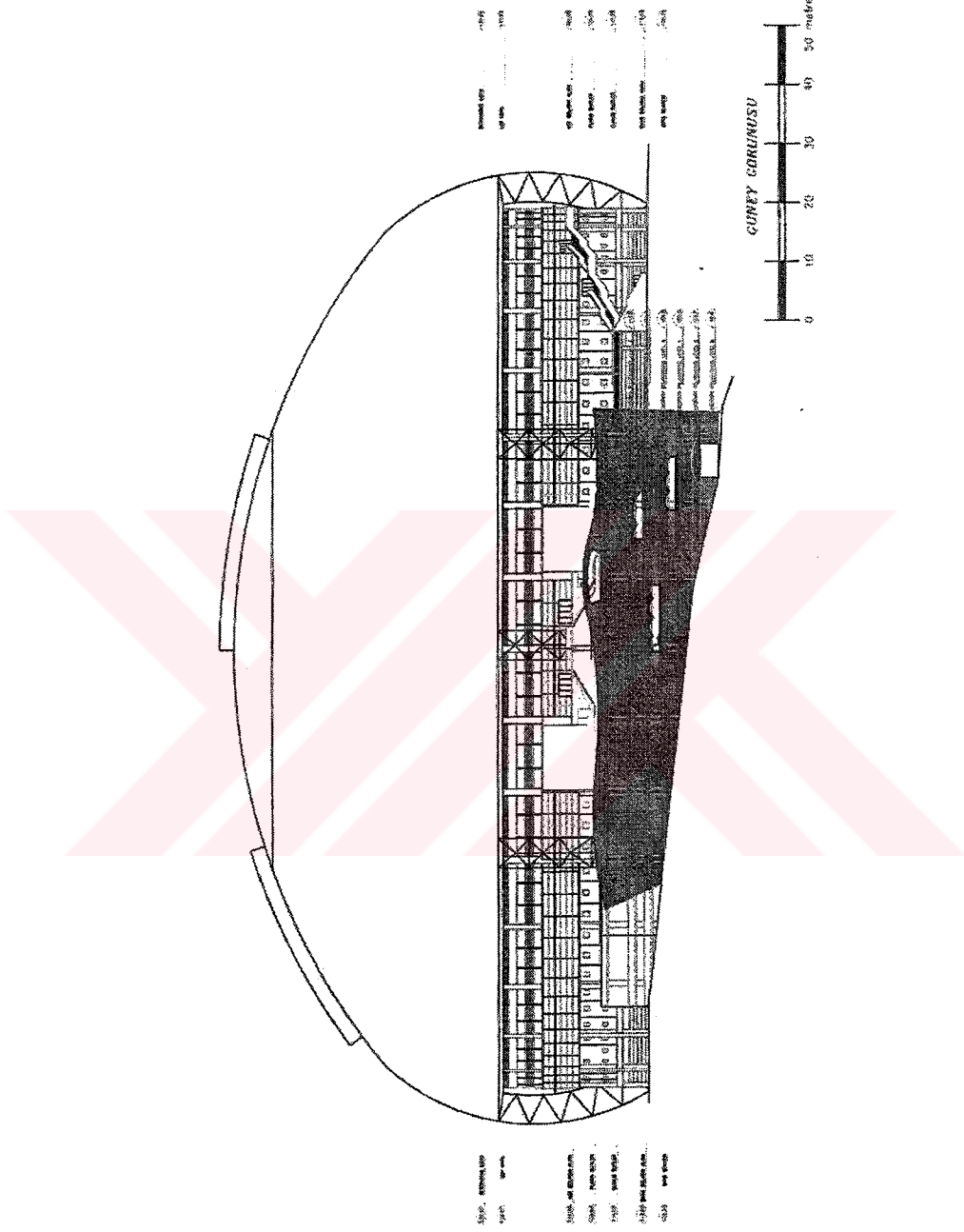
185 x 150 m boyutlarındaki stadyumun tribünlerinin üstü sabit bir strüktürle örtülmüştür. Ortadaki 65 x 100 m boyutlarındaki açıklığın üstü sabit örtü üzerinde hareket eden iki adet hareketli panelle açılıp kapanmaktadır. Hareketli paneller stadyumun kuzey-güney ekseninde 105 m aralıkla yerleştirilmiş olan iki adet kemer şeklindeki çelik uzay kafes kiriş üzerindeki raylar yardımıyla hareket etmektedir. Hareketli paneller 105 x 35 m boyutlarında olup 35 m aralıkla yerleştirilen 4 adet 2.5 m yüksekliğindeki çelik uzay kafes kirişlerle oluşturulmuştur. Bu panellerin üzerindeki jeodezik ızgara membran malzeme ile kaplanmıştır.

Hareketli çatının taşıyıcısının alttaki strüktürden bağımsız olması gerekir. Bu durumda stadyumun dışından desteklenmesi düşünülmüştür. Ancak kemer şeklindeki taşıyıcıların oluşturduğu itki kuvvetini karşılayacak taşıyıcıların yapılması için arazide yeterli alan bulunmamaktadır. Bu nedenle kemer şeklindeki taşıyıcıların eğriliği devam ettirilerek stadyumun içinden geçirilip temele oturan elipse yakın kemer taşıyıcılar tasarlanmıştır. Bu durumda yapı içinden geçen taşıyıcıların etkilediği bazı alanlarda fonksiyon düzenlenmesi yapılmalıdır.

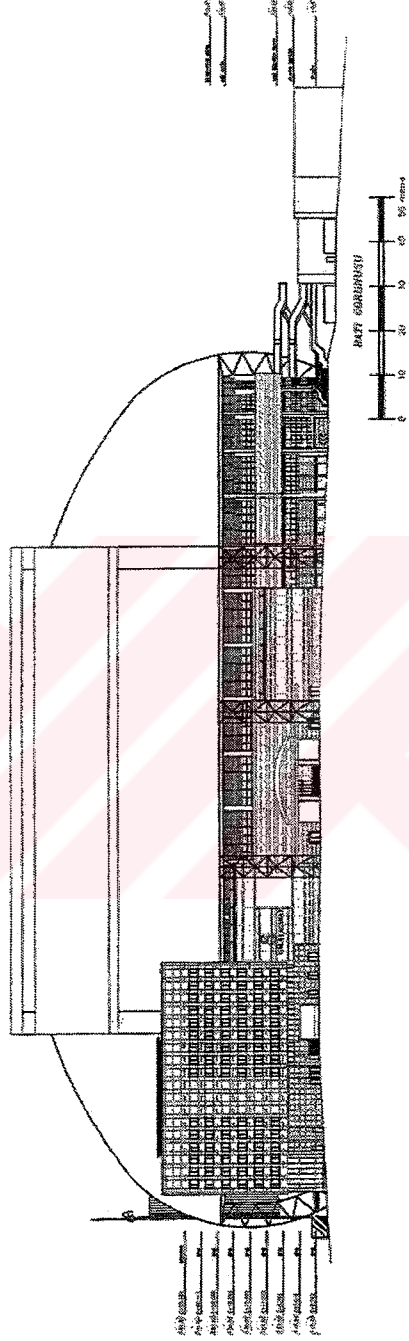
Çatının sabit kısmı, esas olarak kuzey-güney aksında üzerinde panellerin hareket ettiği iki büyük kemer diğer yönde ana kemerler arasında düz devam eden destek kemerleriyle oluşturulmuştur. Buna ek olarak her iki yönde de ana kemerler arasına destek kemerleri yerleştirilmiştir. Sabit kısmın üstü jeodezik ızgara üzerine yerleştirilen titanyum plaklarla örtülmüştür.



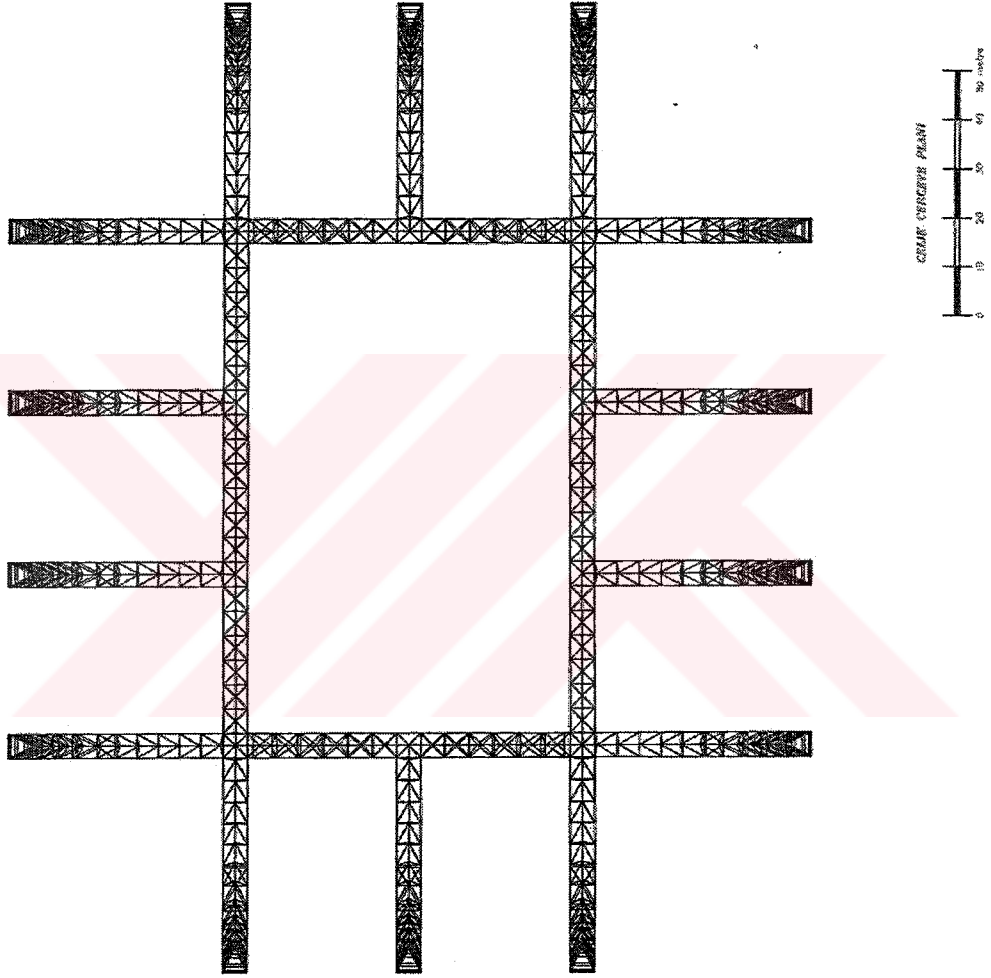
Şekil 6.2 AA Kesiti



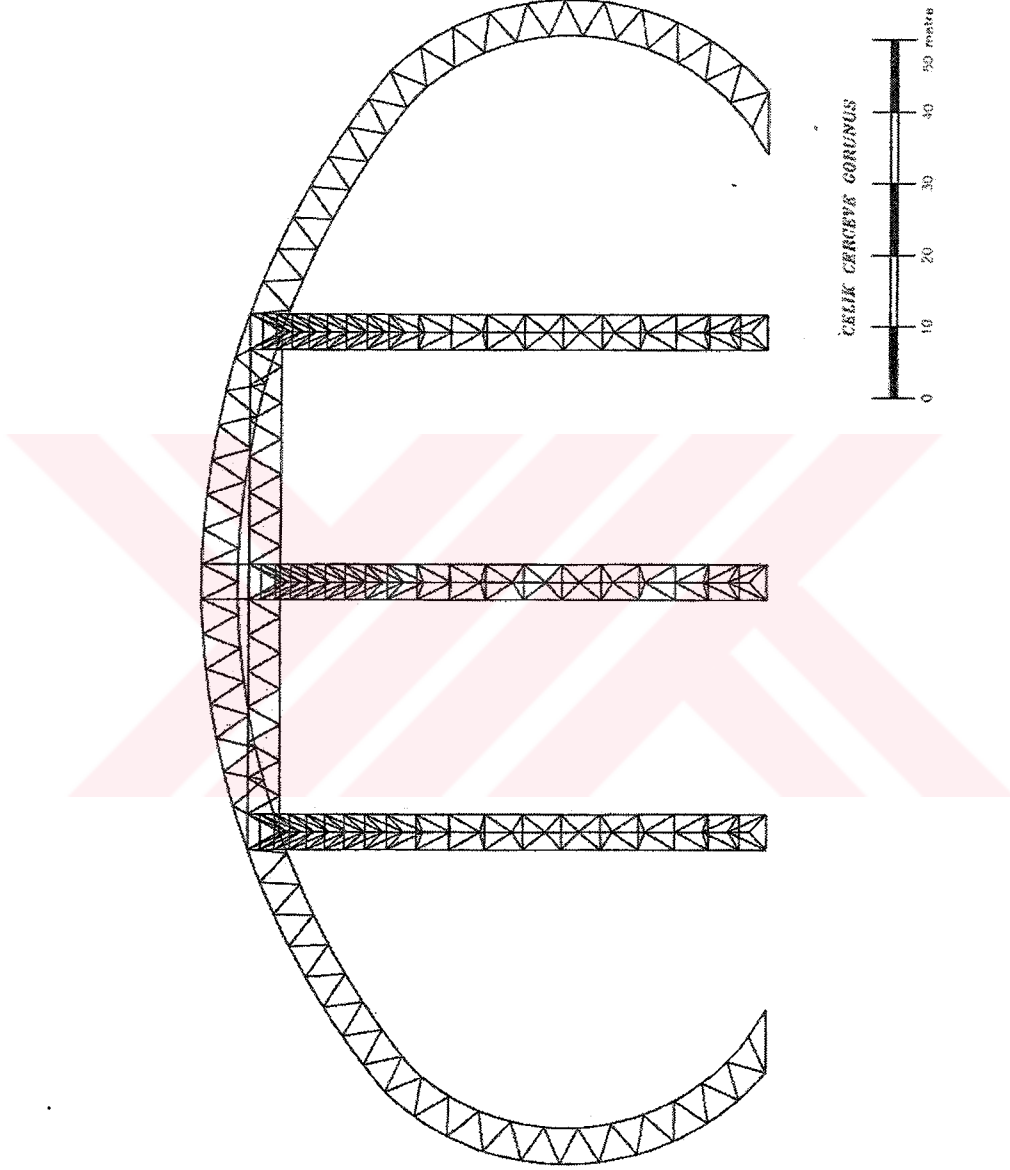
Şekil 6.5 Güney görünüşü



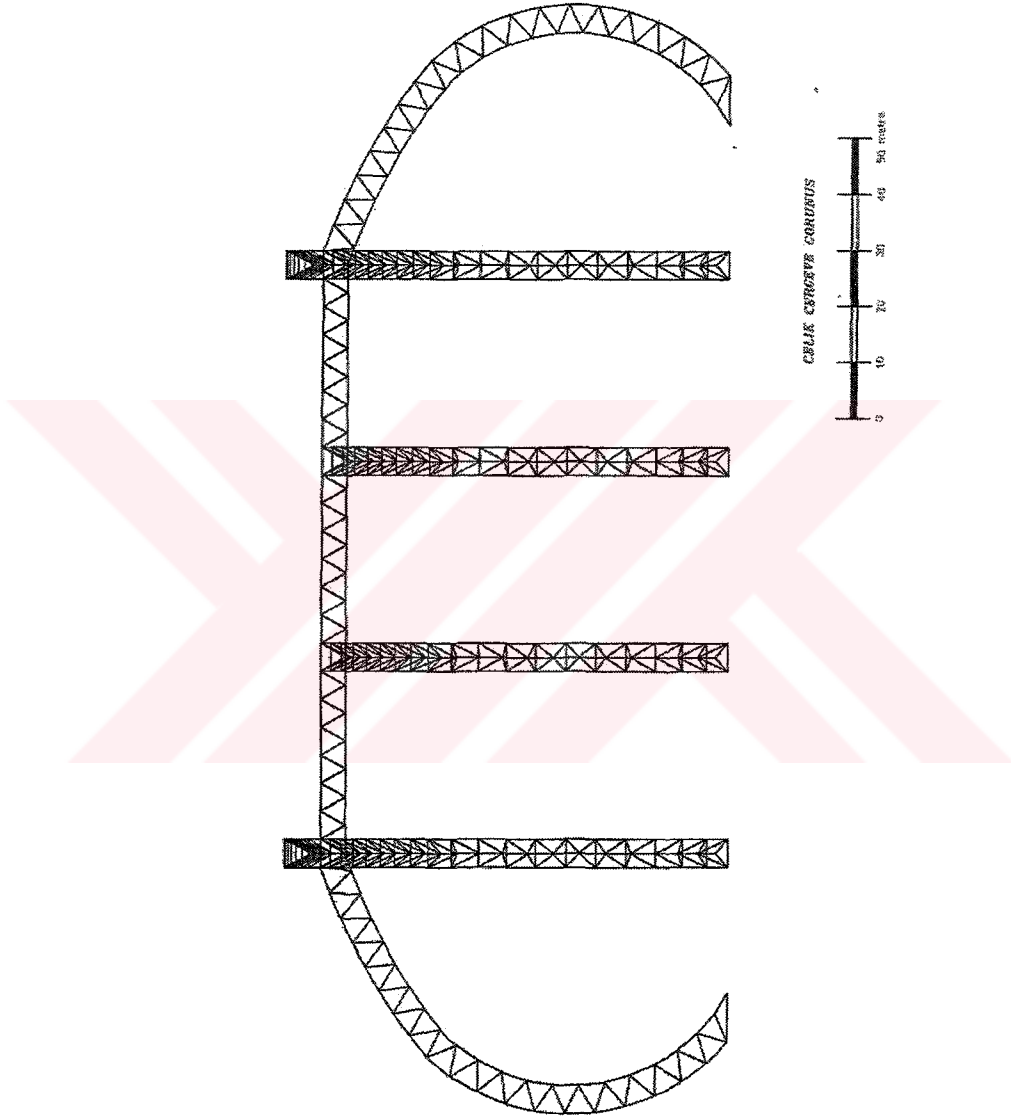
Şekil 6.6 Batı görünüşü



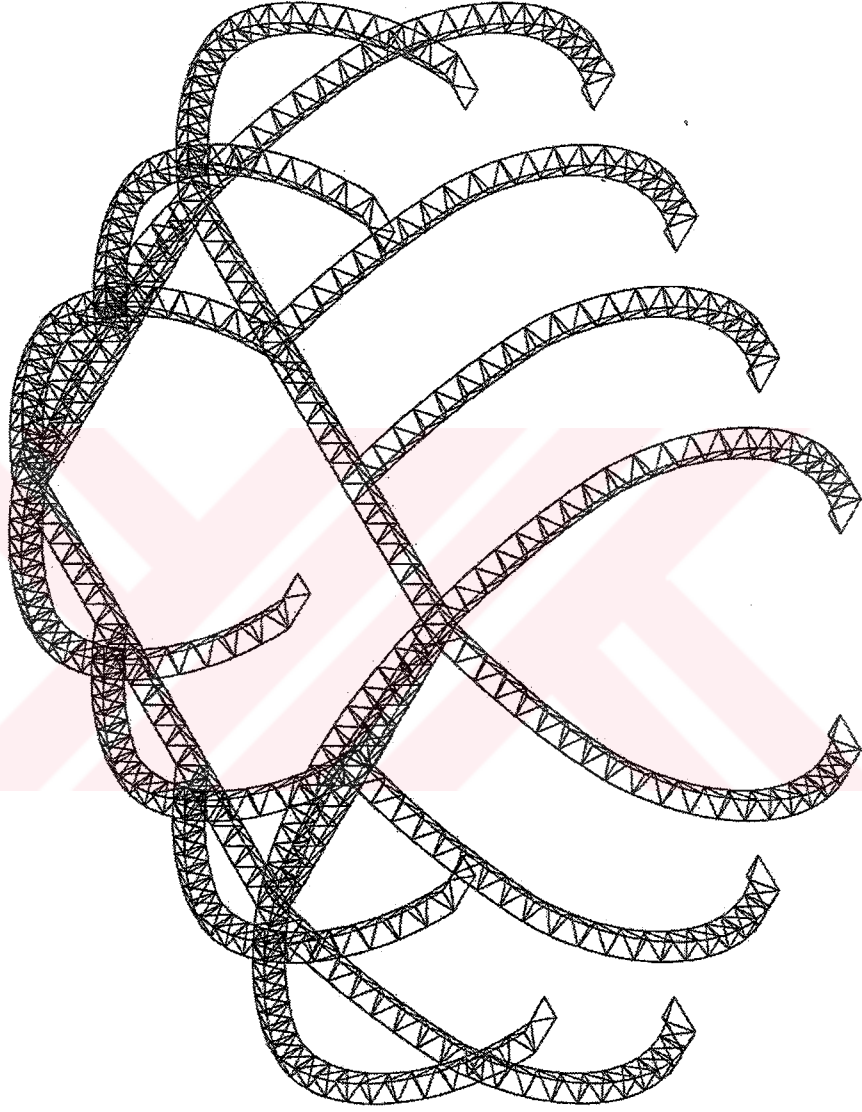
Şekil 6.8 Çelik çerçeve planı



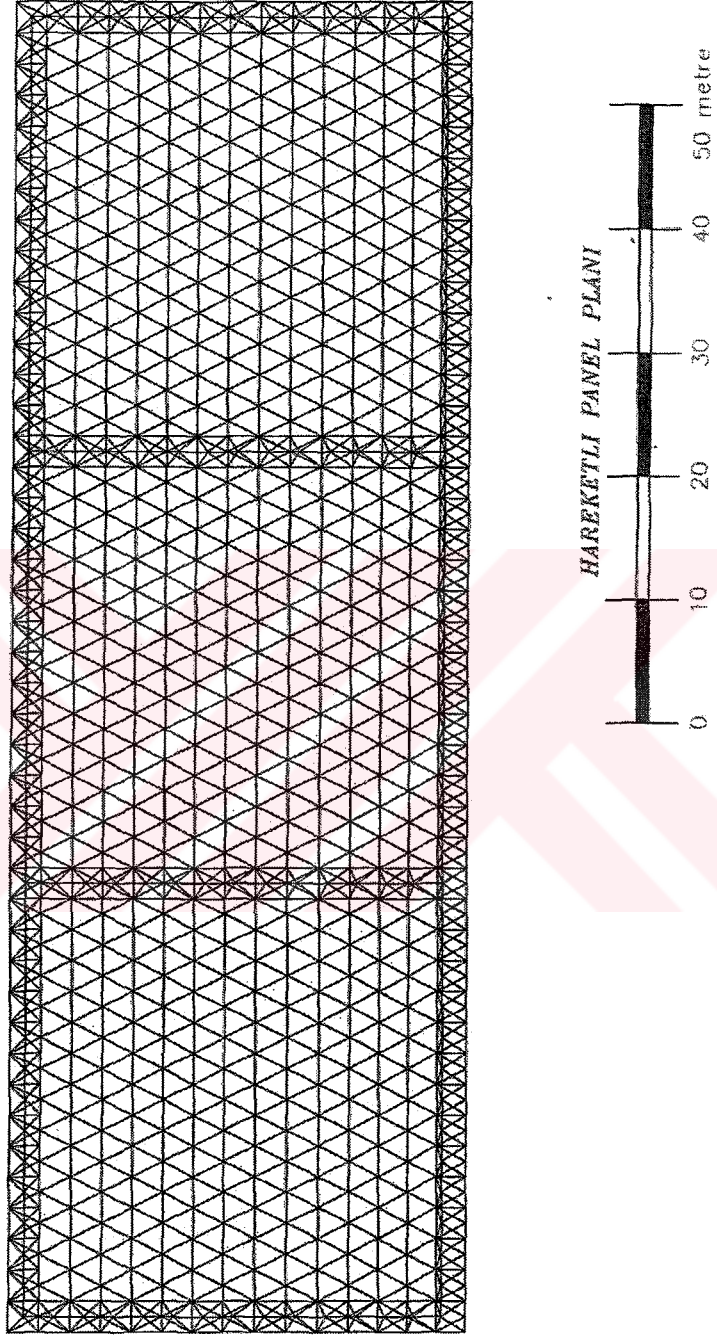
Şekil 6.9 Çelik çerçeve görünüşü



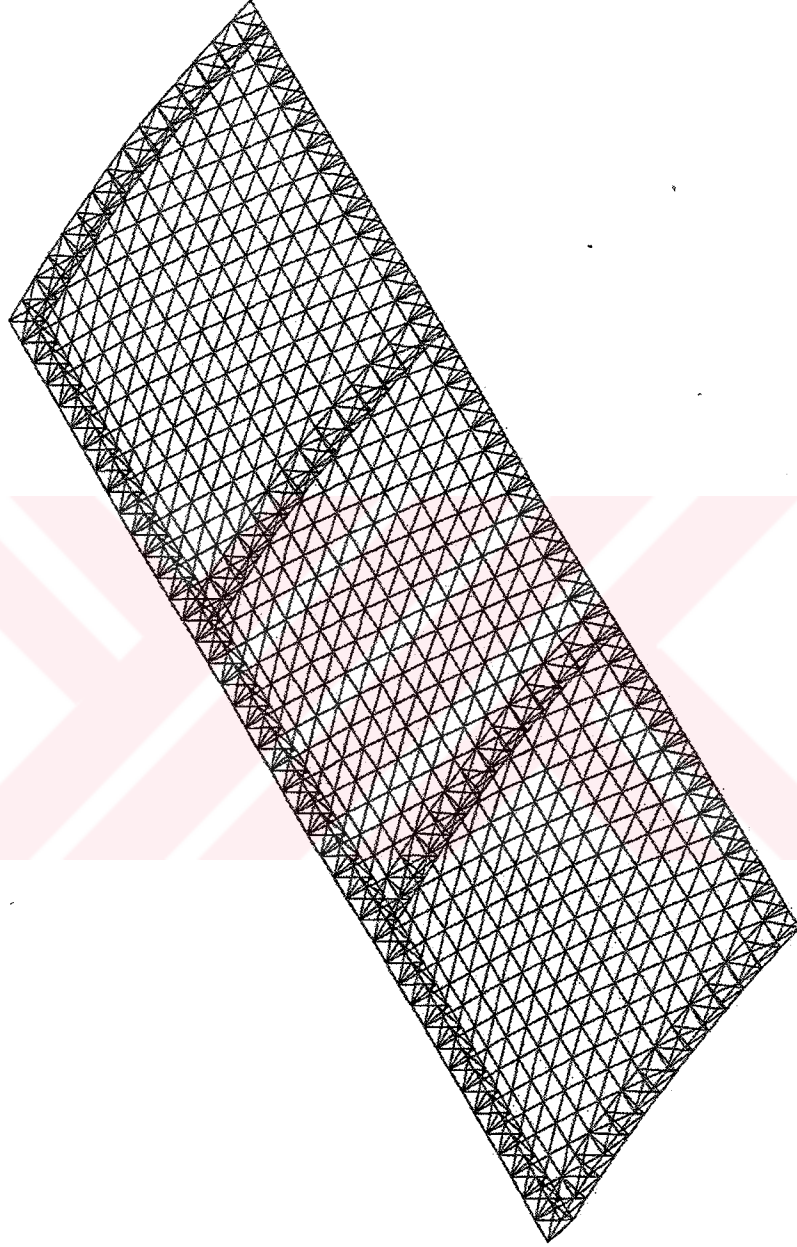
Şekil 6.10 Çelik çerçeve görünüşü



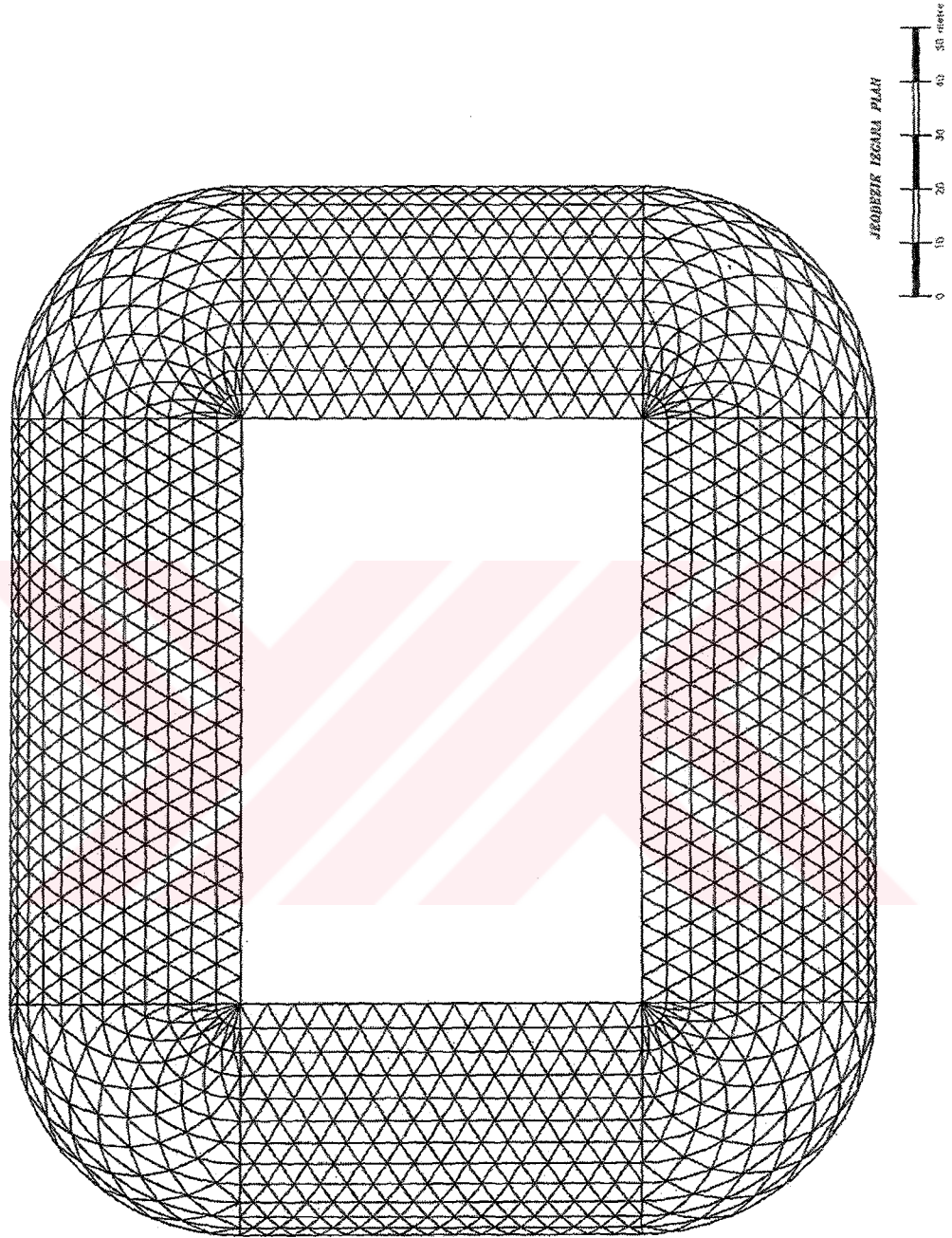
Şekil 6.11 Çelik çerçeve perspektif



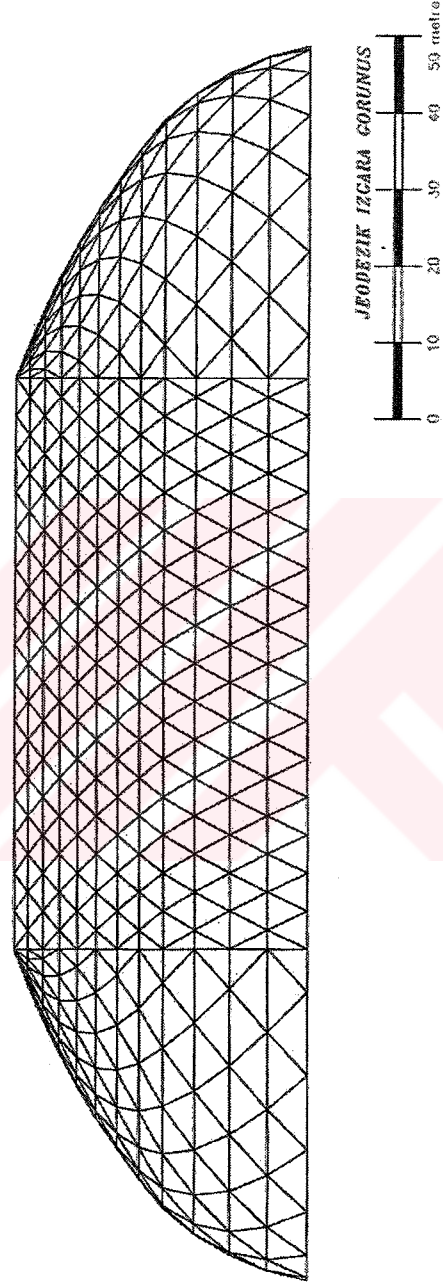
Şekil 6.12 Hareketli panel planı



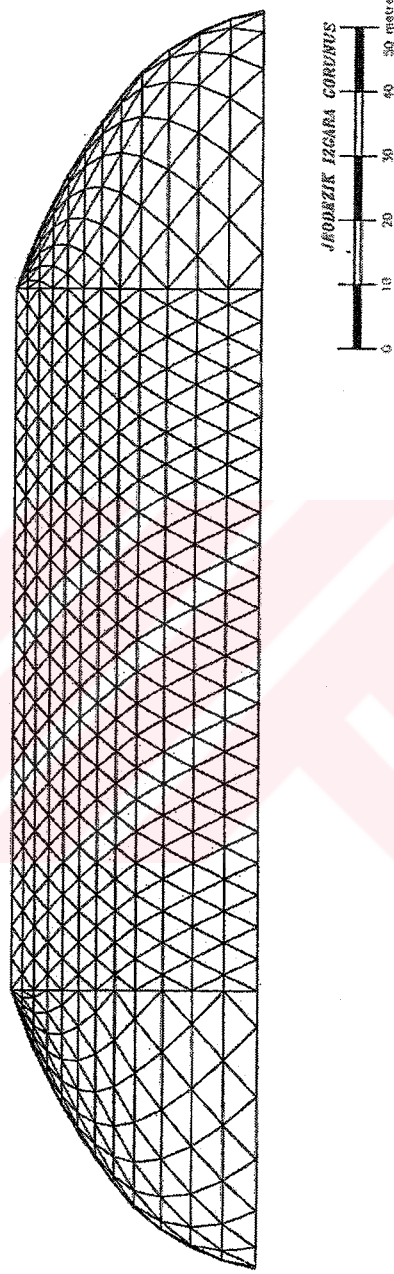
Şekil 6.13 Hareketli panel perspektif



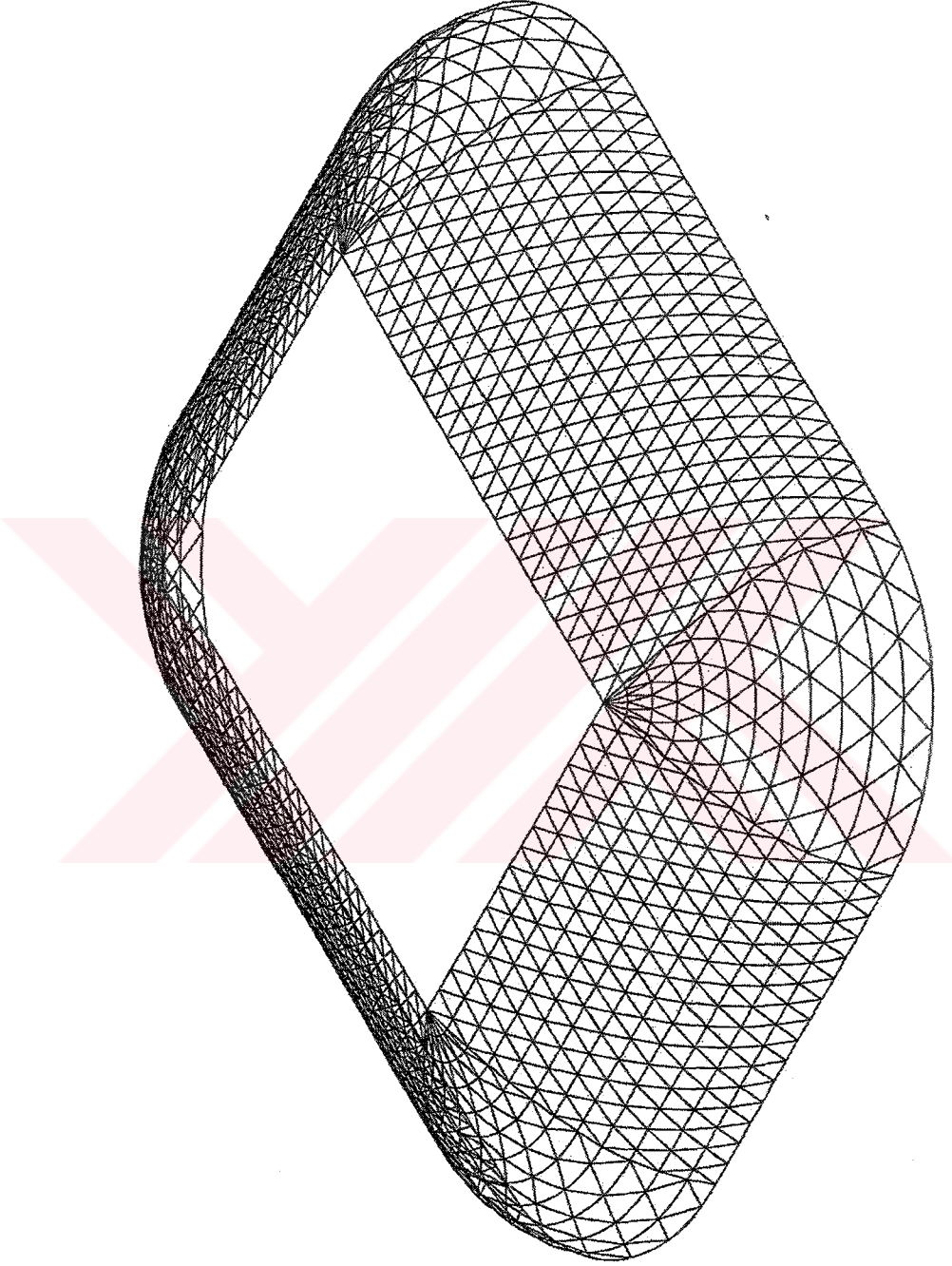
Şekil 6.14 Izgara planı



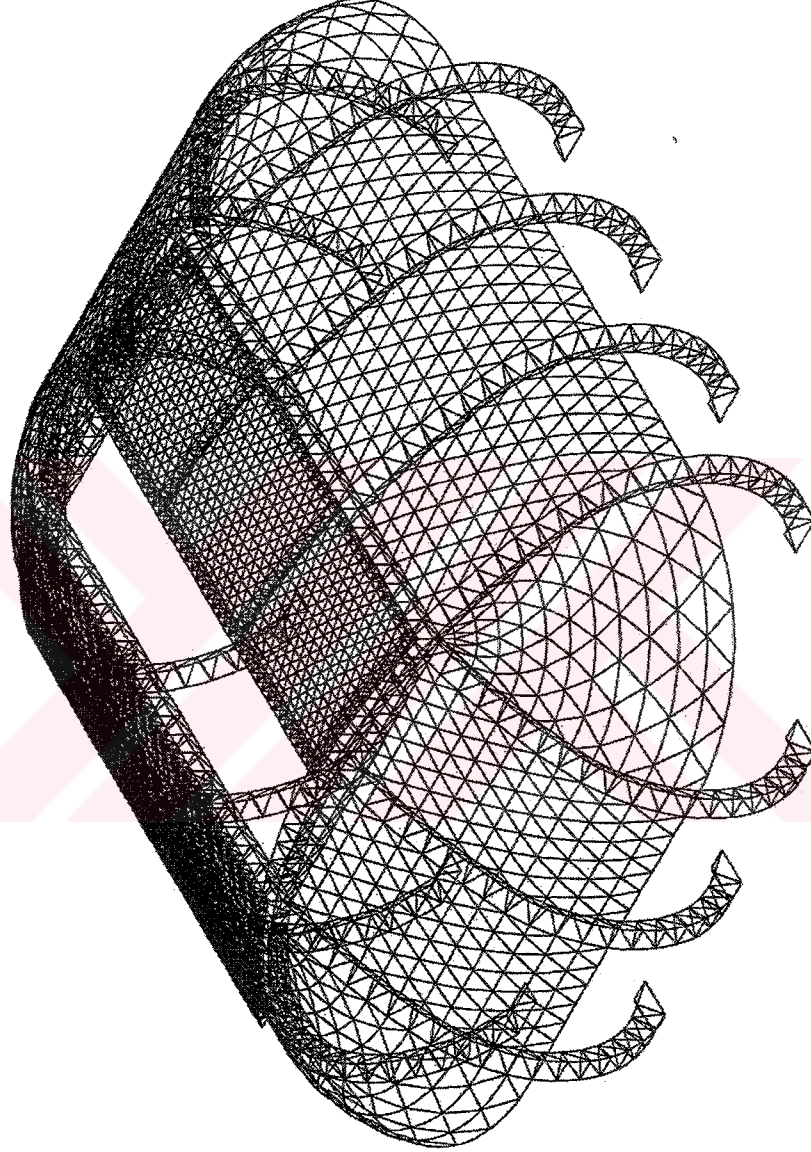
Şekil 6.15 Izgara görünüşü



Şekil 6.16 Izgara görünüşü



Şekil 6.17 Izgara perspektif



Şekil 6.18 Strüktür perspektif

KAYNAKLAR

- Allen, C.M., (1992), "Toronto Skydome Roof Structure; Engineering Challenge", Bulletin of the IASS Vol.33, 3:163-169
- Apezteguia, J.M., (2001), "Retractable Roof for a Multi-Purpose Centre in San Sebastian, Spain", Theory, Design and Realization of Shell and Spatial Structures, Symposium of the IASS, Nagoya, Japan, TP152
- Beynon, M., Dorton, R. ve Wright, D.T., (1992), "Skydome: An Overview from the Technical Evaluation Committee", Bulletin of the IASS Vol.33, 3:143-153
- Charalambu, H., (1992), "Skydome – Design of the Roof Moving System", Bulletin of the IASS Vol.33, 3:171-182
- Dean, B.K. ve Morley, S., (1998), "Victoria Docklands Stadium, Melbourne", Lightweight Structures in Architecture and Engineering, Symposium of the IASS, Sydney, Australia, 1:557-563
- Escrig, F., (1985), "Expandable Space Structures", Space Structures 1, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., England, 79-91
- Escrig, F., (2000), "Transformable Architecture", Journal of the IASS Vol.41, 1:3-22
- Hewitt, J., Roberts, T.J. ve Mann, S., (1998), "Miller Park Stadium, Design of the Retractable Roof Structure", Lightweight Structures in Architecture and Engineering, Symposium of the IASS, Sydney, Australia, 564-573
- Ishii, K., (1998), "Retractable Roof Structures in Japan", Lightweight Structures in Architecture and Engineering, Symposium of the IASS, Sydney, Australia, 574-583
- Ishii, K., (editör), (2000), Structural Design of Retractable Roof Structures, WIT Press, Southhampton, Boston
- Ishii, K., (2001), "Retractable Roof Structures", Journal of the IASS Vol.42, 2:27-32
- Jensen, F., (2001), "Cover Elements for Retractable Roof Structures", First-year Report Submitted to the University of Cambridge on the Progress of Ph.D., University of Cambridge, Department of Engineering
- Jensen, F. ve Pellegrino S., (2002), "Expandable Space Structures Formed by Hinged Plates", Fifth International Conference on Space Structures, 19-21 August 2002, University of Surrey
- Kawaguchi, K., (1999), "A New Retractable Membrane System", Shells and Spatial Structures: From Recent Past to the Next Millenium, Vol.2: Retractable and Deployable Structures, Symposium of the IASS, Madrid, Spain, D53-D58
- Kayashima M., Hosozawa, O., Nishikawa, K. ve Shibata, I., (2001), "Design of the Retractable Roof Employed Air-Mats", Theory, Design and Realization of Shell and Spatial Structures, Symposium of the IASS, Nagoya, Japan, TP151
- Kokawa, T., (2001), "Proposal of Retractable Loop-Dome", Theory, Design and Realization of Shell and Spatial Structures, Symposium of the IASS, Nagoya, Japan, TP148
- Kovacs, F. ve Tarnai, T., (1998) "Foldable Bar Structures on a Sphere", 2nd International PhD Symposium in Civil Engineering, Budapest, Hungary
- Levy, M., (1994), "The Innovation of Lightness", Bulletin of the IASS Vol.35, 2:77-84
- Levy, M., (1995), "Retractable Lightweight Structures", Spatial Structures: Heritage, Present and Future, Symposium of the IASS, Milano, Italy, 511-515

National Geographic, (1992), The Builders, Marvels of Engineering, The Book National Geographic Society, Washington D.C.

Otto, F., (editör), (1976), IL: The Work of Frei Otto and his Teams (1955-1976), IL 17, Institute of Lightweight Structures, University of Stuttgart,

Pellegrino, S., (1997), "Deployable Structures", IASS Special Colloquium on Current and Emerging Technologies of Shell & Spatial Structures, Madrid, Spain, 28-30 April 1997, 175-188

Robbie, R.G., (1992), "The Architecture of the Toronto Sky Dome", Bulletin of the IASS Vol.33, 3:155-162

Servadio, I., (1995), "Deployable Regular and Semi-Regular Polyhedral Structures Using Hoberman's Technique", Bulletin of the IASS Vol.36, 2:91-97

Srivastava, N.K. ve LeBlanc, M., (1997), "Structural Design of Retractable Roof Structures - State of the Art", IASS Special Colloquium on Current and Emerging Technologies of Shell & Spatial Structures, Madrid, Spain, 28-30 April 1997, 91-104

Tasarım Dergisi, (2002), "Toyota City Stadium", Tasarım Dergisi, 127:53-67

Tasarım Dergisi, (2002), "Oita Stadium", Tasarım Dergisi, 127:98-111

You, Z. ve Pellegrino, S., (1997), "Foldable Bar Structures", International Journal of Solids and Structures, Vol.34, No.15, Elsevier Science Ltd, England, 1825-1847

Zablocki, W., (2002), "Mobility in Sport Architecture", Lightweight Structures in Civil Engineering – Contemporary Problems, Proceedings of the International Symposium of the IASS, Warsaw, Poland, 24-28 June 2002

İNTERNET KAYNAKLARI

[1]Pellegrino, S. ve Jensen, F., (1999), "Retractable Roof Structures", <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/index.html>

[2]Pellegrino, S. ve Jensen, F., (2000), "Bar Structures", <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/dsl/roof/index.html>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	24.11.1978	
Doğum Yeri	Lefkoşa, K.K.T.C.	
Lise	1989 – 1995	Lefkoşa Türk Maarif Koleji
Lisans	1995 – 2001	Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

1999 – 2001 FTS Fuarcılık Hizmetleri Şirketi – İZMİR

