

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STADYUM YAPILARINDA ÇEKMEYE
ÇALIŞAN ÇATI STRÜKTÜRLERİ
KULLANIMININ KRONOLOJİK
DEĞERLENDİRİLMESİ

Sevda DURGUT

Şubat, 2019
İZMİR

**STADYUM YAPILARINDA ÇEKMEYE
ÇALIŞAN ÇATI STRÜKTÜRLERİ
KULLANIMININ KRONOLOJİK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

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

Sevda DURGUT

**Şubat, 2019
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SEVDA DURGUT tarafından DOÇ. DR. AHMET VEFA ORHON yönetiminde hazırlanan “STADYUM YAPILARINDA ÇEKMEYE ÇALIŞAN ÇATI STRÜKTÜRLERİ KULLANIMININ KRONOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Ahmet Vefa ORHON

Yönetici



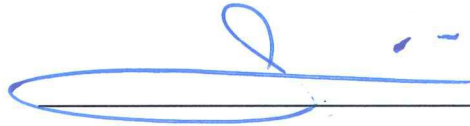
Doç. Dr. Müjde ALTIN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kerem Korkmaz

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı Yapı Bilgisi Yüksek Lisans programı kapsamında sunulan bu çalışmayı yöneten, bilgi ve deneyimi ile destek olan, öğrencisi olmaktan onur duyduğum değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet Vefa ORHON' a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans çalışmam boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, tüm sevgi ve anlayışı ile yanımda olan sevgili eşim Ecir Gürhan TEPEBAŞI'na, bu günlere gelmemi sağlayan ve daima yanımda olan sevgili babam Hayati DURGUT'a, sevgili annem Gülsen DURGUT'a, sevgili kardeşim Öykü Liva DURGUT'a ve son olarak her zaman okumamı isteyen, yanımda olduğunu ve benimle gurur duyduğunu bildiğim sevgili abim Altan Barış DURGUT'a sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın eğitime, akademiye ve mimarlık dünyasına katkısı olması dileği ile...

Sevda DURGUT

STADYUM YAPILARINDA ÇEKMEYE ÇALIŞAN ÇATI STRÜKTÜRLERİ KULLANIMININ KRONOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

Stadyum yapılarının uygulanmasında son dönemlerde mimari kimlik öne çıkmaktadır. İnşa edildiği şehirler için kentsel bir simge haline gelen stadyum yapıları, zamanla strüktürel sistemlerinde gelişmesiyle değişen formlara sahip olmaktadır. Stadyum yapıları bir bütün olarak düşünüldüğünde, çevreyle uyumlu mimari bir kütle ortaya çıkmaktadır. Yapının cephe yüzeylerinin önüne geçen çatı formları, stadyum yapılarına mimari nitelik kazandırmaktadır. Tasarım ve uygulama adına önemli yeri olan çatı strüktürleri bu çalışmada incelenmiştir. Farklı çatı strüktürlerine ve malzemelerine sahip örnekler karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada stadyum yapılarının çatı yapım sistemleri, çatı kaplama malzemeleri, geçilen serbest açıklık ve çatı ağırlığı üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Buradaki amaç, kronolojik sıra içerisinde 1950 yılından günümüze kadar geçen sürede örneklenen stadyum yapılarının değişimleri ve gelişimleri gözlemlemektir. Çalışmanın amacı ve kapsamı giriş bölümünde açıklanmıştır.

İkinci bölümde, stadyum kavramlarının tanımları yapılmış olup, tarihsel gelişim süreci açıklanmıştır. Bu çalışmada seçilen örnekler arasında öne çıkan stadyum yapılarının tanımı ve tarihsel gelişimi ayrı bir başlık altında aktarılmıştır.

Üçüncü bölümde, stadyum yapılarının çatı strüktürleri incelenmiştir. Geniş açıklık geçebilen sistemler üzerinde araştırma yapılmış ve incelenen örneklerde kullanılan yapım sistemlerine değinilmiştir. Bunun yanı sıra strüktürleri örten membranlardan, kullanımı yaygın olan malzemeler seçilmiş ve özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölümün sonunda da membranlar fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde, stadyum yapıları arasından seçilmiş örnekler üzerinde araştırma yapılmıştır. Yapılar ile ilgili genel bilgiler verilmiş, çatı strüktürleri detaylı incelenmiştir ve kronolojik düzende sıralanmıştır.

Beşinci bölümde, stadyum yapılarının çatı strüktür sistemlerinde karşılaştırma yapılmıştır. Yapıların taşıyıcıları betonarme düşey strüktür ve çelik düşey strüktür, kendi aralarında karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Bölüm altıda ise, sonuç ve değerlendirme açıklanmıştır. İncelenen örnek stadyum yapılarında, kullanılan taşıyıcı sistem ve malzemelerinin, çatı strüktürüne etkilerine değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Stadyum yapıları, çatı strüktürleri, çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler, üst örtü malzemeleri, kronolojik sıralama

CHRONOLOGICAL ASSESSMENT OF THE USAGE OF TENSILE ROOF STRUCTURES IN STADIUM BUILDINGS

ABSTRACT

The architectural identity has recently come to the forefront in the implementation of stadium buildings. Stadium buildings, which have become urban objects for the cities in which they are built, have been changing forms with the development of the structural systems. When stadium structures are considered as a whole, a harmonious architectural building shows up environmentally. The roof forms become more important than the facade surfaces of the structure and bring them an architectural qualification. In this study, the roof structures which have an important place regarding design and application are examined. Moreover, the samples of different roof structures and materials were compared.

This study especially investigates roof construction systems, roofing materials, long span and roof weight. The aim is to observe the changes and developments of the stadium structures sampled by during the period from 1950 to the present day in chronological order. The purpose and content of the work is explained in the introduction.

In the second chapter, the stadium terms are defined and the historical development process is being explained. Among the selected examples, the definition and historical development of the prominent stadium structures are being quoted under a separate title.

In the third chapter, roof structures of stadium buildings are being examined. The long span systems are being studied and the structure systems which are used in the examined examples have been mentioned. In addition to this, materials which are widely used are selected from the membranes covering the structures and information

about their properties are given. At the end of this section, the membranes were being compared according to their physical and chemical properties.

In the fourth chapter, selected examples of stadium structures are being investigated. General information about constructions is being given, roof structures are being examined in detail and chronological order is being sorted.

In the fifth chapter, the roof structure of the stadium structures is compared. The structures of the stadium buildings are evaluated by comparing the vertical structure of the reinforced concrete and the steel vertical structure.

In section six, results and evaluation are explained. In the sample stadium structures examined, the effects of the carrier systems and materials used on the roof structure are mentioned. The advantages offered by the roof structure systems are being explained.

Keywords: Stadium buildings, roof structures, tensile structures, membrane materials, chronological order

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLOLAR LİSTESİ.....	xvii
 BÖLÜM BİR – GİRİŞ	 1
1.1 Giriş	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Çalışmanın Kapsamı ve İçeriği.....	3
1.4 Çalışmanın Yöntemi	4
 BÖLÜM İKİ – STADYUM YAPILARI	 6
2.1 Stadyum Kavramı	6
2.2 Stadyum Yapıları.....	7
2.3 Stadyum Yapılarının Tarihsel Gelişimi.....	9
 BÖLÜM ÜÇ – STADYUM YAPILARINDA ÇEKMEYE ÇALIŞAN ÇATI STRÜKTÜRLERİ.....	 13
3.1 Çekmeye Çalışan Çatı Sistemlerinin Tanımı	14
3.2 Çekmeye Çalışan Taşıyıcı Sistemlerin Tarihsel Gelişimi.....	15
3.3 Stadyum Yapılarında Çekmeye Çalışan Çatı Strüktürlerini Sınıflandırma.....	16
3.3.1 Kablo Sistemler	20
3.3.1.1 Kablo Sistemlerin Yapım Elemanları	21

3.3.1.2 Tek Kablo Sistemler	22
3.3.1.3 Çift Kablo Sistemler	24
3.3.1.4 Kablo Ağı Sistemleri.....	25
3.3.1.5 Kablo Sistemlerde Destek Elemanları	25
3.3.1.6 İç ve Dış Çemberli Kablo Ağları	26
3.3.2 Zincir Eğrisi	27
3.3.3 Asma-Germe Membran Sistem	29
3.3.4 Tensegrity	31
3.3.5 Lamine Ahşap Sistemler.....	33
3.4 Stadyum Yapılarında Kullanılan Çatı Kaplama Malzemeleri.....	34
3.4.1 Çatı Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması	35
3.4.1.1 PVC.....	39
3.4.1.2 PTFE	41
3.4.1.3 ETFE	44
3.4.1.4 TPO	50
3.4.1.5 Neopren.....	51
3.4.1.6 Polikarbon Levha	52
3.4.1.7 Pleksiglas Levha	55
3.4.1.8 Alüminyum ve Galvanizli Sac Levha	56
3.4.2 Çatı Kaplama Malzemelerinin Karşılaştırılması	58

BÖLÜM DÖRT - STADYUM YAPILARININ İNCELENMESİ..... 66

4.1 J.S. Dorton Arena	68
4.2 David Saarinen Ingalls Skating Rink.....	76
4.3 Tokyo Olimpiyat Stadyumları	80
4.4 Münih Olimpik Park.....	87
4.5 Montreal Olimpiyat Stadyumları.....	93
4.6 Scotiabank Saddledome.....	97
4.7 King Fahd Stadyumu	101
4.8 Utah Olimpik Oval	104

4.9 Sdney Olimpiyat Stadyumları	107
4.10 Jeonju Stadyumu	110
4.11 City of Manchester Stadium	114
4.12 Atina Olimpiyat Stadyumu.....	119
4.13 Khalifa Uluslararası Stadyumu	123
4.14 Wembley Stadyum	131
4.15 Green Point Stadyumu.....	136
4.16 Moses Mabhida Stadyumu	139
4.17 BC Place Stadyumu.....	143
4.18 La Plata Stadyumu.....	146
4.19 Lee Valley Velodrome	150
4.20 Maracana Stadyumu	156
4.21 Grandview Heights Aquatic Centre	159
 BÖLÜM BEŞ - STADYUM YAPILARINDA ÇATI STRÜKTÜR SİSTEMLERİNİ KARŞILAŞTIRMA	 163
 BÖLÜM ALTI- SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	 177
 KAYNAKLAR	 180

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Circus Maximus	10
Şekil 2.2 Colosseum.....	11
Şekil 3.1 Göçebe avcı çadırı.....	15
Şekil 3.2 Koni ve kara çadır örneği.....	16
Şekil 3.3 Stadyum yapılarında çekmeye çalışan çatı strüktürlerinin sınıflandırılması	18
Şekil 3.4 Askı ve dengeleme yükleri.....	25
Şekil 3.5 Zincir eğrisi grafiği	29
Şekil 3.6 Zincir eğrisi ve üçgen kuvveti	29
Şekil 3.7 Zincir eğrisi yük dağılımı.....	30
Şekil 3.8 Asma-germe membran sistemi	31
Şekil 3.9 Tensegrity sistemi	33
Şekil 3.10 Örneklerde kullanılan çatı yüzeyi kaplama malzemeleri grafiği	36
Şekil 3.11 PVC malzeme	40
Şekil 3.12 PVC membranın katmanları	41
Şekil 3.13 Geri dönüştürme aşamaları 1 a) 1-2 cm ölçülerinde parçalara ayrılmış hali, b) Su içinde çözünmüş hali.....	41
Şekil 3.14 Geri dönüştürme aşamaları 2 a) Sıcak su içerisinde çözünmüş hali, b) Geri dönüştürülmüş PVC.....	42
Şekil 3.15 PTFE malzeme.....	42
Şekil 3.16 ETFE malzeme.....	45
Şekil 3.17 Tek tabakalı ETFE membran a) Görünüş, b) ETFE film kesiti.....	46
Şekil 3.18 Tek tabakalı ETFE membran sistem detayı	46
Şekil 3.19 Çift tabakalı ETFE membran a) Görünüş, b) ETFE film kesiti.....	46
Şekil 3.20 Çift tabakalı ETFE membran sistem detayı	47
Şekil 3.21 Yoğuşma kanallı ETFE detayı	49
Şekil 3.22 Çift tabakalı ETFE geçilen açıklık.....	49
Şekil 3.23 ETFE membran yağmur suyu detayı	50

Şekil 3.24 Fotovoltaik şeritler	50
Şekil 3.25 Fotovoltaik şerit kaplamalı ETFE örneği.....	51
Şekil 3.26 TPO membran.....	51
Şekil 3.27 TPO membran uygulama	52
Şekil 3.28 Neopren tabakalar	53
Şekil 3.29 Polikarbon levha	54
Şekil 3.30 Isı etkisinin çatıda oluşturduğu hasar.....	54
Şekil 3.31 Pleksiglas Levha Renkleri	55
Şekil 3.32 Düz ve trapez alüminyum levha	56
Şekil 3.33 Galvanizli sac kesiti	57
Şekil 3.34 Trapez ve oluklu galvaniz levha uygulama şekli	58
Şekil 3.35 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin kalınlık grafiği	61
Şekil 3.36 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin ağırlık grafiği.....	62
Şekil 3.37 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin kullanım ömrü grafiği	62
Şekil 3.38 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin ışık geçirgenliği grafiği	63
Şekil 3.39 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin ısı dayanımı grafiği	64
Şekil 4.1 Kronolojik Sıralama.....	697
Şekil 4.2 Dorton Arena'nın strüktürel hareketinin çalışma diyagramı	69
Şekil 4.3 Nowicki'nin konsept çizimleri 1950.....	70
Şekil 4.4 Dorton Arena'nın tamamlanmış hali	70
Şekil 4.5 Dorton Arena çekmeye çalışan kablo ağı	71
Şekil 4.6 Dorton Arena strüktürel detay	73
Şekil 4.7 Dorton Arena ısıtma kontrol şemaları.....	74
Şekil 4.8 Dorton Arena cephe ve pencere detayları	74
Şekil 4.9 Dorton Arena çatı detayları.....	75
Şekil 4.10 Dorton Arena çatı planı.....	75
Şekil 4.11 David Sarrinen Ingalls Skating Rink giriş saçağı	77
Şekil 4.12 Güney ve kuzey cephe çizimleri	78
Şekil 4.13 Betonarme omurga sistem.....	79
Şekil 4.14 Sistem detayı.....	79
Şekil 4.15 Olimpik yüzme havuzu plan ve kesitleri	82

Şekil 4.16 Olimpik yüzme havuzu çatı strüktür detayı	82
Şekil 4.17 1/30 ölçekli maket deneyi	83
Şekil 4.18 1/100 ölçekli model deneyi	84
Şekil 4.19 Basketbol sahası kablo ağı çatı yapım süreci.....	85
Şekil 4.20 Basketbol sahası taşıyıcı strüktür detayı	85
Şekil 4.21 Kablo birleşim nokta detayı	86
Şekil 4.22 82-83 mm çaplı büyük çelik kablolar	86
Şekil 4.23 Münih Olimpiyat Stadyumu	88
Şekil 4.24 Münih Olimpiyat Stadyumu çatı geometrisi.....	89
Şekil 4.25 Münih Olimpiyat Stadyumunun topolojik diyagramı.....	90
Şekil 4.26 Münih Olimpiyat Stadyumunun çatı kablo ağı detayı	91
Şekil 4.27 Stadyum, spor salonu ve yüzme havuzu çatı planları	91
Şekil 4.28 Münih Olimpiyat Stadyumu cephe-kesit	92
Şekil 4.29 Münih Olimpiyat Stadyumu genel planı.....	92
Şekil 4.30 Montreal Olimpiyat Stadyumu kuzey-güney yönünden alınmış kesit.....	94
Şekil 4.31 Betonarme konsol taşıyıcı strüktürler	95
Şekil 4.32 Montreal Olimpiyat Stadyumu betonarme taşıyıcı sistem detayı	96
Şekil 4.33 Montreal Olimpiyat Stadyumu cephe ve plan çizimi	96
Şekil 4.34 Montreal Olimpiyat Stadyumu hareketli çatı.....	96
Şekil 4.35 Scotiabank Saddledome	98
Şekil 4.36 Prekast beton panel içerisindeki lifler	99
Şekil 4.37 Scotiabank Saddledome kesitleri-1	100
Şekil 4.38 Scotiabank Saddledome kesitleri-2	100
Şekil 4.39 King Fahd Stadyumu çatı planı ve kesiti	102
Şekil 4.40 King Fahd Stadyumu çatı strüktür sistem detayı	103
Şekil 4.41 Stadyumun çatısının tekrar eden sistemi	103
Şekil 4.42 Utah Olympic Oval	105
Şekil 4.43 Görünüş ve kesit ve çizimleri	105
Şekil 4.44 Mimari plan.....	106
Şekil 4.45 Sistem detayı.....	106
Şekil 4.46 Sydney Olimpik Stadyum	108

Şekil 4.47 Doğu-Batı kesit detay	109
Şekil 4.48 Kuzey-Güney kesit detay	109
Şekil 4.49 Jeonju stadyumu a) Görünüş, b) Çatı strüktürü	111
Şekil 4.50 Çatı yapım elemanları	112
Şekil 4.51 Stadyum cephesi	112
Şekil 4.52 İnşaat yapım süreci	113
Şekil 4.53 Çatı strüktür sistemi	113
Şekil 4.54 Site planı	115
Şekil 4.55 Atletizm için kuzey-güney kesiti	116
Şekil 4.56 Futbol için kuzey-güney kesiti.....	116
Şekil 4.57 Atletizm için batı-doğu kesiti.....	116
Şekil 4.58 Futbol için batı-doğu kesiti	116
Şekil 4.59 Atletizm(sol) ve Futbol(sağ) için oturma planı.....	117
Şekil 4.60 Form oluşumu	117
Şekil 4.61 Stadyumun strüktürel konsepti	118
Şekil 4.62 Kablo birleşim detayları.....	118
Şekil 4.63 Atina Olimpiyat Stadyum planı	120
Şekil 4.64 Atina Olimpiyat Stadyum en kesiti.....	120
Şekil 4.65 Stadyumun çatı strüktürü	121
Şekil 4.66 Atina Olimpiyat Stadyumu boy kesiti.....	122
Şekil 4.67 Atina Olimpiyat Stadyumu aksonometri	122
Şekil 4.68 Khalifa stadyumu 1976.....	124
Şekil 4.69 Stadyum çatı görünüşü.....	125
Şekil 4.70 Khalifa Stadyumu strüktür yapısı	126
Şekil 4.71 Kuzey betonarme ankraj noktaları	126
Şekil 4.72 Aydınlatma kemeri-basınç noktası	127
Şekil 4.73 Aydınlatma kemeri-itme ve çekme noktaları.....	127
Şekil 4.74 Çatı Strüktürü Aksonometri.....	128
Şekil 4.75 Bağlantı kelepçe detayları.....	129
Şekil 4.76 Çatı elemanları a) Ana çatı strüktürü, b) Aydınlatma kemer strüktürü ..	130
Şekil 4.77 Wembley Stadyumu.....	132

Şekil 4.78 Kemer ve kablo ağı öngerilme sistemi.....	134
Şekil 4.79 Çatı makas parçası	134
Şekil 4.80 Çatı strüktürü	135
Şekil 4.81 Green Point Stadyumu Detay Kesiti	137
Şekil 4.82 Green Point Stadyum planı	138
Şekil 4.83 Green Point Stadyumu cephe-kesit.....	138
Şekil 4.84 Green Point Stadyumu cephe-kesit.....	138
Şekil 4.85 Moses Mabhida Stadyum planı.....	141
Şekil 4.86 Moses Mabhida Stadyum çatı planı.....	141
Şekil 4.87 Moses Mabhida Stadyumu görünüşler	142
Şekil 4.88 Moses Mabhida Stadyum sistem detayı.....	142
Şekil 4.89 BC Place stadyumu boyutları	144
Şekil 4.90 BC Place Stadyumu çatı membranı a) Çatı membranı kapalı, b) Stadyum içerisinden kapalı çatı görünüşü.....	145
Şekil 4.91 Radyal kablo arasında membranın yük dağılımı	145
Şekil 4.92 Stadyum planı	147
Şekil 4.93 Çatı strüktür detayı.....	148
Şekil 4.94 Taşıyıcı sistem detayı.....	149
Şekil 4.95 Stadyumun görünüşleri	149
Şekil 4.96 Ahşap kaset panel	152
Şekil 4.97 Kablo ağı + ahşap kaset panel.....	152
Şekil 4.98 Lee Valley Velodrome görünüşleri.....	153
Şekil 4.99 Velodrome kesit-1.....	153
Şekil 4.100 Velodrome kesit-2.....	153
Şekil 4.101 Çatı modeli.....	154
Şekil 4.102 Taşıyıcı sistem detayı 1.Çatı boyunca kablo gerilimleri, 2.Çelik kafes sistemin itme kuvveti ile kablo kuvveti, 3.Betonarme taşıyıcılara aktarılmış itme kuvveti, 4.Bina yükleri altında devrilme momenti, 5.Yatay itme kuvveti, 6.Dış iskelete destek, devrilmeye karşı direnç, 7. Basınç kuvveti.....	154
Şekil 4.103 Kablo ağının hareketini sağlayan bağlantı noktaları.....	155

Şekil 4.104 Strüktür diyagramı ve stadyum çatısı	157
Şekil 4.105 Stadyum çatı taşıyıcı sistemi.....	158
Şekil 4.106 Taşıyıcı sistem-geçilen açıklık.....	158
Şekil 4.107 Plan	160
Şekil 4.108 Kesit	160
Şekil 4.109 55m ve 45m geçilen açıklık	161
Şekil 4.110 Çatı sistem detayı 1. Ø29mm x 1.500mm çelik çubuk betonarme döşemeye ankrajlı, 2. 38mm çelik plaka, 3. Ø57mm dübel ve 16mm plaka, 4. 22mm x 200mm çelik plaka, 5. 127mm x254mm Douglas köknar glulam, 6.220mm x 800mm çivileme plaka, 7. 25mm sıcak daldırma	162
Şekil 4.111 Lamine Ahşap giriş	162
Şekil 5.1 “Betonarme düşey strüktür” çatı strüktür sınıflandırmasında stadyumların seyirci kapasitesi.....	164
Şekil 5.2 “Çelik düşey strüktür” çatı strüktür sınıflandırmasında stadyumların seyirci kapasitesi	165
Şekil 5.3 “Betonarme düşey strüktür” ve “kablo sistem” çatı sistemlerinde metrekare başına düşen kişi oranı.....	167
Şekil 5.4 “Çelik düşey strüktür” çatı sistemlerinde metrekare başına düşen kişi oranı	168
Şekil 5.5 “Betonarme düşey strüktür” sınıflandırması altındaki çatı strüktürlerinde geçilen açıklık.....	169
Şekil 5.6 “Çelik düşey strüktür” sınıflandırması altındaki çatı strüktürlerinde geçilen açıklık grafiği.....	170
Şekil 5.7 “Betonarme düşey strüktür” ve “Çelik düşey strüktür” stadyum örneklerinde metrekare başına düşen çatı ağırlığı	171
Şekil 5.8 Stadyum yapılarında kablo ağı örneklerinin sarkma boylarının değişimi	173
Şekil 5.9 Betonarme ve çelik düşey strüktür çatı sistemlerinde sarkma oranı değişim grafiği	176

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Çatı strüktürlerinin sınıflandırılması.....	19
Tablo 3.2 Çatı kaplama malzemelerinin sınıflandırılması	38
Tablo 3.3 Membran malzemelerinin karşılaştırılması	60
Tablo 4.1 Dorton Arena ile ilgili bilgiler	68
Tablo 4.2 D.S. Ingalls Skating Rink ile ilgili bilgiler	76
Tablo 4.3 Tokyo Olimpiyat Stadyumları ile ilgili bilgiler	80
Tablo 4.4 Münih Olimpik Park ile ilgili bilgiler	87
Tablo 4.5 Montreal Olimpiyat Stadyumu ile ilgili bilgiler	93
Tablo 4.6 Scotiabank Saddledome ile ilgili bilgiler.....	97
Tablo 4.7 King Fahd Stadyumu ile ilgili bilgiler	101
Tablo 4.8 Utah Olimpik Oval ile ilgili bilgiler	104
Tablo 4.9 Sydney Olimpiyat Stadyumu ile ilgili bilgiler	107
Tablo 4.10 Jeonju Stadyumu ile ilgili bilgiler.....	110
Tablo 4.11 Manchester Şehir Stadyumu ile ilgili bilgiler	114
Tablo 4.12 Atina Olimpiyat Stadyumu ile ilgili bilgiler	119
Tablo 4.13 Khalifa Uluslararası Stadyumu ile ilgili bilgiler.....	123
Tablo 4.14 Wembley Stadyumu ile ilgili bilgiler	131
Tablo 4.15 Green Point Stadyumu ile ilgili bilgiler	136
Tablo 4.16 Moses Mabhida Stadyumu ile ilgili bilgiler	139
Tablo 4.17 Bc Place Stadyumu ile ilgili bilgiler	143
Tablo 4.18 La Plata Stadyumu ile ilgili bilgiler	146
Tablo 4.19 Lee Valley Velodrome ile ilgili bilgiler.....	150
Tablo 4.20 Maracana Stadyumu ile ilgili bilgiler	156
Tablo 4.21 Grandview Heights Aquatic Centre ile ilgili bilgiler.....	159
Tablo 5.1 Zincir eğrisi geometrisinde sarkma değeri aralığı	172
Tablo 5.2 Sarkma oranı aralığı analizi	175

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Stadyum, en basit tanımıyla spor müsabakalarının yapıldığı alandır. Spor etkinliklerini seyircilerin izlemesine imkân veren mekândır. Stadyum ifadesi ilk olarak futbol spor dalını akla getirirse de, aslında stadyum birçok spor dalını içermektedir. Geniş kapsamda stadyum, futbol, beyzbol, buz hokeyi, basketbol, kriket, rugby, gaelic futbol, arena futbol, mini futbol, atletizm, voleybol, hentbol, jimnastik, kayakla atlama, motor sporları (Formula 1, NASCAR, indycar, motosiklet yol ve hız yarışı), güreş, boks, karma dövüş sanatları, sumo, netbol, tenis, masa tenisi, badminton, bisiklet, buz pateni, golf, yüzme, çim hokeyi, boğa güreşi, binicilik, polo, at yarışı ve halter gibi çeşitli spor müsabakalarının yapıldığı yerlerdir.

Günümüzde sosyal, kültürel ve ekonomik fayda sağlamaya yönelik spor etkinlikleri ve olimpiyat organizasyonları, büyük ve etkin stadyum yapılarına gereksinim doğurmaktadır. Bu faaliyetler, çok sayıda seyircinin bir araya gelmesini ve konfor koşullarını sağlayan, büyük açıklık gerektiren stadyum yapılarının inşa edilmesini sağlamaktadır. Farklı spor etkinliklerinin yapılmasına olanak sağlayan stadyum yapılarında çatı tasarımları önemli bir etken olmaya başlamıştır. Çatı strüktürleri ve kaplama malzemeleri birbirleri ile bağlantılı çalışarak farklı formlarda etkin stadyum yapıları ortaya çıkmaya başlamıştır.

Stadyum yapılarında 1950’li yıllarda çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler etkin olmaya başlamıştır. Bir yapının ana yüklerini, kablo ve membran gibi sadece çekme gerilmeleri ile etkilenerak taşıyabilen taşıyıcı sistemler genel olarak “çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler” olarak anılmaktadır. Bu sistemler, hafifliklerine bağlı strüktürel etkinlikleri nedeniyle diğer taşıyıcı sistemlerle (karkas vb.) aşılması nispeten zor açıklıkları daha etkin biçimde geçebilirler. Üst örtünün hafifliği, bunu taşıyan duvar, kolon ve diğer tüm alt taşıyıcıların daha hafif olmasını, temellerin küçülmesini

beraberinde getirmektedir. Çekmeye çalışan sistemlerde malzemenin dayanım sınırlarına kadar yüklenebilmesi nedeniyle strüktürel etkinlik artar. Böylece spor yapılarının işlevsel olarak ihtiyaç duyduğu geniş açıklıklı mekânlar, strüktürel olarak daha etkin biçimde geçilebilir (Durgut ve Orhon, 2015).

Bu çalışmada stadyum yapılarında çekmeye çalışan çatı strüktürleri içeren örnekler incelenecektir. 1950'lerden günümüze kadar inşa edilmiş stadyum yapılarında çatı strüktürlerinin gelişimi kronolojik olarak irdelenecektir. Çatı strüktürlerinde mimarlık ve mühendisliğin gelişmesiyle farklı biçimde formlar oluşmaktadır. Bununla birlikte stadyum yapılarında farklı çatı kaplama malzemeleri kullanımları görülmektedir. Değişken hava koşulları düşünülerek sporcuların, seyircilerin ve zeminin korunması, koşulların iyileştirilmesi için çatı strüktür sistemi ile kaplama malzemesi birlikte uyumlu çalışmalıdır. Çekmeye çalışan taşıyıcı sisteme sahip olan stadyumlar incelendiğinde çatı strüktürlerinde farklı yapım sistemlerinin kullanımı da gözlemlenmektedir. Sporun zihnimizde canlandırdığı dinamik, pratik ve hafiflik kavramları, stadyum yapılarının tasarımına, taşıyıcı sistemlerine ve çatı strüktürlerine yansımaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, stadyum yapılarının genel özelliklerini, çatılarının taşıyıcı sistemlerini ve çatı kaplama malzemelerini incelemek, detaylı bir literatür araştırması yapmak, bu araştırmalar sonucunda elde edilen bilgiler dahilinde taşıyıcı sistemleri sınıflandırmak ve stadyum yapıları arasında bulunan veriler ile ilgili karşılaştırma yapmaktır. Yapılan bu karşılaştırma sonrasında amaç, taşıyıcı sistem benzerliklerinin ve farklılıklarının stadyum yapılarındaki etkilerini ortaya çıkarmaktır.

1952 yılından 2015 yılına kadar toplam 21 adet stadyum yapılarının özelliklerine ve teknik bilgilerine erişim sağlanmıştır. Bununla birlikte farklı stadyum yapılarının sahip olduğu fonksiyonların ve seyirci kapasitesinin gereksinimlerinin, yapının taşıyıcı sistemine olan etkilerini değerlendirmek, seyirci konforunun çatı strüktürü ile

ilişkisinin bağlantılı olup olmadığını saptamak ve uzun süreli kullanımlar için çatı kaplama malzemelerinin kullanımlarını değerlendirmek amaçlanmıştır. Tüm bu araştırmaların sonucunda stadyum yapılarında, seyirci kapasitesi, yapı yüksekliği ve geçilen açıklık verilerinin, tercih edilen çatı strüktür sistemleriyle birlikte değişime uğradığını göstermek beklenmektedir.

1.3 Çalışmanın Kapsamı ve İçeriği

Bu çalışmanın temelini stadyum yapıları ve çekmeye çalışan çatı strüktürleri oluşturmaktadır. Tez kapsamında çeşitli stadyum yapılarında incelenen çatı sistemlerine, çatı taşıyıcı sistemlerinin birlikte çalışmalarına, çatı kaplama malzemelerine ve tüm bunların sınıflandırma yapılarak birbiri arasındaki karşılaştırmalarına yer verilmektedir. 1950 yıllarında Frei Otto öncülüğünde büyük ölçekli çatı tasarımlarında gelişmeler gözlemlenmiştir. Bu nedenle tezin kronolojik tarih başlangıcı için çekmeye çalışan strüktür ve hafif çatı sistemlerinin gelişmeye başladığı yıl olan 1950 yılları seçilmiştir. Tez içindeki stadyum örnekleri 1952 yılından başlayan ve günümüze kadar inşa edilmiş farklı seyirci kapasiteleri ve spor aktiviteleri olan yapılar ile sınırlıdır. Seçilen örnek yapılar çatı strüktür özellikleri açısından zamanında yapılmış ilk ve önemli örnek (ilk kablo ağı çatı, ilk hareketli membran çatı, en uzun açıklık geçen çatı kaplama malzemesi ve çatı strüktürü, ilk kez kullanılan çatı kaplama malzemesi gibi) teşkil etmesiyle tercih edilmiştir. Her bir stadyum örneği için yapı künyesini, yapı boyutunu, çatı strüktürünü, çatı kaplama malzemesini ve geçilen açıklık ölçüsünü içeren tablo oluşturulmuştur. Çatı strüktür sistemleri ve çatı kaplama malzemeleri ile ilgili sınıflandırma yapılarak benzer sistemler arasında grafik kullanılarak karşılaştırma ve değerlendirme yapılmaktadır.

Bu çalışmada geniş açıklıklı stadyum yapılarının çekmeye çalışan çatı sistemleri incelenmekte, çatı sistemlerinin oluşturulma biçimleri, çalışma ilkeleri ve malzemeleri ele alınmaktadır. Ahşap, çelik ve betonarme malzemeli çeşitli çatı sistemleri birbirleri ile karşılaştırma yapılarak analiz edilmektedir. Düşey taşıyıcı olmadan geçilen açıklık,

yükseklik vb. gibi boyutları bilinen stadyum yapıları, bu veriler kapsamında karşılaştırılarak gelişim ve süreçleri yorumlanmaktadır.

Tez içeriği toplamda beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tez özetine, amacına ve içeriğine değinilmektedir. İkinci bölümde stadyum kavramı ve stadyum yapılarının tanımına ve tarihsel gelişimine değinilmektedir. Üçüncü bölümde tezi oluşturan çekmeye çalışan çatı strüktürlerine, tarihsel gelişimine, taşıyıcı sistemlere ve sınıflandırılmasına, çatı kaplama malzemelerinin özellikleri ve birbiri arasında karşılaştırma tabloları içermektedir. Bununla birlikte stadyum yapılarında ve geniş alanları geçmede kullanılan çatı formunu belirleyen zincir eğrisi geometrisi ve tarihsel gelişimi anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde 1950 yılından günümüze kadar yapılmış stadyum yapılarının çatı strüktürleri incelenmekte ve kronolojik sırayla çatı strüktür sistemi ve malzeme kullanımları detaylandırılmaktadır. Son bölüm olan beşinci bölümde ise çatı taşıyıcı sistemleri karşılaştırmaları yapılmakta ve günümüze kadar çatı strüktürlerinin değişimi sonuç olarak incelenmektedir.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada çeşitli spor aktivitelerinin yapıldığı stadyum yapılarına yönelik araştırma yapılmıştır. Öncelikle örnek stadyum yapılarını seçerken dünyadaki çevrimiçi stadyum veri tabanını sağlayan stadiumdb.com web adresi üzerinden toplam 129 ülkede yer alan stadyum yapıları taranmıştır. Örnekler toplamda 13 ülke ve 21 farklı şehirden seçilmiştir. Çekmeye çalışan çatı strüktürünü içeren tarihte ilk ve önemli stadyum yapıları tespit edilmiş, kronolojik düzen içerisinde sıralanmıştır. Stadyum yapılarında çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin gelişiminin 1950 yıllarında başladığı belirlenmiş ve bu tarihten itibaren 1'er ve 5'er yıllar arayla günümüze kadar inşa edilen 21 adet stadyum yapısı incelenmiştir. Stadyumların çekmeye çalışan çatı strüktürlerine ve bu strüktürlerin diğer taşıyıcı sistemlerle çalışmasına dair incelemeler yapılmıştır. Çatıda düşey taşıyıcı olmadan geçilen açıklık, çatı yüksekliği, çatı yüzey alanı ve sarkma oranı gibi verilere ulaşılmıştır. Tüm bu çalışmalar sırasında literatür taraması yapılmış olup, stadyumlar ile ilgili literatürde yayınlanmış yapım yılı, seyirci

kapasitesi, fonksiyonu, boyutları, geçilen açıklık, çatı yüzey alanı, atı Strüktürü verileri kullanılarak analiz yapılmıştır.

BÖLÜM İKİ

STADYUM YAPILARI

Bu bölümde stadyum ve yapıları ile ilgili kavramlar tanımlanmaktadır. Stadyum yapılarının günümüze kadar olan tarihsel gelişimine mimari açıdan kısaca değinilmektedir.

2.1 Stadyum Kavramı

Stadyumlar çeşitli spor müsabakalarının yapılabilmesi için özel olarak yapılmış yapılardır. Popüler stadyum sporları futbol, beyzbol, buz hokeyi, basketbol, kriket, rugby, mini futbol, atletizm, voleybol, hentbol, jimnastik, kayakla atlama, motor sporları (Formula 1, motosiklet yarışı), güreş, boks, sumo, netbol, tenis, masa tenisi, badminton, bisiklet, buz pateni, yüzme, çim hokeyi, boğa güreşi, binicilik, polo, at yarışı ve halterdir. Günümüzde stadyum yapılarının bir kısmı konserler için de kullanılmaktadır. Basketbol dünyanın en popüler arena (kapalı stadyum) sporudur. Büyük yarış pistleri ve büyük at yarışı pistleri stadyum değil spor salonudur. Bunun nedeni tüm oyun sahasının tribünlerden görünüyormasıdır (Wikizeroo, 2008).

Stad kelimesi dilimize Fransızca'dan gelen bir sözcüktür. Köken olarak Eski Yunanca'da 177 ve 192 metre arasında değişen ölçü birimi ve bu mesafedeki koşu yarışları anlamına gelen stâdion kelimesine dayanmaktadır. Buradan türetilen stadium kelimesi ise koşu sahası anlamındadır. Fransızlar koşuyu genel anlamıyla spor sahası olarak düzenleyip kelimeyi stade olarak şekillendirmişlerdir. Stad kelimesi de buradan diğer batı dillerine ve sonra da dilimize geçmiştir (Ucking, 2015).

Konuya teknik açıdan bakılacak olursa stadyum yapıları, planlı alanlar imar yönetmeliğinde, Uygulama imar planı kararı ile futbol ve benzeri spor müsabakaları için üzeri açık veya kapalı olarak inşa edilen, bünyesinde, yapılan spora ve sporculara ilişkin tesislerin yanı sıra açık ve kapalı otopark, idari, sosyal ve kültürel tesisler ile lokanta, pastane, çayhane, çarşı, alışveriş birimleri, büfe gibi mekân, yapı veya tesisler

bulunabilen, planla açıkça belirtilmek ve tescile konu edilmemek kaydıyla stadyum projesi bütünlüğü içerisinde yol ve meydanların altını da kapsayabilen kompleksleri' olarak tanımlanmıştır (ÇŞB, 2017).

Antik çağda stadyum, kutsallığın bir ifadesi olarak atletik yarışmaların yapıldığı açık yarış yolu ile yarış yerini çevreleyen seyirci yerlerini içine alan bir bütün tesis olarak tanımlanmaktadır. Günümüzdeki modern tanımı ile stadyum yapıları yukarıda tanımlanan sporların yapılabilmesi için gerekli alanları içeren ve bu alanları çevreleyen izleyici birimlerinin olduğu ve bu birimlere hizmet eden mekânlardan oluşan açık ve kapalı spor alanları olarak tanımlanır.

2.2 Stadyum Yapıları

Stadyum yapılarının oluşumundaki ilk neden spor eylemlerinin var olması ve bu eylemlerin giderek çeşitlilik kazanmasıdır. Bununla birlikte toplumsal değişim ve gelişim, dönem farklılıkları, gelişen malzeme ve teknoloji kullanımları vb. faktörler stadyum yapılarına yön vermiştir.

Stadyum yapıları genellikle işlevin ön planda olduğu ve ortamda bulunan kalabalığın aynı anda hareket etmesinin sağlandığı biçimde tasarlanmaktadır. Stadyum yapılarının tasarımı ve fiziksel performansları ile ilgili öğeler, seyirci kapasitesi, oyun alanının oryantasyonu, tribün alanının konforu ve yapı strüktür etkinliği olarak özetlenebilmektedir.

Bir stadyum yapısının seyirci kapasitesi, stadyumun büyüklüğüne, imkânlarına ve işlevine bağlıdır. Gerekli seyirci kapasitesi ile istenen seyirci kapasitesi arasında doğru bir denge olmalıdır. Stadyum yerleşim düzeninin yönelimi sporcuların güneşe maruz kalmaması için kuzey/güney doğrultusunda olmalıdır. Oyun alanı etrafındaki tribünlerdeki seyirci konforu, oyun alanına olan mesafeye bağlıdır. Seyirci tribünleri dikdörtgen ve daire biçimlerinin varyasyonlarından oluşmaktadır.

Mimari ve strüktürel elemanlar stadyum yapısının, seyirciyi yağmur, kar ve güneşe karşı koruyan önemli parçalarıdır. Stadyum çatı tipi iklim ve seyirci konfor koşulları göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Etkin çatı strüktürü tasarlandıktan sonra çatı formu kesin olarak biçimlenmektedir. Stadyumun yapım sistemi çatı strüktür sistemi ile birleştirilmektedir. Stadyum yapılarında en önemli gelişim ve değişim çatı sistemlerinde meydana gelmiştir. Açık stadyumlar zamanla, konforu artıracak, tribünlerin üzerini örten büyük ve geniş çatılara ve hava koşullarına göre açılıp kapanabilen hareketli çatı sistemlerine sahip stadyumlara dönüşmektedir.

Stadyum çatıları temel olarak basınç ve çekmeye çalışan, konsol çalışan, kabuk sistem, asma germe membran sistem, pnömatik, uzay kafes sistem ve hareketli yapısal formlarla tanımlanmaktadır. Oyun alanlarına ve tribünlere paralel betonarme pylonlarla desteklenen kafes kirişlerden oluşan çatı sistemi, en basit olanıdır ve pylonlar seyirci görüş mesafesini kısmi olarak engellemektedir. Stadyum tribününe ve çatısına paralel, çatının bir ucundan diğer ucuna kadar uzanan çelik kafes kiriş seyirci görüşünü engellemeyerek, stadyum yapılarında çatı strüktür sisteminin iyileştirilmiş halidir. Konsol strüktürler bir noktada sabitlenen ve tribünlerin üzerinde serbestçe asılan en yaygın kullanılan yapısal sistemlerden biridir. Konsollar stadyumun dış kenar taşıyıcısına sabitlenerek tribün üzerinde çıkma yaparak çalışmaktadır.

Kabuk sistemler ile inşa edilen stadyum çatıları tek veya çift eğrilikli yüzey oluşturan yapılardır. Bu yapıların mukavemeti ve dengesi geometrik formundan kaynaklanmaktadır. Basınç ve çekme çemberi oluşturan çatı sistemleri, bir iç çekme ve dış basınç halkası arasında bağlantıyı sağlayan radyal elemanlardan oluşan dairesel plan şeklindedir. Bu çatılarda strüktür etkinlik ve mimari form uyumu başarılı olup ve ön plana çıkmaktadır. Zincir eğrisi geometrisi kullanılan çatılarda basınç kemerine asılan kablolar, stadyum yapılarında hafif çatı teriminin kullanılmasını sağlamaktadır. Kablo ağı çatı sistemleri kablo sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir taşıyıcı betonarme veya çelik pılona asılan kablolar çekmeye çalışarak geniş mesafeleri düşey elemanlar olmadan geçmeyi sağlamaktadır. Asma germe membran sistemler de pylonlara asılan farklı malzemelerdeki membranların oluşturduğu çatı sistemleridir.

Membran malzemenin çeşidine göre çatının dayanımı ve etkinliği değişmektedir. Pnömatik sistemler de plastik membrana elektrikli fanlar tarafından iç basınç oluşturularak, geniş alanlarda kablolar yardımıyla desteklenen çatı tipidir. Uzak kafesler, yapısal çelik elemanların oluşturduğu üç boyutlu sistemlerdir. Genellikle stadyum yapılarında çevre etrafında ve iki yönde uzanan yapısal elemanlar kenar doğrultularında çalışmaktadır. Kapalı stadyum yapılarının yarı açık stadyum yapılarına çevrilmesini sağlayan hareketli çatı sistemleri sert ve esnek malzemelerin kullanıldığı hareket mekanizmaları ile çalışmaktadır. Sert malzemeler (cam, plastik, metal) parça halinde kademeli hareketler yaparak açılıp kapanırken, esnek membran malzemeleri katlanarak hareket etmektedir.

2.3 Stadyum Yapılarının Tarihsel Gelişimi

Stadyum yapılarının ortaya çıkması Yunan uygarlığı zamanında düzenlenen olimpiyat oyunları ile olmuştur. Stadyumlar inşa edilene kadar olimpiyat oyunları, basit stadyum yapıları düzenlemelerinde gerçekleştirildi. MÖ 4. yüzyılda inşa edilen, sütunlarla çevrili dikdörtgen planlı ilk stadyumlar ise ince bir koşu pisti ve pistin etrafında seyircilerin oturabileceği birkaç basamaktan oluşuyordu (Tetik, 2014).

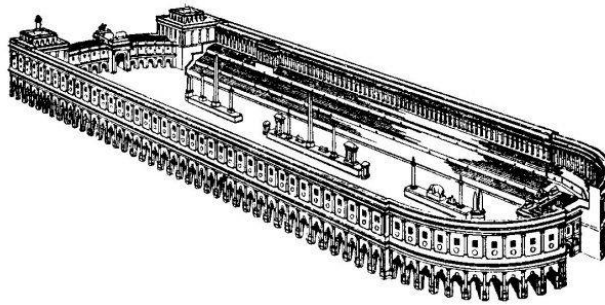
Spor etkinlikleri stadyum yapılarının henüz bir mekân oluşturmadığı Antik dönemde agoralarda gerçekleştirilmiştir. Kırsal alanlarda yapılan sporlar bu dönemde görülmektedir. Zaman geçtikçe spor etkinliklerinin çeşitlilik kazanmasıyla birlikte spor yapmaya uygun mekânlar oluşturmak için stadyum mimarisi başlamıştır. Bir spor yapısı olan stadyum, ilk kez Antik Yunan döneminde ortaya çıkmıştır. Bu dönemden itibaren günümüze kadar temel ilkeleri ile birlikte toplumsal ve dönemsel gelişime ayak uydurarak sürekli gelişim ve değişim göstermiştir.

Antik Yunan döneminde temelleri atılan stadyumda geniş alanlar ve yüksek seyirci kapasitesi ön plana çıkmıştır. Spor alanlarını atletik müsabakaların gerçekleştiği bir pist ve etrafında seyirci alanları oluşturmaktadır. Seyirciler antik dönem stadyumlarında spor etkinliklerini ayakta izlemişlerdir. Seyirciler için oturma yerleri

tasarlanmaya başladığında ilk olarak toprağa şekil vererek setler oluşturulmuştur. Daha sonralarında ağaç ve kireç taşıdan seyirci oturma birimleri yapılmıştır. Antik dönem stadyumlarında öne çıkan bir diğer unsur ise pistin 192,28 metre (600 feet) uzunluğunda olmasıdır.

İlk stadyum tarih sürecinde olimpiyat oyunları için yapılmıştır. Olympia sınırları içerisinde Altis sınırları dışında günümüz stadyumların temelini oluşturan kilden oluşturulmuş tabaka ile pist kaplanarak yeni bir stadyum yapılmıştır. Başlangıç ve bitiş noktalarını belirten taş eşikler bulunmaktaydı. Yine seyirciler için oturma yerleri bulunmamaktaydı. Antik çağda stadyum yapılarının bulunduğu Olympia alanı günümüz stadyumlarına temel anlamda benzemektedir. Olympia'nın değişmeyen tek unsuru günümüz stadyumlarında da var olan şeref tribünleridir. Bu dönemde Anadolu'da stadyumlar yapılmış fakat günümüze kadar ulaşamamıştır.

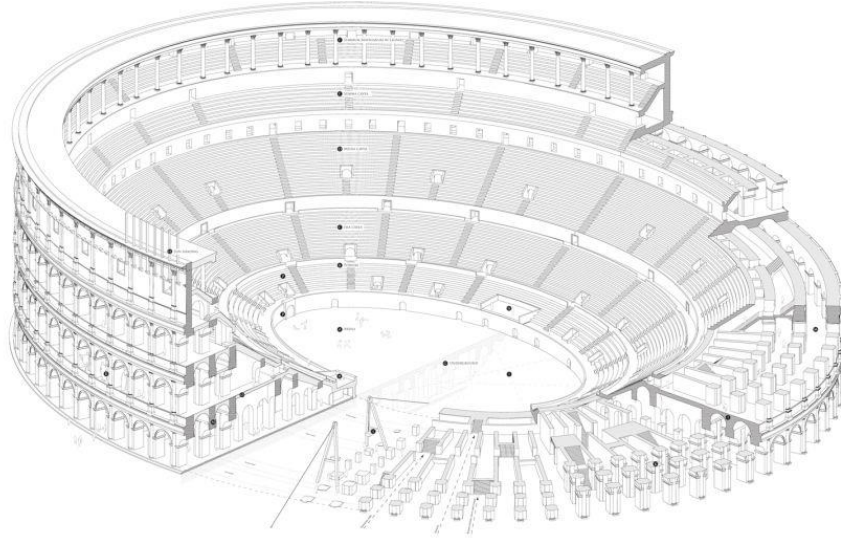
Zamanla spora ilginin artmasıyla birlikte stadyumlarda değişimler olmuştur. Stadyum boyutları büyümüş, seyirci kapasiteleri arttırılmış ve oturma birimleri oluşturulmuştur. En önemli örneklerden biri 180.000 seyirci kapasiteli Roma'da yer alan Circus Maximus stadyumudur (Şekil 2.1). Bir diğer örnek ise Roma'da sembolik yapı haline gelen 50.000 seyirci kapasiteli Colosseum'dur (Şekil 2.2). Stadyumlar yapısal olarak Antik Yunan döneminden örnek alınarak günümüze ışık tutmuştur.



Şekil 2.1 Circus Maximus (Ancient, 2013)

Antik Yunan ve Roma dönemindeki stadyum yapıları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Antik dönemde stadyumlar büyük ölçekte inşa edilmekteydi. Roma döneminde ise stadyumlar arenalar olarak kullanılmaktaydı. Antik dönem ile günümüz

arasındaki benzerlik her iki dönemde de stadyumlarda spor müsabakalarının gerçekleşmesidir. Zamanla kültürel farklılıklarla birlikte stadyum alanlarında spor haricinde çeşitli organizasyonlarda gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.2 Colosseum (Aureon, b.t)

Antik çağdan bugüne kadar stadyumlar 19. yüzyılda mimari açıdan gelişme kazanmış olup, stadyum yapıları sadece stadyumlar olmaktan çıkmıştır. Her türlü spor dallarını, etkinlikleri karşılayabilecek çeşitli açık ve kapalı spor salonları, velodromlar inşa edilmeye başlanmıştır. Stadyum yapılarının tarihine bakıldığında açık stadyumlar inşa edilmiş ve seyirci konforu iklim şartları dönemin koşulları ile birlikte göz ardı edilmiştir. Zaman ilerledikçe mimari şartların iyileştiği ve gelişen teknik ile birlikte kapalı spor salonları, stadyumlar tasarlanmış ve iklime cevap verebilen mimari stadyum yapıları meydana gelmiştir. Taş ve toprak malzeme ile yapılan stadyumlar yerini çelik ve betonarme malzeme ile inşa edilen seyirci tribünleri katları arttırılmış, tribün üzeri kapalı stadyumlara bırakmıştır. Teknoloji ve sanayinin gelişimi ile birlikte 19. yüzyılda stadyum yapılarında giderek spora olan ilginin artmasıyla çoğalan seyirci kapasitesine cevap verebilen stadyum yapıları inşa edilmeye başlanmıştır. 19. ve 20. yüzyıl spor mimarisinde yapısal tasarım ön plana çıkmış ve bununla birlikte kare ve dikdörtgen formda yapılar tasarlanmıştır.

Stadyum yapılarının dönüm noktası olarak düşünölebileceği 21. yüzyılda yapıyı taşıyan ströktörlör spor müsabakalarında ve etkinliklerde seyirci konforunu ve görüşünü engel teşkil etmeyecek biçimde tasarlanmıştır. Dönemin imkânları ile birlikte çeşitli malzemeler aynı yapı içerisinde birbirine uyum sağladıkça görsel bir obje gibi tasarlanan stadyum yapıları 21. yüzyılda hızla gelişim göstermiştir. Plastik, ahşap, çelik, beton gibi malzemelerin birlikte çalışması sonucunda farklı fonksiyonlara aynı çatı altında yer vermiştir. Bu dönemde stadyum yapılarında mimar etkisi kendini göstermekte ve şehirler için spor mekânları bir simge haline dönüşmektedir.

Zaman içerisinde spor organizasyonlarına karşı artan ilgiyi karşılamak için tribünlerinin seyirci kapasitesi artırılan, yapım teknolojileri gelişip büyüyen günümüz stadyumları da ilk örneklerinin izlerini hâlâ üzerlerinde taşımaktadır. 21. yüzyıl stadyumları, çağımızın teknolojisiyle tasarlanmış, oldukça maliyetli özgün taşıyıcı sistemlere, cephelere, çatılara ve aydınlatma sistemlerine sahiptir (Tetik, 2014).

BÖLÜM ÜÇ

STADYUM YAPILARINDA ÇEKMEYE ÇALIŞAN ÇATI SİSTEMLERİ

Endüstri Devriminin getirdiği yeni malzeme çelik, mimarlığın gidişini ve binaların görünümünü büyük ölçüde etkilemiştir. Dövme ve dökme demirin ardından çeliğin yapılara girmesi büyük açıklıkların aşılmasına ve bina yüksekliklerinin giderek artmasına yol açmıştır. Çelik malzeme ile birlikte geniş açıklıklı yapıların yapımının önü açılmıştır. Böylece çelik, mimarlığın görüntüsünü ve gelişimini olumlu yönde değiştirmiştir. Bir yandan da beton malzeme ve çelik malzemenin birlikte kullanımıyla yeni bir teknoloji olarak betonarme devreye girmiştir. Böylece, yalnızca basınç kuvvetlerine dayanabilen beton malzemenin, çekme kuvvetlerini karşılayan çelik malzeme ile bir arada kullanılmasıyla hem basınç hem de çekme gerilmelerini karşılayabilen bir sisteme kavuşulmuştur (Hasol, 2011).

Modern stadyum yapılarını önceki dönem stadyum yapılarından ayıran en önemli özellik çatı strüktürleridir. Günümüz stadyum yapıları mimarlık, teknoloji ve teknik ekipmanlar ile birlikte geçmiş yüzyılların mimarlık anlayışına farklı bir boyut kazandırmaktadır. Çelik malzemenin yapım işlerinde etkin hale gelmesiyle birlikte çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler, kablo sistemler, zincir eğrisi formülü, uzay kafes sistem ve asma germe membran sistemlerin aynı yapı içerisinde birlikte çalıştığı gözlemlenmektedir. Stadyum yapılarında çekmeye çalışan sistem tasarımı yaygın bir şekilde uygulanmakta olup, duvarların taşıma gücüne ihtiyaç kalmadan, taşıyıcı strüktürler duvardan bağımsız bir şekilde hareket etmektedir.

Bu bölümde stadyum yapılarında yaygın bir şekilde kullanılan çatı strüktür sistemleri genel hatları ile incelenecektir. Tez kapsamında seçilen örneklerin çatı strüktürleri ile ilgili genel bilgi bu bölümde anlatılacak olup, 1950’lerden günümüze kadar, stadyum yapılarında çekmeye çalışan çatı strüktürlerinde ve bu sistemle birlikte çalışan farklı taşıyıcı sistemlerin çalışma prensibi hakkında bilgiler verilecektir. Stadyum yapılarında, seyirci ve saha konfor koşullarını iyileştirmeye etken unsur, çatı sistemlerinde kullanılan kaplama malzemeleridir. Çatı strüktürünün işlevini artıran ve

önemli bir parçası olan çatı kaplama malzeme özellikleri bu bölümde incelenerek, malzemeler arası karşılaştırma yapıp kullanımları değerlendirilecektir.

3.1 Çekmeye Çalışan Taşıyıcı Sistemlerin Tanımı

İnsan yaşadığı hayat boyunca doğanın etkilerinden, iklim koşullarından korunmaya ihtiyaç duymaktadır. Yaşama ve doğaya karşı bir direnç içerisindedir. Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler insanların bir yerde barınma gereksiniminden meydana gelmiştir. Çadırlar bu sistemlere ilk örneklerdir. Bir kumaş parçasından oluşan çadır çekmeye çalışan sistemlerin çıkış noktası olmuştur. Tarihsel süreç zarfında göçebe hayatı yaşayanlar farklı bölge iklimlerine ayak uyduracak şekilde kendilerine özgü çadırlar geliştirmişlerdir. Günümüzde çadır sistemler membranlar diye de adlandırılmaktadır. İnsanlar zamanla bilgi, deneyim ve donanımlarını arttırarak yaşam koşullarını iyileştirmek adına, farklı biçimlerde çadırlar kullanmış ve çekmeye çalışan taşıyıcı sistemi içeren barınma yerlerini geliştirmişlerdir.

Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler, basınç ve burkulma olmadan sadece çekme gerilmesi altında çalışan sistemlerdir. Geniş açıklıkları arada düşey taşıyıcılar olmadan geçebilmek, sistemin hafifliği ve burkulma sorununun olmamasıyla sağlanmaktadır. Bu sistemler membran yapılar ve hafif çekme-kablo yapıları diye de adlandırılabilir. Çekme yapıları pylonlar, basınç çemberleri ve kablolar tarafından desteklenmektedir. Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler hafif yapılardır ve bu özelliği ile yapım sistemlerinde önemlidir.

Çekme gerilmesinin oluşturulmasında en yaygın çadır modelidir. Çadır malzemesinin dayanımı sayesinde yapıda ince bir kabuk oluşturmaktadır. Membran malzemenin bükülebilir olması ve kablo yardımıyla gerilmesi sonucunda taşıyıcı bir sistem meydana gelmektedir. Membranlar ve kablolar kullanılarak tasarlanan çekme yapılarının dengede durabilmesi, çatı yüzeyinin formuna ve yüzeydeki gerilmelere bağlıdır. Her model tasarlandığı yere göre yüklerin aktarım ve bağlantı noktaları

değişkenlik göstermektedir. Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerde her bir uygulama için ayrı ve yeni hesaplamalar yapılmaktadır.

Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerde çatının hafif oluşu, taşıyıcı kolonların hafif olmasını ve temel alanının küçülmesini sağlamaktadır. Bu sistemlerde kullanılan malzemeler son limitine göre yüklenebilmektedir. Bununla birlikte yüklerin meydana getirdiği sonuca göre, oldukça ince yüzeylere sahip olabilmektedir.

3.2 Çekmeye Çalışan Taşıyıcı Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

Farklı insanlar farklı bölgelerde, aynı temel gereksinimlere ihtiyaç duymaktadır. Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler, insanların barınma gereksinimleri ile ortaya çıkmaktadır. Doğa koşullarından etkilenmemek için yapılan en eski çadırlar, Sibirya, Laponya, İzlanda ve Alaska'da olduğu bilinmektedir. Göçebe avcılar rüzgârlardan korunmak amacıyla (Şekil 3.1) büyük kemiklerin üzerini hayvan derileri ile örtmüşlerdir.



Şekil 3.1 Göçebe avcı çadırı (Redskyshelters, b.t)

Koni çadırlar yağmur ve rüzgâra karşı dayanımı olan ideal çadır biçimidir. Kuzey Yarımküre' de koni biçimli çadırlar bulunur. Ağaç dallarını bir araya getirerek oluşturulan çadır hayvan derisi ile örtülmüştür. Amerika yerlileri (kızıldereliler) koni biçimli çadırları direklerle destekleyip geliştirirken, bedeviler kara çadırları geliştirmiştir (Şekil 3.2). Kara çadır adını çadırın yüzeyini kaplayan siyah keçi kılından almıştır. Gevşek biçimde dokunmuş kumaş, sıcak ve kurak iklimlerde gölge sağlarken havanın geçmesine izin vermektedir. Yağmurlu havalarda ise kumaşın ıslanması durumunda lifler kabararak yağmurun içeri girmesini engellemektedir. Kara çadırlar

günümüze kadar gelen çadırların temelini oluşturmaktadır. Çadırı örten kumaş, direkler arasına gerilmiş ipler üzerine serilmektedir.



Şekil 3.2 Koni ve kara çadır örneği (Redskyselters, b.t)

İnsanlar tarım için sabit bölgelere yerleşmeye başladığında çadırları, dini, toplantı, eğlence ve ordu mekânları olarak kullanmaya başlamıştır. 20. Yüzyıl başlarında en çok bilinen çadırlar sirklerdir. Merkezde konumlanan taşıyıcılar nedeniyle sirk alanı bölünmelere uğradığından çok avantajlı sayılmamaktaydı.

Büyük ve serbest açıklıkların geçilebilmesi 20. Yüzyıl içerisinde başlamıştır. Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin mimarlıkta ilk kullanımı yelken teknolojisinden gelmektedir. Yelkenin çalışma prensibi Roma kolezyum ve amfitiyatro çatılarında uygulanmıştır. Taşıyıcı direk ve kablolarla tutturulmuş kumaş ile geri çekilebilir çatı oluşturulmuştur.

2. Dünya Savaşı sonrasına kadar çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler, belirgin bir gelişme göstermemiştir. Buna neden olan unsurlar, karmaşık yapısal sorunların çözülmemesi ve dayanıklı malzemelerin geliştirilememesi olmuştur.

1950 yılları başlangıcında çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin gelişmesine öncülük eden ilk isim Frei Otto'dur. Basit geometrik çözümlere, organik biçimlere, karmaşık planlama ve yapısal gereksinimlere çözüm olmuştur. Gelişimin temelinde var olan faktörler, sabun köpüğü, hayvanların yaşamı, bitkilerin oluşma sistemleri gibi kendi

kendine meydana gelen olayların incelenmesidir. Bunun sonucunda Otto tarafından, doğal malzemelerin verimli ve minimum malzeme kullanan formlar oluşturabileceği bulunmuştur. 1960'lı yıllarda kablolarla asılan kumaş ile kablo ağı çatı sistemini tasarlamıştır. 1972 yılında ise çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlere en önemli yapı örneği olan Münih Olimpik Stadyum çatısı, Otto'nun en önemli çalışması olmuştur.

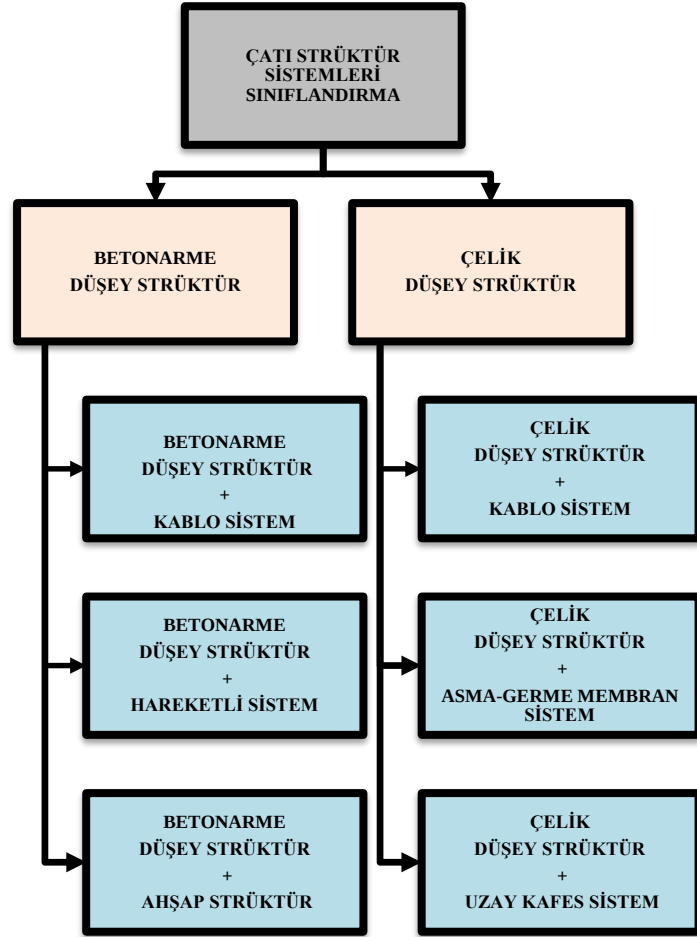
Günümüzde çekmeye çalışan sistemlerde kablolarla asılan ve gerilen kumaş yüzeyler enerji verimli ve ekonomiktir. Teknoloji, tasarım teknikleri ve uygulamalardaki gelişmeler, kablo sistem ve asma-germe membran sistemlerde yenilikçi değişime sebep olmaktadır.

3.3 Stadyum Yapılarında Çekmeye Çalışan Çatı Strüktürlerini Sınıflandırma

Stadyum yapıları, spor çeşitleri, kültürel çevre, konum gibi unsurlarla tasarımları yapılan ve bu sürecin sonunda ortaya çıkan yapılar olarak adlandırılabilir. Taşıyıcı sistemler, stadyum yapılarının ihtiyaçları doğrultusunda geniş açıklıkları geçmesini ve sistemin ayakta durmasını sağlayarak, yapıya etki eden yükleri taşıyıcı elemanlara aktarmaktadır. Çekmeye çalışan taşıyıcı sistem elemanları, hafif yapı sistemlerinde etkin olmakla birlikte, farklı malzeme ve sistemlerle bir arada çalışmaktadır.

Çekmeye çalışan stadyum yapılarının çatı strüktürlerinde yapısal malzemeler olan beton ve çelik, yüksek mukavemete sahiptir. Tez kapsamında incelenen örnek stadyum yapılarının çatıları, betonarme ve çelik düşey strüktür ile birlikte çalışan çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerinden oluşturulmaktadır. Stadyum yapıları, bu çalışmada öncelikle düşey taşıyıcısının malzemesine göre, daha sonra da çatı taşıyıcı sistemine göre sınıflandırılmaktadır (Şekil 3.3). Düşey taşıyıcı malzemeleri çelik ve betonarmeden oluşmaktadır. Stadyum çatılarında yapılan sınıflandırma “betonarme düşey strüktür” ve “çelik düşey strüktür” adı altında 2 adet ana başlığa ayrılmaktadır. Strüktürel kurgu, betonarme ve çelik taşıyıcı sistem ile oluşmaktadır. Betonarme düşey strüktür ile birlikte çalışan stadyum çatı strüktürleri kablo sistem, hareketli çatı ve ahşap strüktür adı altında, çelik düşey strüktür ile çalışanlar ise kablo sistem, asma-

germe membran sistem ve uzay kafes sistem adlı başlıklara ayrılmaktadır (Tablo 3.1 ve 3.2). Sınıflandırma sonrasında stadyum çatılarında çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler hakkında bilgiler verilecektir.



Şekil 3.3 Stadyum yapılarında çekmeye çalışan çatı strüktürlerinin sınıflandırılması

Tablo 3.1 Çatı strüktürlerinin sınıflandırılması

STADYUM YAPILARI	YAPIM YILI	BETONARME DÜŞEY STRÜKTÜR					ÇELİK DÜŞEY STRÜKTÜR										
		Betonarme Düşey Strüktür + Kablo Sistem			Betonarme Düşey Strüktür + Hareketli Sistem	Betonarme Düşey Strüktür + Ahşap Strüktür	Çelik Düşey Strüktür + Kablo Sistem									Çelik Düşey Strüktür + Asma-Germe Sistem	Çelik Düşey Strüktür + Uzay Kafes Sistem
		Betonarme Kemer + Kablo Ağı	Betonarme Pilon + Tek Kablo Sistem	Betonarme Basınç Çemberi + Kablo Ağı	Betonarme Pilon + Destek Strüktürü Sabit Hareketli Sistem	Betonarme Pilon + Lamine Ahşap	Çelik Pilon + Kablo Ağı	Çelik Pilon + Çift Kablo Sistem	Çelik Pilon + Kablo Sistem	Çelik Kemer + Kablo Sistem	Çelik Basınç Çemberi + İç ve Dış Çemberli Kablo Ağı	Çelik Pilon + İç ve Dış Çemberli Kablo Ağı	Çelik Basınç Çemberi + İç ve Dış Çemberli Kablo Ağı + Tensegrity	Çelik Kafes Sistem + Kablo Ağı	Çelik Pilon + Asma-Germe Membran Sistem	Çelik Basınç Çemberi + Uzay Kafes Kemer	
4.1 J.S. Dorton Arena	1952																
4.2 D.S. Ingalls Skating Rink	1958																
4.3 Tokyo Olimpik Yüzme Havuzu	1964																
Tokyo Kapalı Spor Salonu	1964																
4.4 Münih Olimpik Stadyum	1972																
Münih Spor Salonu	1972																
Münih Olimpik Yüzme Havuzu	1972																
4.5 Montreal Olimpiyat Stadyumu	1979																
4.6 Scotiabank Saddledome	1983																
4.7 King Fahd Stadyumu	1987																
4.8 Utah Olimpik Oval	1999																
4.9 Sdney Olimpiyat Stadyumu	2000																
4.10 Jeonju Stadyumu	2001																

Tablo 3.1 Çatı strüktürlerinin sınıflandırılması devamı

STADYUM YAPILARI	YAPIM YILI	BETONARME DÜŞEY STRÜKTÜR					ÇELİK DÜŞEY STRÜKTÜR									
		Betonarme Düşey Strüktür + Kablo Sistem			Betonarme Düşey Strüktür + Hareketli Sistem	Betonarme Düşey Strüktür + Ahşap Strüktür	Çelik Düşey Strüktür + Kablo Sistem								Çelik Düşey Strüktür + Asma-Germe Sistem	Çelik Düşey Strüktür + Uzay Kafes Sistem
		Betonarme Kemer + Kablo Ağı	Betonarme Pilon + Tek Kablo Sistem	Betonarme Basınç Çemberi + Kablo Ağı	Betonarme Pilon + Destek Strüktürü Sabit Hareketli Sistem	Betonarme Pilon + Lamine Ahşap	Çelik Pilon + Kablo Ağı	Çelik Pilon + Çift Kablo Sistem	Çelik Pilon + Kablo Sistem	Çelik Kemer + Kablo Sistem	Çelik Basınç Çemberi + İç ve Dış Çemberli Kablo Ağı	Çelik Pilon + İç ve Dış Çemberli Kablo Ağı	Çelik Basınç Çemberi + İç ve Dış Çemberli Kablo Ağı + Tensegrity	Çelik Kafes Sistem + Kablo Ağı	Çelik Pilon + Asma-Germe Membran Sistem	Çelik Basınç Çemberi + Uzay Kafes Kemer
4.11 Manchester Şehir Stadyumu	2002															
4.12 Atina Olimpiyat Stadyumu	2004															
4.13 Khalifa Uluslararası Stadyum	2006															
4.14 Wembley Stadyumu	2007															
4.15 Green Point Stadyumu	2009															
4.16 Moses Mabhida Stadyumu	2009															
4.17 BC Place Stadyumu	2010															
4.18 La Plata Stadyumu	2011															
4.19 Lee Valley Velodrome	2012															
4.20 Maracana Stadyumu	2013															
4.21 Grandview Heights Aquatic Centre	2015															

3.3.1 Kablo Sistemler

Yapının ana yüklerinin, ankraj noktaları arasına gerilmiş çekme elemanları (kablo, halat vb.) tarafından taşındığı taşıyıcı sistemlerdir. Kablo sistemlerin ana taşıyıcı elemanları sadece çekme gerilmesiyle etkileneceği için bunların herhangi bir şekilde basınca da dayanıklı olan malzemeden olması gerekmez. Diğer taraftan hem basınç hem de çekmeye dayanıklı yapı malzemeleri (örneğin çelik) kablo şeklinde esnek bir yapı elemanı olarak da profil eleman şeklinde rijit bir yapı elemanı olarak da kullanılabilir. Kısaca çok sayıda kablonun çeşitli geometrilerde bir araya getirilip, düğüm noktalarıyla birleştirilerek tek ve çift eğrilikli ayrık yüzeyler oluşturduğu ve sadece çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlere kablo sistemler denir (Türkçü, 2009).

Bir başka tanımda, etkiyen yüklerin çoğunluğunun, destek elemanları tarafından gerilen veya mesnetler arasına asılan kablolarca salt çekme kuvveti ile taşındığı, basınca ve eğilme dayanımına gerek duymayan taşıyıcı sistemler kablo sistemler olarak tanımlanır. Benzer şekilde yerli ve yabancı literatürde asma sistemler (hanging roof structures), kablo askılı taşıyıcı sistemler (cable stayed structural systems), kablo ağları (cable networks), gergi strüktürler veya asma-germe sistemler (tensile structures) gibi tanımlarda bulunmaktadır (Yıldız, 2012).

Kablo sistemlerin ilk uygulamalarına bakıldığında kablolar bir destek noktasına asılmaktadır. Kablo sistemden yapılan ilk modern yapılar 19. yüzyıl başlarında geliştirilip uygulanmaya başlanmıştır. Çekmeye çalışan kablo sistemler çatıda beton malzeme ile kaplanarak tek bir yüzey şeklinde çalıştığı durumlarda kabuk sistemler adı ile adlandırılabilir.

Kablolu sistemlerin diğer sistemlerden ayıran en temel özelliği, taşıyıcı sistemin bir parçasını kabloların oluşturmasıdır. Kablolu çatılarda kablolar çatı ana kirişlerine (makaslarına) ve pilonlara belirli bir açıyla bağlanırlar. Kablolar bu tür sistemlerin doğrusal olmayan davranış gösteren en önemli elemanlarıdır. Kablolarda oluşan

eksenel çekme kuvveti etkisiyle, serbest haldeki geometrisi değişmektedir (Yıldız, 2012).

Çelik tellerin kombinasyonundan meydana gelen kablolar yüksek dayanım gücü ve çekme gerilmesini karşılayabildiği avantajları kablo sistemlerin etkin bir taşıyıcı sistem oluşumunu desteklemektedir. Kablo sistemlerin avantaj sağlayan bütün özellikleri, hafifliğinden, çelik kabloların yüksek dayanımlı olmasından, çekmeye çalışan taşıyıcı elemanlarda burkulma olmamasından ileri gelmektedir. Bu sebeple malzeme dayanımının olabildiği kadar dar kesitli yapılması gerekmektedir. Kablo sistemlerde, boyutları büyük stadyum yapılarında açıklıkların geçilebilmesi için çelik kablo malzeme kalitesinin gün geçtikçe artması gerekmektedir.

Kablolar, üst örtüsünün ayrı çalıştığı, rüzgâr ve kar yüklerinin üst örtüsü tarafından karşılanarak kablolar, oradan da ankraj noktalarına aktarılmaktadır. Kabloların, basit sistem kurgusu ve farklı formları elde etme kolaylığı, geniş açıklıkları geçme imkânı, kolay uygulanma, esneklik gibi avantajlarına karşılık; çekme kuvvetine karşı ters yönde rüzgâra karşı da stabilitenin sağlanma gerekliliği mevcuttur. Stadyum gibi geniş açıklık gereken mekânlarda kablolu sistemlerin kullanılması, görüş açısında seyirciler için daha az engel oluşturmaktadır.

Kablo sistemler kronolojik incelenen stadyum yapı örneklerinde sayıca fazla ele alınmıştır. Bu nedenle kablo sistemler, ‘Kablo Sistemlerin Yapım Elemanları’, ‘Tek Kablo Sistemler’, ‘Çift Kablo Sistemler’, ‘Kablo Ağı Sistemleri’, ‘Kablo Sistemlerde Destek Elemanları’ ve ‘İç ve Dış Çemberli Kablo Ağları’ alt başlıklarıyla incelenecektir.

3.3.1.1 Kablo Sistemlerin Yapım Elemanları

Kablo sistemlerin yapım elemanları:

- Kablolar: Ana yükleri taşır ve çekmeye çalışan elemanlardır.
- Düğüm noktaları: Bir noktada kabloları birleştirir.

- Asılma noktaları: Kabloların bağlandığı destek elemanına asılır.
- Kabloların bitişleri: Kablo bitişlerini bağlar.
- Ağ gözleri: Çokgen geometrik şekiller oluşturur.
- Kenar elemanları: Kenarlarda germe sağlar.
- Destek elemanları: Taşıyıcı sistemini genelinde gerer.
- Ankrajlar: Kabloları ve sistemi zemine sabitler.

Bir yüzey üzerinde kesişen çizgilerden oluşan geometrik düzenlere ağ adı verilir. Bir yüzey üzerinde yayılan ve birbirlerini kesen kabloların meydana getirdiği taşıyıcı sistemlere kablo ağı denir (Türkçü, 2009). Kablo ağların geometrik yapım elemanlarını köşe, kenar ve ağ gözleri oluşturmaktadır. Taşıyıcı özelliğini düğüm noktası ve kabloların kullanılması sağlamaktadır. Kablolardan oluşan düzlem ağlar sadece düzlem içinde etki eden çekme kuvvetlerine karşı dirençlidir. Ağ yüzeye dik etki eden kuvvetleri karşılayan bu ağlar sarkmak hareketi yaparak düzlem formundan çıkmaktadır. Kablo ağ sayesinde stadyum yapılarında büyük ölçüde açıklıklar geçilebilmektedir. Kablo ağlarının açıları düğüm noktalarından yönleri değiştirilerek tek ve çift eğrilikli yüzeyler oluşturmaktadır. Kabloların etkiyen yük altında sarkmaları sonucu:

- 1.Sarkma arttıkça kablodaki çekme kuvveti azalır.
- 2.Mesnetlerdeki tepki kuvvetleri küçülür.
- 3.Tepki kuvvetleri ve iç kuvvetler sarkma mesafesi ile ters orantılıdır.

Kablo sistemleri oluşturan yapım elemanları hakkında yukarıda bilgiler verilmiştir. Bu elemanlardan kablo ağ gözlerinden ve birleşim noktalarından oluşan ana gelen kablo ağı sistemleri ve tek ve çift kablo sistemler, stadyum yapılarında görsel ve strüktür açısından ön plana çıkmaktadır.

3.3.1.2 Tek Kablo Sistemler

Sabit noktalar arasına asılmış kablolardan meydana gelen tek tabakalı düzenlemelere tek kablo sistemler denir. Bilindiği gibi, kablonun geometrik biçimi, dış etkiler ve iç kuvvetler tarafından belirlenir.

Optimal sarkma: Kablolarda sarkma arttıkça kablo daha fazla yük taşıyabilmektedir. Daha fazla yük taşırken kablo boyu uzar. Bu durumda düşey yapım elemanların yüksekliğini artırmaktadır. Yapının hacmini büyütür ancak kullanım alanına etki etmemektedir. Bu sebeplerden ötürü de daha fazla ısıtma, aydınlatma ve havalandırma tesisatlarının giderlerinde artış görülür. Bu yüzden optimal ara değerlerin kullanılması gerekir.

Sarkma oranı;

$$f = 1/8 \times L \quad (3.1)$$

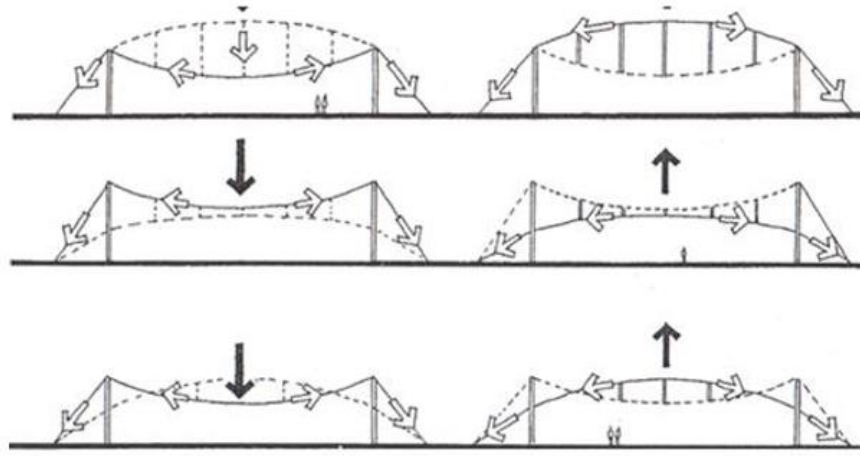
$$F = 1/20 \times L \quad (3.2)$$

denklemlerinin arasında kalmalıdır (L: Geçilen açıklık, f: Sarkma boyu) (Türkçü, 2009).

Tek kablolar, yan yana, birbirine paralel sıralanınca tek eğrilikli, silindirik yüzeyler elde edilir. Tek kablo sistemler genellikle örtülecek mekanın kısa doğrultusunda değil uzun doğrultusunda düzenlenir. İki ucundan asılmış paralel kablolar birbirine bağlanmazlarsa, her biri yük altında tek başına çalışmaktadır. Kısa yönde yerleştirilen yardımcı kablolar zemine kadar uzatılarak yere ankre edilmektedir. Böylece çatı yüzeyine ön gerilme verilip, sistemin rüzgâr etkisi ile dalgalanması engellenmektedir (Türkçü, 2009).

3.3.1.3 Çift Kablo Sistemler

Rüzgârın kaldırma etkisini dengelemek için, birincil asma kablolarının altındaki dengeleme kablolarının eklenmesiyle ortaya çıkmıştır. Mesnetleme ve asılma biçimleriyle tek kablo sistemlerin statik özelliklerine benzemektedir. Bu iki kablodan biri sarkan kablo (taşıyıcı kablo) ve duran kablo (stabilite kablosu) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Askı ve dengeleme yükleri (Mohandesidl, b.t)

Çift kablo sistemler aynı düzlem içerisinde bulunan ve eğrilikleri birbirine göre ters olan iki kablodan meydana gelir. Çift kablolar yan yana sıralanarak dikdörtgen alanları örtebilir. Geometrik çıkışlı strüktür sınıflandırmasında yapılmış olan kavramlara göre ayırık yüzeyli, düzlemsel bir taşıyıcı sistem şeklinde tanımlanabilir.

Yüklerin yerçekimi doğrultusunda etki ettikleri varsayılırsa, sarkan kablolar taşıyıcı kablolar olup tüm yükleri taşırlar. Stabilite kabloları kemer görünüşünde yerleştirilir. Görevleri taşıyıcı kabloları öngerilme vermektir. Kablo çifti birbirine çekme veya basınç ögeleri ile bağlanır. Eğer stabilite kablosu üstte, taşıyıcı kablo altta ise ara elemanlarda basınç, tersi durumda ise çekme gerilmesi ortaya çıkmaktadır. Birbirlerine bağlanma sonucunda dalgalanma olasılığı ortadan kalkar. Tek kablo sistemlere göre çatı ağırlığı daha azdır (Türkçü, 2009).

3.3.1.4 Kablo Ağı Sistemleri

Bir yüzey üzerinde kesişen çizgilerden oluşan geometrik düzen, ağ olarak tanımlanır. Ağ kavramı, uzay kafeslerde ve kablo sistemlerde taşıyıcı sistemin geometrik olabilirliğini açıklamak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda bir yüzey üzerinde yayılan ve birbirini kesen kabloların meydana getirdiği taşıyıcı sistemlere, kablo ağı denilir. Ağın geometrik birimleri, ağ gözleri, köşe ve kenarlardır. Konu, taşıyıcı sistemler olduğunda, köşe yerine düğüm noktası, kenar yerine kablo deyimleri kullanılmaktadır. Düğüm noktaları, kabloların yük etkisi veya herhangi bir nedenle yer değiştirmelerini veya kaymalarını önlemek için, kesişme noktalarında kabloları birbirine bağlayan özel parçalardır (Türkçü, 2009).

Rüzgâr ve asimetrik yüklere direncinden ötürü kablo ağları, merkezi geniş hacimler, büyük açıklıklar için en fazla uygulanan, kablo sistemler içinde mimarlık uygulamalarında en önemli olan gruptur. Taşıyıcı ve stabilite kablosu olmak üzere iki tip kablo vardır. Taşıyıcı kablo sarkan ve yükleri üstlenen kablo, stabilite kablosu da taşıyıcı kabloya ön gerilme veren kablo olmaktadır. Geometrik yönden ters eğrilikli yüzeyler kablo ağlarına uygun biçimlerdir. Yük ve ısı etkisiyle taşıma kabloları sarkınca, stabilite kabloları gevşeyeceğinden sistem dalgalanabilir. Bunu önlemek için kabloları öngerilme verilmelidir (Türkçü, 2009).

3.3.1.5 Kablo Sistemlerde Destek Elemanları

Kablo ağları çeşitli destek elemanlarına bağlanır. Kablolar tamamen çekmeye çalıştıkları halde, bunların yüklerini karşılayıp mesnetlere aktaracak yardımcı elemanlara gerek vardır. En çok rastlanan yardımcı elemanlar şunlardır:

- a) Pilon, Kolon, Dikme: Düşey veya eğik konumda ve çeşitli biçimlerde uygulanmaktadır. Mafsallı veya zemine ankastre mesnetlenebilir. Buna göre eksenel basınç veya basınçla birlikte eğilmeye çalışır. Bu gerilmelere dayanımlı malzeme olan içi boş çelik profillerden veya betonarmeden yapılır.
- b) Basınç Kemerleri (Tek ve Çift Kemer)

- c) Basınç ve Çekme Çemberleri
- d) Kenar Kabloları
- e) Betonarme perde duvarlar
- f) Betonarme/Çelik çerçeve ve makaslar

3.3.1.6 İç ve Dış Çemberli Kablo Ağları

Tek veya çift kablolu düzenlemeler, genellikle asma köprülerde görülen özelliklerde, yani iki nokta arasında asılıp yan yana sıralanarak dikdörtgen alanları örterler. Her bir kablo, bir kafes giriş, betonarme makas vb. gibi, iki ucundan mesnetli, kendi düşey düzleminde etki eden yüklere dayanan, bireysel çalışan dilimler şeklinde olup, sarkma yoluyla yük taşırlar ve diğer doğrultuda etkileyecek yan kuvvetleri alacak ek bağlantı ve destek elemanları gerektirirler. Sarkan kabloların biçimi, bir zincir eğrisi veya parabole benzer şekillerden biri olacağına göre, çatı geometrisi tek eğrilikli silindirik yüzeyler olarak ortaya çıkar (Türkçü, 2009).

Kablo ağları, dairesel alanların üzerine merkezden desteklenecek şekilde düzenlendiklerinde, bisiklet tekerinin çalışmasını hatırlatan konstrüksiyonlar ortaya çıkmaktadır. Tellerle gerilmiş bisiklet teli en etkin taşıyıcı sistem örneklerindendir. Tellerle gerilmemiş ince yapılı hafif dış çember en ufak bir yük altında şekil değiştirebilecek bir yapıdadır. Bu çember tellerle merkezdeki çekme çemberine bağlanıp ön gerilmektedir. Bu öngerilme mekanizmasında çembere gelen yük merkeze ve merkezdeki yükler çembere aktarılır. Kablo sistemlerde bisiklet tekerinin çalışmasına benzeyen bu yaklaşımda, daire alanın çevresinde basınç çemberi olarak nitelendirilecek çelik veya betonarme bir taşıyıcı eleman bulunurken, merkezde de bir çember veya bir destek noktası zorunlu olmaktadır. Burada taşıyıcı kablolar merkezle kenar çemberi arasında sarkarken, öngerilme için gerekli olan stabilite kabloları da dairesel eğriler üzerinde ağ çevresine benzer geometride dönecektir. Bu nedenle, bu geometrilere sahip düzenlemelere radyol kablo ağları adı verilebilir (Türkçü, 2009).

Dışta ve içte iki çemberin öngörüldüğü bu yaklaşımda iç çember çekmeye, dış çember basınca çalışmaktadır. Kabloların yük taşıması için sarkmaları esas

olduğundan dış ve iç çemberlerin farklı düzlemlerde yer almaları gereği görülmektedir. Bu düzenlemede iç çember için üç konum söz konusu olabilir. İç çember dıştaki basınç çemberinden daha alttadır. Bu durumda iç çember taşıyıcı kablolarla basınç çemberine bağlandığından iç çemberin kendi ağırlığı da kenara aktarılmaktadır. Dolayısıyla kullanım alanının merkezinde zemine kadar uzanan ve dairesel alanı bölen bir destek elemanı gereği oluşmamaktadır (Türkçü, 2009).

İç çember kenar düzleminde üstte olduğunda iç çemberi taşıyacak bir ek elemana gerek vardır. Merkeze veya çevreye yerleştirilen bir pılona asılan çemberde merkezde konumlanan pilon mekânın işlevini olumsuz yönde etkilediği için tercih edilmemektedir. Diğer bir düzen ise silindir şeklindeki iç çemberin bir kenarının dış çembere göre altta, diğer kenarının üstte olduğu konumdur. İki uçtan çıkan kablolar dış çembere bağlanarak, çift kablo sistemli ve çemberli sistem oluşturmaktadır.

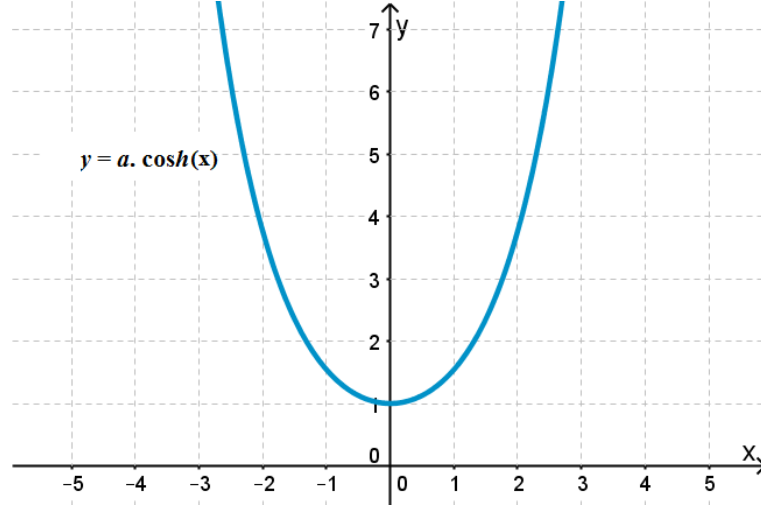
Stadyum yapılarında basınç çemberi olan çatılarda, stadyum alanında düşey taşıyıcı olmadan doğal ışıklandırma ve havalandırma etkin olmaktadır.

3.3.2 Zincir Eğrisi

Zincir eğrisi matematiksel bir eğridir. Eğri x eksenini etrafında döndürüldüğünde zincir yüzeyini veya minimal yüzeyi verir. Eğri, kendi ağırlığı altında asılan ve iki sonu sabitlenmiş şekilden meydana gelir (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2013). İki ucundan asılmış bir zincirin (kablunun) aldığı biçimi ilk kez hesaplayan ve böylece zincir eğrisini bulan da Jakob Bernoulli'dir. Zincir eğrisi,

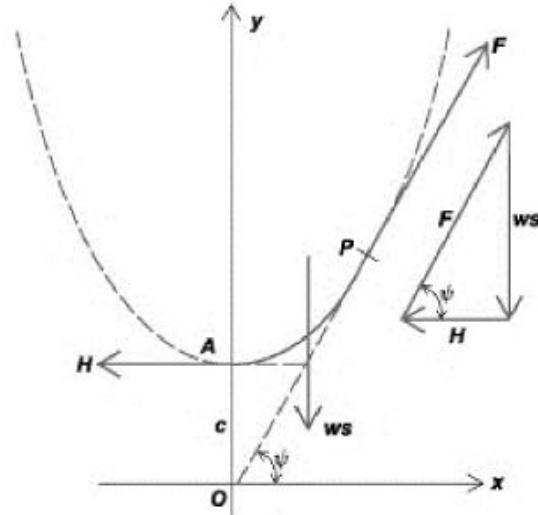
$$y = a \cdot \cosh(x) \quad (3.3)$$

denkleminde verilen eğridir. Burada a, eğrinin en alçak noktasının x eksenine uzaklığıdır (Şekil 3.5) (Emo, b.t).



Şekil 3.5 Zincir eğrisi grafiği (Mathforum, 2004)

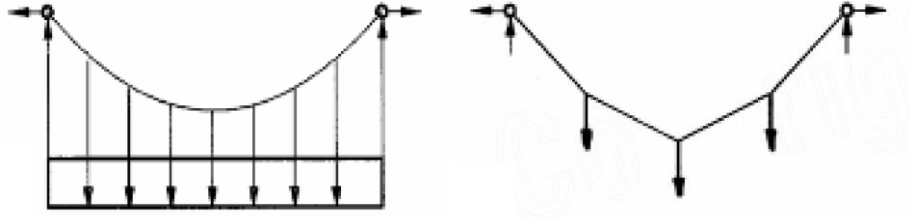
Zincir eğrisinin hesap yönteminde form zincirin ideal ağırlıktaki homojen bir ipin iki uç noktasından asılarak serbest bırakılmasıyla oluşur. En alt noktası A tepe noktasıdır. AP kısmı, A'da ki H yatay gerilmesi altında dengedir, F gerilmesi, P tanjantı boyunca yönelmiştir ve AP'nin ağırlığı W'dır (Şekil 3.6) (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2013).



Şekil 3.6 Zincir eğrisi ve üçgen kuvveti (Catenary, b.t)

Zincir eğrisi çekmeye çalışan kablo sistemlerin geometrilerinin oluşma kaynağıdır. İki ucundan asılan ve mesnetlenen bir zincir kendi ağırlığı ile sarkarak zincir eğrisi

geometrisini oluşturur. Bu durumda sarkan zincirde sadece çekme gerilmesi gözlemlenir ve geometrisi belirlenir. Birçok geometri bir araya getirilerek farklı yüzeyler oluşturulur. Zincir eğrisinin hafifliği, çelik kabloların yüksek dayanımları tek boyutlu bir taşıyıcı sistem oluşturmaktadır.



Şekil 3.7 Zincir eğrisi yük dağılımı (Çayıröğlu, b.t)

Kabloda sadece çekme kuvveti olduğu için mesnet tepkileri sadece kablo kuvveti ile aynı şiddette ve fakat ters yöndedir. Mesnet tepkileri yatay ve düşey bileşenleri ile düşünülürse dört bilinmeyen ortaya çıkar. Bu durumda üç denge denkleminde başka dördüncü bir denkleme daha ihtiyaç olur. Kabloda sadece çekme kuvvetleri olduğu için herhangi bir kesit noktasına göre hesaplanan momentlerin toplamı sıfıra eşitlenerek dördüncü denklemde elde edilir. Düşey yükler tekil veya yayılı yük şeklinde olabilir. Yayılı yük altında kablonun eğrisi bir parabol şeklindedir. Kablonun kendi ağırlığı taşıdığı yükler yanında küçük ise ihmal edilebilir (Şekil 3.7). Çok sayıda kuvvet asılı ise zincir eğrisi elde edilir (Çayıröğlu, b.t).

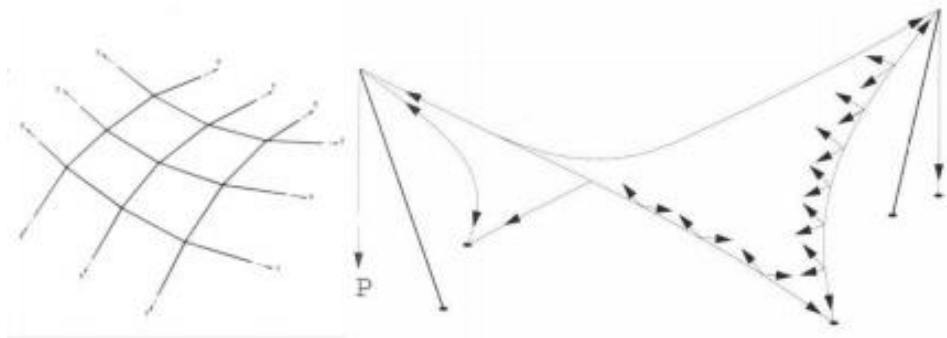
Bu çalışmada incelenen örnekler arasında zincir eğrisi denkleminde yola çıkılarak stadyum yapılarının çatı formları belirlenmiştir. Genel olarak örnek yapılarda iki ana betonarme kemere asılan çelik kablolar kendi yükleri altında asılır. Böylelikle çatı strüktürü çekmeye çalışan taşıyıcı sistemden meydana gelmektedir.

3.3.3 Asma-Germe Membran Sistem

Asma Germe membran sistemler minimum yüzeyli ters eğrilikli formlardan ve yüksek dayanımlı taşıyıcı özellikli malzemelerinden oluşmaktadır. Çelik kablolar ve

ağlar ankrajlar başlıca elemanlardır. Basınca çalışan rijit elemanlarla, çekmeye çalışan esnek öğelerden oluşturulan asma-germe strüktürler; yaşayan doğadaki lifler, kılcallar ve bunların oluşturdukları gözlenemeyecek kadar çok sayıdaki ağ sistemlerden esinlenerek üretilmişlerdir. Doğal formları zincir eğrisi geometrisinde olan, çekmeye çalışan çelik kabloların ve çelik ipliği ile güçlendirilmiş membranların en kesitlerinin çok az olması nedeniyle (1 – 3 mm) bu strüktürlerin hafif yapı olmasını sağlamaktadır. Ayrıca eğri yüzeylerin kablolar ile çalışmasıyla sadece çekme etkisinde olmaları geniş açıklıkların kolonsuz inşa edilmesini sağlamaktadır (Shirzad Rezaei, b.t).

Genellikle yapım sistemlerinde yapı formu önceden belirlenmektedir. Yapım öncesi taşıyıcı sistem analizleri yapılırken önceden tasarlanan forma uygun bir strüktür sistem belirlenmektedir. Asma germe membran sistemlerinde membranlar ve çelik kablolar sadece çekme dayanımı olan yapısal elemanlar olarak çalışmakta ve tasarlanan yapıların ayakta kalmasını, yapının yüzey formu ve yüzeyde oluşan gerilmeleri sağlamaktadır. Yüzey ön germe yüklerinin birbirini dengelediği vakit sistem çalışmaktadır. Bu nedenle asma germe membran sistemlerinde yapı formunun bulunması ve gereken ön germenin belirlenmesiyle birlikte tasarım meydana gelmektedir (Şekil 3.8). Ön germe çalışmaları esnasında yükleme esnasında gerilme dağılımı oluşacağından yapı formunun dengesi değişip, her denemede farklı geometriler oluşturmaktadır.



Şekil 3.8 Asma-germe membran sistemi (Dansık ve Şahin, 2016)

Çeliğin çekme gerilmelerini çok iyi karşılayabilme özelliği asma germe sistemlerinde gelişime neden olmuştur. İlk asma germe sistem Rusya’da Nizhny’de

Rotunda Pavilion'da 1896'da gerçekleşmiş olup, 1964'te Kenzo Tange'nin Tokyo Olimpiyat tesisleriyle öne çıkmıştır.

1950'li yıllarda Frei Otto'nun asma germe sistemler üzerinde çalışmaları başlamıştır. Tez kapsamında 1950 yıllarından günümüze kadar inşa edilmiş stadyum yapılarında birçok örnekle alınmıştır. Bunlardan en önemlisi germe sistem taşıyıcı strüktüre sahip Münih Olimpik Park'tır. Frei Otto tasarımlarında daha fazla açıklık geçmek için çalışmalar yaparken asma germe sistemlerde membran malzemesinin dayanımı önemli bir faktör haline gelmiştir. Membranın mukavemeti geçilen açıklığı orantılı bir şekilde desteklemesi gerekmektedir. 1950'li yıllardan bu yana membran üzerindeki teknolojik gelişim ve değişim asma germe sistemler üzerinde etkili olmuştur.

Modern stadyum yapılarında çatı örtü çözümü olarak kullanılan en etkili sistem asma germe çatı sistemleridir. Büyük alanların kapatılmasında çok etkili bir çözümdür. Ana taşıyıcı sistem elik borular olup, üst örtü genellikle membran veya dayanıklı kumaştan tercih edilir. Sistemin tamamı elik halatlarla asılarak taşınır Modern stadyum yapılarının çatı örtü sistemi olarak asma germe sistem kullanıldığında üst malzeme membranın (PVC, PTFE vb.) yanında pleksiglass, kompozit panel veya betonarme plaka olarak da kullanılmaktadır.

3.3.4 Tensegrity

“Tensegrity” sözcüğü, “tension“ (gerilim) ve “integrity” (bütünsellik) kelimelerinden oluşturulmuştur. Yapısal tasarım olarak tensegrity kavramı 20. Yüzyılın ortalarında bilim insanı Buckminster Fuller tarafından oraya çıkarılmıştır. Heykeltıraş Kenneth Snelson'da tensegrity sistemi ile ilgili modeller geliştirmiştir. Fuller bu sistem üzerinde birçok araştırmalar yapmıştır.



Şekil 3.9 Tensegrity sistemi (Gürbüz, 2009)

Tensegrity’de çubuklar ve çubukları bağlayan kablolar vardır (Şekil 3.9). Çubuk ve kabloların bir arada bulunduğu sonsuz sayıda düzenleme mevcuttur. Bu sonsuz sayıdaki düzenlemelerin pek azı dengededir. Eğer kablo ve çubuklar rastgele bir şekilde birleştirilirse düzenlendiği biçimden farklı bir biçime dönüşerek çökeceklerdir. Dolayısıyla sadece kararlı ve dengede olan çubuk ve kablo birleşimleri tensegrity olarak adlandırılmaktadır. Çekmeye maruz kablolar, basınç altındaki çubuklar ve bunların bir bütünlük içinde davrandıkları düşünülerek çek-ger-tümle şeklinde bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Coşkun, 2017).

Jeodezik kubbelerde basınç etkisini azaltarak, yükleri çoğunlukla çekme kuvveti ile taşıyan tensegrity sisteminde, çubuk ve kolonun bir arada kullanıldığı, basınç gerilmelerinin kısa metal çubuklar tarafından taşındığı, çekme gerilmelerini kabloların aldıkları izlenmektedir. Böylece farklı gerilmelere sahip taşıyıcı öğeler sistem içinde hemen belli olmaktadır. Tensegrity sisteminde yüklerin tümü çekme elemanları (kablolar) tarafından taşınmakta, basınç çubukları ise, kabloları germekle görevli ikincil öğeler durumundadır (Türkçü, 2009).

Tensegrity sisteminde basınç elemanları sürekli devam etmediği için burkulma sorunu ortadan kalmaktadır. Sistem hafif ve maliyeti düşük olmasından kaynaklı tercih edilmektedir. İnşa aşamasında modüler olarak yapılmaktadır.

3.3.5 Lamine Ahşap Sistemler

Lamine ahşap, değişik ölçülerdeki bağımsız ahşap parçaların kontrollü endüstri koşullarında, yüksek basınçta ve ısıda özel bağlayıcılarla tutkalanıp birleştirilmesinden oluşmaktadır. Lamine ahşaplar kiriş, kolon, zincir eğrisi, kemer ve makas gibi birçok düz, eğri vb. farklı formlarda üretilebilmektedir. Geniş açıklıkları ahşap strüktür kullanarak geçebilmek için lamine ahşap malzeme kullanılmaktadır. Ahşapların birleşimleri için fabrika koşullarında birleşim elemanları metal yardımcı elemanlar kullanılmaktadır.

Hafifliği ve farklı ölçülerde üretilip bir araya getirilmesiyle, depreme ve yangına direnci yüksek olmasıyla, betonarme ve çelik strüktüre göre daha hafif yapı oluşturmasıyla masif ahşaplara göre daha çok tercih edilmektedir. Fabrikalarda ısı ve kurutma işlemi yapılması sayesinde kimyasal kullanılmaması ekolojik bir malzeme olmasını sağlamaktadır.

Lamine ahşap yapıların taşıyıcı sistemi ahşap karkas yapılarındaki iskelet sistemidir ve taşıma işlemini kolon, kiriş ve kemer gibi elemanlar yapmaktadır. Geleneksel ahşap elemanların kullanıldığı ahşap karkas yapıların geçebildiği açıklıklar sınırlıyken, lamine ahşap sistemlerde basit kirişler 25 m, kemer, çerçeve ve zincir eğrisi oluşturan elemanlar 65, 100 – 150 m açıklık geçebilmektedir.

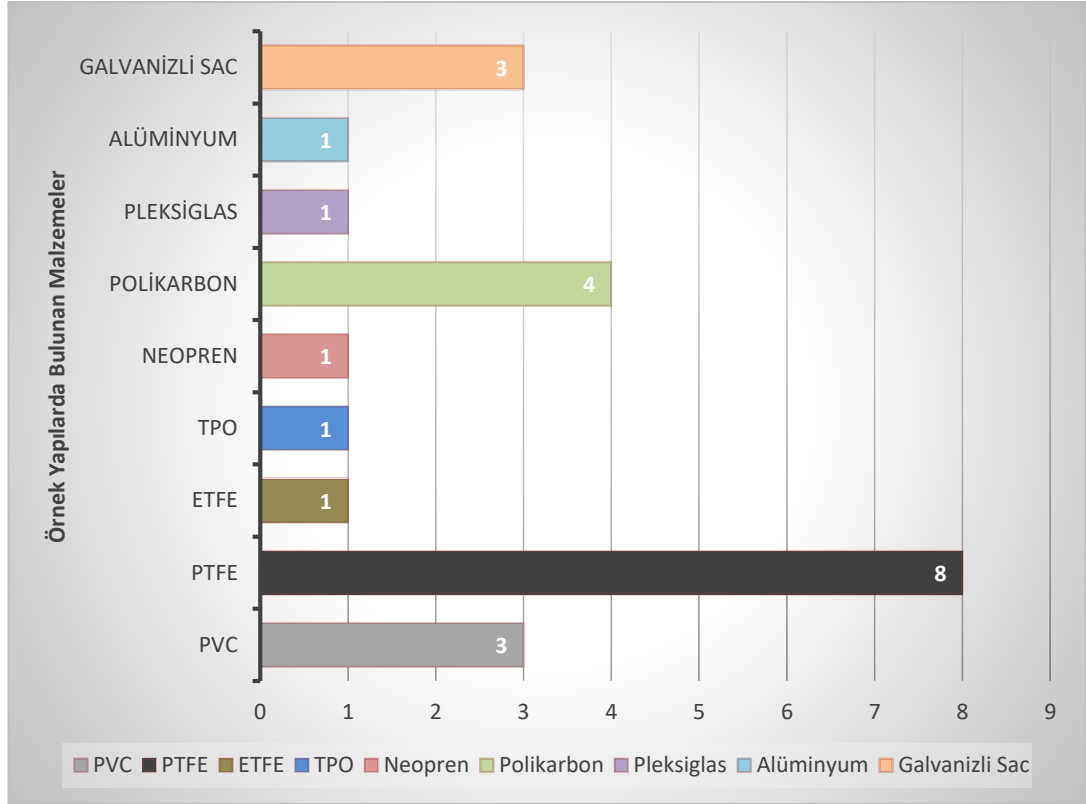
Kemer lamine ahşaplar zincir eğrisi geometrisinden ortaya çıkmıştır. İki ucundan mesnetlenen lamine ahşap malzeme sarkarak zincir eğrisi geometrisi oluşturmakta ve sadece çekmeye çalışan sistem olmaktadır. Stadyum yapı örneklerinde bu sistem gözlemlenecektir. Daha çok kapalı yüzme havuzlarında tercih edilmektedir. Bunun sebebi de lamine ahşabın paslanma sorununun olmamasıdır.

3.4 Stadyum Yapılarında Kullanılan Çatı Kaplama Malzemeleri

Stadyum yapılarında yaşanan en büyük değişim ve gelişme; çatı örtü sisteminde olmuştur. Bilinen çatı örtü sistemleri, bugünkü modern stadyum yapılarının çatı sistemlerine örnek teşkil etmiştir. Kullanılan malzemelerde görülen büyük teknolojik gelişme çatı sistemlerine yansımıştır. Modern stadyum yapılarının en önemli özelliklerinden bir tanesi stadın tamamının veya bir bölümünün açılır kapanır sistemde yapılmasıdır. Tez kapsamında araştırdığım stadyum yapılarında 4 örnek yapı bu özelliktedir. Bu sistem modern stadyum yapılarına esneklik özelliği katmaktadır.

Stadyum yapılarının, hava koşullarına ve farklı dış etmenlerle karşı karşıya kalan en önemli yapı elemanı çatılarıdır. Yağmurlar, fırtınalar ve sıcaklık değişimlerinin etkilerine maruz kalan çatı kaplama malzemelerinde ortaya çıkan genleşme ve benzer halleri, çatıda kullanılacak olan çatı kaplama malzemesini ve çatının formunu etkilemektedir. Stadyum çatıları için seçilen kaplama malzemeleri ve çatı strüktür sistemlerinin taşıyıcı özellikleri, büyük çatıların stabilitesini sağlamalıdır.

Çatı strüktür sistemleri ve kaplama malzemesinin birlikteliği, stadyum yapılarının içerdiği spor çeşidine uygun konfor koşullarını sağlamalıdır. Hem form ve estetiği sağlamalı, hem de dış ortam koşullarına dayanıklı olmalıdır. Bununla birlikte de ekonomik olmalıdır. Stadyum seyircilerinin ihtiyaç ve isteklerini karşılamakta yetersiz kalan çatı tasarımları ve uygulamaları çeşitli sorunların doğmasına neden olmaktadır. Bu sebeple uygun konfor koşullarını ve performansı yakalayan doğru tasarımlar (çatı taşıyıcı sistem, bileşenleri ve kaplama malzemesi) stadyum yapılarının kullanım süresini artırmaktadır.



Şekil 3.10 Örneklerde kullanılan çatı yüzeyi kaplama malzemeleri grafiği

Bu çalışma kapsamında stadyum yapıları örnekleri incelenirken çatı kaplamaları arasında yaygın kullanıma sahip malzemeler galvanizli sac, PTFE, PVC ve polikarbon levhalardır (Şekil 3.10). Bu bağlamda spor ve stadyum gibi büyük ölçekli yapılarda tercih edilen membran ve kaplama malzemeleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma da bir sonraki alt başlıklarda örneklerde kullanımı sık görülen 8 adet malzemenin tanımları ve özellikleri ile birlikte anlatılmaktadır. Ek olarak çatı kaplama malzemeleri arasında özelliklerini baz alarak karşılaştırma çalışması yapılmıştır.

3.4.1 Çatı Kaplama Malzemelerinin Sınıflandırılması

Tüm yapılarda olduğu gibi stadyum yapılarında da kullanıcı konfor koşullarının sağlanabilmesi için yapının üst örtü veya kabuk ile birleşimini çatı kaplamaları oluşturmaktadır. Endüstriyel gelişim çatı malzemelerinin çeşitliliğini artırmakta olup, farklı strüktürler ile çalışarak etkin hale gelmektedir. Çatı kavramı içerisinde strüktür

taşıyıcı strüktür elemanları, çatı yüzey kaplama levha ve membranları, yalıtım katmanları ve birleşim noktaları bulunmaktadır.

Çatı kaplama malzemeleri seçilen yapılar arasında tek veya çift katmanlı, yalıtım katmanlı, panel katmanlı örnekler mevcuttur. Çatı kaplamaları yapının maruz kaldığı yağmur, kar, rüzgâr ve güneş gibi etkilerden korumak için kullanılmaktadır. Seçilen stadyum örneklerinde membran ve levhalar olmak üzere 8 farklı kaplama malzemesi incelenmiştir. Bu malzemelerin betonarme düşey strüktür ve çelik düşey strüktür ile hangi taşıyıcı sistemler üzerinde kullanıldığına dair sınıflandırma tablosu hazırlanmıştır (Tablo 3.3 ve 3.4).

Bu sınıflandırma da 21 adet örnekte en çok kullanılan malzeme PTFE olup, membran kaplamaları levhalara göre daha çok tercih edilmiştir. Sınıflandırma tablosu incelendikten sonra kaplama çeşitleri hakkında bilgiler verilecek olup, karşılaştırma çalışması yapılacaktır.

Tablo 3.2 Çatı kaplama malzemelerinin sınıflandırılması

STADYUM YAPILARI	YAPIM YILI	BETONARME DÜŞEY STRÜKTÜR					ÇELİK DÜŞEY STRÜKTÜR							
		Betonarme Düşey Strüktür + Kablo Sistem			Betonarme Düşey Strüktür + Ahşap Strüktür	Betonarme Düşey Strüktür + Hareketli Sistem	Çelik Düşey Strüktür + Kablo Sistem					Çelik Düşey Strüktür + Asma-Germe Sistem	Çelik Düşey Strüktür + Uzay Kafes Sistem	
		PVC	Neopren	Galvanizli Sac	TPO	PVC	PVC	PTFE	ETFE	Polikarbon	Pleksiglas	PTFE	Polikarbon	Alüminyum
4.1 J.S. Dorton Arena	1952	●		●										
4.2 D.S. Ingalls Skating Rink	1958		●											
4.3 Tokyo Olimpik Yüzme Havuzu	1964			●										
Tokyo Kapalı Spor Salonu	1964			●										
4.4 Münih Olimpik Stadyum	1972										●			
Münih Spor Salonu	1972						●		●		●			
Münih Olimpik Yüzme Havuzu	1972						●		●		●			
4.5 Montreal Olimpiyat Stadyumu	1979					●								
4.6 Scotiabank Saddledome	1983	●												
4.7 King Fahd Stadyumu	1987							●						
4.8 Utah Olimpik Oval	1999						●							
4.9 Sdney Olimpiyat Stadyumu	2000									●			●	
4.10 Jeonju Stadyumu	2001							●		●				
4.11 Manchester Şehir Stadyumu	2002									●				
4.12 Atina Olimpiyat Stadyumu	2004									●				

Tablo 3.2 Çatı kaplama malzemelerinin sınıflandırılması devamı

STADYUM YAPILARI	YAPIM YILI	BETONARME DÜŞEY STRÜKTÜR					ÇELİK DÜŞEY STRÜKTÜR							
		Betonarme Düşey Strüktür + Kablo Sistem			Betonarme Düşey Strüktür + Ahşap Strüktür	Betonarme Düşey Strüktür + Hareketli Sistem	Çelik Düşey Strüktür + Kablo Sistem					Çelik Düşey Strüktür + Asma- Germe Sistem	Çelik Düşey Strüktür + Uzay Kafes Sistem	
		PVC	Neopren	Galvanizli Sac	TPO	PVC	PVC	PTFE	ETFE	Polikarbon	Pleksiglas	PTFE	Polikarbon	Alüminyum
4.13 Khalifa Uluslararası Stadyum	2006							●						
4.14 Wembley Stadyumu	2007												●	●
4.15 Green Point Stadyumu	2009						●							
4.16 Moses Mabhida Stadyumu	2009							●						
4.17 BC Place Stadyumu	2010							●	●					
4.18 La Plata Stadyumu	2011							●						
4.19 Lee Valley Velodrome	2012							●						
4.20 Maracana Stadyumu	2013							●						
4.21 Grandview Heights Aquatic Centre	2015				●									

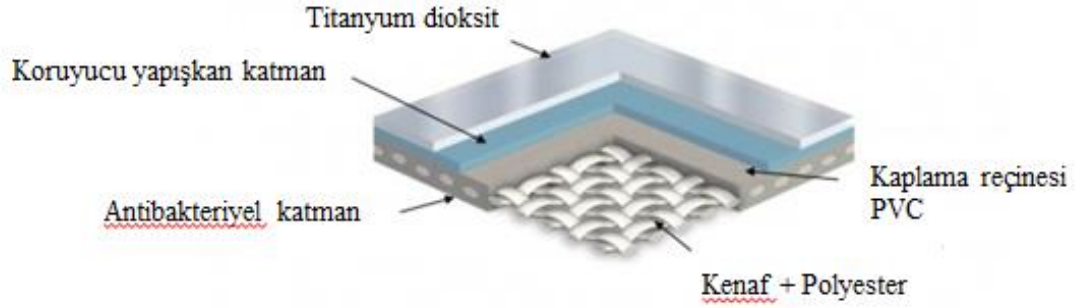
3.4.1.1 PVC

Malzemenin Tanımı: Polivinil klorid, monomer haldeki vinil kloridin polimerizasyonu ile üretilir. PVC (Şekil 3.11) sert bir plastik olup, daha yumuşak ve daha esnek hale getirmek için plastifiyanlar ilave edilir. Karbon, hidrojen ve klor moleküllerinin bileşiminden oluşmaktadır. Polivinil klorür kaplı polyester 1960 yılından beri kullanılmaktadır. Geniş kullanım nedeninin en büyük faktörü maliyetinin düşük olmasıdır.



Şekil 3.11 PVC malzeme (TensileSystems, b.t)

Malzemenin Özellikleri: Kullanım ömrü yaklaşık 20 yıldır. PVC kaplı polyesterin çekme mukavemeti 350 mpa ile 1200 mpa değerleri arasındadır. Yırtılma mukavemetini yüksektir. Malzemenin kalınlığı 0.5 – 3 mm arasında değişmektedir. Orta sertlikte bir malzemedir ve kıvrılması kolaydır. Böylelikle uygulama esnasında oluşabilecek küçük hataları kolaylıkla kapatabilmektedir. Kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir. PVC membranlar titanyum dioksit fotokatalitik ile kaplı olduğunda (Şekil 3.12), suyun membran yüzeyi ile temasında leke-kir sökücü görevi görür.

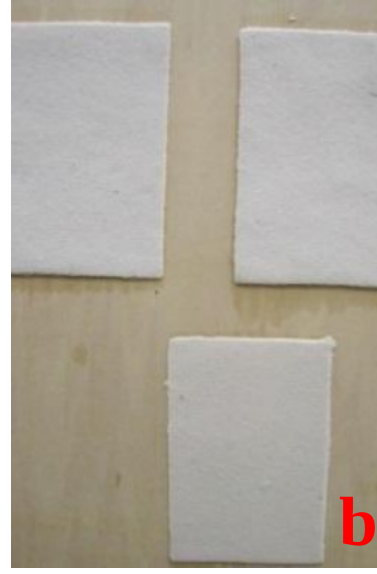


Şekil 3.12 PVC membranin katmanları (Tensogroup, 2012)

UV ışınlarına yaklaşık olarak 10-15 yıl kadar dayanmaktadır. %22 oranında ışığı geçirir. Güneşin altında PVC kaplamanın kimyasal özelliğini korumak için üzeri PVDF (floro karbon) üst katman uygulanır. Aynı zamanda üzerinde kaplama malzemesi olduğu için kaynak yapılabilir. PVC yanmaz malzeme değildir. Sadece alev geciktirici sınıfına girmektedir. Yüksek ısılarda membran üzerinde delikler oluşur. Farklı renk çeşitlerine sahiptir. Geri dönüştürülebilir (Şekil 3.13 ve 3.14).



Şekil 3.13 Geri dönüştürme aşamaları 1 a) 1-2 cm ölçülerinde parçalara ayrılmış hali, b) Su içinde çözülmüş hali (Kişisel arşiv, 2013)



Şekil 3.14 Geri dönüştürme aşamaları 2 a) Sıcak su içerisinde çözünmüş hali, b) Geri dönüştürülmüş PVC (Kişisel arşiv, 2013)

3.4.1.2 PTFE

Malzemenin Tanımı: Teflon, politetrafloroetilen (PTFE) polimerdir. Teflon, florlanmış etilen polimeri olan bir politetrafloroetilendir (Şekil 3.15). 1960 yılında DuPont tarafından geliştirilmiş olan PTFE malzemesi 1970'li yıllardan bu yana germe membran yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. PTFE yüksek kalitede mimari membran olarak çekmeye çalışan yapılar için kullanılmaktadır. Malzemenin kullanım ömrü ilk kullanıldığı yıllarda 25 yıl iken şimdilerde 30-50 yıl arasında değişmektedir.



Şekil 3.15 PTFE malzeme (Tensile Systems, b.t)

Malzemenin Özellikleri:

Yapışmaz Özellikleri: Titanyum dioksit (TiO₂) ile kaplandığında PTFE'ler foto katalizör olarak davranır ve kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir. Temizlenmesi kolay bir malzemedir.

Doğal Aydınlatma: Eşit gün ışığı yayarak, bu malzeme, alışveriş merkezleri veya kapalı yeşillik ve peyzaj yaygın olarak kullanılan ofis kompleksleri, gibi tesisler için mantıklı bir seçenek. Doğal yolla bitkiler yetişir. Işığın %60'ını yansıtır.

Isıl Performansı: PTFE'nin yalıtkan özellikleri cama benzemektedir. Tek katmanlı bir membran için 4,0 – 5,0 U değerine eşittir. 2,0 – 2,5 U değeri iki katmanlı membranlar için. Çift katlı membranların tek bir yüzey yapısı %50 oranında ışık geçirgenliğine sahiptir. PTFE -73°C ile +232°C aralığındaki ısıya dayanıklı bir malzemedir.

Solar Performansı: Çekmeye çalışan yapılarda tek katmanlı membran yapıları %75 oranında güneşi yansıtır, %10 oranında güneş ışığının emilimini sağlar ve %15 oranında iletimini sağlar. UV ışınlarına karşı dayanıklıdır.

Yangın Performansı: PTFE yanıcı olmayan bir malzemedir.

Yaşam: PTFE aktif UV ışığı ile ağartılmıştır. Uzun vadede parlak beyaz görünüm etkisini muhafaza eder. Çevre kirliliğine dayanıklıdır, kimyasal olarak inert bir katman sağlar. Malzeme laboratuvarında test edilmiştir. Malzeme kırılgan hale gelmez. Zamanla renk kaybetmez. 30 yıldan fazla bir ömre sahiptir.

Akustik: PTFE hafif malzemedir, membran çatıları akustik saydam özelliktedir. Gürültüyü emerek akustik konfor sağlar. Membran üzerine yalıtılmış bir katmanın ilave edilmesi akustik özelliğini artırır.

Temizleme: PTFE dış tabakasının yağmur etkisiyle birlikte temizlenmesi oldukça düşük bir bakımı vardır. Genellikle yapının konumuna ve maruz kaldığı çevre koşullarına bağlı olarak her 2 – 5 yılda bir temizlenmesi önerilir. Membran yüzeyi bir insanın ağırlığını taşıyacak kadar güçlüdür, bu yüzden temizliği güvenli bir sistemin birleştirilmesiyle insanı taşıyarak daha kolaydır. İçten temizleme de gerektirir.

Ağırlık: Tek tabakalı PTFE membranlar metrekare başına 1,5 kg ağırlığındadır.

Membran Ölçüsü: Çekmeye çalışan membranlar her ebatta imal edilebilir. Dikişsiz membran ölçüsü 1,5m- 2,5m genişliğindedir. Uzunluk ölçüsünün bir limiti yoktur. 60 m'den fazla bir açıklık geçilebilir. Destek elemanları olarak kablo ağları ile güçlendirilebilir. Fabrika şartlarında dağıtım için yerinde paketlenir. 200 m² bir membran panelin yaklaşık ağırlığı 300 kg'dır (Tian, 2011).

PTFE membran malzemesi çok güçlü mekanik performansa sahiptir. 0,8 mm kalınlığında olmasına rağmen güçlü bir gerilme mukavemetine sahiptir. PTFE'nin elastik özelliği diğer malzemelere göre daha düşüktür. Karmaşık eğri yüzeylerin tasarımı için avantajlıdır. Geceleyin iç ve dış aydınlatmadan ortak ışınlama altında, membran yapısı parlak, yarı saydım ve güçlü bir etkiye sahiptir. Camdan daha güçlü akustik emilimi vardır. 60 hz'dan daha az bir ses. Camdan daha iyi bir yalıtıma sahiptir. Yaklaşık olarak tuğla duvar ile aynı yalıtıma sahiptir. Fransa, Almanya, ABD, Japonya ve Çin gibi ülkelerin standartlarına uygun üstün alev geciktirici ve yanmaz özelliğe sahiptir. Normal koşullar altında membran elastik olarak davranır ve gevşeme ve sünmeye uğramaz. Kaynaklanmış veya dikilmiş PTFE membran iyi bir güç ve dayanıklılığa sahiptir. Bu özelliği sayesinde özel tasarımlara olanak sağlar. Yapısal olarak PTFE membran su geçirmez özelliğe sahiptir. PTFE hiçbir çözücüde çözünmez. Elektriksel özellikler çok iyi olup direnç, yalıtkanlık ve dielektrik özellikleri yüksek sıcaklıkta dahi değişmez. Özellikle yüksek frekans direnci için rakipsizdir. Hiçbir klasik yapıştırıcı PTFE'i yapıştırıramaz. 320-380°C'lerde basınç altında PTFE parçalar birbirine kaynatılabilir.

ePTFE: Membran malzemesi %100 fluoropolimer kaplamadır. Bu yanmaz malzeme %40 ışık iletimini sağlamaktadır. Su geçirmez özelliğe sahiptir. UV ışınlarına dayanıklıdır ve kimyasal olarak etkisiz bir malzemedir. Malzeme son derece dayanıklıdır ve temizlenmesi kolaydır. ePTFE fiberglas membran malzemesi nokta kaynaklı veya dikilmiş birleşim detayı ile dayanıklılığını artırmaktadır.

3.4.1.3 ETFE

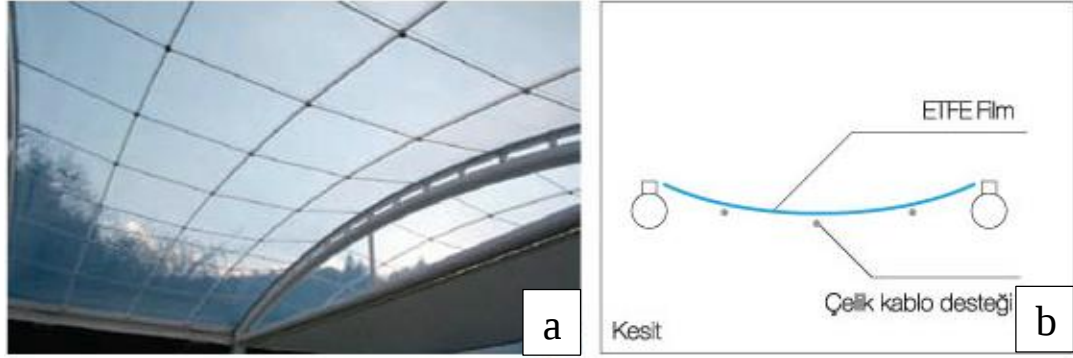


Şekil 3.16 ETFE malzeme (Arcspace, 2017)

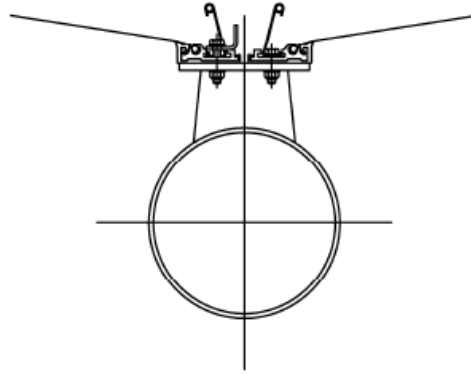
Malzemenin Tanımı: Etilen tetrafloroetilen (ETFE), etilen ve floroetilen kopolimeridir (Şekil 3.16). Mimari de yapı kaplama uygulamalarında kullanılır. Etilen tetrafloroetilen, ETFE, plastik bir tür, geniş bir sıcaklık aralığında yüksek korozyon direnci ve gücü için tasarlanmıştır. ETFE nin çok yüksek erime sıcaklığı, mükemmel kimyasal, elektrik ve yüksek enerjili radyasyon direnci özellikleri vardır. Yanmış zaman, ETFE son derece aşındırıcı hidroflorik asit salgılar.

Malzemenin Özellikleri: ETFE, folyolar ve filmler olarak adlandırılan büyük ince tabakalar halinde ekstrüde edilebilir. Tek veya çok katmanlı tabakalar halinde uygulanabilir. Şu anda kalınlığı üretim aralığında 50 um'den 300 um'lik filmler halindedir. Tek katmanlı uygulamalarda folyolar çeşitli yapısal çerçeve üzerine gerilir (Şekil 3.17 ve 3.18). Çok katmanlı ETFE kaplama iki folyo arası hava ile şişirilerek

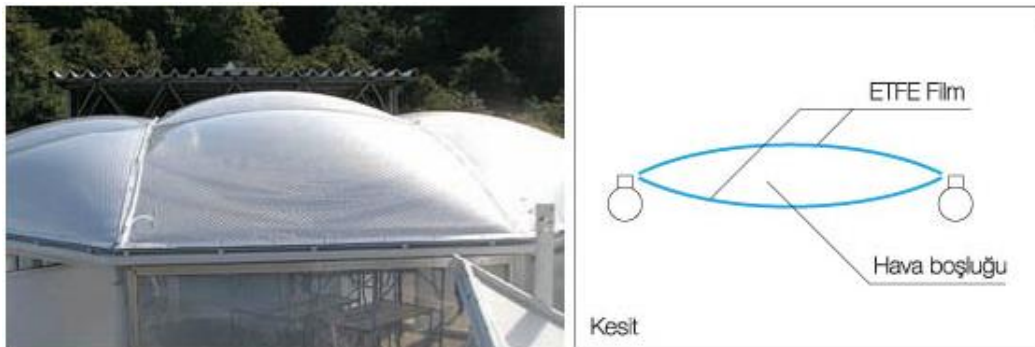
oluşturulur. Bu sistemlere yastıklar da denir (Şekil 3.19 ve 3.20). Yastık yapılarının çeşitli varyasyonları vardır. ETFE yastıklar bir şişirme birimi tarafından sürekli basınç altında tutulur.



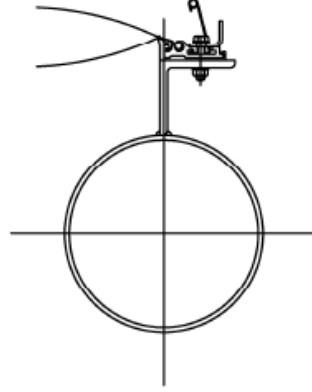
Şekil 3.17 Tek tabakalı ETFE membran a) Görünüş, b) ETFE film kesiti (Slideshare, b.t)



Şekil 3.18 Tek tabakalı ETFE membran sistem detayı (Slideshare, b.t)



Şekil 3.19 Çift tabakalı ETFE membran a) Görünüş, b) ETFE film kesiti (Slideshare, b.t)



Şekil 3.20 Çift tabakalı ETFE membran sistem detayı (Slideshare, b.t)

Ağırlık: ETFE cama göre çok daha hafif bir malzemedir. ETFE'nin yoğunluğu 1,75 g/cm³ tür. Yaklaşık olarak 175 g/m² ağırlığındadır. Bu ağırlık katman sayısına göre değişim göstermektedir.

Işık Geçirgenliği: ETFE ışığı %90 – 97 oranında geçirir. İşlem görmemiş cam sadece %81 oranında ışığı geçirmektedir. Botanik projelerinde özellikle bitki büyüme koşulları için camdan daha iyi oranda UV ışınlarını geçiren ETFE malzemesi tercih edilmektedir. ETFE üzerinde UV ışınları bakteri üremesini engeller. Böylece yüzme havuzu ve hayvan barınağı gibi mekanları muhafaza etmek için uygun bir çözümdür. ETFE film kalınlığı arttıkça hafif sütü saydam bir görünüm kazanır. Çeşitli yollarla bu malzemenin ışık geçirgenliğini uygun koşullara göre şekillendirmek mümkündür. Baskı işlemi yoluyla ETFE folyonun yüzeyi çeşitli desenler ile kaplanarak yarı saydamlık özelliği korunur ve ısı kazancı azaltılabilir. Kaplama üzerindeki mürekkep yoğunluğu değiştirilerek enerji iletimi değişebilir. Renklendirme işlemi ile renkli folyo seçilerek UV ışınları ihtiyaca göre iletilebilir. Beyaz ETFE membran üzerindeki parlamayı azaltmak ve biraz ışık tutmak için kullanılabilir. Yüzey işlemlerine üretim sürecinde fabrikada müdahale edilebilir. Böylelikle tasarıma ve çevreye uygun koşullar membran için baştan düşünülerek sağlanabilir.

Yalıtım: ETFE yastıkları folyo katmanları arasında bulunan hava sayesinde cam panellerden daha iyi bir yalıtıma sahiptir. Örneğin üç katmanlı bir ETFE membran

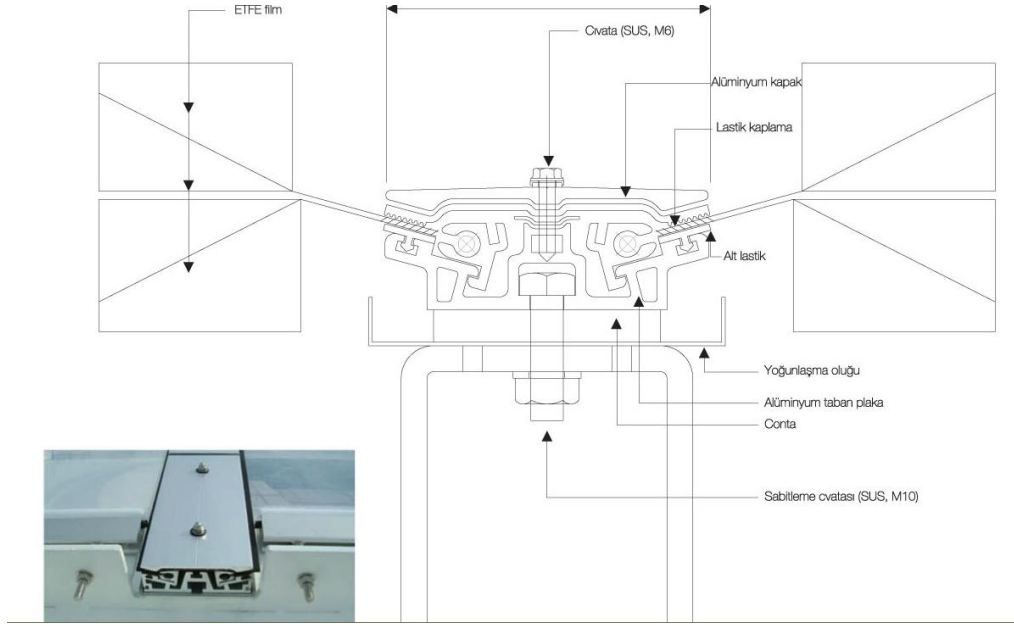
1,95 W/m²K U değerine sahipken, kaplanmamış çift camlı içi arası hava dolu cam paneller 2,84 W/m²K U değerine sahiptir. Düşük bir U değeri daha yüksek bir yalıtımın göstergesidir. Katmanlar arttıkça yalıtım düzeyi de doğru orantılı bir şekilde artmaktadır.

Esneklik: ETFE membran malzemesi dinamik yükler altından cama göre daha esnek bir malzemedir. Bir ETFE yastığın başarısız bir durumunda içerisindeki havanın boşalmasıyla birlikte malzeme esneme hareketi ile hasar oranını minimal bir boyuta düşürecektir.

Çevresel Faydalar: ETFE geri dönüşümlü bir malzemedir. Bir yapıda kullanılmış olan malzeme tekrardan kullanılabilir. İmalat aşamasında ozon tabakasına az derecede hasar verir. ETFE üretimi monomer TFE dönüşümünü içerir. Polimer ETFE su içinde çözünür. Daha sonra yapı uygulamalarına bağlı olarak farklı kalınlıklarda üretilir. Bu işlem hızlı bir süreç içinde gerçekleşir. Böylelikle düşük bir enerji tüketimi sağlanır. UV ışınları, güneş ışığı, hava ve kirliliğe karşı uzun bir ömrü vardır. Geri dönüşümlü bir malzeme olduğunu düşünürsek kullanım süresi 50 – 100 yıl arasında değişmektedir. ETFE malzeme uygulamalarında alüminyum çerçeve üretiminde enerji düzeyi yüksek olması gerekmektedir. Ama bu malzemenin de uzun bir kullanım ömrü olduğu için çevre dostudur. Taşınmasının kolay olması, az yer kaplaması ve su ile temizlenebilmesi çevreye olan etkisini azaltmaktadır.

ETFE yastıkları, kenar kısımlarından yoğunlaşma kanallı alüminyum sistem profilleri ile monte edilir ve sistemin birleşim noktalarında fitil kullanılarak hava geçirimsizliği garanti altına alınır (Şekil 3.21).

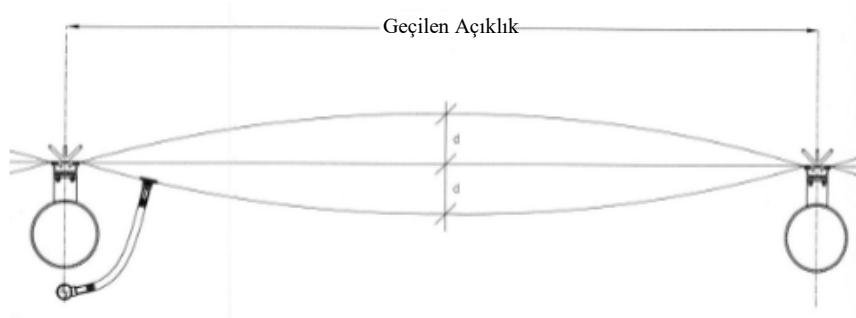
Temizleme: Geleneksel membran çeşitlerinden farklı olarak ETFE membran pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Bu düzgünlük yüzey üzerinde tutulan kir miktarını azaltır.



Şekil 3.21 Yoğuşma kanallı ETFE detayı (Tensaform, b.t)

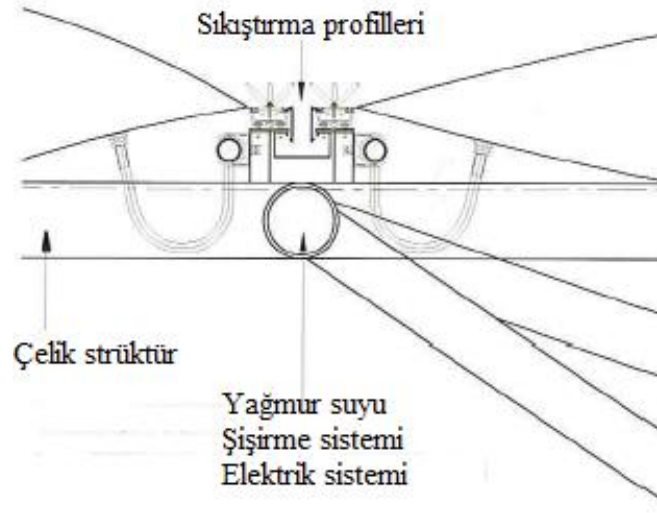
Yangın Dayanımı: ETFE folyoları zor alev alır. 270°C ısıya kadar dayanım göstermektedir. Bu yüzden kendi yangınını söndürme özelliğine sahip kabul edilir. Yangın durumunda sıcak duman malzemenin yumuşamasına neden olur.

Açıklık: ETFE membran malzemesi cam malzemeye oranla çok daha büyük açıklıkları geçebilmektedir. Uygulamalarda 11 m çaplı altıgen ve 17 m eşkenar dörtgen membran inşa edilmiştir. Daha büyük açıklıklar geçmek için kablo ağları ile desteklenmiş yardımcı elemanlar kullanılmaktadır. Genel bir tasarım kuralı olarak dikdörtgen yastıklar 3,5 m ye kadar yayılabilir. Üçgen tasarımlarda bu ölçü biraz daha artmaktadır. Dikey ve yatay yerleşimlerde destek elemansız 40 m açıklık geçilebilmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Çift tabakalı ETFE geçilen açıklık (Tensaform, b.t)

Yağmur Suyu Ve Drenaj: Tüm ETFE malzeme kullanılan yapılarda yağmur suyunun birikmesini ve yük olmasını önlemek için membranın eğriligi tasarlanmaktadır. Yağmur suyu oluk sistemi içerisinde toparlanır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 ETFE membran yağmur suyu detayı (Tensaform, b.t)

ETFE folyolar 2-3 yılda bir dışarıdan temizlenebilir. Yastıkların içleri çok az sıklıkta içten temizlenmelidir. İç ortamda toplanan kir 5-10 yıl arasında temizlenebilir. ETFE teknolojisinde esnek fotovoltaik şeritler (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25) kullanılmaktadır.



Şekil 3.24 Fotovoltaik şeritler (Detail, 2009)



Şekil 3.25 Fotovoltaik şerit kaplamalı ETFE örneği (Detail, 2009)

3.4.1.4 TPO

Termoplastik Poliiolefin (TPO), polipropilen ile birlikte polimerize edilmiş etilen-propilen kauçuktan yapılmış tek katlı bir yansıtıcı çatı membranıdır (Şekil 3.26). 1989 yılından bu yana kullanılmaktadır. TPO atmosfer koşullarına, UV ışınlarına, yüksek yırtılma, delinmeye ve aşınmaya dirençlidir. TPO membranlar içerik olarak PP, elastomer, plastifiyan, boya, UV katkısı, ateşe dayanım katkısı ve dolgu malzemesi içermektedir.



Şekil 3.26 TPO membran (Multiplan, b.t)

TPO membranlar soğutma derecesi yüksek olan bölgelerde, soğutma ihtiyacını azaltarak, çatı yüzeyini UV ışınlarından koruyarak, sıcak iklimlerde serinliği sağlamaktadır. Bununla birlikte maliyetlerin azalmasına yardımcı olmaktadır. TPO membranların tercih edilmelerinde en büyük neden daha uzun dayanıma sahip

olmalarıdır, yapılan yaşlandırma testlerinde 20 - 30 yıla kadar dayanım gösterdikleri bilinmektedir. Doğru ürün yapıldığında ısı kaynağı ile kolay şekilde birleştirilebilmektedirler. TPO membranlar (Şekil 3.27) standart olarak 1,2 - 1,5 – 1,8 ve 2,0 mm kalınlıklarda üretilmekte olup istenildiğinde özel üretimler de yapılabilmektedir.



Şekil 3.27 TPO membran uygulama (Multiplan, b.t)

TPO, düşük ve yüksek eğimli yüzeylere kurulabilir ve çatı detaylarını tamamlarken özellikle yardımcı olan, birçok kez ısıtılıp yeniden şekillendirilebilir. Hafif metal çatılarda serbest serilerek kullanılabilir. TPO membranları zorlu hava koşulları ve güneş ışınlarına maruz kalan tüm çatılarda su yalıtımını sağlamaktadır. Yüksek yansıtıcılık özelliği sayesinde yapıların enerji sarfiyatını azaltmaktadır. TPO membranlar toksik veya tehlikeli maddeler içermez ve tamamen geri dönüştürülebilir malzemedir.

3.4.1.5 Neopren

Neopren 1930 senesinde Dupont laboratuvarlarında, kloroprenin polimerizasyonu yoluyla icat edilen polikloropren (polychloroprene) türü lastik malzemedir (Şekil 3.28).

Kloropren, polimerleştğinde katı, kauçuk bir madde oluşturan bir sıvıdır. İcat edildiğinde duprene adını alan malzeme büyük miktarlarda üretimi yapılan ilk suni kauçuk türü malzemedir (Neotex, b.t).



Şekil 3.28 Neopren tabakalar (Neotex, b.t)

Atmosfer şartlarına, sıvı ve gaz halindeki petrol ürünlerine, ozona, suya ve tuzlu suya dayanıklı olan bu kumaşlar - 20°C + 120°C derece sıcaklığa dayanıklıdır. 100 metrekareye 8 galon kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak 30 kg'a denk gelmektedir. Metrekareye düşen ağırlığı böylelikle 0,3 kg/m²'dir. Yüksek çekme dayanımı ve uzama kombinasyonu vardır. Çatı hareketine ve titreşimlere dayanımı yüksektir. Oldukça esnek bir malzemedir. Metal çatılarda kullanımı daha fazladır.

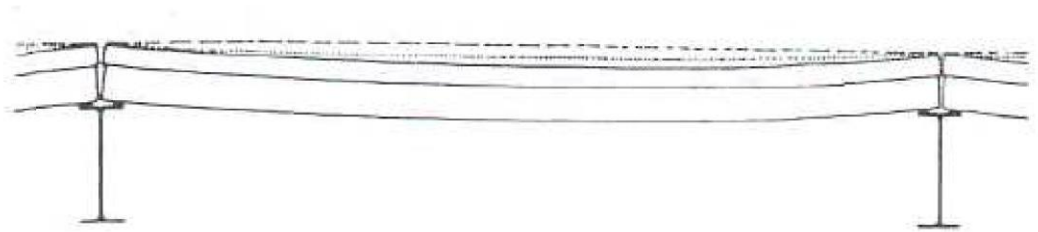
3.4.1.6 Polikarbon Levha

Malzemenin Tanımı: Polikarbon, 1950'li yıllarda polimer malzemenin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Levha olarak üretilmesiyle birlikte çatı kaplama malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Polikarbon levha (Şekil 3.29) termoplastikler grubundandır. Çatı kaplamalarında tercih edilme sebepleri, hafif olması, ışık geçirgenliğine sahip olması, saydam özellikte üretilmesi, dış etkenlere maruz kaldığında darbe dayanımının yüksek olması ve UV ışınlarına karşı dayanıklı olmasıdır.



Şekil 3.29 Polikarbon levha (Russianpapa, b.t)

Malzemenin Özellikleri: Polikarbon malzemenin çatı sistemlerinde kullanılmasını sağlayan bir çok önemli özelliği bulunmaktadır. Şeffaf ve saydam bir levhadır. Cama göre mukavemeti 150 kat dayanıklıdır. Akustik başarısı yüksektir. Mekanik ve elektrik özellikleri yüksektir. Optik özellik açısından çok net ve yüksek ışık geçirgenliğine sahiptir. Farklı sıcaklıklarda ve nem, hava koşullarında yalıtkan özellikleri gelişmiştir. -40°C ile 135°C arasında ısı değişimlerine ve sıcaklıklara dayanıklıdır. Herhangi bir yangın olasılığında 140°C 'ye kadar dayanıklı olup, kendiliğinden yanma özelliğini etkisiz hale gelir ve alev almaz. Polikarbon levhaların çatı altındaki yüzeylerinin sıcaklığı 130°C 'yi geçmemelidir (Şekil 3.30). Tek olumsuz özelliği petrol, yakıt ve yağ gibi kimyasallara karşı direnç gösterememektedir.



Şekil 3.30 Isı etkisinin çatıda oluşturduğu hasar (Kişisel arşiv, 2013)

Polikarbon levha kullanılan çatılarda, çatı eğiminin minimum %2 olması suyun birikmesini kontrol altına almaktadır. Polikarbon levhalar %0,16 değerinde su emme

özelliğine sahiptir. Çatı kaplaması olarak polikarbon levha, bu eğim ve değerlerde etkin bir performans yakalayabilmektedir.

Rüzgârın çatı tasarımlarında etkisi büyüktür. Yapının yüksekliği ve çatının yönü, rüzgârın hızının etkisini hem azaltabilir hem de çoğaltabilir. Şiddetli rüzgârlarda çatı kaplama malzemeleri çatı strüktüründen ayrılıp kopabilir. Bu sebeple polikarbon çatı levhaları, rüzgârın yönüne göre dizilmeli ve konumlandırılmalıdır. Levhalar arasındaki birleşim detaylarında rüzgâr yönüne göre montaj yapılmalıdır.

3.4.1.7 Pleksiglas Levha

Pleksiglas, polimetilakrilat esaslı termoplastik bir malzemedir. Yüksek ışık geçirgenliğine sahiptir. Pleksiglas; yanıcı bir termoplastiktir. İlk olarak 1936 yılında üretimine başlanmıştır. Kendi kendine yanma sıcaklığı 400°C'dir. 250°C de alevle tutuşabilmektedir. Genellikle 1,5 – 2,5 mm kalınlığında düz levhalar halinde bulunmaktadır. Döküm tekniği ile 2 mm'den 40 mm kalınlığa kadar, çeşitli ebatlarda renksiz, şeffaf renkli ve opak (Şekil 3.31) olarak üretilabilmektedir (Pleksiglas, b.t).



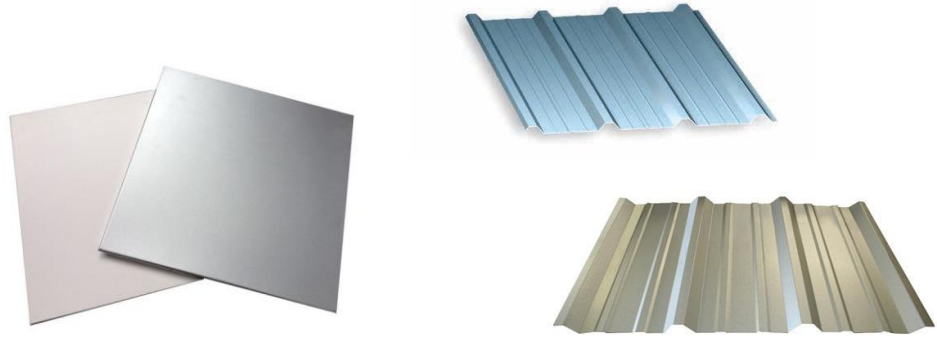
Şekil 3.31 Pleksiglas levha renkleri (Plexi-form, 2015)

90°C sıcaklıkta ya da 90°C - 115°C de etüvde ısıtılarak yumuşatılır. Böylece kalıplanarak istenilen biçim verilebilir. 70°C deki hava koşullarına dayalıdır. Camdan daha dayanıklı ve hafiftir. Cam kadar saydamdır. %92 ışık geçirgenliğine sahiptir (Pleksiglas, b.t).

3.4.1.8 Alüminyum ve Galvanizli Sac Levha

Metal esaslı çatı örtüleri üretildikleri metal ve geometrilerine göre adlandırılmaktadır. Metal levha üretiminde sac ve alüminyum en sık kullanılan metallerdir. Genellikle düz, trapez veya sinüs geometrili olarak üretilmektedir (Şekil 3.32).

Alüminyum: Korozyona karşı dayanımı çok yüksektir. Boya gibi bir başka koruyucuya ihtiyaç duymaması nedeniyle tercih edilebilirken, iyi bir iletken ve genleşme katsayısı galvaniz saca göre çok yüksektir. Renkli paneller için alüminyum levha, eloksal veya elektrostatik toz boya ile boyanır. Hafifliği ve güneş ışınlarını yansıtması nedenleriyle sıcaklık artışını önlemesi alüminyumun başlıca yararlı yönleridir. Güneş ışınlarından etkilenecek orijinal rengini kaybetmez. Alüminyum, doğal metal niteliklerini düşürmeden yüzde 100 geri dönüştürülebilir bir malzemedir.



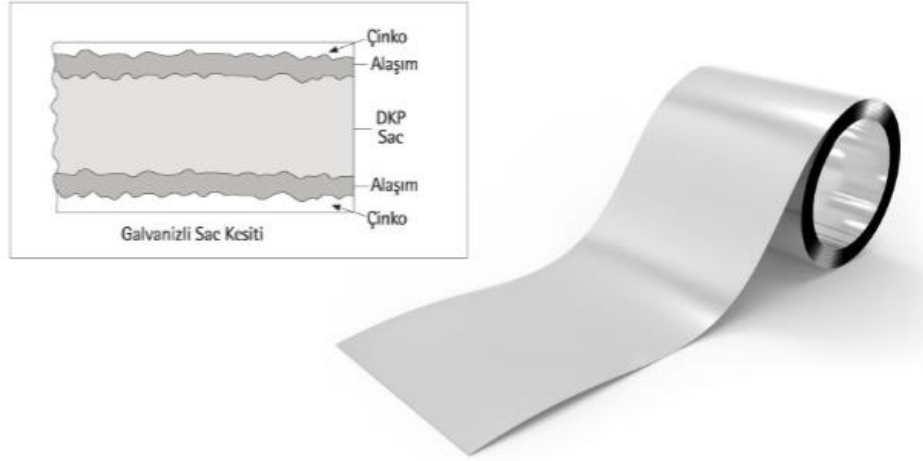
Şekil 3.32 Düz ve trapez alüminyum levha (Alüminyumtrapezsac, b.t)

Çatı uygulamaları için kullanılan normal alüminyum alaşımları sahada şekillendirilebilir ve kullanımı kolaydır, çoğu montajcının çatı üzerinde kullanması çok kolaydır. Alüminyum, yanıcı değildir ve yangının yayılmasına engel olur. Parlak yüzeyi nedeni ile yansıtıcıdır. Antimanyetik özelliği bulunmaktadır.

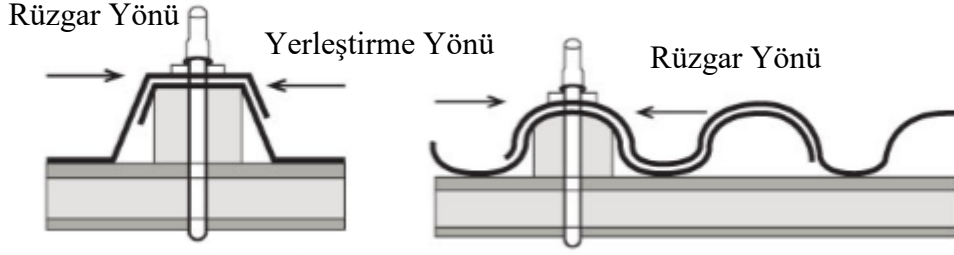
Alüminyum trapez çatı levhaları, doğa koşullarına dayanıklı olması, su emmeme, don olayından etkilenmeme, uzun ömürlülük, hafiflik, kolay şekil verilebilme gibi

nedenlerden dolayı stadyum gibi geniş açıklıklı yapılarda çatı örtü malzemesi olarak tercih edilmektedir. Dolgu ve yalıtım malzemeleri ile birlikte kullanıldığında ısı, ses, buhar ve su yalıtım dayanımı oldukça yüksektir.

Galvanizli Sac: Galvanize yassı çelikler (Şekil 3.33), soğuk haddelenmiş metalin sıcak daldırma prosesiyle her iki yüzeyinin de çinko tabakası ile kaplanmasıyla üretilmektedir. Kaplama işleminden sonra indüksiyon ile ısıtma sonucunda ara yüzeydeki kaplamanın çinko-demir alaşım tabakasına dönüştürülmesi ile galvanize yassı çelik rulolar üretilmektedir. Galvaniz sac metal için galvaniz çelikler kromatlama ve yağlama ile pasive edilerek, yüzeyde oluşturulan çinko kaplamanın korunması sağlanmaktadır. Galvaniz trapez sac, çinkonun doğasında bulunan metal korozyon oluşturan elementlere karşı direnç oluşturmamasından dolayı en iyi kullanım ömrüne sahiptir. Kullanım ömrü çinko kaplamanın kalınlığına ve metalin kullanıldığı ortama göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3.33 Galvanizli sac kesiti (İstbirlikgalvaniz, 2012)



Şekil 3.34 Trapez ve oluklu galvaniz levha uygulama şekli (İstbirlikgalvaniz, 2012)

Galvanizli sacın ses ve ısı yalıtımı zayıftır. Konut türü yapılarda genellikle kullanılmaz. Daha çok endüstri ve sanayi yapılarında tercih edilmektedir. Mimari açıdan görünümü estetik değildir. Montajdan sonra delik yerleri korunmazsa paslanma oluşmaktadır. Uzama ve kısalma katsayıları yüksektir. Ek yerlerinden hareket edebilir. Asit buharları ile üretim yapılan sanayi tesislerinde yalıtımlı olarak kullanılmalıdır. Kolay işlenebilir (Şekil 3.34) ve esnekliği nedeniyle eğrisel yüzeylerde de uygulanabilir oluşu galvanizli sac levhaların avantajlarından. Malzeme ekonomiktir ve uygulaması pratiktir. Ancak yırtılma direnci düşüktür. Bu nedenle özellikle kaplama altından rüzgâr alınmaması için çatı yalıtım katmanları ile desteklenmektedir. Galvaniz sac kaplamalarının dezavantajları vardır. Malzeme tek başına kullanıldığında iyi bir su izolasyonu sağlayamaz, yüksek ısı karşısında yangına dayanıksızdır ve yağış sırasında yüksek ses oluştuğundan rahatsız edici olabilmektedir.

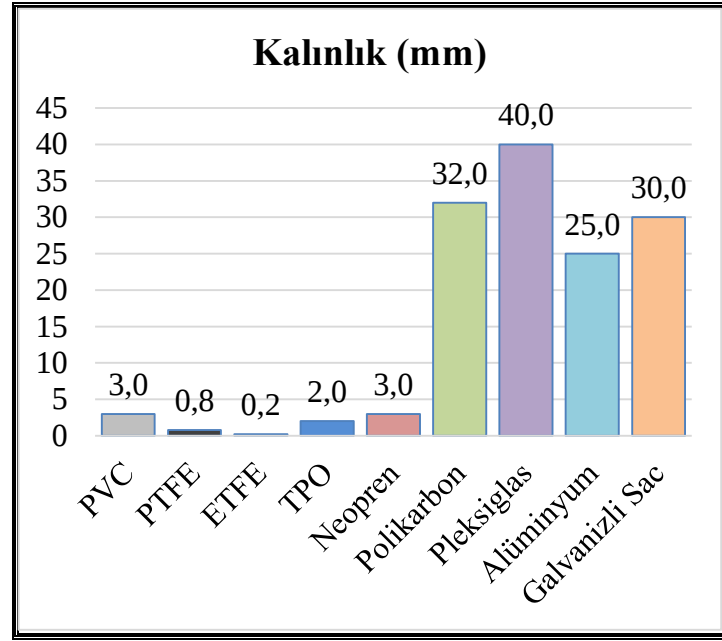
3.4.2 Çatı Kaplama Malzemelerinin Karşılaştırılması

1950 yılından başlayan ve günümüze kadar yapılan ‘Stadyum yapılarında çatı strüktürleri’ ifadesinden yola çıkılan çalışma süresince, çatı yüzey kaplamalarının önemli bir unsur olduğu gözlemlenmiştir. Kaplama malzemeleri ile ilgili elde edilen veriler grafikler gösterimleri ile kolay anlaşılabilirliği sağlanmıştır.

Çatı kaplama malzeme seçimlerini belirleyen ilk faktörler iklim, mimari ve strüktürel tasarım, maliyet hesabıdır. Çatı yüzeyi dış etkenlerle bağlantı kuran bir katmandır. Bu sebeple kaplama malzemesinin su ve ısı yalıtımlı, uzun kullanım ömürlü, hafif ve çatı formuna uyumlu olması gerekmektedir. Çatı örtüsü atmosferik olaylar karşısında dayanıklı olmalıdır.

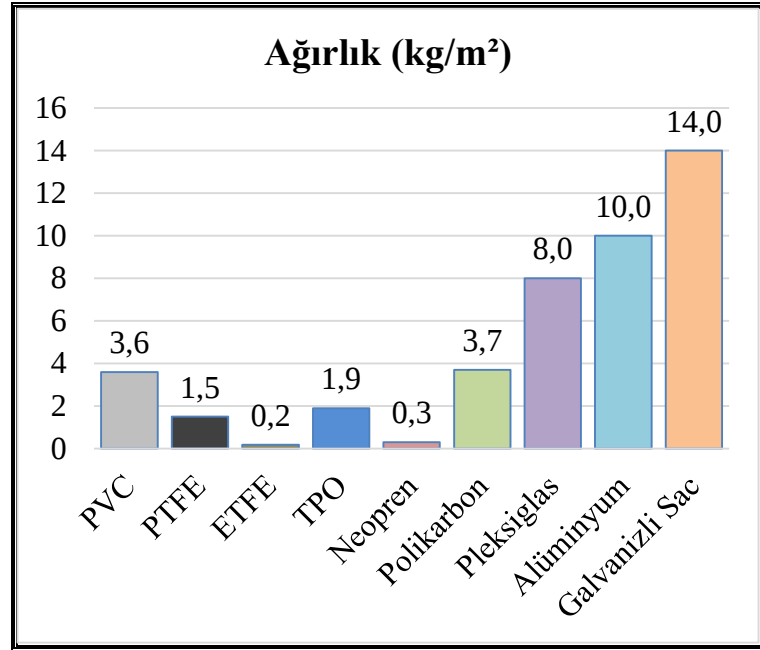
Tablo 3.3 Membran malzemelerinin karşılaştırılması

Malzeme Özellik	PVC	PTFE	ETFE	TPO	Neopren	Polikarbon	Pleksiglas	Alüminyum	Galvanizli Sac
Kalınlık (mm)	0,5 – 3	0,8	0,02 – 0,2	1,2 - 2	1 - 3	4 - 32	2 - 40	0,4 – 25	0,25 – 30
Ağırlık (kg/m²)	3,6	1,5	0,175 – 0,525	1,3 – 1,9	0,3	0,8 – 3,7	1,46 - 8	6,5 – 10	3 – 14
Kullanım Ömrü (yıl)	20	30 - 50	50 - 100	15 - 20	30 - 50	10	30	40 - 50	50
Işık Geçirgenliği (%)	22	60	90 - 97	45	12	52 - 90	11,92	2	1,02
Isı Dayanımı (°C)	- 45 / +90	-73 / +232	150	-50 / +80	-20 / +120	-40 / +135	-40 / +150	600	1400

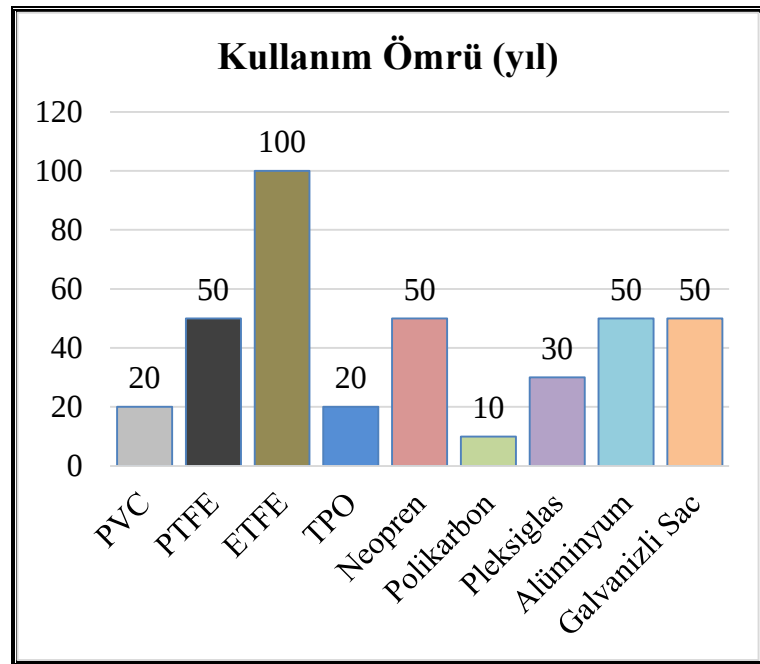


Şekil 3.35 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin kalınlık grafiği

Şekil 3.35’ de gösterilen grafiğe göre kaplama malzemeleri arasında en az kalınlığa sahip ETFE membran malzemesidir. Günümüzde modern stadyumlarda en çok tercih edilen kaplama türleri içinde yer almaktadır. Oldukça ince bir malzeme olmasından dolayı ağırlığı da en az olan kaplama malzemesidir (Şekil 3.36). ETFE ağırlığı alüminyum bağlantı noktalarıyla birlikte 2-3 kg/m²’dir. Çatı yüzeyinde m² başına düşen ağırlık açısından avantajlı bir malzemedir. Polikarbon, pleksiglas, alüminyum ve galvanizli sac malzemeleri diğer malzemelerden farklı olarak levhalar şeklinde üretilmektedir. Bu sebeple kalınlıkları membran malzemelere göre fazladır. Tüm malzemelerin çatı strüktür sistemine, formuna ve eğimine göre kalınlık değerleri değişkenlik gösterebilmektedir. Metal esaslı çatı levhaları şekil 3.36’de gösterildiği üzere en ağır kaplama malzemeleridir. Alüminyum ve galvanizli sac malzemelerinin çatı kaplama altı elemanları ile ağırlıkları değişebilmekte ve kalınlıkları artmaktadır. Hafif yapılar açısından etkin olan kaplama malzemeleri ETFE, PTFE, TPO, Neopren ve PVC tek katmanlı membranlardır.



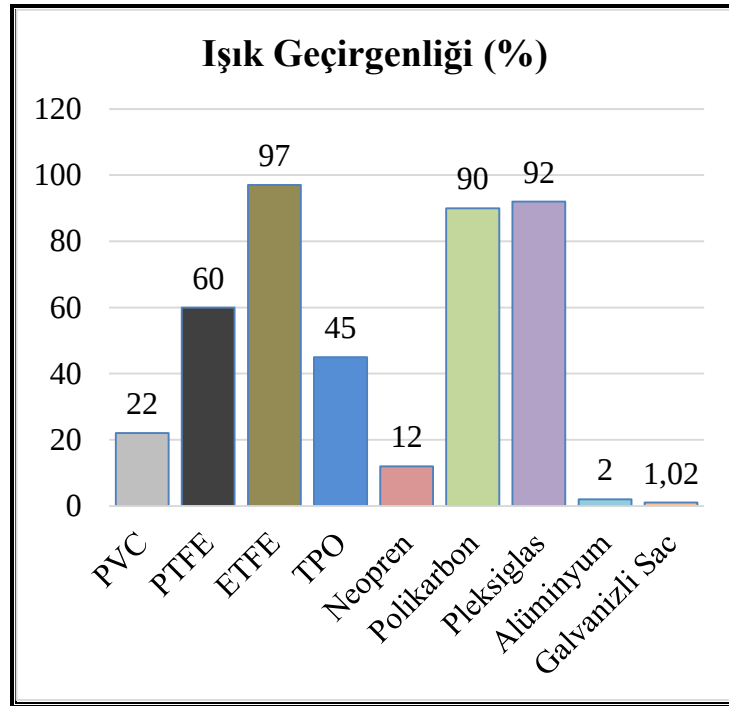
Şekil 3.36 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin ağırlık grafiği



Şekil 3.37 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin kullanım ömrü grafiği

Çatı kaplama malzemelerinde kullanım ömrü malzemenin yapısı ile birlikte UV, hava kirliliği ve çevre şartlarına karşı dayanıklılığa bağlıdır. Çatı yüzeyinin uzun ömürlü olabilmesi için çatının formu işlevine uygun tasarlanmalı ve konstrüksiyonla

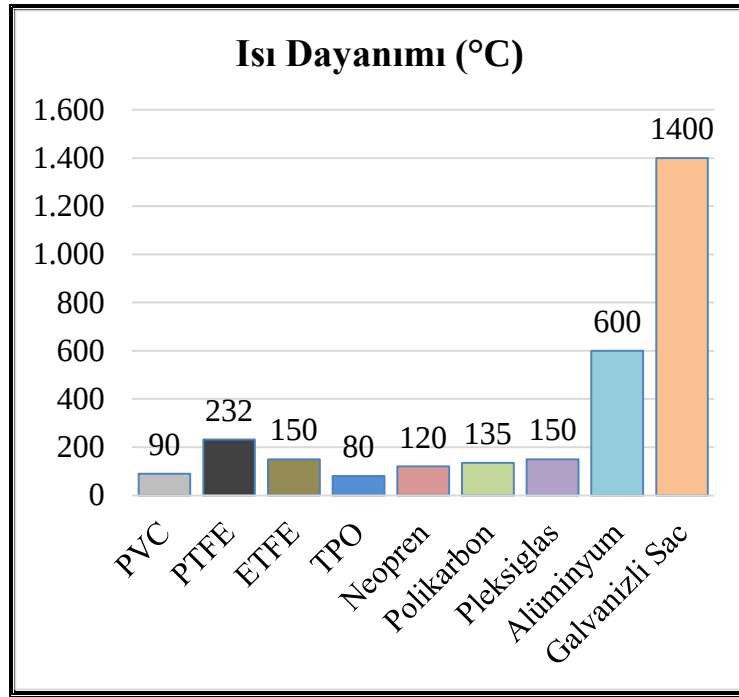
kaplama malzemelerinin uygun detay çözümleriyle birleşimleri yapılmalıdır. Çatının kısmi bölümlerinde oluşabilecek hasarlara bölgesel tamir ve bakım yapılabilmelidir. Şekil 3.37 grafiğine göre ETFE membran malzemesi çift katmanlı uygulandığında kullanım ömrü açısından avantajlıdır. Polikarbon levha en az kullanım ömrüne sahiptir. Yapılan araştırmalarda polikarbon malzemede ışık geçirgenliğinin de etkisi altında solmalar meydana gelmektedir. Polikarbon levhaların kullanım ömrünü etkileyen en önemli faktör, güneştir. Güneş ışığı ile fiziksel ve mekanik özelliklerini kaybetmektedir. Kullanım ömrünün uzatılması için levha üzerine ek olarak UV tabakası uygulanmaktadır. Genel olarak çatı uygulamalarında malzeme birleşim noktalarının montajına ve birbirine uygun strüktür-malzeme seçimine dikkat edildiği takdirde kullanım ömürleri artmaktadır. Çatı sisteminde yer alan her bir unsurun farklı iklim koşulları altında dış etkenlere karşı benzer dayanımda olmaları, sistemin birlikte çalışmasına ve kullanım süresinin artmasına etki etmektedir.



Şekil 3.38 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin ışık geçirgenliği grafiği

Çatı yüzeyinde cam malzeme gibi şeffaf olan kaplama malzemeleri ışık geçirgenliğinde en etkin olanlardır. Bunlar şekil 3.38'e bakıldığında ETFE, PTFE,

polikarbon ve pleksiglas malzemeleridir. Tek katmanlı ETFE nin %90-97 civarlarında ışık geçirgenliği vardır. Kapalı alanlara dış mekan gibi aydınlık sağlamaktadır. Farklı filmlerin uygulamalarıyla birlikte ışık geçirgenlik seviyesi kısmen kontrol edilebilmektedir. Polikarbon ve pleksiglas malzemeler renkli ve opak olarak üretildiğinde ışık geçirgenliği istenilen değerlerde ayarlanabilmektedir. Metal esaslı levhaların ışık geçirgenliğinin az olmasının temel nedeni şeffaf olmaması ve gözeneksiz olmasıdır.



Şekil 3.39 Çatı yüzeyi kaplama malzemelerinin ısı dayanımı grafiği

Isı dayanımı atmosfer, mevsim, bitki örtüleri, gece ve gündüz gibi etkenler yüzünden devamlı olarak etkilenmektedir. Çatı örtüsünde ve konstrüksiyonunda oluşacak sıcaklıklar ve değişimleri ısı dayanımının kaplama malzemeleri üzerindeki etkisini en plana çıkarmaktadır. Her yapının olduğu gibi stadyum yapılarının da ısı dayanımlarını, bölgesel konumu ve yüksekliği, dış hava koşulları, konumu ve çatı yüzeyinin eğimi, çatı yüzeyinin pürüzlü veya pürüzsüz yapısı, ısı emme ve yansıtma özellikleri, kaplama alt katmanları ve kalınlığı gibi etkileyen faktörler bulunmaktadır. Sıcaklık değişimleri çatı malzemelerinin fiziksel uzama ve kısalmalarını

etkilemektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda çatılarda ısı değişimine cevap verebilmek için kaplama malzemeleri ile birlikte ısı yalıtım malzemeleri kullanılması gerekmektedir. Kaplama malzemesi altına yerleştirilen yalıtım katmanları çatıların sıcaklık değişimlerine karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Bu sebeple metal esaslı levhalar daha çok yalıtım katmanları ile birlikte uygulandığından ısı dayanımı en yüksek kaplama malzemeleridir (şekil 3.39).

Önceden analizleri yapılarak belirlenen üç boyutlu membran yüzey formunun, sürekli çekme kuvvetleri etkisi altında kalarak bu formu korumasını sağlayacak germe detaylarına ve taşıyıcı konstrüksiyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Geniş açıklıklı yapılarda membran örtü hem kapama hem de taşıyıcı özelliği kullanılarak tasarlanır. Büyük açıklıkların oluşturulmasında membran örtünün kapama özelliği ön plana çıkmakta, membran yüzeyinin taşıyıcı özelliğini arttırmak amacı ile özel üretimli kablolar kullanılmaktadır. Mimarlık ve Tekstil membran alanları hareket ve geçiş serbestilerini kullanarak ilgi alanlarını genişletmekte, bilgi ve teknolojilerini diğer alanlarla ve birbirleriyle paylaşmaktadırlar. Mimari ve membran yapılar gibi iki temel disiplin ilişkileri, ilgileri ve içerikleriyle; metodolojik, strüktürel, biçimsel, estetik yönleriyle birçok bilgiyi ortak kullanmakta, beslenilebilecek kaynakları kolektif düşünceyle paylaşmaktadır. Özellikle son dönemde kurulan bu ilişkinin hızla gelişmesi, mimaride hafif, taşınabilir strüktürlerin yeğlenmesi, aynı zamanda tekstil malzemesinin de teknolojisinin geliştirilmesiyle ilgidir.

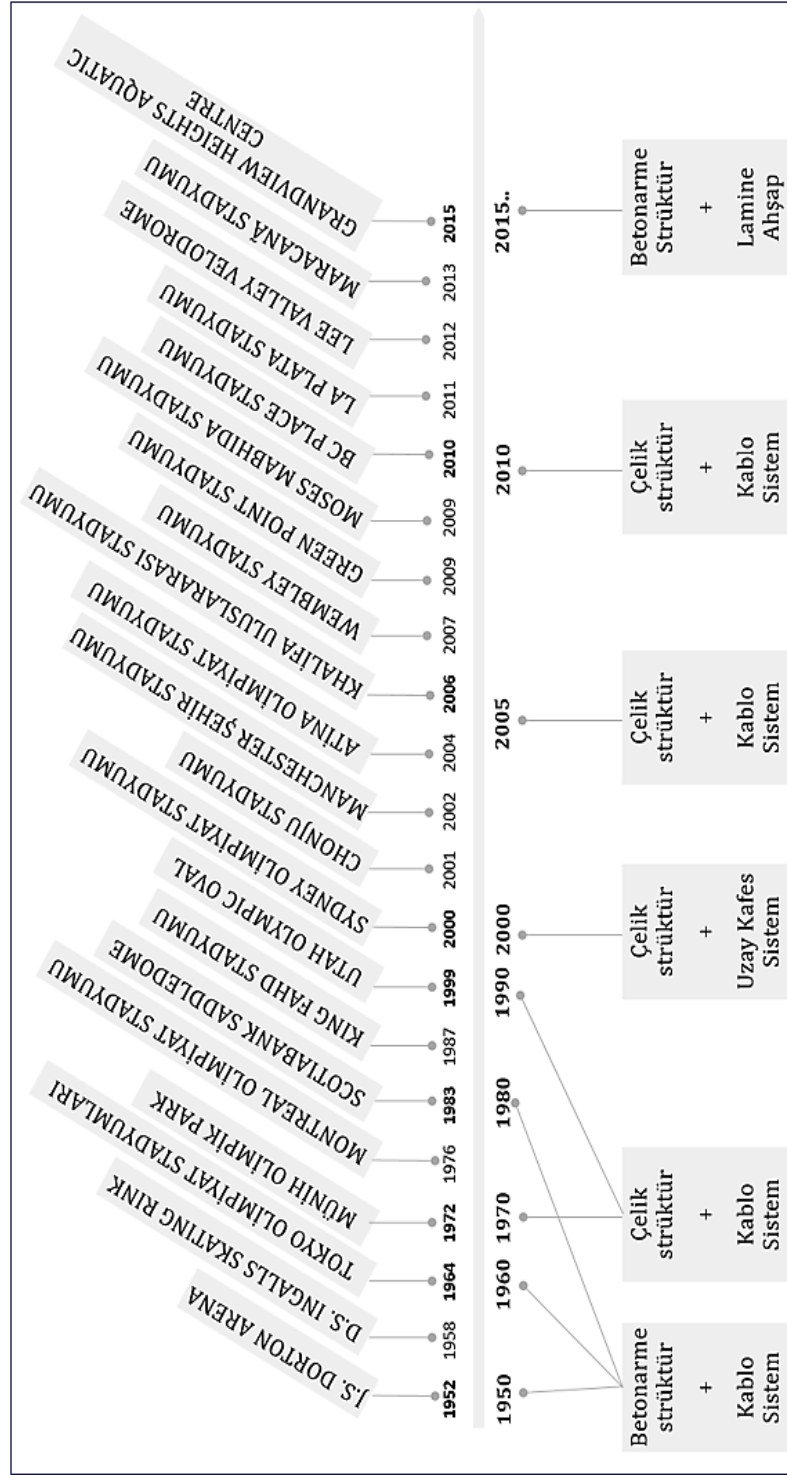
Mimari membran malzemelerinin özellikleri incelendiğinde her birinin kendine özgü mimari alanda kolaylıklar sağlayabilecek nitelikleri vardır. Tasarıma, tasarım boyutuna, iklime, kullanım alanlarına göre seçimler yapılmaktadır. Mimari membranların kullanımı teknolojinin gelişimi ile artmaya devam ettikçe çok büyük açıklıklar çok hafif malzemeler yardımıyla birlikte geçilebilecektir.

BÖLÜM DÖRT

STADYUM YAPILARININ İNCELENMESİ

Bu bölümde 1950 yılından günümüze kadar yapılmış stadyum yapılarının çatı strüktürleri üzerinde incelemede bulunulmuştur. Yapıların kronolojik sıra düzeninde çatılarının strüktürel gelişimi, malzeme kullanımları, geçilen açıklıklar ve teknoloji gelişimi değerlendirilmiştir. Ahşap, çelik ve betonarme malzemeli çeşitli çatı sistemleri birbirleri ile karşılaştırmalı biçimde analiz edilmiştir. Bununla birlikte farklı malzemelerin kullanıldığı stadyum yapıları hakkında genel bilgileri, sistem tasarımı ile ilgili teknik verileri, bu sistemlerin kullanıldığı geniş açıklıklı stadyum yapılarını ve örneklerinin taşıyıcı sistem analizlerini kapsamaktadır. İncelenen örneklerdeki çeşitli çatı yaklaşımında farklı açıklık geçme gözlemlenmiştir. Böylece her yapıyı öncelikle tekil olarak incelemek ve sonrasında benzer çatı formları arasında değerlendirmek gerekmektedir.

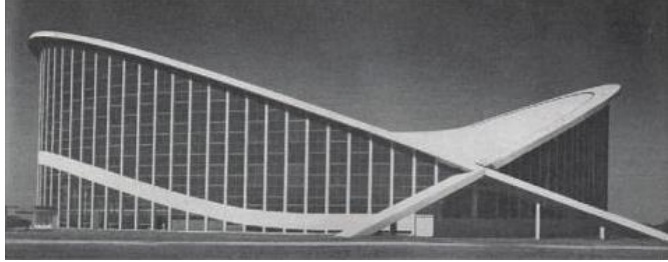
Bu amaç doğrultusunda her biri kendi içinde önemli mimari örnek niteliğinde dünyadaki stadyum yapıları incelenmiştir. İncelenen örneklerde farklı çatı strüktür sistemlerinin ilk yapıldığı stadyum yapıları seçilmiş olup, 5 ve 10 yıl aralığında bu sistemlerin gelişimi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1 Kronolojik Sıralama

4.1 J.S. Dorton Arena

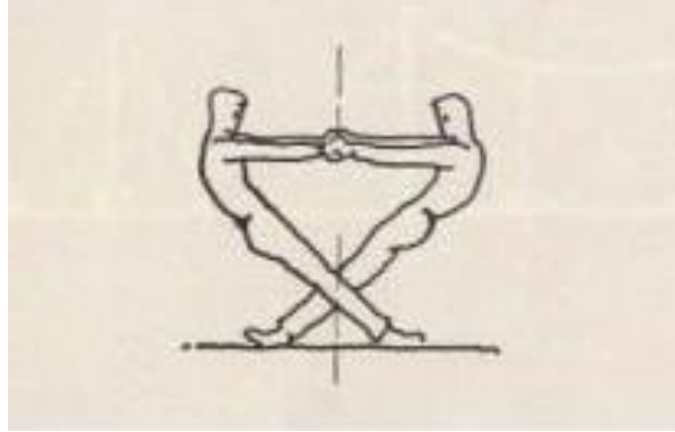
Tablo 4.1 Dorton Arena ile ilgili bilgiler

J.S. DORTON ARENA		
Genel Bilgiler		
Yapım Yılı	1952 (yenilenme: 1979, 1996 ve 2002)	
Yapım Yeri	Raleigh, NC, USA	
Mimari Tasarım	Matthew Nowicki, William Dietrick	
Yapı Mühendisi	Fred Severud	
Yapı Fonksiyonu	Çok Amaçlı Spor Salonu	
Seyirci Kapasitesi	5.110 kişi	
Teknik Bilgiler		
Yapının Uzunluğu	97 m	
Yapının Genişliği	92 m	
Yapının Yüksekliği	27,4 m	
Geçilen Açıklık	91,44 m	
Örtülen Alan	8.924 m ²	
Çatı Strüktürü	Betonarme kemer + Kablo ağı	
Çatı Kaplaması	Oluklu galvanizli sac + PVC membran	
Sarkma Oranı	9,54 m	

J. S. Dorton Arena 1950 yılında Kuzey Carolina Eyalet Fuarı için tasarlanmıştır ve yapımı 2 yıl sürmüştür. 1952 yılında tamamlanan yapının mimarları Matthew Nowicki ve William Henley'dir. Matthew Nowicki, mimar Eero Saarinen'in tavsiyesi üzerine yapı mühendisi Fred Severud ile çalışmıştır. Severud yeni teknolojilere ve

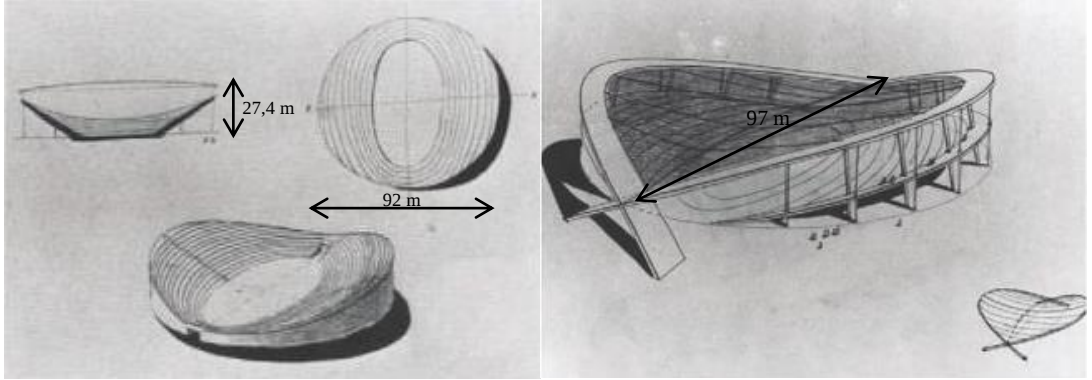
doğal formlardan yararlanarak yeni strüktürler üzerinde çalışmaktaydı. Dorton Arena 5.110 seyirci kapasiteli çok amaçlı kullanılabilen bir spor salonudur. Projenin zemini oval plana sahiptir. Dış cepheyi çevreleyen duvarların oluşturduğu dairesel plan içerisine oval plan yerleştirilmiştir. Kablo ağı taşıyıcı sistemlerine örnek ilk ve en önemli bir yapıdır.

Yapının Çalışma Sistemi: Nowicki, kemerler ve zincir eğrisi gibi farklı strüktürel formlar denemeye başlamıştır. Gerekli olan tasarımı aşağıdaki çizimler ile yakalamıştır. Yapı basit strüktürel konsepte sahiptir. Fred Severud yapının son tasarımını iki insanın kollarını birbirine kitleyerek kendilerini çekerek dengelendiği şeklinde açıklamıştır (Şekil 4.2). İki kemerin hareketinin iki insanın birbiri ile mücadelesine benzetmiştir. Onların ağırlıkları ile birbirine tutunarak geriye yaslanmaları dinamik stabilite içindedir (Cruz, 2013).



Şekil 4.1 Dorton Arena'nın strüktürel hareketinin çalışma diyagramı (Americanscientist, 2002)

Çizimlerde görünen iki kemerin kesiştiği çatı formunu, kemerlerin köşelerinden tribüne eğimli form tamamlamaktadır. Kemerler arasına yayılmış çekmeye çalışan kabloların iki amacı vardır. İlki çatıyı destekliyor olması, ikincisi kemerlerin zemine eğilimine karşı direnç sağlıyor olmasıdır. Kemerler basınca çalışırken, çatı çekmeye çalışmaktadır. Kablolar zincir eğrisi formunda kemerlerin eğimleriyle ilişkilendirilmiştir. Çizimde çift eğrilikli çatı düzleminde kemerler arasındaki kablolar aşağıya doğru, uzun aksta geçen kablo ise yukarı doğru hareket göstermektedir.



Şekil 4.2 Nowicki'nin konsept çizimleri 1950 (Cruz, 2013)

Arena planı uzun eksen 97 m uzunlukta ve kısa eksen 92 m genişliğinde elips formdadır (Şekil 4.3). İki adet parabol eğrisi arasına gerilmiş bir çatı sistemine sahiptir. Çatı tasarımında zincir eğrisinden faydalanılmıştır. İki büyük parabolik betonarme kemer (Şekil 4.4), birbirlerinden uzakta kablo ağının oluşturduğu çatı ile birbirine bağlanmaktadır. Kemerler zeminden tepe noktasına 27,4 m yükselmektedir. Aralarında 91,4 m mesafe olmakla birlikte tepe noktalarından geçen kabloun maksimum sarkma oranı 9,54 m'dir (Cruz, 2013).



Şekil 4.3 Dorton Arena'nın tamamlanmış hali (Themodernistangle, 2016)

Çatı Sistemi: 1940'lı yılların başlarında, asma-germe mimarlığı keşfedilmiştir ve Tacoma Narrows köprüsünde asma strüktürlerin rüzgâr etkisindeki davranışı

gözlemlenmiştir. Yapı mühendisi Severud bu sorunu iki farklı yol ile çözmeye çalışmıştır. İlk çatının şekliydi. “Çatının şekli, alttan ve üstten gelen güçlere karşı direnmeyi verir” (Severud 1954). Negatif emme yükü pozitif ölü yüke eşit olduğunda, kablo sistemlerin hareketi iptal edilir. Ana kablolar ikinci dağıtım işlevini görürken, karşılıklı kablolar taşıma elemanı olarak görev görmektedir. İkinci yol ise, Severud çatıda dengesiz yükleri ve titreşimi kontrol etmek için yardımcı kablolar kullanmıştır ve sıcaklık değişimleri ya da yüksek rüzgârlar nedeniyle kablolardaki genleşmeyi engellemektedir.

Dijital bilgisayarın ilk kullanıldığı zamanlar, kemer denkleminde faydalanılarak kablo soketlerinin yerleri tam olarak hesaplandı. Her kablo doğru boyutta ve doğru sarkma ile asılı olması gerekiyordu (Cruz, 2013). Bu kablolar U-şekilli klipslerle çatı kablolarına bağlanmaktadır (Şekil 4.5) ve kemerlere bağlanarak çatı sıkı bir biçimde aşağı doğru çekilerek taşınması sağlanmaktadır. Bu kablolar farklı koşullar altında kablo yükleri olan ayarlanabilir yaylar içermektedir. Her kablo üzerinde devamlı bir yük tutarak çatıdaki titremeyi minimize edebilir.



Şekil 4.4 Dorton Arena çekmeye çalışan kablo ağı (Barucki, 2014)

Başlangıçta mimarlar çatı yüzeyi için kumaştan gerilmiş kabuk yüzey istedi. Çatı membranı, kesme kuvvetine iki yönde direnmeliydi. Fakat araştırılan çatı malzemeleri

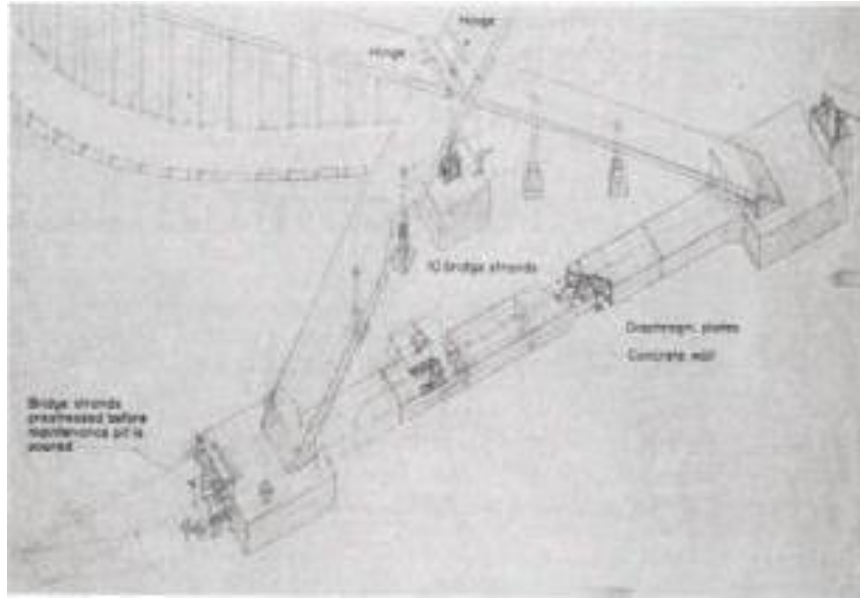
içerisinde, mühendisler ince teorik hesaplamalara izin veren kumaşı, pahalı olduğundan imal edilmeye uygun bulmadı (Cruz, 2013).

Suchkov düz barların iki yönde ızgara oluşturmasını çekmeye çalışan yüzey tasarımında deneyimledi, fakat hiçbir kabloların zincir eğrisi davranışını göstermedi. Sonuçta, tasarımcılar kabloların dik doğrultuda kablo ağı şeklinde çalışmasına karar verdi. Çatıyı oluşturan kablo ağ aralıkları 150 cm'dir. Kablo ağını oluşturan 47 adet taşıyıcı kabloların çapı 19mm-33mm arasında değişmektedir. Stabilite kabloların çapı ise 13mm-19mm arasındadır. Kablo ağının kendi ağırlığı 3 kg/m²'dir. Çatı 6cm kalınlıkta betonarme kabuk olsaydı eğer, sadece çatı kaplaması 160-170 kg/m² ağırlığında olacaktı. Uygulanan durumda ise sadece 30 kg/m²'dir. Çatı kaplaması, oluklu galvanizli sac levha üzerine konulan ısı izolasyonlu ve bitümlü tabakadan ve PVC membrandan oluşmaktadır. Parabolik kemerler betonarme kaplı çelik kolonlar ile desteklenmektedir (Cruz, 2013).

Kemerler ve Temel: Büyük çatı, çevresi etrafında bir itme kuvveti oluşturmaktadır. Bu nedenle direnmeye karşı yapısal eleman ihtiyacı meydana gelmektedir. Severud tanımına göre: “Kesişen iki parabolik kemerler basınç halkaları oluşturur ve kemerlerin düzlemindeki kablo uçlarında teğet kuvvet ortaya çıkar.”

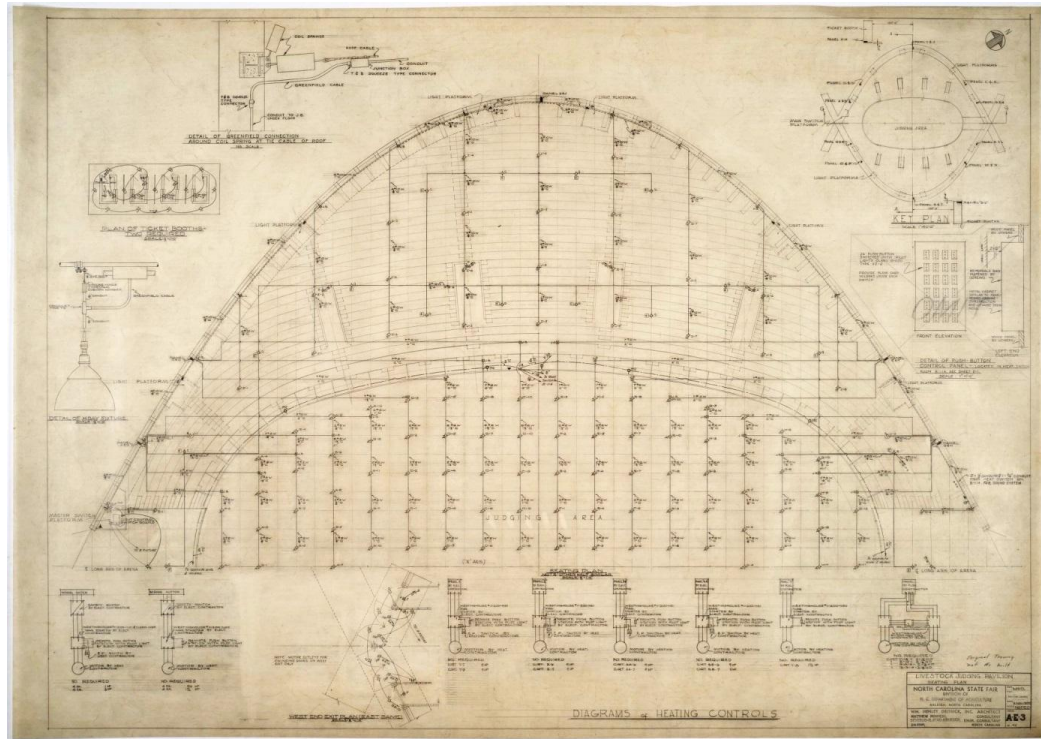
Her kemerden gelen kablolar kemerlerin eğimleriyle uyumludur ve kablo destekli betonarme çatıdan yumuşak bir geçiş oluşturmaktadır. Sıkı aralıklarla konumlandırılmış dikey kolonlar çatı yükü olmadan kemerlerin kendi ağırlığını taşımaktadır. İki monolitik kemer temele bağlandığı zaman ek sorunlar meydana getirdi. Kemerlerin kesiştiği noktalar zemine temas etmemektedir. Kemerler birbirine tabanlarından bağlanarak çatıda oluşan dışa itme problemi çözüldü. Her kemer ön gerilmeli kablolar ile temele bağlıdır. Simetrik iki kemer eşit yüklerle birlikte, büyük kemer ayaklarına ve temel çalışmalarına gerek görülmeden dış kuvvetleri tamamıyla elemine etti.

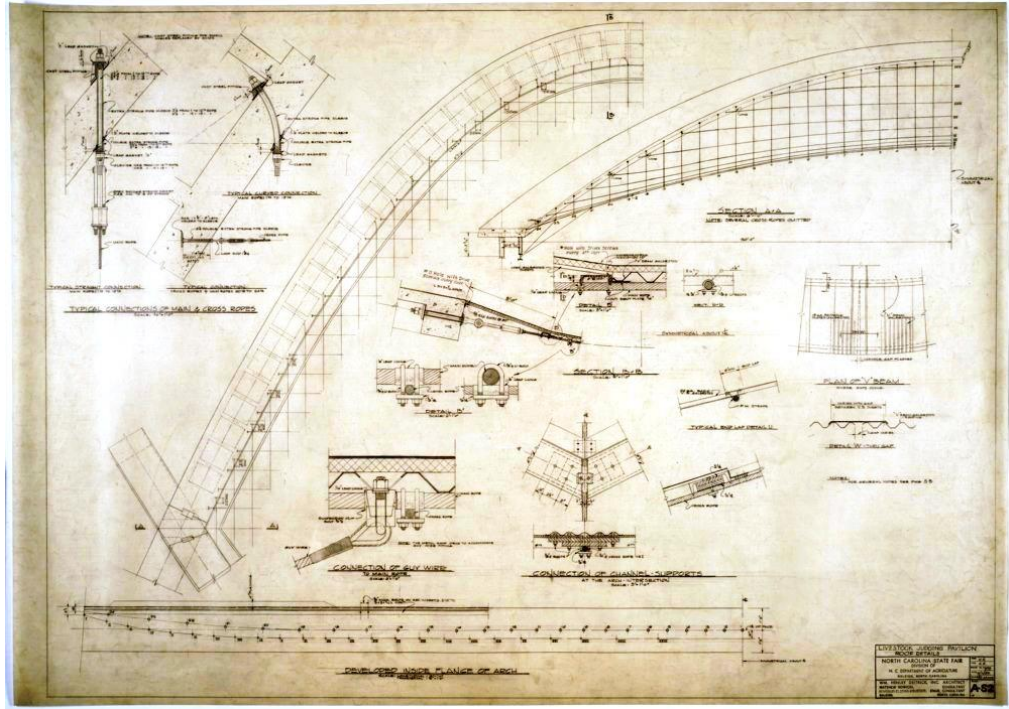
Kemer kesişim noktalarının üzerinde net bir yapısal durum mevcuttur. Bu noktanın altındaki durum ise farklıdır. Kemerlerin devamında yapısal bir durum yoktur ancak kemerleri destekleyen tripod elemanlarıdır. Bu tripodlardan iki tanesi kemerlerin uzantısında diğeri de kesişim noktasının altında yer almaktadır (Şekil 4.6). İdeal ve denge koşullarında kolonlar yük almaz. Bununla birlikte rüzgâr ve kar yükü gibi çeşitli koşullarda ya çekme ya da basınç yükü altında kalır. Kolonlar bu yapıda önemli strüktür elemanlarıdır (Cruz, 2013).



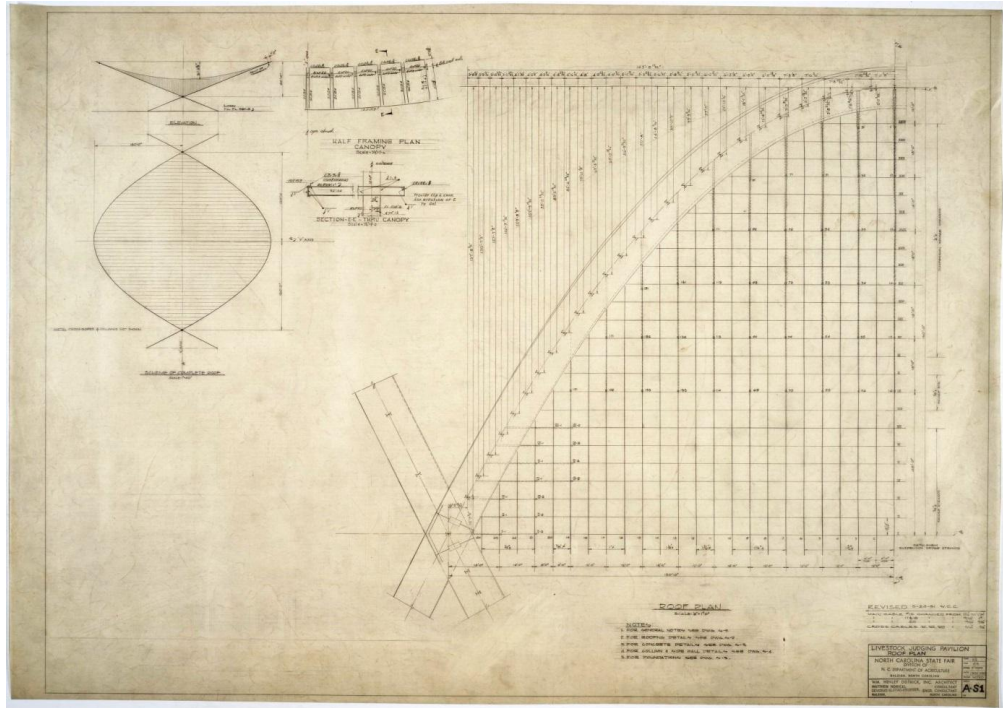
Şekil 4.5 Dorton Arena strüktürel detay (Cruz, 2013)

Severud tripodların eğimli bacakları altına burkulmayı önlemek amacıyla ek kolonlar ekledi. Temelin bu durumu yapının strüktürel hareketini değıştirdi. Bu davranış kelebek kanatlarının çalışma sistemine benzetildi. Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da gösterilen cephe çizimleri, pencere tipleri, çatı planı ve ısıtma sistemleri yapının orijinal hesaplamaları ve detay çizimleridir. Dorton Arena'ya ait sistem kesit detayları ve çalışma sistemi şekiller üzerinden incelenebilir.





Şekil 4.8 Dorton Arena çatı detayları (NCSU, b.t)



Şekil 4.9 Dorton Arena çatı planı (NCSU, b.t)

4.2 David Saarinen Ingalls Skating Rink

Tablo 4.2 D.S. Ingalls Skating Rink ile ilgili bilgiler

D.S. INGALLS SKATING RINK	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	1958- (Yenileme: 1991 ve 2010)
Yapım Yeri	Yale Üniversitesi, New Haven, CT, USA
Mimari Tasarım	Eero Saarinen
Yapı Mühendisi	Fred Severud
Yapı Fonksiyonu	Hokey Pisti
Seyirci Kapasitesi	3.500 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	60,96 m
Yapının Genişliği	25,90 m
Yapının Yüksekliği	22,86 m
Geçilen Açıklık	88,39 m
Örtülen Alan	4.457 m ²
Çatı Strüktürü	Betonarme kemer + Kablo ağı
Çatı Kaplaması	Alüminyum levha + Neopren membran

The David S. Ingalls Rink, Yale Üniversitesi için mimar Eero Saarinen tarafından tasarlanmıştır. Balina olarak adlandırılan bu yapı bir hokey pistidir. Fred N. Severud mühendisliğinde 1958 yılında inşa edilmiştir. Eero Saarinen arenayı tasarlarken üç ilke izlemiştir: Bunlar ilkeler işlevi, yapısı ve zamanının bir parçası olmaktır. Yenilikçi

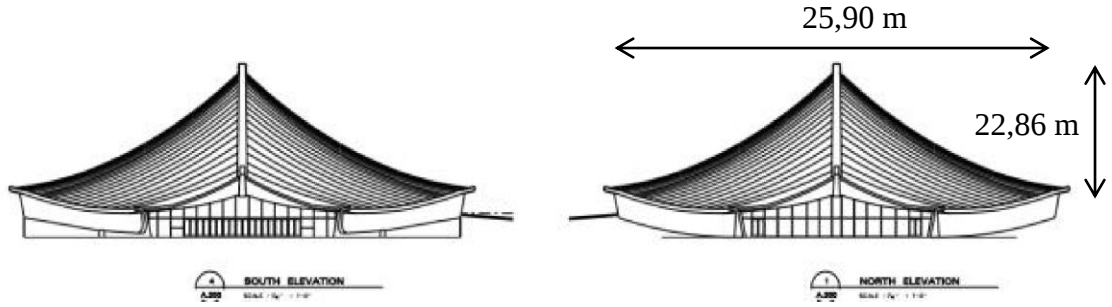
yapısal form ile birlikte, fonksiyon ve diğer ilkelere katkıda bulunarak yapıyı tasarlamıştır. 2008 yılında toplamda 1.300 m² alanı kapsayan soyunma odaları, fitness merkezi, Schley kulübü odası, imtiyaz alanı, ofisler ve diğer yardımcı odalar ve bunlara dâhil olarak basın tribünü için milyon dolarlık yenileme yapılmıştır. Yeni hokey alanı, hokey oyunu, eğlence pateni ve artistik patinaj sporlarını izlemek için 3.500 seyirci kapasitelidir.



Şekil 4.10 David Sarrinen Ingalls Skating Rink giriş saçağı (Yalebulldogs, b.t)

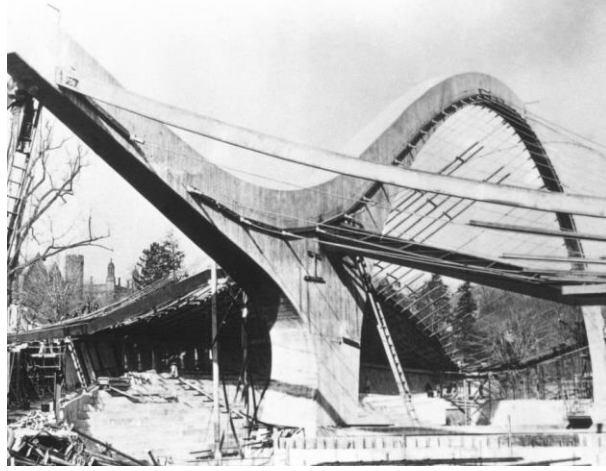
Hokey oyun alanı 60,96 m uzunluğunda ve 25,90 m genişliğindedir. Yapının dış yüzeyinde omurga şeklinde kemer ve içbükey-dışbükey formun görselliği hokey pistinin mimari karakterini oluşturmaktadır. Betonarme kemer çatı kenarlarında aşağıya doğru, kuzey ve güney cephelerinde ise yukarıya doğru yükselmektedir (Şekil 4.11). Betonarme saçak altında, dikey cam ve ahşaptan oluşan ana cephe yer almaktadır. Eğrisel formu kemer ucunda bulunan aydınlatma ejderha gözü çatının yükselen etkisini vurgulamak amacıyla Oliver Andrews tarafından tasarlanmıştır.

Yapının yan duvarları plan sınırları üzerinde yükselmektedir. Dış duvarlar da yapısal bütünlüğü artırmak amacıyla eğimli tasarlanmıştır. Duvarlar 15° açı ile yukarı ve dışa doğru eğimlidir ve kemer strüktürün görsel ifadesini artırmaktadır. Tavan formu arena içerisinde üst oturma ve koridor alanı üzerine kadar eğri formu oluşturmaktadır.



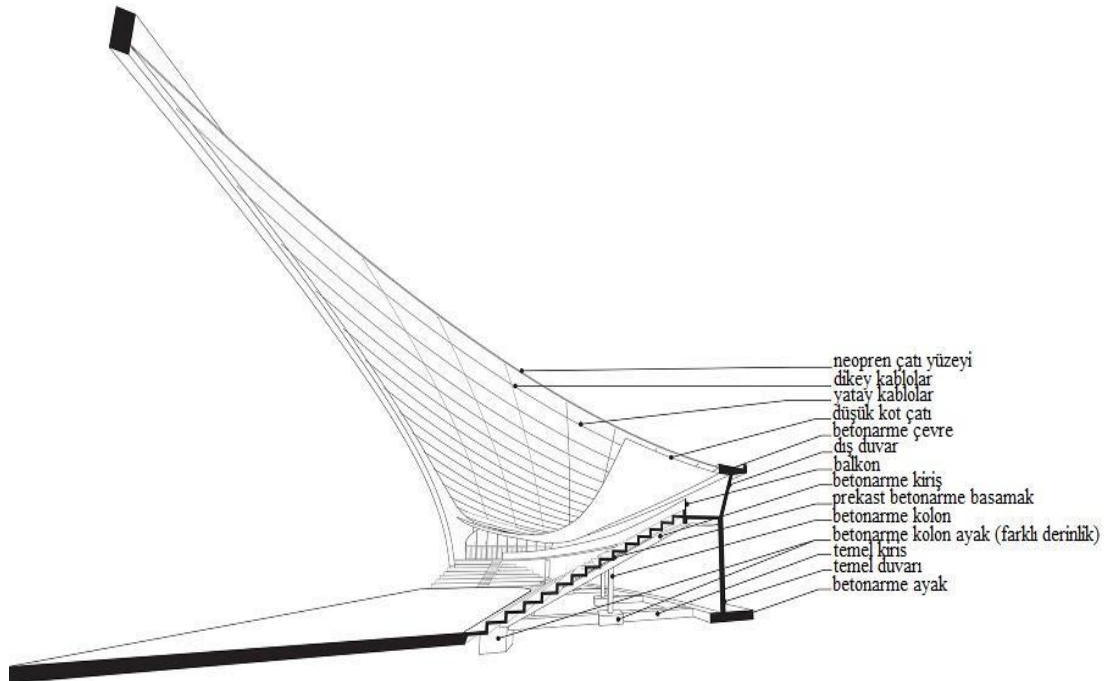
Şekil 4.11 Güney ve kuzey cephe çizimleri (Huan, 2013)

Çatının zirvesi zeminden yaklaşık 23 m'ye (Şekil 4.12) ulaşır ve yapının formunun öncelikli belirleyicisi 88,3 m açıklık geçen büyük betonarme parabolik kemerdir. Bu kemerin uzunluğu 91,4m'dir. Yapı, çelik asma kablo ağ sistemi ve esnek yüzeyi ile tek betonarme omurgaya bağlanmıştır (Şekil 4.13). Alüminyum kablo ağı omurga görevi gören kemere asılmaktadır. Metal malzeme kar yüküne karşı yardımcı olmaktadır. Alüminyum kabloların yansıtma değeri 0,6'dır. Kablo ağına asılan çatı kaplama malzemesi meşe ağacıdır. Meşe odununun yansıtma özelliği 0,2 değerindedir. Cephede kullanılan ahşap çerçeveler hafif malzeme olduğu için tercih edilmiştir ve ışığı yansıtma değeri 0,7'dir. Giriş cephesinde bulunan camlar ısı yalıtımlı mat parapet cam olduğundan yansıtma değeri 0,51 ve ışık geçirgenliği 0,28'dir. Merkez kemer ile eğri çevre duvar arasında 1,83 m aralıklarla çelik kablolar gerilmiştir. Enine kablolar arasındaki direnç eğilmesine ek olarak, ahşap döşeme, her iki tarafta, rüzgârın kaldırma kuvvetine direnen dokuz uzunlamasına dengeleme kablosu ile çekmeye çalışmaktadır.



Şekil 4.12 Betonarme omurga sistem (Saucehockey b.t)

Bu yapının taşıyıcı sistemini (Şekil 4.14) oluşturan kablo ağı, ön gerilimli kablolar ve püskürtme betonarme kullanımı rüzgâra karşı dayanım problemlerine karşı güvenli çözüm olmaktadır. Yatay yüklere karşı çift taraflı kablo ağı direnç sağlamaktadır. Negatif eğri formlu kablo ağı yapısı ekonomik çatı strüktürünü meydana getirmektedir. Çekmeye çalışan kablo ağı yapım aşamasında kolay uygulama sağlamaktadır.



Şekil 4.13 Sistem detayı (Condon, 2011)

4.3 Tokyo Olimpiyat Stadyumları

Tablo 4.3 Tokyo Olimpiyat Stadyumları ile ilgili bilgiler

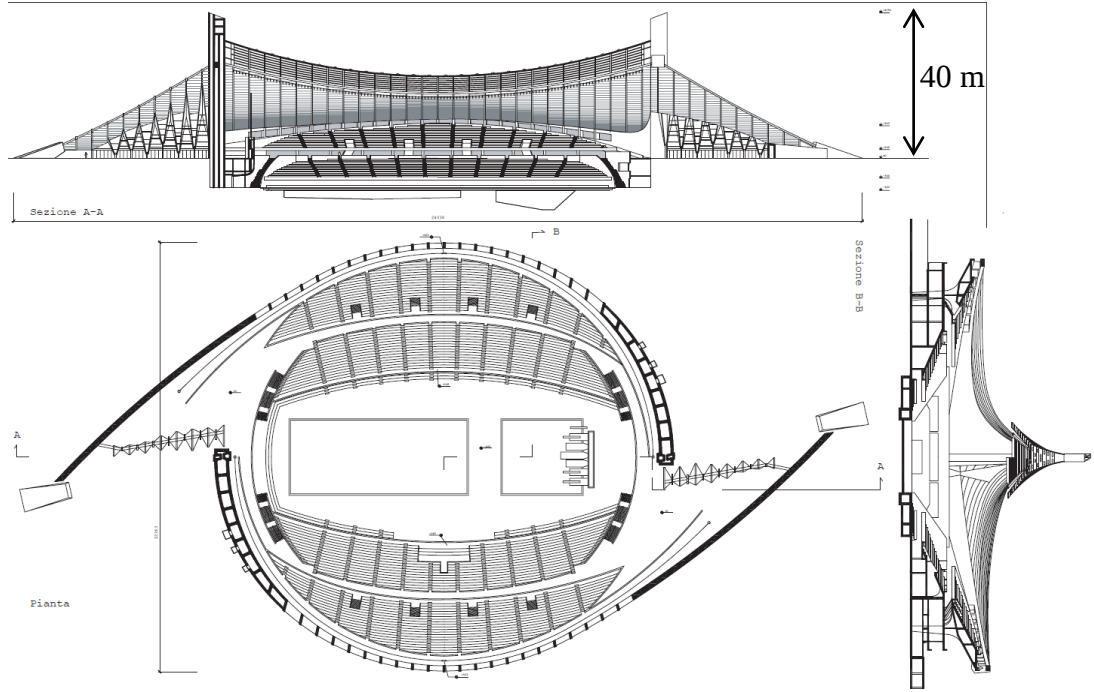
TOKYO OLİMPİYAT STADYUMLARI		
Genel Bilgiler		
Yapım Yılı	1964	
Yapım Yeri	Tokyo, Japonya	
Mimari Tasarım	Kenzo Tange	
Yapı Mühendisi	Yoshikatsu Tsuboi, Mamoru Kawaguchi	
Yapı Fonksiyonu	Su sporları, Basketbol	
Seyirci Kapasitesi	Olimpik Yüzme Havuzu	Kapalı Spor Salonu
	13.291 kişi	5.000 kişi
Teknik Bilgiler		
Yapının Uzunluğu	126 m	60 m
Yapının Genişliği	65 m	60 m
Yapının Yüksekliği	40 m	42 m
Geçilen Açıklık	126 m	65 m
Çatı Strüktürü	Betonarme pilon + Kablo ağı	Betonarme pilon + Kablo ağı
Çatı Kaplaması	Galvanizli Sac	
Sarkma Oranı	9,63 m	-

Yoyogi Olimpiyat Stadyumları yüzme ve basketbol yarışmaları için 1964 yılında Tokyo Olimpiyat Oyunları için inşa edilmiştir. Yaz olimpiyatları için iki adet stadyum tasarlanmıştır. Stadyumları biri küçük diğeri büyük olmak üzere mimar Kenzo Tange tasarlamıştır.

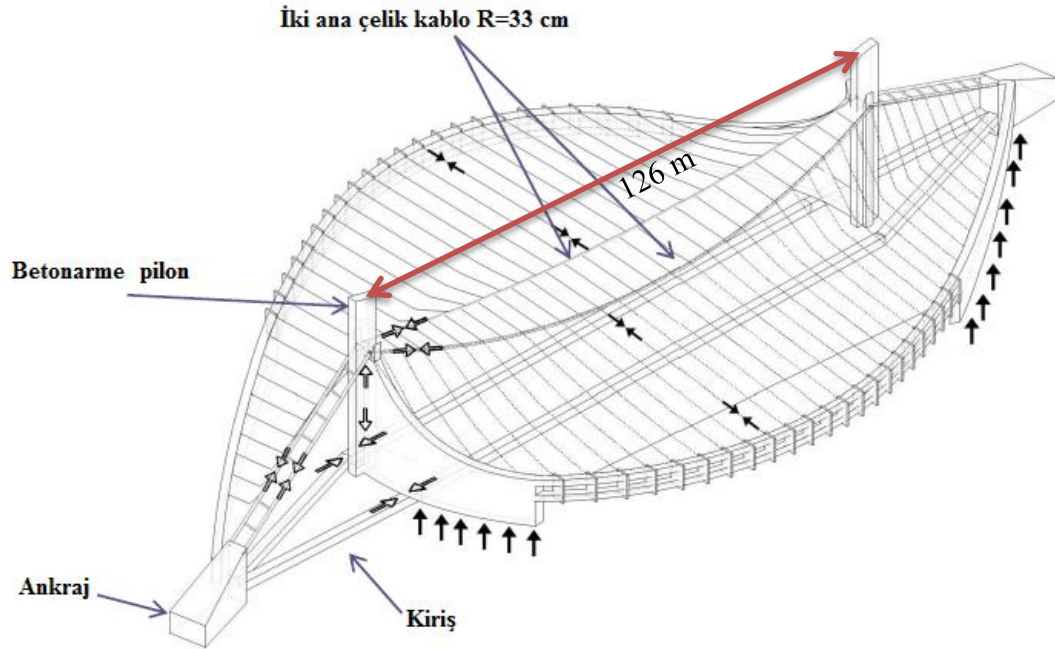
Çeliğin avantajlı özellikleri ve ekonomik olması Yoyogi Stadyumlarının çatı strüktüründe kullanımına etken olmuştur. Çatı zarif bir geometrik formu sağlamasının yanında, aynı zamanda soğutma yükünün azalmasını desteklemektedir. Bununla birlikte yapının akustik dengesi sağlanmaktadır. Bu projenin başarılı olan bir yönü de tasarım sürecinin oldukça kısa olmasıdır. Stadyumların tasarım ve teknik yapı sürecinde;

1. Asma çatı yüzeyi
2. Merkezi yapısı: Asma köprüye benzemektedir. Asma kablolar, ana kolonlar, çelik asma elemanları, destekleme kabloları, ankraj ve yeraltı dikmelerden oluşmaktadır.

Büyük spor salonu 13.291 kişi kapasitelidir. Su spor oyunları için tasarlanmıştır. Toplam inşaat alanı 25.396 m²'dir (Şekil 4.15). 126 m uzunluğunda 65 m genişliğinde bir alanı kapsamaktadır. Yaklaşık olarak 120 m çapında bir alandır. Büyük Spor Salonunun taşıyıcı sistemini iki betonarme pylon, bu pylonlar arasına yerleşen iki kenar kablosu ve en dışta yer alan yatay kemer oluşturmaktadır. 126 m uzunluğunda iki ana kablo (Şekil 4.16), iki ana kolonla desteklenmektedir. Büyük spor salonu iki ana çelik kabloları 33 cm çapında olup 58 mm çapındaki 31 adet tel grubundan oluşmaktadır. Toplam ağırlıkları 250 tondur. Kenar kabloların en büyük sarkma oranı 9,63 m'dir. Aralarında 4,5 m mesafe var iken bu mesafe sarkma oranı yükseldikçe 16,80 m ye kadar açılmaktadır. Betonarme pylonların yüksekliği 40 m iken çatı oyun sahasından 25 m yüksekliktedir (AJCE, 2012).



Şekil 4.14 Olimpik yüzme havuzu plan ve kesitleri (Pinterest, 2016)

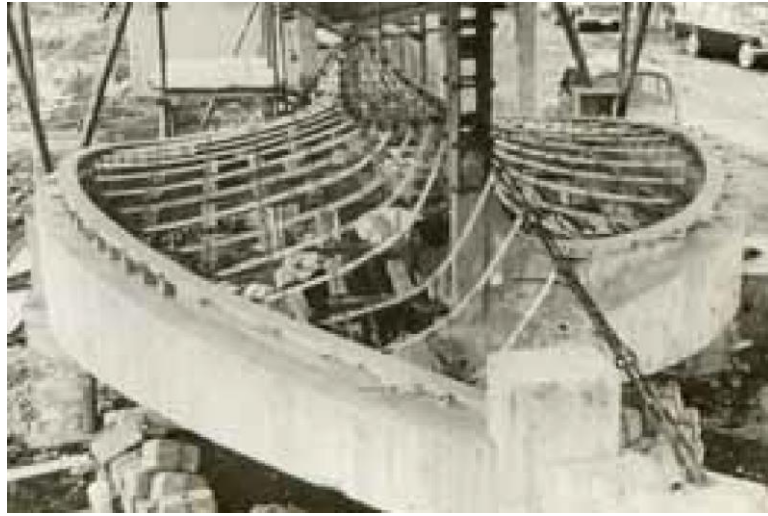


Şekil 4.15 Olimpik yüzme havuzu çatı strüktür detayı (Tsuboi, b.t)

Çatı yapısının analizi için birçok denklem geliştirilmiş ve hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar mekanik tipte bir hesap makinesi ile yapılmıştır. Yapısal hesaplamalar ve yapı tasarımını hızlandırmak için 10'dan fazla ölçekli modeller üzerinde çalışılmıştır.

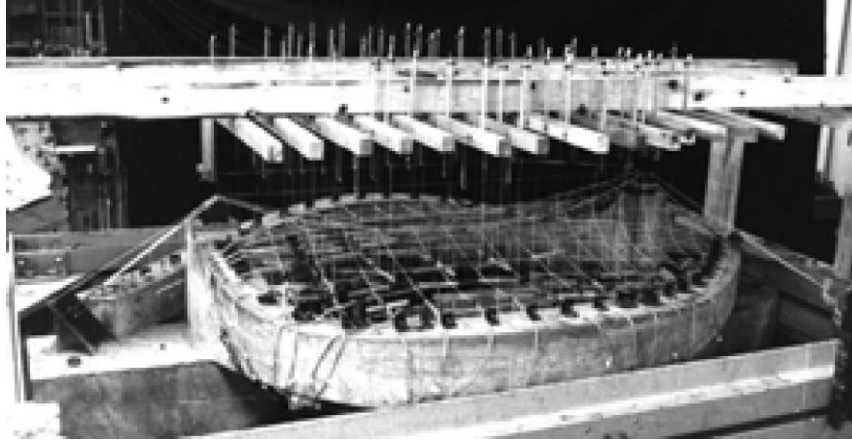
Model Testi:

1. 1/30 ölçekli çelik halat modeli (Şekil 4.17): Çatı yüzeyindeki basınç etkisini hesaplamak için kullanılmıştır. Bu model çeşitli yük koşulları için çatı yüzeyi üzerinde sapma dağılımlarını tahmin etmekte yardımcı olmuştur. Ayrıca bu model kablo ağının statikini ve dinamik davranışını incelemek için kullanılmıştır. Yeni bir fikir bu model ve analizinden çizilmiştir. Eğimli çatının tasarımı korunurken, gerekli olan bükülme sertliği için çelik asılı kablolar kullanıldı.



Şekil 4.16 1/30 ölçekli maket deneyi (AJCE, 2012)

2. 1/30 ölçekli rijit askı modeli: bu model askı elemanlarının rijitliğini test etmek için kullanıldı.
3. Titreşim testi: 1/30 ve 1/100 ölçekli modeller çatının dinamik davranışını test etmek için kullanıldı (Şekil 4.18).

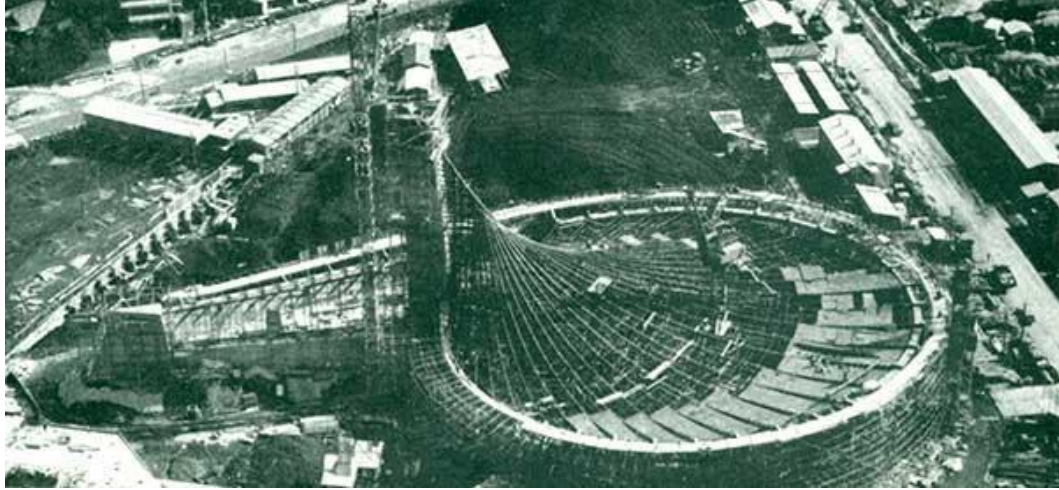


Şekil 4.17 1/100 ölçekli model deneyi (AJCE, 2012)

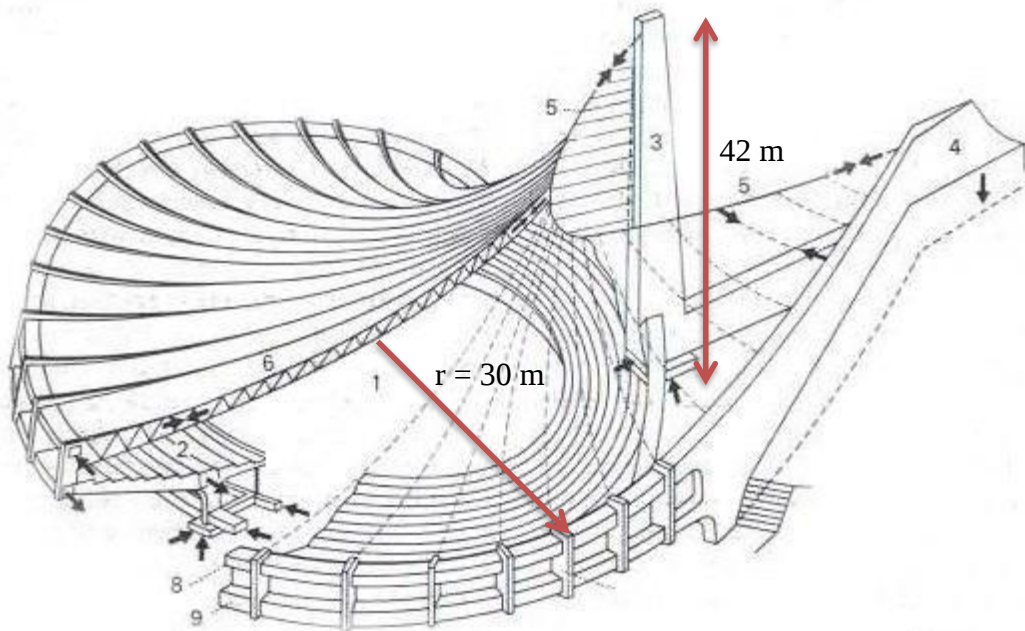
4. Rüzgâr yükü testi: 1/300 ölçekli model rüzgâr yüklerini belirlemek için kullanıldı.
5. Çatı dinamik davranış ve sarsıntı testi: rüzgârın titreşim ve çarpıntı gibi kritik bir durum oluşturabileceğini görmek için kullanıldı. Büyük stadyum için ana kabloların beklenmedik dinamik titreşimini kontrol etmek için her bir ana kolonun üstüne 6 adet petrol damperi monte edilmiştir.
6. İnşaat sırasında ana kablolar merkezlerinden 2 m kadar yer değiştirmiştir (AJCE, 2012).

Küçük spor salonu 5000 kişiliktir. Basketbol olimpiyatları için tasarlanmıştır. Toplam alanı 5.591 m²'dir. Dairesel bir plana sahiptir. Yaklaşık 60 m çapındadır. Büyük salondan farkı çelik kabloların tek betonarme pılona asılmış olmasıdır (Şekil 4.19). Pilon yüksekliği 42 metre olup çatı saçak yüksekliği 13 metredir. Küçük spor salonunda kenar kablolarının sarkma okunun çok küçük olmasından dolayı kablo yerine çelik profiller kullanılmıştır (Şekil 4.20). Çekme elemanı olarak yatay kemerlere uzanan yönde çelik I profiller, diğer doğrultuda ise 44 mm çaplı kablolar kullanılmıştır (Şekil 4.21 ve 4.22). Çatıda 4,5 mm kalınlığında ısı yansıtıcı gümüş renkli galvanizli sac malzemesi kullanılmıştır. Stadyumun tavanı taş yünü polietilen

keçe altına alüminyum levha kaplanmıştır. Ana kabloların orta kısmı doğal ışık ve aydınlatma ve yerin güvenliği için 16 m genişletilmiştir.

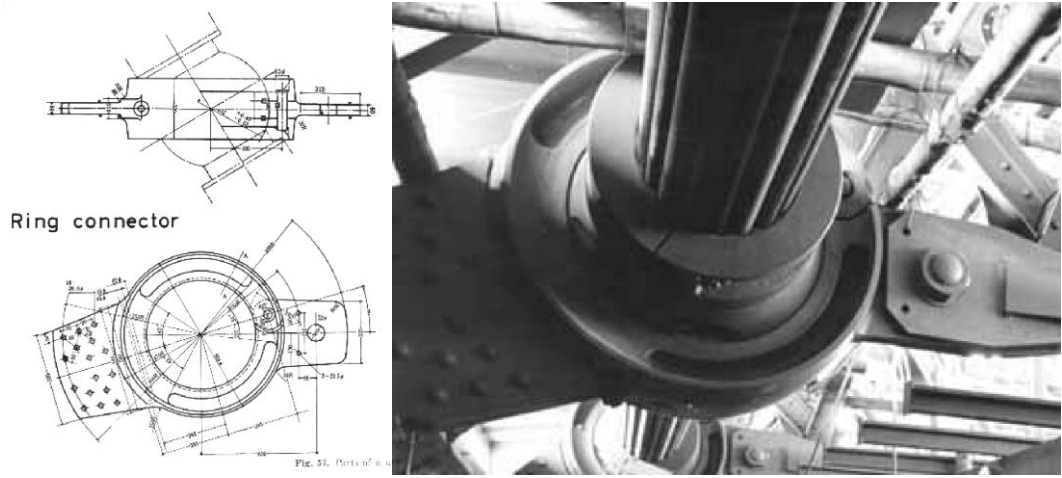


Şekil 4.18 Basketbol sahası kablo ağı çatı yapım süreci (Tsuboi, b.t)

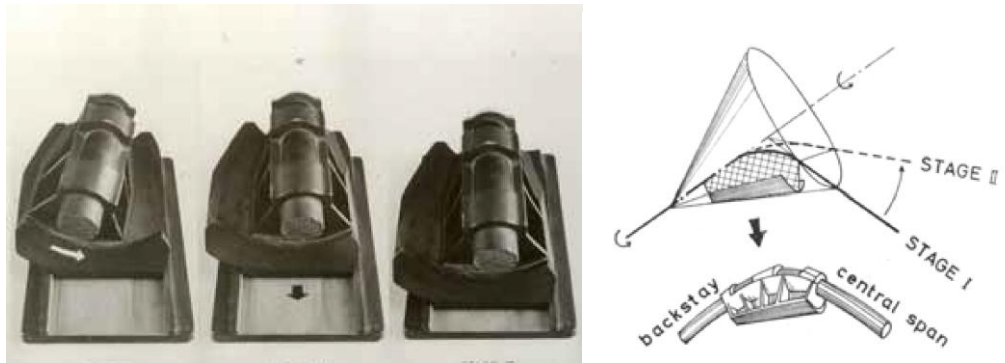


- | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1. Basketbol Saha Alanı | 4. Payanda | 8. Üst Kiriş Eğrisi |
| 2. Tribün | 5. Kablo doğrultuları | 9. Alt Kiriş Eğrisi |
| 3. Betonarme Kolon | 6. Asma Çelik Profiller | |

Şekil 4.19 Basketbol sahası taşıyıcı strüktür detayı (Tsuboi, b.t)



Şekil 4.20 Kablo birleşim nokta detayı (AJCE, 2012)



Şekil 4.21 82-83 mm çaplı büyük çelik kablolar (AJCE, 2012)

4.4 Mnh Olimpik Park

Tablo 4.4 Mnh Olimpik Park ile ilgili bilgiler

MÜNİH OLİMPİK PARK			
Genel Bilgiler			
Yapım Yılı	1972		
Yapım Yeri	Münih, Almanya		
Mimari Tasarım	Günther Behnisch		
Yapı Mühendisi	Frei Otto		
Yapı Fonksiyonu	Atletizm, Futbol, Yüzme		
Seyirci Kapasitesi	Olimpik Stadyum	Spor Salonu	Yüzme Havuzu
	80.000 kişi	25.000 kişi	9.000 kişi
Teknik Bilgiler			
Yapının Uzunluğu	108 m		
Yapının Genişliği	68 m		
Yapının Yüksekliği	76 m	70 m	80 m
Geçilen Açıklık	585 m	135 m	85 m
Örtülen Alan	34.500 m²	21.750 m²	12.000 m²
Çatı Strüktürü	Çelik pilon + Kablo ağı		
Çatı Kaplaması	Pleksiglas levha	Pleksiglas, PVC+ETFE membran	

1972 yılı yaz olimpiyatları için Mnh şehri seçilmiştir. Mnh evresinde Oberwiesenfeld adı ile bilinen bölgede yer alan olimpiyat parkının stadyum yapıları için çatı tasarımı yarışması dzenlenmiştir. Bu yarışma sonucunda mimar Gnther Behnisch'in tasarımı kabul edilmiştir. Tasarımın yapısı nedeniyle teknik ve mali

zorluklar yaşanacağından Günther Behnisch 1968 yılında Frei Otto'ya teknik bilgi için danışmıştır ve bu projede birlikte çalışmışlardır. Minimal yüzeylerin ilk örneklerinden olan Münih Olimpiyat Stadyumu (Şekil 4.23), ekolojik yaklaşımı, görselliği, kullanılabilirliği açısından Otto ve Behnisch ortaklığının ortaya çıkardığı başarılı bir tasarım olmuştur.



Şekil 4.22 Münih Olimpiyat Stadyumu (Muenchen, b.t)

1972 Münih oyunları için tasarlanan Olimpiyat Stadyumu 80.000 kişi kapasitelidir ve sahanın doğusunda “grandstand” adı verilen üstü kapalı tribün yer almaktadır. Olimpiyat stadyumu üst örtüsünün kapladığı alan 34.500 m²'dir. Stadyumun üst örtüsü dokuz bölüme ayrılmıştır. Her birim bir pilon ve kenar kabloları ile desteklenmiştir. Tüm birimleri destekleyen çatının ön cephesinden geçen kenar kabloları 81 mm çapında 10 adet çelik halat ile gerilmiştir. Kenar kablonun uzunluğu 440 m'dir. Semer eğrili kablo ağı iki noktasından pilonlarla asılmış ve bu pilonlarda iki noktada zemine sabitlenmiştir. Bir semer yüzeyli birim 65m açıklık geçmektedir (Şekil 4.24) ve yüksekliği en fazla 58m'dir. Pilonların çapları en fazla 3,5m ve et kalınlıkları 40-70 mm arasında değişmektedir. Pilonların yükseklikleri 50-81 m arasında değişmektedir. 25 mm çaplı çelik kablo ağı 75*75 cm'lik bir kare ızgara oluşturmaktadır. Sistemde kullanılan içbükey kablolar yerçekimine karşı, konveks kablolar ise rüzgâr yüküne karşı düzenlenmiştir. Kolondan mesnete bağlanan kablo 55°, kablo ağından bağlanan

40° açığına sahiptir. Çelik kablolar üzerindeki kelepçeler fabrikada monte edilmiştir. Kablo ağlarının üzerine oturtulmuş paneller pleksiglas olup 3*3 m ölçülerinde 4 mm kalınlığında bir malzemedir. Yük ve sıcaklık değişimi altında kablo ağlarının kesişim açıları 6°'ye kadar değişiklik göstermektedir. Pleksiglas paneller esnek kablo ağına uygun hareket göstermesi gerekmektedir ve ısıya karşı direnci yüksektir. Toplamda çelik kablonun uzunluğu 436 km'dir. Çelik kablolar şantiyede zeminde birbirine monte edilmiştir. Sonrasında pylonlar, askı kabloları ve kablo ağları gerilmiştir.



Şekil 4.23 Münih Olimpiyat Stadyumu çatı geometrisi (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2013)

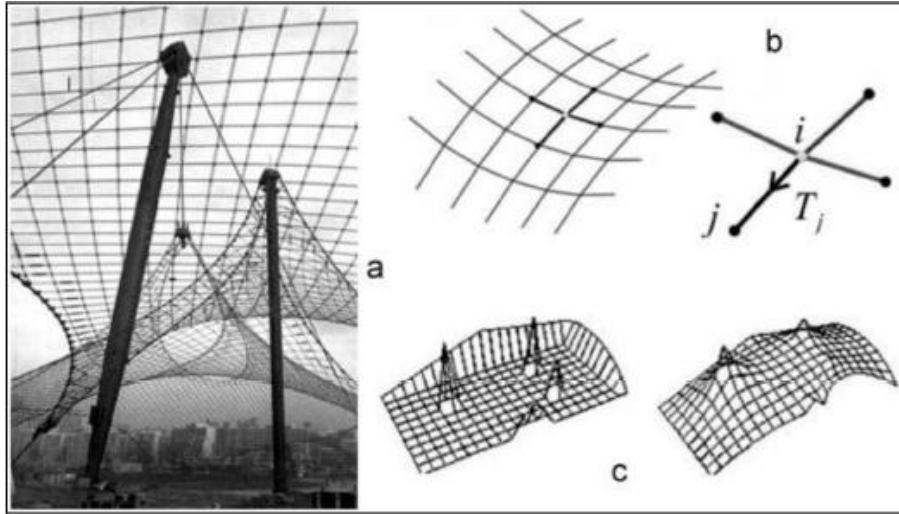
Spor salonu 25.000 kişilik seyirci kapasitelidir. Üst örtüsü 5 adet kablo ağı birimlerinden oluşmuştur. 8 adet askı kabloları ve 29 adet ankraj noktası bulunmaktadır. Betonarme temeller üzerine çelik pylonlar sabitlenmiştir. Geçilen açıklık 135 m'dir. Üst örtüsünün alanı 21.750 m²'dir.

Kapalı yüzme havuzu 9.000 seyirci kapasitesine sahiptir. Üst örtüsü 1 çelik pilona asılmış ve 13 noktadan gerilerek zemine ankrajlanmıştır. Geçilen açıklık 85 m'dir. Çatı alanı 12.000 m²'dir. Spor salonu ve kapalı yüzme havuzunda taşıyıcı duvarlar, tavanlar ve kolonlar betonarme olarak uygulanmıştır. Buna karşılık taşıyıcı olmayan ve bölücü duvarlar yığmadır. Çatı konstrüksiyonu; yük taşıyan PVC membran ve şeffaf ETFE kaplamadan oluşmaktadır.

Münih'teki olimpik spor tesislerinin üstünü örtmekte kullanılan ön gerilimli kablo ağlarının hafif bir örtü olarak prefabrikasyonu, montajı ve yapımı için kaçınılmaz olan

bir şart bu yapının açınımının çıkarılmasıydı. Bu ise, pilonlar ile mesnetler ve temeller üzerindeki karakteristik sistem noktalarının, ağılardaki bütün düğüm noktalarının ve birbirine komşu düğüm noktaları arasındaki bütün kablo uzunluklarının uzay koordinatlarının tayin edilmesini içerir.

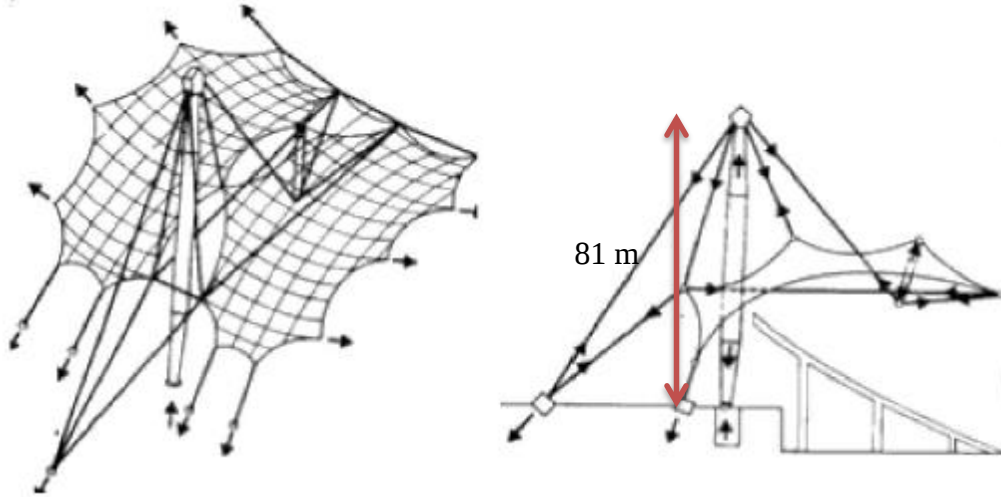
Minimal yüzeyler, çatı üzerindeki her dengeli noktanın içinde dengelenmiş yüzey gerilmesine sahiptir ki bu da tüm konstrüksiyonu dengeler. Minimal yüzeylerde çukur oluşmaz ve bundan dolayı su birikmez (Pan ve Xu, 2010). Böyle geniş bir alan için, minimal düzeydeki yapı elemanları, dalgalı ağ ile sonuçlanan çeşitli çekme bağlantıları ile dinamik geniş yüzeyler oluşturulmuştur (Şekil 4.25) (Kroll, 2011). Form, gerili sistemlerin kendine benzeme manipülasyonlarının birleşmesi, yüzey geçirgenlik derecesinin değerlendirilmesiyle minimal yüzeyin ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2013).



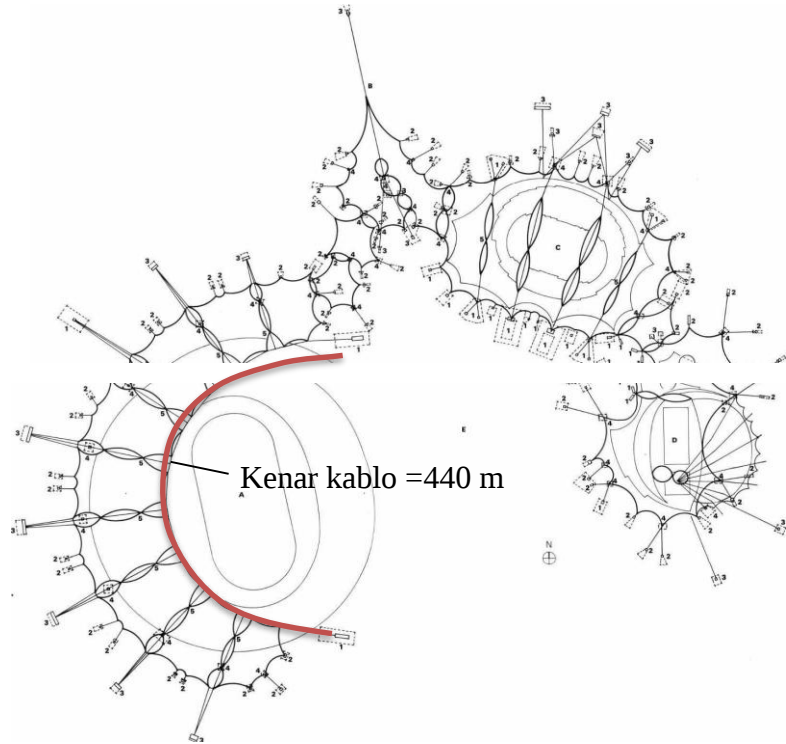
Şekil 4.24 Münih Olimpiyat Stadyumunun topolojik diyagramı (Tensinet, b.t)

Özellikle membran sistemleri, form oluştururken membranın kısıtlanmasıyla uygulanan dış etkiler altında membranın gerilme kuvvetleri ve özel olarak seçilmiş kontrol noktaları kendini organize eden bir davranış içinde olmaktadır. Bu noktalarda gerilme kuvvetleri toplanıp iletilmektedir. Membranların malzeme olarak forma şeklini vermesi nedeniyle belirli sınır noktalarında yer değiştirmeler ve ön germe kuvvetleriyle tanımlanmaktadır. Membranın formu, iç dirençlerin ve dış kuvvetlerin

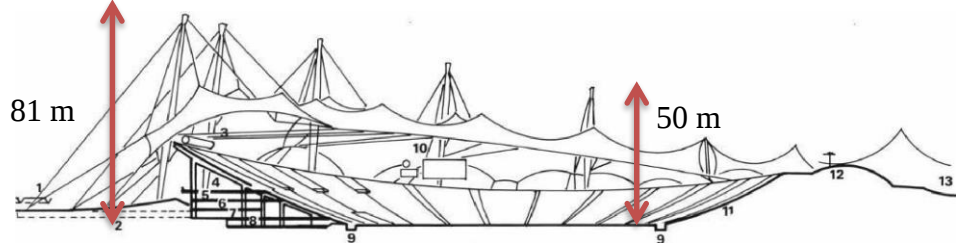
dengesiyle bulunmaktadır (Şekil 4.26) (Hensel, 2006). Münih Olimpik Park içinde yer alan stadyum, spor salonu ve yüzme havuzu çatı planları, stadyum görünüş-kesiti ve genel planı şekil 4.27, 4.28 ve 4.29’da gösterilmiştir.



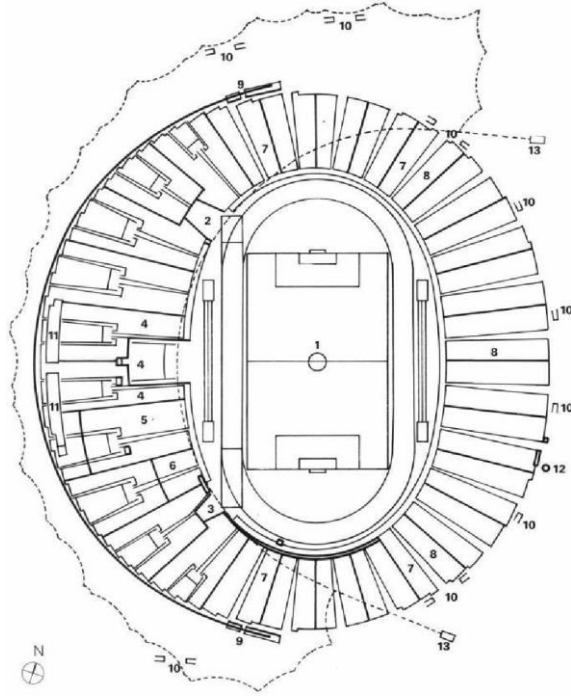
Şekil 4.25 Münih Olimpiyat Stadyumunun çatı kablo ağı detayı (Fang, 2009)



Şekil 4.26 Stadyum, spor salonu ve yüzme havuzu çatı planları (Heide ve Wouters, 2009)



Şekil 4.27 Münih Olimpiyat Stadyumu cephe-kesit (Heide ve Wouters, 2009)



Şekil 4.28 Münih Olimpiyat Stadyumu genel planı (Heide ve Wouters, 2009)

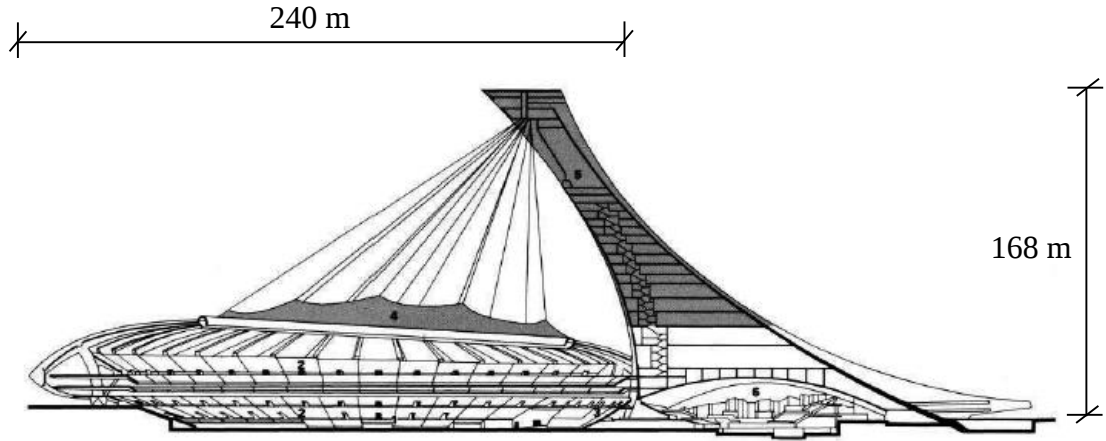
4.5 Montreal Olimpiyat Stadyumu

Tablo 4.5 Montreal Olimpiyat Stadyumu ile ilgili bilgiler

MONTREAL OLİMPİYAT STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	1976
Yapım Yeri	Montreal, Kanada
Mimari Tasarım	Roger Taillibert
Yapı Mühendisi	HWH Mimarlık, Mühendislik
Yapı Fonksiyonu	Atletizm, Amerikan Futbolu, Beyzbol, Futbol
Seyirci Kapasitesi	62.000 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	305 m
Yapının Genişliği	250 m
Yapının Yüksekliği	168 m
Geçilen Açıklık	120 m
Örtülen Alan	18.000 m ²
Çatı Strüktürü	Betonarme ve çelik pilon + Destek strüktürü sabit hareketli sistem
Çatı Malzemesi	Galvanizli sac ve PVC membran

1976 Yaz Olimpiyatları, resmi olarak 1976 tarihinde Kanada'nın Quebec eyaletine bağlı Montreal şehrinde düzenlenen 21.Olimpiyat Oyunlarıdır. Stadyumun seyirci kapasitesi 62.000'dir (Aksoy, 2009).

Montreal Olimpiyat Stadyumu ilk büyük membran hareketli çatı uygulaması ve dünyadaki en uzun 45° açılı eğimli yapısı olarak adlandırılmaktadır. Hareketli çatı, betonarme stadyumun çatısının iç çevresi ile dışarıdaki betonarme kule arasına gerilen kablolar yardımıyla katlanarak hareket eden membran bir örtüdür. Tasarım yaklaşımı olarak örtü malzemesinde hareketli bu çatı, membran örtüyü taşıyan çelik kulenin eğik konumundan ötürü, dünyanın ilk en büyük eğik strüktürüne sahip projesidir. Stadyum 305 m x 250 m boyutlarında elips plana sahiptir. Yüksekliği 55 m'dir. Membran hareketli çatı ise 120 m x 180 m boyutlarındaki bir elips olup 18.000 m²'lik bir alanı örtmektedir. Membran çatının asıldığı dışarıdaki betonarme destek kulesi 45° eğimde 168 m yüksekliğindedir. Bu kulenin 92 metre yüksekliğine kadar olan kısmı betonarme olup geri kalan 83 metresi çelik inşa edilmiştir. Eğimli strüktür oyun alanının üzerinde 60 m konsol çıkmaktadır. (Şekil 4.30) (Aksoy, 2009).



Şekil 4.29 Montreal Olimpiyat Stadyumu kuzey-güney yönünden alınmış kesit (Aksoy, 2009)

Yüksek derecede elastik ve kuvvetli olan Kevlar membranı ilk kez Montreal Olimpiyat Stadı için kullanılmıştır. Montreal Olimpiyat Stadında kullanılan örtü malzemesinde hareketli çatı sisteminde, membran malzeme belirli noktalarından çelik kablolarla asılmıştır. Bu çelik kablolar ile membran malzemenin kulenin tepe noktasına doğru toplanması sağlanmıştır. Fakat birçok mekanik sorundan dolayı membran da yırtılmalar oluşmuştur ve bu da üst örtü bakım maliyetinin artmasına neden olmuştur. Bu sebeplerle başarısızlığa uğrayan bu sistem, taşıyıcı kurguda hareketli bir sistem ile yenilenmiştir. Yerine PVC membran malzemesi kullanılmıştır.

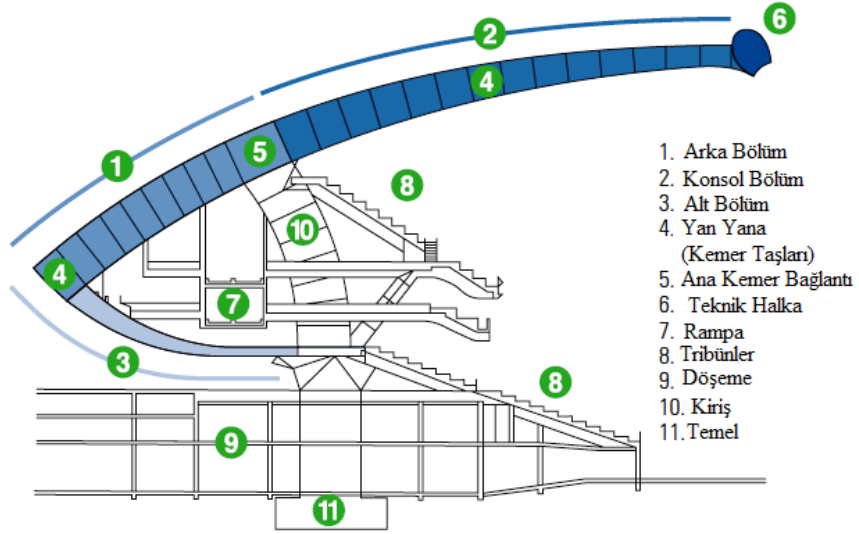
Membran yüzey alanı 20.000 m²'dir. Sadece membranın ağırlığı 2,9 kg/m² olup, hareketli çatının toplam ağırlığı 66 tondur. Oyun alanından yüksekliği ise 70 m'dir.

Stadyum inşaatında prefabrik sistemler kullanılmıştır. Ön gerilmeli betonarme konsollar stat yakınında kurulan tesislerde üretilmiştir. 34 Adet, 50 m uzunluğunda konsol taşıyıcı bulunmaktadır (Şekil 4.31). Üst örtüsü metal kaplamadır. Yapının tribünlerinin dışarıya tamamen kapalı olması nedeniyle havalandırma mekanik olarak sağlanmıştır. Sahaya yakın tribünler kullanım amacına göre katlanabilmektedir.

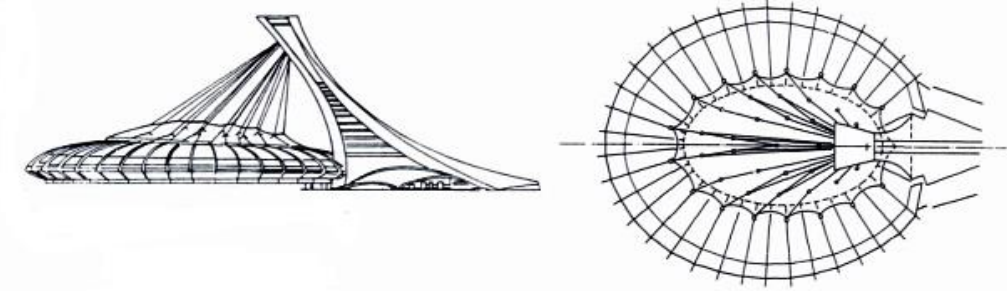


Şekil 4.30 Betonarme konsol taşıyıcı strüktürler (Parcolympique, 2011)

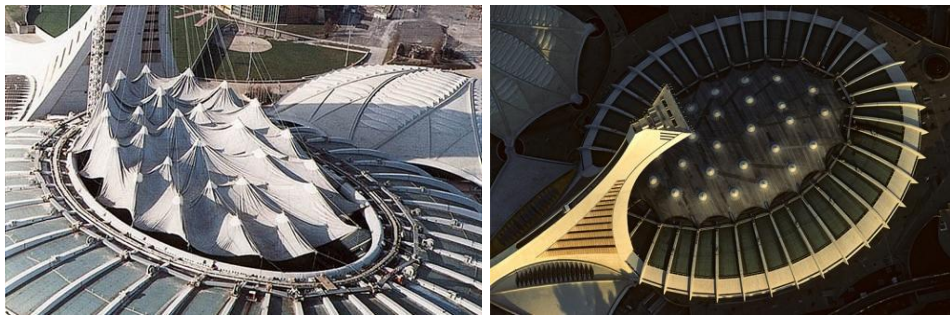
Taşıyıcı kurguda hareketli üst örtü projesi, yer çekimi ve potansiyel enerjiden faydalanarak tasarlanmış bir sistemden oluşmaktadır. Bu sistemde, ortadan ikiye bölünmüş disk şeklindeki çatı; depolanmış basınçlı hava ve yer çekiminin yardımıyla hareket etmektedir. Stadyumun hemen yanı başında bulunan betonarme kuleden (Şekil 3.32) sarkan çelik halatların bir uçları iki parçalı çatıya ayrı ayrı bağlıyken diğer uçları kulede asılı bulunan ve aşağı yukarı hareket edebilen ağırlığa bağlanmıştır. Çatı 25km/h hızla hareket etmektedir. 100PSI basınca sahip sistem, basınçlı hava yardımıyla kılavuzlar üzerinde bulunan ortadan ikiye bölünmüş çatıyı sağa ve sola hareket ettirerek açmakta ve halatlarla kulede bulunan ağırlığı da yukarı doğru taşımaktadır. Çatı (Şekil 3.33 ve 3.34) tamamen açıldıktan sonra kuledeki ağırlık kilitlenerek kapanma için gereken potansiyel enerji depolanmaktadır. Kapanma hareketi ise çelik halatlarla çatıya bağlı ağırlığın yer çekimi yardımı ile kontrollü bir şekilde aşağıya doğru hareket ettirilmesiyle sağlanmıştır. Böylece diğer hareketli çatı sistemlerindeki gibi yüksek elektrik enerjisi gereksinimi kalmamıştır.



Şekil 4.31 Montreal Olimpiyat Stadyumu betonarme taşıyıcı sistem detayı (Parcolympique, 2011)



Şekil 4.32 Montreal Olimpiyat Stadyumu cephe ve plan çizimi (Aksoy, 2009)



Şekil 4.33 Montreal Olimpiyat Stadyumu hareketli çatı (Parcolympique, 2011)

4.6 Scotiabank Saddledome

Tablo 4.6 Scotiabank Saddledome ile ilgili bilgiler

SCOTIABANK SADDLEDOME	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	1983
Yapım Yeri	Calgary, Kanada
Mimari Tasarım	Graham McCourt (GEC) Mimarlık
Yapı Mühendisi	Jan Bobrowski
Yapı Fonksiyonu	Hokey Salonu
Seyirci Kapasitesi	20.000 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	135,3 m
Yapının Genişliği	129,3 m
Yapının Yüksekliği	51 m
Geçilen Açıklık	122 m
Örtülen Alan	12.000 m ²
Çatı Strüktürü	Betonarme basınç çemberi + Kablo ağı
Çatı Malzemesi	Prekast beton panel + PVC membran
Sarkma Oranı	14 m

Kanada'nın Calgary şehrinde bulunan hokey sporu için tasarlanmış kapalı arena (Şekil 4.35) 1983 yılında inşa edilmiştir. Saddledome, Graham McCourt (GEC) Mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Yapının mühendisliği Jan Bobrowski tarafından yürütülmüştür. 1998 kış olimpiyatlarına ev sahipliği yapmak için 1994 yılında yenilenmiştir.



Şekil 4.34 Scotiabank Saddledome (Francis, 1984)

Yapıya adını veren semer şeklindeki çatının geometrisi hiperbolik paraboloiddir (HP). Çatıyı oluşturan hiperbolik paraboloid beton kabuk dünyadaki en uzun açıklık geçen beton malzeme kullanılmış çatıdır (Şekil 4.36). Çatının X-Z düzlemi üzerindeki izdüşümleri 67,7m yarıçapında bir daire oluşturmaktadır. Çatı ön gerilim kabloları tarafından asılmış prekast beton paneller kullanılarak inşa edilmiştir. 6m x 6m ölçülerinde ızgara oluşturan sarkan kablo ağları 391 adet hafif beton panelleri taşımaktadır. 1,5m x 4,3m x 27,4m boyutlarında 16 adet prekast beton elemanları çatı strüktürünü oluşturmaktadır. Çatı kenarlarından yüksek iki noktası yapıda karşılıklı konumlandırılmış iki adet tribüne ankrajlanmıştır (Şekil 3.37 ve 3.38).

Prekast Beton Panel: Prekast ince agrega-çimento karışımı özel granolometride ki harmanın çelik hasır veya cam elyafı teçhizatlı olarak daha az hacim ve daha az ağırlık verecek şekilde, düz veya tekstürel görünümlü olarak gerekli oranlarda akışkanlık, priz çabuklaştırıcı ve mukavemet artırıcı kimyasallar ilavesiyle özel kalıplara dökülmesi, vibrasyon masalarında sıkıştırılması, buhar küründen geçirilmesi, şantiyeye nakli ve prekast iç teçhizatlarına bağlı montaj demirleri vasıtasıyla bina karkas teçhizatlarına kaynaklanarak veya mekanik-kimyasal dübeller kullanılarak tutturulması ve derz ara dolgularının yapılarak teslimi işlemidir.

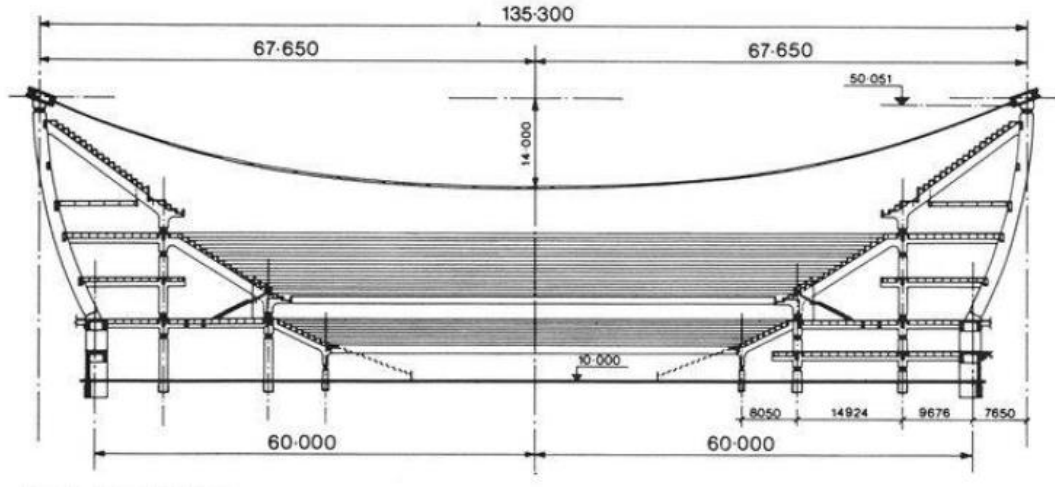


Şekil 4.35 Prekast beton panel içerisindeki lifler (Mavibeton, b.t)

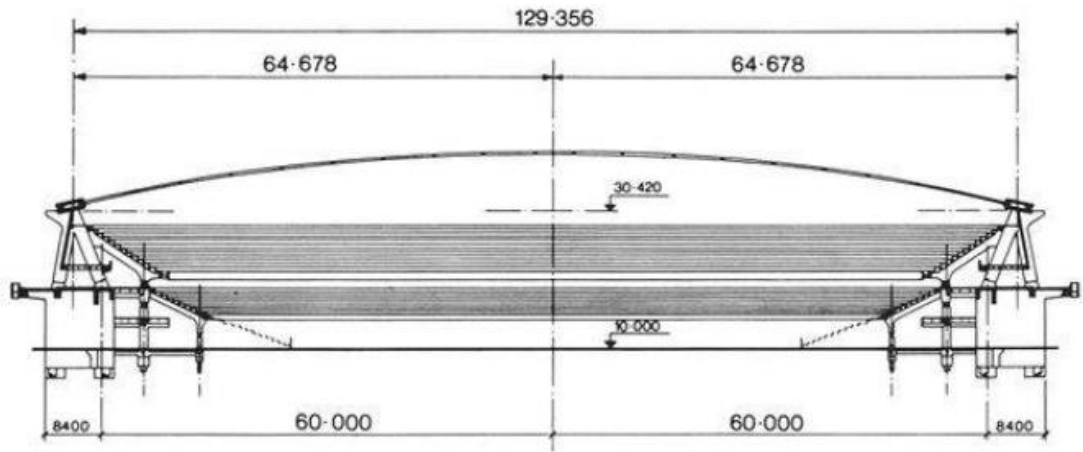
Temel anlamda cam elyaf katkılı beton ya da fiber takviyeli beton olarak da isimlendirilen prekast; beyaz çimento, silis kumu, alkali dayanımlı cam elyaf ve suyun doğru oranlarda karıştırılmasıyla oluşturularak kalıplanması ve püskürtme yöntemiyle elde edilen malzemeye verilen isimdir. Prekast betonun standart betondan farkı, içerdiği cam elyaf sebebiyle daha hafif olması ve kolaylıkla şekil verilebilmesidir (mavibeton, b.t).

Doğa koşullarından etkilenmemektedir (ısı, yağış, radyasyon, vb.). Su yalıtımlıdır. Isı ve ses geçirgenliği düşüktür. Su Geçirgenliği için Prekast elemanları su ve dış etkenlere karşı yüksek dirence sahip bir malzemedir. İçindeki kimyasal katkı ve dolu malzeme olması nedeni ile su ve rutubeti arka yüzeye geçirmemektedir. Yanmaz, yüksek sıcaklıkta yapısı bozulmamaktadır. Sistemden %50 ile %80 arası daha hafif yük olur ve 15-18 cm arası kalınlıklarda, 110-120 kg/m² arasında birim aralığındadır. Prekast beton levhalar farklı ölçülerde üretilebilmektedir.

Arenanın çatı formu kesintisiz 122m açıklığı geçmektedir ve 12.000m² alana sahiptir. Çatının kalınlığı 60cm'dir. Hiperbolik paraboloid formun orta noktası çatının en yüksek noktasının 14m altında ve çatının en düşük noktasının 6m üstünde yer almaktadır. Çatı küresi kenarlarından 32 eşit parçaya bölünmüş radyal kolonlar tarafından desteklenmektedir (Francis, 1984).



Şekil 4.36 Scotiabank Saddledome kesitleri-1 (Francis, 1984)



Şekil 4.37 Scotiabank Saddledome kesitleri-2 (Francis, 1984)

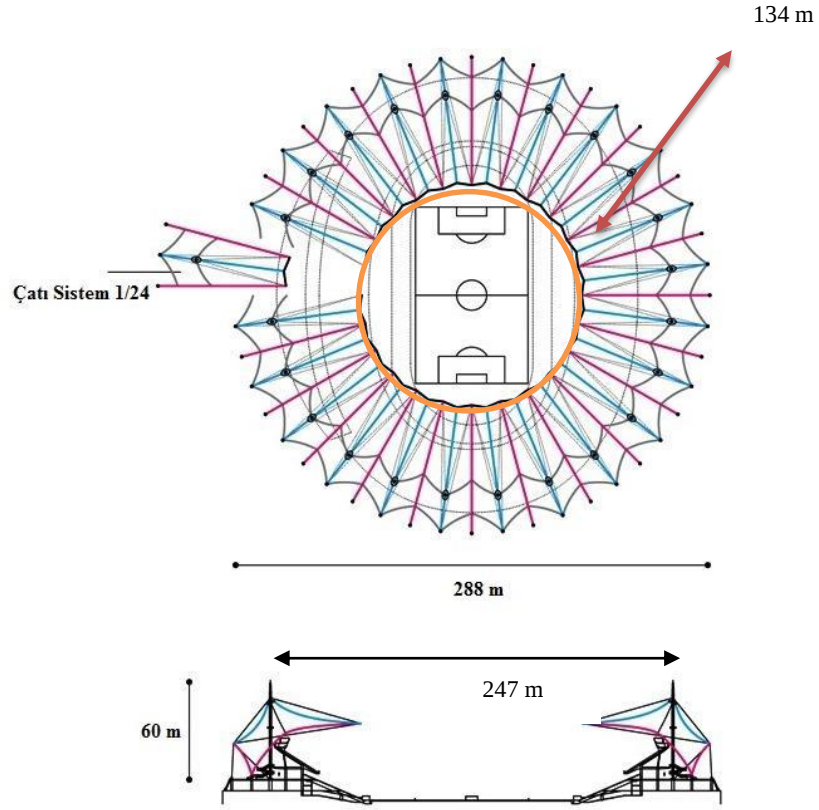
4.7 King Fahd Stadyumu

Tablo 4.7 King Fahd Stadyumu ile ilgili bilgiler

KING FAHD STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	1987
Yapım Yeri	Riyadh, Suudi Arabistan
Mimari Tasarım	Ian Fraser, John Roberts
Yapı Mühendisi	Geiger Berger
Yapı Fonksiyonu	Atletizm, Futbol
Seyirci Kapasitesi	68.000 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	288 m
Yapının Genişliği	288 m
Yapının Yüksekliği	60 m
Geçilen Açıklık	78 m
Örtülen Alan	47.000 m ²
Yapım Sistemi	Çelik pylon + Asma-germe membran sistem
Çatı Malzemesi	PTFE membran

King Fahd Stadyumu Suudi Arabistan’da bulunan çok amaçlı stadyum yapısıdır. En çok futbol müsabakaları için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra atletizm tesisi

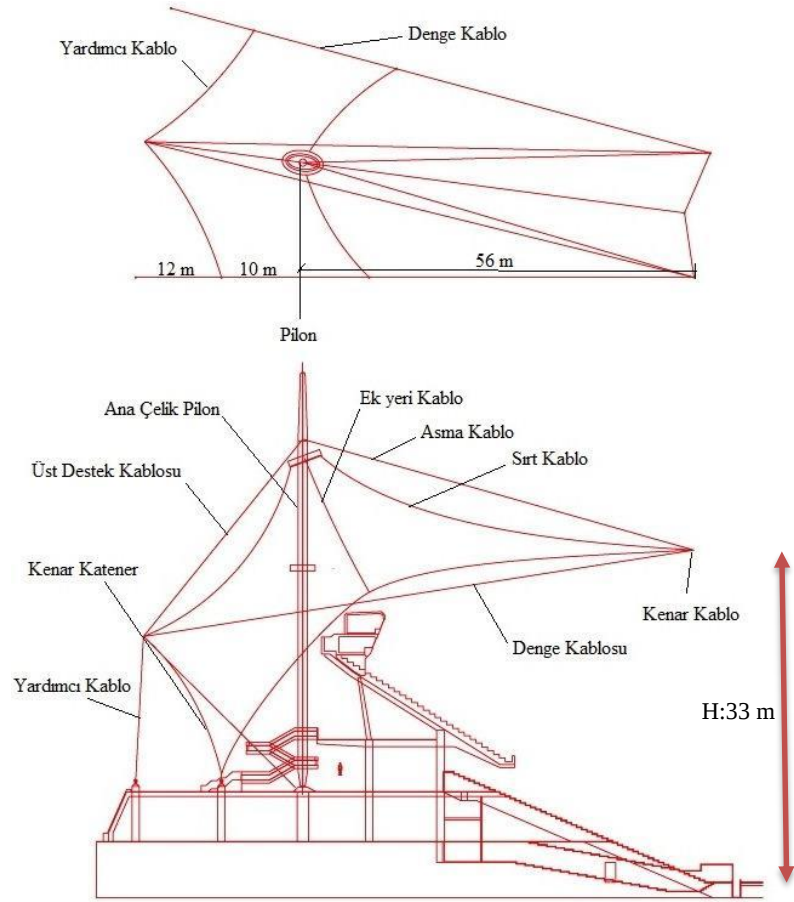
olarak ta kullanılabilmektedir. Stadyum 1987 yılında inşa edilmiştir. Dünya'nın en büyük stadyum çatılarından biridir (Bakbak, 2011).



Şekil 4.38 King Fahd Stadyumu çatı planı ve kesiti (Behance, b.t)

King Fahd Stadyumu 68.000 kişi kapasitelidir. Stadyumun çatısı 47.000 m²'lik bir alanı kapsamaktadır. 288 m çapa sahip bir daireyi kaplayan dairesel bir plana sahiptir (Şekil 4.39). 247 m çapındaki daire üzerinde 24 adet yüksekliği 60 m olan çelik pilon bulunmaktadır. Bu pylonlar eşit sayıda ve ölçülerde yapılmış olup çatı strüktürünü taşıyıcı niteliktedir. Tüm çatı, sırt kablolar, kenar kabloları ve zincir eğrisi yardımcı kabloları (Şekil 4.40) arasında kalan iki şekilde olan kumaş panellerin oluşturduğu birimlerin daire etrafında dizilimi ile oluşmaktadır (Şekil 4.41). Çatının iç çember uzunluğu 134 m'dir. Bu çemberin yerden yüksekliği 33 m'dir. Çatı tribünlerin üzerini kapatmakta olup sıcak çöl iklimine karşı gölgelik görevini görmektedir. Çatı, Teflon kaplama camyünü membran ile örtülmüştür. Sırt kabloları ana pilonlara bağlanarak çatı sistemini yukarıda tutmaktadır. Yardımcı çelik kablolar sistemi basılı tutmak için

alt çapa bağlanmaktadır. Çatı sistemi oturma birimlerinin üzerini 56 m konsol çıkma yaparak kapatmaktadır (Archnet b.t).



Şekil 4.39 King Fahd Stadyumu çatı strüktür sistem detayı (Denardis, b.t)



Şekil 4.40 Stadyumun çatısının tekrar eden sistemi (Behance, b.t)

4.8 Utah Olimpik Oval

Tablo 4.8 Utah Olimpik Oval ile ilgili bilgiler

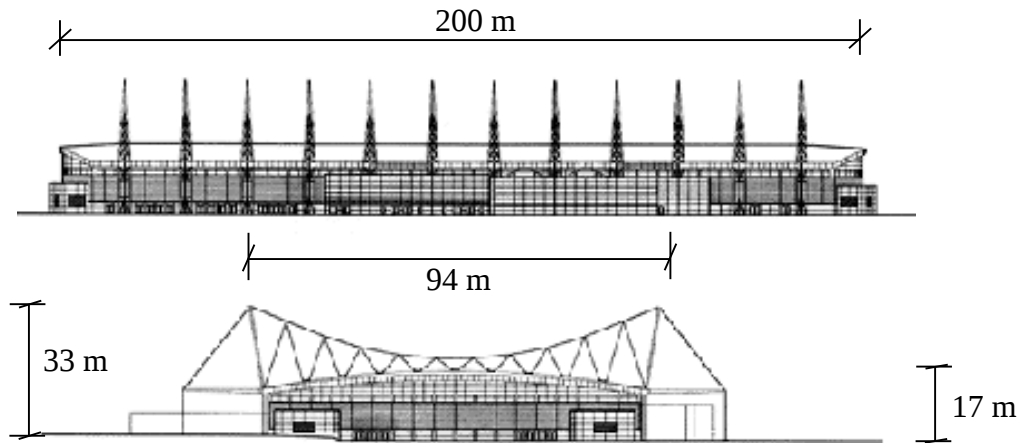
UTAH OLYMPIC OVAL	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	1999
Yapım Yeri	Kearns, Utah, ABD
Mimari Tasarım	Gilles Stransky Brems Smith (GSBS) Mimarlık
Yapı Mühendisi	Ove Arup & Partners
Yapı Fonksiyonu	Hokey Kapalı Spor Salonu
Seyirci Kapasitesi	6.500 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	200 m
Yapının Genişliği	94 m
Yapının Yüksekliği	17 m
Geçilen Açıklık	94 m
Örtülen Alan	18.800 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik pilon + Çift kablo sistem
Çatı Kaplaması	PVC membran
Sarkma Oranı	11 m

1995 yılında açık spor sahası olarak inşa edilmiştir. 2002 kış olimpiyatları için kapalı spor salonuna şeklinde tasarlanmış ve 1999 yılında inşa edilmiştir. Gilles Stransky Brems Smith (GSBS) Mimarlık tarafından tasarlanmıştır (Şekil 4.42).

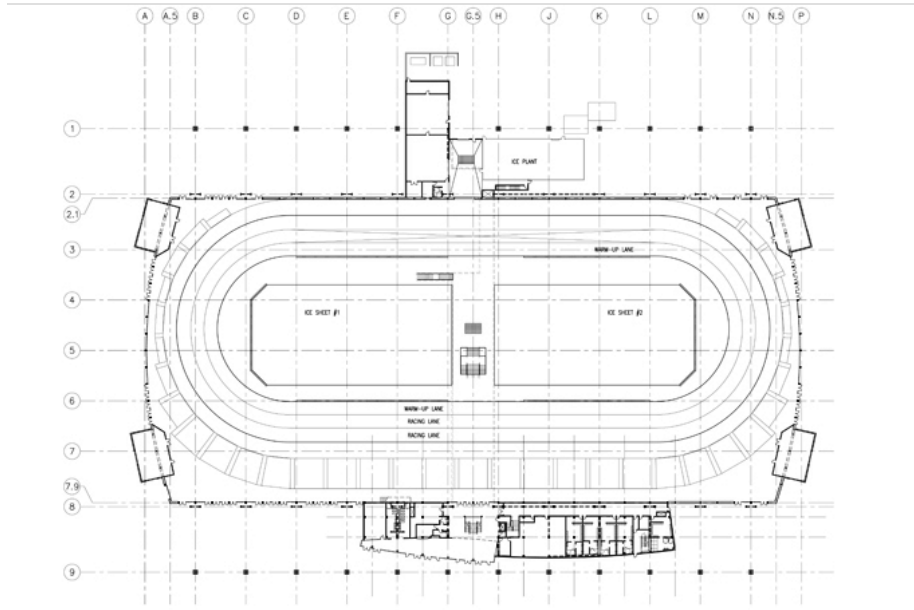
Utah Olimpik 25.500m² alana sahiptir. Olimpik alan yaklaşık olarak dört futbol sahasına eşittir. Yapının ölçüleri 200m uzunluğa ve 94m genişliğe sahiptir (Şekil 4.44 ve 4.45). Çatı yüksekliği 17m'dir. Yapı birbirine paralel 24 adet pylon tarafından desteklenmektedir. Bu pylonlar kabloların gerilmesiyle çatıyı taşımaktadır. Çelik kabloların çapı 89 mm ve uzunlukları 120 m'dir. Pylonların yüksekliği 33m'dir (Şekil 4.43).



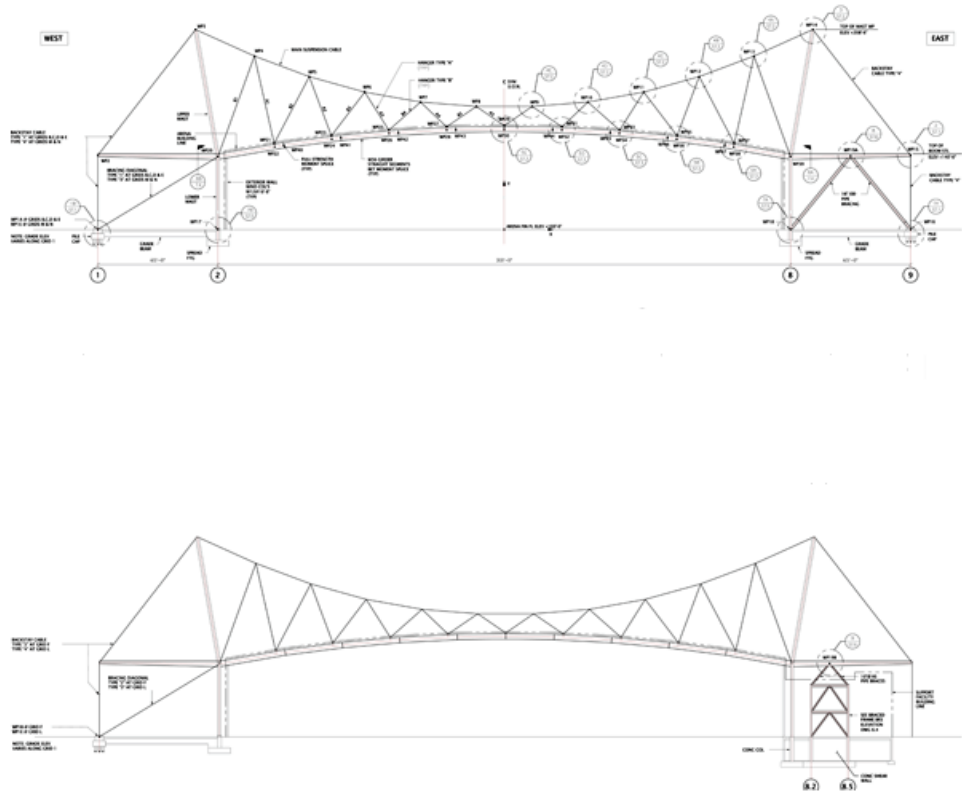
Şekil 4.41 Utah Olympic Oval (Archutah, b.t)



Şekil 4.42 Görünüş ve kesit ve çizimleri (Structurae, b.t)



Şekil 4.43 Mimari plan (Archutah, b.t)



Şekil 4.44 Sistem detayı (Archutah, b.t)

4.9 Sdney Olimpiyat Stadyumu

Tablo 4.9 Sydney Olimpiyat Stadyumu ile ilgili bilgiler

SYDNEY OLİMPİYAT STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2000
Yapım Yeri	Sydney, Avustralya
Mimari Tasarım	Bligh Lobb Sports Architect
Yapı Mühendisi	Obayashi Corporation/Multiplex Constructions
Yapı Fonksiyonu	Atletizm, Amerikan Futbolu, Beyzbol, Rugby, Futbol, Paralimpik Oyunlar
Seyirci Kapasitesi	110.000 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	197 m
Yapının Genişliği	141 m
Yapının Yüksekliği	58 m
Geçilen Açıklık	295 m
Örtülen Alan	42.500 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik basınç çemberi + Uzay kafes kemer
Çatı Kaplaması	Polikarbon levha

2000 Yaz Olimpiyatları, diğer bir adıyla Yeni Milenyum Oyunları, Modern Olimpiyat Tarihinin 27.Olimpiyat Oyunlarıdır. Bu Olimpiyatlar 2000 yılında Avustralya'nın Sydney kentinde gerçekleşmiştir.

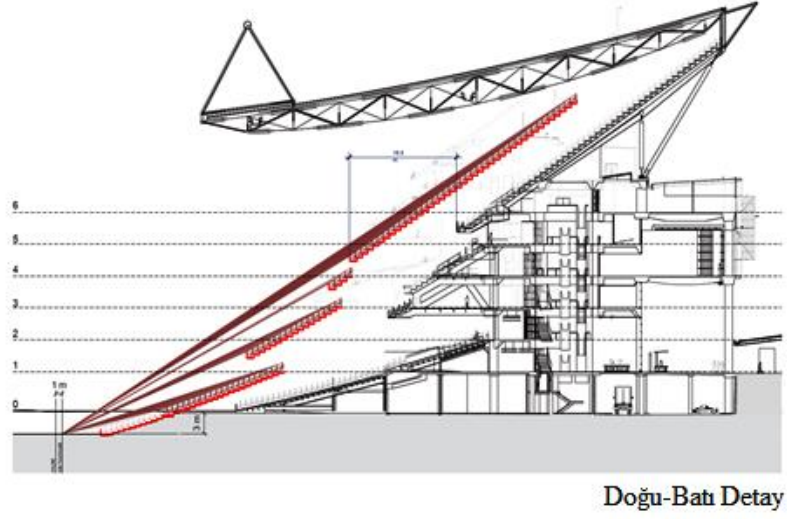


Şekil 4.45 Sydney Olimpik Stadyum (Olympics, 2000)

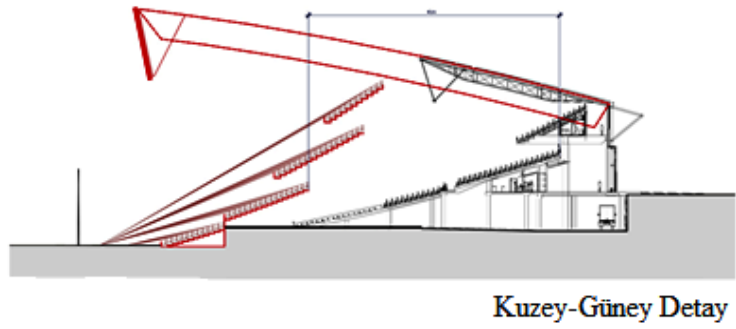
Stadyumun tasarımını (Şekil 4.46) Bligh Lobb Sports Architect grubu üstlenmiştir. Avustralya'ya özgü bir katlanır şapka olan Akubra, tasarımın ana konseptini oluşturmuştur. Tribünler iki kat ve betonarme tasarlanmıştır. Sadece kale arkalarındaki üst kat tribünler çelik tasarlanmış ve oyunlar bittiğinde katlanarak çatı olmuştur, böylelikle kapasite 30.000 kişi aşağı çekilerek 80.000 kişi olmuştur. Bir liman ve ticaret şehri olan Sydney'deki 110.000 koltuk kapasiteli bu stadyum 690 milyon dolara mal olmuştur. Hareket eden katlanan çatı alanı 10.000 m²'dir. Yapımında 12.000 ton çelik kullanılmıştır. Çelik çatının (Şekil 4.47 ve 4.48) dış kısmı betonarme tribünlere otururken, konsol kısmı 295 metre uzunluğunda iki büyük makasa asılmaktadır. Stadın etrafında boşalmaları daha iyi sağlayabilmek için 4 adet rampa yerleştirilmiştir (Clipsal, b.t).

Mimarlar bu stadyumda özellikle çevreci bir yaklaşımı benimsemişlerdir. Buna göre; güneşten daha fazla faydalanmak için çatıda 16 mm kalınlığında solar gri renkli polikarbon levhalar kullanılmıştır. Çatının toplam ağırlığı 4.100 tondur. 930 ton çelik kabloların ağırlığıdır. Yağmur suları depolarda toplanarak sulama ve temizlik işlerinde kullanılması sağlanmış, mekanik havalandırma yerine doğal havalandırma tercih edilmiş ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmıştır. Ayrıca inşaat

yapımında kullanılan bütün malzemelerin çevreye etkisi araştırılmış ve ona göre malzeme seçilmiştir. Bu stadyumda aynı zamanda paralimpik oyunlar da düşünülerek tasarım yapılmıştır.



Şekil 4.46 Doğu-Batı kesit detay (Austadiums, 2016)



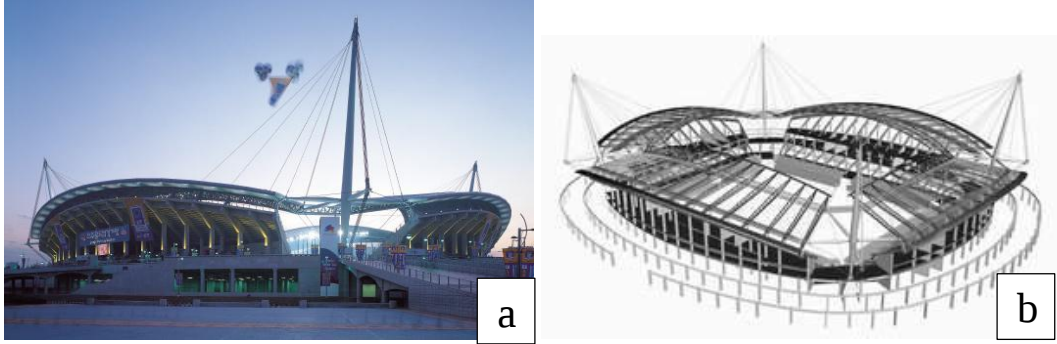
Şekil 4.47 Kuzey-Güney kesit detay (Austadiums, 2016)

4.10 Jeonju Stadyumu

Tablo 4.10 Jeonju Stadyumu ile ilgili bilgiler

JEONJU STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2001
Yapım Yeri	Jeonju, Güney Kore
Mimari Tasarım	Tony Gee
Yapı Mühendisi	C.S. Yapı Mühendislik
Yapı Fonksiyonu	Futbol Stadyumu
Seyirci Kapasitesi	42.000 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	260 m
Yapının Genişliği	160 m
Yapının Yüksekliği	63 m
Örtülen Alan	20.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik pilon + Kablo sistem
Çatı Kaplaması	PTFE membran

2001 yılında stadyumun çatısı mimar Tony Gee tarafından tasarlanmıştır. 42.000 seyirci kapasitesine sahiptir. Stadyumun tüm boyutları FIFA standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. 260 m uzunluğunda ve 160 m genişliğindedir. Stadyum çatısı 20.000 m² alanı kapsamaktadır. Bu alan, stadyum alanının %87,5'ine eşittir. Taban alanı 41.600 m²'dir (Şekil 4.49).

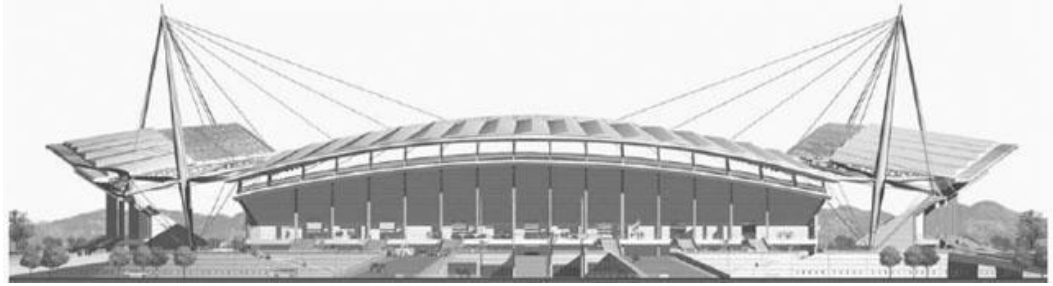


Şekil 4.48 Jeonju stadyumu a) Görünüş, b) Çatı strüktürü (CSSE, 2000)

Çatının yapısı iki ana yapım sisteminden oluşmaktadır (Şekil 4.50). Biri asma kiriş strüktür diğeri ise açık kubbe yapısıdır. Prizmatik çelik makas çatının iç halka kısmında çatıya birincil destek görevi görmektedir. 65 mm ve 85 mm çapındaki kablolar 28 farklı konumdadır. 28 ön ve arka çelik kablolar stadyum köşesinde bulunan 63 m yüksekliğindeki pilonlara asılmaktadır. Stadyum çatısında iç ve dış halka üzerinde konumlanan çelik makas kiriş pilonların A şeklinde kubbe davranışı ile taşınmaktadır. Pilonlar 4 noktadan desteklenerek kurulmuş, pilonlar 8 adet çelik kablo ile desteklenmiştir ve daha sonra çelik makaslar gerilmiştir (Şekil 4.51). 100mm çaplı kablolar 1.000 tonu aşan yükü taşımaktadır. Seyirci tribünü prekast beton malzemeden yapılmıştır.

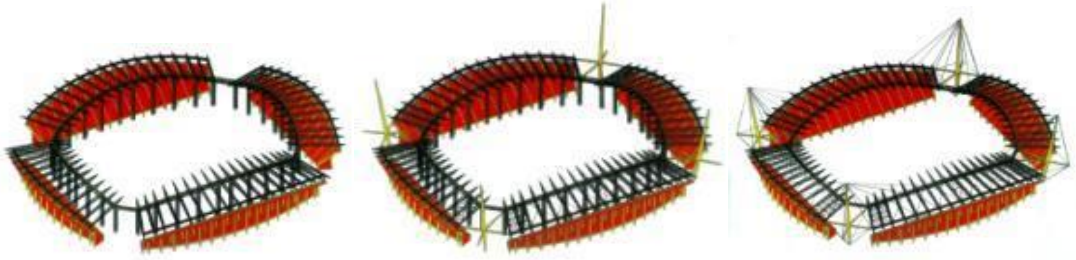


Şekil 4.49 Çatı yapım elemanları (Skyscrapercity, b.t)



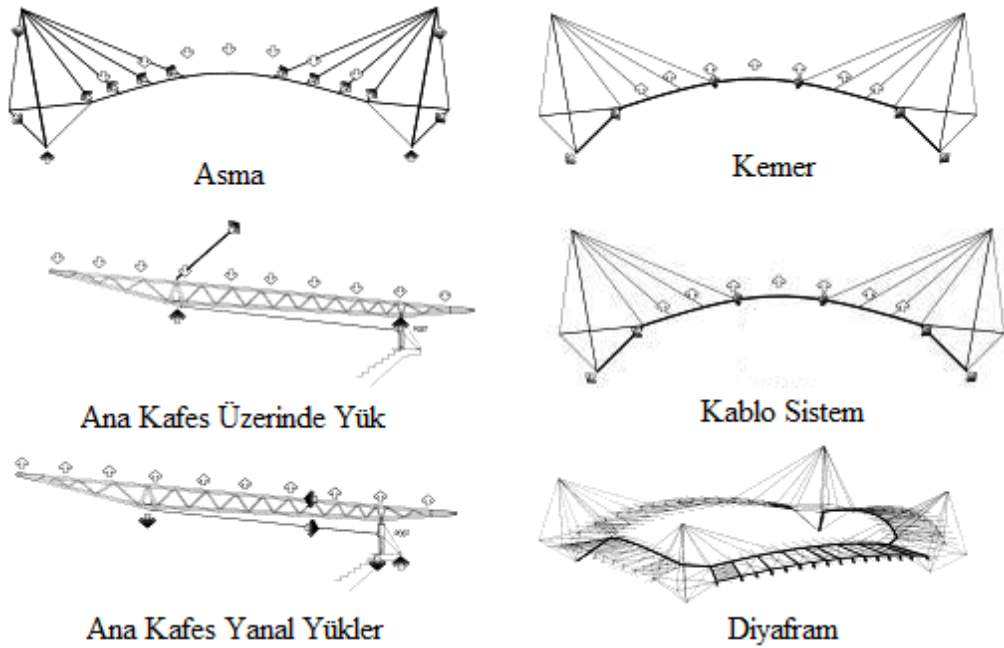
Şekil 4.50 Stadyum cephesi (Günnet, b.t)

Stadyum kullanım alanları bu sistemlerin çözümü sonucunda etkin halde kullanılabilmektedir. Çatı strüktürünün stabilitesi için taşıyıcı sistemin davranışı çok önemlidir. Bu dengeyi sağlamak için yuvarlak kesitli çelik borular ve gergin kablolar ana kafes kiriş arasında yer almaktadır. Pilonlardaki bazı eklem yerlerindeki bağlantı noktaları yükü ayrı noktalara aktarmak için farklı tasarlanmıştır. Bu özellik inşaat aşamasında yapımda kolaylık sağlamıştır (Şekil 4.52).



Şekil 4.51 İnşaat yapım süreci (Skyscrapercity, b.t)

Çelik kabloların çekme kuvvetinin güçlü olması kafes kirişlerin direncini sağlamaktadır ve yük pylonlar üzerinden zemine aktarılmaktadır (Asma Çizimi). Zincir eğrisi kablodaki gerilme kuvveti kiriş üzerinde basınca çalışmaktadır (Kemer Çizimi). Ana kafes kirişlerin yer çekimi kuvveti yardımcı ve kenar kirişler tarafından direnç kazanmaktadır. (Ana Kafes Üzerindeki Yük). Rüzgâr yükü çatı strüktürü üzerinde kaldırma kuvveti meydana getirmektedir ve çelik kablolar ile birlikte sistemin direnci sağlanmaktadır. (Ana Kafes Yanal Yükler-Kablo Sistem). Ana kafes kiriş ve çevre kirişlerin arasındaki yardımcı elemanlar çatı strüktürünün stabilitesini sağlamaktadır (Diyafram Çizimi) (Şekil 4.53).



Şekil 4.52 Çatı strüktür sistemi (Skyscrapercity, b.t)

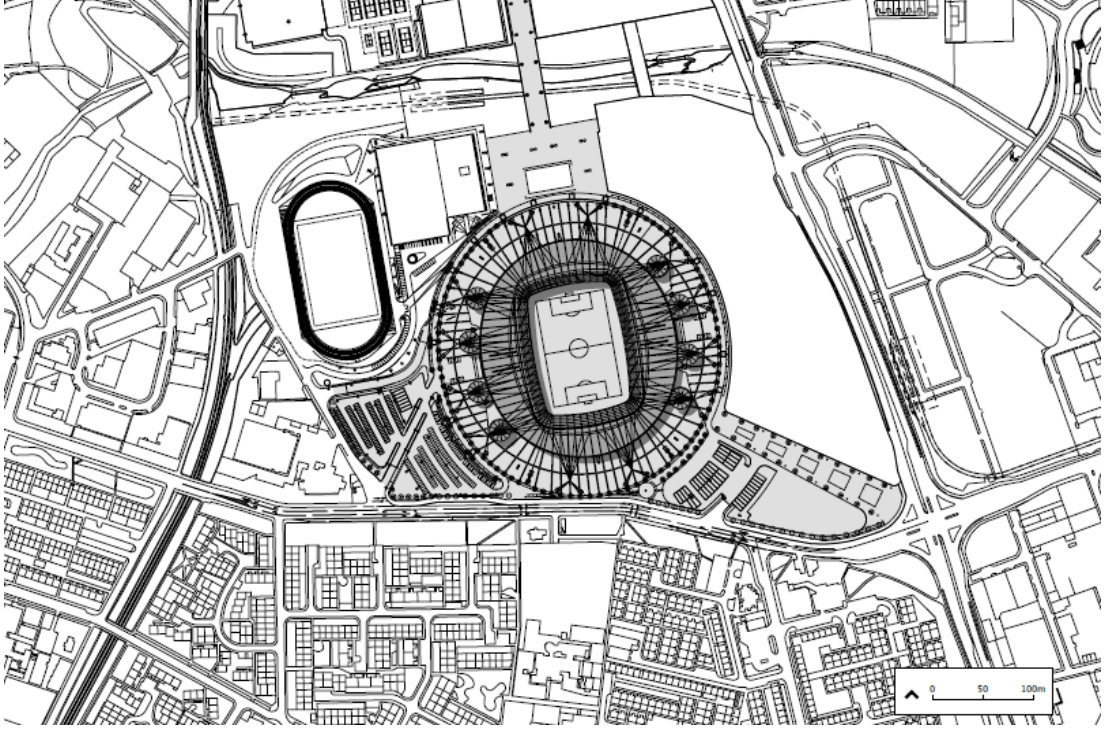
4.11 Manchester Şehir Stadyumu

Tablo 4.11 Manchester Şehir Stadyumu ile ilgili bilgiler

MANCHESTER ŞEHİR STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2002
Yapım Yeri	Manchester, İngiltere
Mimari Tasarım	Arup Associates
Yapı Fonksiyonu	Futbol Stadyumu
Seyirci Kapasitesi	80.000 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	106 m
Yapının Genişliği	71 m
Yapının Yüksekliği	70 m
Geçilen Açıklık	37 m
Çatı Strüktürü	Çelik pylon + Kablo sistem
Çatı Malzemesi	Polikarbon levha

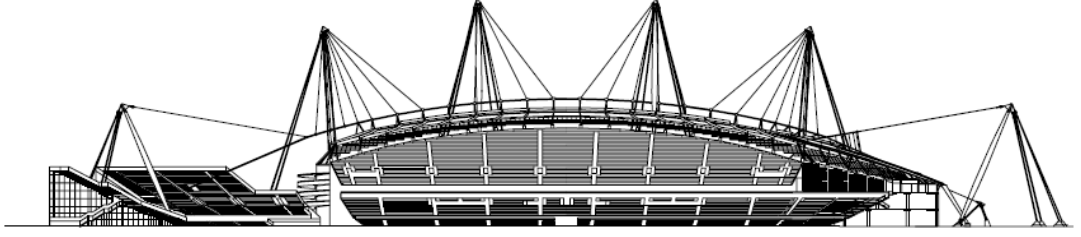
Manchester şehir stadyumu, üç temel prensip üzerine kurulmuştur. İlki sporun önemini ve yerini yansıtacak yüksek profilde yapı olmasıdır. İkincisi kentsel yenileme ve ileride yapılabilecek yenilemeler arasında bir tamamlayıcı proje olması ve son olarak uzun süreçli sürdürülebilir geleceğe ihtiyaç duyulmasıdır. Stadyumun orijinali 1992 yılında atletizm sporu için 80.000 oturma kapasiteli olarak tasarlanmıştır.

Yapının konsepti 4 yıl sonra 60.000 oturma kapasiteli olarak ulusal futbol oyunları için değiştirilmiştir. Diğer spor disiplinlerine örneğin uluslararası ragbi oyunlarına ve konser etkinliklerine uygun bir alan olmuştur (Şekil 4.54).

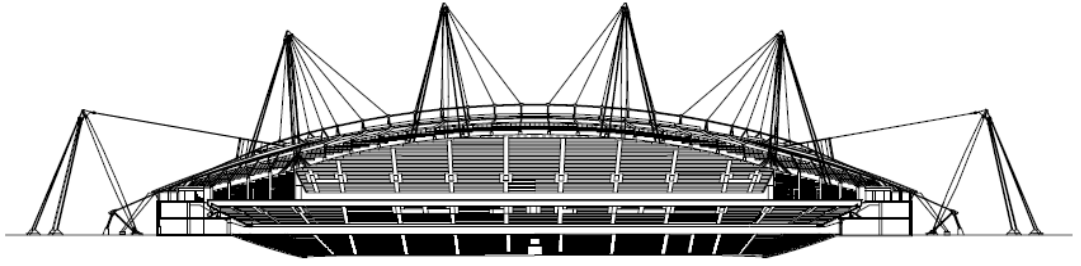


Şekil 4.53 Site planı (Istructure, 2016)

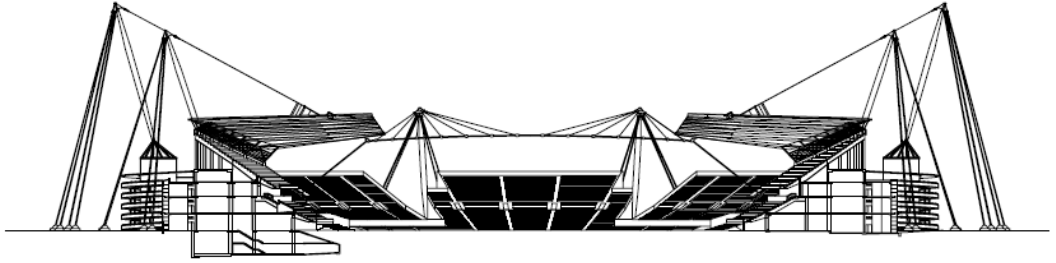
Semer formulu çatı ve spiral giriş 1992 yılından 1996 yılına kadar kullanılmıştır ve tasarıma kapanan çatı ile devam edilmiştir. Şehir komitesi Manchester City FC ile anlaşma imzalamıştır. Arup stadyumun tasarımı için tekrardan çalışmıştır. Mimarlar şehir manzarası oluşturan büyük binalar tasarlarken, binaların şehrin doğal bir simgesi olmasını sağlamak istemiştir. Projenin maliyet kısmı tasarımı biraz etkilemiştir. Manchester şehir komitesi, stadyumun spor oyunlarından sonra da gelecekte yaşayabilir bir yapı olarak devam etmesini istemiştir. Şekil 4.55, 4.56, 4.57, 4.58 ve 4.59'da stadyumun plan ve kesitleri gösterilmektedir.



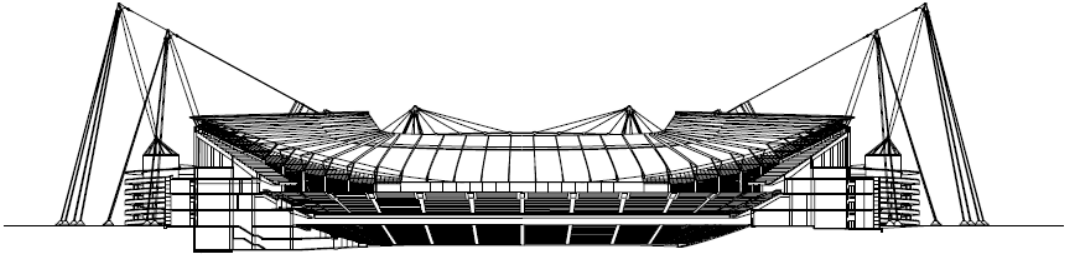
Şekil 4.54 Atletizm için kuzey-güney kesiti (Istructure, 2016)



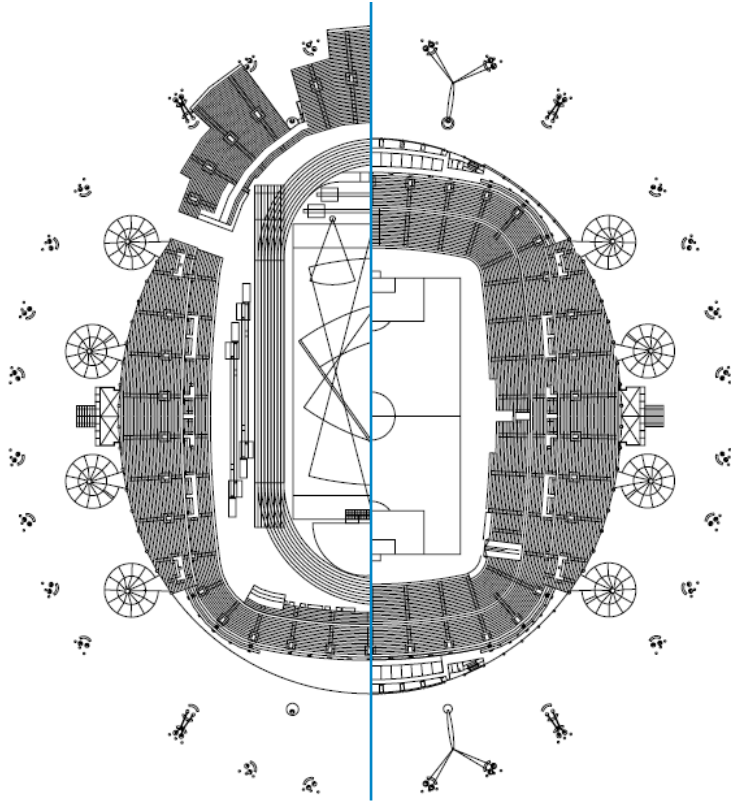
Şekil 4.55 Futbol için kuzey-güney kesiti (Istructure, 2016)



Şekil 4.56 Atletizm için batı-doğu kesiti (Istructure, 2016)



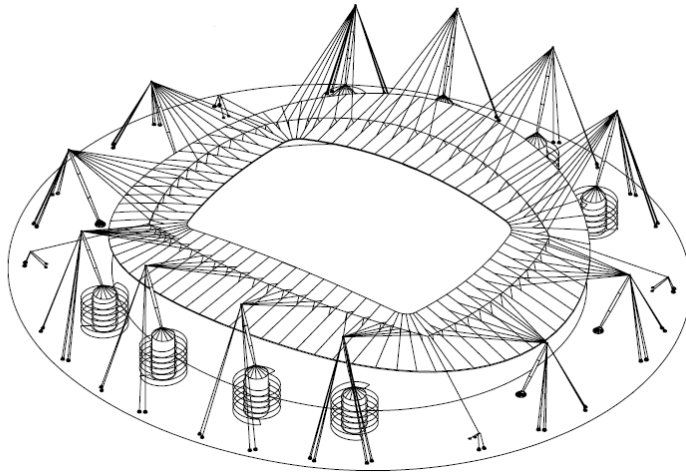
Şekil 4.57 Futbol için batı-doğu kesiti (Istructure, 2016)



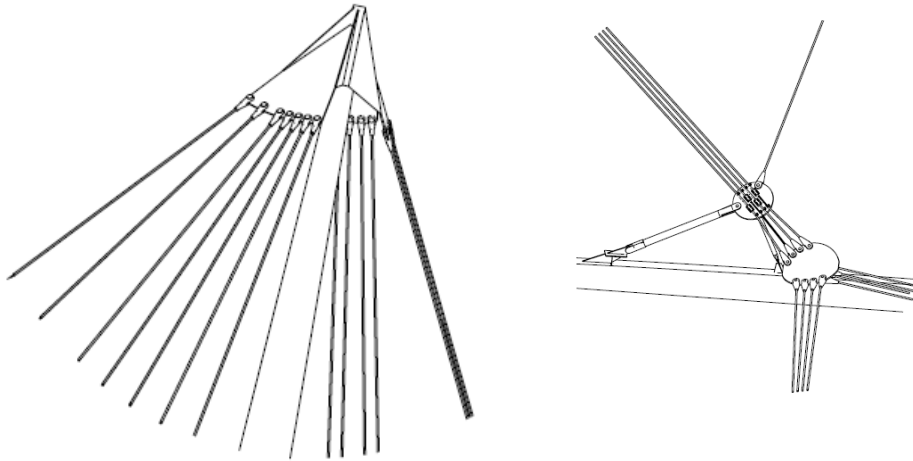
Çatı yapısı 2 ayrı sistem içermektedir. İlki tüm çatıyı taşıyan kablo ağı diğeri ise betonarme kirişlere asılı kablo ağıdır. Kablo ağı ve pilonları rüzgâra ve yüklere karşı çekme kuvveti oluşturmaktadır.

Şekil 4.59 Form oluşumu (Istructure, 2016)

Çatı yüzeyi 2.700 m çevre uzunluğunda ve 280 m çevre uzunluğunda iki ayrı dikey çemberin kesişmesiyle oluşan toroid formdan oluşmaktadır (Şekil 4.60). Stadyum yapısında toplamda 12 adet pylon bulunmaktadır. Yükseklikleri 65 m'dir. Toplamda 76 adet sarmal kablolar (Şekil 4.62) ile çatıya bağlanmaktadır. Pilonlardan 8 adetinin çevresinde rampalar mevcuttur (Şekil 4.61). Rampalardan giriş katından üst katlara geçiş bulunmaktadır. Çatının düzlem yapısı 300 mm genişliğinde ve 900 mm derinliğinde radyal kutu profil içermektedir.



Şekil 4.60 Stadyumun strüktürel konsepti (Istructure, 2016)



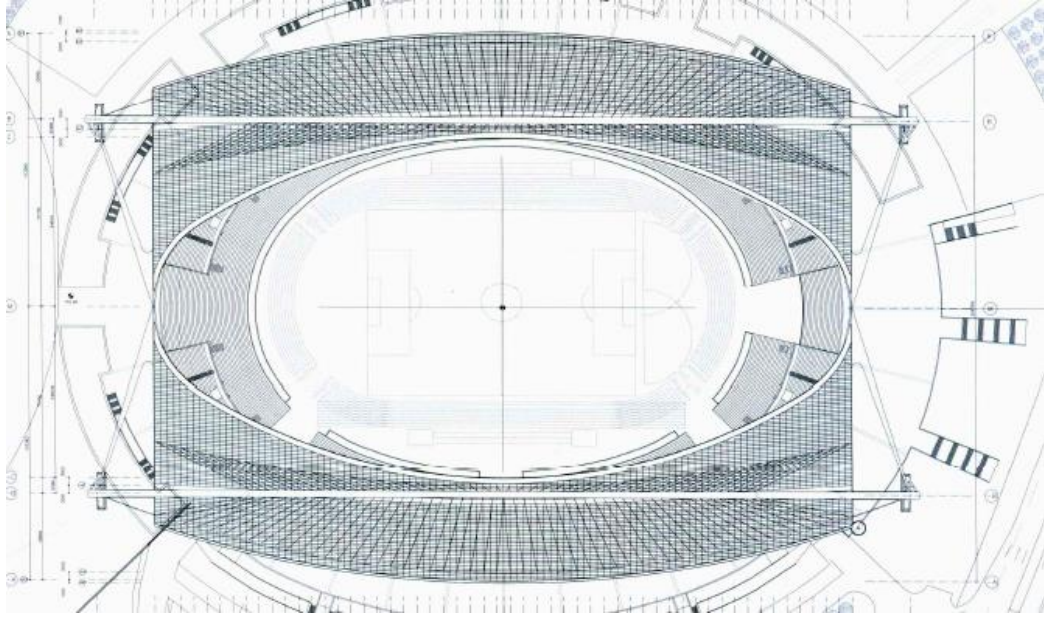
Şekil 4.61 Kablo birleşim detayları (Istructure, 2016)

4.12 Atina Olimpiyat Stadyumu

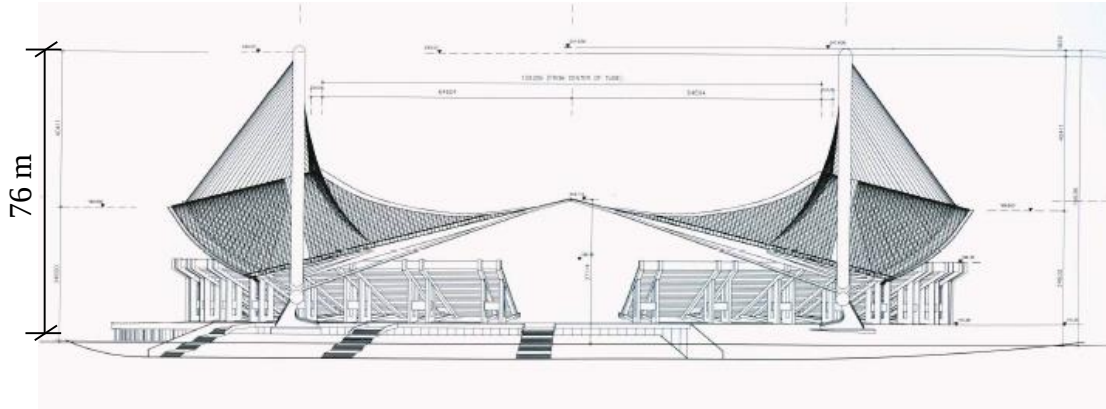
Tablo 4.12 Atina Olimpiyat Stadyumu ile ilgili bilgiler

ATINA OLİMPİYAT STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2004
Yapım Yeri	Atina, Yunanistan
Mimari Tasarım	Santiago Calatrava
Yapı Mühendisi	Kanon Meletitiki S. A
Yapı Fonksiyonu	Atletizm, Futbol, Paralimpik Oyunlar
Seyirci Kapasitesi	75.000 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	250 m
Yapının Genişliği	206 m
Yapının Yüksekliği	76 m
Geçilen Açıklık	250 m
Örtülen Alan	24.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik kemer + Kablo sistem
Çatı Kaplaması	Polikarbon levha

Yunanistan'ın Atina şehri, 1896'da gerçekleştirilen ilk modern olimpiyattan 1500 yıl aradan sonra 2004 yılında Atina Olimpiyatları'na ev sahipliği yapmıştır. Atina Olimpiyat Stadyumu birtakım yenileme çalışması sonrası tribünlerinin üzeri örtülerek yeniden kullanılmıştır (Şekil 4.63 ve 4.64) (Lubell ve Gonchar, 2006).



Şekil 4.62 Atina Olimpiyat Stadyum planı (Aksoy, 2009)

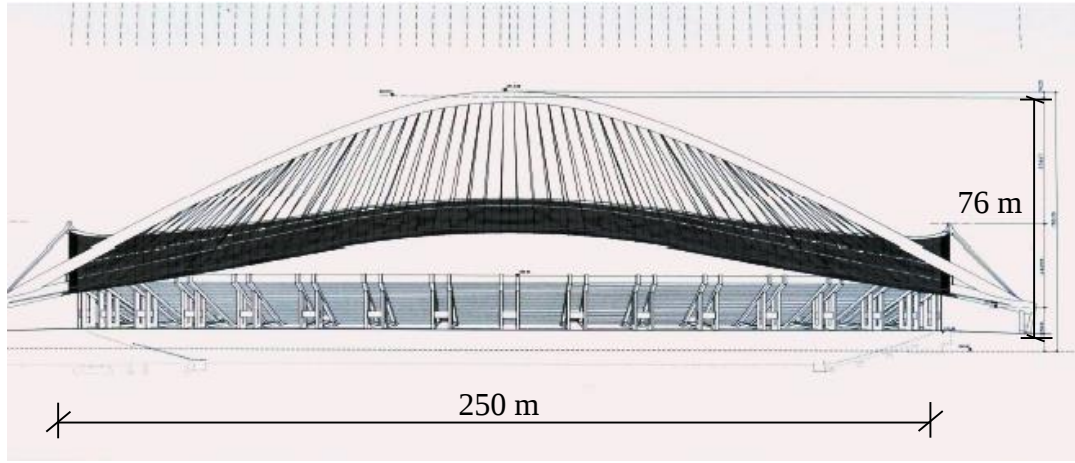


Şekil 4.63 Atina Olimpiyat Stadyum en kesiti (Aksoy, 2009)

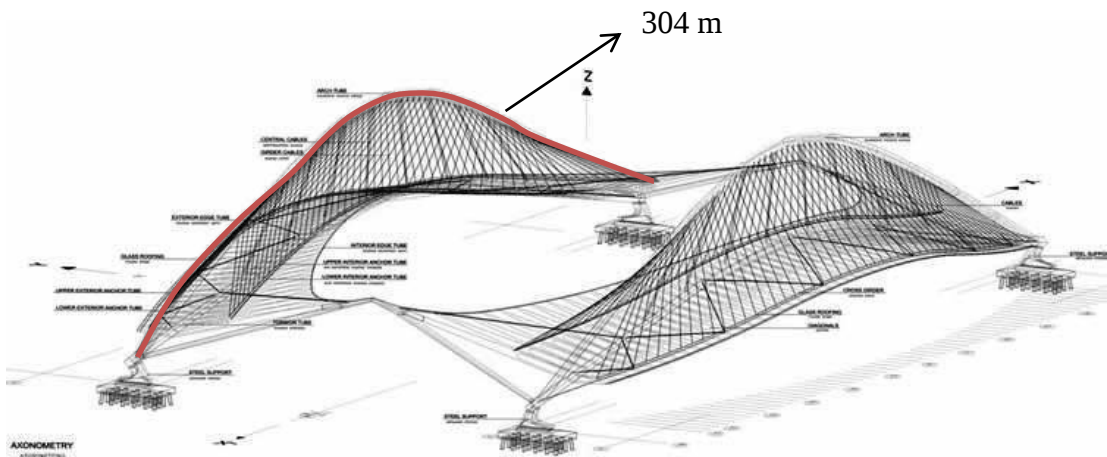
Stadyumun yenileme çalışmaları ünlü mimar Santiago Calatrava tarafından yapılmıştır. Calatrava tasarımı ile olimpiyatların doğduğu medeniyet olan Antik Yunan uygarlığının yeniden canlandığı izlenimini uyandırmak istemiştir. Bunu sağlamak için aydınlatma şekilleri, kubbeli yapılar, yürüyüş yolları, ağaç dizilimi, su yolları gibi eski medeniyet hayalinin ürünlerini kullanmıştır. Antik dönemde bu bölgede 300.000 kişi toplanmakta idi. Buradaki heykeller de bunun önemli göstergesi olmuştur. Bölgedeki mimari özellikler daha çok güney kesimde toplanmaktadır. Bu yüzden görselliği iyi olan binalar bu kesime yerleştirilmiştir. Mümkün olan en az

Santiago Calatrava ilk iş olarak stadyumun eskimiş bölgelerinin yeniden yapılandırılmasını sağlamıştır. Stadyum, uluslararası kurallara uygun hale getirilmiştir. Daha sonra betonarme karkas sistemle yapılmış olan tribünlerin üzerini, 304 metre uzunluğundaki iki çelik taşıyıcıya asılı (Şekil 4.65), toplamda 42.000 m² alanı, eğimli yüzeyleri bulunan, omurga şeklindeki çeliklerden oluşan, 5.000 adet 12 – 16 mm kalınlığında şeffaf solid polikarbon levha kaplıdır. Polikarbonun ağırlığı 14,4 kg/m²'dir. Bununla birlikte çelik kabloların toplam ağırlığı 4.000 tondur. Çelik kemer

haricinde çatı ağırlığı metrekare başına 174 kg'dır. 304 m uzunluğundaki çelik taşıyıcı kemer şeklinde ve maksimum yüksekliği 76 m'dir (Şekil 4.66). Kemer çapı 320 ila 360 cm arasında değişmektedir. Bu büyük taşıyıcıya her 5 metrede bir bağlanan çelik halatlar alttaki omurga şeklindeki çatıyı taşımaktadır. Çelik kemer 4 adet 20x16 m ölçülerinde temel ankraj noktasında sabitlenmektedir (Şekil 4.67). Çatı yaklaşık 24.000 m² bir alanı kapatmakta ve 120 km/sn hızdaki esen rüzgâra karşı koyabilmektedir. Stadyumda 34 adet tribün girişi bulunmakta ve tribünler 8 dakikada bosalmaktadır. 16 adet özel loca bulunmaktadır.



Şekil 4.65 Atina Olimpiyat Stadyumu boy kesiti (Aksoy, 2009)



Şekil 4.66 Atina Olimpiyat Stadyumu aksonometri (Tetik, 2014)

4.13 Khalifa Uluslararası Stadyum

Tablo 4.13 Khalifa Uluslararası Stadyumu ile ilgili bilgiler

KHALİFA ULUSLARARASI STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2006
Yapım Yeri	Doha, Katar
Mimari Tasarım	Cox Richardson mimarlık
Yapı Mühendisi	Arup
Yapı Fonksiyonu	Futbol Stadyumu
Seyirci Kapasitesi	50.000 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	220 m
Yapının Genişliği	180 m
Yapının Yüksekliği	76 m
Geçilen Açıklık	180 m
Örtülen Alan	15.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik kemer + Kablo sistem
Çatı Kaplaması	PTFE membran

Khalifa Uluslararası Stadyumu ilk olarak Katar eyaletinde 1976 yılında inşa edilmiştir (Şekil 4.68) ve birçok uluslararası ve ulusal etkinliklere ev sahipliği yapmıştır. 1-15 Aralık 2006 tarihinde Asya oyunlarına ev sahipliği yapmış olan Katar

stadyumu, 21.yüzyıl standartlarına uygun olması gerekiyordu. Bu nedenle stadyum 2006 yılında yenilenmiş ve büyütülmüştür. 20.000 kişilik küçük bir gölgelik çatı 50.000 kişilik büyük bir çatıya dönüştürülmüştür.

Belçikalı bir geliştirici müşteri ve ana yüklenici, Avusturyalı mimarlar, mühendisler ve proje yöneticileri, Hint çelik firması, İngiliz çelik üreticisi, Kanadalı kablo üreticisi, Amerikan çatı malzeme tedarikçisi, Alman kablo montajcısı bu karmaşık ve zorlu projede birlikte çalışmıştır. Proje geliştirme komitesi stadyumun yeni tasarımında Katar'ın sembolü olabilecek benzersiz ve dünya çapında tanınabilir bir tasarım istemiştir. Stadyumun temel ve çatı planını genişletmek ve geliştirmek için Arup Sydney ofisi 2002 yılında Cox Richardson mimarlık ve planlama ile çalışmıştır. 2003 yılında Arup, karmaşık çatı yapısının tasarımını üstlenmiştir (Readbag, b.t).



Şekil 4.67 Khalifa stadyumu 1976 (Architectsjournal, b.t)

Yapısal Özet: Ana çatı toplam olarak 15.000m² PTFE kaplamalı membran ile örtülmektedir. Çatı 220m uzunluğunda ve 50m genişliğinde açıklığı kapsamaktadır. Çatı membranı iki kemer arasında gerilmiş çekmeye çalışan kablo ağı yapısı ile desteklenmektedir. Bu kemerlerin her biri 265m uzunluğunda olup stadyumun kuzey ve güney uçlarında küçük ankraj noktaları ile temele ankre edilmektedir. Ana kemer

yataydan 26° yükselir ve kemerin en yüksek noktası yerden 76m'dir. Diğer kemer yatayla yaptığı açısı 11° iken kemerin yerden en yüksek noktası 32m'dir (Şekil 4.69).

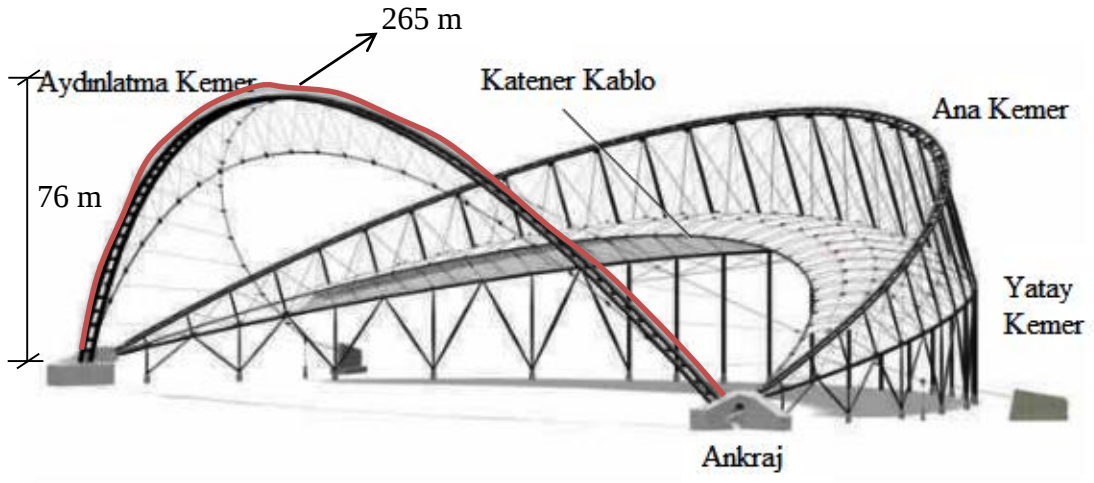
Khalifa stadyumunu aydınlatan kemer, ince ve güçlendirilmiş kablo ağı ile yine 265m uzunluğunda ve temelden 76m yüksekliğindedir (Şekil 4.70). Üst çatı kemeri dikeyde 24° açıyla yükselir ve aydınlatma kemeri ile dik bir açı oluşturmaktadır. Aydınlatma kemeri Asya oyunlarının açılışında ışıklandırma, hoparlörler ve havai fişekleri desteklemek amacıyla tasarlanmıştır (Readbag, b.t).



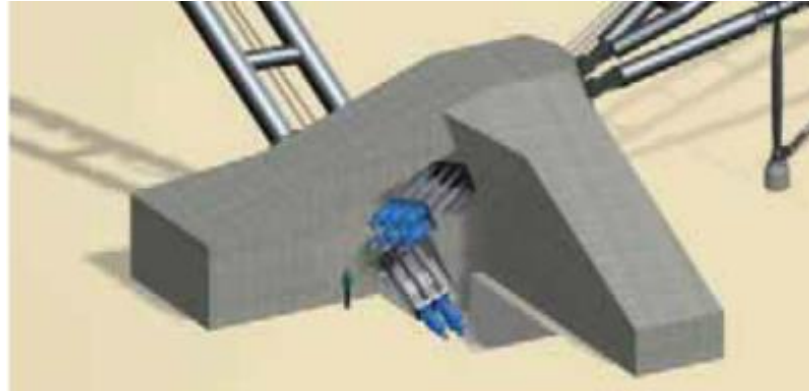
Şekil 4.68 Stadyum çatı görünüşü (Leohoenig, b.t)

Yükleme: Çelik yapı ve kabloları 5°C ile 85°C sıcaklığı aralığı hesaplanarak dizayn edilmiştir. Çatı membranı, çöl iklimindeki Katar'da meydana gelen kum fırtınalarıyla gelen kumların ağırlıkları hesap edilerek tasarlanmıştır. Çevredeki düz araziler belirgin bir rüzgâr yükünü oluşturmaktadır. Arup rüzgâr tüneli laboratuvarı ile çalışmıştır (Readbag, b.t)

Yapısal Sistem: Ana çatı kemeri ve aydınlatma kemeri birbirinden bağımsız yapısal elemanlardır. Kemerler sadece temelde ankraj noktalarında karşılaşmaktadır (Şekil 4.71). Sert yüklere karşı en etkili geometri ve ön gerilme alanını bulabilmek için her iki kemer üzerinde yazılımlar yardımıyla deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.69 Khalifa Stadyumu strüktür yapısı (Readbag, b.t)

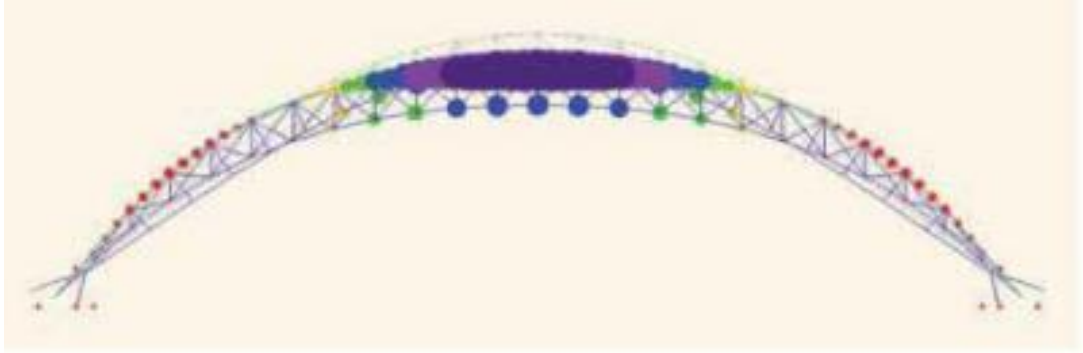


Şekil 4.70 Kuzey betonarme ankraj noktaları (Readbag, b.t)

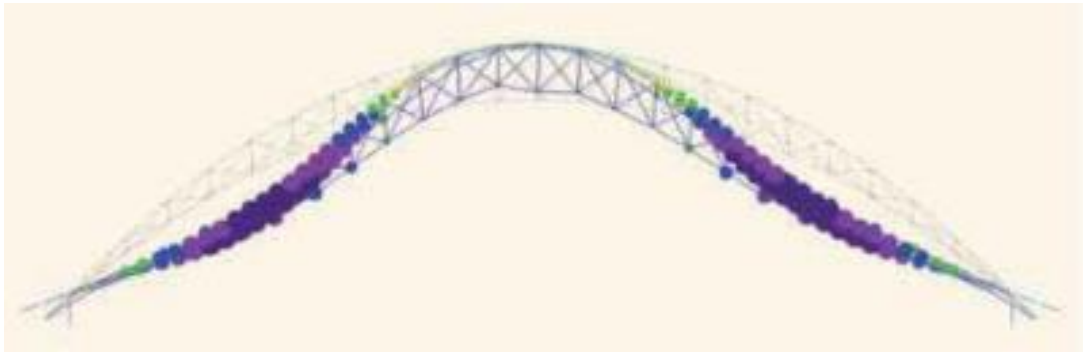
Büyük kemerler içi boş yuvarlak kesitli çelik malzemedendir. 1,1m çapında ve birbirinden 3m uzaklıkta boru kesitli aydınlatma kemeri, ana çatı kemerinde 800mm çapında ve birbirinden 2,4m uzaklıkta çelik borular vierendeel kafes kirişi oluşturmak için birbirine çapraz bağlanmaktadır. Yatay çatı kemeri 900mm çapında tek bir kesitten oluşmaktadır. Kemerler aynı esneme hareketleri ve basınç altında değildir (Readbag, b.t).

Aydınlatma Kemer: Adından da anlaşılacağı gibi bu kemer stadyumun aydınlatması, ışık gösterileri ve hoparlörler için kullanılmaktadır. Uçan çelik kablolar ve kanat çelik kablolar ile taşınarak önemli rüzgâr yüklerine karşı dayanmaktadır. Asılı

yay kiriş kablo düzeneği kemer düzlemi üzerindeki burkulma hareketini denetlemektedir (Şekil 4.72 ve 4.73) (Readbag, b.t).

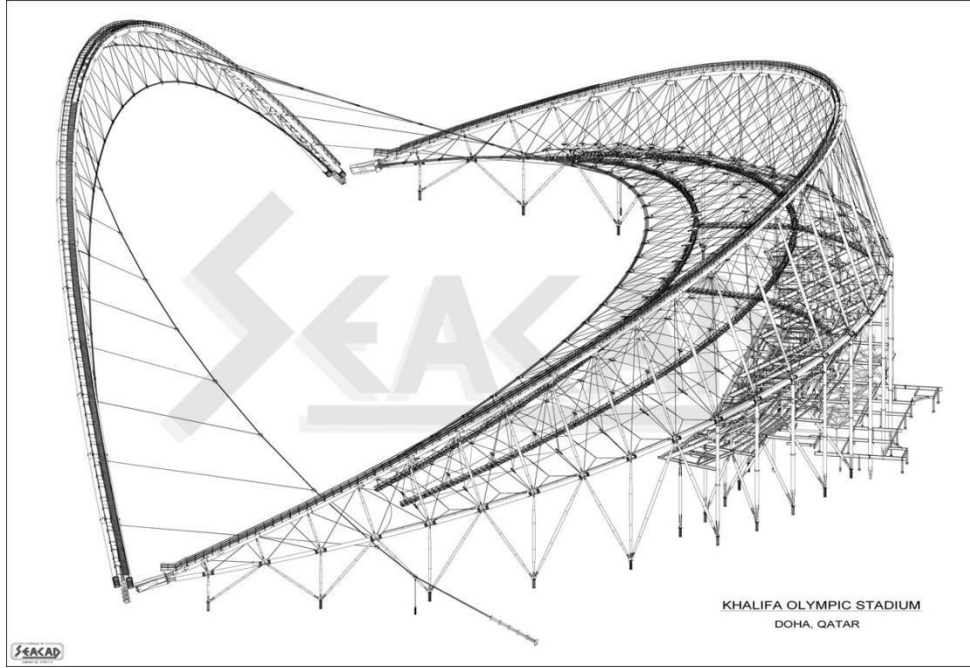


Şekil 4.71 Aydınlatma kemeri-basınç noktası (Readbag, b.t)



Şekil 4.72 Aydınlatma kemeri-itme ve çekme noktaları (Readbag, b.t)

Ana Çatı: Ana çatı da radyal çelik kablo dizisi 9m aralıklarla bir ucu ana zincir eğrisi kabloya diğer ucu ise ana yatay kemere sabitlenmektedir. Kabloların ve ana zincir eğrisi kablosunun geometrisi zincir eğrisi kablosunun gerilmesiyle belirlenmiştir. 18.500 kN kuvvet karşısında kablolarda oluşan çekme ve gerilmeler çatının sert ve rüzgâr yüklerine karşı dayanabilmektedir. Yukarı ve aşağı rüzgâr yüklerindeki varyasyonlar iki kemer arasındaki güçlerin yeniden dağıtılmasını sağladı ve kablo güçleri ve geometrisi üzerinde küçük değişimler yapıldı.



Şekil 4.73 Çatı Strüktürü Aksonometri (Readbag, b.t)

Ana zincir eğrisi ve kemer yapısı uçlarda aynı noktalarda buluşmaktadır. Böylece kemerdeki basınç ve çekme kuvvetleri zincir eğrisi üzerinde önemli bir dışmerkez görevi görmektedir. Zincir eğrisi kablosu kemer strüktürünü dengelemektedir. Kemerler gittikçe incelen dikmeler tarafından desteklenmektedir. X şeklinde macalloy çubukları (gerilmesi yüksek özel donatı çeşidi) dikmelerin aralarına eklenerek stabilitesi artırılmaktadır.

Arup konik biçimli kolonlar için farklı bir metot belirledi. Etkin tasarım için kolonların şekli taşıma kapasitesini tanımlamaktadır. Arup tasarım sürecinin ardından konik biçimli kolonlarda %15 tonajın azaldığını tespit etmiştir.

Detaylar: Mimar tasarımda, stadyumun görsel etkisinin strüktür bağlantılarının görünüşte olması gerektiğine bağlı olduğunu düşünmüştür. Arup bu yüzden tasarımda mimar ile birlikte çalıştı ve bağlantı noktalarını 3D CAD üzerinde belirledi (Şekil 4.74).

3d Çizim: Ana çatı ve aydınlatma kemeri The Bentley adında strüktürel program kullanılarak modellenmiştir. Tasarım, imalat ve inşaat sırasında bu program detaylı bilgi almak için kullanılmıştır. The Bentley programı proje ekibine kilit bağlantı noktalarını ve yapısal mantığı detaylı bir şekilde aktarmak için iyi bir iletişim aracı olmuştur. Arup uygun kuvvetler altında çatının modelini çizdi. Yaptığı çizimler fabrikasyon üretime ve bütün bağlantı detaylarının hazırlanmasına yardımcı olmuştur.



Şekil 4.74 Bağlantı kelepçe detayları (Readbag, b.t)

Kelepçeler: Kabloların kullanımı ve geometrisinden dolayı bu yapıda en önemli bağlantılar kelepçeler ve onların tasarımıdır. Kelepçe bağlantı detayları yanal yük aktarımı görevi görmektedir (Şekil 4.75). Ana çatıda bulunan kelepçeler kablolardan çekme kuvvetini, ana basınç kemerinden ana zincir eğrisi kemerine aktarmaktadır. Asılı kablolardan yük transferi için kelepçelerin toplam boyu 2m'dir. Tasarımın en önemli noktası kelepçe kuvvetidir. Yanal yüklere dayanmak için kelepçelerin hareketi ve kapasitesi önemlidir. Kelepçe kuvveti çok düşük ise, mevcut yük karşısında kelepçe kayacaktır. Kelepçe kuvveti çok yüksek ise, kablolar zarar görebilir. Kelepçe ve kablolar arasında alüminyum yastıklar kullanıldı (Readbag, b.t)

Ana Çatı: Böyle karmaşık bir yapı için ilk olarak çelik kemerler ve konik kolonlar geçici iskeleler kurularak desteklenmiş ve inşa edilmiştir. Geçici iskeleler kaldırıldıktan sonra, kablolar yere bağlandı ve çelik destek yapılarıyla kaldırılmadan önce kablo ağı düzeneği kuruldu. İki kemer ayağına eş zamanlı bir şekilde zincir eğrisi kabloları çekilerek çatı basit bir şekilde taşınmaktadır. Bireysel kablolarda herhangi bir ayarlama olmadı. Kabloların önceden tespit edilmiş uzunlukları ve çatı geometrisi

ana zincir eğrisi üzerinde doğru kuvvet elde edildiğinde, öngerilmeli çatı oluşturuldu. Membran dışarı doğru haddelenmiş ön gerilmeli çatı, sırt ve kenar kablo ağları ile gerilerek çatı yapımı tamamlanmıştır.

Aydınlatma Kemer: Kemer yapısı stabil olması için geçici iskele sistemine bağlı kalmaktaydı. Bu projede Arup geçici kurulan iskeleden ve kemer kaldırma sisteminden sorumlu değildi. Bununla birlikte yapının doğrusal olmayan karmaşık davranışı nedeniyle ekip kemerin ayağa kaldırılması için yüklenici ile çalışmıştır. İlk olarak yay kirişi sembolik kuvvet sağlanarak gerildi ve kemer kitlenip biraz stabilite kazandı. Kanat zincir eğrisi aşamalı olarak çekme kuvveti ile gerildi. Büyük sıcaklık değişimleri böyle bir çöl ortamında kemerin hareket ve davranışını etkileyen en önemli faktördü. Yapı analizi ve yapısal hareketlerin belirlenmesi her bir montaj aşamasında aşırı sıcaklar altında incelenmiştir. Kanat zincir eğrisi kablosu üzerindeki son kuvvet yüksek sıcaklıkta gün ortasında elde edilmiştir. Gerilme sonrasında kemer yatayda ve dikeyde 250mm kadar hareket etmektedir (Şekil 4.76). Sıcaklık değişimlerinde yatayda 200mm dikeyde ise 120mm kadar kemer hareket etmektedir (Readbag, b.t)



Şekil 4.75 Çatı elemanları a) Ana çatı strüktürü, b) Aydınlatma kemer strüktürü (Readbag, b.t)

4.14 Wembley Stadyum

Tablo 4.14 Wembley Stadyumu ile ilgili bilgiler

WEMBLEY STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2007
Yapım Yeri	Londra, İngiltere
Mimari Tasarım	Foster&Partners
Yapı Mühendisi	Mott Stadium Consortium
Yapı Fonksiyonu	Stadyum
Seyirci Kapasitesi	90.000 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	280 m
Yapının Genişliği	250 m
Yapının Yüksekliği	135 m
Geçilen Açıklık	220 m
Örtülen Alan	50.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik basınç çemberi + Uzay kafes kemer
Çatı Malzemesi	Alüminyum ve Polikarbon levha

80 yıllık tarihi boyunca eski Wembley Stadyumu, İngiltere'nin en ünlü spor ve eğlence mekânıydı. 1948 Olimpiyatları, 1966 Dünya Kupası ve 1985'de düzenlenen Live Aid konseri gibi organizasyonlarla insanların kalplerinde ve hafızalarında derin

izler bırakmış bir stadyumdu. Eski Wembley stadı 2003 yılında yıkılmıştır. Bu nedenle zaman zaman Yeni Wembley Stadı olarak da geçmektedir. 90.000 kişilik kapasitesiyle 2007'de yeni Wembley hizmete girmiştir. Wembley Stadyumu, İngiltere'nin en büyük ve millî stadyumudur. Mirasçısı olduğu stadyumun ünü üzerine dünyanın en dinamik stadyumu olma iddiasıyla planlandı. Günümüz teknolojisinin tüm olanakları kullanılarak Wembley Stadyumu 2007 yılında Londra, İngiltere'de inşa edilmiştir (Şekil 4.77). Mimar Foster&Partners tarafından tasarlanmıştır.

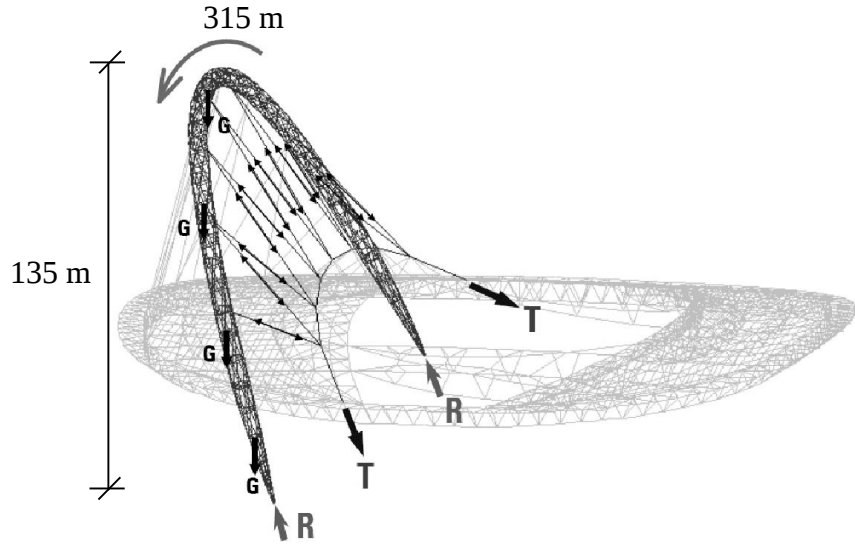


Şekil 4.76 Wembley Stadyumu (Londontown, b.t)

Stadyum hizmetleri, özellikle seyirci oturma alanlarında artırılan genişlik ve kalite düşünüldüğünde, seyircilerin en yüksek konfor ve zevk düzeyine erişmesi hedefiyle planlanmıştır. Örneğin tekerlekli sandalyeler için ayrılmış yer 100 cm'den 310 cm'ye çıkarılmıştır. Ayrı ayrı dört tribün yerine bütüncül bir form içinde tasarlanan tribün geometrisi, tribünlerin üç katından da engelsiz bir seyir olanağı ve görüş açısı sağlamaktadır. Etkili bir maç atmosferi sağlamak için seyircilerden çıkacak ses düzeyini artırıcı akustik düzenlemelere özellikle önem verilmiştir. Asıl olarak futbol, rugby ve konserler için tasarlanmış olan yeni Wembley, bir platformun eklenmesiyle uluslararası atletizm etkinliklerinin gerçekleşmesine de olanak tanımaktadır. Bu platformun eklenmesiyle stadyumun kapasitesi 67.000 kişiye düşmektedir.

Konsept aşamasında eski stadyumun ünlü ikiz beyaz kulelerinin yerini alacak simge için özel bir mesai harcanmıştır. Londra'nın silüetine yaptığı ikonik katkıyla öne çıkan 133 metre yüksekliğinde çelik kemer bulunmaktadır (Şekil 4.78). Stadyum çevresi 1 km uzunluktadır. Oturma yerleri başlangıcından bitimine toplamda 54 km'dir. Yeni stadyumun inşaatında 90.000 m³ betonarme ve 23.000 ton çelik malzeme kullanılmıştır. Duvarlar ve çatı altında stadyum 4 milyon m³ alanı kapsamaktadır. Temel kazıklarının toplam sayısı 4 bin adettir ve çapları 0,45-1,5 metre arasında değişmektedir. Uzunlukları 45 metredir.

Kemer: 280m x 250m boyutlarındaki yapının üst örtüsünü oluşturan tüm taşıyıcı sistem elemanları, 7,4 m çapında, 135m yüksekliğindeki 315m açıklık geçen kafes gövdeli kemer ve bu kemere bağlanan kablolar tarafından taşınmaktadır (Şekil 4.78). Dünyadaki en uzun geçilen bu kemerin geçtiği mesafe 3 futbol sahası uzunluğundadır. Kemer yapısı 500 çelik boru malzemesinden yapılmıştır. Çelikler 457mm çapında daire kesitli ve 300mm kutu kesitlidir. Yüke bağlı olarak kemerdeki kirişlerin kalınlığı 10-60mm arasında değişmektedir. 300m uzunluğunda ve 120mm çapında çift zincir eğrisi kabloları kemerin stabilitesini sağlamaktadır. Her biri 20,5m olan 13 adet modülden meydana gelmiştir. 35m temel derinliğine sahip iki mafsallı kafes gövdeli kemer (Şekil 4.79), 41 adet çelik halka ve bu halkalar etrafında spiral bağlanan 13 boru kesitli profil ile oluşturulmuştur. Kablolar da halka ve profillerin kesiştiği kısımlara bağlanmıştır. Makas strüktürün kendi ağırlığı 1.750 ton ve toplam çekme gücü 12 tondur. Kemer strüktür 7.000 tondur. Çatının ağırlığını %60 oranında desteklemektedir. Kemerin yatayla yaptığı açı 68 derecedir.



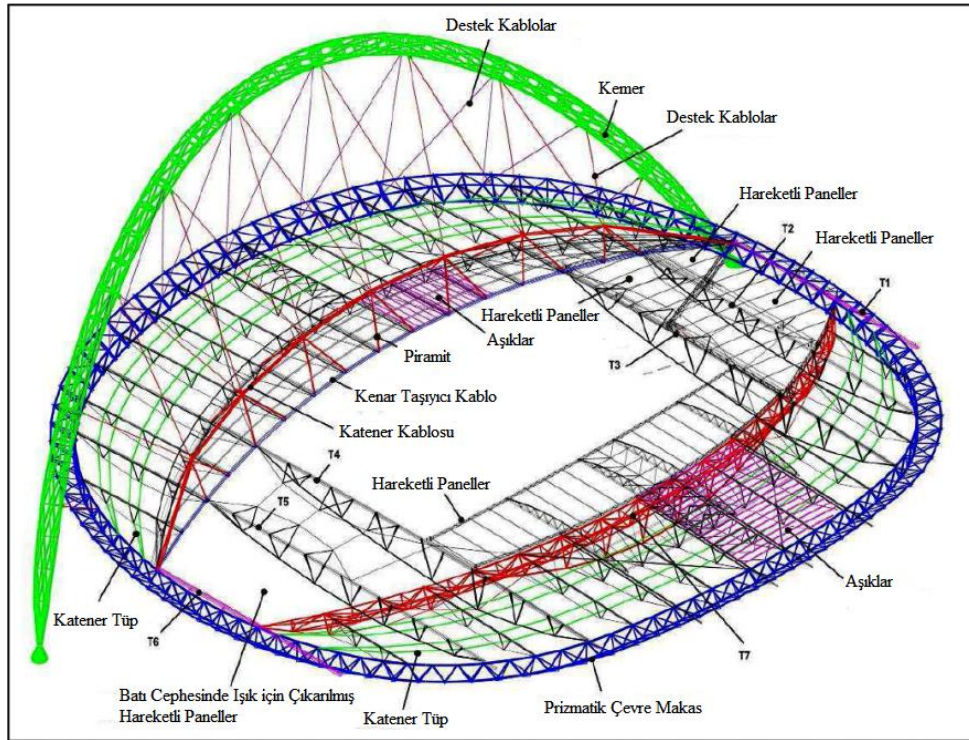
Şekil 4.77 Kemer ve kablo ağı öngerilme sistemi (Moreadesign, 2010)



Şekil 4.78 Çatı makas parçası (Moreadesign, 2010)

Çatı: 7 bin tonluk çelik çatı kolonlara gereksinim duyulmadan taşınmaktadır (Şekil 4.80). Çatı panellerinin bazı kısımları çimin iyi havalanabilmesi ve yeterince ışık alabilmesi için hareketli olarak tasarlanmıştır. Etkinlikler arasında geçen sürede bu bölümlerin açık tutulması, etkinlik günleri ise seyircilerin tamamını hava şartlarından koruyacak şekilde örtülmesi öngörülmüştür. Temelden 52 metre yükselmektedir. Çatı, oyun alanını kapatmayacak şekilde tasarlanmıştır. Açılır kapanır çatı 7 ayrı çatı panelleri tarafından oluşmaktadır. Güney yöne doğru toplamda 15.000m² paralel hareket etmektedir. Paneller birbirlerinin üstüne kapanarak çatı tamamen açık pozisyonda olmaktadır. Kuzey ve güney çatıları desteklemek için kuzey yöndeki

strüktürel etkili çatı için, stadyum oturma alanının tüm genişliğini kapsayan zarif ve strüktürel açıdan etkin kemer çözüm olmuştur. Güney sabit çatı üzerinde büyük merkezi çatı paneli çıkmaları bulunmaktadır. Stadyumun doğu ve batı ucunda 3 adet panel bulunur ve içinde 2 adet alt paneller vardır. Büyük üst panel altına kayarak kapanacak olan çatı stadyum çevresi dışına taşmamaktadır. Bilgisayar modellemesinde hava hareketi ve çatıdan alınan güneş ışığı deneylerle tespit edilmiştir. Çatının açılma süresi 15 dakikadır (Issuu, b.t).



Şekil 4.79 Çatı strüktürü (Moreadesign, 2010)

4.15 Green Point Stadyumu

Tablo 4.15 Green Point Stadyumu ile ilgili bilgiler

GREEN POINT STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2009
Yapım Yeri	Cape Town, Güney Afrika
Mimari Tasarım	GMP Mimarlık, Louis Karol ve Point Mimarlık
Yapı Mühendisi	Von Gerkan, Marg& Partners
Yapı Fonksiyonu	Stadyum
Seyirci Kapasitesi	68.000 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	290 m
Yapının Genişliği	265 m
Yapının Yüksekliği	48 m
Geçilen Açıklık	58 m
Örtülen Alan	37.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik basınç çemberi + İç ve dış çemberli kablo ağı
Çatı Malzemesi	PVC Membran + Cam

Green Point Stadyumu, denize sıfır durumdaki eski bir golf sahası üzerine inşa edilmiştir. Şehir merkezine yürüme mesafesinde bulunan stadyum, ayrıca şehirdeki önemli etkinlikler ve konserler için de kullanılmaktadır. Green Point Stadyumu, 2010 Dünya Kupası için Cape Town'da yapılmış yeni bir stadır. Plan aşamasında bu stadın

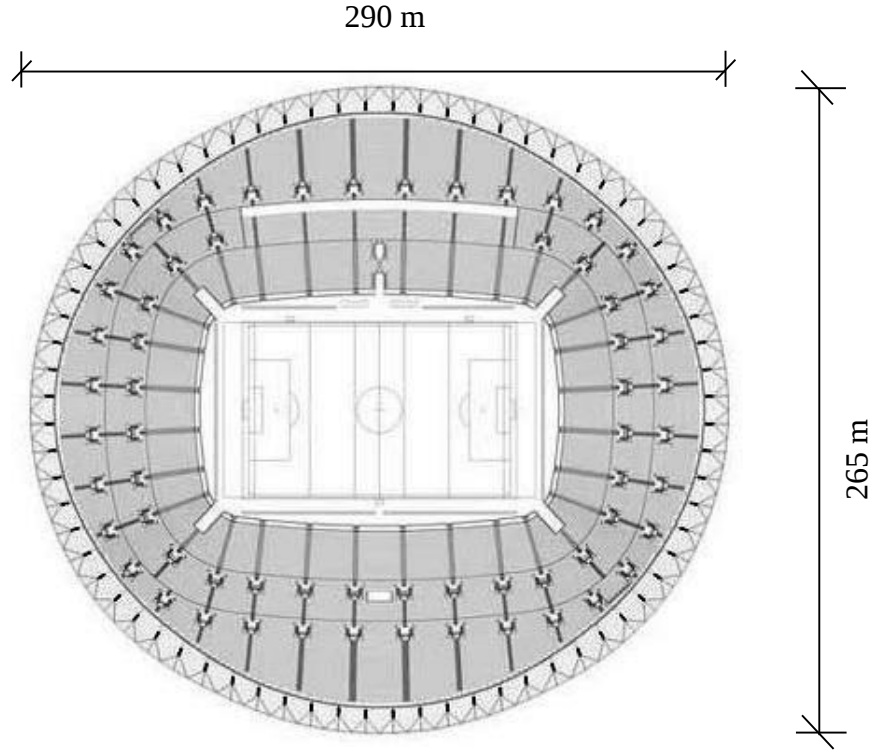
ismi aynı yerdeki stadın ismi yüzünden Green Point Stadı yani Yeşil Nokta Stadı olarak bilinmektedir. Eski stat 18.000 kişilik olup Dünya Kupası için yetersiz bulunmuştur. Bu yüzden stadı yıkıp yenisinin yapılmasına karar verilmiştir (Cesur, 2012). İnşa edildiği alanda daha önceden var olan stadyum yıkılmış ancak atıkların %95'i kurtarılaraq dönüştürülmüş ya da yeniden kullanılmıştır. Kullanılan dolgu malzemeleri %50 geri dönüştürülebilmektedir. Green Point Stadyumunun inşaatı 2007 yılının mart ayında başlamıştır ve 33 ay sürmüştür. 2009 yılında da inşaatı tamamlanmıştır. Alman GMP Mimarlık ve yerel firmalar olan Louis Karol-Point Mimarlık projenin mimarlarıdır. 68.000 oturma kapasiteli stadyum, Güney Afrika'nın Cape Town şehrinde bulunmaktadır (Birdair, b.t).

2010 Dünya Kupası için inşa edilen stadyumda yağmur suyunun tekrar kullanımı sağlanmakta ve çevresindeki ırmaklardan su kullanılmaktadır. Dış cephenin membran sistemi, hava koşullarına göre değişerek iç mekânda ihtiyaç duyulan ışık ve ısı miktarını dengelemektedir (Şekil 4.81).

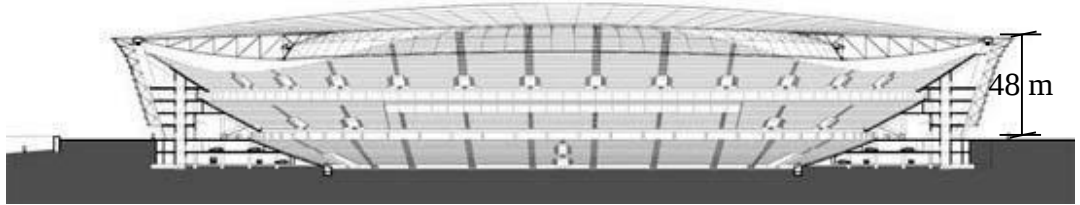


Şekil 4.80 Green Point Stadyumu detay kesiti (Capetown, b.t)

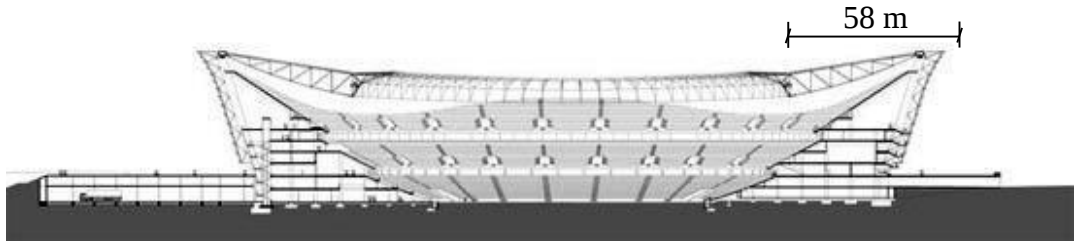
Stadyum 290 m uzunluğunda ve 265 m genişliğindedir (Şekil 4.82). Yapının sıfır kotundan yüksekliği 48 m'dir (Şekil 4.83). 96.000 m³ betonarme malzeme kullanılmıştır. Çatının toplam ağırlığı 4.700 tondur. Çatının 37.000 m²'si 9.000 adet cam panel ile kapatılmıştır. Taşıyıcı kolon olmadan geçilen açıklık 58 metredir (Şekil 4.84).



Şekil 4.81 Green Point Stadyum planı (Naidoo, 2010)



Şekil 4.82 Green Point Stadyumu cephe-kesit (Naidoo, 2010)



Şekil 4.83 Green Point Stadyumu cephe-kesit (Naidoo, 2010)

4.16 Moses Mabhida Stadyumu

Tablo 4.16 Moses Mabhida Stadyumu ile ilgili bilgiler

MOSES MABHIDA STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2009
Yapım Yeri	Durban, Güney Afrika
Mimari Tasarım	Volkwin Marg, Hubert Nienhoff ve Holger Betz
Yapı Mühendisi	Schlaich Bergermann
Yapı Fonksiyonu	Stadyum
Seyirci Kapasitesi	70.000 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	320 m
Yapının Genişliği	280 m
Yapının Yüksekliği	106 m
Geçilen Açıklık	290 m
Örtülen Alan	46.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik kemer + Kablo sistem
Çatı Kaplaması	PTFE membran

Durban'daki Moses Mabhida Stadyumu, 2010 Dünya Kupası'nda kullanılmak için yapılmış olan son teknolojiyle donatılmış, çok işlevli, kullanım ve bakım kolaylığına sahip bir stadyumdur. Çok amaçlı bir spor kompleksi olarak tasarlanan stat, Durban

şehrinin aynı anda birden fazla Olimpik disipline ev sahipliği yapma olanağına sahiptir (Cesur, 2012).

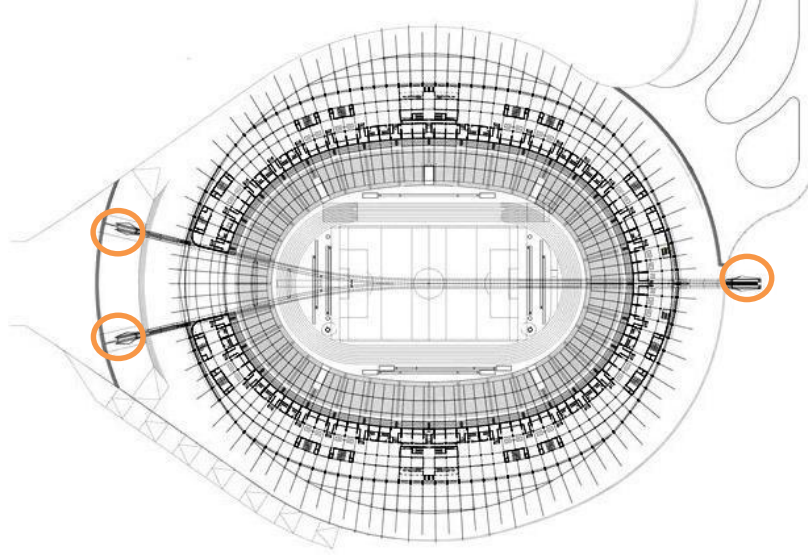
2006 yılında yapımına başlanmış 2009'da Güney Afrika Cumhuriyeti'nin Durban kentine inşa edilen Moses Mabhida Stadyumu 70.000 seyirci kapasitesine sahiptir. Stadyumun tasarımcıları Volkwin Marg, Hubert Nienhoff ve Holger Betz'dir. Stadyumun kendine özgü yönlerinden biri, boydan boya stadyumun üzerinden geçen ve "Zafer Arkı" adı verilen kemerdur. 106 metre yüksekliğe ulaşan dev kemeri (Şekil 4.88) ile Hint Okyanusu kıyısında yer alan yapı, kentin simgesi haline gelmiştir. Güney Afrika bayrağı gibi Y şeklinde tasarlanmıştır. Şehrin temel turistik atraksiyonlarından biri olan kemeri özel bir teleferik sistemiyle ziyaret etmek ve manzarayı izlenmek mümkündür. Uzunluğu 350 metre olan kemerin (Şekil 4.87) toplam ağırlığı ise 2.850 tondur. Stadyumun saha alanı 92.300 m²'dir. Stadyumun ölçüleri 280m genişliğinde ve 320m uzunluğundadır. Çatı strüktür ve tasarımı Schlaich Bergermann ve ekibi tarafından yapılmıştır.

Yapının formunu belirleyen ve girişini oluşturan dev kemer, çelik halatlarla üzerine asılan membran çatının taşıyıcısı durumundadır. Akustik özellikteki PTFE membrandan yapılan üst örtüsü 46.000 m² alan sahiptir, gün ışığını yarı yarıya geçirerek seyirci konforunu artırmakta ve oyun alanında gölge oluşturmamaktadır. Stadyumun cephesinden metal profillerle çatının dış kısmına uzanan perfore metal örtü ise, stadyumda ışığın ve havanın serbestçe dolaşımını sağlayarak stadyumun çevresini sarmaktadır. Çatı alanı 39.000 m²'dir.

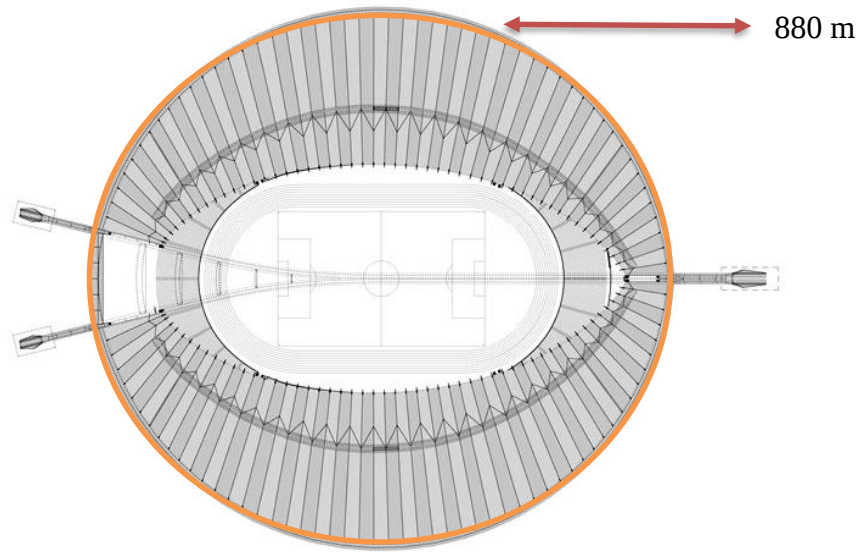
Yağmur suyu biriktirme, geri dönüşüm sistemleri, su tasarrufu sağlayan teknoloji kullanımı, peyzajda %80 yerli bitki kullanımı, akıllı sulama gibi çevreci önlemlerin yanı sıra stadyumun konumlandırılmasıyla toplu taşıma teşvik etmektedir (Tetik, 2014).

Farklı bölümlerde toplamda 1.750 adet kolon vardır. Çatıda 95mm çapında çelik kablolar kullanılmıştır. 30 kat yüksekliğindeki olan çelik Kemer kutu kesitli 5m*5m

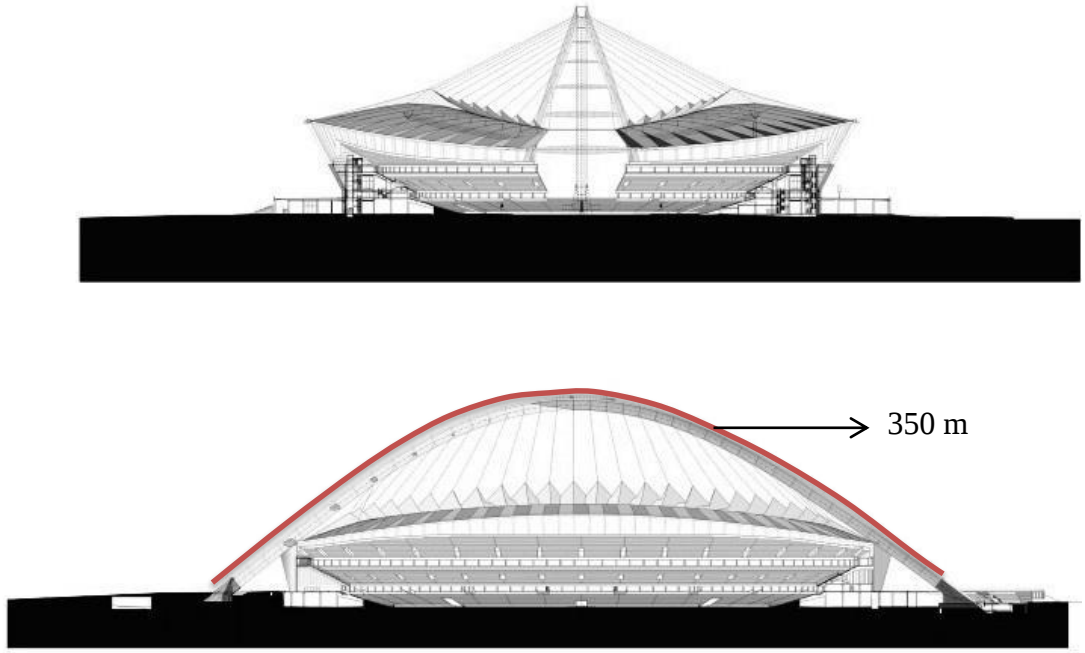
ölçülerindedir. Stadyumun oturma kapasitesi 56.000 kişilik iken FIFA Dünya Kupası için 70.000 kişiye çıkarılmıştır. Temeli uzatılmış dikdörtgen şeklinde 800mm kalınlığında betonarme perde duvardan yapılmıştır (Şekil 4.86). Kemerin iki ayağı 30x4m ve tek ayağı 44x7m ölçülerinde betonarmeye ankrajlanmıştır (Şekil 4.85). Stadyum, dev kemerine monte edilen LED aydınlatma elemanlarıyla ve çatının altına monte edilen projektörlerle dikkat çekmektedir.



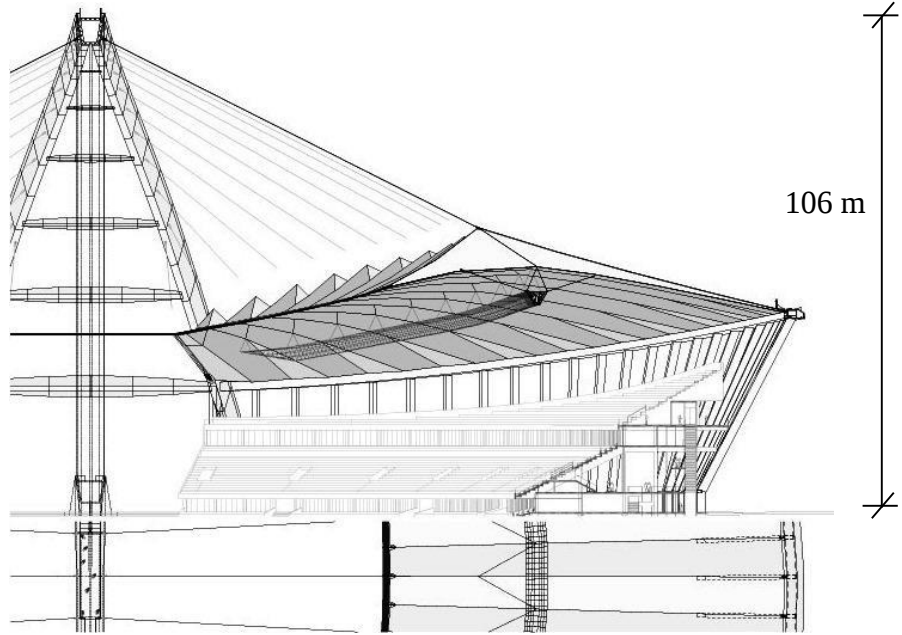
Şekil 4.84 Moses Mabhida Stadyum planı (Arqa, b.t)



Şekil 4.85 Moses Mabhida Stadyum çatı planı (Arqa, b.t)



Şekil 4.86 Moses Mabhida Stadyumu görünüşler (Arqa, b.t)



Şekil 4.87 Moses Mabhida Stadyum sistem detayı (Silva, 2010)

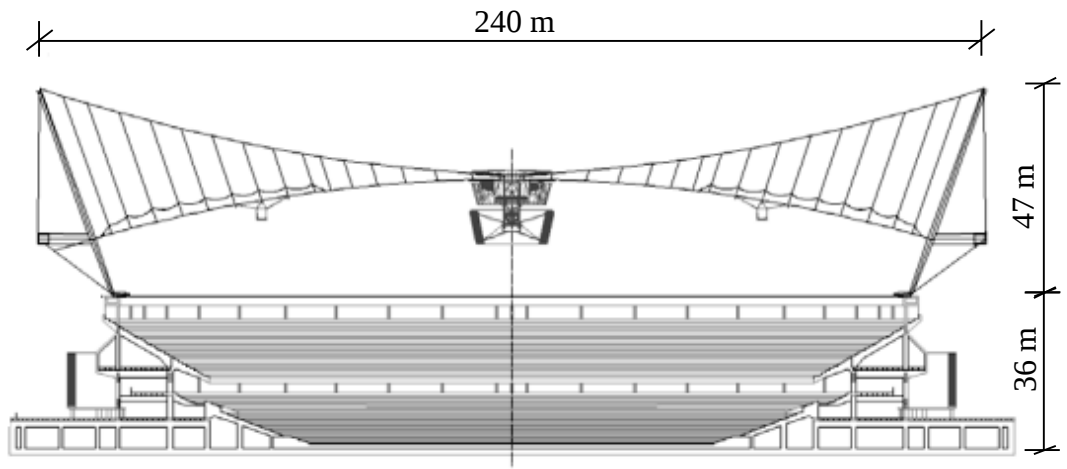
4.17 BC Place Stadyumu

Tablo 4.17 Bc Place Stadyumu ile ilgili bilgiler

BC PLACE STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2010
Yapım Yeri	Vancouver, Kanada
Mimari Tasarım	Stantec
Yapı Mühendisi	Geiger Engineers (David Campbell)
Yapı Fonksiyonu	Stadyum
Seyirci Kapasitesi	56.000 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	261 m
Yapının Genişliği	220 m
Yapının Yüksekliği	36 m
Geçilen Açıklık	240 m
Örtülen Alan	41.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik pilon + İç ve dış çemberli kablo ağı
Çatı Kaplaması	PTFE ve ETFE membran

BC Place Stadyumu ilk olarak 1982 yılında inşa edilmiştir. 2010 yılında Stantec Mimarlık tarafından çatısı tekrardan tasarlanmış ve yenilenmiştir. Yapının mühendisliğini Geiger mühendislik firması üstlenmiştir. Stadyumun ölçüleri 261 m uzunluğunda ve 220 m genişliğindedir. 41.000m² çatı alanına sahiptir. Çatı strüktür

tasarımı Geiger Gossen Hamilton Campbell Mühendisleri ve proje danışmanı Schlaich Bergermann tarafından yapılmıştır. BC Place Stadyumu betonarme bir yapıdır. Döşeme betonu deniz seviyesinden 3 m yüksekliğindedir. Radyal kabloların gerilmesiyle oluşan çatı strüktürünün üzeri membran ile kaplanmıştır. Radyal kabloları destekleyen ve kabloların bağlandığı 36 adet çelik pylon bulunmaktadır. Her biri yaklaşık 47 m yüksekliğinde ve 120 ton ağırlığındadır. Çelik pylonlar arasında en büyük açıklık 240 m uzunluğundadır (Şekil 4.89) (Bclions, b.t).



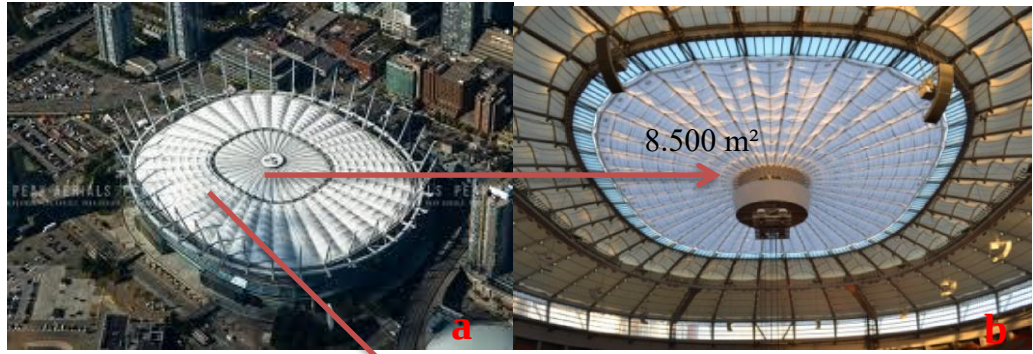
Şekil 4.88 BC Place stadyumu boyutları (Rezai, 2012)

Açılır kapanır çatı orta kısımda 8.500 m^2 yi kaplamaktadır. Sahadaki alanın tamamı $100\text{m} \times 85\text{m}$ boyutunda üstü açılmaktadır. 12,7 cm çapında toplamda 35 km uzunluğa sahip kabloların kullanıldığı dünyanın en büyük kablo destekli açılır kapanır çatı sistemidir. Büyük çelik kablo ağı merkez düğüm noktasında açılır kapanır çatıyı çalıştırmaktadır. Çatı 15 – 20 dakika arasında açılıp kapanmaktadır. Dış sabit çatı 32.500 m^2 'dir ve PTFE cam malzeme ile kapatılmıştır. Çatı membranın sabit kısmı PTFE membran malzemesi ile kaplanmıştır. %40 ışık geçirgenliğine sahiptir. Şişirilmiş her birim 105 m^3 hava ile doludur (Şekil 4.92). Stadyum cephesinde 1.700 adet ETFE membran malzeme kullanılmıştır. Üst örtüsü 3 sistemden oluşmaktadır.

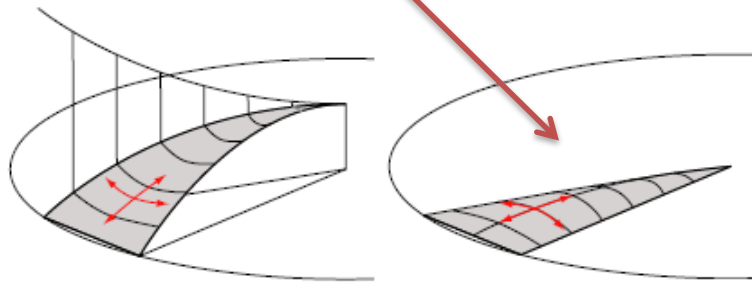
Vancouver bölgesinde metrekareye düşen 200 kg ağırlığındaki kar yükünü dengelemek ve taşımak için, çatı sisteminde başınca çalışan bir dış halka ve çekmeye çalışan bir iç halka oluşturulmuştur. Bu çatı sistemi, toplamda 7 milyon kilogram

ağırlığında kar yükünü taşıyabilmektedir. Çatı, sabit membranın yanı sıra radyal olarak açılan ve geri çekilebilen membran içermektedir. Çatının sabit bölümünde 32.500 m² PTFE membran kullanılmıştır. Hareketli bölümünde ise 8.500 m² ETFE membran kullanılmıştır. Çatı çevresindeki cephede 11 m yükseklikte 9.500 m² ETFE membran kullanılmıştır (Şekil 4.90 ve 4.91). Bu membran, şeffaf yapısı ile mimari görünüm ve iç ışık koşullarını iyileştirmektedir. Bireysel cephe malzemeleri birbirinden bağımsız olarak farklı renklerde aydınlatılabilmektedir (Sbp, b.t).

Hareketli çatı sistemi için 18.000 ton ağırlığında çelik malzeme kullanılmıştır. Çelik pilonlar arası boşluklarda kullanılan kablolar 90mm çapındadır. Toplamda 35km çelik kablo kullanılmıştır. Çelik kablolar ile membran ağırlığı 7.000 tondur.



Şekil 4.89 BC Place Stadyumu çatı membranı a) Çatı membranı kapalı, b) Stadyum içerisinden kapalı çatı görünüşü (Sbp, 2011)



Şekil 4.90 Radyal kablo arasında membranın yük dağılımı (Sbp, 2011)

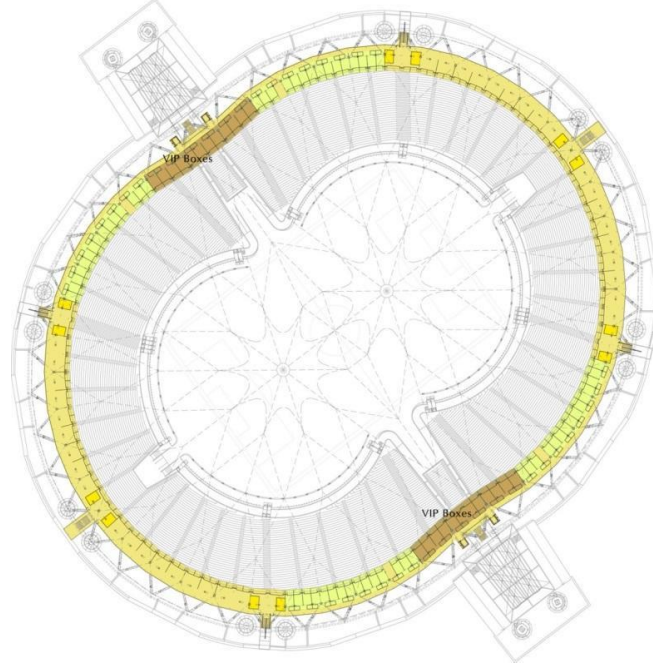
4.18 La Plata Stadyumu

Tablo 4.18 La Plata Stadyumu ile ilgili bilgiler

LA PLATA STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2011
Yapım Yeri	La Plata, Buenos Aires, Arjantin
Mimari Tasarım	Roberto Ferreira
Yapı Mühendisi	Weidlinger and Associates
Yapı Fonksiyonu	Stadyum
Seyirci Kapasitesi	53.000 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	240 m
Yapının Genişliği	180 m
Yapının Yüksekliği	61 m
Geçilen Açıklık	238,06 m
Örtülen Alan	29.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik basınç çemberi + İç ve dış çemberli kablo ağı + Tensegrity
Çatı Malzemesi	PTFE membran

La Plata Stadyumu elips formda çatısı olmadan ilk olarak 2003 yılında inşa edilmiştir ve 53.000 kişi kapasitelidir. Mimar Roberto Ferreira çatı yapısında iki daireyi, stadyumun kullanımını paylaşan iki futbol takımını temsilen tasarlamıştır. La

Plata Stadyumu, Arjantin’de yer almaktadır. Yeni çatı tasarımı 2011 yılında inşa edilmiştir.



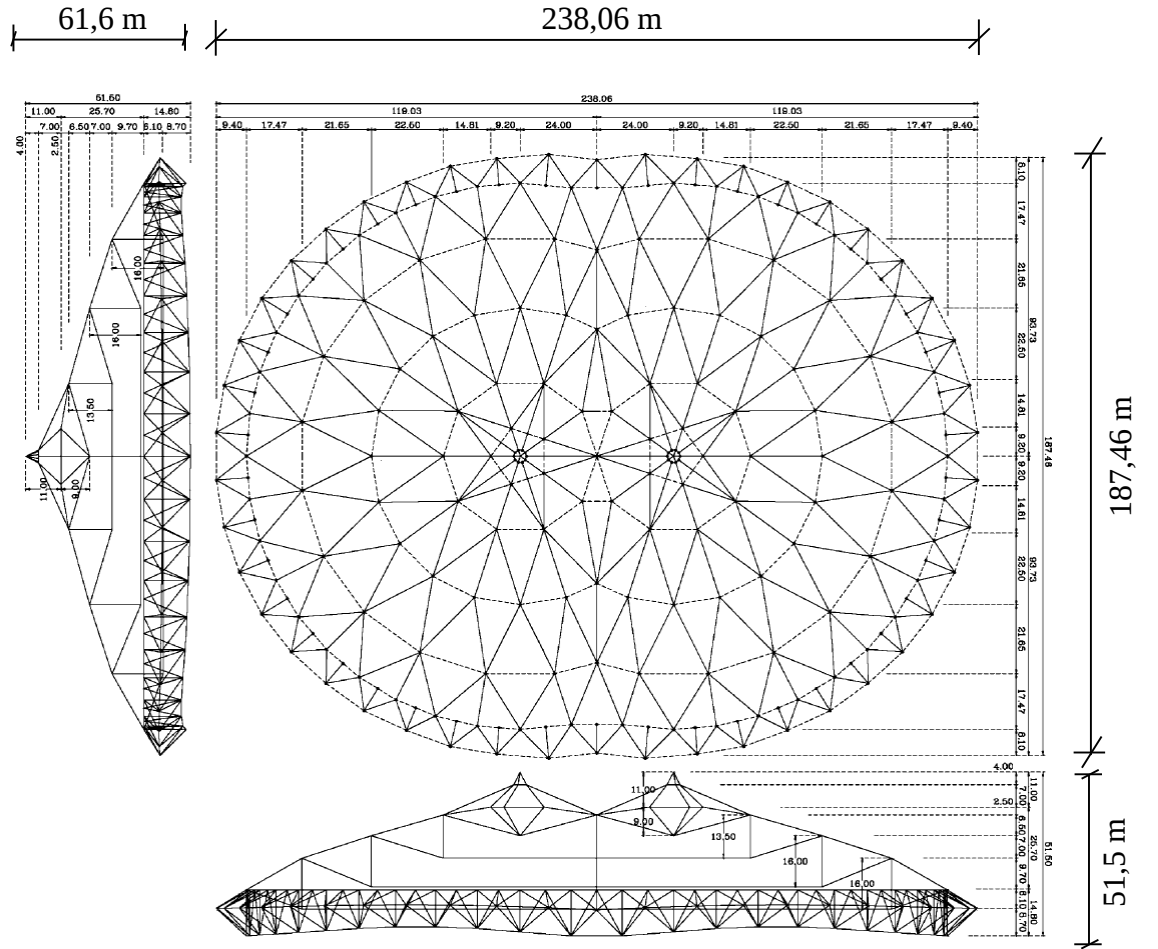
Şekil 4.91 Stadyum planı (Archdaily, 2011)

240m x 180m boyutlarındaki elips biçimli yapı, stadyum olarak tasarlanmıştır (Şekil, 4.92). İki daire planının kesişimi ile kurgulanan geometriye sahip yapıda çift kubbeli olarak uygulanan taşıyıcı sistem, yapının geometrisine uygun olarak düzenlenen uzay kafes kiriş ve bu sınırlar içerisinde yer alan kablo sistem kubbe ile oluşturulmuştur. Kablolı sistem kubbeler, yine yapının geometrisine uygun biçimde ve 3 farklı kademedede bulunan kasnak çemberler arasında yerleştirilen dikmeler ve diyagonal kablolar ile kubbenin tepe noktası ve basınç çemberi arasındaki rijit kablolardan oluşmaktadır.

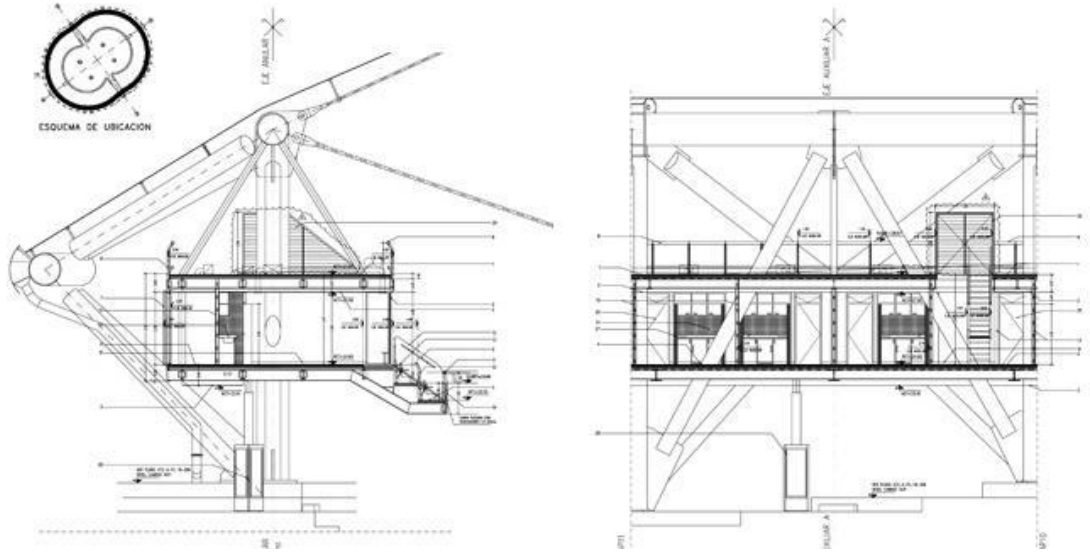
Çatı planını oluşturan 85 m yarıçapı olan iki çemberin merkezleri arasındaki mesafe 48 metredir. Bununla birlikte 130 m çapında açılabilir merkezi çatı strüktürü oluşmaktadır. Çatının çevresi etrafında basınç çemberi oluşturan üçgen çelik kafes 9 m genişliğinde ve 13 m yüksekliğindedir. 29.000 m² yüzey alanı olan çatıda yüksek ısıtım iletimi sağlayan PTFE membran kullanılmıştır. Yalnızca membranın ağırlığı

toplam 27 tondur. Ana çatı strüktüründe çelik kablolar üç farklı şekilde kullanılmıştır. Dikey kolonlar, diyagonal kablolar ve sırt kablolardan oluşmaktadır (Şekil 4.93). Kabloların ağırlığı 500 ton ve basınç çemberi oluşturan çelik kafes kirişin ağırlığı 3.000 tondur. Çatı sistemindeki kablolar 800 ton olmak üzere toplam çatı sisteminin ağırlığı 4.327 tondur (Şekil 4.94 ve 4.95).

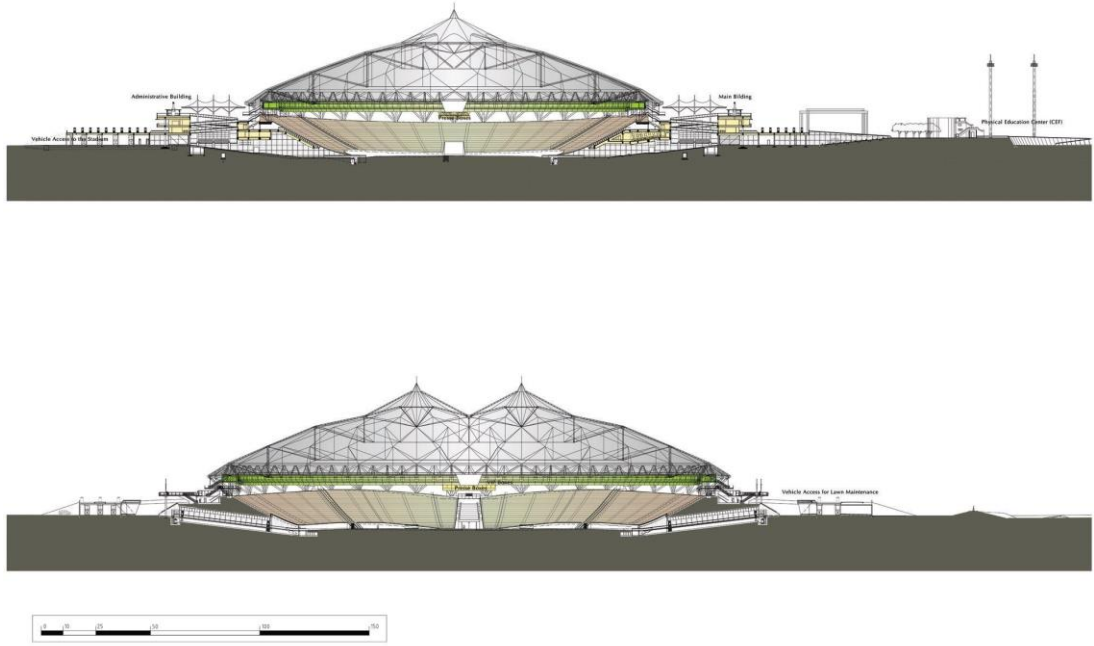
Membran, -75°C ile $+232^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa, UV ışınlarına dayanımı yüksek, su geçirmez ve alev dayanıklıdır. Güney Amerika’da ki PTFE membran kullanılan ilk stadyumdur (Birdair, 2011). %25 yarı saydam özellikte olan membran, doğal çim alanını beslemek için yeteri kadar gün ışığını sahaya almaktadır.



Şekil 4.92 Çatı strüktür detayı (Birdair, 2011)



Şekil 4.93 Taşıyıcı sistem detayı (Birdair, 2011)



Şekil 4.94 Stadyumun görüşleri (Archdaily, 2011)

4.19 Lee Valley Velodrome

Tablo 4.19 Lee Valley Velodrome ile ilgili bilgiler

LEE VALLEY VELODROME	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2012
Yapım Yeri	İngiltere
Mimari Tasarım	Hopkins Architects
Yapı Mühendisi	Expedition Engineering
Yapı Fonksiyonu	Olimpik ve Paralimpik Bisiklet Sporları
Seyirci Kapasitesi	6.000 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	129 m
Yapının Genişliği	120 m
Yapının Yüksekliği	22 m
Geçilen Açıklık	136,5 m
Örtülen Alan	12.000 m ²
Çatı Strüktürü	Çelik kafes sistem + Kablo ağı
Çatı Kaplaması	Ahşap kaset panel + PTFE membran
Sarkma Oranı	12 m

Lee Valley Velodrome, İngiltere’de yer almaktadır. Hopkins mimarlık tarafından tasarımı yapılmıştır. ISG mühendislik tarafından 2012 yılında inşa edilmiştir. 250m

açıklığındaki yapı Olimpik ve Paralimpik kapalı bisiklet etkinlikleri için tasarlanmıştır. 6.000 kişilik oturma kapasitesine sahiptir.

Taşıyıcı sistem, hiperbolik parabolit şeklindeki çelik kafes sistemden oluşmaktadır. 12.000m²'lik alana sahip olan üst örtüsü, yapıyı çevreleyen kavisli çelik çerçeve arasındaki çift kabloların gerilmesiyle oluşturulmuştur. Temelinde 26m derine kadar kazıklar bulunmaktadır. Velodromun çatı yapısı kablo ağından oluşmaktadır. Çelik kablolar büyük kablo ağı çatı formunu oluşturmaktadır. Çekmeye çalışan kablolar ile çift eğrilikli geometriye sahiptir. Çatı en düşük noktadan 12m yükseliyor (Şekil 4.98). Toplamda çatıda 16km çelik kablo kullanılmıştır. Tek başına ağırlığı 1.000 tondur. Metrekare başına düşen kablo ağırlığı 30 kg'dır. Çatının membran ile birlikte toplam ağırlığı 70 kg/m²'dir. Sadece 1.000 ton ağırlığında olan kablo ağı, çelik kemerlere göre% 27 daha az çelik kullanmaktadır. Galvanizli çelik kabloların çapı 36mm'dir. Kablolar arasında 3,6m aralıklarla düğüm noktaları bulunmaktadır. Geçilen en uzun açıklık 136,5 m'dir. 1090 adet ahşap kasetler ile kablo ağı çatı strüktürü kaplanmıştır. Hepsi kablo ağında harekete izin vermek ve bunu belirli yönlerde kısıtlamak için dikkatlice detaylandırılmıştır. Geçici su geçirmez katmanın üzerine bir buhar kontrol tabakası konulmuş, ardından 300 mm yalıtım yapılmıştır. Çatının su geçirmezliği sağlanmaktadır. Çatıda düzenlenen ışıklıklar ile gün ışığından yararlanılmakta, cephede düzenlenen boşluklarla da havalandırma sağlanmaktadır (Şekil 4.103) (The Structurel Engineer, 2012).

Ahşap Kaset Panel: Ahşap çatı kaset sistemi (Şekil 4.96) fabrikalarda hazırlanmaktadır. Birçok tür yapım sistemine uygun olarak üretilmektedir. Standart ahşap kasetler fabrikada dış kaplaması ile birlikte yapılıp, inşaat sahasına teslim edilmektedir. Projesine göre farklı ölçülerde yapılan ahşap kasetler bağlantı elemanları ile monte edilmektedir. Masif ahşaplardan meydana gelen kaset sistemlerinde ahşaplar %3 oranında nem içermektedir. Ahşabın sağlığı ve dayanımı için buhar bariyerleri bulunmaktadır. Yangına dayanıklı ve su geçirmez özelliktedirler. Saha atığı olmayan montaj kolaylığı ve hızlı olan bir sistemdir.



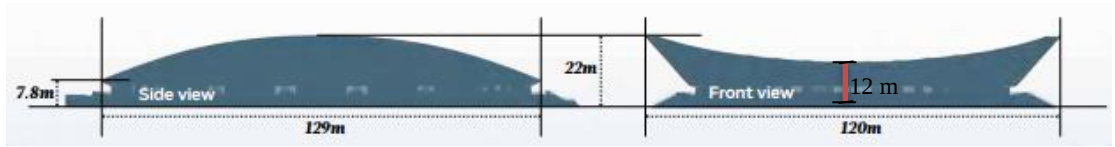
Şekil 4.95 Ahşap kaset panel (Roof and wall cassettes, b.t)

Ahşap kaset sisteminin katmanları incelendiğinde içerisinde OSB, yalıtım malzemeleri (cam yünü, taş yünü vb.), çelik malzeme ile montaj elemanları, iki yönde kiriş dizilimleri ve açık hava boşluklarını kapatmak için keçeler bulunmaktadır. Ahşap kaset sistemler PVC, TPO ve EPDM membranlar, bitümlü su yalıtımı ve oluklu çelik ya da alüminyum çatı kaplama ile birlikte kullanılması mümkündür. Yüke bağlı olarak kalınlıkları değişmektedir (160mm – 280mm) (Şekil 4.97) (Roof and Wall Cassettes, b.t).

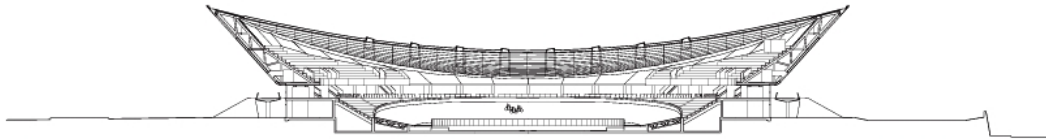


Şekil 4.96 Kablo ağı + ahşap kaset panel (The structurel engineer, 2012)

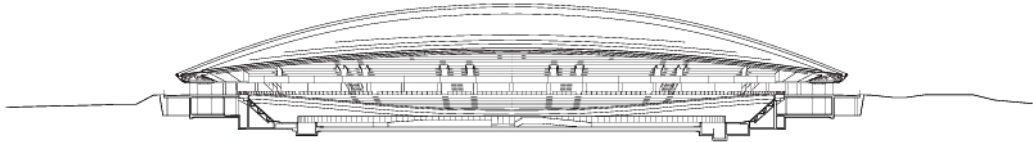
Yapının cephesi 5.000m² Western Red Cedar levhaları ile kaplanmıştır. Üst katman ve çatı arasındaki boşluğu kapatmak için her iki tarafında PVC kaplı bir polyester kumaş kullanıldı, yüksek dayanıklılık ve maksimum esneklik sağladı (Detail-online, 2012).



Şekil 4.97 Lee Valley Velodrome görüşleri (Detail-online, 2012)



Şekil 4.98 Velodrome kesit-1 (Detail-online, 2012)



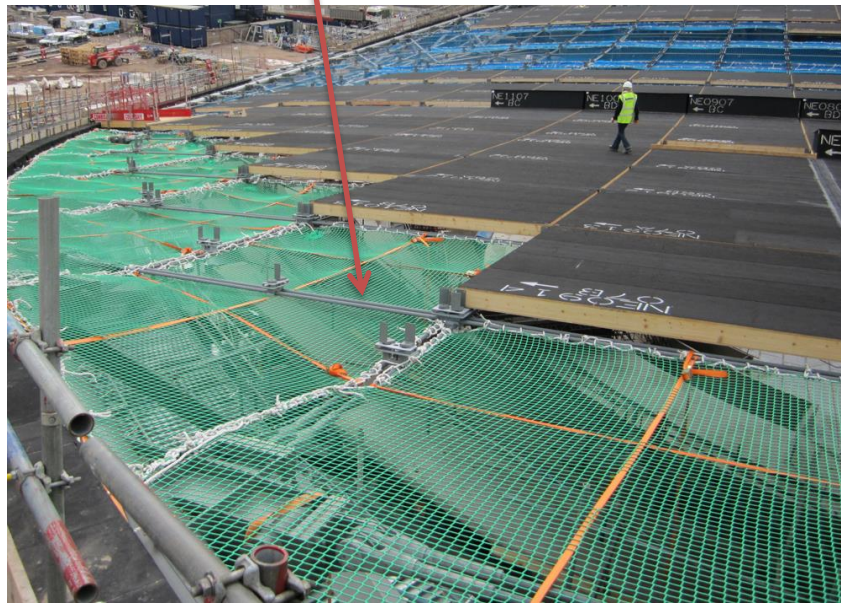
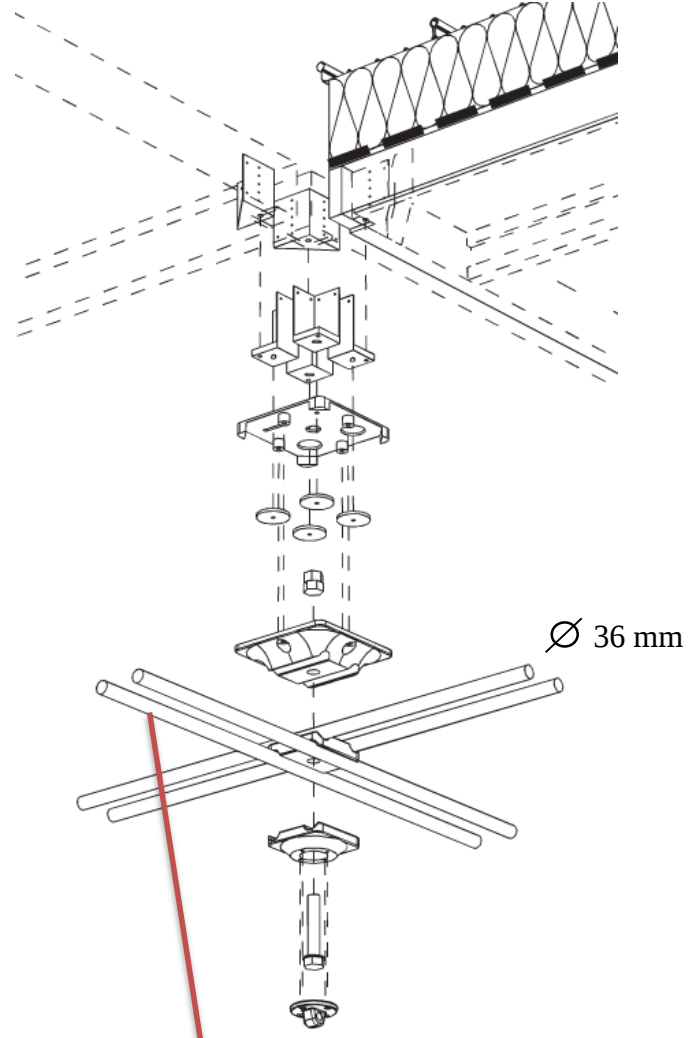
Şekil 4.99 Velodrome kesit-2 (Detail-online, 2012)



Şekil 4.100 Çatı modeli (Skyscrapercity, b.t)



Şekil 4.101 Taşıyıcı sistem detayı 1.Çatı boyunca kablo gerilimleri, 2.Çelik kafes sistemin itme kuvveti ile kablo kuvveti, 3.Betonarme taşıyıcılara aktarılmış itme kuvveti, 4.Bina yükleri altında devrilme momenti, 5.Yatay itme kuvveti, 6.Dış iskelete destek, devrilmeye karşı direnç, 7. Basınç kuvveti (The Structrual Engineer, 2012)



Şekil 4.102 Kablo ağının hareketini sağlayan bağlantı noktaları (The Structurel Engineer, 2012)

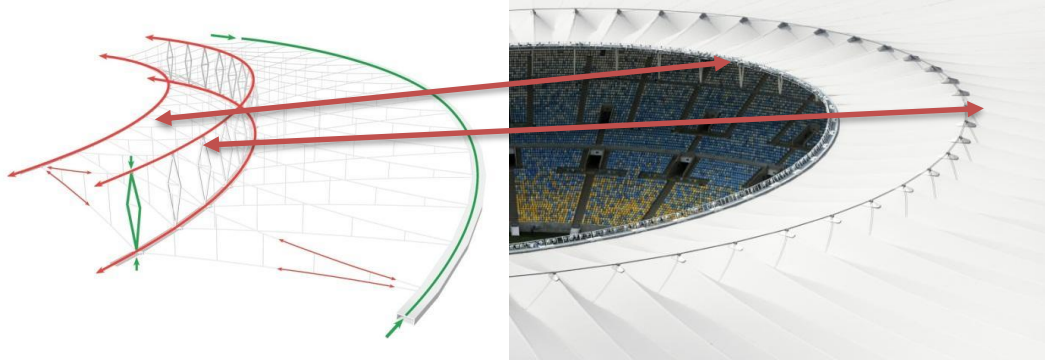
4.20 Maracanã Stadyumu

Tablo 4.20 Maracana Stadyumu ile ilgili bilgiler

MARACANÃ STADYUMU	
Genel Bilgiler	
Çatı Yapım Yılı	2013
Yapım Yeri	Rio de Janeiro, Brezilya
Mimari Tasarım	Raphael Galvao ve Pedro Paulo
Yapı Mühendisi	Schlaich Bergermann & Partner
Yapı Fonksiyonu	Stadyum
Seyirci Kapasitesi	81.550 kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	295 m
Yapının Genişliği	258 m
Yapının Yüksekliği	35 m
Geçilen Açıklık	69 m
Örtülen Alan	43.800m ²
Çatı Strüktürü	Çelik basınç çemberi + İç ve dış çemberli kablo ağı
Çatı Kaplaması	PTFE membran

Futbolun kutsal yeri olarak adlandırılan Maracana Stadyumu 2014 dünya kupası için stadyum için yeni bir çatı tasarlanarak tribünlerin üzeri membran bir sistemle kapatılmıştır. 2013 yılında çatı inşaatına başlanmıştır. 81.550 izleyici kapasitelidir.

Stadyumun taban alanı 45.500m²'dir. Mevcut stadyum üzerine yeni hafif çatı strüktürü uygulanmıştır. Çatının üstü 43.800 m²'lik alana sahip, PTFE membran ile kaplanmıştır ve ana akslar üzerine radyal yerleştirilmiştir. Membranın ağırlığı 82 kg/m²'dir. Genel olarak yenileme sırasında çok büyük bir değişiklik yapılmamıştır fakat hafif yarı saydam kablo çatı, stadyum yapısına modern bir görünüm kazandırmıştır. Stadyumun 2.380 m²'lik alana toplam 1.556 adet güneş paneli 183 ton metale döşenmiş ve böylelikle 390 kWp enerji üretimi sağlanmıştır. Bu enerji yaklaşık 250 evin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabilecek kapasitede olup her yıl 350 ton karbondioksitin atmosfere karışması engellenmektedir ve bu da yaklaşık 14.000 ağaç dikmekle eş değerdedir (ISBS, 2015).

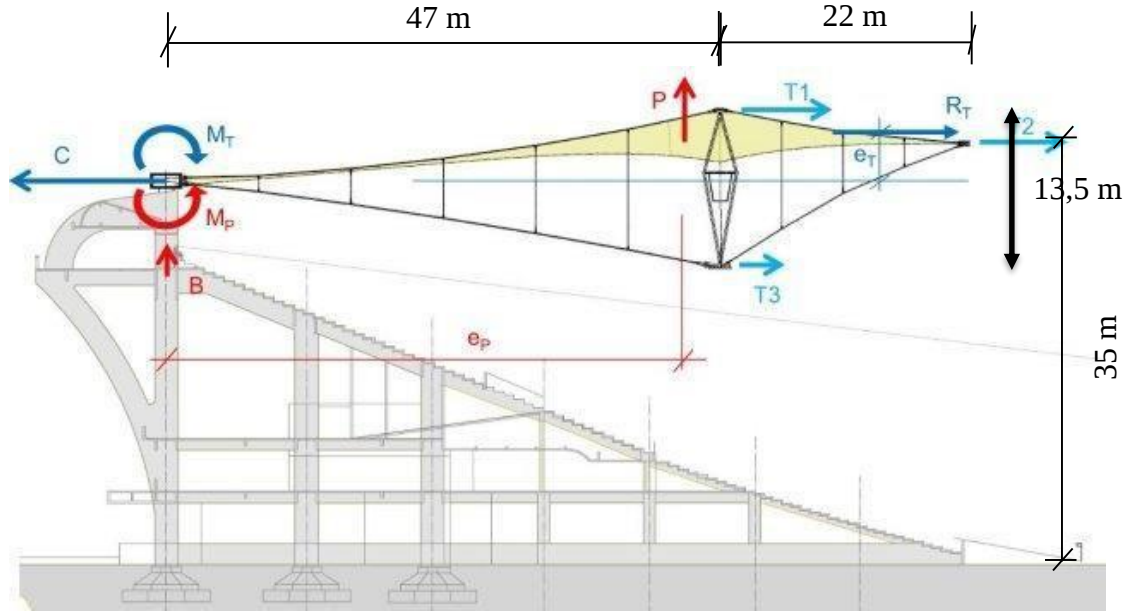


Şekil 4.103 Strüktür diyagramı ve stadyum çatısı (Detail-online, 2013)

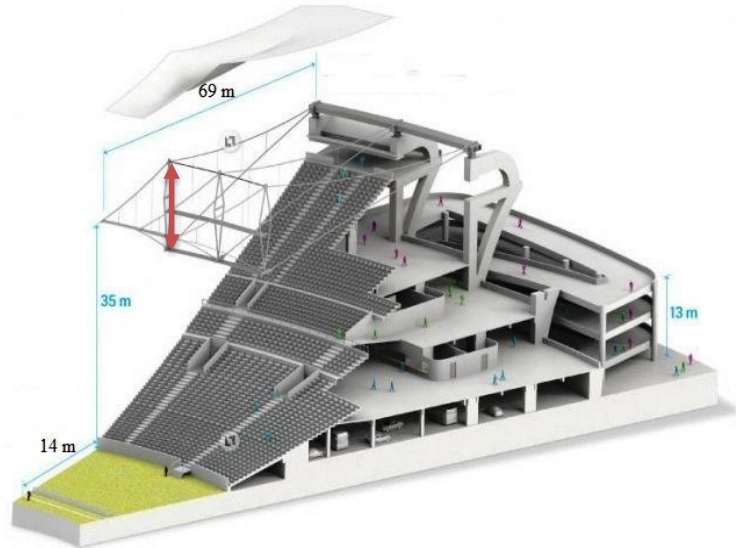
Başlangıçta teknik ekip mevcut stadyum yapısıyla ilgili bir analiz yapmıştır. Orijinal konsol betonarme çatının sadece işlev açısından yetersiz değil, aynı zamanda uzun vadeli yapısal güvenliğin de yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Stadyumun yeni ve hafif çatısı, yatay olarak yönlendirilmiş tekerleklerin çalışma prensibine benzemektedir. Dairesel çatı yapısı, çemberin ortasındaki iç gergi halkalarını sıkıştırma halkasına bağlayan yüksek güçlü çelik kablolardan oluşmaktadır (Şekil 4.104). Yeni çatı, eski stadyumun mevcut betonarme pilonları tarafından taşınmaktadır.

Çatı tasarımı iki önemli özelliktedir. Biri 69 m konsol (Şekil 4.105 ve 4.106) çalışan çatı sistemi diğeri ise çatı yükünü taşıyan betonarme taşıyıcı olmasıdır. Çatıda, yüksek performanslı malzemelerden yapılmış bir basınç çemberi ve 3 adet çekmeye çalışan

çember bulunmaktadır. Çatı, çemberinin dışında basınca çemberin iç kenarlarında çekmeye çalışmaktadır. Çatıyı taşıyan ana kablolar yüksek dayanımlı çelik kablolardan yapılmıştır. Yapıda 2.900 ton çelik malzeme ve 1.000 ton kablo ve aparatları kullanılmıştır (Detail-online, 2013).



Şekil 4.104 Stadyum çatı taşıyıcı sistemi (Detail-online, 2013)



Şekil 4.105 Taşıyıcı sistem-geçilen açıklık (Detail-online, 2013)

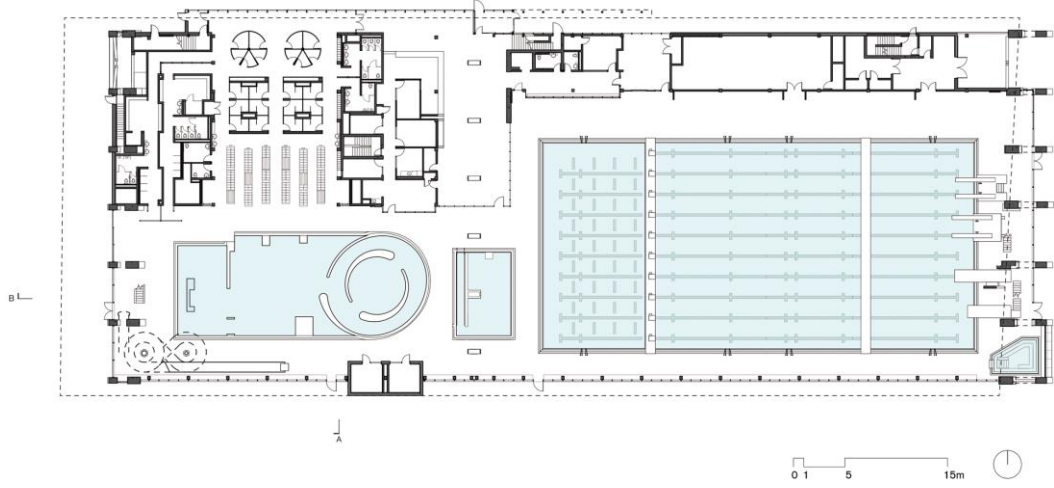
4.21 Grandview Heights Aquatic Centre

Tablo 4.21 Grandview Heights Aquatic Centre ile ilgili bilgiler

GRANDVIEW HEIGHTS AQUATIC CENTRE	
Genel Bilgiler	
Yapım Yılı	2015
Yapım Yeri	Surrey, Kanada
Mimari Tasarım	HCMA Architecture + Design
Yapı Mühendisi	Fast + Epp
Yapı Fonksiyonu	Su Sporları Merkezi- Rekreasyonel
Seyirci Kapasitesi	900 Kişi
Teknik Bilgiler	
Yapının Uzunluğu	105 m
Yapının Genişliği	40 m
Geçilen Açıklık	55 m
Örtülen Alan	5.295 m ²
Çatı Strüktürü	Betonarme pilon + Lamine Ahşap
Çatı Kaplaması	TPO membran

Yapı 2015 yılında inşa edilmiştir ve Hughes Condon Marler Mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Grandview Heights Aquatic Centre, su sporları merkezi havuzlar, atlama kuleleri, fitness salonu ve idari bölümler içermektedir. 10 kulvardan oluşan 50m uzunlukta olimpik havuz ve toplamda 500m² eğitim havuzu bulunmaktadır (Şekil

4.107). Atlama kuleleri 1 metreden 10 metreye kadar yükselmektedir. Toplam inşaat alanı 8.830 m²'dir.



Şekil 4.106 Plan (İaks.org, b.t)



Şekil 4.107 Kesit (İaks.org, b.t)

Bu rekreasyon merkezinin çatısında yapıştırılmış lamine ahşap malzeme (Glulam) kullanılmıştır. Glulamlar Western Archrib'te üretilmiştir. Çatı strüktürü çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlere örnektir. Bugüne kadar ahşap malzemeden yapılmış en uzun açıklığa sahip olan çatı, zincir eğrisi formundan oluşmaktadır. Betonarme payandalar arasında zincir eğrisi formunda 116 adet glulam malzeme çatıyı oluşturmaktadır. Çatıyı oluşturan ikili ahşap kirişlerin genişliği 127mm ve derinliği 254mm'dir. Ahşap kirişlerin bir uçtan bir uca uzunlukları 3.657cm ile 5.486cm arasında değişmektedir. 50 metrelik mesafe için 300mm yapısal derinlik kullanılmıştır. Yatayla yaptığı açı 14 derecedir (Hcma, b.t). Toplam çatı ağırlığı 240 kg/m²'dir. Çatının en yüksek noktası 15 m iken, en düşük noktası olan 9 metreye düşmektedir (Şekil 4.108).



Şekil 4.108 55m ve 45m geçilen açıklık (Seagateststructures, b.t)

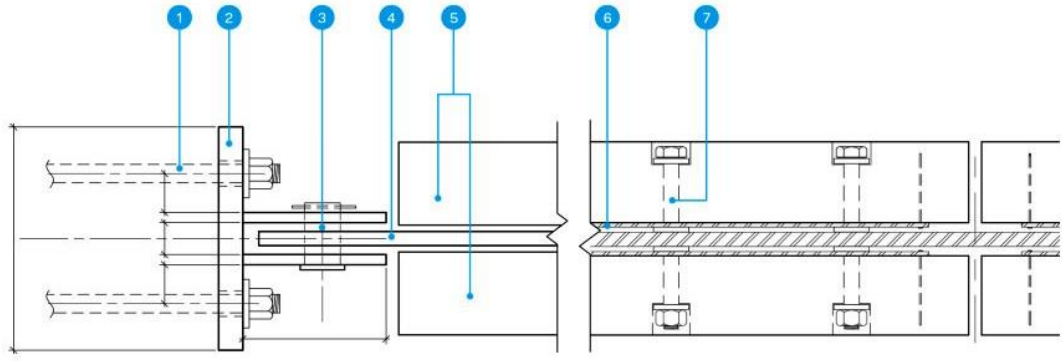
Zincir eğrisi, suyun hareket halindeki fikrini yansıtan bir sıvı formunu ifade ettiği gibi bakım avantajlarından ve daha ince bir yapı etkisinden de tercih edilmektedir. Bununla birlikte tutkal tabakalı (glulam) ahşap malzemenin nemli ortamlardaki direnci yüksektir. Kirişli çatı sistemine sahip olan su sporları tesislerinde glulamın hem neme dayanıklı olmasından hem de ahşabın ortama sıcak görüntü sağlamasından kullanımı uygun görülmüştür. Glulam kirişleri çelik kablo sistemine kıyasla rüzgâr yükselmesine direnmek için gerekli gerilme kapasitesine, kendi ağırlığına ve iç gerginliğe sahiptir. Çelik kablo sistemler pahalı bağlantı konektörlerine sahip olduğundan glulam kullanımı daha ekonomik bir seçenek olmaktadır (Naturallywood, b.t).

İkili glulam kirişleri 700mm aralıklarla havuzların uzunluğu boyunca yerleştirilmiştir. Büyük olan 55m açıklık üç bölüme, küçük olan 45m açıklık ise iki bölüme ayrılmıştır (Şekil 4.109). Her iki durumda da ikili kirişler çelik bağlantı noktalarına sahiptir. Ahşapta 55m zincir eğrisinin nasıl yapılandırıldığını gösteren önemli bir örnektir. Kiriş uçları, beton payandalara gömülü olan çelik plakalara sabitlenmektedir (Şekil 4.110).

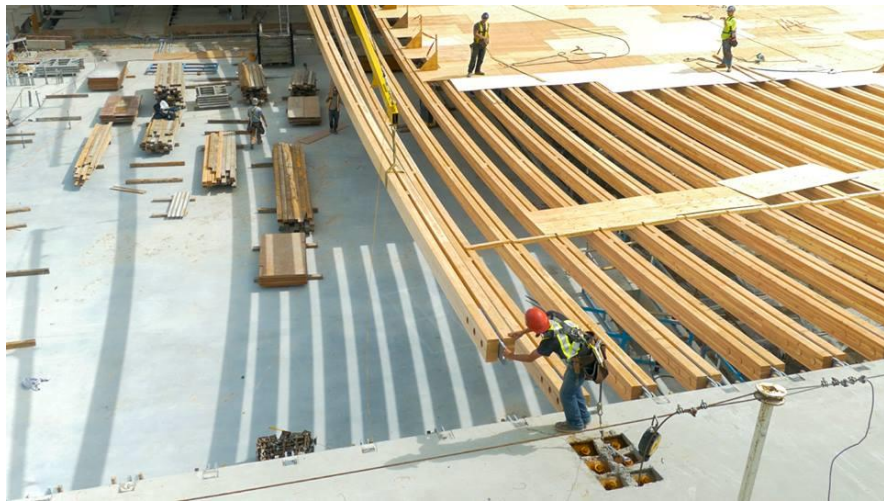
Tavan diyaframı iki kat 16/12 mm kontraplaktan ve bununla birlikte buhar kesici, 10cm poliizosiyanürat yalıtım, 12mm alçı levha ve tek kat TPO membran malzemenen

oluşmaktadır (Şekil 4.111). TPO membran, termoplastik poliolefin esaslı bir karışım olup, atmosfer koşullarına, güneş ışınlarına (UV), bitki köklerine dayanımlı, yüksek yırtılma, delinme ve aşınma direnci sayesinde uzun ömürlü kullanılan bir membrandır. Maksimum kar yükü 200 mm yükseklik olarak hesaplanmıştır (Naturallywood, b.t).

Yapının mimarları projeyi autodesk revit programında yükseklikleri değiştirerek modellemiştir. Dalış kuleleri ve su kaydırağı için daha yüksek alanlar, giriş ve diğer alanlar için daha düşük alanlar tasarlamışlardır. Meydana gelen çatıdaki eğim sonucunda yağmur suyu verimli bir şekilde yapının kuzey tarafındaki galvanizli çelik malzemeden kanalizasyon edilmiştir (Architectmagazine, 2016).



Şekil 4.109 Çatı sistem detayı 1. Ø29mm x 1.500mm çelik çubuk betonarme döşemeye ankrajlı, 2. 38mm çelik plaka, 3. Ø57mm dübel ve 16mm plaka, 4. 22mm x 200mm çelik plaka, 5. 127mm x 254mm Douglas köknar glulam, 6. 220mm x 800mm çivileme plaka, 7. 25mm sıcak daldırma (Schuler, 2016)



Şekil 4.110 Lamine ahşap kiriş (Seagateststructures, b.t)

BÖLÜM BEŞ

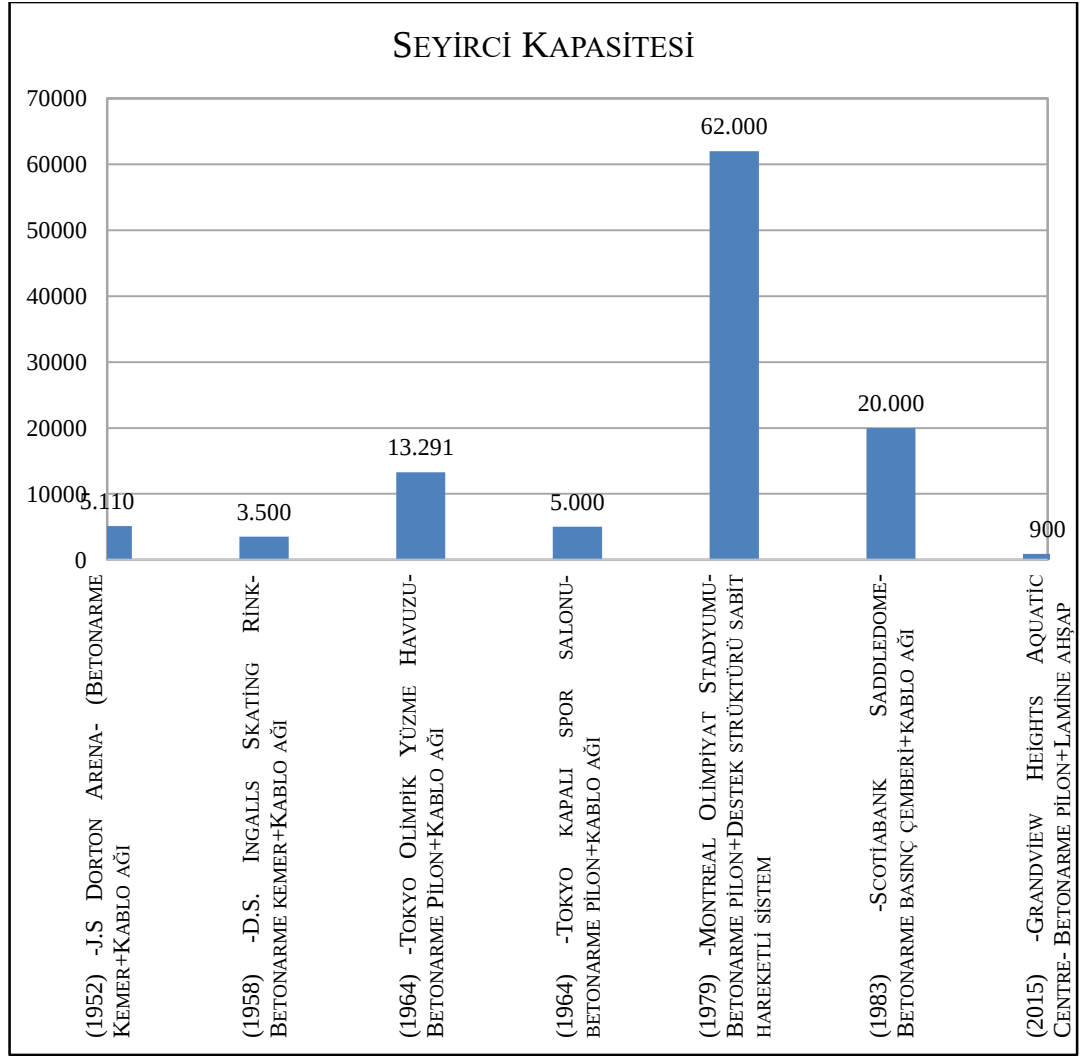
STADYUM YAPILARINDA ÇATI STRÜKTÜR SİSTEMLERİNİ

KARŞILAŞTIRMA

Stadyum yapıları birçok spor müsabakasını ve seyircisini barındıran geniş ölçekli yapılardır. Bununla birlikte geniş oyun alanlarını ve tribünleri örten büyük ölçekli çatılara sahiptir. Bu çalışmada, stadyum yapılarında çekmeye çalışan çatı strüktürleri kullanımını 1950’li yıllardan başlayarak birer, beşer ve onar yıllık dönemlerden günümüze kadar seçilen örneklerle sunulmuştur. Bu örneklerin seçilmesinde, yapıların kendi dönemine ait ilk uygulama, en geniş açıklık, en hafif çatı vb. gibi özellikleri etken olmuştur. Seçilen yapıların çatıları çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerden oluşmaktadır. Her bir stadyum çatısının, fiziksel verilerine, taşıyıcı sistem özelliklerine ve parametrelerine dayalı olarak bireysel incelenmesi, zaman içindeki gelişiminin gözlemlenmesi sağlanmıştır.

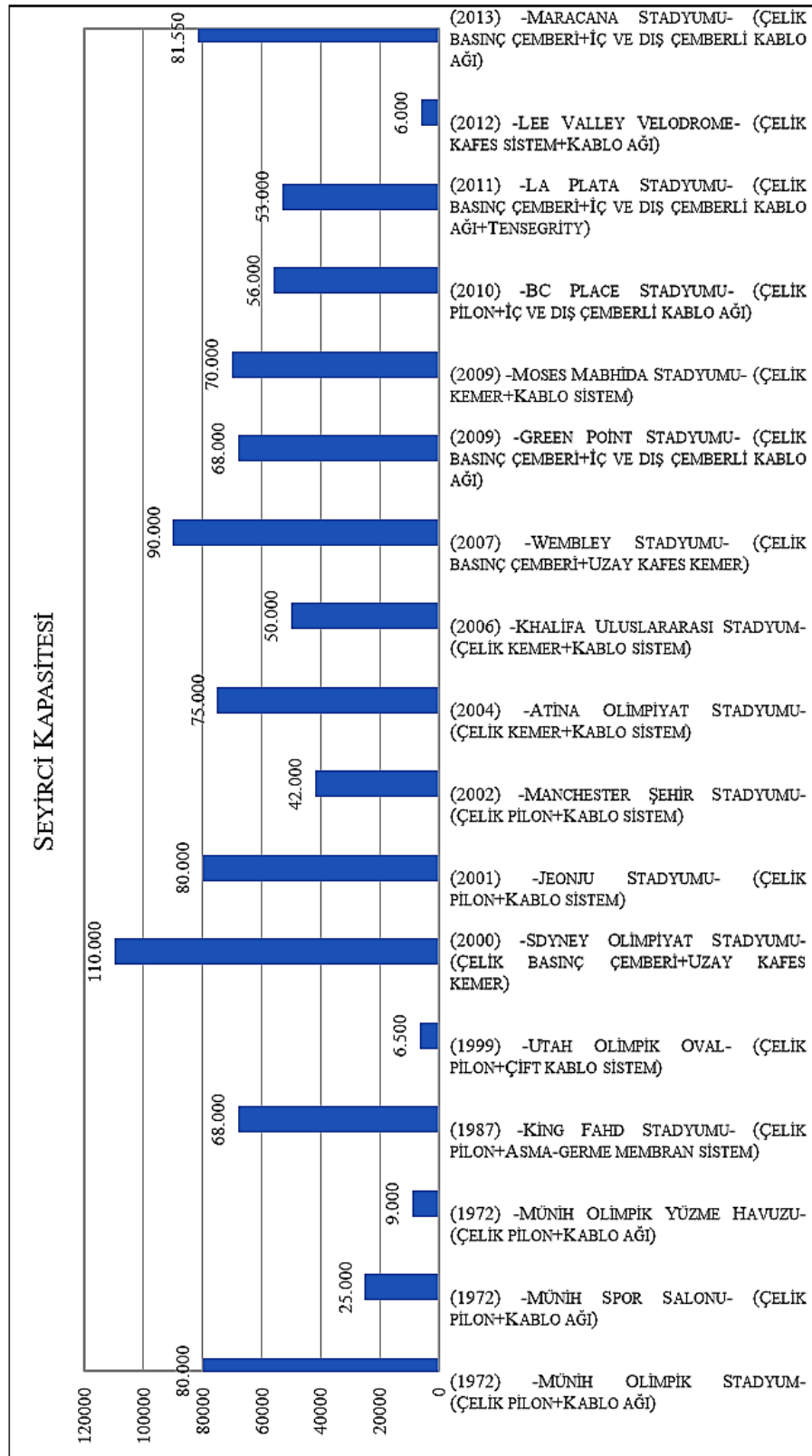
Seçilen örnekler 13 ülke ve 21 farklı şehirde inşa edilmiştir. 1950’li yıllardan günümüze kadar 7 adet kapalı, 10 adet açık ve 4 adet açılıp-kapanabilen olmak üzere kadar toplamda 21 adet stadyum, seyirci kapasitelerine, boyutlarına, çatı strüktürlerine, çatı kaplama malzemelerine, sarkma oranlarına göre gelişimleri incelenmiştir. Stadyum yapıları için gelecekteki fonksiyonların planlanması, seyirci kapasitesi, konfor koşullarını sağlayan seyirci alanları, geometrik çatı formu, sistemi ve malzemesi belirleyici kriterlerdir.

İncelenen stadyumların tümünde, çatı formu eğrilerden oluşmaktadır. Parabol, hiperbolik paraboloid, zincir eğrisi gibi tek ve çift eğrilikli geometriler çatı formlarını ve bununla birlikte strüktürel tasarımları meydana getirmektedir. Geometri ve formların matematiksel formülleri, strüktürlere etki eden kuvvetler ve iklimden kaynaklı kuvvetler kaplama malzemeleri ile malzemeler ile çatı strüktürleri arasında çalışma sistemini kurmaktadır.



Şekil 5.1 “Betonarme düşey strüktür” çatı strüktür sınıflandırmasında stadyumların seyirci kapasitesi

Seyirci kapasiteleri grafiği betonarme düşey strüktür çatı strüktür sınıflandırmasında şekil 5.1’de gösterilmektedir. Betonarme düşey strüktür altında, 1979 yılında inşa edilen Montreal Olimpiyat Stadyumu haricinde diğer stadyum örneklerinin çatıları kablo ağı sisteminden oluşmaktadır. Bununla birlikte, yine Montreal Stadyumu hariç diğer stadyumlar kapalı stadyumlar olup, çatıları tüm alanı kapatmaktadır. Montreal Olimpiyat Stadyumu, hareketli çatı sistemine sahiptir. Hareketli sistemde stadyum, hem kapalı hem de açık olarak kullanılmaktadır. Hareketli sistemin Şekil 5.2’de gösterilen çelik düşey strüktür sınıflandırmasında, Lee Valley Velodrome, Utah Olimpik Oval, Münih Olimpik Yüzme Havuzu ve Spor Salonu stadyumları az seyirci kapasitesine sahip olup, çatı sistemleri kablo ağıdır.

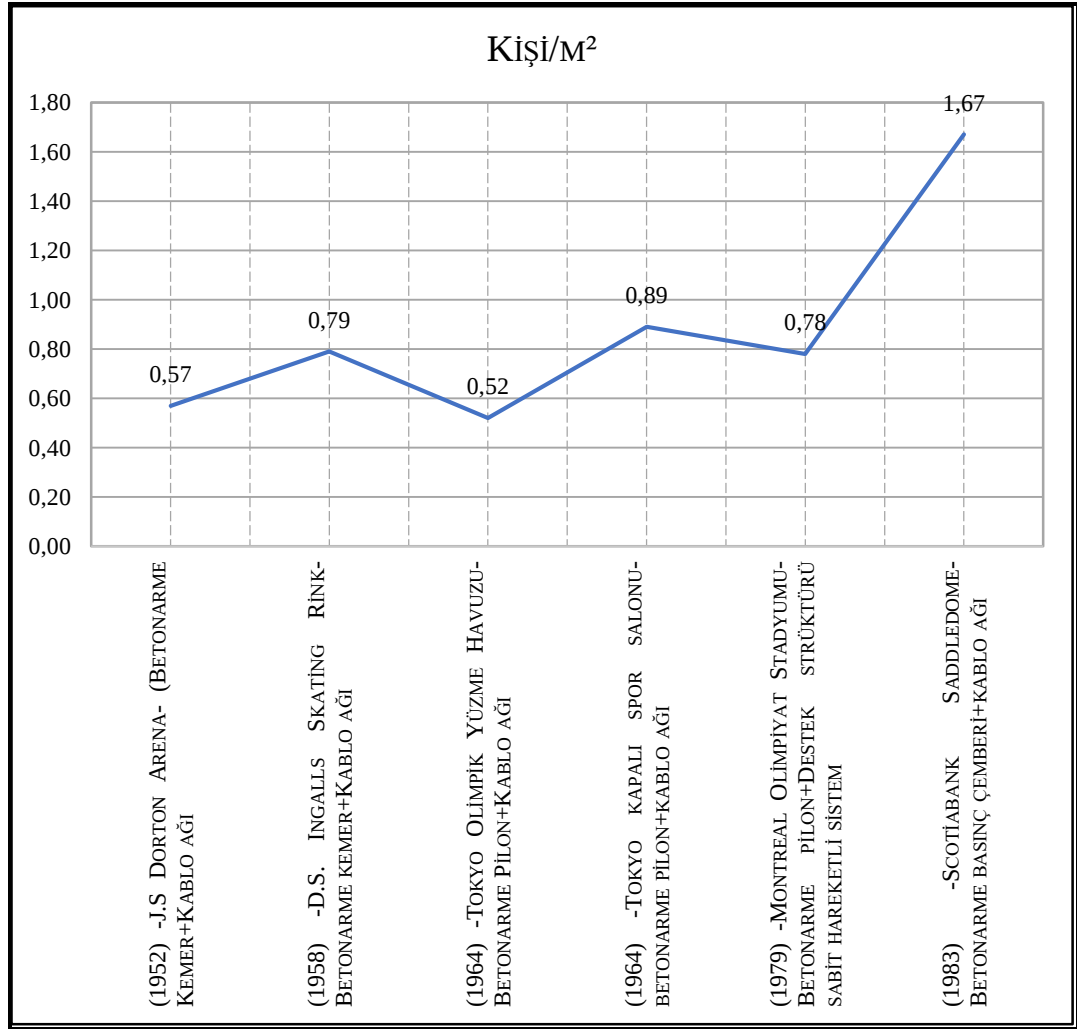


Şekil 5.2 “Çelik düşey strüktür” çatı strüktür sınıflandırmasında stadyumların seyirci kapasitesi

Betonarme ve elik düşey strüktür adı altında iki ana sınıflandırma incelendiğinde, en az seyirci kapasitesine sahip stadyum yapılarının çatı strüktürleri, kablo sistem grubuna giren kablo ağı çatı strüktürlerinde daha az seyirci kapasitesi olduğu gözlemlenmektedir. Bunlar taşıyıcısı betonarme düşey strüktür olan, kapalı çatı sistemine sahip stadyumlardır. Bu durumda bahsedilen stadyumlar, ortalama 20.000 seyirci kapasiteli bölgesel spor müsabakaları için kullanılmaktadır. Genellikle elik strüktürün kullanıldığı 40.000 ile 80.000 kişi kapasitesi arasındaki stadyumlar, uluslararası müsabakalara ve olimpiyatlara hizmet vermektedir. Şekil 5.2 grafiği incelendiğinde stadyum yapılarında, seyirci kapasitesindeki belirgin artış 20. Yüzyılda başlamış olup, 21. Yüzyılda devam etmektedir. Stadyum taşıyıcı sistemi elik olan yapılarda, kablo sistem ve elik kafes kemerin birlikte çalıştığı durumlarda, yapıların seyirci kapasiteleri artmaktadır.

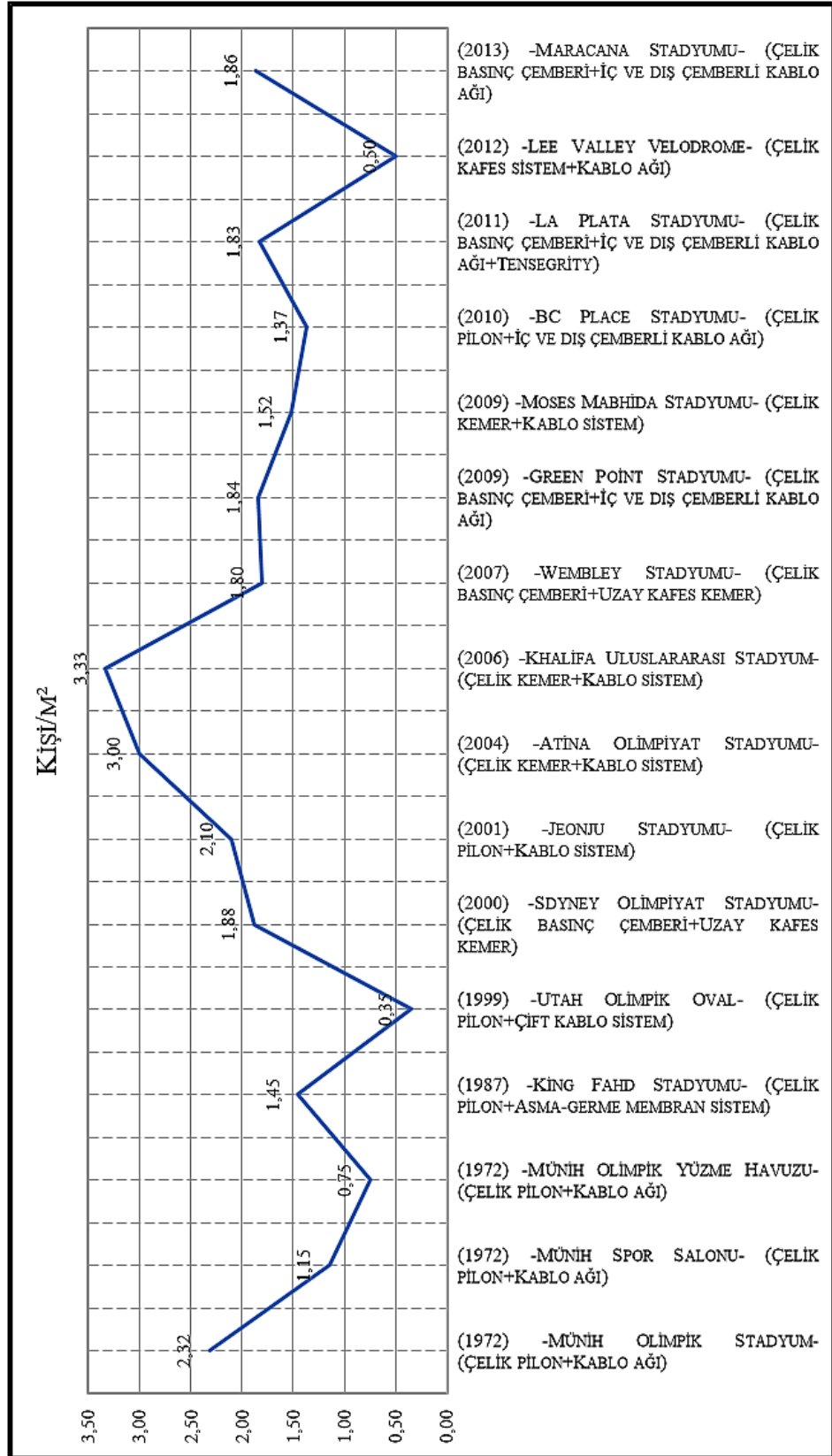
Stadyum yapılarında boyutlar sporun çeşidine ve seyircilerin kullanım alanları göre ihtiyaç duyulan aralıktadır. Şekil 5.3’de verilen grafiğe göre betonarme düşey strüktür + kablo sistem çatılarda, çatı yüzeyi metrekaresi temel alınarak veri oluşturulmuş olup, metrekaresi başına düşen kişi sayısı giderek artmaktadır. Kronolojik açıdan bakıldığında zamanla 1952’den 1983 yılına kadar stadyumlarda çatı yüzey alanları artmış ve seyirci konfor koşulları oluşmaya başlamıştır. Böylelikle de seyirci kapasitelerinde artış gözlemlenmiştir. Çatı rt tasarımları daha büyük ve geniş ölçülerde yapılarak devam etmiştir.

Yapım yılı 1983 olan Scotiabank Saddledome stadyumunda, betonarme strüktür çatıda oluşturulan basınç çemberini taşımaktadır. Bu çemberin ağırlığı çatı yüzeyine değil, düşey strüktüre aktarılmaktadır. embere asılan kablo ağıları da kendi ağırlığını taşımaktadır. Böylelikle kapalı stadyum olmasına rağmen, geçilen açıklık mesafesi artmakta ve çatı yüzey alanı doğru orantılı artmaktadır.

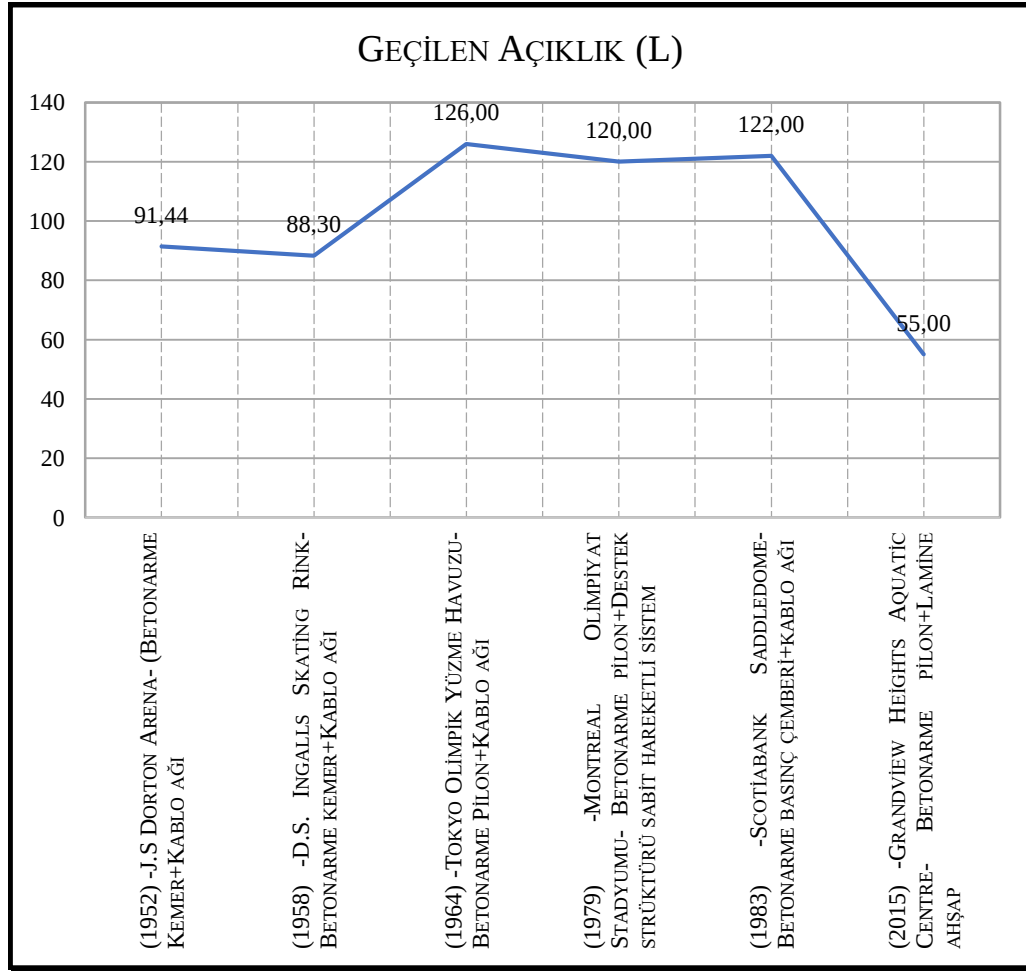


Şekil 5.3 “Betonarme düşey strüktür” ve “kablo sistem” çatı sistemlerinde metrekare başına düşen kişi oranı

Şekil 5.4’de verilen grafiğe göre “çelik düşey strüktür” sınıflandırmasında, çelik kemer strüktür + kablo sistemden oluşan Atina Olimpiyat ve Khalifa Uluslararası Stadyumu açık stadyumlar sınıfına girmektedir. Açık stadyumlarda çatı yüzey alanı azaldığı için metrekare başına düşen kişi sayısı artmaktadır. Kapalı stadyumlarda çatı alanına düşen kişi sayısı azalmaktadır. Utah Olimpik Oval ve Lee Valley Velodrome kapalı stadyumları bu sebeple en düşük orana sahiptir. Hareketli çatı örneklerinde seyirci kapasitesi değişkenlik göstermektedir. Talep edilen kullanıma göre metrekare başına düşen seyirci kapasitesi artırılabilir veya azaltılabilir.

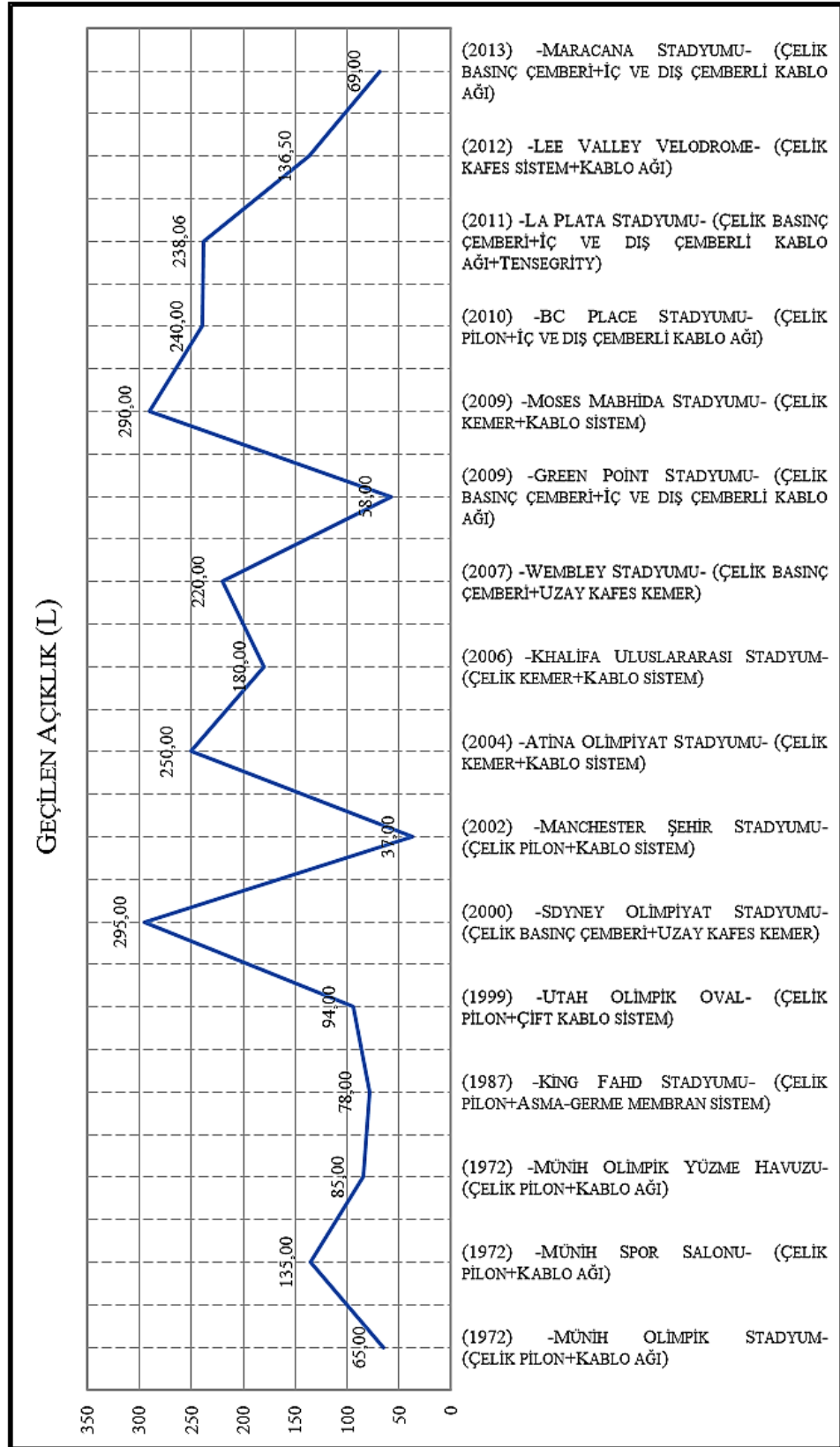


Şekil 5.4 “Çelik düşey strüktür” çatı sistemlerinde metrekare başına düşen kişi oranı



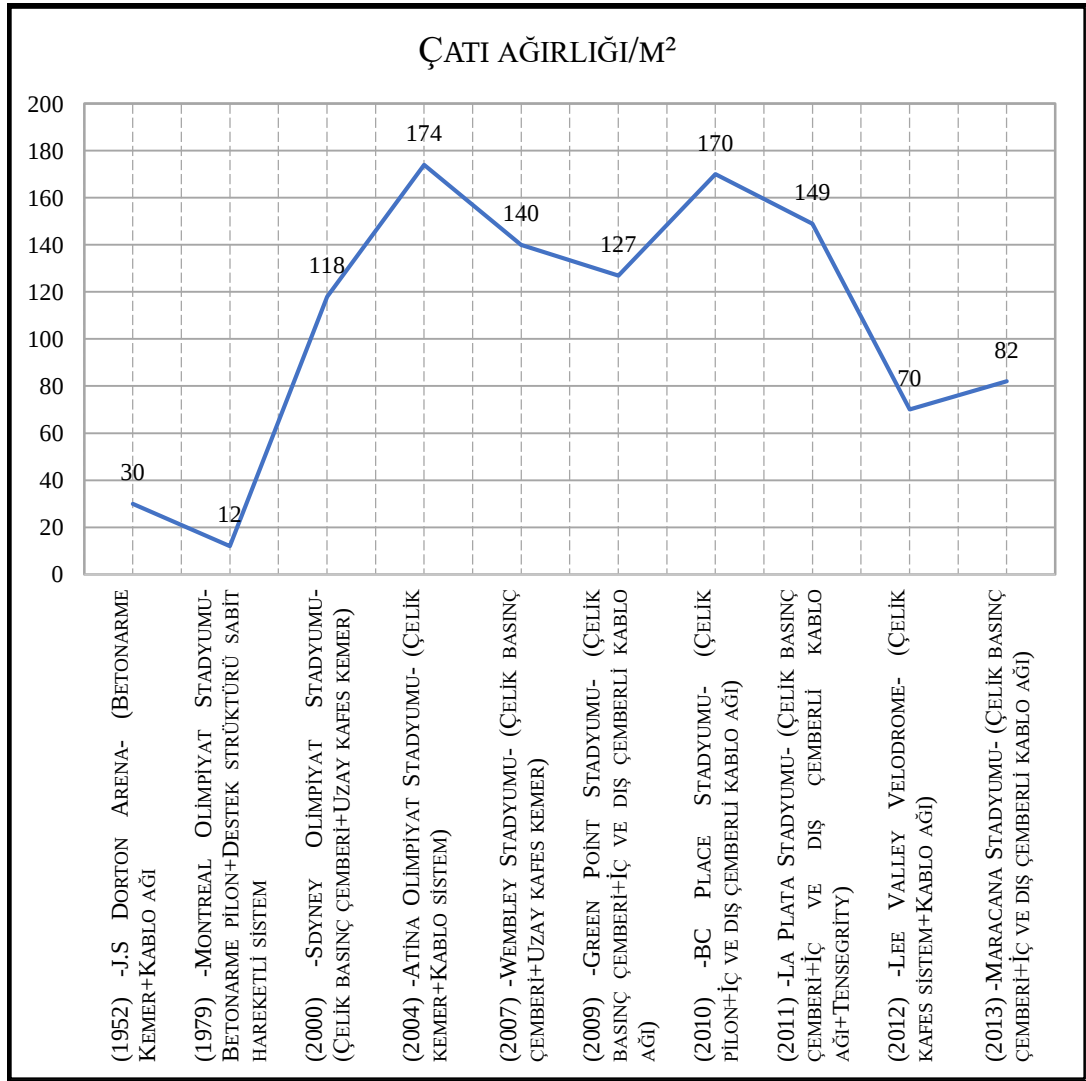
Şekil 5.5 “Betonarme düşey strüktür” sınıflandırması altındaki çatı strüktürlerinde geçilen açıklık

Şekil 5.5’de geçilen açıklan grafiği incelendiğinde betonarme düşey strüktür + kablo sistem stadyum çatıları haricindeki 2015 yılında inşa edilen Grandview Heights Aquatic Centre, betonarme pilon + lamine ahşap çatı sistemine sahiptir. Çatıda kablo ağı yerine ahşap malzeme kullanımı geçilen açıklık mesafesini olumsuz etkilemiştir. Şekil 5.6’da çelik düşey strüktür + kablo sistem ve basınç çemberi oluşturan çelik düşey strüktür sistemlerinde, geçilen açıklık mesafesi azdır. Çelik kemer + kablo sisteme sahip stadyum örneklerinde ise (Sdney Olimpiyat Stadyumu, Atina Olimpiyat Stadyumu, Wembley Stadyumu ve Moses Mabhida) düşey taşıyıcı olmadan geçilen açıklık mesafesi fazladır. Çelik kemer strüktür, stadyum çatı yüksekliklerini arttırmış olsa da istenilen geniş açıklık gereksinimini karşılamaktadır. 2000 yılı ve sonrasında yapılan stadyum yapısında geçilen açıklık mesafesinin önceki yıllara göre önemli bir artış gösterdiği izlenmiştir.



Şekil 5.6 “Çelik düşey strüktür” sınıflandırması altındaki çatı strüktürlerinde geçilen açıklık grafiği

Stadyum çatılarında geniş açıklıkları düşey taşıyıcı bölmeden geçilen açıklık oldukça önemlidir. Şekil 5. ve 5.6’da gösterilen grafikte geçilen açıklık verileri ile çatı sisteminin ağırlığı doğru orantılıdır. Çatı ağırlığını taşımak ve aynı anda büyük açıklık geçebilmek için incelenen örneklerde çatı strüktür yüksekliklerinin de doğru orantılı olarak arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7 “Betonarme düşey strüktür” ve “Çelik düşey strüktür” stadyum örneklerinde metrekaare başına düşen çatı ağırlığı

Çelik malzeme mukavemeti yüksek ve esnek yapıda bir malzemedir. Çelik strüktürler çelik malzeme ve kablolarla oluşturulmaktadır. Dayanımının yüksek olması, yapıya etkiyen yüklerin etkisini azaltmaktadır. Çatının toplam ağırlığı yapının

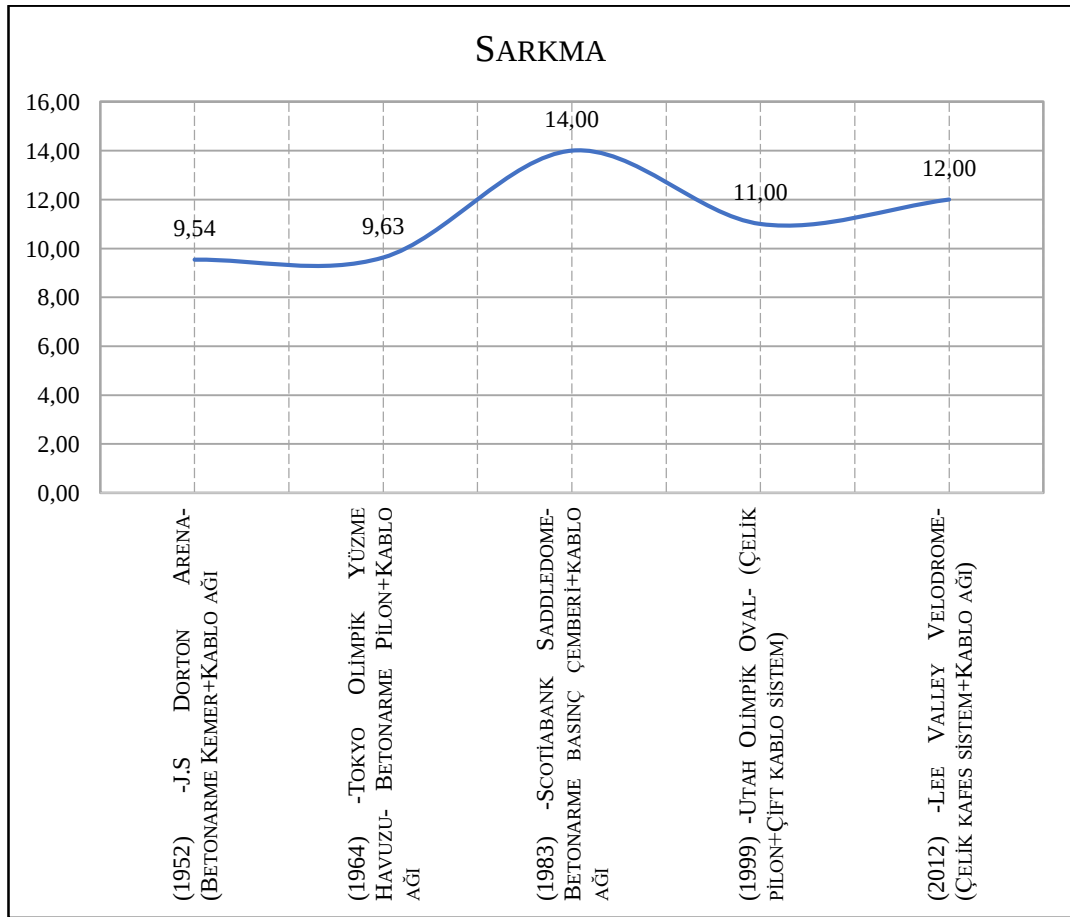
strüktür sistemini etkileyen önemli nedenlerindendir. Çatının ağırlığının az olması hafif yapım sistemlerinin etkin olmasına neden olmaktadır. Bu yüzden büyük ölçekli stadyum yapılarının çatılarında hafif ve montajı kolay malzeme kullanılması önemlidir. Şekil 5.7 grafiğinde çatı ağırlığı grafiğinde farklı çatı strüktürleri yer almaktadır. Çoğu örnek yapının metrekaare başına düşen çatı ağırlık bilgisine ulaşamamıştır. Ulaşılan değerler arasında bir karşılaştırma yapıldığında, betonarme ve çelik düşey strüktürün ikisinde de kablo ağının oluşturduğu çatı örneklerinde sistem hafiftir.

Tablo 5.1 Zincir eğrisi geometrisinde sarkma değer aralığı

Stadyum Yapıları	Yapım Yılı	Geçilen Açıklık (L)	Sarkma(f) Aralığı [¹] $\frac{1}{8} \times L - \frac{1}{20} \times L$	Yaklaşık Değer Aralığı (f)	Sarkma (H)
J.S. Dorton Arena	1952	91,44	$\frac{1}{8} \times 91,44 - \frac{1}{20} \times 91,44$	11,43 – 4,57	9,54
Tokyo Olimpik Yüzme Havuzu	1964	126	$\frac{1}{8} \times 126 - \frac{1}{20} \times 126$	15,75 – 6,3	9,63
Scotiabank Saddledome	1983	122	$\frac{1}{8} \times 122 - \frac{1}{20} \times 122$	15,25 – 6,1	14
Utah Olimpik Oval	1999	94	$\frac{1}{8} \times 94 - \frac{1}{20} \times 94$	11,75 – 4,7	11
Lee Valley Velodrome	2012	136,5	$\frac{1}{8} \times 136,5 - \frac{1}{20} \times 136,5$	17,06 – 6,82	12

¹ Türkçü, H. Ç. (2009). Çağdaş taşıyıcı sistemler (2. Basım) içinde (175-232). İstanbul: Birsen Yayınevi.

Tablo 5.1’de sarkma oranı değ er aralığına ulaşılan, çatı str uktur  kablo sistemler olan 5 adet stadyum örneğinin sarkma değ erleri edinilen bilgilere göre kontrol edilmiştir. Kablo ağı dışındaki örneklerde sarkma değ er aralığı formül üzerinden çalışılmış, fakat en uygun (optimal) sarkma sağlanamamıştır. Optimal sarkma düşey yük altında ve zincir eğrisi formunda gerçekleşir. Bu sebeple sadece kablonun kendi ağırlığında asıldığı kablo ağı çatı str ukturleri üzerinde çalışılmıştır. Sarkma arttıka  elik kablolar daha çok yük taşımaktadır. Bununla birlikte sarkan kablo boyu uzar ve sistemin y kseklıği artar. Sarkma değ eri 14 ve 12 m olan iki örneğin çatı yüzey alanları diğer örneklerle kıyasla daha büyüktür. Sarkma oranı arttıka da çatı yüzey alanı artmaktadır.



şekil 5.8 Stadyum yapılarında kablo ağı örneklerinin sarkma boylarının değişimi

Seçilen yapılarda üst örtüde kullanılan zincir eğrisinin değışimine dair bir veri sunmak üzere sarkma oranının (zincir eğrisinin yüksekliğinin, serbest açıklığına oranı) zamanla değışimi şekil 5.8’de verilmiştir. Görüldüğü gibi incelenen yapılarda zincir eğrileri için seçilen sarkma zamanla artış göstermektedir. Spor yapılarında ihtiyaç doğrultusunda geniş açıklık geçme sorunu, farklı örtü sistemlerini de beraberinde getirir. Malzemenin etkinliği arttıkça zincir eğrisi formunda çekmeye çalışan kabloların kesiti azalır. Bununla birlikte çatı ağırlığı azalmaktadır. Hafif ve seffaf çatılar, 1950 yıllarında kullanılan ağır ve kapalı çatıların yerini alır. Hem atı ağırlığı hem de gelişen teknoloji ile malzeme ağırlığı azaldıkça yer çekimine karşı koyan zincir eğrisi çekmeye çalışarak günümüzde çok daha büyük açıklıkların geçilmesini sağlamaktadır. İncelenen yapıların tarihsel gelişimine bakarsak çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin kullanımının zaman içinde etkinleşmesi sonucu üst örtüler de etkinleşerek daha geniş ve büyük açıklıklar geçilmektedir.

Stadyum yapılarında H/L değerinin şekil 5.8’de betonarme düşey strüktür altında sınıflandırılmış örneklerde, optimal sarkma değışimi izlenmiştir. Grafikte Tokyo Olimpik Yüzme Havuzu, Scotiabank Saddledome ve Grandview Heights stadyumlarında sarkma değeri sabit devam ederken, kronolojik sıralamada zamanla inşaat alanında artış ve yapı hacminde büyüme gözlemlenmiştir. Şekil 5.9’da elik düşey strüktür sınıflandırmasında değışimler görülmektedir. atı yüksekliğinin düşük olduğı örneklerde sarkma değeri azalmaktadır denilebilir. Fakat sarkma değeri en çok etki eden faktör geçilen açıklık mesafesinin kronolojik sıralama da artmasıdır. Paydanın yüksek olduğı 150 – 300 m değeri arasında yapı yüksekliği azalmakta ve sistemin hafifliği sağlanmaktadır. Kullanılan malzeme miktarı da çatı ağırlığının azalmasıyla ve doğru orantılıdır.

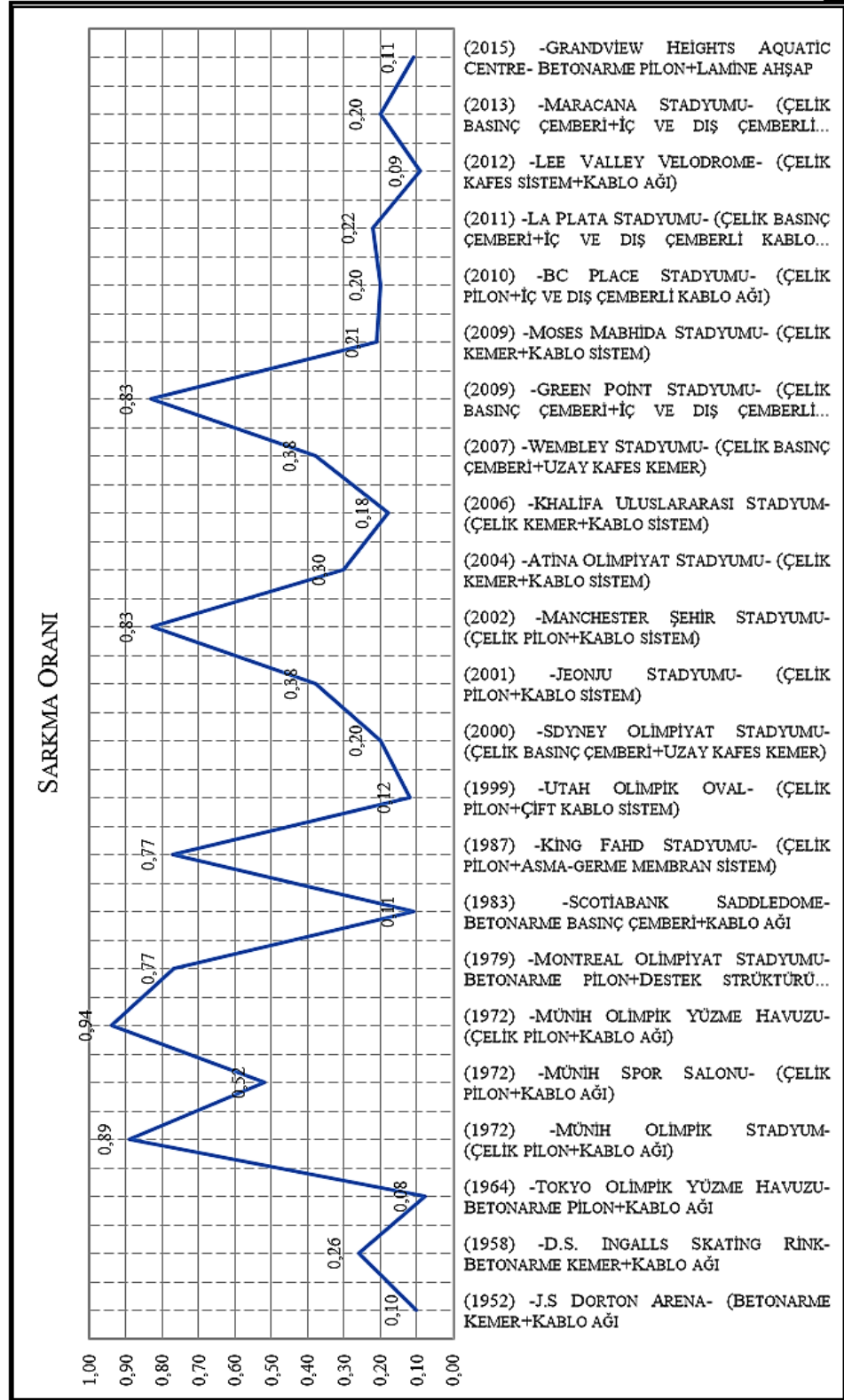
Tablo 5.2’de ahşap, betonarme, elik ve kablo malzemelerin taşıyıcı sistem bazında geçilen açıklık ve strüktür yüksekliği analizine göre tablo oluşturulmuştur. Örnek yapılarda tablonun son sütununda yer alan H/L sarkma oranı aralığı kontrol edilmiştir. Yükseklik ve geçilen açıklık boyutları bilinen örneklerin sarkma oranına göre değerlendirmesi yapıp, değeri aralığını sağladığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.2 Sarkma oranı aralığı analizi

STADYUM YAPILARI	YAPIM YILI	H (Yükseklik)	L (Geçilen Açıklık)	H/L	Sarkma Oranı Aralığı ^[2] ^[3]
J.S. Dorton Arena	1952	9,54	91,44	$1/9,58$	$1/8 - 1/20$
D.S. Ingalls Skating Rink	1958	22,86	88,39	$1/3,86$	$1/3 - 1/6$
Tokyo Olimpik Yüzme Havuzu	1964	9,63	126	$1/13,08$	$1/8 - 1/20$
Scotiabank Saddledome	1983	14	122	$1/8,71$	$1/8 - 1/20$
Utah Olimpik Oval	1999	11	94	$1/8,54$	$1/8 - 1/20$
Sdney Olimpiyat Stadyumu	2000	58	295	$1/5,08$	$1/3 - 1/6$
Atina Olimpiyat Stadyumu	2004	76	250	$1/3,28$	$1/3 - 1/6$
Khalifa Uluslararası Stadyum	2006	32	180	$1/5,62$	$1/3 - 1/6$
Wembley Stadyumu	2007	83	220	$1/3,37$	$1/3 - 1/6$
Green Point Stadyumu	2009	48	58	$1/20$	$1/15 - 1/35$
Moses Mabhida Stadyumu	2009	61	290	$1/4,75$	$1/3 - 1/6$
Lee Valley Velodrome	2012	12	136,5	$1/13,65$	$1/8 - 1/20$
Grandview Heights Aquatic Centre	2015	6	55	$1/9,16$	$1/8 - 1/20$

² Kılıç Urfalı, F. (2012). Güncel çelik yapı sistemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

³ Türkçü, H. Ç. (2009). Çağdaş taşıyıcı sistemler (2. Basım) içinde (175-232). İstanbul: Birsan Yayınevi.



Şekil 5.9 Betonarme ve çelik düşey strüktür çatı sistemlerinde sarkma oranı değişim grafiği

BÖLÜM ALTI

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Stadyum yapılarının çekmeye çalışan çatı strüktürlerinin yapısal özellikleri incelenmiştir. Stadyum yapılarının taşıyıcı sistemleri, temel konu çatı strüktürleri olacak şekilde ele alınarak çatı kaplama malzemeleri ve çatı taşıyıcı sistemleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Stadyum çatılarının taşıyıcı sistemleri kullanılan malzeme ele alınarak betonarme düşey strüktür ve çelik düşey strüktür olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmıştır. Strüktür gruplarının bir alt sınıflandırması, çekmeye çalışan taşıyıcı sistemleri içeren çatı strüktürlerine ayrılmıştır. Çatı yapım sistemleri, betonarme düşey strüktür ile birlikte çalışan kablo sistem, hareketli sistem ve ahşap sistem, çelik düşey strüktürle ise kablo sistem, asma-germe membran sistem ve uzay kafes sistem olmak üzere 6 ayrı alt grupta ele alınmıştır. Özetle çatının düşey ve yatay strüktürleri malzeme ve sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Çatı kaplama malzemeleri için, çatı sistemleri altında kullanımlarına göre ortak bir tablo oluşturulmuştur. Stadyum yapılarında kullanılan 8 farklı kaplama malzemesi membranlardan ve levhalardan oluşmaktadır. Çekmeye çalışan çatı strüktürlerinden kablo sistemler kendi içerisinde çeşitlerine göre kablo ağı, tek kablo sistem, çift kablo sistem, destek strüktürü sabit hareketli sistem, iç ve dış çemberli kablo ağı olmak üzere sınıflandırılmıştır. Bu çalışmadaki tüm çatı strüktür ve malzemeleri, bir sistem içerisinde iki ana tablo altında incelenmiştir.

1950 yıllarının başlangıcında stadyumlarda çekmeye çalışan çatı sistemleri etkin olmaya başlamıştır. 20. yüzyılın bitimine doğru, incelenen stadyumların çatı strüktüründe farklı eğrilikte geometriler gözlemlenmiştir. Böylelikle stadyumlar çatı faktörlerinin altında önemli bir gelişme göstermiştir. Bununla birlikte tasarım kriterlerini belirleyen seyirci sayısının artması, inşaat alanın düşeyde büyümesi, spor dalı farklılıkları, teknolojinin gelişmesi, stadyum yapılarında taşıyıcı sistem ve yapı malzemelerinde çeşitliliği arttırmıştır. Yapım uygulama tekniklerinin ve teknolojinin

gelişimiyle birlikte yapı malzemeleri birden fazla taşıyıcı sistemlerle de çalışmaya ve etkin olmaya başlamıştır.

Tez kapsamında incelediğim örneklerde 2000’li yılların başlamasıyla stadyum yapımları artmaktadır. İncelenen stadyum yapılarında geniş açıklık geçmek için çelik malzemenin, beton ve ahşap malzemeye göre daha çok uygulandığı gözlemlenmiştir. Çeliğin taşıyıcı sisteme kattığı hafiflik, büyük ölçekli yapılarda tercih edilmektedir. Betonarme taşıyıcı strüktürlere göre, stadyum yapılarının şeffaflık, hafiflik ve yapım kolaylığı talebine çelik malzeme cevap verebilmektedir. Büyük açıklık geçmede çelik elemanlar arasında boşluklar olduğundan gün ışığından faydalanılmaktadır. Tek eğrilikli ve çift eğrilikli gibi farklı geometrik biçimlerin uygulanmasına imkân vermektedir. Çelik taşıyıcı elemanlar farklı boyutlarda üretilebilen, metal esaslı levhalar, polikarbon, pleksiglas, TPO, PVC, ETFE, PTFE vb. malzemeler ile kaplanabilmektedir. 1950 yılından günümüze kadar olan dönemde inşa edilmiş stadyum yapılarının incelenmesiyle, strüktürel sistemin tamamlanmasında, üst örtünün hızlıca uygulanması sebebiyle tercih edildiği anlaşılmıştır.

Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerde çatı strüktüründe kullanılan zincir eğrisi denklemi, çatının formu üzerinde devamlılık sağlamaktadır. Çatı formundaki strüktürel biçim, spor sahalarının doğal ışıktan mümkün olduğu kadar doğru faydalanmasını sağlamaktadır. Bu şekilde de yapay ışık kaynaklarının kullanım miktarı azalmakta ve oluşturacağı ısıda engellenmiş olunmaktadır. Az enerji kullanılarak sürdürülebilir bir çatı formu meydana gelmektedir. Örneklerde incelenen bazı stadyum yapılarının çatılarında hareketli üst örtüler bulunmaktadır. Bu tip çatı yapısı da doğal havalandırmayı destekler niteliktedir.

Genel anlamda ele alınan örnek yapılarda çatı strüktürleri açısından çekmeye çalışan sistemler, çatı formuna ve yapının hafifliğine nitelik kazandırmaktadır. Sistemlerin ve malzemelerin birlikte çalışabilmesi çatı strüktür biçimlerine önemli bir boyut kazandırmıştır. Stadyum yapıları kronolojik incelemesi tamamlandığında, çatı ağırlıklarında azalma ve kullanılan malzemelerin kesitlerinde küçülme

gözlemlenmektedir. Bununla birlikte yapım tekniklerine bağılı olarak da daha az malzeme kullanılmıştır. Böylelikle en az malzeme ile en çok alan örtme olumlu sonuçlar vermeye başlamıştır.

Bir stadyum yapısı her türlü iklim şartı altında etkinliğini sürdürebilecek bir çatı sistemine sahip olmalıdır. Spor çeşidine göre gerektiğinde açılıp kapanabilen bir çatı örtüsüne ve iklime dayanıklı uzun ömürlü çatı yüzeyine sahip olmalıdır. Günümüz koşullarında enerji kaynaklarını verimli kullanmamıza imkân verebilmelidir.

Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin kullanımı, farklı yapım sistemleri ile birleşerek etkin hale gelmeye başlamıştır. Yapım yıllarına göre sıralanan örneklerde zamanla artan spor etkinlikleri ve ihtiyaçları, geliştirilen taşıyıcı sistemler, küçük ölçekli stadyumların yerini büyük ölçekli olimpiyat etkinliklerinin gerçekleştirildiği yapılara bırakmasına yol açmıştır.

Stadyum yapılarında gözlemlenen çatı geometrisindeki çeşitlilik, çatı kaplama malzemelerinin geliştirilmesiyle artmıştır. Farklı formlarda çatı hareketine ve strüktür davranışına cevap verebilen membran ve levhaların üretimleri, yekpare ölçülerinin artması da çatı geometrisine katkı sağlamaktadır. Çatı malzeme birleşim noktalarında, montaj alternatiflerinin artması farklı kaplama malzemelerinin kullanılmasını sağlamaktadır.

Stadyum yapılarında çatı sistemleri, betonarme ve çelik düşey strüktür olmak üzere her iki sistemde de açık ve kapalı stadyumlar inşa edilmektedir. Kapalı stadyumlar daha çok betonarme düşey strüktüre asılan kablo sistemlerden inşa edilmiştir. Açık stadyumlar ise çelik kemer ya da çelik basınç çemberi oluşturan uzay kafes kirişe asılan kablo sistemlerden yapılmıştır. Açık stadyumlar olimpiyat gereksinimlerini karşılayan ölçekte olduğundan çeliğin, betonarme strüktürden daha etkin olduğu anlaşılmaktadır. Bir stadyum yapısının çatı strüktürü, yapının örtülme ihtiyacını karşılayan alana sahip olması ve uzun ömürlü kaplama malzemelerinin tercih edilmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- AJCE, (2012). *Yoyogi National Stadiums*. 30 Haziran 2016, <http://www.ecfa.or.jp/japanese/AJCEHP/fidic/CentAward/Yoyogi.pdf>.
- Aksoy, A. (2009). Stadyum yapıları: *Olimpiyat stadyumları*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Aksu, A. (2009). Stadyumlar: kentsel bağlamda spor eksenli dönüşüm öğeleri. *Mimarlık Dergisi*, (364).
- Aluminyumtrapezsac, (b.t). *Düz ve oluklu alüminyum levha*. 1 Aralık 2018, <http://aluminyumtrapezsac.com/tr/teknik-bilgiler/galvaniz-trapez-sac.html>.
- Americanscientist, (2002). *Dorton Arena'nın strüktürel hareketinin çalışma diyagramı*. 27 Ocak 2015, <https://www.americanscientist.org/article/dorton-arena-on-the-occasion-of-its-50th-anniversary-and-its-dedication-as-a-national>.
- Ancient, (2013). *Circus Maximus*. 5 Şubat 2014, <https://www.ancient.eu/image/1275>.
- Archdaily, (2011). *La Plata Stadium*. 12 Aralık 2016, <https://www.archdaily.com/183538/estadio-unico-ciudad-de-la-plata-roberto-ferreira-arquitectos-asociados>.
- Architectsjournal, (b.t). 21 Haziran 2016. <http://www.architectsjournal.co.uk/news/qatar-reveals-third-2022-world-cup-stadium-design/8673108.article?MsgId=17150>.
- Archnet. (b.t). *King Fahd Stadium*. 10 Aralık 2015. http://archnet.org/sites/950/media_contents/19808.

- Archutah, (b.t). *Utah Olimpik Oval*. 31 Kasım 2016, www.archutah.com/built_project/olympic-oval.
- Arcspace, (2017). *ETFE malzeme*. 13 Aralık 2017, <https://arcspace.com/bookcase/verb-natures/6anatures>.
- Arqa, (b.t). *Moses Mabhida Stadium*. 28 Haziran 2016, <http://arqa.com/english-es/architecture-es/moses-mabhida-stadium-in-durban-south-africa.html>.
- Aureon, (b.t). *Colosseum*. 19 Mayıs 2014, <https://aureon.nl/architectuur/architectuur-colosseum>.
- Austadiums, (2016). *ANZ Stadium to get major redevelopment*. 2 Aralık 2016, <https://www.austadiums.com/news/news.php?id=579>.
- Bakbak, D. (2011). *Architectural form design and structural analysis of tensile structures*. M. Sc. Thesis In Civil Engineering, University Of Gaziantep Graduate School Of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.
- Barucki, T. (2014). *Paraboleum – przejaw geniuszu polskiego architekta*. 15 Nisan 2014, <http://archiprofil.pl/?p=377>.
- Behance, (b.t). *King Fahd Stadyumu çatı planı ve kesiti*. 16 Ocak 2015, <https://www.behance.net/gallery/22809933/King-Fahd-Stadium>.
- Birdair. (2011). *La Plata Stadium features tensile fabric roofing system from birdair*, 14 Eylül 2014, http://www.birdair.com/sites/default/files/press-releases/2011-03-29_La_Plata_Stadium.pdf.
- Capetown, (b.t). *Capetown Stadium*. 28 Haziran 2016, <https://www.capetown.gov.za/en/FIFA2010/Pages/CapeTownStadium.aspx>.

- Cesur, F. (2012). *Sürdürülebilir stadyum binalarının üretimi üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Ceyhun, S. (2008). Spor tesislerinin rekreatif açıdan kullanımı. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 16, 325-332.
- Clipsal, (b.t). *Stadium Australia Sydney*. 29 Haziran 2015, http://www2.clipsal.com/cis/technical/literature/case_studies/Case_Study_12_-_Stadium_Australia.pdf.
- Condon, R. (2011). *Architectural technology IV*. 27 Ağustos 2015, <http://cargocollective.com/sydneycastle/INGALLS>.
- Coşkun, H. (2017). *Tensegrity Türü Bir Yaya Köprüsünün Genetik Algoritma ile Optimizasyonu*. Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, Gaziantep.
- Cruz, P.J.D.S. (2013). *Structures and architecture: new concepts, applications and challenges*. 16 Nisan 2014, <https://books.google.com.tr/books?id=in3OBQAAQBAJ&pg=PA1099&lpg=PA1099&dq=dorton+arena+catenary&source=bl&ots=NRdr-tTZ4A&sig=rV4IoIgBDgmcdfpocE4hIwiFeTw&hl=tr&sa=X&ved=0CEMQ6AEwBWoVChMIw5ewkKrxgIVSwksCh1NkQ3n#v=onepage&q=dorton%20arena%20catenary&f=false>.
- CSSE, (2000). *Jeonju Stadium*. 6 Mart 2017, http://cs.co.kr/english/sabo/2000_01/06.htm.
- Çayiroğlu, (b.t). *Statik*. Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi. 7 Mayıs 2016, www.IbrahimCayiroglu.com.

ÇŞB, (2017). *Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Madde-4*. 30 Ekim 2018, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/07/20170703-8.htm>.

Dansık, F. ve Şahin M. (2016). *Germe sistemlerin yapısal tasarım ilkeleri*. 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-nisan-2016/tekil/fevzi-dansik/5-fevzi-dansik.pdf>.

Detail-online, (2012). *London 2012 – Velodrome. 18 Aralık 2016*, <https://www.detail-online.com/article/london-2012-velodrome-16431>.

Huan, A.C. (2013). *David S. Ingalls Rink*. 30 Temmuz 2014, https://www.engr.psu.edu/ae/thesis/portfolios/2014/cih5144/Final%20Report/Final%20Report_No%20Appendix.pdf.

Denardis, (b.t). *King Fahd Stadyumu çatı strüktür sistem detayı*. 16 Ocak 2015, <http://denardis.com/specialty-structures/florida-festival-seaworld-orlando-fl.htm>.

Detail, (2009). *Fotovoltaik şeritler*. 18 Ocak 2013, <https://www.detail.de/artikel/integration-von-photovoltaik-in-membrankonstruktionen-1618>.

Doğan, M., Ünlüoğlu, E., ve Gönen, H. (b.t). *Eskişehir’de kar yükünden hasar gören uzay kafes sistemler*. 25 Ocak 2018, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/9075.pdf>.

Durgun, D. (2007). *Türkiye’de sporun gelişimi ve değişen kullanıcı gereksinimlerini karşılayıcı yönde modern stadyum yapılarının temel planlama özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

- Eccosupply, (2013). Heating up at BC Place. *Sheet Metal Journal*. 28 Eylül 2015, http://www.eccosupply.ca/pdf/media%20advertising/SMJ_F13_Ecco_scrn.pdf.
- Elektrofahrrad24, (2015). *Münih Olimpik Park*. 22 Mayıs 2016, https://www.elektrofahrrad24.de/news_grossevent-im-olympiapark-1-e-bike-days-muenchen-12664.
- Erdem, S. ve Yatağan, S. (2014). Çatıda kullanılan polikarbonat levhaların analizi. 7. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*. 3-4 Nisan 2014, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Fang, R. (2009). *The design and construction of fabric structures*. 22 Ekim 2016, <http://www.mybooklibrary.com/the-design-and-construction-of-fabric-structures-j.html>.
- Francis, M. (1984). *Structures in Canada*. University of New Brunswick Fredericton, New Brunswick.
- Gönenç, G. (b.t). Matematik tarihine kısa bir bakış. *Elektrik Mühendisliği*. 259-260, 265-275. 30 Ağustos 2016, http://www.emo.org.tr/ekler/618c3210e934362_ek.pdf?dergi=129.
- Gunnet, (b.t). *Jeonju World Cup Stadium*. 20 Haziran 2015, <http://www.gunnet.kr/group-x/worldcup/wcs-junju.htm>.
- Gürbüz, F.Z. (2009). *Tepkimeli Mimarlık İçin Öngörüler*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hasol, D. (2011). *Mimarlık ve strüktür*. Mimarlıkta Taşıyıcı Sistemler Sempozyumu. 15 Ocak 2014, <http://www.doganhasol.net/mimarlik-ve-struktur.html>.

Hcma, (b.t). *Grandview Heights Aquatic Centre*. 12 Aralık 2016, <http://hcma.ca/project/grandviewheights>.

Heide, M. ve Wouters, N. (2009). *Olympic Stadium*. 29 Mayıs 2015, <https://iam.tugraz.at/studio/w09/blog/wpcontent/uploads/2009/11/OlympicStadium.pdf>.

Hensel, M. (2006). *Differentiation and performance: multi-performance architectures and modulated environments*. 29 Ekim 2017, https://www.academia.edu/23718153/Differentiation_and_performance_multi-performance_architectures_and_modulated_environments?auto=download.

Hurol, Y. (2015). *The tectonics of structural systems: An Architectural Approach*. 20 Mayıs 2016, <http://www.ebook777.com/tectonics-structural-systemsarchitectural-approach>.

Iaks, (2016). *Grandview Heights Aquatic Centre, surrey (bc) by hcma architecture + design*. 13 Kasım 2017, <http://www.iaks.org/en/sb-magazine/grandview-heights-aquatic-centre-surrey-bc-hcma-architecture-design>.

Issuu, (b.t). *Wembley Stadium*. 01 Haziran 2016, http://issuu.com/xxi_dergi/docs/xxi_spor_yapilari_rehberi.

Istructure, (2016). *Manchester City Stadium*. 13 Nisan 2017, <https://www.istructe.org/blog/2016/premier-league-engineering>.

İstbirlikgalvaniz, (2012). *Trapez ve oluklu galvaniz levha uygulama şekli*. 1 Aralık 2018, http://www.istbirlikgalvaniz.com/Pdf/Birlik_Galvaniz_Katalog-2012.pdf.

Jaido, R. (2010). *Greenpoint Stadium South Africa world cup 2010*. 28 Haziran 2016, <http://www.designboom.com/architecture/greenpoint-stadium-south-africa-world-cup-2010>.

Kacsu, (b.t). *Roof details*. 19 Haziran 2014, https://d.lib.ncsu.edu/collections/catalog/mc00227003ff0065000001_0002#?c=0&m=0&s=0&cv=0&z=1186.8655%2C296.8979%2C10891.7403%2C6173.3333.

Kavurmacioğlu Ö. ve Arıdağ, L. (2013). Strüktür tasarımında geometri ve matematiksel model ilişkisi. *Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Beykent Üniversitesi. <http://mayoralhernandezarchitect.jimdo.com/portfolio/structural-analysis>.

Kılıç Urfalı, F. (2012). *Güncel çelik yapı sistemlerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Leohoenig, (b.t). *Khalifa Uluslararası Stadyum*. 21 Haziran 2016, <http://leohoenig.com/?paged=6>.

Londontown, (b.t). *Wembley Stadium*. 31 Mart 2016, http://www.londontown.com/LondonInformation/Attraction/Wembley_Stadium/e8e5/imagesPage/23454.

Mathforum, (2004). *Zincir eğrisi grafiği*. 21 Aralık 2014, <http://mathforum.org/library/drmath/view/65729.html>.

Mavibeton, (b.t). *Prekast Beton Panel*. 11 Kasım 2018, <http://mavibeton.com.tr/>.

Moreadesign, (2010). *Wembley stadium*. 16 Mart 2016, <https://moreadesign.wordpress.com/2010/09/14/more-about-wembley-stadium>.

- Muenchen, (b.t). *Münih Olimpiyat Stadyumu*. 15 Nisan 2015, <https://www.muenchen.de/int/en/culture-leisure/sport-fitness/olympic-park-munich.html>.
- Multiplan, (b.t). *TPO*. 16 Aralık 2018, <http://www.multiplan.com.tr/tpo-membran-cati-yalitimi#>.
- Neotex, (b.t). *Neopren Kumaş Temini - Neotex Union Industries Co., Ltd.: Neotex Union Industries'in Neopren Elyaf Kumaşı Sırrı*. 26 Kasım 2018, <https://braces-supports.ready-online.com/tr/page/Neopren-Kuma-Temini-Neotex-Union-Industries-Co.-Ltd/neoprene-sheets.html>.
- Olympics, (2000). *Sydney Olimpik Stadyum*. 21 Haziran 2015, <http://olympics.ballparks.com/2000Sydney>.
- Öztürk Kuter, F. (b.t). *Toplumsal boyutlarıyla spor*. 3 Nisan 2017, <http://www.sporbilim.com/sayfa.asp?mdl=haber¶m=68>.
- Parcolympique, (2011). *Betonarme konsol taşıyıcı strüktürler*. 29 Haziran 2016, http://parcolympique.qc.ca/wpcontent/uploads/2011/10/A_architecture_genie.pdf.
- Pinterest, (2016). *Olimpik yüzme havuzu plan ve kesitleri*. 11 Ocak 2016, <https://tr.pinterest.com/blackzmt/superstructure>.
- Plexi-form, (2015). *Anka Plastik; Pleksi Hakkında*. 18 Kasım 2018, <http://plexi-form.com/pleksiglas-nedir-tanimi/>.
- Pleksiglas, (b.t). *Pleksiglas özellikleri ve temizlenmesi*. 21 Kasım 2018, <http://www.pleksiglas.net/pleksiglas-ozellikleri.html>

Pollalis, S.N. (2006). *The roof of the olympic stadium for the 2004 athens olympic games from concept to implementation*. Harvard Design School. <http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/3/538968/fac-pub-pollalis-case-OACA-v1.pdf>.

Ramazanoğlu, F. Altungül, O. ve Özer, A. (2004). *Sportif açıdan rekreasyon etkinliklerinin değerlendirmesi*. Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elâzığ.

Readbag, (b.t). *Khalifa Uluslararası Stadyum*. 21 Haziran 2016, <http://www.readbag.com/arup-assets-download-download628>.

Redskyselters, (b.t). *The History of Tensile Architecture*. 01 Ocak 2019, <https://redskyselters.com/the-history-of-tensile-architecture/>.

Rezai, M. (2012). *Nonlinear seismic analysis and retrofit of bc place stadium using rocking foundation and viscous dampers*. 15 WCEE, Lisboa 2012, Kanada.

Roof And Wall Cassettes, (b.t). *The Complete Panelised Timber Solution*. 13 Aralık 2018, [b__k_roof__wall_cassettes_brochure%20\(1\).pdf](http://b__k_roof__wall_cassettes_brochure%20(1).pdf).

Russianpapa, (b.t). *Polikarbon levha*. 16 Mayıs 2014, <https://russianpapa.s3.amazonaws.com/photos/Posting/115762/217814/hd/2375774309.jpg>.

Saucehockey, (b.t). *Betonarme omurga sistem*. 16 Haziran 2016, <http://onetsociety.saucehockey.com/david-ingalls-rink>.

Sbp, (2011). *Rehabilitation of BC Place Stadium*. 11 Nisan 2016, <http://www.sbp.de/en>.

- Schuler, T.A. (2016). *Grandview Heights Aquatic Centre's Timber Cables*. 25 Şubat 2017, https://www.architectmagazine.com/technology/detail/grandview-heights-aquatic-centres-timber-cables_o.
- Shirzad Rezaei, R. (b.t). *Asma sistemler*. 25 Eylül 2015, <https://rezashirzad.files.wordpress.com/2012/02/asma-sistemler2.pdf>.
- Silva, C. (2010). *Surveying the moses mabhida stadium*. surveying technical, Position IT. 14 Mart 2015, http://hds.leica-geosystems.com/hds/en/moses_mabhida_stadium_PositionIT_July2010.pdf.
- Skyscrapercity, (b.t). *Çatı strüktür sistemi*. 20 Haziran 2015, <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=451043&page=2>.
- Slayt, (b.t). *Tokyo Olympics*. 24 Aralık 2015. http://faculty.arch.tamu.edu/media/cms_page_media/4433/YoyogiNationalGymnasium.pdf.
- Slideshare, (b.t). *Tek ve çift tabakalı ETFE membran*. 2 Şubat 2014, <https://www.slideshare.net/AravindPoshnath/ethylentetrafluoroethylene-panels>.
- Structurae, (b.t). *Görünüş ve kesit çizimleri*. 31 Kasım 2015, structurae.net/structures/utah-olympic-oval.
- Şahan, H. Akpınar, S. Ulukan, M. Akpınar, Ö. (2008). Spor-medya ilişkilerinde iletişim teknolojilerinin rolü. *Niğde Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 2, 2-5. 3 Mayıs 2016, <http://acikerisim.nigde.edu.tr:8080/jspui/bitstream/11480/506/1/SPOR-MEDYA%20%C4%B0L%C4%B0%C5%9EK%C4%B0LER%C4%B0NDE%20%C4%B0LET%C4%B0%C5%9E%C4%B0M%20TEKNOLOJ%C4%B0LER%C4%B0N%C4%B0N%20ROL%C3%9C.pdf>.

- Tekgüvercin, Z.D. (2002). *Uzay kafes sistemler tarihi gelişim, güncel durum*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tekin, A. (2014). Antik Yunan dönemi: spor ve antik olimpiyat oyunları. *Tarih Okulu Dergisi (TOD)*, Haziran 2014, XVIII. 121-140.
- Tekla, (b.t). *Wembley Stadium: An arching ambition*. 26 Haziran 2017, <https://www.tekla.com/uk/references/wembley-stadium-arching-ambition>.
- Tensaform, (b.t). *Çift tabakalı ETFE geçilen açıklık*. 21 Mayıs 2014, <http://www.tensaform.com/media/7146/etfe-sunum.pdf>.
- Tensilesystems, (b.t). *Pvc malzeme*. 3 Mart 2013, <https://tensilesystems.com/engineeringanddesigntensilestructuralsystems/architectural-membrane-roofing>.
- Tensinet, (b.t). *Münih Olimpiyat Stadyumunun topolojik diyagramı*. 29 Haziran 2014, <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3779>.
- Tensogroup, (2012). *PVC membranın katmanları*. 5 Mart 2013, <http://tensogroup.blogspot.com/2012>.
- Themodernistangle, (2016). *It caught my eye: The Dorton arena in Raleigh, NC*. 2 Şubat 2016, <http://www.themodernistangle.com/2016/06/it-caught-my-eye-dorton-arena-in.html>.
- Tetik, A. (2014). Kentlerin dikkat çekici simgeleri: stadyumlar. *Bilim Genç Tübitak*. 8 Haziran 2016, <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/kentlerin-dikkat-cekici-simgeleri-stadyumlar#sthash.0PIioAT.dpuf>.

- The Structural Engineer, (2012). *An amphitheatre for cycling: the design, analysis and construction of the london velodrome*. 27 Ekim 2017, <https://expeditionworkshed.org/assets/IStructE-Velodrome-paper1.pdf>.
- Tian, D. (2011). *Membrane materials and membrane structures in Architecture*. The University of Sheffield, <http://maad.postgrad.shef.ac.uk/maad10/files/thesis---dian1.pdf>.
- Tsuboi, Y. (b.t). *Olimpik yüzme havuzu çatı strüktür detayı*. 18 Ocak 2016, <http://misfitsarchitecture.com/tag/yoshikatsu-tsuboi>.
- Türkçü, H. Ç. (2009). *Çağdaş taşıyıcı sistemler* (2. Basım) içinde (175-232). İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Ucking, (2015). *Nereden Geliyor ki İsimleri: 'Stad-yum'*. 14 Aralık 2015, https://papiroom.net/495553565255_nereden-geliyor-ki-isimleri-stad-yum.
- Yalebulldogs, (b.t). *David Sarrinen Ingalls Skating Rink giriş saçağı*. 19 Temmuz 2014, http://www.yalebulldogs.com/information/facilities/ingalls_rink/index.
- Yavaş, Ö. (2005). *Sporun ekonomi içindeki yeri ve spor pazarlama: üç büyük spor kulübünde uygulamalı bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- Yıldız, T. (2012). *Kablo askılı stadyum konsol çatısının tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zorba, E. (b.t). *Türkiye’de rekreasyona bakış, gelişimi ve beklentiler*. Beden Eğitimi ve Spor Yüksek Okulu, Muğla Üniversitesi, Muğla.