

T.C.
MİMAR SİNAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YAPI BİLGİSİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

171281

BÜYÜK AÇIKLIKLI ÇELİK YAPI SİSTEMLERİ
VE
UYGULANAN ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ

Kerimcan APAK (Mimar)
DANIŞMAN: Prof. Aydan ÖZGEN

İSTANBUL – ŞUBAT 2003

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında beni yönlendiren ve bu tezin ortaya çıkmasında büyük katkıları bulunan tez danışmanım Sayın Prof. Aydan Özgen'e, Yeditepe Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmalarımı bitirebilmem için bana izin veren Prof.Dr. Perihan Gökçe ve Prof. Gündüz Gökçe'ye, çalışmalarım sırasında bana destek veren diğer bütün hocalarıma, her türlü maddi ve manevi desteği veren anneme ve bana çalışmamın her aşamasında yardımlarını eksik etmeyen eşime teşekkürlerimi sunuyorum. Son olarak beni mimar olmam için motive eden rahmetli babamı da sevgi ile anıyorum.

Şubat 2003
Kerimcan APAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Çalışmanın Amaç, Kapsam ve Yöntemi.....	2
2. ÇELİK MALZEMENİN VE GENİŞ AÇIKLIKLI YAPILARIN GELİŞİMİNE GENEL BİR BAKIŞ	4
2.1. Demir ve Çelik Malzemenin Gelişimi.....	4
2.1.1. Üretimdeki Gelişim.....	5
2.1.2. Strüktürel Elemanlardaki Gelişim.....	7
2.1.3. Cephe Elemanlarındaki Gelişim.....	9
2.1.4. Korozyona Karşı Tekniklerin Gelişmesi.....	10
2.1.5. Demirin Şekillendirilmesindeki Gelişmeler.....	11
2.1.6. Birleşim Metodlarının Gelişimi.....	13
2.2. Büyük Açıklıklı Yapıların Gelişimi.....	16
2.2.1. Köprüler.....	17
2.2.2. Terminal Yapıları.....	21
2.2.3. Endüstri Yapıları.....	25
2.2.4. Alış-Veriş Merkezleri.....	27
2.2.5. Kütüphaneler.....	30
2.2.6. Sergi Yapıları.....	32

3. BÜYÜK AÇIKLIKLI ÇELİK YAPI SİSTEMLERİ	35
3.1. Kafesli Sistemler.....	35
3.1.1. Kablo Destekli Sistemler.....	36
3.1.1.1. Kablo Destekli Sistemlerin Sınıflandırılması.....	38
3.1.1.2. Örnek Yapılar.....	40
• Patcenter Uluslararası Araştırma ve Geliştirme Merkezi	41
• Darling Harbor Sergi Sarayı.....	43
• Alamillo Köprüsü.....	44
• Renault Şirketinin Depo ve Dağıtım Merkezi.....	46
3.1.2. Makaslar.....	48
3.1.2.1. Makas Sistemlerin Sınıflandırılması.....	49
3.1.2.2. Örnek Yapılar.....	53
• Georges Pompidou Merkezi.....	54
• Gund Salonu.....	56
• Sainsbury Merkezi.....	57
• Crosby Kemper Arena.....	59
• IBM Spor Salonu.....	60
3.1.3. Uzay Kafes Sistemler.....	62
3.1.3.1. Kullanılan Sistemler.....	64
• Mero Sistem.....	65
• Unibat Sistem.....	65
• Oktaplatte Sistem.....	66
• SDC Sistem.....	66
• Nodus Sistem.....	67
• Unistrut Sistem.....	67
• Space-Deck Sistem.....	68
• Triodetic Sistem.....	68
• Moduspan Sistem.....	69
3.1.3.2. Uzay Kafes Sistemlerin Desteklenmesi.....	69

3.1.3.3. Uzay Kafeslerin Sınıflandırılması.....	71
• Düzlem Yüzeyli Uzay Kafesler.....	71
• Tensegrity Sistemler.....	72
3.1.3.4. Örnek Yapılar.....	74
• Birmingham Ulusal Kapalı Spor Salonu.....	75
• Expo 70 Festival Sergi Sarayı.....	76
• Jakop K. Javits Toplantı Merkezi.....	77
• Louvre Müzesine Ekleme Piramit.....	79
• Seoul Olimpik Jimlastik Stadyumu.....	80
• Florida Suncoast Kubbesi.....	82
• Georgia Kubbesi.....	83
3.1.4. Jeodezik Kubbeler.....	84
3.1.4.1. Jeodezik Kubbelerin Sınıflandırması.....	89
• Tek ve Çift Katlı Kubbeler.....	89
• Gerilmiş Yüzeyli Kubbeler.....	90
3.1.4.2. Örnek Yapılar.....	92
• Missouri Botanik Bahçesi	93
• United States Pavyonu Expo 67.....	93
• Birleşmiş Milletler Pavyonu Expo 92.....	95
3.2. Füniküler Sistemler.....	96
3.2.1. Zincir Eğrisi Kablolar.....	97
3.2.1.1. Asma Strüktürlerin Sınıflandırılması.....	99
• Tek Eğrilikli Asma Strüktürler.....	99
• Çift Kablolü Asma Strüktürler.....	101
• Çift Eğrilikli Asma Strüktürler.....	102
3.2.1.2. Örnek Yapılar.....	103
• Uniontown Köprüsü.....	104
• Tacoma Narrows Köprüsü.....	104
• Burgo Kağıt Fabrikası.....	106
• Minneapolis Federal Reserv Bankası.....	107

• Dulles Terminal Binası.....	110
• Denver Uluslararası Havaalanı.....	111
• Utica Oditoryum.....	112
• Raleigh Arena.....	113
• Yale Hokey Sahası.....	115
• Münih Olimpik Stadyumu.....	116
• Ohnaruto Köprüsü.....	119
3.2.2. Çadırlar.....	119
3.2.2.1. Çadırların Sınıflandırılması.....	122
• Yüksek Noktalarından Doğrudan Destelenen Çadır Sistemi.....	122
• Yüksek Noktalarından Dolaylı Desteklenen Çadır Sistemi.....	123
3.2.2.2. Örnek Yapılar.....	125
• Hac Terminal, Kral Abdülaziz Uluslararası Havaalanı.....	126
• Mounds Stands, Lord's Kriket Sahası.....	128
4. SONUÇ	130
KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ	135

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Kablo Destekli Sistem Yapı Örnekleri

Tablo 3.2: Makas / Kafes Kiriş Yapı Örnekleri

Tablo 3.3: Uzay Kafes Yapı Örnekleri

Tablo 3.4: Jeodezik Yapı Örnekleri

Tablo 3.5: Zincir Eğrisi Yapı Örnekleri

Tablo 3.6: Çadır Sistem Yapı Örnekleri



ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1: Tarih süreci içerisinde dökme demir kesitleri [12]
- Şekil 2.2: Yivli silindirler kullanılarak demirlerin şekillendirilmesi [12]
- Şekil 2.3: Demir profillerin biraraya getirilmesiyle oluşan kolonlar [12]
- Şekil 2.4: İlk asma köprüler [27]
- Şekil 2.5:1617'de İtalya'da Faustos Verantius tarafından tasarlanan ilk asma köprü [2]
- Şekil 2.6: Coalbrookdale köprüsü, Abraham Darby, İngiltere, 1779 [2]
- Şekil 2.7: Ponts des Arts köprüsü, Fransa [2]
- Şekil 2.8: Dyburgh Abbey, 1817 [2]
- Şekil 2.9: Menai köprüsü, 1826 [28]
- Şekil 2.10: Brooklyn Köprüsü, 1883 [2]
- Şekil 2.11: Garabit Viyadüğü, 1880-1885 [2]
- Şekil 2.12: Tren istasyon yapılarında kullanılan eğri kemerler [2]
- Şekil 2.13: Euston Arch İstasyonu, Londra, 1837 [2]
- Şekil 2.14:St.Pancras İstasyonu, Londra, 1866 [12]
- Şekil 2.15: Grand Central İstasyonu, New York, 1870 [2]
- Şekil 2.16: 1792 yılında Derby'de, William Strutt'ın pamuk dokuma atölyesi için tasarladığı demir strüktürel sistem [2]
- Şekil 2.17: Ditherington Fabrikasında, kullanılan 'T' kesitli kirişler [2]
- Şekil 2.18: St. Katharine Limanı'nda demir çerçeveli hangar yapısı, Londra, 1829 [2]
- Şekil 2.19: 'Galerie d'Orleans' binası, Paris [2]
- Şekil 2.20: İlk pasajlardan biri olan Passage du Caire, Paris, 1799 [22]
- Şekil 2.21: Buğday Hali, Münih, 1851[22]
- Şekil 2.22: Hungerfort market, çelik çatı ile konstrüksiyonu, İngiltere, 1836 [12]
- Şekil 2.21: Galleria Vittorio Emanuele, İtalya, 1865 [22]
- Şekil 2.22: The Bibliotheque Sainte-Genevieve, kütüphanesi, Paris, 1840 [2]
- Şekil 2.23: Bibliotheque Nationale kütüphanesi [12]
- Şekil 2.24: Crystal Palace, Londra, 1851 [30]
- Şekil 2.25: Crystal Palace'ın strüktürel sistemin güvenilirliğini test edilmesi [12]
- Şekil 2.26: Galerie des Machines, Paris, 1889 [12]

- Şekil 3.1: Stabil ve stabil olmayan geometri [21]
- Şekil 3.2: Kablo sisteme etki eden yük karşısında, kabloda oluşan çekme etkisi [21]
- Şekil 3.3: Kablo askılı sistemde kuvvet diagramı [3]
- Şekil 3.4:Kablo destekli sistemin orta pılona gerili kablolarla iki taraflı konsol oluşturulması [23]
- Şekil 3.5: Kablo destekli sistemler [27]
- Şekil 3.6: Kablo askılı sistemlerin sınıflandırması [17]
- Şekil 3.7: Patcenter'ın kesiti [21]
- Şekil 3.8: Patcenter,Princeton NJ, 1986 [10]
- Şekil 3.9: Patcenter'ın izometrik görünüşü [21]
- Şekil 3.10: Parcenter'ın yük diagramı [21]
- Şekil 3.11: Darling Harbor Exhibition Center, Sydney Avusturalya, 1986 [21]
- Şekil 3.12: Darling Harbor Exhibition Center'ın izometrik çizimi [21]
- Şekil 3.13: Alamillo Köprüsü, Sevilla İspanya, 1992 [21]
- Şekil 3.14: Alamillo Köprüsü dik kesiti [21]
- Şekil 3.15: Renault Şirketinin Depo ve Dağıtım Merkezi, İngiltere,1983 [10]
- Şekil 3.16: Renault binasının izometrik çizimi [10]
- Şekil 3.17: Renault binasının iç görünümü [10]
- Şekil 3.18: Farklı birleşim noktaları arasındaki kabloya etki eden kuvvet [21]
- Şekil 3.19: Basit bir makasın üzerine etki eden kuvvetler [21]
- Şekil 3.20: Basit bir makastan daha komplike makasların ortaya çıkışı ve üzerlerine etkiyen kuvvetler [21]
- Şekil 3.21: Makas sistemlerin yabancı isimleri ve üzerlerine etkiyen kuvvetler [21]
- Şekil 3.22: Makas sistemler [15]
- Şekil 3.23: Akbaba kanadının iç yapısı [21]
- Şekil 3.24: Georges Pompidou Center, Paris, 1977 [21]
- Şekil 3.25: Georges Pompidou Center'ın kolon ve çevresindeki elemanların birleşim Detayları [21]
- Şekil 3.26: Gund Hall, Cambridge, 1972 [21]
- Şekil 3.27: Gund Hall, Cambridge, 1972 [21]
- Şekil 3.28: Sainsbury Center, İngiltere, 1978 [10]
- Şekil 3.29: Sainsbury Center, makasların aksonometrik çizimi [21]

- Şekil 3.30 : Crosby Kemper Arena [21]
- Şekil 3.31: Moore Crosby Kemper Arena'nın taşıyıcı sistemi [21]
- Şekil 3.32: IBM Sports Hall, Hampshire, 1982 [10]
- Şekil 3.33: Dış yüzeyde bulunan strüktürel sistem ve ilerideki olası genişleme [10]
- Şekil 3.34: Uzay kafes strüktürlerin montajı [3]
- Şekil 3.35: Uzay kafes sistemlerle oluşturulan değişik formlar [3]
- Şekil 3.36: Uzay Kafes ve Makas Aşık Sistem [21]
- Şekil 3.37: Mero sistem [21]
- Şekil 3.38: Unibat sistemi [13]
- Şekil 3.39: Oktaplatte Sistem [27]
- Şekil 3.40: SDC sistemi [27]
- Şekil 3.41: Nodus sistem [29]
- Şekil 3.42: Unistrut sistemi [27]
- Şekil 3.43: Space –Deck sistemi [13]
- Şekil 3.44: Triodetic sistem [29]
- Şekil 3.45: Moduspan sistem [13]
- Şekil 3.46: Uzay Kafes Sistemin Desteklenmesi, plan [21]
- Şekil 3.47: Uzay Kafes Sistemin Desteklenmesi [21]
- Şekil 3.48: Düz yüzeysel uzay kafeslere örnekler [7]
- Şekil 3.49: Uzay kafes modüller [8]
- Şekil 3.50: Kenneth Snelson'un 1974 yılındaki tensegrity strüktürel heykeli [21]
- Şekil 3.51: Fuller'in tensegrity strüktürle tasarladığı ve patent aldığı kubbe [21]
- Şekil 3.52: Geiger'in tensegrity strüktürle tasarladığı kubbe [21]
- Şekil 3.53: Birmingham National Indoor Arena for Sport [7]
- Şekil 3.54: Birmingham National Indoor Arena for Sport'un kesiti [7]
- Şekil 3.55: Expo 70 Festival Plaza'nın kesiti [21]
- Şekil 3.56: Jacob K. Javits Convention Center [21]
- Şekil 3.57: Javits Center'ın kolon detayı [21]
- Şekil 3.58: Louvre Müzesi, I.M.Peı ve ortakları, Paris, 1989 [6]
- Şekil 3.59: Louvre Müzesi kesiti [21]
- Şekil 3.50: Seoul Olimpik Jimnastik Stadyumu'nun tensegrity çatı planı ve kesiti [21]
- Şekil 3.51: Florida Suncoast Dome, David Geiger, 1989, Petersburg [21]

- Şekil 3.52: Florida Suncoast Dome'un kesiti [21]
- Şekil 3.53: Georgia Dome yapım aşamasında, R. Fabrap International T. Ventulett, 1992, Atlanta [4]
- Şekil 3.54: Georgia Dome'un isometrik çizimi [21]
- Şekil 3.55: Modüler pirizmalar [21]
- Şekil 3.56: Jeodezik bir yüzeyin bölünmesi [21]
- Şekil 3.57: Radiolarian iskelet sistemleri [21]
- Şekil 3.58: Jeodezik kubbede yük dağılımı [21]
- Şekil 3.59: Jeodezik kubbe şekilleri [21]
- Şekil 3.60: Jeodezik kubbelerdeki kafes derinliği [21]
- Şekil 3.61: Schwedler kubbesinin strüktürel yapısı [21]
- Şekil 3.62: Zeiss-Dywidag kubbesinin strüktürel yapısı [21]
- Şekil 3.63: Mafsalı birleşimi olan tek katlı jeodezik kubbe [16]
- Şekil 3.64: Virginia Beach'de inşa edilen Kaiser jeodezik kubbesi [21]
- Şekil 3.65: Missouri Botanical Gardens Climatedon, St. Louis, 1961 [21]
- Şekil 3.66: United States Pavilion Expo 67, Monreal, 1967 [21]
- Şekil 3.67: United Nations pavilion Expo '92, Sevilla [7]
- Şekil 3.68: United Nations pavilion Expo '92, Sevilla [7]
- Şekil 3.69: Füniküler strüktürler [21]
- Şekil 3.70: Dağılmış yükün asma füniküler kablolarına etkisi [21]
- Şekil 3.71: Zincir eğrisi bir strüktürel sistemde kabloya verilen ok derinliği ile sisteme etki eden yanıl tepki kuvvetleri [21]
- Şekil 3.72: Füniküler asma sistemler [21]
- Şekil 3.73: Çatı döşemesinin düz olduğu, tek eğrilikli asma sistem [27]
- Şekil 3.74: Kabloların çatı döşemesine doğrudan destek verdiği asma sistemler [27]
- Şekil 3.75: Halattan yapılmış bir köprü [21]
- Şekil 3.76: Çift kablolu strüktürler ve asma kablo kullanılarak dengede tutulan sistemler[21]
- Şekil 3.77: Çift kablolu strüktürler ve bunlara dik olarak yerleştiren yatay sağlamlaştırma elemanları [21]
- Şekil 3.78: 'Anticlastic'şekle sahip çift eğimli strüktürel yapılar [21]
- Şekil 3.79: Uniontown Köprüsü, James Findley, Uniontown, 1801 [21]

- Şekil 3.80 : Tacoma Narrows Köprüsü, Moisseiff, Tacoma, 1940 [21]
- Şekil 3.81: Burgo Kağıt Fabrikası, Pier Luigi Nervi, Mantua, İtalya, 1962 [31]
- Şekil 3.82: Burgo Kağıt Fabrikası, Perspektif görünüş [19]
- Şekil 3.83: Mineapolis Federal Reserv Bankası, G.Birkets, Minneapolis, 1973 [21]
- Şekil 3.84: Mineapolis Federal Reserv Bankası, taşıyıcı sistemine etki eden yükler [21]
- Şekil 3.85: Mineapolis Federal Reserv Bankası, cephe detayı [21]
- Şekil 3.86: Dulles Terminal Binası, Eero Saarinen, Washington DC, 1962 [4]
- Şekil 3.87: Dulles Terminal Binasının, taşıyıcı sistemine etki eden kuvvetler [21]
- Şekil 3.88: Denver Uluslararası Havaalanı [4]
- Şekil 3.89: Denver Uluslararası Havaalanı Kesiti [21]
- Şekil 3.90: Utica Oditoryum [21]
- Şekil 3.91: Raleigh Arena, Deitrick & Nawicki, Raleigh, 1952 [21]
- Şekil 3.92: Raleigh Arena, plan [19]
- Şekil 3.93: Raleigh Arena, aksonometrik çizimi [21]
- Şekil 3.94: Yale Hokey Sahası, Eero Saarinen, New Haven, 1958 [4]
- Şekil 3.95: Yale Hokey Sahası, aksonometrik çizimi [21]
- Şekil 3.96: Münih Olimpik Stadyumu, Behnish, Münih, 1972 [4]
- Şekil 3.97: Münih Olimpik Stadyumu, iç görünüşü [19]
- Şekil 3.98: Münih Olimpik Stadyumu, kesiti [21]
- Şekil 3.99: Ohnaruto Köprüsü, Japonya, 1990 [6]
- Şekil 3.100: Küçük çadır sistemler [3]
- Şekil 3.101: Imagination Binası, Herron Associates, London, 1994 [21]
- Şekil 3.102: Kenarları yüksek, direklerle desteklenmiş çadır [3]
- Şekil 3.103: Yüksek noktaları kemerle desteklenmiş çadır [3]
- Şekil 3.104: Yüksek noktaları iç ve dış direklerle desteklenmiş çadır [3]
- Şekil 3.105: Yüksek noktaları, kablolarla gerilmek suretiyle dolaylı desteklenen çadır sistem [3]
- Şekil 3.106:Yüksek noktaları, membranın kablolarla asılarak taşınmasıyla oluşturulan sistem [3]
- Şekil 3.107:Yüksek noktaları, membranın kablo destekli iç dikmeler ile taşınmasıyla oluşturulan sistem [3]
- Şekil 3.108: Gergi kabloları ve iç dikmelerle dolaylı desteklenen çadır sistem [3]

**Şekil 3.109: Hac Terminal, Kral Abdülaziz Uluslararası Havaalanı, Geiger Berger,
Cidde, Suudi Arabistan, 1982 [4]**

Şekil 3.110: Hac Terminali, iki boyutlu yük diagramı [4]

Şekil 3.111: Mounds Stands, Lord's Kriket Sahası, Micheal Hopkins, Londra, 1987 [6]



BÜYÜK AÇIKLIKLI ÇELİK YAPI SİSTEMLERİ VE UYGULANAN ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, tarihi süreç içerisinde çelik malzeme ve büyük açıklıklı çelik yapı sistemleri incelenmiş ve büyük açıklıklı çelik strüktürel sistemlerin irdelenmesi örnek yapılar verilerek detaylı bir şekilde yapılmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünde amaç, kapsam ve yöntem açıklanmaktadır.

İkinci bölümde demir ve çelik malzemenin gelişimi ve büyük açıklıklı çelik yapılardaki ilk kullanımları tarihi süreç içerisinde incelenmiştir. Tipolojik olarak sınıflandırılmış ilk büyük açıklıklı çelik yapı örnekleri ile bu malzemenin strüktürel gelişimi ve kullanımı açıklanmaya çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde, büyük açıklıklı çelik yapı sistemleri incelenmiştir. Herbir strüktürel sistemle ilgili teorik bilgiler verilmiştir. Bu sistemlerin anlatımı örnek yapılar ile desteklenmiştir. Bu örneklerde mimari tasarım ve taşıyıcı sistem ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Sonuç bölümünde, çalışmanın genel bir özeti yapılmıştır. Geniş açıklıklı çelik yapı sistemlerinde geçmişten günümüze kadar olan gelişmelerin mimariye sağladıkları olanaklar ortaya konmuştur.

LONG SPAN STEEL STRUCTURAL SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS

SUMMARY

In this thesis, historical development of the construction of steel structures and long span steel structures were studied. The differences between different structural systems and their qualifications were examined, considering the examples already built.

In the first section, coverage and aim of the thesis work is explained.

In the second section of the work, evolution of iron and steel as constructional materials is searched. The steel construction techniques of the historic steel buildings are examined along the century.

In the third section, all the types of long span the steel structures and their theoretical principles are searched. The theoretical explanations are supported by the buildings, having significant construction techniques.

In the last section, an overview on the study is given including the improvement of the long span steel structures and their contribution to the modern architecture.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

18. yy'dan başlayarak günümüze kadar uzanan zaman dilimi içerisinde toplumsal ve teknolojik gelişmelere paralel olarak yapıların strüktürlerinde de gelişmeler olmuştur. 20. yy'dan itibaren yüksek fırınların çelik üretiminde kullanılmaya başlanmasıyla, üretim artmış ve modern çelik yapı tekniğinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

Çelik yapılardaki gelişmenin ikinci aşaması, kaynaklı birleşimlerin yapısal alanda kullanılmaya başlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleşimlerin ilk önce yüksek yapılarda daha sonraları köprülerde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte bugünkü modern konstrüksiyon anlayışı ortaya çıkmıştır.

Metaltürji alanında yapılan bilimsel araştırmaların sonucunda, günümüzde yapı alanında kullanılan yüksek dayanımlı çelikler bulunmuştur. Bu malzeme kullanılarak, açıklıkları 1.000 m.'yi geçen çelik asma köprüler inşa edilebilmiştir.

Çelik malzemedeki teknolojik ilerleme ile birlikte çeliğin üstün özellikleri ortaya çıkmıştır. Malzemedeki ilerleme, büyük açıklıklı çağdaş çelik strüktürel sistemlerin gelişmesini hızlandırmıştır. Bu sistemler, geleneksel yapım sistemlerinden malzeme, yük taşıma ilkeleri, statik ilkeler vb. yönlerden farklı özellikler gösteren, daha büyük açıklıkları örtmeye uygun sistemlerdir.

Günümüzde büyük açıklıklı yapılarda birden fazla çelik taşıyıcı sistemin birleştirildiği ve bu sistemlerin üstün özelliklerinden faydalandığı karma strüktürler kullanılmaktadır. Karma strüktürlerin ortaya çıkmasına, konstrüktif açıdan gelişmiş sistemlerin üretilme ihtiyacı neden olmuştur. Ayrıca bu strüktürel sistemlerin, yapının estetik boyutunun oluşmasında önemli katkıları vardır.

Yapı ve malzeme teknolojisindeki ilerlemeler ile birlikte, çeşitli strüktürel sistemler gelişmiştir. Bu taşıyıcı sistemler araştırmacılar tarafından incelenmiş ve bu sistemler farklı sınıflandırma grupları içerisinde toplanmıştır. Strüktürel sistemlerin sınıflandırılmaları bu sistemlerin anlaşılmasını, özelliklerinin daha iyi kavranabilmesini ve taşıyıcı sistem seçiminin daha uygun şekilde yapılmasını sağlamıştır.

Büyük açıklıklı çelik taşıyıcı sistemlerin mimarinin gelişmesinde ve yapılardaki strüktürel sınırların aşılmasında önemli etkileri olmuştur. Bu nedenle bu sistemlerin araştırılmalarına önem verilmesi gerekmektedir.

1.2. Çalışmanın Amaç, Kapsam ve Yöntemi

Bu çalışmanın amacı, büyük açıklıklı çelik yapı sistemlerinin strüktürel prensiplerinin araştırılması ve bu yapıların tarihi süreç içerisinde gelişimlerinin incelenmesidir.

Büyük açıklıklı çelik yapılara olan ihtiyaçtan dolayı bu sistemler tarih boyunca mimarların ve mühendislerin ilgisini çekmiştir. Bu konuda birçok araştırmalar yapılmıştır. Büyük açıklıklı sistemlerinin strüktürel prensipleri, çelik malzemenin kullanımı araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

Çelik malzemenin büyük açıklıklı strüktürel sistemlerin gelişmesine olan etkisinin belirlenebilmesi için, bu malzemenin üretim yöntemlerinin tarihçesi ve taşıyıcı sistemlerde ne şekilde kullanılmaya başlandığının araştırılması gerekmektedir. Çelik malzeme ve strüktürel sistemlerin tarihsel gelişimleri bu amaç doğrultusunda incelenmiştir.

Çelik malzemedeki ve strüktürel teknolojideki ilerlemeler, yapısal sistemlerin gelişmesini sağlamıştır. Bu ilerlemelerden dolayı farklı taşıyıcı sistemler gelişmiştir. Bu taşıyıcı sistemlerin konstrüktif özelliklerinin anlaşılabilmesi için, bu sistemlerin sınıflandırma şekillerinin ve strüktürel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu

nedenle büyük açıklık geçen çelik taşıyıcı sistemlerin konstrüktif özellikleri örnek yapılar verilerek ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.



2. ÇELİK MALZEMENİN VE GENİŞ AÇIKLIKLI YAPILARIN GELİŞİMİNE GENEL BAKIŞ

Eski çağlarda demir, günümüzdeki altın gibi değerli bir madendir. Daha sonraki yıllarda giderek daha fazla elde edilebildiği için değeri azalmıştır. Demir malzeme Grek yapılarının bazılarında kiriş, duvar ve kolon bağlantısı olarak; ayrıca demir, yığma yapılardaki taşlar arasındaki yatay hareketi engellemek amacıyla kullanılmıştır. Demir çubuklar taş duvarlara kanca ile tutturulmuştur. Bu elemanların çevresine kurşun dökülerek hareket etmemeleri sağlanmıştır. Ortaçağ yapılarında, demirin büyük bir rolü vardır. Kolonlar ve kirişler arasında yer alan demir çubuklar, yapının stabil olmasını sağlamışlardır. Taş duvarların içerisinde yer alan demir çubuklar ise taş duvarların birbirlerine daha iyi kenetlenmeleri için kullanılmıştır. Bundan dolayı daha kompleks formlar ortaya çıkabilmiştir. Mesela Salisbury Katedrali'nin kulelerinde demir çubuklar kullanılmıştır. Bu çubuklar kulelerin strüktürlerini destekleyici elemanlar haline almışlardır. Rönesans'tan beri büyük kubbelerin ve kemerlerin yıkılmadan durabilmeleri büyük bir sorun olmuştur. Barok mimarların kendilerine örnek olarak aldıkları, erken Rönesansın şu ana kadar yapılmış en gösterişli ve yüksek kubbesi olan Floransa Katedrali'nin yığma sistemi içerisinde iç dengeyi sağlamak için demir çubuklar kullanılmıştır. Bu tip konstrüksyonlarda demir çubuklar, oluşabilecek kesme kuvvetlerini karşılamaktadır. Ahşap malzeme de demirin kullanımında öncü rol oynamıştır. Demir kullanılmadan evvel yığma strüktürel sistemlerde ahşap uygulanmıştır. Fakat demir malzeme, yapılarda kullanılmaya başlandıktan sonra, en önemli strüktürel malzemelerden biri haline gelmiştir [12].

2.1. Demir ve Çelik Malzemenin Gelişimi

Demir ve çelik malzemenin gelişimi bu metallerin üretim metodlarıyla başlamıştır. Bilim ve teknoloji ilerledikçe bu metallerden yapılmış strüktürel sistemler, bu sistemlerde kullanılan taşıyıcı elemanlar, bunların şekillendirme, birleştirme, korozyona karşı koruma yöntemleri gelişmiştir.

2.1.1. Üretimdeki Gelişim

Çelik üretiminin ilk sürecinde üç önemli adım atılmıştır. İlk olarak pik demir üretilmiştir. Yüksek oranlarda karbon içeren bu demir eritilip karıştırıldığında içerisindeki karbon dışarıya çıkıp yanmıştır. Böylelikle ortaya içerisindeki karbon yüzdesi %0.1 olan dövme demir çıkmıştır. Daha sonraları elde edilen bu dövme demir eritilip içerisine karbon ilave edilmeye başlanmış ve çelik elde edilmiştir. Elde edilen çelikte karbon miktarı % 1.7'den azdır. Bu sürecin tamamlanması için büyük oranda sıvı yakıt gerekmektedir. Böylelikle çelik çok değerli bir maden haline gelmiş, yapılarda mümkün olduğunca dikkatli bir şekilde kullanılmıştır. Örneğin, taşıyıcı sistemlerde kesme kuvvetinin çok yüksek olduğu yerlerde kullanılmıştır [12].

Fransız ordusu, pik demir içeren namlulu toplarda çok ağır mermilerin güvenli bir şekilde ateşlenemediğinin farkına varmıştır. Bunun üzerine Bessemer çalışmalarını metal üretimi üzerine yoğunlaştırmıştır. 1856 yılında buluşlarını İngiliz yüksek bilim merkezine sunmuştur. Demir ve çelik üretiminde az yakıt harcayarak, ekonomik bir yol bulunması, çalışmalarının ana konusunu oluşturmuştur. Daha sonraki yıllarda bu buluşuna patent almıştır. Bessemer, icat ettiği konvertörü çelik üretimindeki en ekonomik yol olarak tanımlamaktadır. Bessemer'in icat ettiği konvertör, büyük bir konteynerin iki mafsallı üzerine yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Bu konvertör hafif eğimli hale getirilebilmektedir. Böylelikle içerisine erimiş demir konulabilmektedir. Daha sonra dik bir biçime getirilip, demir üzerindeki duman tabakası konteynerin üzerinden dışarı çıkmaktadır. Bessemer bu aşamayı, demirin içerisindeki cürufların dışarıya, demir eriğinin üzerinden atılması olarak kabul etmiştir. Bu sayede demir eriyiği içerisinde karışımın ihtiyacı kadar karbon bulunmaktadır. Fazla maddeler konvertör eğildiği zaman dışarıya atılmaktadır [2] [12].

Birçok İngiliz demir üreticisi, Bessemer yöntemini kullanmak için lisans elde etmeye çalışmıştır. Bessemer'in tekniğinde doğru oranda karbon metalin içerisinde kaldığında, demir eriyindeki patlamalar belli bir noktadan sonra sona ermektedir. Bessemer gerekli ölçüdeki karbonu, üretim sürecinin sonunda karışıma ilave

etmektedir. Sonradan karışıma ilave edilen bu karbon, üretilen demirin kalitesini belli bir seviyeye getirmeye yetmemiştir. Bessemer'in kendi yaptığı deneylerde ürettiği demir çok az oranda fosfor içermektedir. Fakat lisans sahipli diğer üreticilerin demir eriyiklerinin içerisinde çok fazla fosfor bulunmaktadır. Ayrıca üretim süreci aşamasında demir çok fazla oranda oksijen içermektedir [12].

Bessemer'in üretim yönteminde bu iki kimyasal sorun, ürünün verimsiz olmasına yol açmaktaydı. 1856 yılında Robert Forester Mushet yeni bir yöntemi tanıtır, bu buluşuna patent almıştır. Karbon, demir ve manganez'in karışımını demir eriyinin içine karıştırmak suretiyle manganez demir içerisindeki oksijeni dışarıya vermektedir. Bunun sonucunda demir eriyinin karbon oranı artmaktadır.

Tek problem fosfor'un demir içerisinde yer almasıdır. Bazı İngiliz demir üreticileri çok az bir oranda fosfor içeren demirleri üretebilmektedir. İsveç demiri en saf demir olarak bilinmektedir. Fransa, Almanya, Belçika ve Amerika'da üretilen bir çok demir fosfor içermektedir. Bessemer'in ürettiği demirlerin içerisinde fosfor olmamasının tek nedeni, demirin eritildiği konvertörlerin iç kısımlarının kimyasal bileşenleri asit olmayan malzemelerle kaplanmış olmasıdır. 1879 yılında Sydney'de 29 yaşındaki kimyager Percy Gilchrist base alkali bir materyal bulmuştur. Bu malzeme ile konvertörlerin iç kısımları kaplanmıştır. Böylelikle demir eriyinin içerisindeki fosfor dışarıya daha kolay atılmıştır. Bu tarihten yirmi yıl sonra Percy Gilchrist'in de buluşu sayesinde güvenli bir çelik elde edilmiştir. Bessemer'in yöntemiyle, demirin içeriğinde %0.1'den az oranda fosfor bulunmaktadır. Konvertörün içerisi baz esaslı bir madde ile kaplanırsa %1.5 veya daha fazla fosfor içermektedir [12].

Bessemer hava kullanarak uyguladığı yönteme 1855 yılında İngiltere'den, 1856 yılında Amerika'dan patent almıştır. 1856 yılında William Kelly, Scientific American dergisine deneylerini anlatan bir makale göndermiştir. 1857 yılında patent komisyonu Kelly'nin buluşlarının, Bessemer'in buluşlarından daha gelişmiş olduğuna karar vermişlerdir. Amerika'nın patent komisyonu Bessemer'e verdiği patentin bir benzerini Kelly'e de vermiştir. Kelly 35 yaşındayken erkek kardeşi Kentucky Eddyville'de bir demir firması satın almıştır. Devam eden yıllarda William

Kelly hava alabilen demir fırınları üzerine deneyler yapmaya başlamıştır. Kelly, demirin eriyik haline geldikten sonra, metalin ısıtılmaya devam edilmesinin gereksiz olduğunu, bunun yerine havadaki oksijenin ve demirdeki karbonun birleşmesiyle bu ısının devam edeceğini öne sürmüştür. Oksijenle karbonun birleşmesiyle demirin bünyesindeki karbonun dışarı çıktığını deneylerle ispatlamıştır [12].

Bu projenin ilk denemeleri başarılı olmuştur. Demir iyi bir şekilde rafine edilmiş ve içeriğindeki bütün karbondan arındırılmıştır. Bu yöntem bütün demirhanelerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemle demirin eriyik haline geldikten sonra fırın 5 veya 10 dakika kadar daha ısıtılmıştır. Eğer bu işlem eski yöntemle yapılacak olursa bir saatten fazla bir zaman gerekmektedir. Bu yöntem paradan ve yakıttan önemli bir ölçüde tasarruf sağlanmıştır [12].

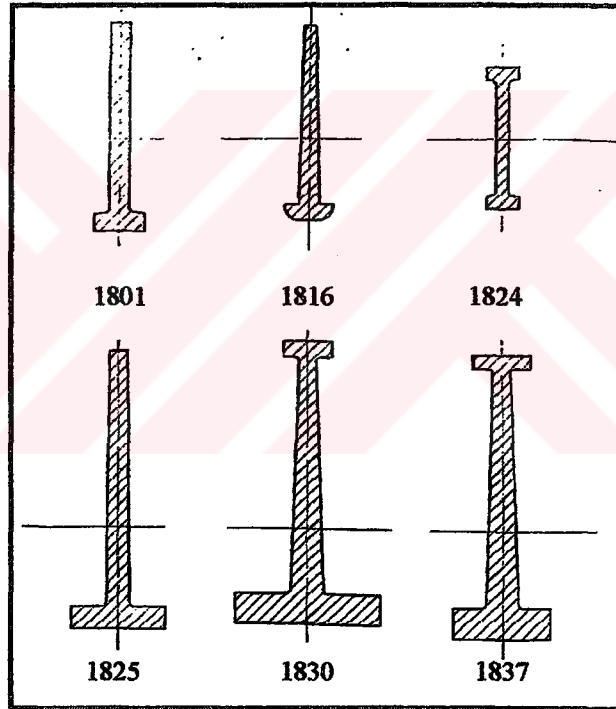
Amerika'da 1964 yılına kadar Bessemer'in çelik üretim yöntemi kullanılmıştır. 1970'li yıllarda ise Amerikalı üreticilerden Pneumatic Çelik Birliği Kelly'nin yöntemi için ruhsat almıştır. Bessemer'in de mekanik yöntemi için ruhsat almıştır. 1880 ve 1890'larda Bessemer yöntemi ile üretim dörde katlanmıştır. 1861 yılında William Siemens, açık ağızlı fırınların gelişimine en son örnek olan fırınların patentini almıştır [2] [12].

2.1.2. Strüktürel Elemanlardaki Gelişim

Thomas Tredgold adındaki bir bilim adamı 'Practical Essay on the Strength of Cast Iron' adında makale ve araştırma kitabı yazmıştır. Tredgold'un demir kirişlerle ilgili olarak verdiği en çarpıcı öneri, kiriş kesitlerinin 'I' şeklinde olması gerektiğidir. Tredgold'un en büyük hatası demir malzemenin çekmeye ve basınca aynı şekilde direnci olduğunu varsaymasıdır. Gerçekte demir malzeme çekmeye beş kat daha fazla dayanabilen bir malzemedir. Tredgold'un demir 'I' kirişlerinin alt kısımları biraz daha kalındır. Aynı dönemde Eaton Hodgkinson adında bir İngiliz matematikçi, kirişlerin strüktürel davranışları üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar üzerine, ideal bir kirişin üst kısmı, alt kısmına oranla dar ve gelen basınç kuvvetlerine direnç gösteren bölümdür. Alt kısımda kalan ise daha geniş ve

çekme kuvvetlerine karşı direnç gösteren bölümdür. Bu iki kısım düşey bir parça ile birbirlerine bağlanmışlardır. Üretim aşamasında bu iki parçanın boyutları birbirlerinden farklı olduğu için donma süreleri aynı değildir. Dolayısıyla bu fark, malzemenin iç yapısında çekme kuvvetlerinin oluşmasına yol açmıştır ve istenilen verimin elde edilmesini engellemiştir. Teorik kiriş şeklinin, üretim yöntemleriyle uyumunun sağlanabilmesi için, iki farklı demirin kullanılması düşünülmüştür. Pik demir basınç kuvvetine, ham demir ise çekme kuvvetine karşı kullanılmıştır [12].

(Şekil 2.1.) pik demirlerin kesitlerinin, kirişlerdeki kuvvet davranışı mantığının tarih süreci içerisinde, gelişimini göstermektedir.



Şekil 2.1: Tarih süreci içerisinde pik demir kesitleri

19 yy.'daki dövme demirin basınç dayanımı pik demirden biraz daha fazladır. Fakat çekmeye karşı dayanımı pik demirden üç kat daha fazladır. Pik demir, kolonlar için uygun bir materyaldir. Basınca karşı dayanımı yüksek olduğu için kalın yığma fil ayakları yerine, ince hazır demir kolonlar kullanılmıştır. Diğer taraftan pik demirinin

çekmeye karşı dayanımının az olmasından dolayı, kirişlerde kullanılması avantajlı olmamıştır [12].

Fırınlardan alınan ham demir merdaneleme, çekiçleme, su verme işlemlerinden sonra daha mukavemetli demir çubuk ve plaka elemanlar haline gelmektedir. 1830–1850’li yıllarda, dövme demir ile pik demir birarada kullanılmaya çalışılmıştır.

1847’li yıllarda demiryolu köprülerinde, pik demirinden parçalar kullanılmıştır. Bu parçaların boyları çok uzun olmadığı için, mühendisler bu parçaların uçlarına dövme demirlerle birleştirmişlerdir. Oluşturulan bu parçalara eğim verilerek, köprülerin altında kullanmışlardır. Fakat bu yöntemden verim alınmamış ve başarısız olmuştur. Çatı makaslarında, basınç ve çekme kuvvetlerine karşı bu iki ayrı özelliğe sahip demir elemanla kompozit bir strüktür elde edilmiş ve verimli bir şekilde kullanılmıştır [12].

Demirin işlenmesinde kullanılan, dönen merdanelerdeki gelişmelerin sayesinde çeşitli kesitlerde demir parçalar üretilmiştir. Ancak üretilen demir parçaların boyutları sınırlı olmuştur. O yıllarda üretilen en uzun hazır demir kiriş 1.8m. boyundadır. Dolayısıyla, vidalama ve birleştirme tekniği tersaneler tarafından geliştirilmiştir. Bu kirişler plaka, açılı parçalar ve ‘Z’ çubuklar olarak yapılmış, işin maliyeti çok yüksek olmuştur. Dövme demirle yapılan kirişler de, ancak 20cm.’den daha kalın yapılabilmektedir [12].

2.1.3. Cephe Elemanlarındaki Gelişim

19.yy’da hazır demir cephe elemanları ABD’de çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat Avrupa’daki birçok tasarımcı bunu reddetmektedir. Buna rağmen Londra’nın yukarı kısımlarında birçok hazır cephe inşa edildiği gözlenmiştir. Hazır cephe elemanları kullanılarak geniş cam cephe elde edebilme mağazaların vitrinlerinin oluşturulmasında önemli bir etken olmuştur. Aynı zamanda bina cepheleri, pik demir malzeme ile daha ekonomik şekilde oluşturulabilmek taş malzeme ile yapılacak işçilikten çok daha ucuz ve kolay bir şekilde eski süslemeler

taklit edilebilmektedir. Bu nedenler pik demirinin, malzeme olarak kullanımındaki en önemli etken olarak görülmektedir. Ayrıca demir malzemenin boyanabilme özelliği bina cephesine değişik bir görünüm kazandırmaktadır [12].

19 yy.'da pik demir ile dövme demir'in birbirlerini tamamladığı görülmüştür. Pik demir malzeme, ucuz ve temini kolay olmuştur. Kum ve benzeri malzemelerle yapılmış olan kalıplar sayesinde, istenilen süslemeler yapılabilmektedir. Hatta süslemelerde aşırıya kaçıldığında bile ucuz strüktürel elemanlar imal edilebilmiştir [12].

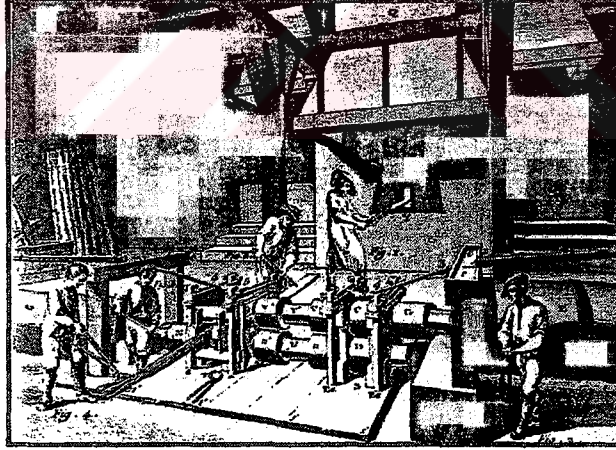
2.1.4. Korozyona Karşı Tekniklerin Gelişmesi

Demir, rutubete ve hava koşullarına karşı zayıftır. Üzerlerinde hemen pas tabakası oluşmaktadır. İnce demir plakalar ise hava koşullarından daha çabuk hasar görebilmektedir. Kalay, demir malzemeyi pasa karşı korumak için uygulanmış ilk kaplamadır. İlk olarak 16.yy'da Almanlar tarafından uygulanmıştır. 18.yy'ın ortalarında kalay kaplama için uygun incelikte demir levhalar üretilmiştir. Daha sonraları Fransız bilim adamları çinko kaplamayı keşfetmişlerdir. Demirin, iyi kaplandığında, korozyona karşı dayanıklı bir malzeme olduğu anlaşılmıştır. 1837 yılında Sorel adındaki bir bilim adamı, ince demir levhalar üzerine çinko kaplamıştır. Bu işlem, bazı elektroliz ve galvanik etkileşimden sonra gerçekleşmiştir. Böylelikle günümüzde kullanılan galvanize sac üretimine geçilmiştir [12].

Prefabrike demir taşıyıcı sisteme sahip yapıların inşasında, çatı kaplama malzemesi olarak geleneksel malzemelerin kullanımı vazgeçilemez bir çözüm olarak kabul edilmiştir. Fakat bükülmüş galvanize sacın bulunmasıyla, demir strüktürlerde klasik malzeme kullanımına gerek kalmamaktadır. Bu kaplama, New York ve bir çok şehirdeki binaların çatılarında kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır [12].

2.1.5. Demirin Şekillendirilmesindeki Gelişmeler

17 yy.'da ince, en kesitlere sahip metal parçalar üretilmeye başlanmıştır. Yumuşak metal düzlem parçalar (kurşun, kalay gibi), dönen silindirlere geçerek şekillendirilmiştir. Aynı dönemlerde İtalyan bir mucit kurşun çubukları şekillendirilmiş çelik silindirlerin arasından geçirerek 'H' şeklinde profiller elde etmiştir. 1783 yılında Henry Cort, yivli silindirleri icat etmiştir. Bunların arasından dövme demiri geçirerek işlemeye başlamıştır (Şekil 2.2). Cort'un silindirleri ham demirden yapılmış olan çubuk demirleri çekiç ile dövülme yöntemine göre 15 kat daha hızlı üretmektedir. 19 yy.'da buhar makinaları güç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla demir malzemenin şekillendirilmesi ve kesilmesi kolaylaşmıştır. Buhar enerjili çekiçler yy'ın ortalarında kullanılmaya başlanmıştır. Dövme demir'in, ilk çelik silindirlerin arasında şekillendirilerek kullanılması, demir yolları raylarının üretim ihtiyacının ortaya çıkmasıyla başlamıştır. 1820 yılında, dövme demir millerin aralarından geçirilerek yuvarlak başlı 'T' şeklinde raylar üretilmiştir [12].



Şekil 2.2: Yivli silindirler kullanılarak demirlerin şekillendirilmesi

The Trenton' şirketinin sahibi olan Peter Cooper 'T' şeklindeki rayları 1854 yılında üretmiştir. Bu raylar 17.78cm. yüksekliğindedir. Bunlar zamanın mil ile şekillendirilmiş rayları arasında en güzel olan örnekler değildir. Bu raylar Amerika'da yapı sektöründe 'T' şeklindeki raylar olarak kullanılmıştır. Strüktürel

açılar, kanallar ve 'I' kirişleri ilk olarak iki büyük yivli mil tarafından şekillendirilmiştir [12].

Yivli demirlerin arasından geçen ilk demir parçaları kabaca şekillenmektedir. Daha sonraki millerin aralarından geçerken git gide şekilleri düzelmektedir. Üretimin sonununda miller istenilen ölçütlere ulaşmaktadır. Demir malzeme şekillendirme aşamasında ısısını kaybeder. Küçük kesitleri olan demir malzeme daha hızlı ve çabuk bir şekilde şekillendirme sürecinden geçmelidir. Bunun sonucunda küçük kesitli demir elemanların şekillendirilmelerinde hatalar oluşmaktadır. 1859 yılında İngiltere, üç tane dönen mil için patent vermiştir. Bu üç mil, plakaların şekillenebilmesi için dik bir şekilde yerleştirilmiştir. Bu miller ileri ve geri çalışarak şekillendirme işlemini daha iyi bir biçimde yapabilmektedir. Bu sistem şekillenecek olan metal plakaların dirençlerini azaltmadan ileri ve geri giderek metal plakaları biçimlendirmektedir. Yeniden ısıtma işlemi yapılarak da metal şekillendirilebilmektedir. Ancak bu şekillendirme yöntemi metalin direncini azaltmakta ve üretim maliyetini de arttırmaktadır [12].

Bessemer'in ürettiği çeliğin strüktürel kesitlerinin millerle şekillendirilmesi, elektrik motorlarının bulunmasıyla mekanik bir şekle gelmiştir. Dövme demir ve çelik malzemenin şekillendirilmesi gelişmiştir. Üreticiler, imal ettikleri çelik malzemenin şekillerini ve fiyatlarını belirleyen bilgileri yayımlamaya başlamışlardır. 1850'lerin başlarında çeliğin mimari kullanımı önemli bir hale geldiğinde, dünyadaki pik demirin yarısı İngiltere'de üretilmiştir. Fransa henüz endüstriyel gelişmesini tamamlayamamıştır. 1865'den sonra Bessemer'in yöntemi ve yivli millerle şekillendirme metodu Amerika'da gelişmiştir. Ayrıca 1907'den sonra pik demirin üretimi Amerika'da hızlıca gelişmiş 26 milyon tona ulaşmıştır [12].

Demir malzeme, yapı sektöründe ilk kullanılmaya başlandığı yıllarda büyük bir ilgi görmemiştir. Fakat demir malzemenin yapı alanındaki gerekliliği anlaşılmıştır. Demir ve çelik kullanılarak yapılan yapıların hepsi mükemmel değildir. 1840'lı yıllarda demir malzemeyle üretilen strüktürel şekillerin karakterleriyle ilgili büyük anlaşmazlıklar ortaya çıkmıştır [12].

2.1.6. Birleşim Metodlarının Gelişimi

19.yy'ın öncelerinde ham demir ve çelik kullanılarak günümüzdeki gibi karışık formlar tasarlanamamıştır. Kolay üretilen profiller, şekiller, açılar ve T biçimleri ilk yivli millerin üretebildiği profillerdir. Bunlar çubuk ve şerit formlardan biraz daha komplikedir. 1830'lu yıllarda 'T' profillerin bir araya getirilerek 'U' şeklindeki bulonlarla tutturulması veya düşey plakalarla yatay plakaların, şerit şeklindeki demirlerle bağlanması moda haline gelmiştir. Fakat bütün bu gelişmelere rağmen metal malzemenin direncinden tam manasıyla yararlanılmamaktadır. 'T' şeklindeki profilleri, iki tane açılı profili birbirlerine bulonlayarak elde etmek, çekiç kullanarak çelik plakaları T şekline getirmekten çok daha etkili bir yöntemdir. Bu tarz kombinasyonlar genel olarak sıcak bulonlama tekniği ile yapılmaktadır. Soğuk bulonlama ise uzun zamandan beri bilinmektedir. Fakat sıcak bulonlama gemi inşaat endüstrisiyle birlikte tanınmıştır. Köprü ve binaların yapılarında güçlü birleşim noktalarına sahip olabilmeleri için bu teknik kullanılmıştır. Bu bulonlar soğutulduğunda, metal bulonda bir sıkılaşma olmaktadır. Böylelikle metal plakalar, birbirlerine daha sıkı bir şekilde birleşmektedir. Birleşme noktalarında hiç bir sürtünme kuvveti ve moment oluşmamaktadır. Daha sıkı birleşimler pik demir elemanların birleşimlerinde kullanılmaktadır. Bulonların sıkıştırma kapasiteleri uygulandıkları demir plakaların özelliklerine göre değişmektedir. Kolonlar ve kirişler basit şekillerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. 1849 yılında Fransa'da yapılmış olan sergide 48.26cm. yüksekliğinde ve 17.78cm. genişliğindeki bulonlanmış bir kiriş gösterilmiştir. 20 yıl sonra bu tipteki kolonlar, hükümetin koyduğu mühendislik standartları haline gelmiştir. 1869 yılına kadar Fransa'da bu tip bir strüktürel elemanın üretimi yapılmamıştır. Ayrıca hiç kimse bu tipteki strüktürel elemanların avantajlarını önceden tahmin edememiştir [12].

Demir üretiminde diğer ülkelere nazaran çok daha ileride olan İngiltere kendi demir yolu ağlarını geliştirmede çok aktif bir yapıya sahip olmuş ve bulonlama yöntemine geçişte çok hızlı davranmıştır. Demiryolu köprülerinin ve binaların strüktürel sistemlerinde makasları, kemerleri ve kirişleri baskın elemanlar olarak kullanmıştır. Pik demir elemanların bulonlanmasıyla kirişler elde edilmiştir. Bu kirişlere gergi

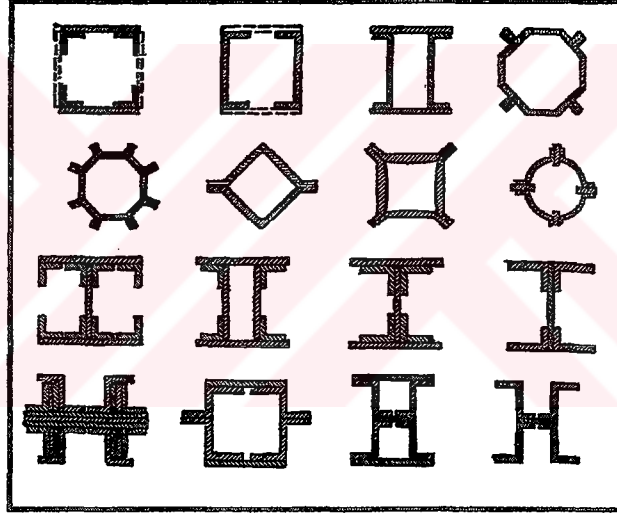
çubuklarının ve pik demir elemanların bulonlanmasıyla, makas, kemer gibi strüktürel elemanlar oluşturulmuştur. Fakat bu birleşimler 1847 yılında çöken Dee köprüsünün yıkılmasından sonra popülerliğini yitirmiştir. Devam eden yıllarda bulonlama sisteminin, dövme demirden yapılmış tüp boru şeklindeki köprüde (Menai Straits) nasıl kullanıldığı tanıtılmıştır. Kutu kirişler, plakalar ve açılar birbirlerine içi boş bir dikdörtgen metal parça ile birleştirilmiştir. Bu parçalar, köprüyü yanal etkilere karşı dirençli bir hale getirmiştir. Metallere verilen değişik şekiller tübüler formların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Fakat bu formlar nadiren kullanılmaktadır. Diğer taraftan 'I' şeklindeki kirişler, dört tane açının ve bir tane düzlem plakanın bir araya gelmesiyle oluşur. 'I' şeklindeki kiriş, binada en sıklıkla kullanılan strüktürel elemandır. Çünkü kolay bir şekilde uygulanır ve korozyona karşı her tarafı boyanabilmektedir [12].

İlk demir kolonlar pik demir malzemeden imal edilmiştir. Maliyetleri diğer kolonlara nazaran ucuza gelmektedir. Bu kolonların, yüksek ısıya ve paslanmaya, çelik ve demir kolonlara nazaran çok daha dayanıklı olduğu söylenmektedir. Bununla beraber, bu kolonların dökümü sırasında malzemenin içerisinde boşluklar kalmaktadır. Bu boşluklar bütün bir kolonun direncini kaybetmesine yol açmaktadır [12].

Üreticiler bu kolonlardaki gelişmelerin ışığında, bu elemanların yapıların taşıyıcı sistemlerinde daha güvenli bir şekilde kullanıma olanak sağladığını belirtmişlerdir. Fakat yüksek yapılarda, rüzgar kuvvetine karşı rijit bulon birleşimlerine sahip olan dövme demir, çelik gibi daha ağır ve pahalı kolonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Dövme demir ve çelik kolonlar, pik demir rijit bulon birleşimlere sahip kolonlardan çok daha fazla tercih edilmektedir. 1890'lardan sonra pik demir kolonlar önemli yapılarda kullanılmamıştır [12].

1862 yılında, 'Phoenix' adındaki kolonlar, Phoenix Iron Company tarafından üretilmeye başlamıştır. Bu kolonlar dört, altı veya sekiz dövme demir parçanın birbirlerine eklenmesiyle oluşmuştur. Daha sonraları Phoenix kolonlara dikey plakalar eklenmeye başlanmıştır. Bu plakalar kolonun boyuna eşittir. Bazen bu

plakalar kirişler için de bir destek olmaktadır. 1862 yılında 'Z' tipindeki ham demir kolonlar Almanya'da patent almış ve 1888 yılında Amerika'da tanıtılmıştır. Dört tane 'Z' çubuk bir plakaya bağlanmaktadır. Bunlardan iki tanesi plakanın sonuna bağlanmaktadır. 'Z' kolonların kesitleri 'H' kolonlara benzemektedir. Bunlardan başka kafes kolonlar vardır. Bunlar dik açılı ve 'C' şeklindeki profillerin birleşmelerinden oluşmaktadır. Dikey çubuklar bu profillerin arasındaki boşlukları kapatmaktadır. 1891 yılında Chicago'lu bir mühendis 'Z' şeklindeki kolonların en yaygın kolon şekli olduğunu vurgulamıştır. Fakat 1924 yılında başka bir Chicago'lu mühendis 'H' şeklindeki kolonların (yivli miller arasından geçerek şekillenmiş kolonların), 'Z' şeklindeki kolonlardan daha yaygın hale geldiğini belirtmiştir (Şekil 2.3) [12].



Şekil 2.3: Demir profillerin biraraya getirilmesiyle oluşan kolonlar

Metal kolonlardaki gerilmenin hesabı, taşıyıcıların kompleks şekillerde olmalarından dolayı çok karmaşıktır. Demir ve çelik elemanlar kolonların oluşturulmasında montajın ana parçalarıdır. Bu kolonların kesitlerinde, kolondaki demir oranının merkezden uzakta olmamasına çalışılmıştır. Bunun için kolonların çevresine düşey demir parçalar eklenmiştir. 20.yy öncesinde bu fikir yivli millerin yardımıyla üretilen geniş kenarlı kesitlere sahip 'H' şeklindeki kolonlarda da uygulanmıştır. 'H' şeklindeki kolonlarda metal konsantrasyonu dış kısımlarda artmaktadır [12].

Ark kaynağının bir çok avantajı vardır.Bu kaynak, elektrikli ark lambasından etkilenecek geliştirilmiştir. İnsan gücünden büyük bir tasarruf sağlar. Bulonlama sisteminin yapılarda uygulanırken çıkardığı yüksek ses bu tekniğinin olumsuz bir yönüdür. İş merkezlerinin bulunduğu bölgelerde, caddelerin dar olduğu alanlarda bulonlama işlemi yapılırken çıkan sesler çevreyi rahatsız etmektedir. Bu nedenle bulonlama sistemine, iş adamları dernekleri tarafından bir çok dava açılmıştır. Bu dernekler, çelik yapıların montajında kaynaklama işleminin uygulanmasını istemişlerdir. 1885 yılında ilk defa elektrikli ark ile kaynak kullanılmıştır. Kullanılan teller, karbon çubuklar ile yer değiştirmiştir. Kaynaklamada yüzyılın sonunda asetilen kullanılmaya başlanmasıyla birlikte strüktürel çelik pratik bir hale gelmiştir. Kaynaklamada bazı teknikler Amerika'da gelişmiştir.Doğal gaz getiren boruların kaynaklanmasında kullanılan oxyacetylene tipi kaynak Fransa'da çok yaygın hale gelmiştir. Kaynaklanmış buhar kazanları, bulon kullanılmadan yüksek basınçlara dayanır hale getirilmişlerdir. 1920'den sonra kaynakla montajı yapılmış gemi konstrüksyonu yaygın hale gelmiştir. Bu teknik Almanya tarafından çok sık bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1940'lı yıllardan önce elektrikli ark kaynağı gelişmiş olup günümüzün ihtiyaçlarına cevap verebilmektedir [12].

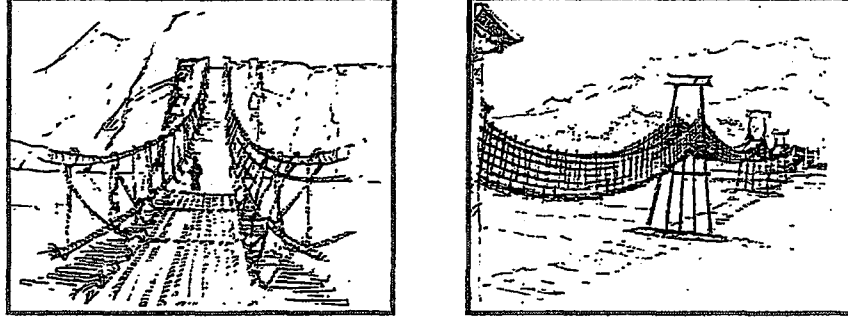
2.2. Büyük Açıklıklı Yapıların Gelişimi

Geçmişten bugüne kadar yapılmış olan büyük açıklıklı strüktürel yapıların büyük bir çoğunluğunda birden fazla taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Strüktürel sistemlerin herbiri tarihçesi tek başına incelendiğinde, bir kaç sistem kullanılarak inşa edilmiş olan örnek yapıların sınıflandırmasının zorlaştığı görülmektedir. Ayrıca bazı taşıyıcı sistemlerin strüktürel özelliklerinin birbirlerine çok benzer olması sistemlerin tarihinin de birbirlerine çok yakın olmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak, tarihsel süreç içerisinde büyük açıklıklı demir ve çelik yapılarda kullanılan strüktürel sistemlerin daha anlaşılır bir şekilde irdelenebilmesi için yapıların tipolojilerine göre sınıflandırılmaları gerekmektedir.

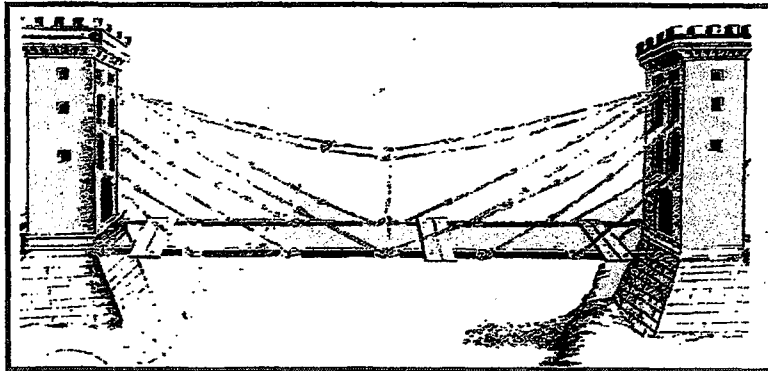
2.2.1. Köprüler

İlk asma köprüler, Çin’de ve Peru’da liflerden ve sarmaşık halatlardan yapılmıştır (Şekil 2.4). Bu yapılardan esinlenilerek asma köprülerin temel prensipleri ortaya çıkmıştır [12].



Şekil 2.4: İlk asma köprüler

1617 yılına kadar köprü yapımında yığma sistemler ağırlıklarını hissettirmişlerdir. Ekonomi, kullanılabilirlik, stabilite ve estetik gibi değerlerin ön plana çıkmasıyla yeni yapı sistemleri aranmaya başlanmıştır. Yığma sistem dışında inşa edilmiş ilk asma köprü 1617 yılında İtalya’da Faustos Verantius tarafından tasarlanmıştır (Şekil 2.5). Bu köprüde ahşap çubuklar çekmeye çalışan elemanlar olarak kullanılmıştır. Bu tarihten sonra, açıklıkların geçilmesinde asma köprüler bilinçli olarak kullanılmaya başlanmıştır [2].



Şekil 2.5: 1617’de İtalya’da Faustos Verantius tarafından tasarlanan ilk asma köprü

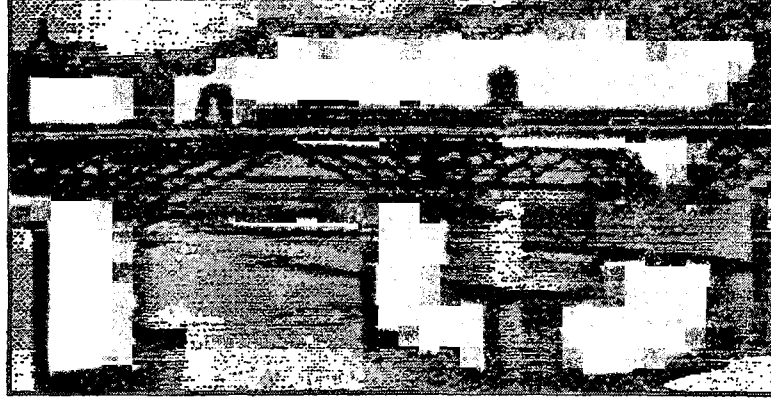
Hemen hemen bütün ülkelerde mühendisler, demir işiyle uğraşanlar, metal konstrüksiyonlar üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar teorik ve pratik çalışmalardır. Bu nedenle metal konstrüksiyon, bu konuda daha önce uzmanlaşmış kişiler olmadığı hadde birden gelişmiştir. Buna karşın örneğin kemer ve makasların teorik gelişmelerine bu işle uğraşan insanların çeşitli fikirleri ve denemeleri neden olmuştur. Bütün bu strüktürel sistemlerin gelişmeleri matematiksel teorilere dayanmamaktadır. Metal konstrüksiyondan elde edilmiş olan bilgi birikimiyle köprüler inşa edilmiştir. Bir çok ünlü inşaat mühendisi köprü inşa edebilmek için kemer ve makas sistemleri kullanmıştır [12].

Coalbrookdale köprüsü 1779 yılında, İngiltere’de Abraham Darby III tarafından Severn Nehri üzerinde yapılmıştır (Şekil 2.6). Bu köprü dökme demir kullanılarak inşa edilen ilk köprüdür. Gotik döneme ait kemer formunu kullanan köprüde beş pik demir bağlantı bulunmaktadır. Bu bağlantıların her biri 21.3 m. uzunluktadır. Köprüde toplam 384 ton demir kullanılmıştır [2].



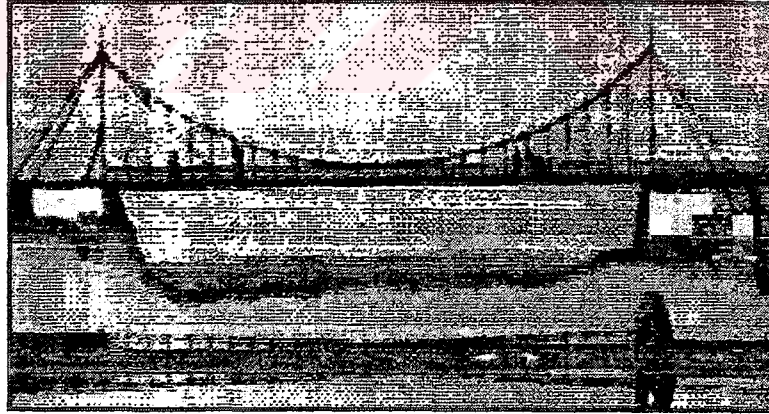
Şekil 2.6: Coalbrookdale köprüsü, Abraham Darby III, İngiltere, 1779

Fransa’da inşa edilen ilk köprü örnekleri 1800’lü yıllarda ortaya çıkmıştır. De Cessart ve Dillan tarafından Seine Nehri üzerinde Ponts des Arts köprüsü inşa edilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Ponts des Arts köprüsü, Fransa

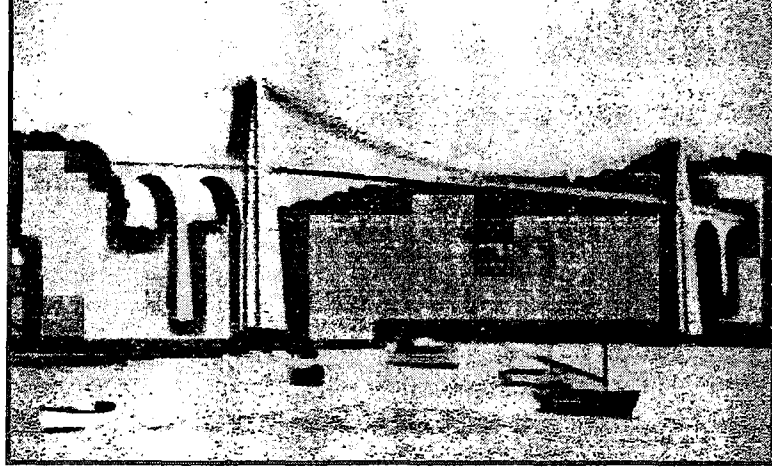
18.yy sonlarında demir zincirler kullanarak asma köprü inşa etmek fikri olgunlaşmaya başlamıştır. Bu tip köprülere ilk örnek, 1817 yılında Samuel Brown tarafından Dyburgh Abbey'de Tweed Nehri üzerine inşa edilmiş olan köprüdür (Şekil 2.8). Köprü'nün uzunluğu 110 m. genişliği ise 1.2 m.'dir.Yapımından altı ay sonra yayaların köprüden geçerken oluşturdukları titreşim ve sert bir rüzgar köprü'nün yıkılmasına neden olmuştur [2].



Şekil 2.8: Dyburgh Abbey, 1817

Menai köprüsü, 1826 yılında Galler bölgesinde Menai Strait nehri üzerinde inşa edilmiştir (Şekil 2.9). Thomas Telfort tarafından tasarlanan bu asma köprü dönemin en uzun açıklık geçen yapısıdır. Köprü'nün zincirleri dövme demirden yapılmıştır.

Günümüze kadar gelebilmiş olup Victoria döneminin etkilerini taşıyan simgesel bir yapıdır [5] [28].

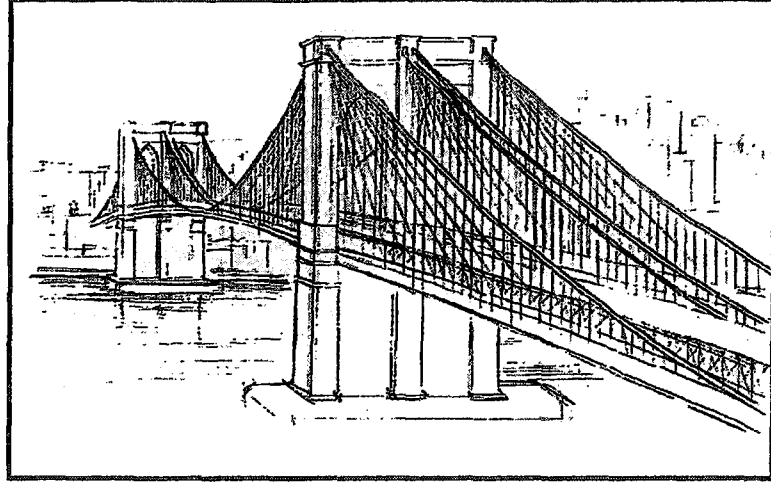


Şekil 2.9 : Menai köprüsü, 1826

Demiryolu ağlarının genişlemesi ve demir üretim tekniklerinin ilerlemesi köprü sayısının artmasına neden olmuştur. Bu nedenle köprü mühendisliği hızlı bir şekilde gelişmiştir. İngiltere’de 1830 ile 1850 yılları arasında 20.000 köprü inşa edilmiş ve köprü sayısı 50.000’e çıkmıştır.Yapılan köprülerde kiriş, kemer, makas, konsol ve asma sistem olarak değişik çözümler kullanılmıştır [2] [5].

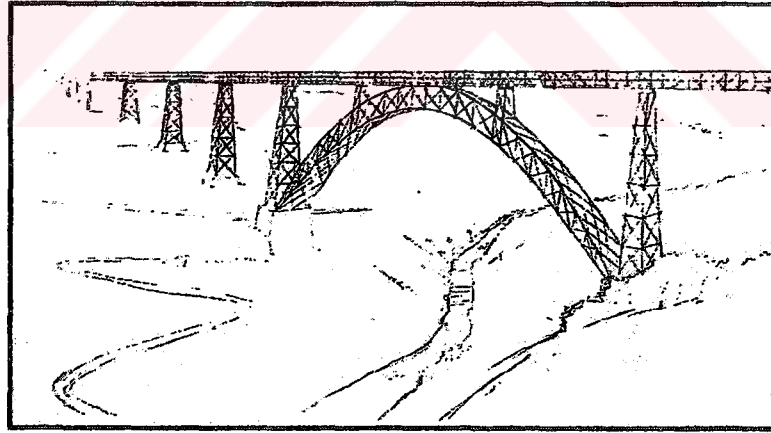
Yapılardaki strüktürel sistemlerin dayanıklılığında genellikle aşırıya kaçılmıştır.1859 yılında çelik üretiminde Bessemer yönteminin uygulanması ve bu üretim tekniğın daha başında olunması nedeniyle, İngiliz ticaret odası çelik malzemenin köprülerde kullanılmasını yasaklamıştır.Bu yasaklama 1877 yılına kadar devam etmiştir [12].

John Roebling ve oğlu tarafından 1883 yılında yapılan Brooklyn Köprüsü 487 m. açıklık geçmektedir. Yol yatağının kenarında taşıt yolları, ortada bir çift kablolu tren yolu, merkezde ise yükseltilmiş bir yaya yolu yer almaktadır (Şekil 2.10) [2].



Şekil 2.10 : Brooklyn Köprüsü, 1883

1880'li yıllarda kemer sistemle daha büyük açıklıkların geçilebileceği düşüncesi ağırlık kazanmıştır. İlk örnek olarak 1880 – 1885 yılları arasında Gustave Eiffel'in Garabit Viyadüğü görülmektedir. 165 m. açıklığı geçen bu köprü 523 m. uzunluğunda ve 70.5 m. yüksekliğinde olup parabolik kemerden yapılmıştır (Şekil 2.11) [2].



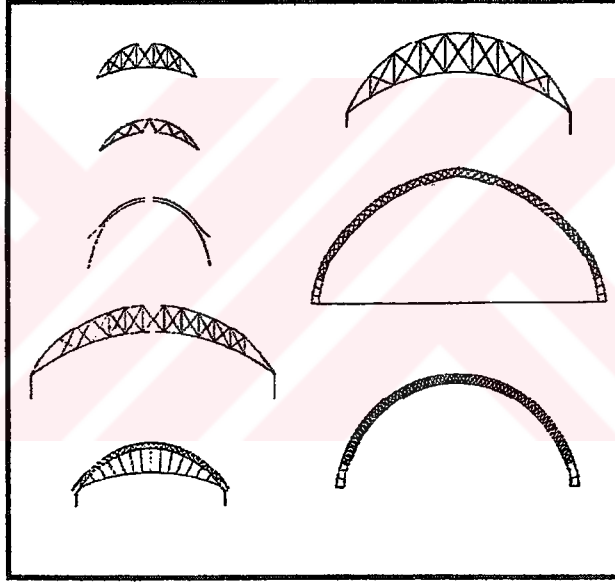
Şekil 2.11 : Garabit Viyadüğü, 1880-1885

2.2.2. Terminal Yapıları

1830'lu yıllarda ulaşımın artması ile terminal yapılarına olan ihtiyaç da artmıştır. Bu yapılarda, tren raylarının ve etraflarındaki platformların üzerinin örtülebileceği büyük açıklıklı çatı strüktürlerine ihtiyaç vardır. Ayrıca bu yapıların, trenlerin

oluşturacağı büyük duman bulutunun dağılabileceği yükseklikte olmaları gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı, o zamanlarda köprülerde kullanılan makas ve kafes sistemler terminal yapılarında kullanılmaya başlanmıştır [2].

Tren istasyonlarının üzerlerini örtmek için kullanılan başlıca sistem kemer makaslar olmuştur (Şekil 2.12). Kemer formundaki çatılarda kullanılan makasların alt kısımlarında çekme kuvveti oluşmamaktadır. Bu makas sistemler kemer tipi yapıda oluşan itki kuvvetlerini, makasların mesnet noktalarına iletmektedir. 1852 yılında Paris’de inşa edilmiş olan Gare de l’Est tren istasyonunda makas strüktürel sistem kullanılarak 30m. açıklık geçilmiştir [12].



Şekil 2.12: Tren istasyon yapılarında kullanılan kemerler

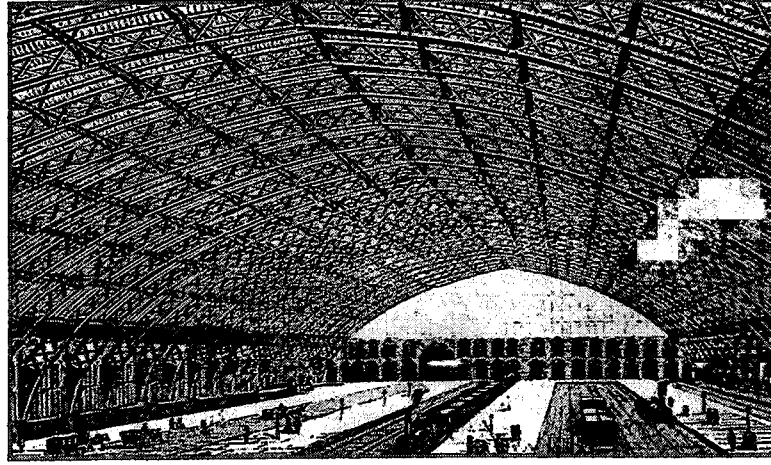
Tren istasyonu yapılarında kullanılan strüktürel sistemleri iki grupta toparlayabiliriz. Bunlardan biri metal iskelet çatı sistemleri, diğeri ise yığma duvarlara oturan metal çatı taşıyıcı sistemlerdir. 1950’lerin başlarına kadar açıklık geçebilme endişesi ile köprü yapılarında kullanılan sistemler istasyonlarda da uygulanmıştır. Bu yapıların bazılarında taşıyıcı sistemin ara noktalarında metal dikmeler de kullanılmıştır [12].

Yığma duvarlara oturan metal çatı sistemle inşa edilmiş yapılara, 1837 yılında Londra'da inşa edilmiş olan Euston Arch istasyonu örnek olarak gösterilebilir (Şekil 2.13). Bu istasyonda cepheler, yığma duvarlar olarak inşa edilmiştir. Ancak bu duvarlar istasyon yapısının strüktürel sisteminden bağımsız olarak çalışmaktadır. [2].



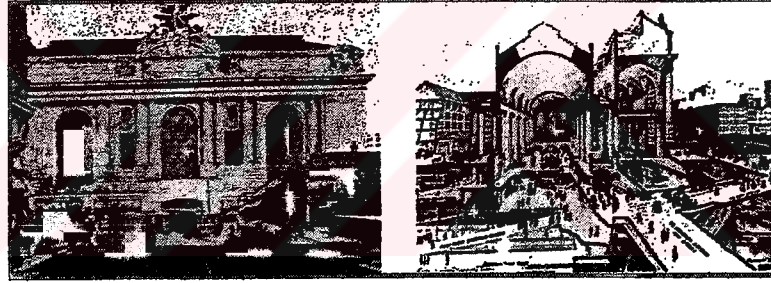
Şekil 2.13: Euston Arch İstasyonu, Londra, 1837

Londra'daki St.Pancras İstasyonu 1866 yılında inşa edilmiştir (Şekil 2.14). Bu yapı, demir iskelet strüktürel sistem ile inşa edilmiş örnek bir yapıdır. İstasyonda kullanılan makaslar, 73m. açıklığında sivri bir kemer şeklindedir. Bu sivri kemerler, duvar veya kolonların üzerlerine yerleştirilmek yerine yer seviyesine kadar inmektedir. St.Pancras İstasyonunun çatı strüktürünün benzeri ondan bir kaç yıl önce inşa edilmiş olan 32m. çapındaki Berlin Havagazı işletmesine ait kok fırınlarının üzerlerini kapamakta da kullanılmıştır. İki strüktürel sistem arasındaki tek fark Berlin'deki makasların alt kısımlarında mafsalı birleşimlerin kullanılmasıdır. St. Pancras'da ise rijit birleşimler uygulanmıştır. Mafsalı birleşimler, kemer makasları sıcaklık değişimleri ve rüzgar kuvvetlerine karşı daha dayanıklı bir hale getirmektedir. Midland Railway şirketinin yöneticisi, St. Pancras'ın maliyetinin yüksek olmasına rağmen mühendislik tarzı olarak ileri bir noktada olduğunu, fakat istasyonlarının bu şekilde yapılmasının ekonomik anlayıştan uzak olduğunu belirtmiştir. Bu tepkilere rağmen benzer tren istasyon çatı strüktürlerinin inşa edilmesine devam edilmiştir [12].



Şekil 2.14: St.Pancras İstasyonu, Londra, 1866

1870 yılında New York'da inşa edilmiş olan Grand Central İstasyonunun benzer bir strüktürü ancak daha zarif bir formu vardır (Şekil 2.15) [12].



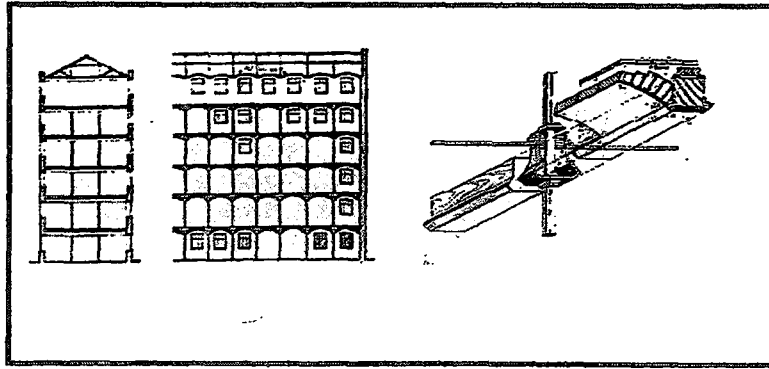
Şekil 2.15: Grand Central İstasyonu, New York, 1870

Frankfurt'daki Ana Gar binası 1879 ile 1888 yılları arasında inşa edilmiştir. Bu yapı üç ayrı tren yolunu örten ve 56m. açıklık geçen bir yapıdır. Bu yapı üç parçalı kemer sistemine bir başlangıç oluşturmaktadır. Bu tip strüktürlerde kemerlerin üst ve alt kısımlarında mafsalı mesnetler kullanılmıştır. Bu hareketli noktalar, çatı sistemini oluşturan makas sistemi parçalara bölerek, dış kuvvetlere karşı daha esnek olmasını sağlamıştır. Bu tarzda yapılmış olan en son çatı strüktürü Philadelphia'daki Broad Street İstasyonudur. Bu yapı, 91m. açıklıktan biraz daha büyük bir alanı örtmektedir [12].

2.2.3. Endüstri Yapıları

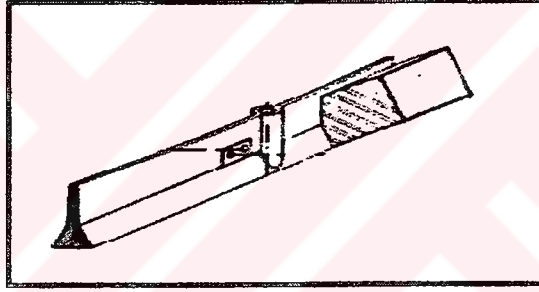
Endüstri devrimi öncesinde atölye yapıları yığma sistem kullanılarak beş veya altı kat yüksekliğinde inşa edilmiştir. Bu yapılarda bazen çift, bazen tek sıra kolonlarla geçilen açıklıklar 8.5 x 36.5 m.'yi aşmamaktadır. Atölyelerde benzinle çalışan makineler ve lambalar kullanıldığı için bu yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan ahşap döşemeler ve kolonlar yangın riskini arttırmaktadır. Bunlara ek olarak atölyelerin sigorta maliyetleri artmıştır. Bu nedenlerden dolayı atölye yapılarında yeni strüktürel sistemlerin arayışına gidilmiştir [12].

Bu amaç doğrultusunda 1792 yılında Derby'de, William Strutt babasının pamuk dokuma atölyesi için demir strüktürlü bir yapı tasarlamıştır (Şekil 2.16). Bu yapı, her biri 2.75 m. olan üç açıklıktan oluşmaktadır. Altı katlı hantal duvarları olan bu atölyenin üst katında ahşap döşeme kirişleri basık kemerlere oturmatadır. Bu kirişleri taşıyan kemerlerde yeni bir malzeme olan demir kullanılmıştır. Aynı tarihlerde Milfort'da yapılan dört katlı ambar yapısında da aynı sistem kullanılmıştır. Milfort'un tasarımında ahşap kirişlerin alt kısımları alçı ile korunmuştur. Ağır ahşap kirişleri tutan ve demir kolonun bir parçası olan metal kıskaçlar, ahşapta oluşabilecek genişlemenin, strüktürel sistemi etkilemesini önlemiştir. Ayrıca kolon başlarındaki yan bağlar, strüktürel sistemi yatay kuvvetlere karşı dirençli hale getirmiştir. Mekanın ortasında kalın ahşap kolonlar yerine kullanılan ince demir kolonlar yapıyı yangınlara karşı daha dayanıklı hale getirmiştir [12].



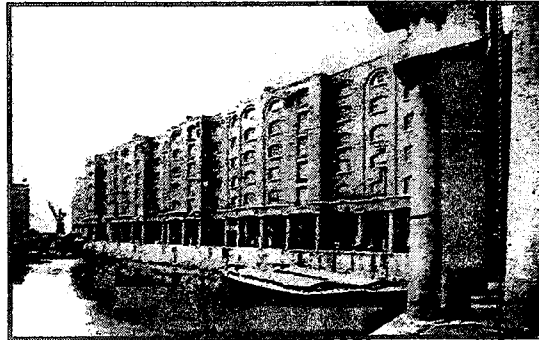
Şekil 2.16: 1792 yılında Derby'de, William Strutt'ın pamuk dokuma atölyesi için tasarladığı demir strüktürel sistem

Strüktürel sistemlerde aşık olarak ahşap elemanların yerine demirin kullanılmaya başlanması 18. yy'ın sonunda olmuştur.1796 yılında Charles Bage tarafından Shrewsbury'de inşa edilen Ditherington Fabrikasında, demir kolonlar ve 'T' kesitli kirişler birlikte kullanılmıştır (Şekil 2.17). Burada kullanılan, 28 cm. yüksekliğe sahip 'T' kesitli kirişler üçgen profiller şeklindedir. Bu kirişler aşağı doğru kalınlaşan, en alt kısmı 12.7 cm. kalınlığında olan strüktürel elemanlardır. İlk başlarda, demir kirişlerin alt kısımlarında yapılan bu kalınlaşma sadece tuğlaların kirişlere daha iyi oturması için düşünülmüş bir ayrıntı olarak görülmüştür. Fakat daha sonraları bilinmeden yapılmış olan bu demir kirişlerin kesitlerinin bir strüktürel mantığının olduğu anlaşılmıştır. Yapı, 2.9 m. uzunluğunda dört tane açıklıktan oluşmaktadır.İki parça halinde dökülen demir kirişler bu açıklığı geçmekte kullanılmıştır [2].



Şekil 2.17: Ditherington Fabrikasında, kullanılan 'T' kesitli kirişler

Bu sistemin geliştirilmesiyle 1829 yılında Philip Hardwick Londra St. Katharine Limanı'nda tamamen demir çerçeveli bir hangar yapısını inşa etmiştir (Şekil 2.18) [12].



Şekil 2.18: St. Katharine Limanı'nda demir çerçeveli hangar yapısı, Londra, 1829

Demirin taşıyıcı sistem içerisinde kullanımında bilgi eksikliğinden dolayı strüktürel hatalar yapılmış ve birçok yapı çökmüştür. Oldham Lancashire'deki pamuk imalathanesi bu yapısal hatalara iyi bir örnektir. 1844 yılında içerisindeki 20 işçinin üzerine yıkılmıştır. Strüktürel sistem tek bir tarafa doğru çökmüştür. Çelik kirişlerin üzerine tuğla kemerler yerleştirilmiştir. Ayrıca, ikincil kirişler ana kirişin tam ortasına konulmuştur. Bu nedenlerden dolayı strüktürel sistemdeki gerilmeler çok artmış ve yapı çökmüştür. Yapılan aynı strüktürel hatalar, diğer pamuk atölyelerinde de çökmelere neden olmuştur [12].

Yirmi yıl sonra, demir kirişlerin kullanımlarındaki ve kesit profillerindeki gelişmelerin yardımıyla döşeme tek bir kirişin açıklığı ile taşınabilmiştir. Strüktürel sistemdeki bu gelişmeler, atölyelerin yapımında önemli bir tasarruf sağlamıştır. Böylelikle, atölyelerde demirden imal edilmiş strüktürel sistem kullanmak bir gelenek haline gelmiştir. Büyük açıklıklı, atölye içerisindeki makinaların istenilen şekilde düzenlenmelerini sağlamada büyük bir özgürlük getirmiştir [12].

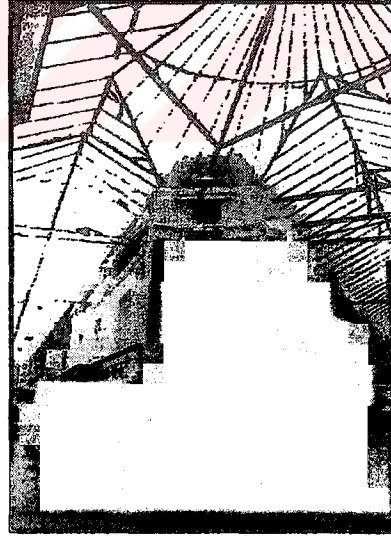
2.2.3. Alış-Veriş Merkezleri ve Ticaret Yapıları

19. yy'ın ortalarından sonra pik demir kolonlar ve yatayda kullanılan dövme demir bağlantılardan oluşan modüler çalışmaların sonucunda, prefabrikasyonun uygulandığı sistemler gelişmiştir. Prefabrik malzeme, montajındaki kolaylık nedeniyle tercih edilen bir sistem olmuştur. Genelde bu tekniğin uygulandığı yapılar ticaret yapıları olmuştur. Prefabrik metal sistemler ilk olarak NewYork, Paris ve Berlin'de bulunan pasajlar ve galerilerde kullanılmıştır. İlk örneklerden birisi Paris, Palais Royal'de Fontaine tarafından yapılan 'Galerie d'Orleans' binasıdır (Şekil 2.19). Arkattan meydana gelen taşıyıcı sistemin üzeri cam tonoz ile örtülmüştür [2].



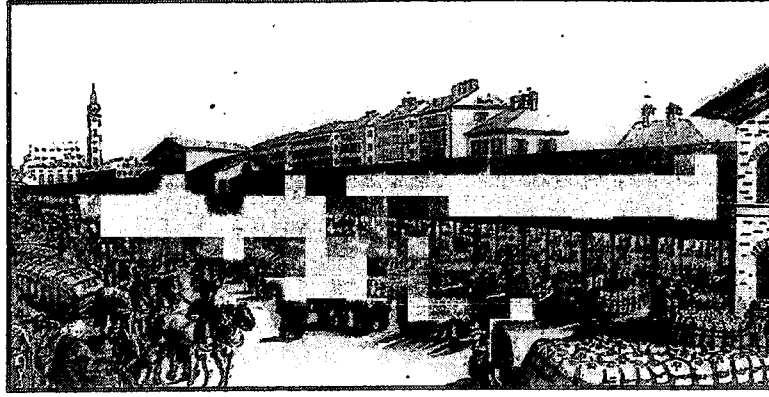
Şekil 2.19: 'Galerie d'Orleans' binası, Paris

İlk pasajlardan biri olan Passage du Caire (1799) ve Passage Jouffroy (1845) Paris pasajlarının önemli örneklerindedir (Şekil 2.20). Pasajlar toplumsal refahın zaman içerisinde artmasıyla birlikte geniş kitlelere hitap etmeye başlamışlardır. Bu sebeple pasajlar büyük alışveriş merkezlerinin öncü yapıları olarak kabul edilirler. Bina cepheleri aralarında kalan 3-5 m.'lik sokakların üzerleri çelik taşıyıcı sistemlerle kapatılmıştır. Pasaj ve sokak çatı sistemlerinde kullanılan yapı elemanlarının tekrarı o dönemin seri üretim anlayışını göstermektedir [22].



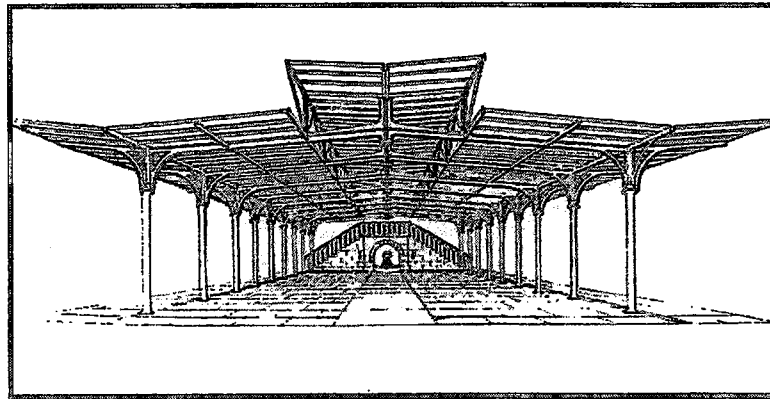
Şekil 2.20: İlk pasajlardan biri olan Passage du Caire, Paris, 1799

1851 yılında Münih'te inşa edilmiş olan buğday hali, İngiltere'deki yapısal gelişimlerin etkisinde inşa edilmiş bir yapıdır (Şekil 2.21). Pik kolonlar ve demir kirişler çatının strüktürel yapısını oluşturmaktadır [22].



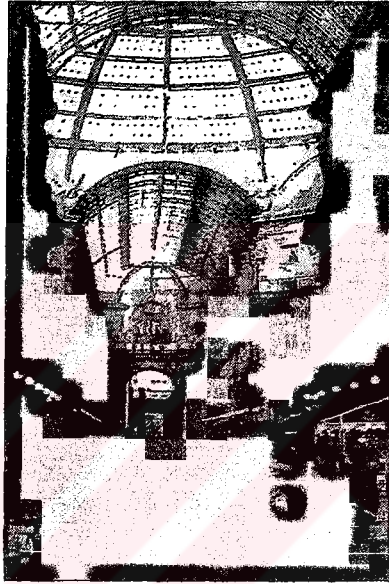
Şekil 2.21: Buğday Hali, Munich, 1851

İngiltere’de Thames nehrinin hemen yanında inşa edilmiş olan Hungerfort Market balık pazarı olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.22). Çatısında ahşap kirişlemeler kullanıldığı yığma bir yapı iken, Charles Fowler bu yapının üzerini çelik bir çatı ile kapatmıştır (1836). Bu demir çatı ile 9.75 m. açıklık geçilmiştir. Çatı kaplama malzemesi olarak çinko kullanmıştır. Bu malzeme ile demir çatı arasına katranlı parçalar koymuştur. Böylelikle iki malzeme arasındaki elektron hareketini engellemiştir. Strüktürel sistemde yatay kuvvetlere karşı denge, aydınlık pencereleri üzerinde kullanılan diyagonal çubukların ve kolon başlarındaki demir desteklerin sayesinde sağlanmaktadır. Bu nedenle yapının strüktürünün stabil olabilmesi için, yığma duvarlara gerek kalmamıştır. Fowler, demir strüktürlü daha başka marketler de inşa etmiştir [12].



Şekil 2.22: Hungerfort market, çelik çatı konstrüksiyonu, İngiltere, 1836

Paris'ten ve İngiltere'den sonra İtalya'da da ilgi çekici mimari özelliklere sahip pasaj formları inşa edilmiştir. 1865 yılında Milano'da mimar Guisepppe Mengoni tarafından inşa edilmiş olan Galleria Vittorio Emanuele'nin çatı örtüsünde, çelik ve cam malzemedan yapılmış olan kubbe ve tonoz strüktürel sistemler kullanılmıştır (Şekil 2.21). Yatay yükler kagir yapı tarafından karşılandığı için gergi elemanları kullanılmamıştır. Pasaj, 200 m. uzunluğunda, 32 m. yüksekliğinde ve 14.5 m. genişliğinde inşa edilmiştir. Döneminin pasaj yapıları içerisinde en büyük ölçülere sahip olanıdır [22].



Şekil 2.21: Galleria Vittorio Emanuele, İtalya, 1865

19 yy.'da metal strüktürel sisteme sahip market binaları her yerde görülmeye başlanmıştır. Hazır demir elemanların dekoratif detayları, geleneksel taş ile yapılan stillerin taklit edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Yapılan bu süslemeler, taş elemanlara nazaran daha ince boyutlarda olmuştur. Demir strüktürel sistem ızgaralı şekillerde boyanmış ve taş görüntüsü verilmeye çalışılmıştır [12].

2.2.5. Kütüphaneler

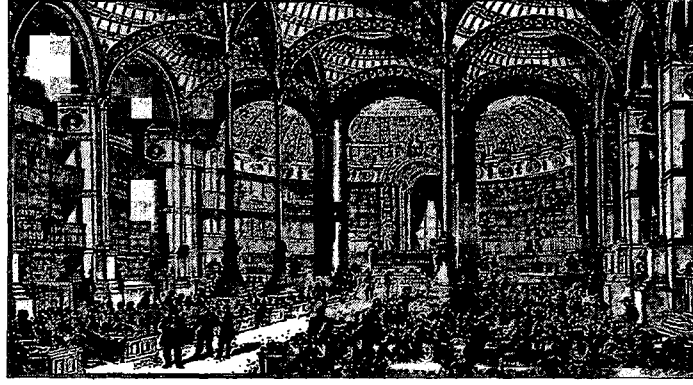
Demir malzeme, tren istasyonlarında ve sergi yapılarında tercih edilen bir malzeme olmuştur. Özellikle, makina tanıtım sergilerinde bu tipte strüktürel sistemler

kullanılmıştır. Fakat teknik ağırlıklı olmayan, örneğin kütüphane gibi yapılarda demir strüktürün dışarıdan algılanması istenmemektedir. Paris’de 1840 yılında inşa edilmiş olan, The Bibliotheque Sainte-Genevieve kütüphanesi demir strüktürün gizlenmediği az sayıdaki yapılardan biridir (Şekil 2.22). Kütüphanenin içerisinde görünen demir strüktürel sistem yapının sürekliliğini ve değerini arttırmıştır. Kütüphanenin okuma salonunda Mimar Henri Labrouste ince demir kolonlar kullanmıştır. Kolonlar ile duvarlar arasında yer alan kemerlerin üzerleri demir işçiliği ile süslenmiştir. Demir kemerlerin ve tonozların üzerlerinde boş kalan kısımlar ise alçı ile doldurulmuştur. Bu yapıda kullanılan taşıyıcı sistem, mimariye strüktürel bir yenilik getirmemiş ancak demir strüktürünün dekoratif potansiyelini gösteren bir yapı olmuştur [12].



Şekil 2.22: The Bibliotheque Sainte-Genevieve, kütüphanesi, Paris, 1840

Bibliotheque Nationale kütüphanesinin okuma salonu bundan on yıl sonra yapılmıştır (Şekil 2.23). Mimar Labrouste’nin temiz metal konstrüksyonu göze çarpmaktadır. Dikdörtgen bir alan ve aynı boydaki modüler kubbesel şekillerle örtülmüştür. Bu okuma salonunun dış demir kolonları yığma duvarların üzerlerine oturmaktadır. Böylelikle metal strüktür kendi başına yapıdan çıkmaktadır. Bu yüzyılın sonlarında Auguste Choisy, Bibliotheque Nationale kütüphanesiyle ilgili bir yazısında taş duvarların, iç mekanı sıcaklıktan koruduklarını, demir iskelete sahip olan bu duvarların demirin genişmesi düşünülerek tasarlandıklarını anlatmıştır. Ayrıca bu demir iskeletin, üç sıra halindeki kubbeleri ve onların üzerindeki alçı süslemelerini taşıdığını belirtmiştir [12].

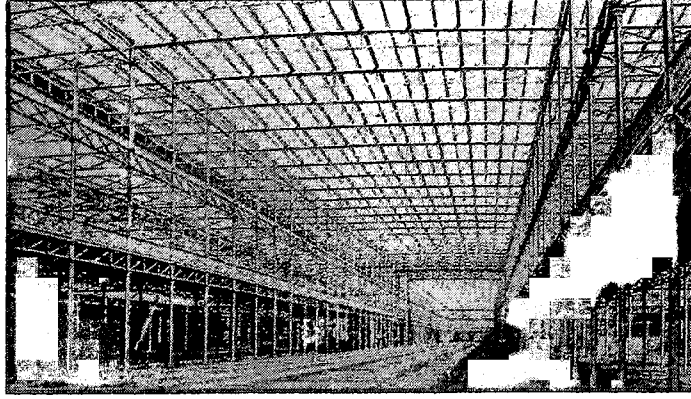


Şekil 2.23: Bibliotheque Nationale kütüphanesi

2.2.6. Sergi Yapıları

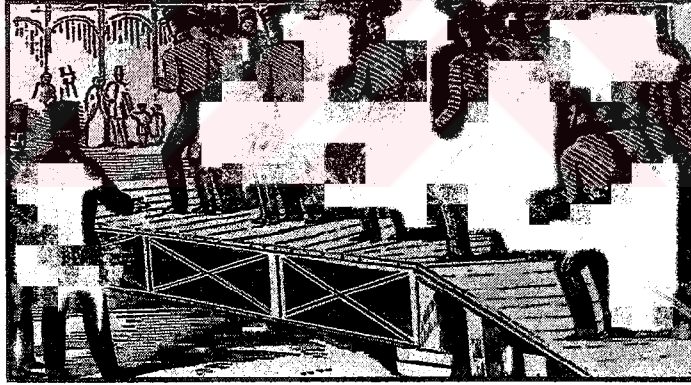
19. yüzyılda ticareti geliştirmek, üretim teknolojilerindeki son gelişmeleri göstermek ve üreten ile kullanan veya tüketen insanları bir araya getirmek amacıyla sergiler açılmıştır. Bu sergiler, saraylarda ve kendine özgü binalarda yapılmıştır. Artan hacim ihtiyacı doğrultusunda, geniş alanları kaplayan yeni sergi yapıları inşa edilmiştir. Bu yapıların hızlı inşa edilmesi ve başka yerlere taşınabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle sergilerde demonte edilebilen strüktürlerin kullanılması gerekmektedir. Demir, bu tip taşıyıcı sistemlere en uygun malzemedir [2] [22].

İlk olarak, 1851 yılında Londra’da Crystal Palace inşa edilmiştir (Şekil 2.24). Joseph Paxton’un tasarladığı bu yapı ilk uluslararası sergi sarayıdır. Prefabriğe demir bir yapı olduğu için 75.000 m²’lik bir alan içerisine dört ay gibi kısa bir sürede inşa edilmiştir. Ayrıca yapının maliyeti yığma sistemlere nazaran çok düşüktür. Crystal Palace’ın strüktürel sistemlerinde demir kemer ve kafes kirişler kullanılmıştır. Sergi sarayının cephelerinde ince demir profiller ve bunların arasında cam malzeme kullanılmıştır. Böylelikle iç mekana doğal ışığın girmesi sağlanmıştır. Demir strüktürün sağladığı avantajla yapıda büyük açıklıklar ara kolonlar kullanılmadan geçilmiştir. Sergi Sarayının orta koridorunun üzerindeki kemer eleman 21.5 m.’lik bir açıklığı geçmektedir. Ayrıca yapıda kullanılan bütün strüktürel elemanlar standart boyutlara sahiptir [12] [18] [31].



Şekil 2.24: Crystal Palace, Londra, 1851

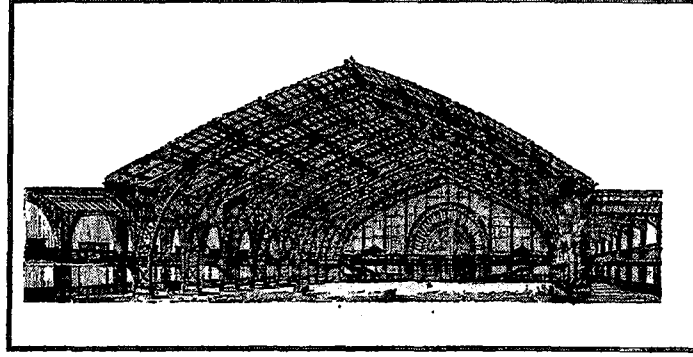
19 yüzyılda strüktürel sistemin direkt olarak test edilmesi, konstrüksyonun sağlamlığının kontrolünde genel bir yol olarak kullanılmaktadır. 1851 yılında büyük sergi salonunun açılmasından önce, askerler sergi salonunun galerilerinde uygun adım yürüyerek strüktürel sistemin güvenilirliğini test etmişlerdir (Şekil 2.25) [12].



Şekil 2.25: Crystal Palace'ın strüktürel sistemin güvenilirliğinin test edilmesi

Crystal Palace Victoria Çağı tasarım ilkelerinden birçoğunu içermektedir. Bu yapıların maliyeti bir yığma yapının üçte ikisi kadardır. Prefabriğe strüktürel demir ve cam elemanlar kullandığı için yapı çok hızlı bir şekilde inşa edilmiştir. Bu nedenle sergi sarayının inşasından büyük kârlar kazanılmıştır [12].

1889 yılında Paris'te yapılmış olan Galerie des Machines, St.Pancras İstasyonundan yirmi yıl sonra yapılmış olan en büyük açıklığa sahip yapıdır (Şekil 2.26).Bu yapının kemerleri üç mafsallıdır. Yapının büyüklüğü, yanındaki insan figürlerinin boyutlarından anlaşılmaktadır [11] [12] .



Şekil 2.26: Galerie des Machines, Paris, 1889

Galerie des Machines'de mafsallı birleşimleri olan üç parçalı çerçeve strüktürel sistemden oluşmaktadır.Bu çerçeveler 114m. uzunluğundadır. Çerçevelerin yapımında çelik malzemenin kullanılması düşünülmüştür. Fakat yapının maliyetinde ekonomi sağlanabilmesi için yapıda dövme demir kullanılmıştır. Yapı, 609 m. uzunluğunda geniş bir alan üzerine inşa edilmiştir. Bu nedenle sergilenen makinaların ve motorların üzerlerinden geçen 'ponte roulants' adı verilen hareketli bir platform, insanları serginin bir ucundan diğer ucuna taşımaktadır [12].

Yapıda ayrıca kullanılan 3.5 m genişliğindeki üç mesnetli çerçeve sistemi geniş bir temel üzerine oturmaktadır. Böylelikle, strüktürel sistem yatay ve düşey kuvvetlere karşı daha dayanıklı bir hale gelmiştir. Taşıyıcı sistem ısı, rüzgar ve kar yüklerinden etkilenmemektedir. Hatta temelde bir hareket olsa bile bunun üst yapıda ilave bir etki oluşturmayacağı uygulama sırasında yapılan gözlemlerden anlaşılmıştır. Bu çerçeve strüktür hiç bir gergi çubuğu ve uçan payanda olmadan ayakta kalabilmektedir.Bu form on yıl önce İngiltere'de St.Pancras İstasyonunda ve Almanya'da Palmen - Garten'da kullanılmıştır [12] [22].

3. BÜYÜK AÇIKLIKLI ÇELİK YAPI SİSTEMLERİ

Bu çalışmada, büyük açıklıklı çelik yapı sistemleri;

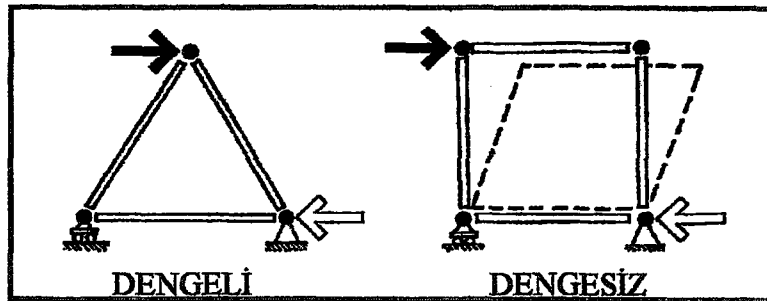
- Kafesli sistemler
- Füniküler Sistemler olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırılma yapılırken, çelik strüktürel sistemlerin içindeki kuvvet türü esas alınarak bir gruplandırma yapılmıştır.

3.1. Kafesli Sistemler

Kafes strüktürler, çekme kuvvetine karşı direnç gösteren gergi çubuğu ve basınç kuvvetine karşı direnç gösteren dikmelerin mafsallı ve üçgen formlar şekline getirilmesiyle oluşmaktadır. Meydana getirilen bu taşıyıcı sistemlerde oluşan kuvvetler çubuk eksenleri doğrultusundadır. Çubuk ve düğüm noktalarında eğilme momenti veya kesme kuvveti oluşmamaktadır. Üçgenlerden oluşan taşıyıcı sistemler; kablolar, makaslar, uzay kafesler ve jeodezik kafesler olarak ayrılmaktadır.

Eşkenar bir üçgenin stabil geometrisi, kafes sistemin geometrik davranışının temelini oluşturmaktadır. Üçgen bir şekil, ancak kenar uzunlukları değiştirilecek olursa kararlılığını kaybetmektedir. Kenar uzunlukları eşit ve birbirlerine mesnetlenmiş üçgen sistem, basınç ve çekme kuvvetlerine karşı şeklini korumaktadır. Diğer çok kenarlı geometrik şekiller, formlarını koruyabilmek için bir veya birden fazla rijit noktaya ihtiyaç duyarlar (Şekil 3.1) [21].

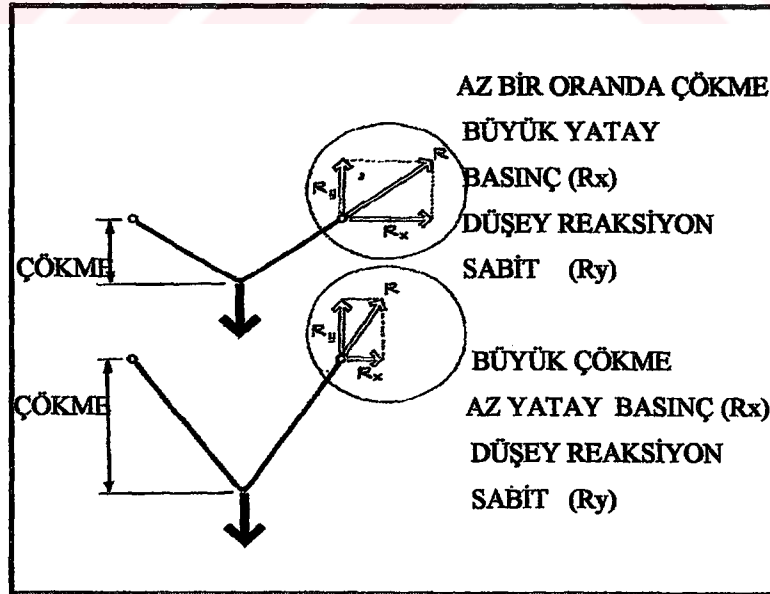


Şekil 3.1: Stabil ve stabil olmayan geometri

3.1.1. Kablo Destekli Sistemler

Çelik halatlar, çelik ince germe çubukları ve kablo askılı strüktürel sistemlerde kullanılan elemanlara birer örnek oluşturmaktadır. Kablo askılı strüktürel sistemlere en basit örnek tek bir noktadan asılmış sistemlerdir. Ağırlık bağlantı noktasına etki etmektedir. Ayrıca bu noktaya bağlı olan kablonun gerilmesine yol açmaktadır. Kablolar ile iki noktadan desteklenmiş sistemler, tek noktadan bağlı sistemlerden daha kullanışlıdır. Bu sistemlerde desteklenecek olan yük sistemin tam ortasındadır. Bu nedenle kabloları oluşacak olan gerilme yükün yarısı kadardır. Bu tipteki strüktürel sistemlerde kablonun ağırlığı, taşınan yükün ağırlığı yanında önemsenmeyecek kadar azdır. Çelik kablolar, taşıyıcı sistemde “V” şeklini alacak şekilde monte edilirler. Kabloları oluşan çekme kuvvetinin büyüklüğünü, direnç gösterilen yük ve kabloların zemin ile bitişik olan eğimi etkilemektedir [21] [24].

Kablo askılar birbirlerine yakın ve kablonun eğimi dik ise, kabloda oluşan çekme kuvveti yaklaşık yükün yarısına eşit olmaktadır. Bunun tersi olarak eğer desteklerin arası geniş ve kablonun eğimi yatay çizgiye yakın ise, kablodaki çekme kuvvetinin büyüklüğü artmaktadır (Şekil 3.2) [21].

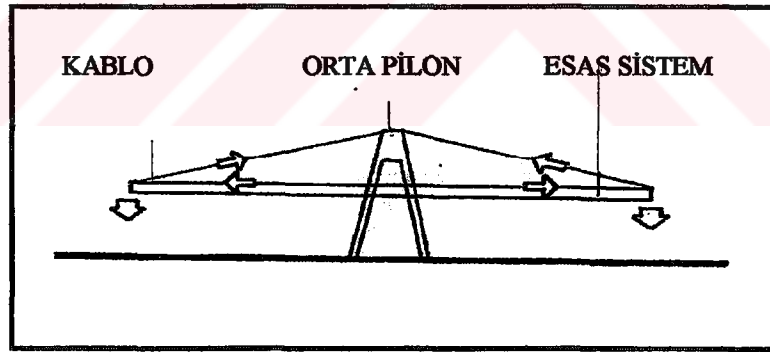


Şekil 3.2: Kablo sisteme etki eden yük karşısında, kabloda oluşan çekme etkisi

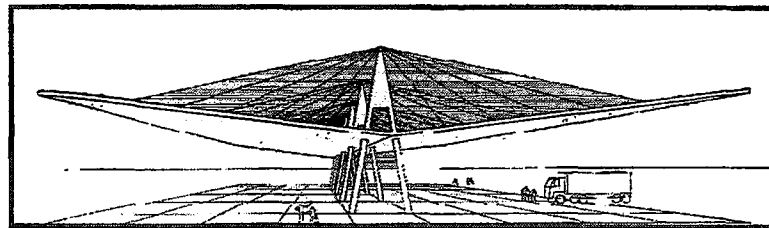
Kablo askı sistemli yapılarda amaç, çatıyı çelik kablolar yardımıyla bir dikmeye asarak strüktürel sistemi oluşturmaktır. Kablo askılı yapı strüktürleri, yatay açıklıkların üzerindeki çatıyı, yüksek bir dikmeden destek alan diagonal kablolarla taşımaktadırlar. Kablo, terim olarak esnek ve eğilme rijitliği olmayan bağ anlamında kullanılır.

Kablo askılı strüktürlerde, dikme temele rijit olarak bağlanır. Dikmeye etki eden yanal kuvvetlere karşı ek kablolar zıt yönlere yerleştirilerek denge sağlanmaya çalışılır. Daha geniş asma sistemlerde destekler arasına simetrik olarak yerleştirilen çelik kablolar dikmelerde oluşan yanal yükleri dengeler ve momenti minimuma indirir [21].

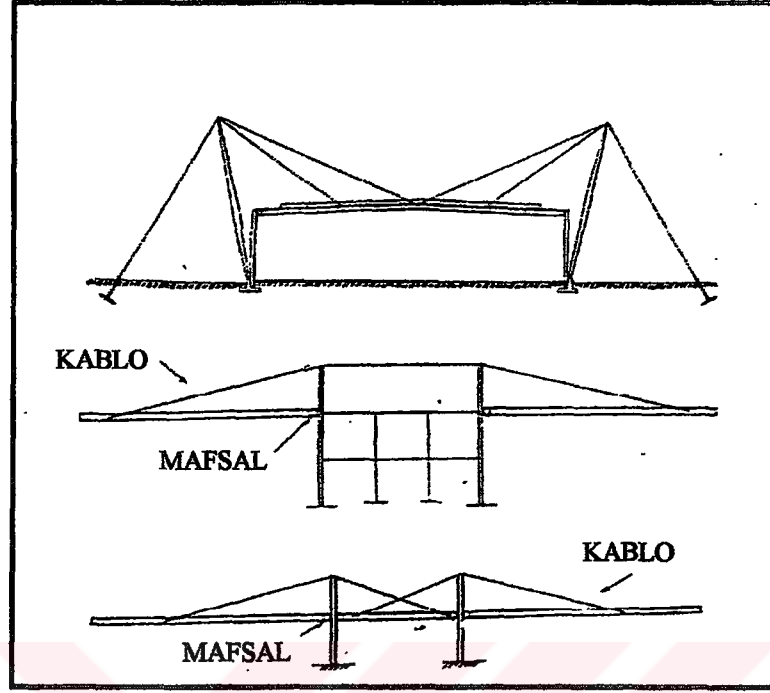
Kablo askılı sistemlerde kablo bir gerger elemanı durumundadır ve kendi ağırlığından kaynaklanan eğrilik dikkate alınmazsa kablo düzdür. Bu sistemler çekmeye çalışarak taşıma kapasitesini ve açıklık geçme oranını büyük ölçüde arttırmaktadır (Şekil 3.3) (Şekil 3.4) (Şekil 3.5) [27].



Şekil 3.3: Kablo askılı sistemde kuvvet diagramı



Şekil 3.4: Kablo destekli sistemin orta pılona gerili kablolarla iki taraflı konsol oluşturulması



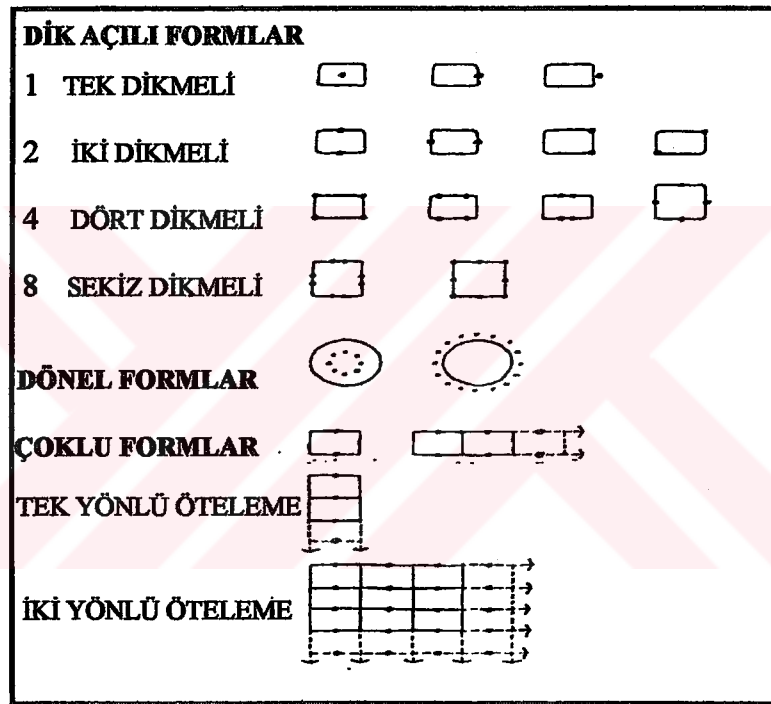
Şekil 3.5: Kablo destekli sistemler

3.1.1.1. Kablo Destekli Sistemlerin Sınıflandırılması

Kablo askılı sistemlerin özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için ilk önce çeşitlerinin analizinin yapılması gerekmektedir. Kablo askılı sistem yapılar çok çeşitli şekiller ve büyüklüklerde dir. İlk görünüşte dikmeler, kablolar ve çatı kirişleri göze çarpmaktadır. Kablo askılı strüktürel sistemler, yapısal sınıflandırma içerisinde dikmeler, kablolar ve çatı kaplama elemanları arasındaki konum ve ilişki esas alınmak üzere ayırımları yapılmaktadır. Ayrıca kablo askılı sistemlerde kullanılan taşıyıcı elemanlar, mekanların strüktürel özelliklerini ve konseptlerini belirleyici niteliktedir. Bu yaklaşım mimarların, mühendislerin mekansal ve strüktürel düşüncelerinin mekan, form ve taşıyıcı sistemin bütünleşmesi olarak yansımasıdır.


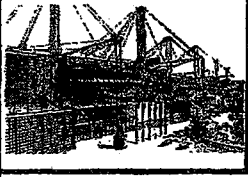
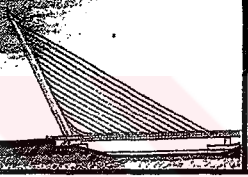

Sınıflandırmanın temelini hücresel birimler oluşturmaktadır. Bu sınıflandırmaya dikmeler, kablolar ve çatı kirişlemeleri de dahil edilebilmektedir. Bu hücrelerin sınırlarını, duvar ve dikme gibi fiziksel elemanlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu yapısal elemanlar hücrelerin geometrisini meydana getirmektedirler.

Bu hücrel birimler bir veya daha fazla dikme ile değişik kategoriler oluşturmaktadır. Bu kategoriler iki alt kriter içerisinde toplanmaktadır. Birincisi geometrik farklılıklardır. Örnek olarak dikdörtgen formlar, kullanılan dikmelerin sayılarına ve konumlandırılmalarına göre sınıflandırılmaktadır. Dikmenin, dikdörtgensel formun sonunda veya kenarlarında kullanılması sistemi başka bir kategoriye sokmaktadır. İkincisi bu hücrelerin değişik dikdörtgen düzlemler içerisindeki tekrarıyla çoklu hücrel sistemlerin ortaya çıkmasıdır (Şekil 3.6) [17]. Bu bölümde incelenen örnekler (Tablo 3.1)'de sunulmuştur.



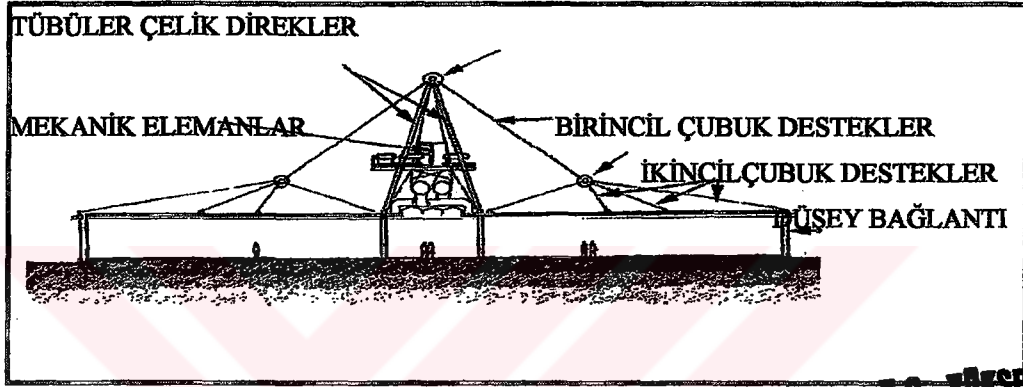
Şekil 3.6: Kablo askılı sistemlerin sınıflandırması

Tablo 3.1: Kablo Destekli Sistem Yapı Örnekleri

3.1.1.2. Örnek Yapılar	
Patcenter Uluslararası Araştırma ve Geliştirme Merkezi	
	Yer: Princeton, A.B.D.
	Tarih: 1986
	Mimar: Richard Rogers
Darling Harbor Sergi Salonu	
	Yer: Sydney, Avustralya
	Tarih: 1986
	Mimar: Phillip Cox
Alamillo Köprüsü	
	Yer: Sevilla, İspanya
	Tarih: 1992
	Mimar: Santiago Calatrava
Renault Şirketinin Depo ve Dağıtım Merkezi	
	Yer: İngiltere
	Tarih: 1983
	Mimar: Norman Foster

• Patcenter Uluslararası Araştırma ve Geliştirme Merkezi

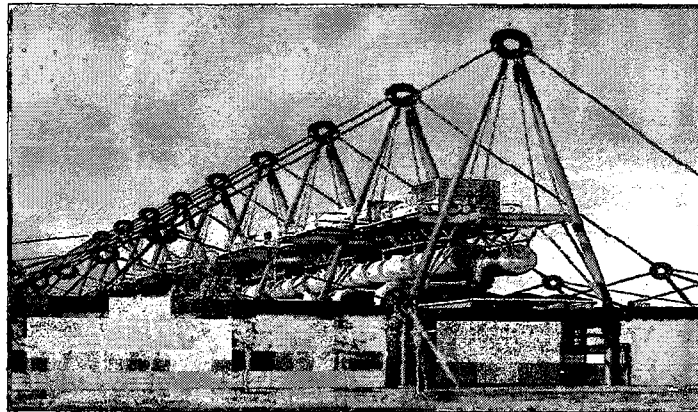
Patcenter, 1986 yılında, Princeton NJ'de Richard Rogers ve ortakları tarafından inşa edilmiştir. Bu yapı içeriğini oluşturan ofislerin, laboratuvarların ve servislerin maksimum esneklik içerisinde olması için tasarlanmıştır. Bu esneklik, yapının strüktürel sisteminin geniş ızgara bir düzen içerisinde yerleştirilmiş kolonlardan ve servislerden oluşmasıyla sağlanmaktadır (Şekil 3.7) [10] [21].



Şekil 3.7: Patcenter'in kesiti

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

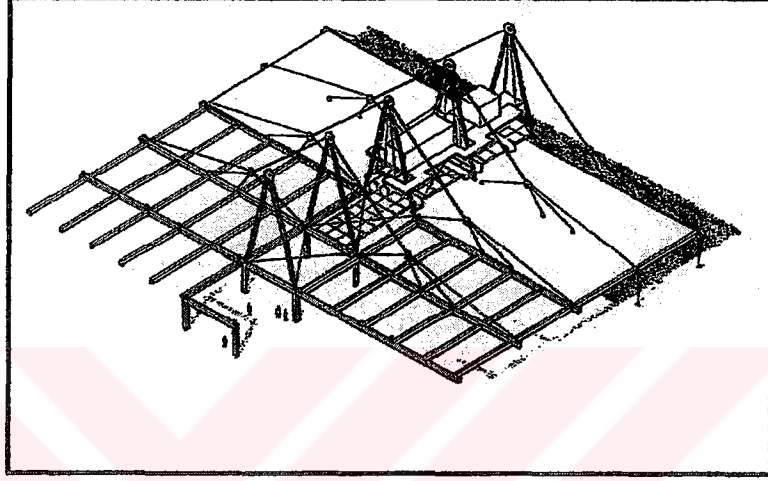
Yapının dışında bulunan bu strüktürel sistem, müşterinin isteklerine güçlü bir şekilde cevap vermektedir. Bu yapının strüktürel sistemi şirketin teknolojik yönelime getirdiği yenilikleri ifade etmektedir (Şekil 3.8) [21].



Şekil 3.8: Patcenter, Princeton NJ, 1986

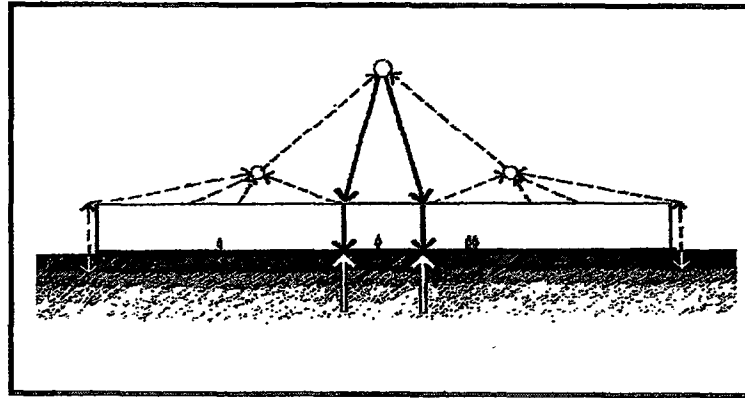
Yapının tesisatı göze çarpacak bir şekilde binanın çatısının üzerinden geçirilmiştir. Bu sistemler dikmeler tarafından taşınmaktadır. Bu dikmelerin her iki tarafında

bulunan mekanlar (72 mx 22.5 m) boyutlara sahip araştırma laboratuvarlarıdır. Bu araştırma alanlarındaki esneklik ve kolonsuz iç mekanlar kablo destekli çatı ile sağlanabilmektedir. Ana strüktürel sistem, 7.5 m genişliğinde dikdörtgen çelik çerçeve yapısıdır. Bu iskelet, üstündeki 15 m. yüksekliğindeki tübüler çelik A-çerçeve dikmelerine bir alt destek vermektedir (Şekil 3.9) [21].



Şekil 3.9: Patcenter’ın izometrik görünüşü

Dikmelerin en üst noktalarından iki tane birincil çelik kablolardan her birine, dört ayrı kısa ikincil çelik kablo bağlanmıştır. Bu dört kısa kablo ise çatıyı en uzak iki noktadan ve en yakın iki noktadan taşımaktadır. (Şekil 3.10) [10] [21].

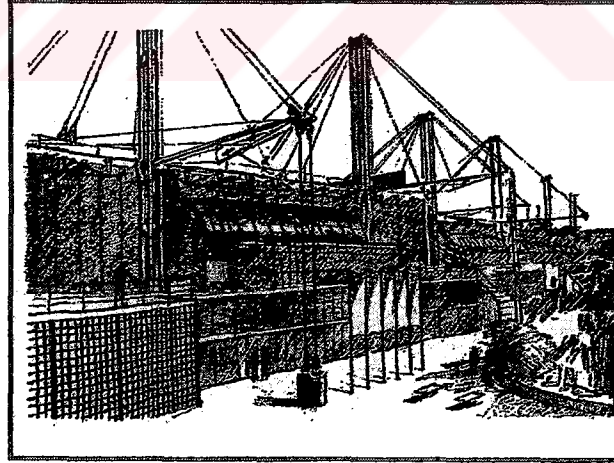


Şekil 3.10: Patcenter’ın yük diagramı

Asma sistemlerdeki çatı açıklığını, rüzgarın kaldırma kuvvetine karşı koruyan düşey kablolar temellere bağlanmaktadır. Strüktürel sistemin stabilliğini ve görsel temizliğini sağlayabilmek için payanda kullanılmamıştır. Fakat bunun yerine dikmeler arasında rijit birleşimler oluşturmak gerekmektedir [21].

• **Darling Harbor Sergi Sarayı 'Darling Harbor Exhibition Center'**

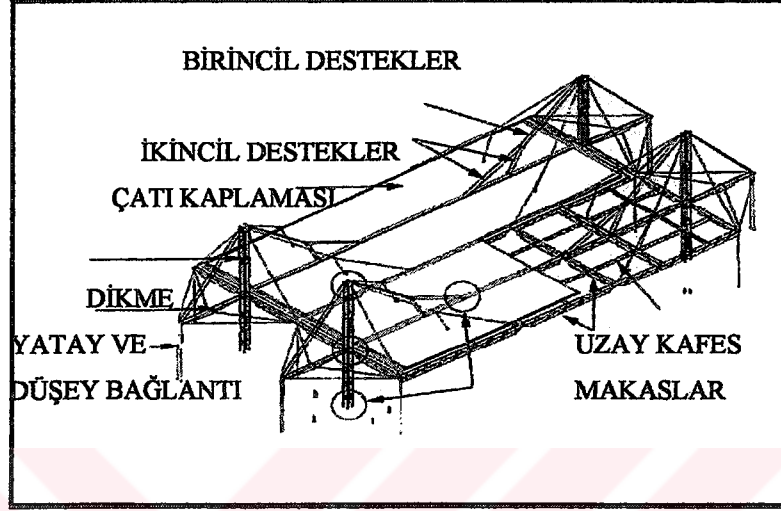
Bu yapı, 1986 yılında Sydney Avusturalya'da 'Philip Cox and Partners' tarafından tasarlanmıştır. Bu yapının strüktürel sistemi, hemen yanı başındaki yükseltilmiş olan otobanın taşıyıcı sisteminden alıntıdır (Şekil 3.11). Bu yapıdaki her bir hücrenin taşıyıcı sistemi birbirinden bağımsız olarak çözülmüştür. Her bir hücre 13.5 m yüksekliğindeki dört adet dikme tarafından taşınmaktadır. Her bir bölümde 92 m açıklık geçilmektedir. Dört adet tübüler çelik eleman birarada kullanılarak, dikmelere kare form verilmiştir. Her bir dikme, yüzeydeki beton ayaklara bağlanmıştır. Diyagonal bağ destekleri, dikmenin en yukarisından çatı konstrüksiyonunun en alt kısmında bulunan uzay kafes makaslara destek vermektedir. Kullanılan bu uzay kafes makaslar 15 m açıklık geçmektedir [21].



Şekil 3.11: Darling Harbor Exhibition Center, Sydney Avusturalya, 1986

Uzay kafes makaslar mafsallı birleşimlerle üretildikleri için, sıcaklık farklılıklarından dolayı oluşan genişmeden etkilenmemektedir. En alt kısımdaki uzay kafes makaslar, üzerine yerleştirilen makaslar ile çatı suyunu rahatça uzaklaştırabilmesi için çok az bir oranda eğimlidir. Bu makaslar, çatı aşıkları ile çelik çatı örtüsünü taşırlar. Çatı,

taşıyıcı çelik dikmelerin her iki tarafında bulunan diyagonal destek çelik gergiler tarafından taşınmaktadır. Bu çelik kablolar, çelik dikmenin her iki tarafına bağlandıkları ve strüktürel elemana eşit oranda kuvvet uyguladıkları için sistem dengede kalmaktadır (Şekil 3.12) [21].



Şekil 3.12: Darling Harbor Exhibition Center'in izometrik çizimi

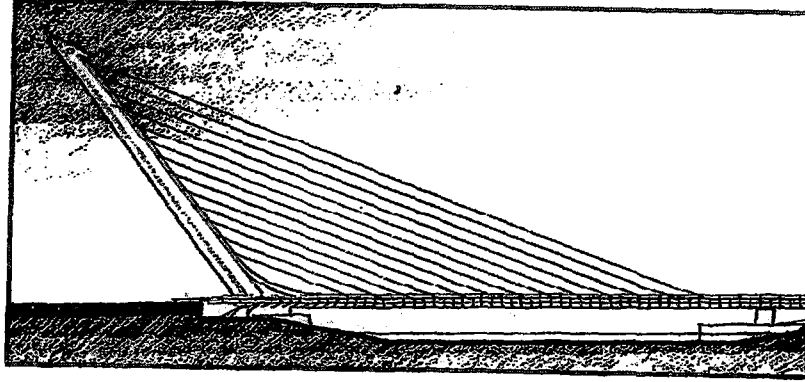
Çatının bitim noktalarında strüktürel sisteme destek veren ikincil gergiler vardır. Bu gergiler, zemin ile uzay kafes makaslar arasına bağlanırlar. Çatı örtüsünün her iki tarafında bulunan çelik gergiler, çatıda oluşabilecek momenti minimuma indirirler [21].

• Alamillo Köprüsü 'Alamillo Bridge'

Bu köprü, 1992 yılında Seville İspanya'da inşa edilmiştir (Şekil 3.13). Strüktürel mühendisi Santiago Calatrava'dır. Calatrava, bu köprü ile yenilikçi bir İspanyol mimar ve mühendis olarak tanınmıştır. Tanınmasına yol açan yapıtlarında önceliği köprüler, son zamanlarda ise binaları almıştır [21].

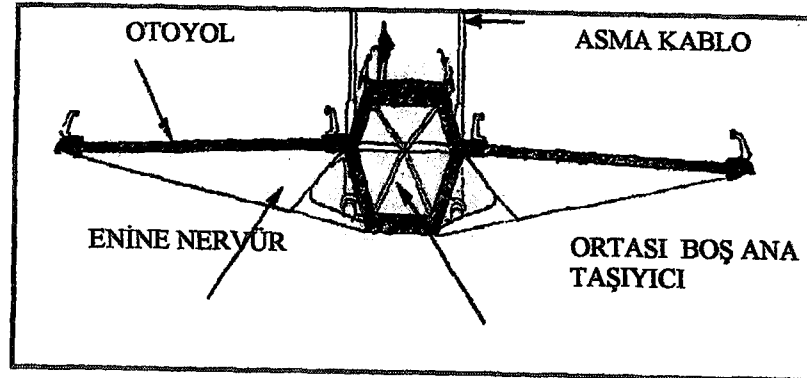
Alamillo Köprüsünün uzunluğu 200 m.'dir. Bu köprü diyagonal paralel kablolar yardımı ile tek bir taraftan taşınmaktadır. Köprüyü taşımakta olan dikme 142 m. yüksekliğindedir. Birçok büyük açıklık geçilen sistemlerde, kablo askılı strüktürlerin simetrik bir organizasyonu vardır. Bu strüktürel sistemlerin dengesini, iki simetrik

dikme arasına yerleştirilen kablolar ve bu kablolarla asılan köprü yüzey konstrüksiyonu oluşturur. Fakat Calatrava'nın köprüsü sıradışıdır. Çünkü dikmenin yerleşimi tek yönlüdür. Dikmenin eğimli olmasından dolayı eğik taşıyıcı üzerinde düşey oluşan yükler, betonarme köprü ile dikme arasında bulunan çelik kablo payandalar ile dengelenmektedir [21].



Şekil 3.13: Alamillo Köprüsü, Sevilla İspanya, 1992

Köprü'nün merkezindeki omurga altıgen çelik kutu kirişten yapılmıştır. Bu kiriş köprü'nün dikmesine çelik kablolar ile bağlanmış ve sabitlenmiştir. Köprü'nün üzeri, üç geniş üç gidiş olmak üzere altı şeritlidir. Bu şeritler yolun omurgasından dış kısmına doğru konsol olarak çalışmaktadır (Şekil 3.14) [21].



Şekil 3.14: Alamillo Köprüsü dik kesiti

- **Renault Şirketinin Depo ve Dağıtım Merkezi 'Warehouse and Distribution Centre for Renault'**

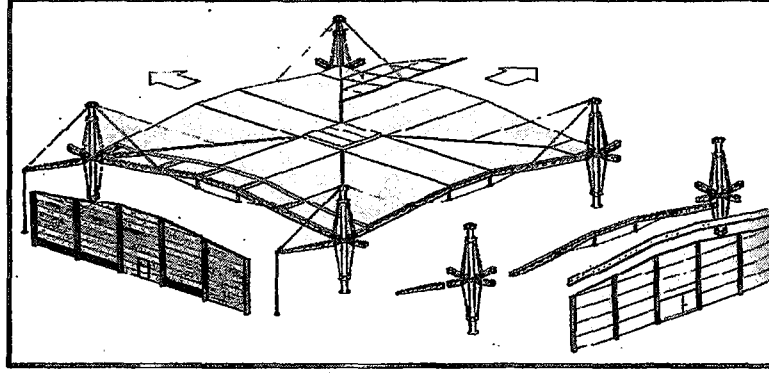
Bu yapı, 1983 yılında İngiltere'de yapılmıştır. Mimarları Foster ve ortaklarıdır. Renault şirketi, ürettiği otomobillerdeki tasarım kalitesinin şirketin binalarına da yansıdığını tüketicilere göstermek istemiştir. Centre for Renault binası bu fikir ışığında, depo ve dağıtım merkezi olarak inşa edilmiştir. Yapı kısa bir zamanda ve ekonomik bir bütçe ile inşa edilmiştir. Bina genişlemeye uygun, modüler ve esnek bir yapıya sahiptir (Şekil 3.15) [10].



Şekil 3.15: Renault Şirketinin Depo ve Dağıtım Merkezi, İngiltere, 1983

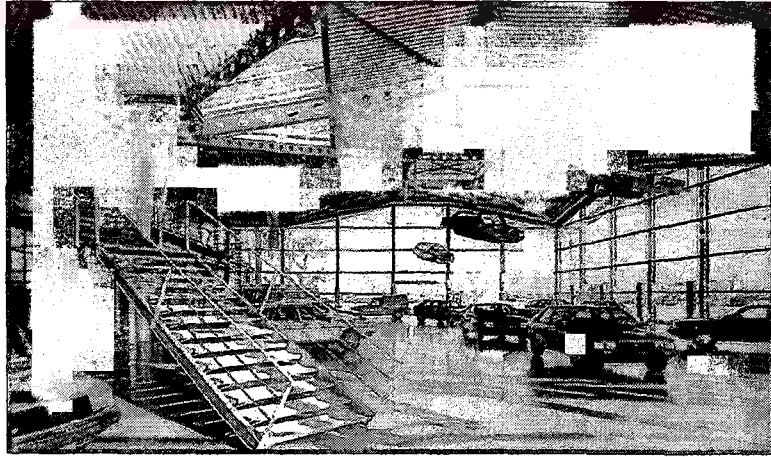
Yapının formu modüllerden oluşmaktadır. Bu modüllerin strüktürel sistemleri binanın dışarısından algılanabilmektedir. Herbir modül 24 m²'lik bir alanı kaplamaktadır. Modüllerin yükseklikleri çatı kenarlarında 7.5 m , tepe noktalarında ise 9.5 m'dir. Yapıda kullanılan dikmelerin yükseklikleri ise 16 m'dir. İlk aşamada 42 modül inşa edilmiştir. Depo ve otomobil tanıtım alanları, ofisler, tamir atölyeleri, seminer odaları, restoranlar bu yapı içerisinde bulunmaktadır [10].

Strüktürel sistemin üzerinde hazır birleşim noktaları bulunmaktadır. Yapıya yeni modüller ekleneceği zaman, mevcut strüktürel sisteme zarar vermeden bu birleşim noktalarına yeni modüller ilave edilerek yapı genişletilebilmektedir (Şekil 3.16) [10].



Şekil 3.16: Renault binasının izometrik çizimi

Center for Renault binasının zemini beton ile kaplanmıştır. Çatı yüzeyi ise donatılarla güçlendirilmiş PVC membran yüzey ile örtülmüştür. Duvar paneller, iki metal plaka arasında poliüretan köpük kullanılarak imal edilmişlerdir. Cephede kullanılan cam paneller, doğal ışığın içeri girmesini ve strüktürel elemanların iç mekandan algılanmasını sağlamaktadır. Herbir modülün çatısının tepe noktasında, doğal ışığın iç mekanı aydınlatabileceği bir tepe penceresi bulunmaktadır (Şekil 3.17). Yaz aylarında bu pencere açılarak iç mekânın havalandırılması sağlanmaktadır [10].



Şekil 3.17: Renault binasının iç görünümü

3.1.2. Makaslar / Kafes Kirişler

Statik dengeyi koruyarak üzerine etkiyen sabit veya hareketli yüklerin aksel çekme ve basınç kuvvetleri ile kavrayan çubuk elemanların bir düzen içinde biraraya geldikleri taşıyıcı sistemlerdir [15].

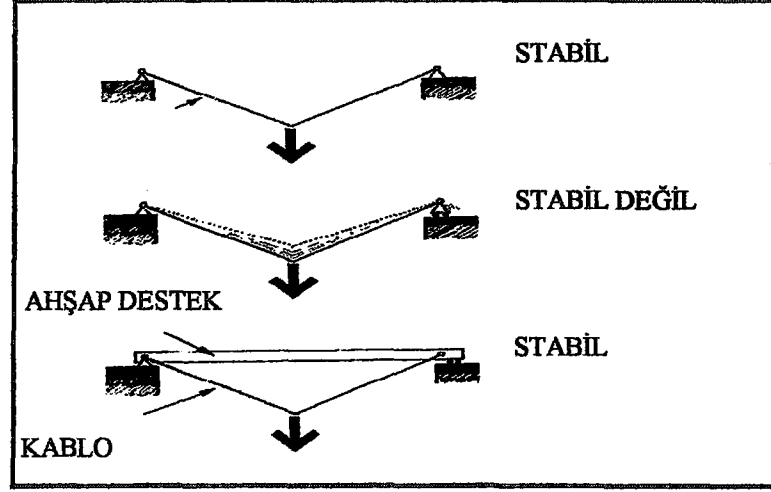
Makas sistemler, çubuk ve düğüm noktalarının üçgen bir form düzeni içerisinde biraraya gelmelerinden oluşmaktadır. İki düğüm noktası arasında kullanılan çubuklar doğru aksel ve sabit en kesitlidir. Düğüm noktalarında, çubuk eleman en kesitlerinin ağırlık merkezlerinden geçen doğrular bir noktada kesişmektedir. Makas sistemlerde çubuk ve düğüm noktası birleşimlerinde perçin, bulon ve kaynak kullanılmaktadır [15].

Makas sistemlerde, yükler yalnızca düğüm noktalarına etki etmektedir. Bu noktaların üzerine etki eden yükler, üçgen oluşturulan çubuklar tarafından taşıyıcı sistemin tamamına dağıtılmaktadır. Bu üçgenler, basınç veya çekme kuvvetlerinin etkisi altındadır. Makas sistemlerde oluşan kuvvetler moment ve kesme kuvveti şeklinde olmamaktadır. Bazı eğme kuvvetleri sistemin üzerine dağılan yüklerin, sistemin birleşme noktalarında oluşturduğu sürtünmeden ortaya çıkmaktadır. Fakat bu kuvvetler aksel kuvvetlerin yanında küçük bir büyüklüğe sahip olup genellikle analitik hesaplamalarda göz ardı edilmektedir [15] [21].

Bir makas sistemin en küçük geometrik ögesi üçgendir. Üçgen strüktürel parçalar, üzerine etki eden kuvvetlere karşı çok dayanıklıdır. Ayrıca bütün çokgenler üçgen gibi stabil bir forma sahip değildir [21].

Eğer kablo iki ucundan kaymayacak şekilde destekleniyorsa yatay tepki karşılanmaktadır. Destek veren noktaların bir tanesi mafsallı, diğeri hareketli ise sistem dengede değildir. Her iki destek dikey kuvvetlere karşı direnç gösterir. Fakat hareketli birleşim noktaları yatay kuvvetlere direnç göstermemektedir. Hareketli destekler kablodaki yatay kuvvet oranına göre yer değiştirmektedir. Sistem mafsallı

ve hareketli bir desteğe asılmıştır.İki destek arasındaki payanda basınç kuvvetine karşı direnç göstermektedir. (Şekil 3.18) [21].



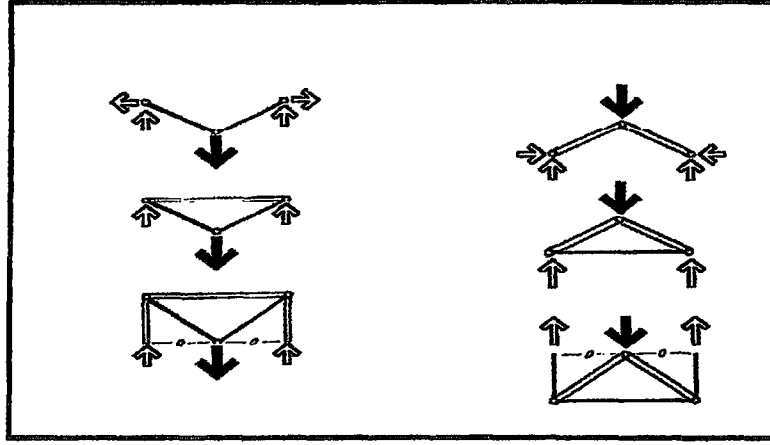
Şekil 3.18: Farklı birleşim noktaları arasındaki kabloya etki eden kuvvet

Eğilme momentine karşı makaslarda oluşan direnç kuvveti, makasın alt ve üst kısmındaki çubuklarla sağlanmaktadır. Bu çubuklar birbirlerine diagonal elemanlarla bağlanmaktadır. Üst çubuk basınç kuvvetlerine karşı, alt çubuk ise çekme kuvvetlerine karşı direnç göstermektedir. Bir makasın derinliği moment kolunu oluşturmaktadır. Makasın alt ve üst çubukları arasında kalan kısmı boş olduğundan her zaman aynı yükü taşıyabilen, aynı açıklığı geçen dolu bir kirişten daha hafiftir [9] [21].

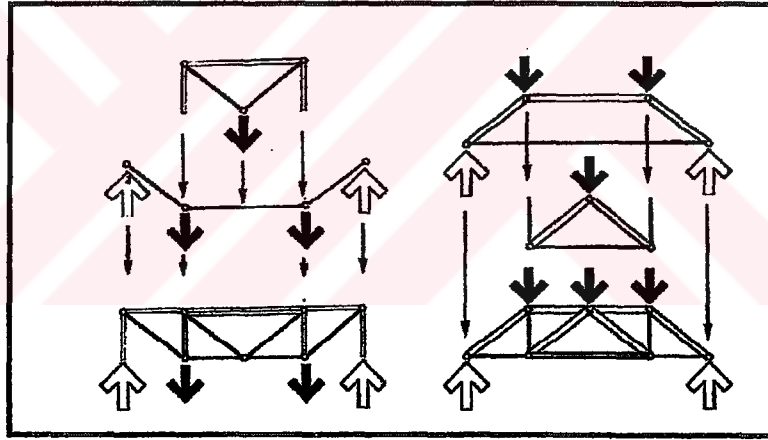
3.1.2.1. Makas Sistemlerin Sınıflandırılması

Makasların şekilleri, basınç ve çekme kuvvetlerine karşı direnç gösteren elemanların çeşitli üçgen biçimlerde bir araya gelmeleriyle oluşmaktadır. Şekilde basit makas formuna etki eden kuvvetler, bu formun gelişimi ve daha kompleks elemanların ortaya çıkışı gösterilmektedir. Kullanılan bütün birleşimler mafsallıdır.(Şekil 3.19) ve (Şekil 3.20)'de basınç kuvvetlerine karşı dikmeler, çekme kuvvetlerine karşı gergi çubukları kullanılmıştır. Şeklin sağ tarafındaki makaslar, şeklin sol tarafındakilerin ters çevrilmiş olanlarıdır. Ters çevrilen makaslarda dikmeler gergi çubukları, gergi

çubukları da dikmeler haline gelmektedir. Ayrıca strüktürel elemanlara etki eden kuvvetler, zıt kuvvetler olarak değişmektedir [21].

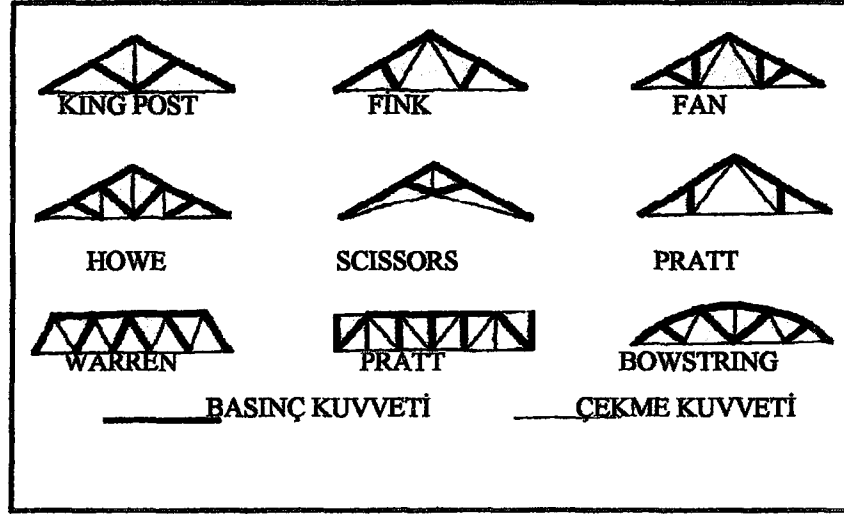


Şekil 3.19: Basit bir makasın üzerine etki eden kuvvetler

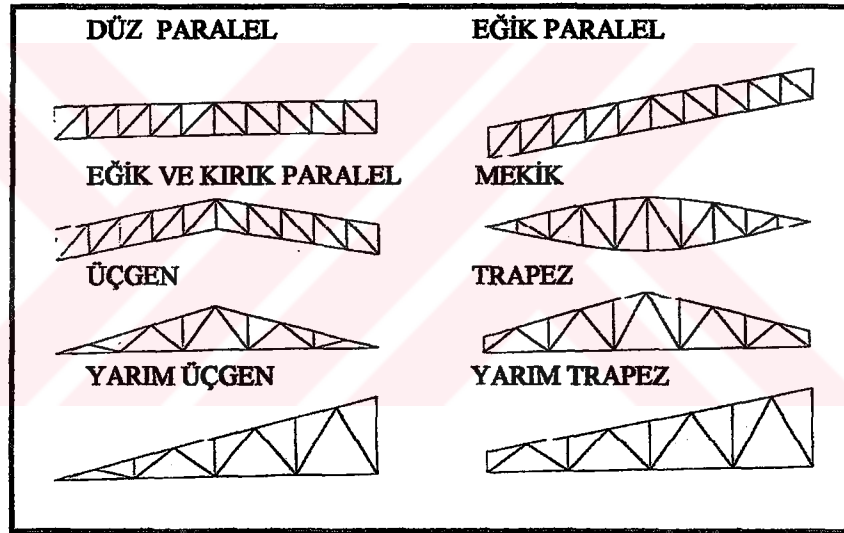


Şekil 3.20: Basit bir makastan daha komplike makasların ortaya çıkışı ve üzerlerine etkiyen kuvvetler

Düzlem makaslar, çeşitli iç çubuk bölünmeleri ve dış şekilleri arasında yapılacak olan kombinasyonlarla farklı geometrilerde üretilebilirler. Düzlem makaslar üçgen, dikdörtgen, eğrisel veya mercekli (makasın üst ve alt çubukları eğri) olarak biçimlendirilmektedir (Şekil 3.21) (Şekil 3.22). Şekillendirilmiş bu makaslar, küçük üçgen parçalara bölünmektedir. Bütün bu küçük üçgen parçalar birleşim noktalarından dolayı kesintili bir yapıya sahiptir [21] [15].

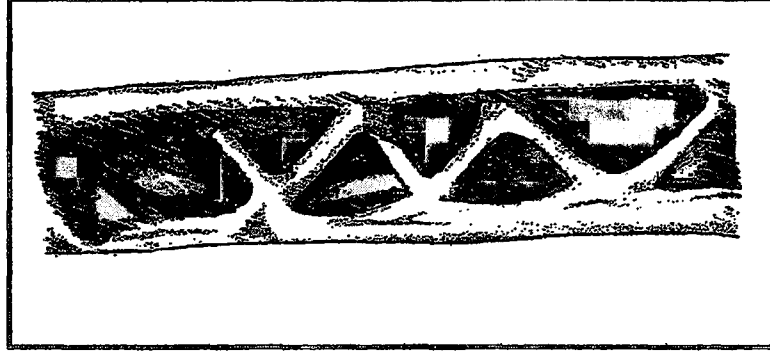


Şekil 3.21: Makas sistemlerin yabancı isimleri ve üzerlerine etkiyen kuvvetler



Şekil 3.22: Makas sistemler

Warren ve Pratt tipi makaslar, paralel makasların farklı strüktürel yapılarda kullanıldığı örneklerdir. Warren makas tipinin strüktürel şekli akbaba kanadının iç yapısına benzemektedir (Şekil 3.23). Bu tip makasta diyagonal elemanlar kullanılmaktadır. Pratt makas tipinde ise düşey ve diyagonal elemanlar birarada kullanılmaktadır [9].

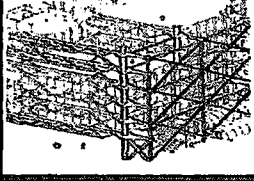
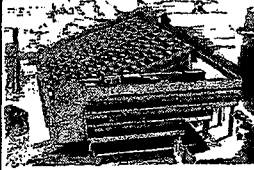
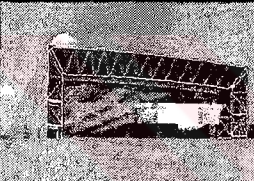




Şekil 3.23: Akbaba kanadının iç yapısı

Makaslar, eğimli çatılar için çok uygun bir strüktürel sistemdir. Bu sistem kullanılarak çatılarda dolaylı aydınlatma yapılabilir. Ayrıca makas sistem çok büyük açıklıklarda kullanılabilir. Örnek olarak Severin köprüsünde kullanılan makaslarla 300 m. açıklık geçilmiştir. Fabrikalar ve spor alanları düz makasın en çok kullanıldığı yerlerden bazılarıdır. Bununla beraber makasları yangına karşı yalıtım ekonomik açıdan çok masraflıdır. Bu nedenle yangın yalıtımı gereken binalarda makas sistem kullanılmamaktadır [9].

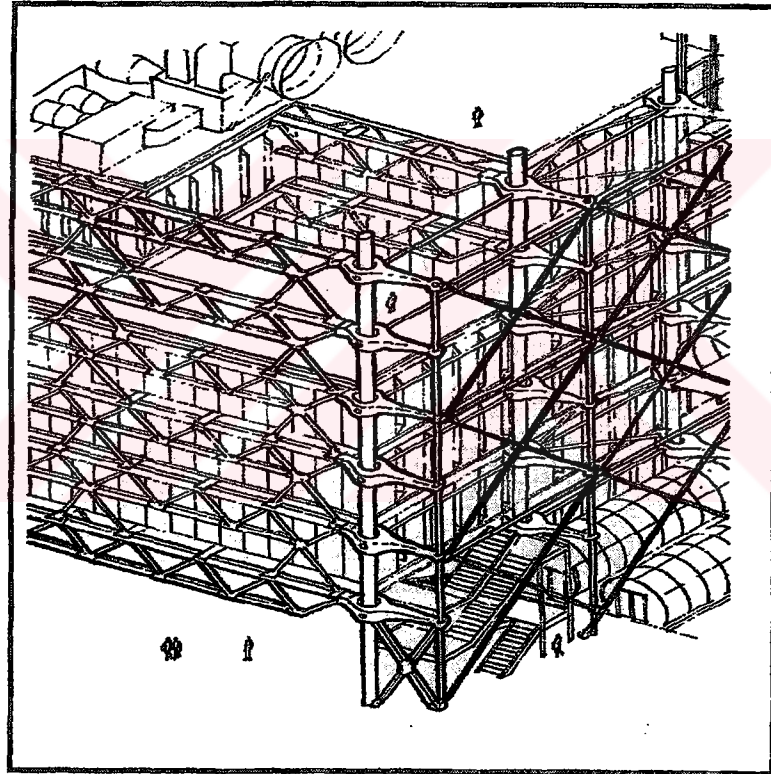
Düzlem makaslar iki boyutlu, uzay kafes makaslar üç boyutlu şekle sahiptirler. Düzlem makas ve uzay kafes makas sistemler tek bir yönde açıklık geçebilmektedir. Makas sistemlerden ayrı bir sistem olan uzay kafes çatı sistemlerde yük her iki yönde taşınmaktadır [21]. Bu bölümde incelenen örnekler (Tablo 3.2)'de sunulmuştur.

Tablo 3.2: Makas / Kafes Kiriş Yapı Örnekleri

3.1.2.2. Örnek Yapılar	
Georges Pompidou Merkezi	
	Yer: Paris, Fransa
	Tarih: 1977
	Mimari: Renzo Piano ve Richard Rogers
Gund Salonu	
	Yer: Cambridge, A.B.D.
	Tarih: 1972
	Mimari: John Andrews
Sainbury Merkezi	
	Yer: Norwich, İngiltere
	Tarih: 1978
	Mimari: Norman Foster
Crosby Kemper Arena	
	Yer: Kansas, A.B.D.
	Tarih: 1974
	Mimari: F.Murphy
L.B.M. Spor Salonu	
	Yer: Hampshire, İngiltere
	Tarih: 1982
	Mimari: Nicholas Grimshaw

- **Georges Pompidou Merkezi 'Georges Pompidou Center'**

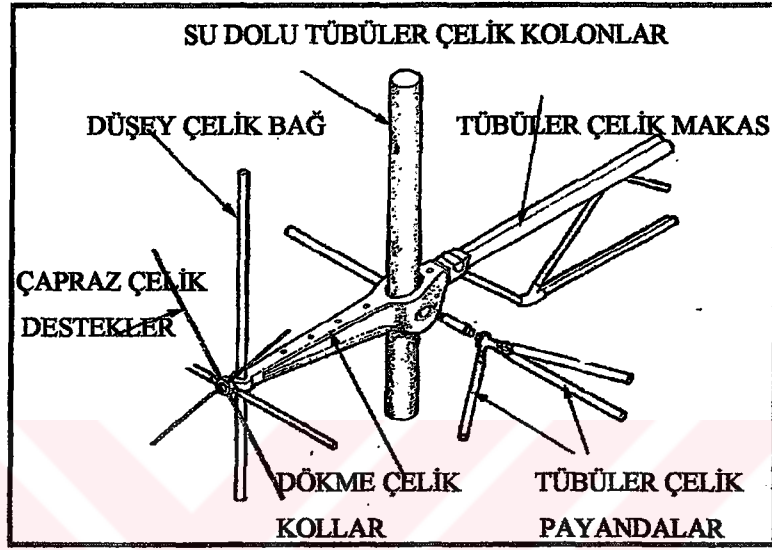
Pompidou Center'in iç mekanlarının çok daha esnek bir yapıda olabilmesi için strüktürel sistem yapının dışarısında çözülmüştür. Bu yapı, 1977 yılında Paris'te inşa edilmiştir (Şekil 3.24). Mimarları, Piano ve Rogers'dır. Strüktürel mühendisleri, Arup ve ortaklarıdır. Bu merkezin tarihi bir bölge içerisinde, ulusal sanat merkezi olarak inşa edilmesi ve aynı zamanda yapının bir mekanik estetiğe sahip olması tartışmalara yol açmıştır. Binanın içerisinde birçok aktivitenin ve tanıtımların yapılabilmesi için doğal bir zemin yaratılmıştır [21].



Şekil 3.24: Georges Pompidou Center, Paris, 1977

Bina kendi tarzında orjinal bir yapı tekniğine ve detaylandırmaya sahiptir. Yapı dikdörtgen bir plana sahiptir. Yapının uzunluğu 168 m.'dir. Ayrıca binanın planlaması ileride yapılabilecek eklemelere olanak sağlamaktadır. Düşey borular ve diğer mekanik servisler yapının doğu cephesinde yer almaktadır. Bu mekanik servisler parlak renklere sahiptir. Yapının duvar kaplamaları strüktürel sistemin,

dolaşım ve mekanik elemanların arkasında teşhir edilmektedir. Bu nedenle duvar kaplamalarının dış, cephe görünüsünün oluşumuna küçük bir oranda katkısı vardır. Yapının üç cephesinde bulunan makas iskelet sistem, yapının görsel cephe dokusunu organize etmiştir [21].



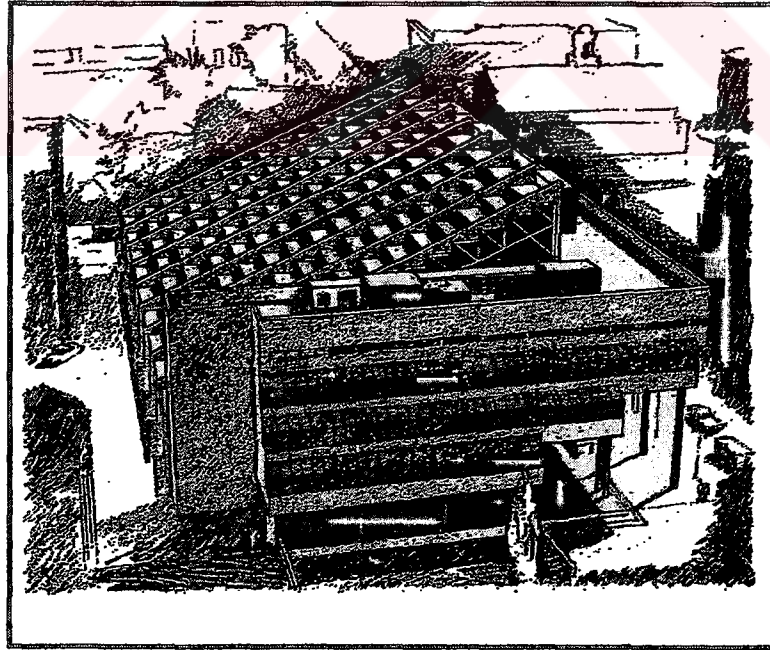
Şekil 3.25: Georges Pompidou Center'in kolon ve çevresindeki elemanların birleşim detayları

Sabit birleşimler, büyük ölçekteki yapının strüktürel sisteminin üzerinde oluşabilecek büyük orandaki yük ve ısı değişiklikleri nedeniyle sıklıkla kullanılmıştır. Yapının yeraltında kalan kısmında 14 tane iki boyutlu makas sistem vardır. Bu sistemler 48 m. açıklık geçmektedir. Yapıdaki düşey makaslar; altı kat yüksekliğindeki kat döşemelerine bağlanmış, yatay destek olarak çapraz çelik bağ çubuklarının kullanıldığı sistemlerdir. Birincil kolonlar 850 mm. çapa sahip içi su dolu tübüler çelik elemanların kullanıldığı yangına dayanıklı kolonlardır. Bu kolonları hazır çelikten yapılmış kol destekleri dengede tutmaktadır. Bu kol desteklerin bitim noktaları 200 mm. çapındaki diagonal bağ çubuklarına asılmıştır. Herbir makas 44.8 m. açıklık geçmektedir. Kullanılan makasların derinlikleri 2.82 m.'dir. Ayrıca makasların üst ve alt çubukları çift yapılmıştır. Üst çubuklar 419 mm., alt çubuklar ise 225 mm. çapındadır. Tübüler basınç elemanlarının, çekme ve basınç

çubukların birleştirilebilmesi için hazır çelikten yapılmış birleşim elemanlarına kaynaklanmaları gerekmektedir (Şekil 3.25) [21].

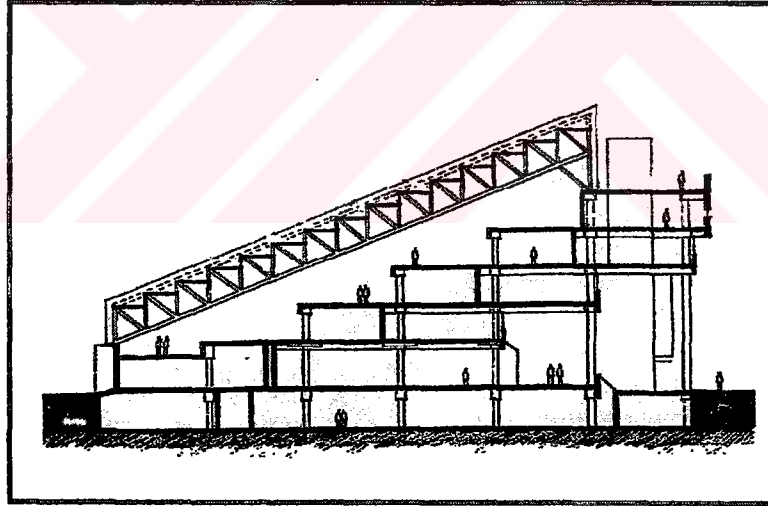
- **Gund Salonu 'Gund Hall'**

Gund Hall, 1972 yılında Cambridge 'de John Andrews tarafından tasarlanmıştır (Şekil 3.26). Gund Hall, Harvard Üniversitesi'nin tasarım okuludur. Bu okulda, mimarlık, peyzaj mimarlığı, şehircilik gibi programlar bulunmaktadır. Tasarım konseptini, öğrencilerin ve okulun içerisinde yer alan birçok disiplinlerin birbirleriyle sıkı bir ilişki içerisinde olmasını özendirecek şekilde tasarlanmış stüdyo alanları oluşturmaktadır. Andrews, bu yapıyı geniş bir fabrikanın tavan arasına yerleştirilmiş değişik aktivitelere sahip küçük alanlar olarak ifade etmiştir. Yeterli iç mekanlar oluşturabilmek için stüdyo alanları üst üste kaymıştır. Bu alanların üzeri eğik bir çatı ile kaplanmıştır. Strüktürel sistem ve çatının mekanik sistemi, görsel ve öğretici bir amaçla teşhir edilmiştir [21].



Şekil 3.26: Gund Hall, Cambridge, 1972

Dokuz tane düzlem makas 7.3 m. aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu makaslarla geçilen açıklık 41 m.'dir. Makasların derinliği 3.4 m.'dir. Ayrıca makasın alt ve üst çubuklarında 300 mm. çapında tübüler çelik kullanılmaktadır. Mafsallı birleşimler, makasın üst çubuğu ile ağ çubuklar arasında, kayabilen hareketli birleşimler ise makasın alt çubuğu ile ağ çubuklar arasında kullanılmıştır. Bu tipteki birleşimler sıcaklık değişikliklerinde makasın genişlemesine olanak vermektedir. Tübüler elemanlar, geniş kenarlı strüktürel elemanlara nazaran daha temiz bir işçilikle üretilmişlerdir. Yangına karşı 3 mm. kalınlığında boya ile boyanmışlardır. Makas sistemin yanal direncini herbir bölümde bulunan çapraz bağlar sağlamaktadır. Basamak şeklindeki çatı makas sistemin üzerinde bulunan kablo, yarısaydam güçlendirilmiş plastik ile kapatılmıştır. Çatının altındaki makas elemanlar ise, iç mekanda teşhir edilmektedir. Güneş koruyucu bir sistem tasarlanmadığı için çatının ısı kazanımı çok fazladır. İç mekanda konforun sağlanabilmesi için havalandırma ve iklimlendirme yetersizdir (Şekil 3.27) [21].

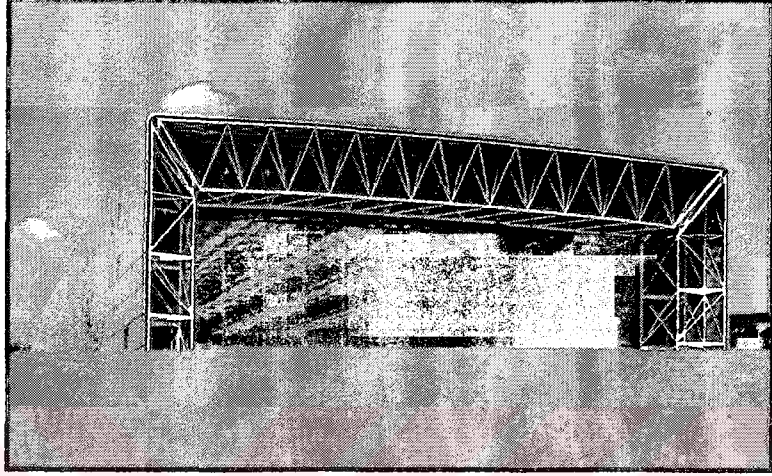


Şekil 3.27: Gund Hall, Cambridge, 1972

• **Sainsbury Merkezi 'Sainsbury Center'**

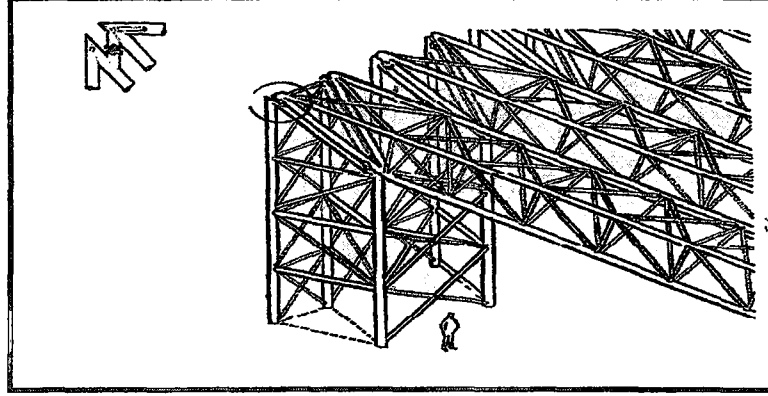
Bu yapı, 1978 yılında Norwich İngiltere'de yapılmıştır (Şekil 3.28). Mimarları, Foster ve ortaklarıdır. Strüktürel mühendisleri, A.Hunt ve ortaklarıdır. Sainsbury Center'in en önemli fonksiyonu bir sanat galerisi olmasıdır. Fakat bu yapının üçte

biri sanat okulu, çok amaçlı salon ve restoran olarak kullanılmaktadır. Binanın formu basit bir dikdörtgen şeklindedir. İki cephesi tamamen kapatılmıştır. Bu yapı, formun ve yüzeyin basitliğini koruyacak şekilde detaylandırılmıştır. Gün ışığı kontrollü bir şekilde panjurdan iç mekana dağılmaktadır [10].



Şekil 3.28:Sainsbury Center, İngiltere, 1978

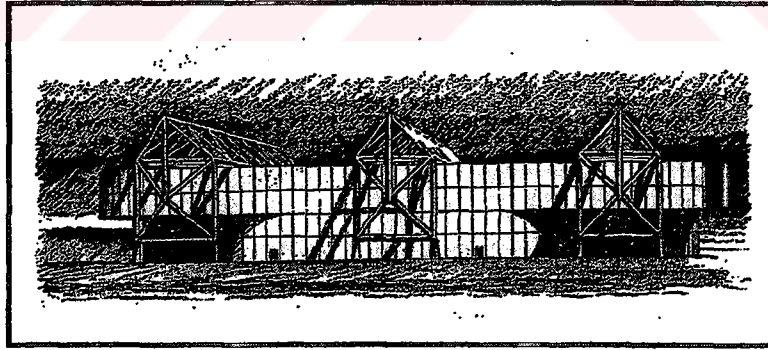
Binanın yapımındaki ince ayrıntılar, tasarımın dikkat çekmesi ve yapının yüksek kalitede inşa edilmiş hoş bir obje olarak görülmesi açısından çok önemlidir. Özellikle prefabrike elemanlar, uzay kafes kiriş ve kolonların birleşim detayları binada dikkati çekecek noktalardır. Strüktürel sistem 37 tane üç boyutlu makas (uzay kafes kiriş) içermektedir. Bu makaslar, çapraz üçgen kesitlere sahiptirler. Herbir makas 2.5 m. derinliğe sahiptir. Makasların üst kirişleri 1.8 m. genişliğe sahiptir. Makaslar 131.4 m. uzunluğundadır. Strüktürel sistem makasların yan yana dizilmesiyle oluşmaktadır. Kolon olarak kullanılan makaslar, üst kısımlarından makas kirişlere mafsallarla bağlanmışlardır. Giydirme cephelerin bağlandığı makas kolonların, cephelerde oluşabilecek bozulmalara karşı çok daha rijit ve sağlam olması gerekmektedir. Bu yüzden cephe elemanları makasların alt kısımlarına mafsallarla bağlanmıştır (Şekil 3.29) [21].



Şekil 3.29: Sainsbury Center, makasların aksonometrik çizimi

• Crosby Kemper Arena

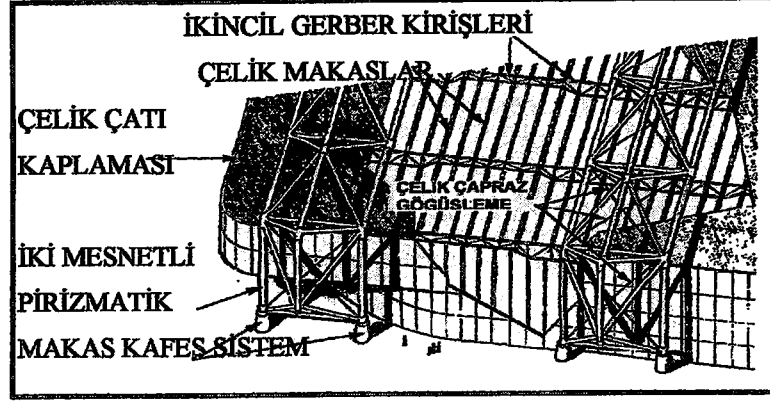
1974 yılında Kansas şehrinde inşa edilmiştir (Şekil 3.30). Mimarları ve Strüktürel Mühendisleri F..Murphy ve ortaklarıdır. Bu yapı çok amaçlı bir yapıdır. Devasa uzay kafes makasları yapının dış kısmında bulunmaktadır. Böylelikle iç mekan, daha küçük bir hacme indirgenebilmektedir. Yapının dış cephesinden, iç mekanın hacmi ve strüktürel sisteminin görüntüsünün vurgulanması sağlanmıştır.



Şekil 3.30 : Crosby Kemper Arena

Bu yapı üç tane çok büyük üç boyutlu makas tarafından taşınmaktadır. Bu makaslar 99 m. açıklık geçmektedir. Üç boyutlu kolonlar temellere mafsallı birleşimlerle bağlanmıştır. Herbir makas 8.23 m. derinliğe sahiptir ve oval çelik tüplerden imal edilmiştir. Makas strüktürel sistemin üst barlarının çapı 1.22 m., alt barlarının çapı ise 914 mm.'dir. Bağlayıcı çelik çubukların çapı ise 762 mm.'dir. Bu üç boyutlu

makas sisteminin, dişey ve yatay kuvvetlere karşı büyük bir rijitliği vardır (Şekil 3.31) [21].

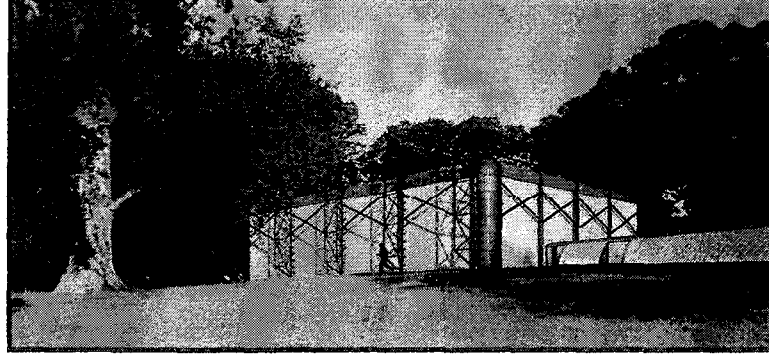


Şekil 3.31: Crosby Kemper Arena'nın taşıyıcı sistemi

Bu yapıda üç boyutlu makaslara Gerber – kiriş sistemindeki ikincil düzlem makaslar asılmıştır. Herbir bağlantı noktası arasında 16.5 m. vardır. Üçüncül hafif çelik makaslar, ikincil makaslara asılmışlardır. Herbir bağlantı noktası arasında 2.74 m. vardır. Metal çatı kaplaması üçüncül hafif çelik makasların üzerine yerleştirilmiştir. Üç boyutlu makasların birleşim noktaları çok büyük ölçekteki elemanları taşıyabilecek şekilde yapılmıştır. Ayrıca bu birleşim noktaları, ısısız genişlemeler sonucunda oluşabilecek yapı hasarlarına karşı hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır [21].

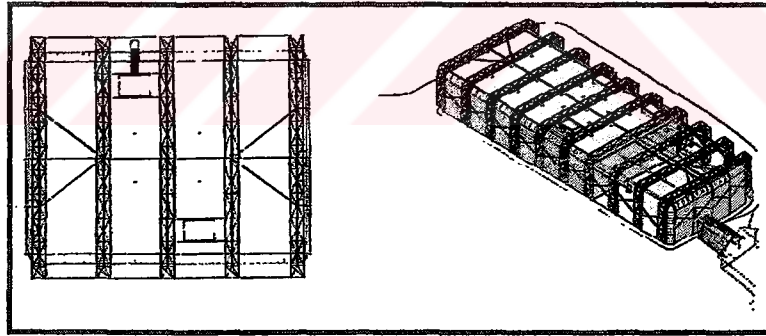
- **IBM Spor Salonu 'IBM Sports Hall'**

Bu bina, 1982 yılında Hampshire, İngiltere'de inşa edilmiştir (Şekil 3.32). Yapı, çok amaçlı bir spor salonu ve sosyal kulüp olarak tasarlanmıştır. İnşaat kısıtlı bir bütçe ile yapılmıştır. Ayrıca bu spor salonu ilerideki yapısal genişlemelere olanak sağlayacak bir şekilde planlanmıştır [10].



Şekil 3.32: IBM Sports Hall, Hampshire, 1982

Yapıda en dikkat çekici eleman, binanın dışında tasarlanmış olan strüktürel kafes sistemdir. Spor salonunda beş tane tübüler çelik makas sistem kullanılmıştır. Bu makaslar 5.25 m. aralıklarla yerleştirilmiştir. Herbir makas 18 m. açıklık geçmektedir. Taşıyıcı sistemin dışarıda çözülmesiyle iç mekan daha geniş ve düz yüzeylere sahip bir alan haline gelmiştir. Ayrıca iç mekanda spor yapılabilmesi için temiz bir alan oluşmuştur. Yapıda kullanılan makas sistemlerin cepheler üzerine düşen gölgeleri, spor salonunun büyük hacmini küçültücü bir görsel etki sağlamaktadır (Şekil 3.33) [10].



Şekil 3.33: Dış yüzeyde bulunan strüktürel sistem ve ilerideki olası genişleme

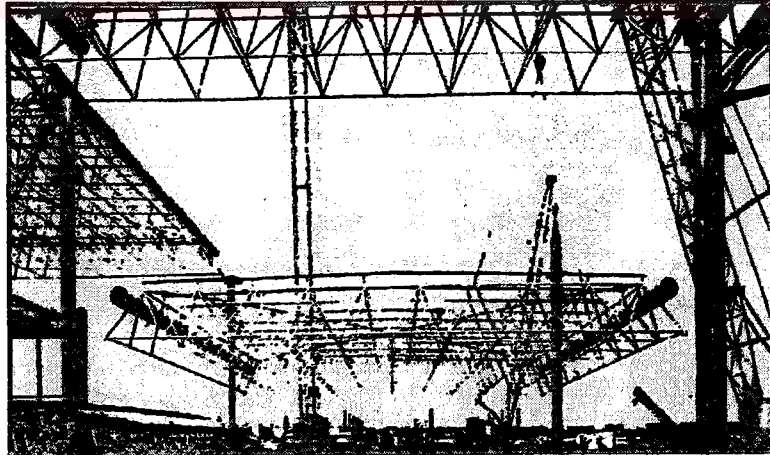
Cephelerde kullanılan sandviç paneller, iki metal yüzey arasına köpük konulmasıyla imal edilmiştir. Bu paneller ana taşıyıcı makaslara bağlanmaktadır. Yapının köşelerinde kullanılan yarısaydam mavi paneller ise, iç mekanda doğal bir parıltı oluşmasını sağlamaktadır. Spor salonunun çatısı makasların düğüm noktalarına asılmaktadır. Çatı hafif metalden yapılmış oluklu levha ve izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Çatının en dış kısmı PVC membran yüzey ile kaplanmıştır [10].

3.1.3. Uzak Kafes Sistemler

'Uzak kafes strüktürler, çekme kuvvetine çalışan doğrusal çubuk biçimindeki öğelerle, yükleri çok yönlü bir yayılım sonucu zemine aktaran, boşluğun organize edilmesi ilkesine göre üretilen çağdaş strüktür sistemleridir' [3].

Uzak kafes strüktür, büyük açıklıkların yatay düzlem çatı ile kaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca uzak kafesler büyük açıklıklı mekanların üzerinde eğimli olarak yerleştirilebilmektedir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bu sistem 100 m.'yi geçen açıklıkları örtebilmektedir. Sistemin en geniş kullanım alanları, spor salonları, uçak hangarları ve endüstri yapılarıdır. Ayrıca fuarlarda dev boyutlardaki pavyonların taşıyıcı sistemleri de uzak kafeslerden yapılmaktadır [3] [21].

Uzak kafes sistemlerin yapım tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, bu taşıyıcı sistemlerin montajı kolaylaşmıştır. Sistem yerde kurulup, vinçlerle yerine monte edilebilmektedir (Şekil 3.34). Hatta montaj işlemi çatı örtüsü hareket ettirilmeden yerinde yapılabilmektedir. Sistem prefabrike parçalardan oluşmaktadır. Bu nedenle gerektiğinde sökülüp başka yerlere taşınabilmektedir [3].

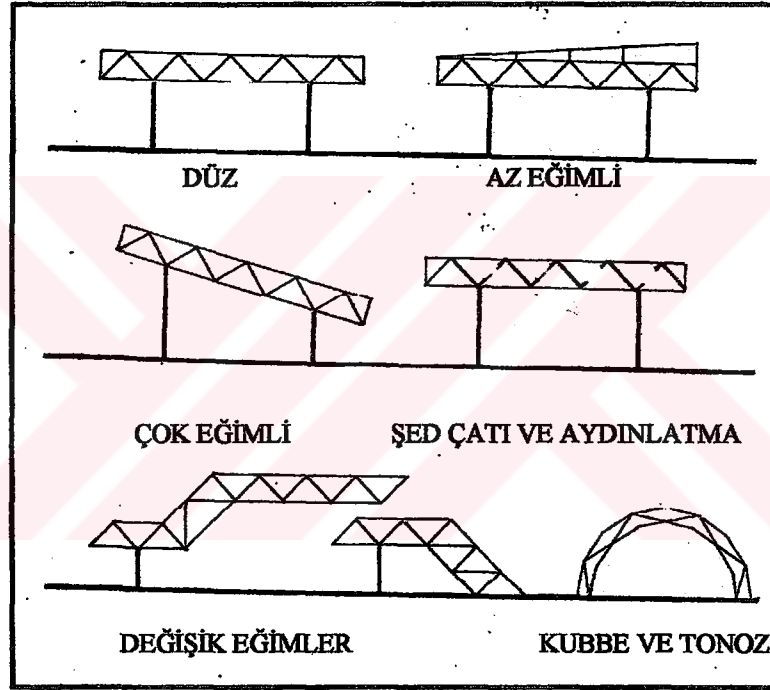


Şekil 3.34: Uzak kafes strüktürlerin montajı

Uzak kafeslerin montaj kolaylığı, kalıp ve iskele ihtiyacının olmaması inşaatın maliyetini azaltmaktadır. Ayrıca uzak kafes sistemler, diğer taşıyıcı sistemlere

nazaran çok hafif strüktürel sistemlerdir. Bu nedenle taşıyıcı sistem öğeleri ve temeller daha az bir maliyet ile inşa edilebilmektedir. Buna karşın uzay kafes sistemlerin düğüm noktaları bileşenlerinin üretimi ve tasarım hesaplarının uzun sürmesi ile birlikte yüksek iş gücü gerektirmesi yapının maliyetini arttırıcı faktörlerdir [3] [29].

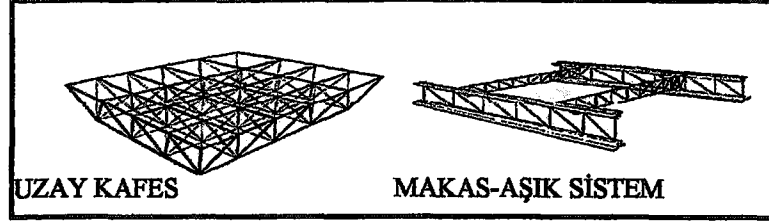
Uzay kafes strüktürler, değişik formlarda inşa edilebilmektedir. Düzlem yüzeyler, tonoz ve kubbe biçimleri uzay kafes ile yapılabilmektedir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35: Uzay kafes sistemlerle oluşturulan değişik formlar

Uzay kafes sistemlerin ekonomik derinliği %5 kadardır. Açıklık geçilen sistemde konsol kullanılmışsa, uzay kafesin derinliği bu konsolun %11'i kadardır. Uzay sistemlerde ekonomik modül boyutu, geçilen açıklığın %7 veya %14 'ü kadardır [21].

Bu sistemler ile makas aşık sistemler karşılaştırıldığında, uzay kafeslerin iki veya daha fazla doğrultuda yük taşıdıkları görülmektedir. Bunun tam tersi olarak iki boyutlu makas sistemler tek bir yönde açıklık geçebilmektedir (Şekil 3.36) [21].



Şekil 3.36:Uzay Kafes ve Makas Aşık Sistem

Uzay kafesler, etkili ve güvenilir strüktürel sistemlerdir. Taşıyıcı sistemi oluşturan herbir elemanın mukavemeti ile doğru orantılı olarak üzerlerine kuvvetler etki etmektedir. Uzay kafesin güvenliği, sistemden birkaç strüktürel elemanın eksilmesiyle değişmez. Sadece bazı kuvvetlerin yönü değişir. Diğer elemanlar, dirençleri ile doğru orantılı olarak eksilen strüktürel elemanlara etki eden kuvvetleri paylaşmaktadır. Üzerine direnç gösterebileceği kuvvetten daha büyük bir kuvvet etki ederse, bu sistemlerin dayanıklılığı ve emniyeti belli bir dereceye kadar devam etmektedir. Ancak üzerine etki eden aşırı yüklemeler sonucunda bazıları çökmüştür [21].

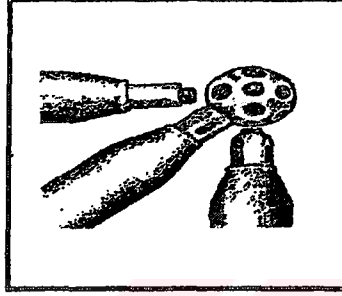
Hartfort Civic Center'ın üzerini kaplayan (90 m. x 110 m.)'lik uzay kafes strüktürel sistem, çatının üzerinde aşırı kar toplanması yüzünden yıkılmıştır. Daha sonradan yapılan analizlerde, 6.4 m.'lik derinliğe sahip olan uzay kafes çatının iyi bir şekilde çapraz bağlanmamış olması, uzay kafes elemanların zaman içerisinde burkulmasına ve taşıyıcı sistemin yavaş yavaş çökmesine yol açmıştır [21].

3.1.3.1. Kullanılan Sistemler

Uzay kafes sistemler, çeşitli firmalar tarafından farklı birleşim noktaları ve montaj teknikleriyle üretilmektedir. Fakat Max Mengerhausen'ın 1942 yılında geliştirdiği mero uzay kafes tasarımı temel olarak alınmaktadır [21].

- **Mero Sistem**

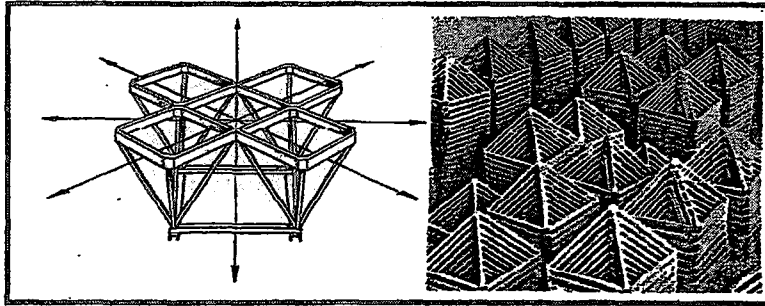
Büyük açıklıklarda, Mero tipindeki sistemler fazlaca tercih edilmektedir (Şekil 3.37). Bu sistemler, boru kesitli elemanların küresel noktalara vidalanmasıyla oluşmaktadır. Mero sistemler kullanılarak 200 m. açıklık geçilebilmektedir. Küresel bağlantı noktaların boyutlarını, kullanılan elemanların çapları ve bu elemanların herbirine etki eden yükler belirlemektedir. Sistem demonte edilebilmektedir [13] [21].



Şekil 3.37: Mero sistem

- **Unibat Sistem**

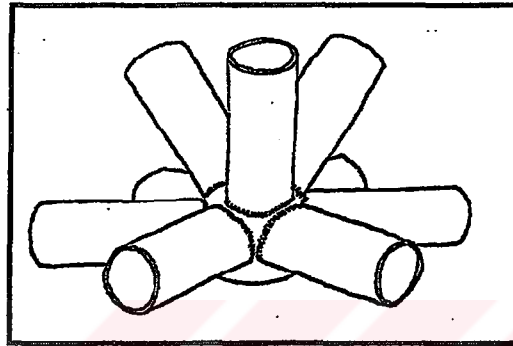
Fransa'da imal edilen bu sistem iki değişik tipteki prefabrike elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.38). Bunlardan biri prefabrike piramitler, diğeri ise bu piramitlerin tepe noktalarını birleştiren bağlantı çubuklarıdır. Sistem bulonlama yöntemi ile inşa edilmektedir. Piramit modüller üst üste kullanılabilir. Piramitlerin çift kullanımı sistemin taşıma gücünü artırmaktadır. Örnek olarak, sistem 70 m. açıklık geçebilirken, piramitler çift olarak kullanılacak olursa, 100 m. ile 150 m. arasında açıklık geçilebilmektedir [13] [27].



Şekil 3.38: Unibat sistemi

- **Oktaplatte Sistem**

Bu sistem, çubukların bir düğüm küresine kaynaklanmasıyla oluşmaktadır. Çubuklar şablonlarla kesilip, taşınabilecek boyutlarda fabrikada biraraya getirilmektedir. Bu sistem demonte edilememektedir. Düz ve tonoz şeklindeki çatı konstrüksiyonlarında kullanılmaktadır (Şekil 3.39) [27].

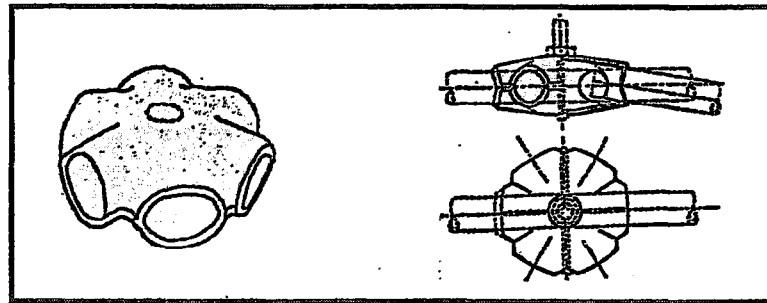


Şekil 3.39: Oktaplatte Sistem

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TALEP FORMU

- **SDC Sistem**

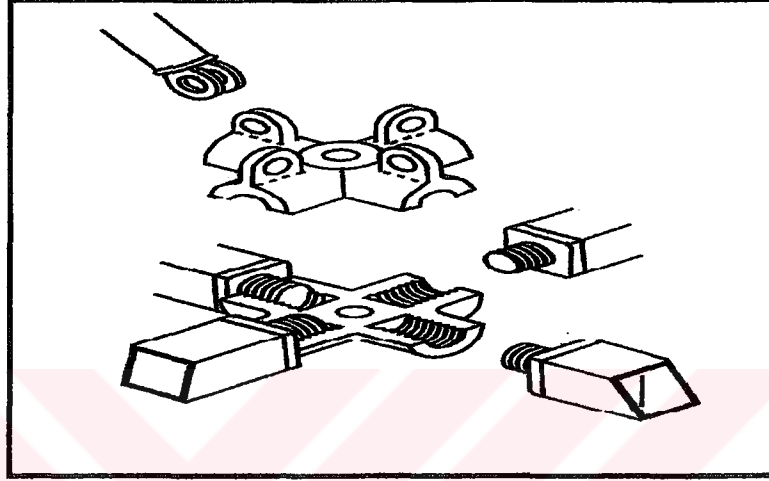
Fransa'da Stephan du Chateau'nun patentli sistemidir. Kaynakla yapılan bu sistemin düğüm noktalarını açık delikleri olan yarım kabuklar oluşturur. SDC sisteminde düğüm noktalarındaki bağlantıların oynak olması sebebiyle, kaynak yapılmadan evvel konstrüksiyon düzeltilmelidir. 1.30 m.'lik konstrüksiyon yüksekliği ile 50x50 m²'lik alan örtülebilmektedir (Şekil 3.40) [1].



Şekil 3.40: SDC sistemi

- **Nodus sistem**

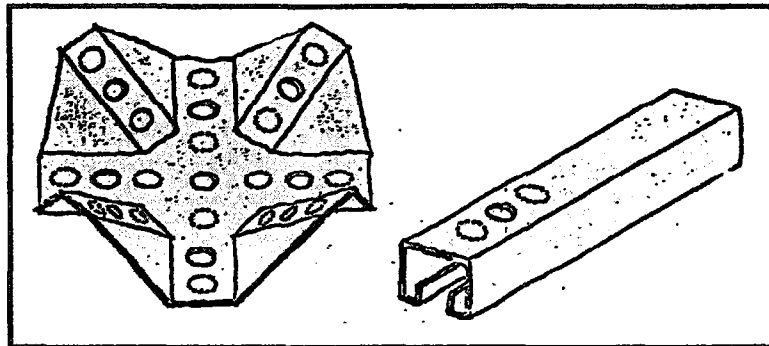
Nodus sistem, İngiltere Çelik Kurumu tarafından 1960'larda geliştirilmiştir. Bu sistemde düğüm noktaları, küçük çelik parçaların biraraya gelmesinden oluşmaktadır. Bu parçalar çelik bulonlarla birleştirilmektedir (Şekil 3.41) [7].



Şekil 3.41: Nodus sistem

- **Unistrut Sistem**

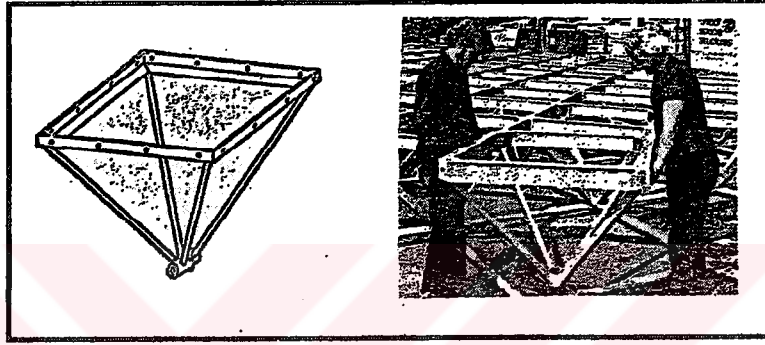
A.B.D.'de geliştirilen bu sistem, 'U' şeklindeki sac çubuklardan ve düğüm levhalarından oluşur. Bu sistem, tetrahedron ve oktahedron tipindeki konstrüksiyonlarda uygulanmaktadır. Bu sistemdeki parçalar sökülüp tekrar kullanılabilir (Şekil 3.42) [1] [27].



Şekil 3.42: Unistrut sistemi

- **Space – Deck Sistem**

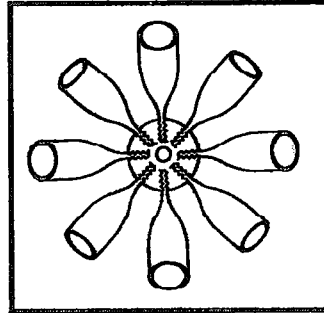
Boyutları (1.2x1 m., 2x1 m.) olan önceden hazırlanmış piramitlerden oluşmaktadır. Bu piramitlerin köşebentlerinden yapılmış üst başlık çubukları birbirlerine bulonlanır. Alt başlıkta olan piramit tepeleri ise, uçlarına diş açılmış yuvarlak çelik çekme çubukları ile birbirlerine bağlanırlar. Diyagonal borular çelik malzemeden yapılmıştır (Şekil 3.43) [1] [27].



Şekil 3.43: Space –Deck sistemi

- **Triodetic Sistem**

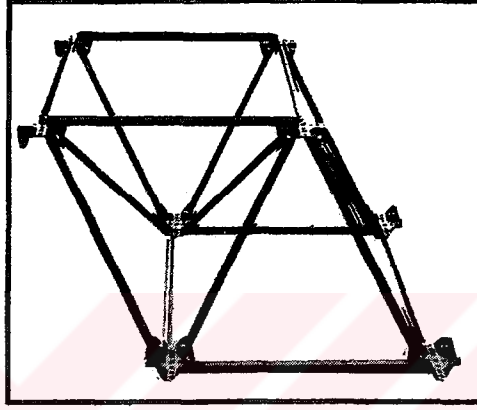
Bu sistem, 1950 yılında Fentiman Bros tarafından Kanada’da geliştirilmiştir. Triodetic sistemde, çubuklar ve düğüm noktaları alüminyumdan yapılmaktadır. Çubukların uçları düzleştirilmiş ve kertikler açılmıştır. Düğüm noktalarında bulunan yarıklara bu çubukların düzleştirilmiş uçları yerleştirilir. Bu çubuklar istenilen boyutlarda kesilebilmektedir. Düğüm noktaları ise istenilen eğimlerde ayarlanabilmektedir (Şekil 3.44) [7] [27].



Şeki 3.44:Triodetic sistem

- **Moduspan Sistem**

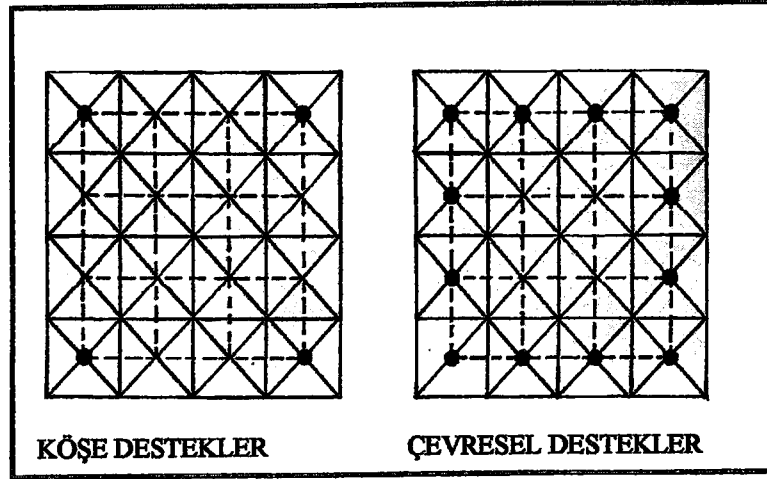
Charles W. Attwood tarafından geliştirilmiştir. A.B.D.'de uygulanan bu sistemin en belirgin özelliği tek çubuk, iki tip tabla ve tek bulonla kurulmasıdır. Bu sistem taşıma, depolama ve montajda kolaylık sağlamaktadır (Şekil 3.45) [7] [27].



Şekil 3.45: Moduspan sistem

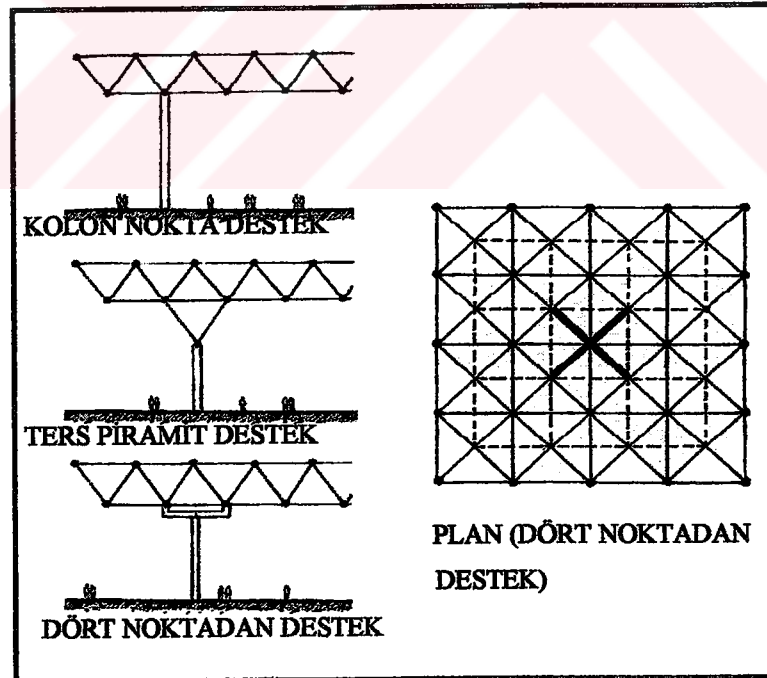
3.1.3.2. Uzak Kafes Sistemlerin Desteklenmesi

Uzak kafes sistemler bazı noktalarından kolonlar ya da duvarlar tarafından desteklenmektedir. Bu desteklerin etrafındaki elemanlara etki eden kuvvetler sistemin diğer bölgelerindekilerine göre çok daha fazladır. Uzak kafes sistemlerin dengede kalabilmeleri için en az üç destek gerekmektedir. Uzak kafesler genellikle dört destekli olarak çözülmüştür (Şekil 3.46). Bu sistemlerde kullanılan kolon sayısının fazlalığı geçilen açıklığın artmasına yardımcı olur. Ayrıca kolon sayısının fazlalaşması kolon üzerine etki eden kuvvet büyüklüğünün azalmasına neden olur [1] [21].



Şekil 3.46: Uzay Kafes Sistemin Desteklenmesi, plan

Birbirinin aynı özellikteki kolonların kullanıldığı sistemlerde, kolonlar üzerine etki eden kuvvet destek noktalarının fazlalaştırılmasıyla azaltılabilmektedir. Kafes sistemi birçok noktadan taşıyan dikmelere örnek olarak ağaç şeklindeki kafes kolonlar gösterilebilir (Şekil 3.47) [21].



Şekil 3.47: Uzay Kafes Sistemin Desteklenmesi

3.1.3.3. Uzay Kafes Sistemlerin Sınıflandırılması

Uzay kafes sistemler, düzlem yüzeyli ve eğri yüzeyli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ayrıca uzay kafes strüktürler bir, iki ve üç tabakalı olarak da incelenebilmektedir [15].

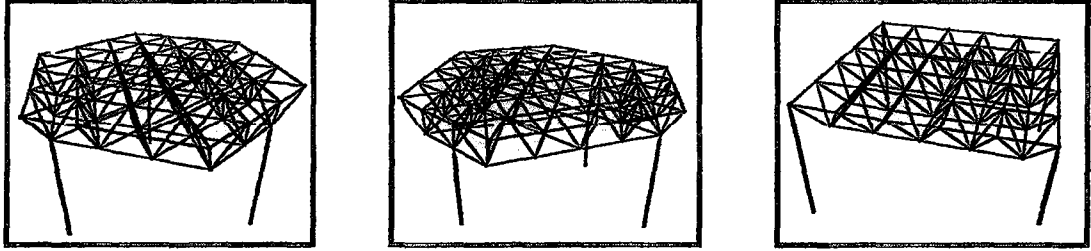
Tensegrity ise; üç boyutlu uzay kafes konstrüksiyonun, kablolar ve destekler ile uygulandığı bir sistemdir. Bu nedenle taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılmasında uzay kafeslerin içerisine girmektedir. Uzay kafes ve tensegrity sistemlerin örnekleri (Tablo 3.3)'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada Fuller Moore'un taşıyıcı sistem sınıflandırılması takip edildiği için, eğri yüzeyli uzay kafes sistemler jeodezik kubbeler konu başlığı altında anlatılmaktadır.

- **Düzlem Yüzeyli Uzay Kafesler**

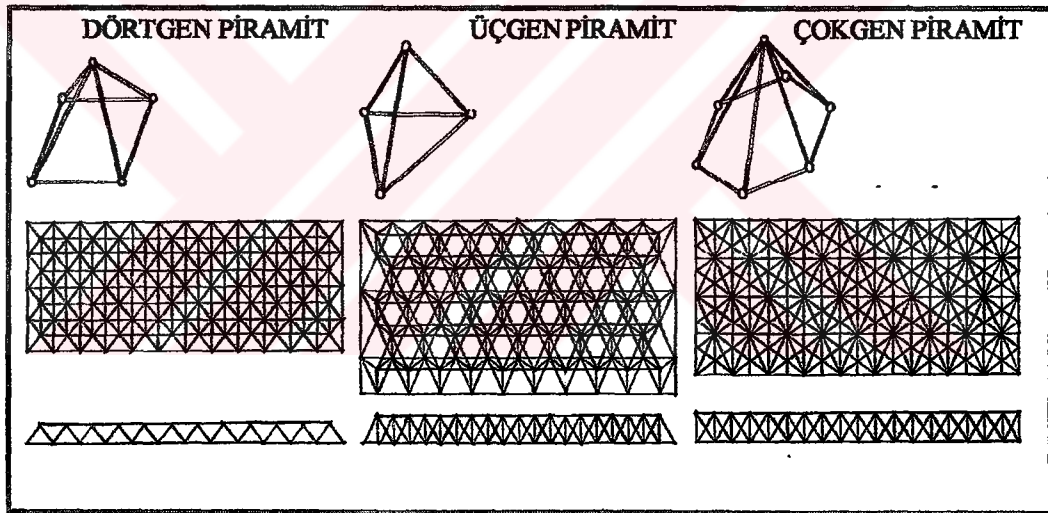
Düzlem yüzeyli uzay kafes, iki kordinatta açıklık geçebilen üç boyutlu makas sistemdir. Uzay kafes sistemi oluşturan elemanlar basınç veya çekme kuvvetinin etkisi altındadır. Kafes sistem, rijit birleşimlerle bağlanmış strüktürel elemanlar anlamına gelmektedir. Fakat uzay kafes rijit ve mafsallı birleşimlerin kullanılabildiği bir sistemdir [21].

Kafes sistemde bulunan üçgen geometriler, uzay kafes sistemlerde rijit piramitler şekline dönüşmektedir. Bu piramidal birimlerin yan yana kullanılmasıyla bir bütün olarak çalışan düz yüzeysel strüktürler elde edilmektedir. Bu yüzeysel strüktürler kare, dikdörtgen, poligon ve daire şeklindeki mekanlara uygun biçimlerde yapılabilmektedir (Şekil 3.48) [3].



Şekil 3.48: Düz yüzeysel uzay kafeslere örnekler

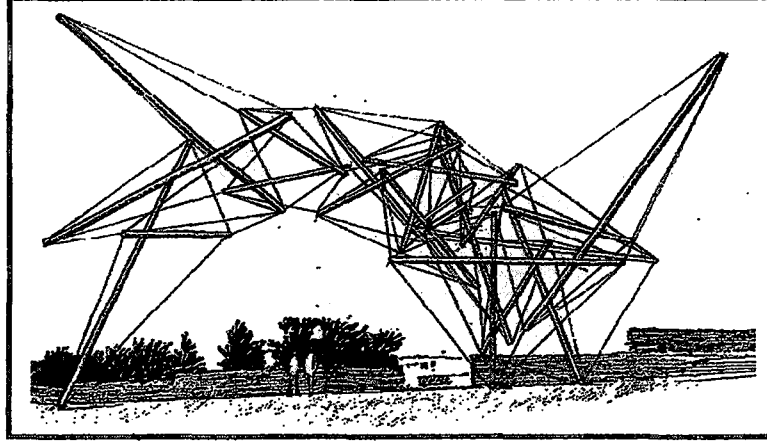
Uzay kafes strüktürel sistemlerde birbirine benzer tekrarlanan modüller kullanılır. Bu modüllerin üst ve alt yüzeyleri birbirlerine paraleldir. Bunlar, dört kenarlı, üç kenarlı ve çok yüzlü piramitler olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.49) [21].



Şekil 3.49: Uzay kafes modüller

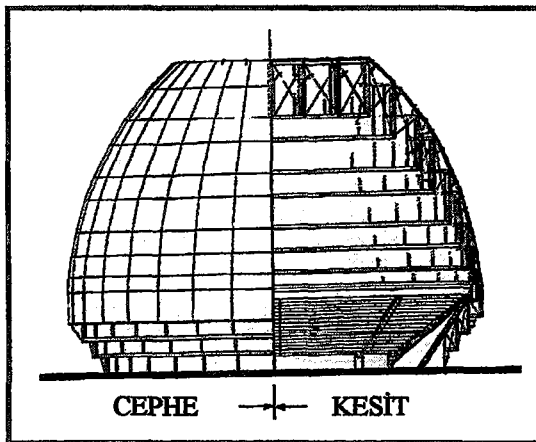
• Tensegrity Sistemler

Tensegrity, kablolar ve desteklerden oluşan üç boyutlu strüktürel bir sistemdir. Bu strüktürde kablolar devamlıdır. Fakat dikmeler tekildir. Hiçbir dikme bir başka dikmeye değmemektedir. 1948 yılında Heykeltıraş Kenneth Snelson tarafından icat edilmiştir (Şekil 3.50) [21] [25].

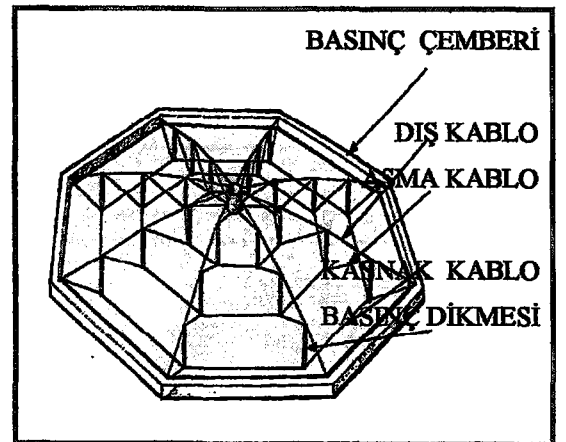


Şekil 3.50: Kenneth Snelson'un 1974 yılındaki tensegrity strüktürel heykeli

Buckminster Fuller tarafından 1960 yılında geliştirilmiş ve patent alınmıştır (Şekil 3.51). Bu strüktürel sistemin dayanıklılığını ve stabil oluşunu, sistemi oluşturan kablo ve onları dengeleyen dikmeler sağlamaktadır. 1961 yılında Fuller tensegriti sistemine, rüzgar kuvvetinin oluşturduğu titresemeye dayanıklı hafif bir çatı strüktürü olarak patent almıştır. Bu patentin pratik alanda geniş çapta uygulaması David Geiger tarafından sağlanmıştır. David Geiger, Fuller'in üçgensel oluşumlarını değiştirmiş, onun yerine dikmeleri ve kabloları birbirlerine dik olarak yerleştirmiştir (Şekil 3.52). Böylelikle strüktürel sistemde oluşan kuvvetler basitleşmiştir [21] [25].


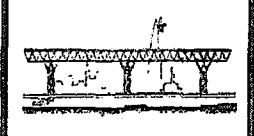
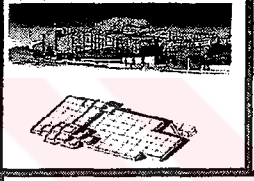
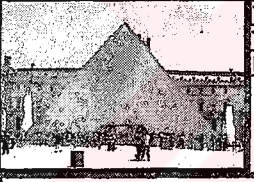
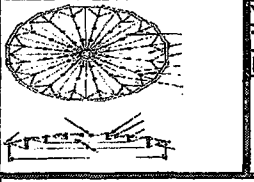
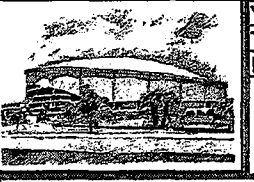



Şekil 3.51: Fuller'in tensegrity strüktürle tasarladığı ve patent aldığı kubbe



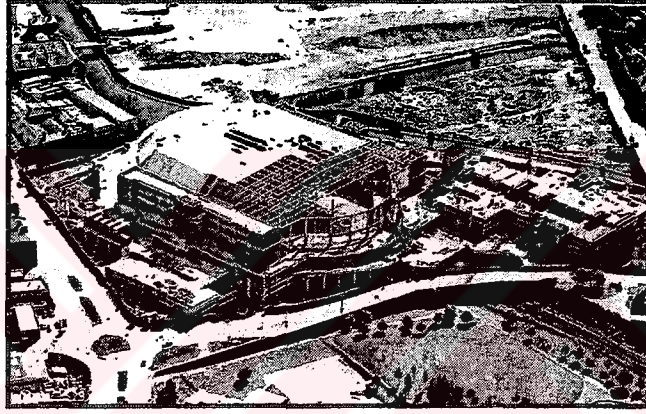
Şekil 3.52: Geiger'in tensegrity strüktürle tasarladığı kubbe

Tablo 3.3: Uzay Kafes Yapı Örnekleri

3.1.3.4. Örnek Yapılar		
Birmingham Ulusal Kapalı Spor Salonu		
	Yer:	Birmingham, İngiltere
	Tarih:	1990
	Mimari:	Hellmuth Obata Kassabaum
		Uzay Kafes Strüktür
Expo 70 Festival Sergi Sarayı		
	Yer:	Osaka, Japonya
	Tarih:	1970
	Mimari:	Kenzo Tange, Koji Kamiya
		Uzay Kafes Strüktür
Jacop K.Javits Toplantı Merkezi		
	Yer:	New York, A.B.D.
	Tarih:	1980
	Mimari:	I.M. Pei
		Uzay Kafes Strüktür
Louvre Müzesine Ekleme Piramit		
	Yer:	Paris, Fransa
	Tarih:	1989
	Mimari:	I.M. Pei
		Uzay Kafes Strüktür
Seoul Olimpik Jimnastik Stadyumu		
	Yer:	Seoul, Korea
	Tarih:	1988
	Mimari:	David Gelger
		Tensegrity Sistem
Florida Suncoast Kubbesi		
	Yer:	Petersburg, A.B.D.
	Tarih:	1989
	Mimari:	David Gelger
		Tensegrity Sistem
Georgia Kubbesi		
	Yer:	Atlanta Georgia, A.B.D.
	Tarih:	1992
	Mimari:	Thompson Ventulett
		Tensegrity Sistem

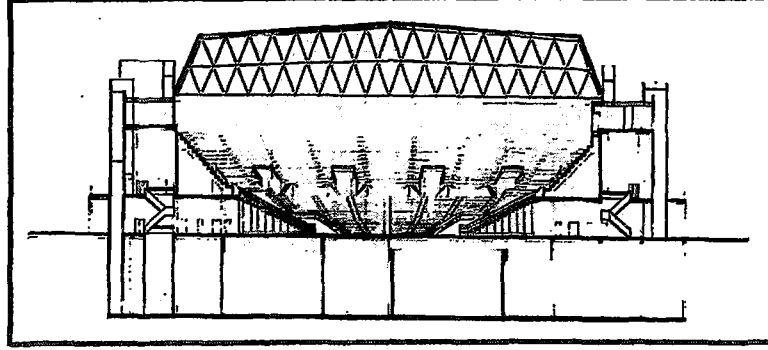
• **Birmingham Ulusal Kapalı Spor Salonu ‘National Indoor Arena for Sport’**

National Indoor Arena for Sport, İngiltere Birmingham’da inşa edilmiştir. Bu yapının çatısını örtmek için üç katmanlı uzay kafes strüktürel sistem kullanılmıştır. Uzay kafes çatı Mero sistemle yapılmıştır. Çatının boyutları 128m.x90 m.’dir.Çatının orta noktasındaki kafes yüksekliği 10 m.’dir. Kenarlara doğru gidildikçe kafes yüksekliği 8m.’ye inmektedir. Geçilen açıklığın uzay kafesin derinliğine oranı 9:1’dir. Bu veriler çerçevesinde, çatıda seçilen geometrik form strüktürel olarak etkin değildir (Şekil 3.53) [7].



Şekil 3.53: Birmingham National Indoor Arena for Sport

Yapıda kullanılan uzay kafes sistemin derinliğinin fazla olması nedeniyle, üç katmanlı strüktürel sistem daha ekonomik bir seçim olmuştur. Ayrıca üç katmanlı sistem, basınç çubuklarının boylarının küçülmesine neden olmuştur. Bu küçülme basınç çubuklarının yük taşıyabilme kapasitelerinin önemli oranda artmasını sağlamıştır. Sonuç olarak basınç çubuklarının ağırlıkları azalmıştır. Diğer taraftan orta katmanda fazlalaşan düğüm noktaları, sistemin ağırlığını artırıcı bir etkindir. Düğüm noktalarındaki bu artış, çatıyı daha kompleks bir strüktürel sistem haline getirmiştir. Sistemin kompleks olması, yapının inşa süresini ve maliyetini olumsuz yönde etkileyen önemli faktörlerdir (Şekil 3.54) [7].

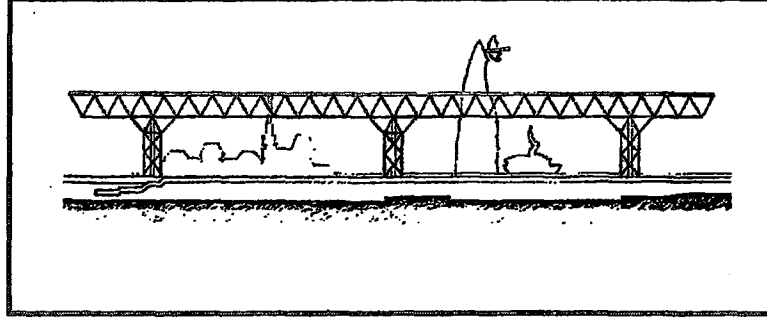


Şekil 3.54: Birmingham National Indoor Arena for Sport'un kesiti

Birmingham Arena'da, uzay kafes sistemin üzeri delikli çelik plaka ile kaplanmıştır. Kafes sistemin düğüm noktalarına çelik aşıklar bağlanmıştır. Bu aşıklara da delik yüzeyli çelik plakalar monte edilmiştir. Bu plakaların üzerinde sırasıyla akustik izolasyon, 130 mm. kalınlığında termal izolasyon, buhar kontrol membranı ve en üst katmanda su yalıtımı sağlayan metal yüzeye sıcak kaynak ile yapıştırılmış membran kullanılmıştır [7].

• Expo 70 Festival Sergi Sarayı 'Expo 70 Festival Plaza'

Expo 70 Festival Plaza Osaka Japonya'da inşa edilmiştir. Hala dünyanın en büyük uzay kafes strüktürü olarak bilinmektedir. Mimarları Kenzo Tange ve Koji Kamiya'dır. Strüktür mühendisi Sadao Hirata'dır. Bu plaza tanıtım alanlarına ve aktivite çeşitine göre 1500 ile 30.000 kişinin oturabileceği mekanlara sahiptir. Plaza ve tanıtım alanları büyük bir uzay kafes çatı ile örtülmüştür (Şekil 3.55). Plaza, uzay kafes eşkenar piramit modüllerden oluşmaktadır. Bu modüller 10.2 m²'lik alan kaplamaktadır. Derinlikleri 8.9 m.'dir. Bu piramit modüllerde Mero birleşim sistemi kullanılmıştır. Uzay kafes çatının üzerine, kaplama malzemesi olarak şeffaf yastık şeklinde şişirilmiş plastik elemanlar monte edilmiştir. Bu şişirilmiş elemanlar herbir modülün üzerini örtecek şekilde tasarlanmıştır [21].



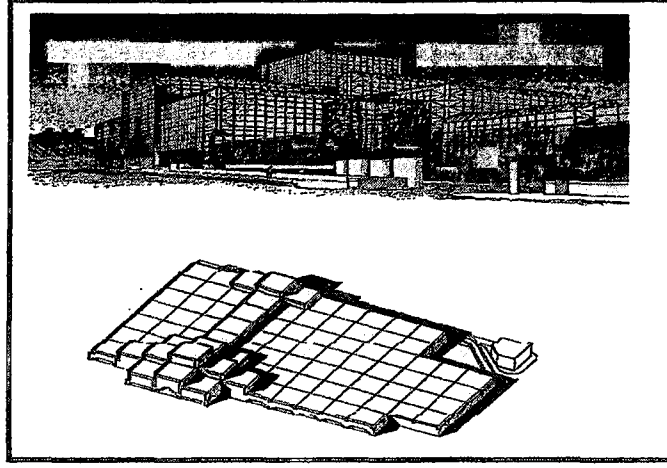
Şekil 3.55: Expo 70 Festival Plaza'nın kesiti

Yapı 1,1 m. çapa sahip çelik küre birleşim noktaları, 67 cm. çapa sahip olan ve sistemin üst ve alt başlıklarında kullanılan elemanlardan oluşmaktadır. Strüktürel sistem yerde inşa edilip krikolarla 30 m. yüksekliğe çıkarılmıştır. Bu uzay kafes, 4700 ton ağırlığında ve altı kolon tarafından taşınan bir sistemdir. Yapılan aktivitelerin bitiminde bu uzay kafes çatı demonte edilebilmektedir [21].

• **Jacob K. Javits Toplantı Merkezi 'Jacob K. Javits Convention Center'**

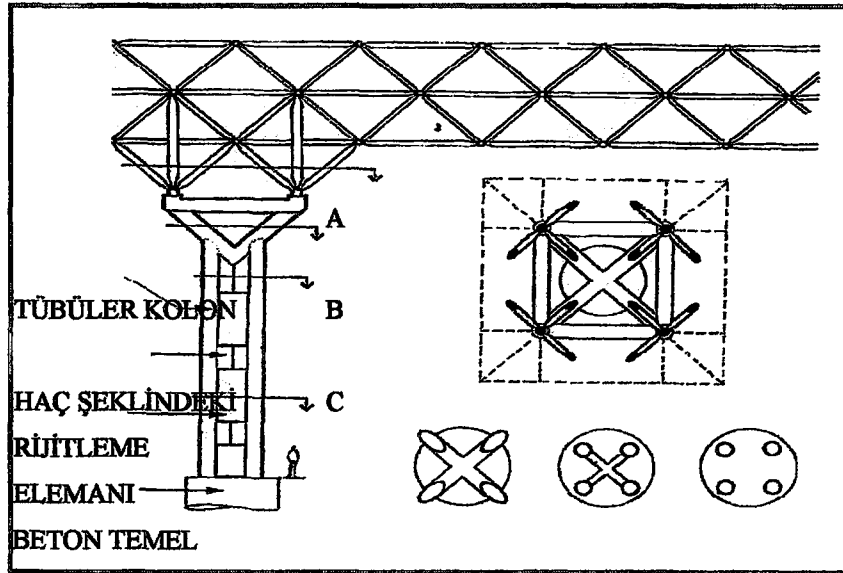
Tange'nin tasarladığı Festival Plaza'nın çatısından beş blok daha uzun bir yapıdır. 1980 yılında, New York'da I.M. Pei ve ortakları tarafından tasarlanmıştır. Strüktür mühendisleri, Weidinger ve ortaklarıdır. Yapının bir kenarı 315 m. diğer kenarı 157 m.'dir. Manhattan adasının 11. ve 39. caddeleri arasındadır. Yapının sahip olduğu toplam alan 148.000 m²'dir. Bu binayı tasarlayan mimarlar yapıya kolay ve hızlı bir giriş ihtiyacının olduğunu farketmişlerdir. Bu nedenle yapıya 82 m²'lik büyük bir hol, kolonsuz olarak çözülmüştür (Şekil 3.56) [21].

Binadaki sergi alanı bir depo gibi tasarlanmıştır. Mekanın içerisindeki aktiviteler göz önüne alınmamış olup sadece binanın cephesinin tasarımı düşünülmüştür. Beş blok boyundaki cephe, binanın çatısını oluşturan uzay kafes sistem tarafından desteklenmektedir. Yapı yarı saydam cam ile kaplanmıştır. Gündüzleri opak görünen yüzey, gökyüzünden yeterli ışınımı iç mekana geçirebilmektedir. Cam yüzeyin saydam olması ve geceleri iç mekandaki aydınlatma, binanın içerisinde bulunan uzay kafes çatının ve duvarların dışarıdan algılanmasını sağlamaktadır [21].



Şekil 3.56: Jacob K. Javits Convention Center

Strüktürel sistem 27 m.'lik bölmelerle ayrılmıştır. Bu uzunluk, ticari ürünlerin belirlenmiş boyutlardaki sergileme modüllerinin katlarıdır. Herbir modülü dördüz kolonlar taşımaktadır. Bu kolonlar ana sergi salonunda bulunmaktadır. Ayrıca bu salon ışıklandırılmaktadır. Dolayısıyla kolonlar dışarıdan hissedilmektedir. Kolonlar 55 cm çapında tübüler çelikten imal edilmişlerdir. Birbirlerine haç biçiminde elemanlarla bağlanmışlardır. 3m²'lik kolon başlıklarının üzerindeki diagonal destekler, uzay kafes çatının kolonlarla olan birleşim noktalarının azalmasını sağlamaktadır (Şekil 3.57) [21].

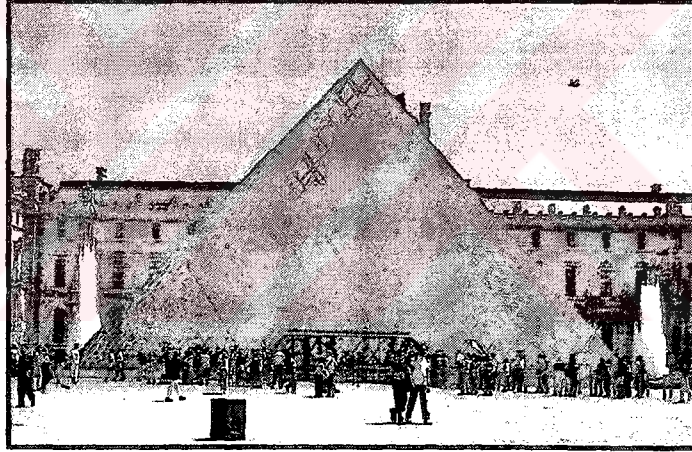


Şekil 3.57: Javits Center'in kolon detayı

Yapının uzay kafes sistemi PG strüktür şirketi tarafından üretilmiştir. Sistem esnek bir strüktürel yapı olarak ele alınmıştır: bu esnekliği dokusu ve seffaflığı sağlamıştır [21].

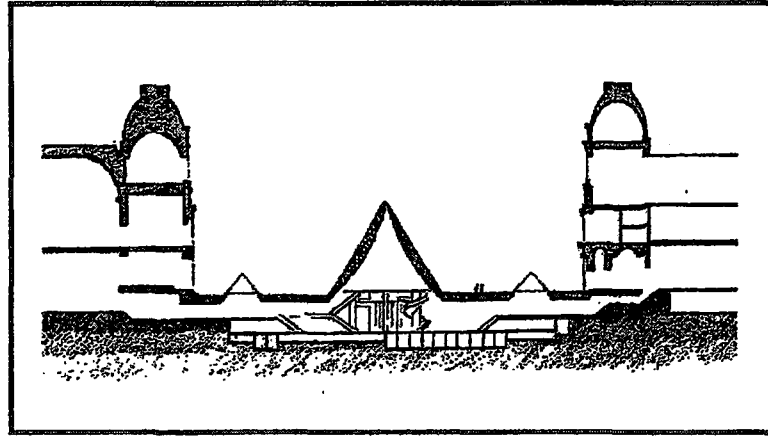
• **Louvre Müzesine Ekleme Piramit ‘Addition of the Louvre Museum’**

Louvre Müzesinin avlusundaki piramit, 1989 yılında, Paris’te yapılmıştır (Şekil 3.58). Mimarları, I.M.Pei ve ortaklarıdır. Yapılan projenin boyutları oldukça sadedir. Bu uzay kafes çok ünlü ve tartışmalara yol açan bir yapıdır. Yapı yer altında 60.000 m²’lik bir alan üzerine kurulmuştur. Yapının giriş kısmının üzerini örten ana piramit, bütün dikkati çekmektedir. Örümcek ağına benzeyen taşıyıcı sistem, modernist bir simge olarak sergilenmektedir [6] [21].



Şekil 3.58: Louvre Müzesi, I.M.Pei ve ortakları, Paris, 1989

Ana piramit 21.6 m. yüksekliğinde olup kenar uzunlukları 35 m., yer düzlemi ile yaptığı açı 51° olan bir yapıdır. Strüktürel sistem olarak uzay kafes seçilmiştir. Kafes sistemde boru basınç elemanları kullanılmıştır. Sistemin derinliği 1.7 m’dir. Uzay kafes sistemin üzerindeki boru elemanlar, düz bir şekilde piramidal kenarların taban ile kesişme çizgisine kadar devam etmektedir. Alt kısımdaki tübüler elemanlar ise bir kavisle kenar uçlara doğru incelmektedir. Çelik kablolar düğüm noktaları arasında çapraz destek olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Ayrıca bu kablolar, strüktürel sisteme yanal destek vermektedir (Şekil 3.59) [6] [21].

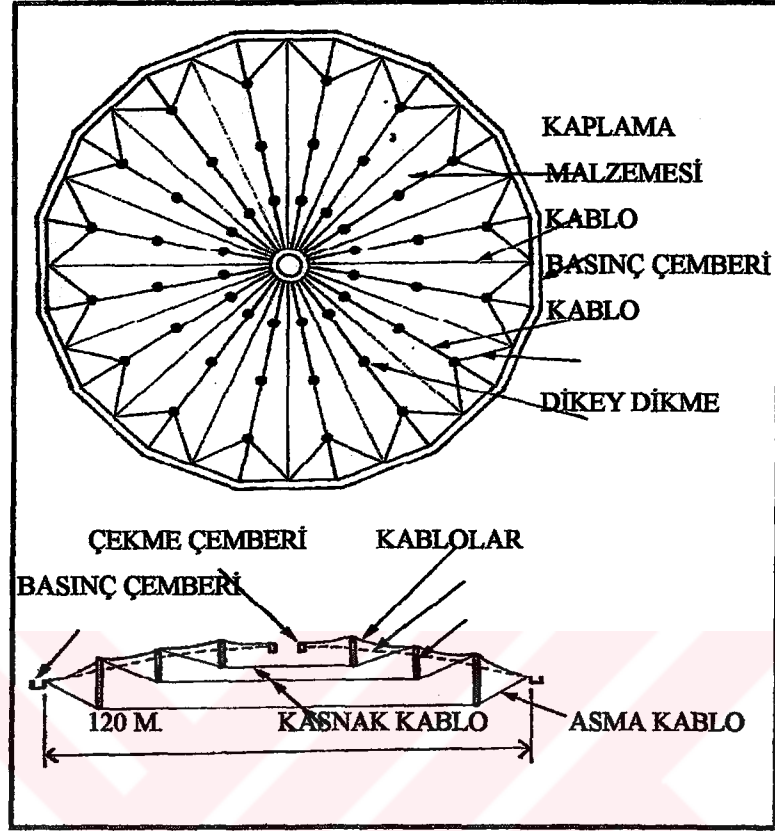


Şekil 3.59: Louvre Müzesi kesiti

Uzay kafes sistem 6000 tübüler desteği içermektedir. Bu elemanların çapları 100 mm. ile 800 mm. arasında değişmektedir. Ayrıca strüktürel sistemlerde 21.000 kadar birleşim noktası kullanılmıştır. Sonuç olarak, birleşim detayları yelkenli geminin direğinin strüktürel özelliklerine benzemektedir. Yapıda özel su geçirirmeyen yalıtıma sahip camlar kullanılmıştır. Bu camların toplam ağırlıkları 95 tondur [21].

• **Seoul Olimpik Jimnastik Stadyumu ‘Seoul Olympic Gymnastics Stadium’**

Geiger, bu iki tensegrity kubbeyi 1988’de Seoul Olimpiyatları için tasarlamıştır. Bu iki kubbeden büyük olanı Gymnastic Stadium’dur. Bu kubbenin gelişimi, Geiger’in stadyumların çatı örtüleri ile ilgili bir araştırmasıyla ortaya çıkmıştır. Stadyumların çatıları, hava destekli (pnömomatik) bir strüktürel sistem kadar ekonomik olmalıdır. Ayrıca taşıyıcı sistemlerin üzeri suya karşı izole edilmiş bir membran ile kaplanmalıdır (Şekil 3.50). Geiger’in patent almış olan strüktürel sisteminin kullanıldığı kubbe 120 m. açıklık geçmektedir. Strüktürel eleman olarak devamlı kablolar ve basınç çubukları kullanılmaktadır. Çatıda oluşan kuvvetler, merkezde yer alan dairesel çekme halkasından ışınal kablolar, çekme kasnakları ve düşey basınç çubukları yardımıyla dış çemberde yer alan basınç halkasına transfer edilmektedir. Kubbede kablolar kullanılarak yapılmış dairesel üç kasnak bulunmaktadır. Bu kasnaklar birbirlerinden 14.5 m. mesafeyle yerleştirilmiştir [21].



Şekil 3.50: Seoul Olimpik Jimnastik Stadyumu'nun tensegrity çatı planı ve kesiti

Bu kubbeye benzer olan küçük kubbe, iki kasnaklı strüktürel sistem kullanılarak yapılmıştır. Bu sistemlerden birincisi diğerine nazaran daha büyük bir açıklık geçebildiği için avantajlıdır. Çatının taşıyıcı sisteminin birim ağırlığı 9.8 kg/m^2 'dir. Bu birim ağırlık hemen hemen iki sistemde de aynıdır. Ayrıca her iki sistemin maliyetleride birbirine çok yakındır [21].

Kubbeyi kaplayan örtü dört katmandan oluşur.

- Yüksek dirençli, silikon kaplama fiberglas membran
- 200 mm. kalınlığa sahip fiberglas yalıtım
- 160 mm. boşluk bırakıldıktan sonra Mylar buhar bariyeri
- 60 cm boşluk bırakıldıktan sonra fiberglas malzemedan yapılmış akustik kaplama

Membrandan gün ışığının %6'sı geçmektedir [21].

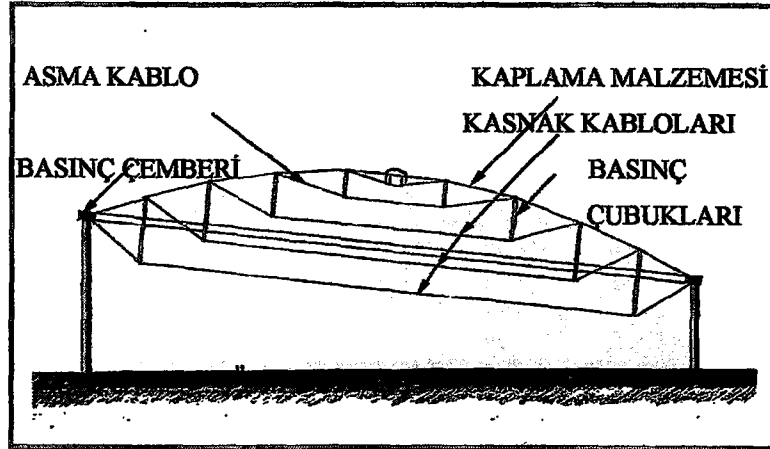
• **Florida Suncoast Kubbesi 'Florida Suncoast Dome'**

Geiger'in en büyük tensegrity kubbelerinden bir tanesidir. 1989 yılında Petersburg'da yapılmıştır. Çok amaçlı bir mekan olarak tasarlanmıştır. 43.000 koltuk sayısına sahip bir basketbol stadyumu, 13.940 m²'lik kolonsuz sergi salonu, 20.000 kişilik tenis sahası veya 50.000 kişilik konser salonu olarak kullanılabilir (Şekil 3.51) [21].



Şekil 3.51: Florida Suncoast Dome, David Geiger, 1989, Petersburg

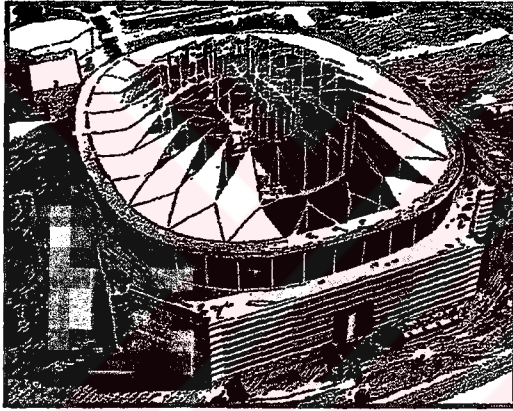
Çapı 210 m. olan kubbe dört kasnaklı bir yapıya sahiptir. İklimlendirilmesi için gerekli iç mekan hacminin azaltılabilmesi için kubbe 6° eğilmiştir. Fakat bu eğim verilirken basketbol için gerekli yükseklik sağlanmıştır (Şekil 3.52) [21].



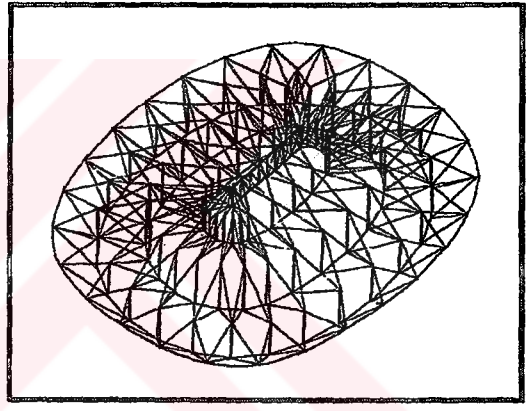
Şekil 3.52: Florida Suncoast Dome'un kesiti

• Georgia Kubbesi 'Georgia Dome'

1992 yılında Atlanta Georgia'da yapılmış olan en büyük kablo kubbe yapıdır (Şekil 3.53). Rosser Fabrap International ve Thompson Ventulett bu yapının mimarlarıdır. Yapının strüktür mühendisleri Weidlinger ve ortaklarıdır. Geniş bir alanın üzerini örten bu kubbenin strüktürel sisteminde, Geiger'in tasarımından çok Buckminster Fuller'in orjinal üçgen geometrisi kullanılmıştır. Üçgen geometriye sahip strüktürel sistem, tam yuvarlak olmayan basketbol stadyumu için uygun bulunmuştur. Ayrıca bu geometrik biçim simetrik olmayan yüklerin sisteme uyumunu kolaylaştırmaktadır [4] [21].



Şekil 3.53: Georgia Dome yapım aşamasında,
R. Fabrap International ve T. Ventulett, 1992, Atlanta

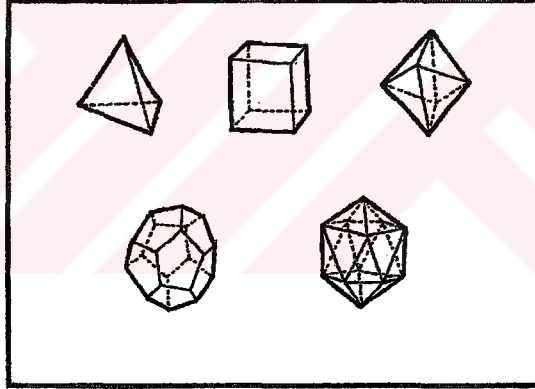


Şekil 3.54: Georgia Dome'un isometrik çizimi

Bu avantajların yanı sıra üçgenlerden meydana gelen bu tasarım, kompleks ve birçok bitim noktasına sahip bir sistem oluşturmaktadır. Bitim noktaları altı kablonun bir noktada birleşmesinden oluşmaktadır. Bu noktalarda dikmeler kullanılmaktadır (Şekil 3.54). Bu kubbeye 'Hiper-Tensegrity' kubbesi denilmektedir. Çünkü bu kubbe, hiperbolic paraboloid örtü yüzeylerle, tensegrity sisteminin birleşiminden oluşmuştur. Plan yerleşiminde iki tane yarım dairesel parça, birbirlerine 56 m. uzunluğundaki doğrusal makaslarla bağlanmıştır. Tam daire olmayan basınç çemberi, basınç ve eğilme etkilerine karşı sistemin dengesini sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Hiper-Tensegrity kubbe, 37.175 m²'lik bir alanı örtmektedir. Strüktürel sistemin geçtiği en küçük açıklık 228 m.'dir [21].

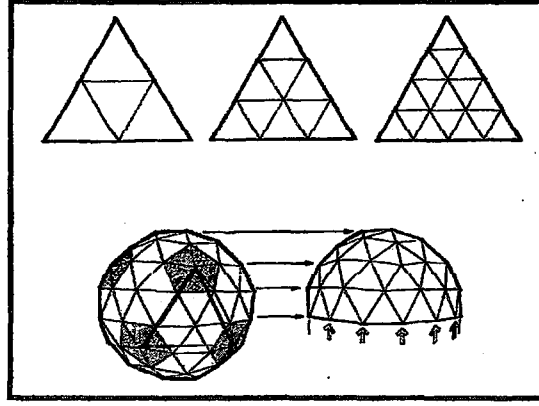
3.1.4. Jeodezik Kubbeler

Jeodezik kubbeler Buckminster Fuller tarafından geliştirilmiştir. Bu kubbeler küresel bir uzay kafes sisteme sahiptir. Jeodezik kubbe sistem, devamlı çekme veya basınç kuvvetinin etkisinde olan çizgisel strüktürel elemanlardan oluşmuştur. Bu elemanlar, genellikle düz çubuklar şeklinde ve jeodezik yayların kirişleri durumundadır. Uzay kafes kubbeleri oluşturan çizgisel taşıyıcı elemanların araları plastik veya metal gibi malzemelerle kaplanabilmektedir. Jeodezik kubbeler, bir veya daha çok kenarlı bir prizmanın yüzeylerinin tekrar eden bölünmelerinden elde edilen formlara göre tasarlanmaktadır. Bu modüler yüzeylerin tekrar eden bölünmelerine frekans adı verilir. Modüler yüzey şekilleri, dört, altı, sekiz, oniki ve yirmi kenarlı prizmalara dayanmaktadır. Bu prizmaları oluşturan geometrik şekillerin kenar uzunlukları aynıdır (Şekil 3.55) [3] [21].



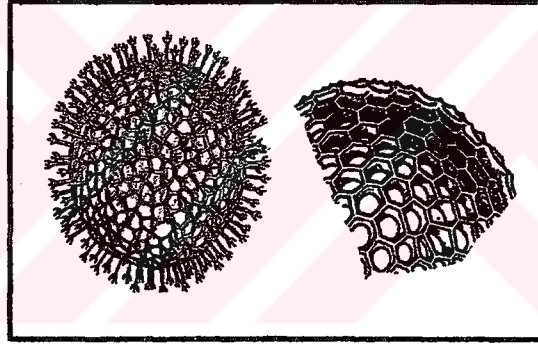
Şekil 3.55: Modüler prizmalar

Üçgen şekiller stabil bir forma sahiptir. Bu nedenle üçgen şekiller birçok jeodezik kubbenin temelini oluşturmaktadır. Üçgen yüzeylerin sık bir frekansta kullanımları, kubbelerin yüzeylerinin daha pürüzsüz olarak görünmelerini sağlamaktadır (Şekil 3.56) [21].



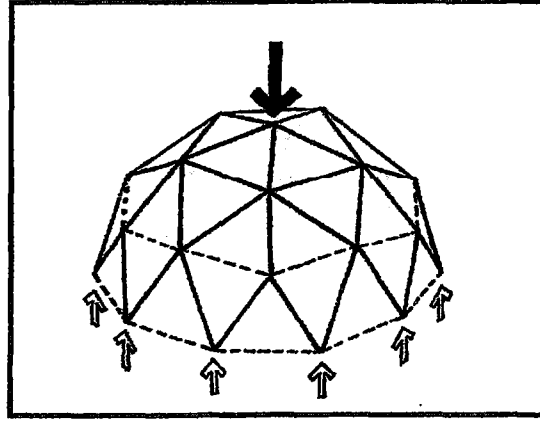
Şekil 3.56: Jeodezik bir yüzeyin bölünmesi

Jeodezik kubbelerin geometrisi, radiolarian (ışınılılardan bir hayvan) iskelet sistemlerinin geometrisi ile aynıdır (Şekil 3.57) [21].



Şekil 3.57: Radiolarian iskelet sistemleri

Kafes elemanlar yükleri temellere aksenal, basınç ve çekme kuvvetleri olarak iletmektedir. Yarım küre şeklindeki kubbenin düzgün ve eşit yüklenmesi için, kubbenin üst yüzeyindeki strüktürel elemanların basınç kuvvetinin etkisi altında, üst yatay çizginin hemen altında olan elemanların çekme kuvvetinin etkisi altında, tabana yakın olan elemanların ise basınç kuvvetinin etkisi altında olmaları gerekmektedir (Şekil 3.58) [14] [21].

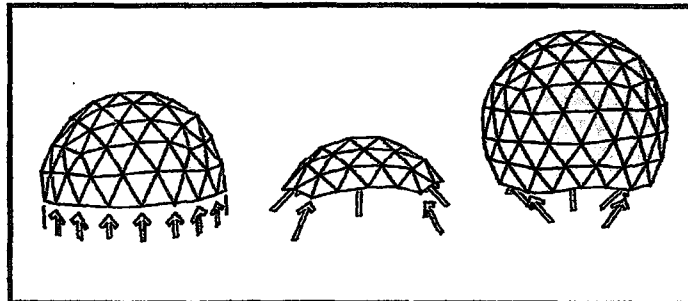


Şekil 3.58:Jeodezik kubbede yük dağılımı

Kubbelerin şekilleri, temelde oluşabilecek olan tepki kuvvetlerinin yönlerini değiştirir. Yarım küre kubbeler taban düzlemiyle 90° 'ye yakın bir şekilde bulunmaktadır. Yatay düzlemde paralel bir alt çizgiye sahiptir. Az sayıda yüzey kafes ünitelerden oluşur.

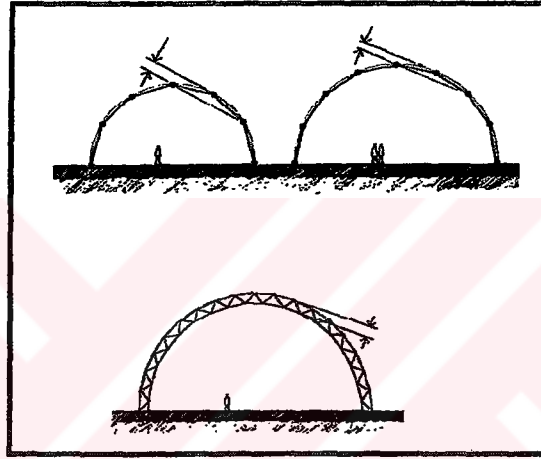
Çeyrek-küre boyutundaki kubbeler, yaklaşık olarak yarım kürenin yarısı yüksekliğinde olmaktadır. Ayrıca beş noktadan tabana temas etmektedir ve bu noktalardan destek almaktadır. Bu kubbelerin taşıyıcı sistemlerinde, büyük bir makas ve bu makası destekleyen basınç çemberinin kullanılması gerekmektedir.

Yarım kürenin dörtte üçü boyutundaki kubbeler çeyrek-küre kubbeler gibi beş noktadan desteklenmektedir. Taşıyıcı sistemin iç kısmında kullanılacak olan makas sistem kabuğun şekline uygun olmalıdır (Şekil 3.59) [21].



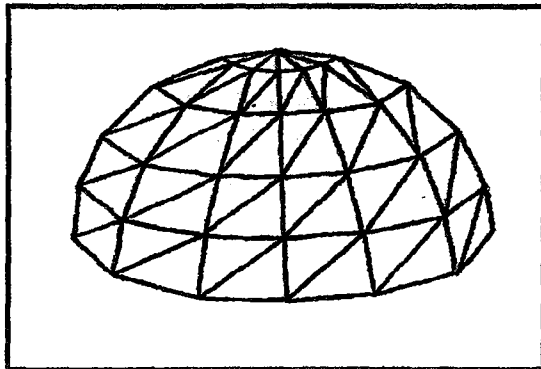
Şekil 3.59:Jeodezik kubbe şekilleri

Yükler jeodezik sistem tarafından desteklenmektedir. Jeodezik uzay kafes sistemlerde alt ve üst katmanlardaki çubukların uzunluğu fazla, bu çubukların arasındaki üçgen geometrik şekillerin sıklığı az ise kafes derinliği büyük olmaktadır. Jeodezik sistemdeki üçgen geometrik şekillerin sıklığı arttırılırsa kafes sistemin derinliği azalmaktadır. Aynı zamanda bu kafesin derinliği konsantre yüklerin büyüklüğü ile ilgilidir. Geniş kubbelerde yüklerle karşı kullanılan kafesin derinliği arttırılmaktadır. Ayrıca bu kubbelerdeki kafeslerin alt ve üst katmanlardaki çubukları çift kullanılmaktadır (Şekil 3.60) [21].



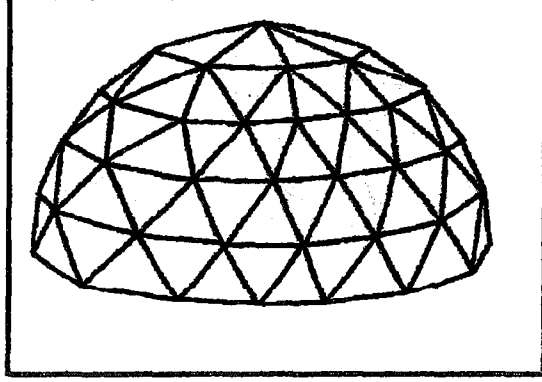
Şekil 3.60:Jeodezik kubbelerdeki kafes derinliği

Jeodezik kubbeler, germeli ve nervürlü kubbelerin gelişmesinden sonra doğru olarak yapılmaya başlanmıştır. Schwedler kubbesinin strüktürel yapısı, ismini taşıyan bir Alman mühendis tarafından icat edilmiştir. Bu kubbe, kasnak ve meridyen elemanlara diyagonal desteklerin eklenmesiyle oluşmuştur (Şekil 3.61) [21].



Şekil 3.61:Schwedler kubbesinin strüktürel yapısı

Zeiss-Dywidag sisteminin kullanıldığı bir kubbe ilk kez 1922 yılında yapılmıştır. Bu kubbe üçgen çelik çubuklardan oluşan bir iskelet sisteme sahiptir. Bu sistemin üzerinde ince bir beton kabuk bulunmaktadır (Şekil 3.62) [21].



Şekil 3.62:Zeiss-Dywidag kubbesinin strüktürel yapısı

Buckminster Fuller günümüzde kullandığımız jeodezik kubbeyi 1954 yılında icat etmiştir. Bu kubbeler çok büyük ölçeklere sahip kubbelerdir.1950 ve 1960'larda bu kubbelere çok büyük bir ilgi olmuştur. Bu kubbelerle şehirlerin üzerlerinin örtülüp klimatize edilebileceği düşünülmüştür. Bu tipteki strüktürel yapılar gelecekteki yeni ve değişik vizyonlara olanak sağlayan, şehir tasarımcılığının içine mimariyi etkin bir şekilde sokan strüktürel sistemlerdir [21].

1960'lı yılların sonlarında jeodezik kubbeler, toplumda meydana gelen kültür değişiminin ortaya çıkardığı hayal gücünü kullanma hevesini teşvik etmişlerdir. Amerika'da 'kendi kubbeni kendin yap' fikri aşırı derecede yaygınlaşmıştır. Çeşitli kubbeler inşa edilmiştir. Bunlardan bazıları estetik açıdan çekici ve strüktürel olarak etkin olan yapılardır. Bu kubbelerin başarılı bir şekilde inşa edilebilmesi için çözülmesi gereken bazı problemler vardır. Bu yapıların su yalıtımları çok zor yapılmaktadır. Kubbenin üzerinde, strüktürel elemanlara zarar vermeden kapı ve pencere açmak çok zordur. Ayrıca bu yapıların oluşturduğu iç mekan standart yapı elemanlarının ve mobilyaların yerleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Büyük strüktürel yapılarda belki bu sorunların üstesinden gelinebilmektedir. Fakat küçük yerleşim mekanlarının üzerleri kubbe ile kapatılmak

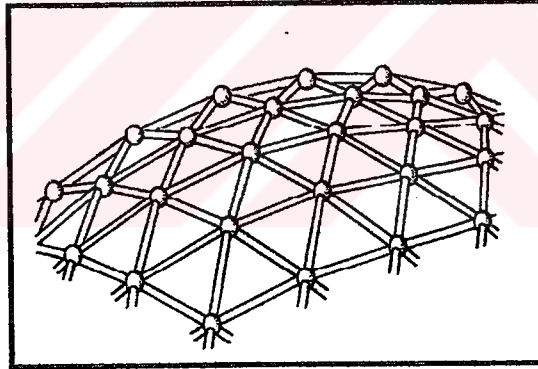
istenildiğinde, oluşacak dezavantajlar kubbenin strüktürel avantajından daha ağır basmaktadır [21].

4.1.4.1. Jeodezik Kubbelerin Sınıflandırılması

Jeodezik kubbeler gerilmiş yüzeyle, tek ve çift katlı olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Bu bölümün örnekleri (Tablo 3.4)'de gösterilmiştir.

• Tek ve Çift Katlı Kubbeler

Tek katlı jeodezik kubbeler, hiçbir yüzey derinliği olmayan strüktürel yapılardır. Büyük açıklıklarda mafsallı çubuk birleşimleri stabil olmadığı için düğüm noktaları rijit hale getirilmekte veya ek destek ve gergilerle sisteme kararlılık kazandırılmaktadır. (Şekil 3.63) [14] [21].



Şekil 3.63: Mafsallı birleşimi olan tek katlı jeodezik kubbe

60 m. açıklığa sahip olan alüminyum jeodezik kubbelerdeki tek katlı iskelet sistem içerisinde yer alan çubuklar, kubbenin rijitlik ihtiyacına katkıda bulunmamaktadır. Yapılan denemelerde, tek katlı strüktürel sistemin asimetric yüklemeler karşısında yıkılabileceği görülmüştür. Örnek olarak karın oluşturduğu yüklemelerde, tek katlı jeodezik kubbe yıkılabilmektedir. Bu yıkılmaya, malzemenin maksimum gücünü aşan yüksek gerilmeler neden olmaktadır. Esas neden basınç kuvvetine dayanamayan, yetersiz kalan strüktürel çubuklardır. Kubbelerde kullanılan hafif malzemeler, konstrüksiyonun ölü ağırlığının azalmasını ve malzemenin yeterli

olmasını sağlamaktadır. Ayrıca jeodezik kubbelerde çift katlı strüktürel sistem kullanılmasıyla konstrüksiyon daha dayanıklı hale gelmektedir [20].

• Gerilmiş Yüzeyle Kubbeler

Kubbelerin tasarımlarında, kaplamanın dayanıklılığının ana strüktürel sisteme hiçbir destek sağlamadığı varsayılır. Buckminster Fuller'in jeodezik kubbeleri, taşıyıcı sistem ve yüzey kaplamasından oluşmaktadır. Bu elemanlar birbirlerinden ayrı şekilde monte edilmektedir [20].

Donald Richter, Fuller'in tasarladığı jeodezik kubbe taşıyıcı sistemini temel alarak gerilmiş yüzeyle kubbeleri geliştirmiştir. Bu kubbelerde iskelet ve yüzeyi oluşturan kaplama malzemesi tek bir strüktürel eleman olarak hareket etmektedir. Richter'in kubbesinin temel ünitesi alüminyum panellerin elmas formunda kullanılmasıdır. Bu sistemde, yüzeyi çapraz bir şekilde geçen alüminyum çatı göğüslemeleri bulunmaktadır. İskelet ve yüzey malzemesini birleştirerek, Richter yüzey malzemesinin strüktürel gücünü kullanmıştır. Bu fikir uçak kanadının dizaynında kullanılan temel konstrüksiyon prensiplerine dayandırılmıştır. Bu paneller değişik boyutlarda üretilen nakliyesi kolay elemanlardır [20].

1957 yılında Hawaii, Honolulu'da, Kaiser alüminyum şirketi, ilk olarak gerilmiş yüzeyle alüminyum bir kubbe yapılmıştır. Bu kubbenin strüktürel avantajları düşük maliyet, hızlı montaj ve yüksek yapısal güçtür. Bu kubbe elmas formundaki panellerden oluşmaktadır. Bu paneller sertleştirilmiş kenar ve çapraz destekler ile birlikte üretilmiştir. Bu modüller jeodezik kubbenin yüzeyi ile strüktürel sistemini birleştirmiştir. Bu kubbe, yarımküre kubbeden daha küçük bir boyuttadır. Beş noktadan zemine bağlı ve desteklenmiştir. Kubbenin çapı 44 m.'dir. On değişik boyutta 575 panelden oluşmaktadır. Merkezde yerleştirilen geçici bir dikme kubbenin inşası sırasında strüktürel sistemin en önemli taşıyıcısı olmuştur. Bu taşıyıcının yardımıyla kubbenin inşası tepe noktasından başlayıp, zemine doğru yapılmış ve yerde daha evvel oluşturulan temellere bağlanmıştır. Bu temeller

kubbenin esas taşıyıcısı olmuştur. Birkaç ay sonra aynı boyutta üç kubbe daha inşa edilmiştir. Bunlardan biri de Virginia Beach’de yapılmıştır (Şekil 3.64) [20] [21].



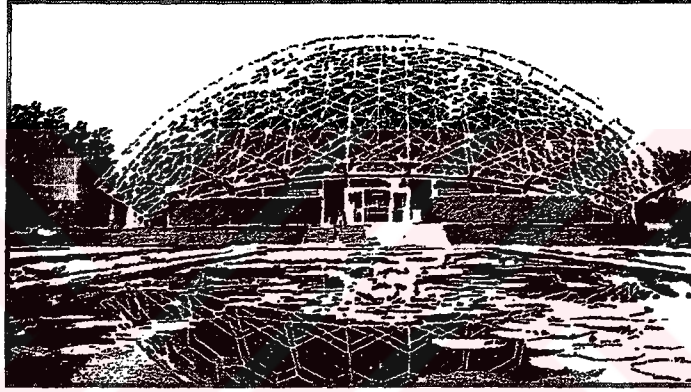
Şekil 3.64: Virginia Beach’de inşa edilen Kaiser jeodezik kubbesi

Temcor şirketi, jeodezik gerilmiş yüzeyli kubbeleri iki değişik tipte üretilmektedir. Bunlar, Crystogon ve Poly-Frame kubbeleridir. Bunların kendilerine özgü montaj teknikleri vardır [20].

Crystogon kubbeleri, akrilik üçgen panellerden yapılmıştır. Bu paneller alüminyum alaşımlı iskelet sistemin içine yerleştirilmiştir. Poly-Frame kubbelerde ise geniş kenarlı taşıyıcı elemanlar kullanılmaktadır. Bunların üzeri düzlem üçgen panellerle kapatılmaktadır. Taşıyıcı olmayan bu paneller yapıyı dış etkenlerden korumak amacıyla inşa edilmiştir. Temcor kubbeler taşıyıcı sistemi dayanıklı ve stabil hale getirmektedir. Ayrıca bu kubbeler hava koşullarından kusursuz bir şekilde korunmayı sağlamaktadır. Alüminyumdan yapıldıkları için hafiftir ve yapım maliyetleri düşüktür [20].

- **Missouri Botanik Bahçesi ‘Missouri Botanical Gardens Climatedon’**

1961 yılında St.Louis’de yapılmış olan bu yapı Murphy ve Mackey adındaki mimarlar tarafından inşa edilmiştir. Strüktürel hesaplamaları Synergetics şirketi tarafından yapılmıştır. Yapı, kürenin dörtte biri boyutunda botanik bahçedir. Geçilen açıklık 53m.’dir. Missouri’deki bütün bitki çeşitleri bu yapıda bulunmaktadır. Strüktürel sistem, çift katmanlı uzay kafes sistemden oluşmaktadır. Bu sistem altıgen bir kalıp içerisinde yerleştirilmiş olan alüminyum tüplerin, üçgen düzen içerisindeki çelik kablolarla dengede tutulmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 3.65) [21].



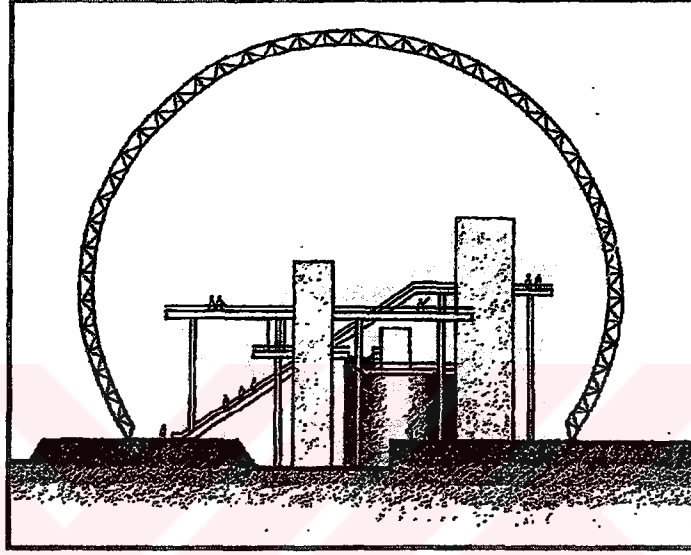
Şekil 3.65: Missouri Botanical Gardens Climatedon, St. Louis, 1961

Kubbe, betonarme ayaklarla beş noktadan desteklenmektedir.Yapı, 21m.’lik bir yüksekliğe sahiptir. Akrilik kaplama yüzey, kafesin altında yer alan ve kubbenin taşınmasında strüktürel olarak hiçbir etkinliği olmayan, üçgenel bir düzen içerisinde yerleştirilmiş alüminyum tübüler elemanların çelik kablolarla desteklenmesiyle kubbe yüzeyine asılı durmaktadır. Kubbenin iç yüzeyine asılı duran 3.625 tane akrilik panel zaman içerisinde bozulmuştur. Yerlerine strüktürel kafesin geometrik yüzeyi ile denk düşebilecek altıgen cam paneller kullanılmıştır [21].

- **United States Pavyonu Expo 67 ‘United States Pavilion Expo 67’**

Bu pavyon, 1967 yılında Montreal’de, Buckminster Fuller ve S.Sadao adındaki mimarlar tarafından tasarlanmıştır. Strüktürel Mühendisleri, Gumpertz ve Heger’dir.

Bu kubbenin tasarım konseptini, Amerika'nın teknik, sanat ve bilim alanlarındaki gelişiminin ziyaretçilere tanıtılması oluşturmaktadır. Kürenin dörtte üç boyutunda olan kubbe Fuller'in en büyük kubbesidir. İç mekandaki yapı, ayrı bir strüktürel sistem ile taşınmaktadır. Bu yapı, değişik kat seviyelerine sahiptir. Bu katlar arasında, asansörler ve köprüler kullanılmıştır (Şekil 3.66) [21].



Şekil 3.66: United States Pavilion Expo 67, Montreal, 1967

İki katmanlı kubbenin strüktürel yapısı üç sistemden oluşmaktadır. Birinci sistem, dış katmanı oluşturan elemanlardır. Bunlar üçgensel bir düzlem içerisinde yerleştirilmiştir. İkinci sistem, iç katmanı oluşturan elemanlardır. Bunlar altıgen bir düzen içerisinde yerleştirilmiştir. Üçüncü sistem ise iç ve dış katman arasında yer alan ve bu iki katmanı birbirine bağlayan ağ dokudur [21].

U.S. Pavilion Expo 67 kubbesi, 76 m.'lik bir çapa ve 60.8 m.'lik bir yüksekliğe sahiptir. Kapalı hacmi 190.000 m³'e eşittir. Yaklaşık New York 'daki Seagram Binasıyla aynı hacme sahiptir. Strüktürel sistem, tübüler çelik elemanların yıldız şeklindeki çelik noktalarla birleşmesinden oluşmaktadır. Yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan elemanlar altıgen tabanlı akrilik kubbelerdir. Bu kaplama malzemesi, kubbenin iç yüzeyine monte edilmiştir. Akrilik malzemenin kavisli kısmı yapının dış tarafına çevrilmiştir. İç mekanda oluşacak engellenemez sıcaklık

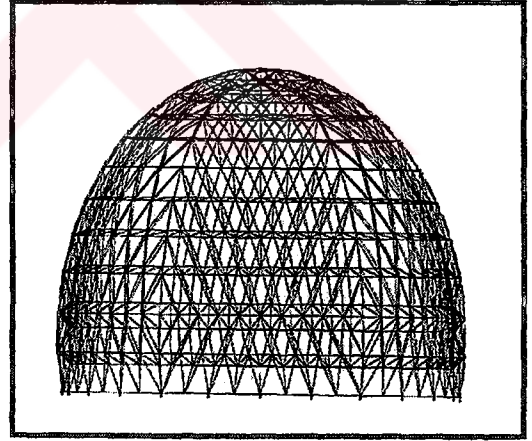
kazanımını kontrol edebilmek için her bir altıgen kubbe; plastik, kendi çevresinde dönebilen, motor kontrollü gölgeliklerin üzerine yerleştirilmiştir. Her bir motor 18 tane üçgen gölgeliği kontrol etmektedir. Gölge düzenlemesi dinamiklidir. Güneşin gökyüzündeki hareketiyle birlikte gölgelik konumunu değiştirmektedir. Devamlı olarak binayı aşırı güneş ışığından korumaktadır. Strüktürel sistemin ve solar kontrol sistemin modernliğinin yanında, yapının yangına karşı korunumu aynı derecede başarılı değildir [21].

• **Birleşmiş Milletler Pavyonu Expo 92'United Nations Pavilion Expo 92'**

United Nations pavilion Expo '92, Seville fuarındaki en dikkat çekici heykelsi kubbelerden biridir. Mimarları; Jose Ramon Rodriges Gautier, Javier Morales ve Luis Uruñuela'dır. Jeodezik kubbe iki katlı uzay kafes sistemi olan bir strüktürel sisteme sahiptir. Uzay kafeste Mero sistem kullanılmıştır. Kubbenin yüzeyinde bulunan beyaz renkli tübüler uzay kafes elemanlarla, kaplama malzemesi olarak kullanılan mavi renkteki cam paneller görsel bir zıtlık içerisindedir (Şekil 3.67) [7].



Şekil 3.67:United Nations pavilion Expo'92, Sevilla
Cephe detay

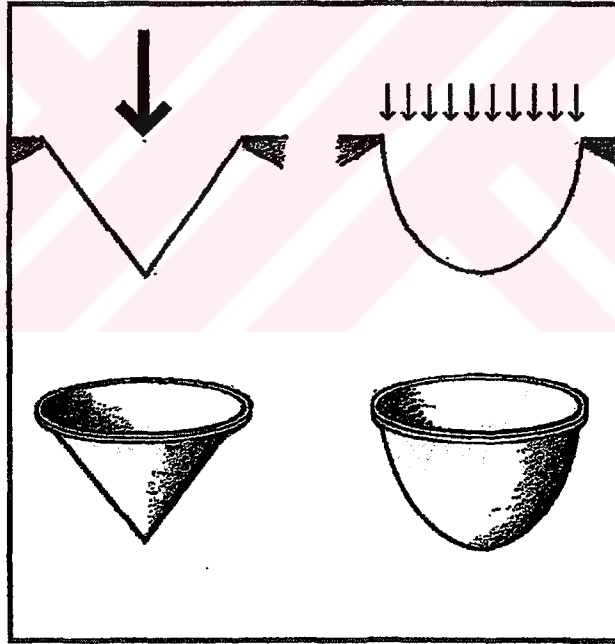


Şekil 3.68: United Nations pavilion Expo '92,
Sevilla

Jeodezik kubbenin çapı 18 m. , yüksekliği ise 22 m.'dir. Kubbenin toplam yüzeyi 1.244 m² 'dir. Strüktürel sistem 13 noktadan zemine bağlanmıştır. Kubbenin yüzeyindeki her bir gridal parça 10 kg/m² ağırlığındadır. Her bir düğüm noktası 38 kg ağırlığındadır. Kubbenin konstrüksiyonu ± 30 °C 'lık ısı değişimlerinde esnekliğini koruyabilmektedir (Şekil 3.68) [7].

3.2. Füniküler Sistemler

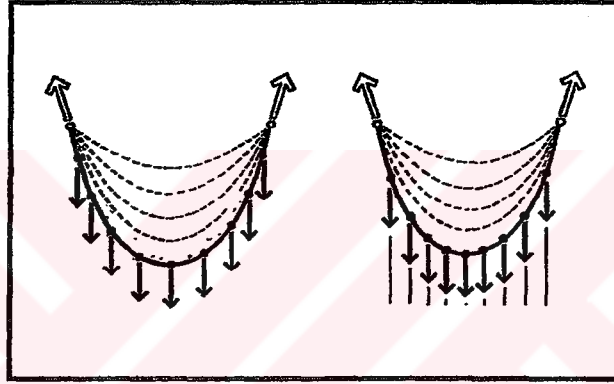
Füniküler strüktürel sistemler form aktif olarak bilinmektedir. Strüktürel formların üzerine uygulanan yüklerin sonucunda taşıyıcı sistemde iç gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler çekme veya basınçtır. Örneğin iki destek noktası arasına asılmış olan bir kablo üzerinde oluşan yükleri taşıyan bir kabloda çekme kuvvetlerinin oluştuğu ve kablounun 'V' şeklini aldığı varsayılmaktadır. Eğer kabloya ikinci bir kuvvet daha etki edecek olursa, kablounun şekli kuvvetin büyüklüğü ve uygulandığı noktaya bağlı olmak üzere üç düz çizgiye dönüşmektedir. Kabloya eklenen yükler fazlalaşırsa, kabloda oluşan kırık parçalar bir yay halini almaktadır. Bu eğilmiş kavisli şekil, dağılmış olan yüklerin temel karakteristik şeklidir. Bütün koşullarda kabloda sadece çekme kuvveti oluşmaktadır (Şekil 3.69) [21] [25].



Şekil 3.69: Füniküler strüktürler

3.2.1. Zincir Eğrisi Kablolar

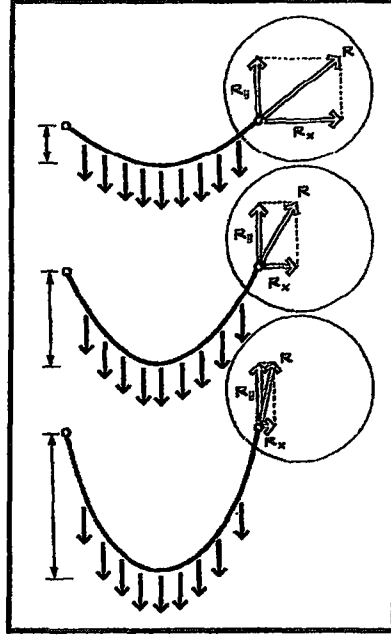
Zincir eğrisi strüktürel sistemler; füniküler şekle sahip, kendi ağırlığından başka ağırlığı olmayan sistemlerdir. Kullanılan her hangi bir kablunun uzunluğu boyunca kalınlığı değişmemektedir. Yatay bir açıklığı geçmekte kullanılan zincir eğrisi şeklindeki kabloya düzgün bir şekilde ağırlıklar etki edilirse, strüktürel sistemin hesabında kablunun ağırlığı göz önüne alınmamaktadır. Zincir eğrisi ile parabol'ün şekilleri neredeyse aynıdır. Bu strüktürel sistemlerin analizlerinde basit parabol kullanılmaktadır (Şekil 3.70) [21] [26].



Şekil 3.70: Dağılmış yükün asma füniküler kablolarına etkisi

Zincir eğrisi sistemler, uzunluğu boyunca doğru bir şekilde yüklenmiş ise bütün eğrisel asma sistemleri kapsamaktadır. Örnek olarak, asma köprülerdeki ana taşıyıcı kabloların eğimleri bir parabole yakın olmasına rağmen, zincir eğrisi sistemlerden kabul edilmektedir [21].

Zincir eğrisi bir strüktürel sistemde kabloya verilen ok derinliği, sisteme etki eden yatay tepki kuvvetlerinin büyüklüğünü belirlemektedir. (Şekil 3.71). Zincir eğrisi kablo sistemler çok büyük açıklıklar geçebilmektedir. Çok büyük açıklık geçilmesi gereken durumlarda, zincir eğrisinin oluşturduğu çökme ve sistemin geçtiği açıklığın oranı başlangıçtaki strüktürel tasarım konseptleri için önemli olmaktadır. Kabloya etki eden kuvvetler, kablunun uzunluğu ve çapı yukarıda bahsedilen bu strüktürel orana bağlıdır.

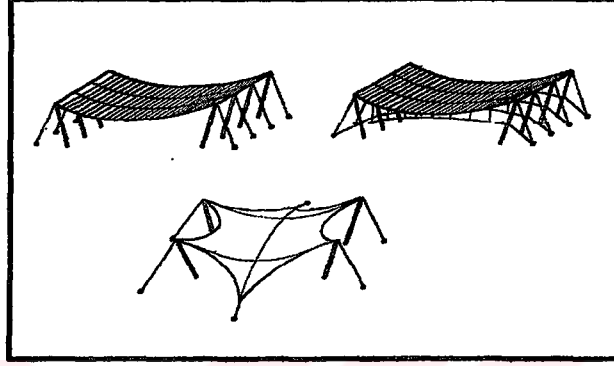


Şekil 3.71: Zincir eğrisi bir strüktürel sistemde kabloya verilen ok derinliği ile sisteme etki eden yanıl tepki kuvvetleri

Bu strüktürel hesaplar kablonun taşıdığı dikmenin yüksekliğini ve bu taşıyıcıda oluşacak basınç kuvvetlerinin büyüklüğünü belirlemektedir. Genel olarak kablolarda oluşan kuvvetler zincir eğrisinin oluşturduğu çökme ile ters orantılıdır. Başka bir deyişle, kablo uzunluğunun azalması, kablonun kalınlaşmasına yol açmaktadır. Kablonun uzunluğu ve kalınlığı arasındaki bu ilişki, kabloda kullanılan çelik miktarının bir optimizasyon problemi olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Kısa bir kabloda ortadan çökme azdır ve kablonun çapı çok büyüktür. Çünkü kabloda çok büyük çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Bunun tersi olarak kablo çok derin çökmeye sahipse kablonun çapı azalmaktadır. Fakat aynı zamanda kablonun uzunluğu artmaktadır. Tek bir yükün zincir eğrisi sisteme ortadan etki ettiğini düşünecek olursak, kabloda oluşacak çökme yaklaşık geçilen açıklığın %50'si kadardır. Düzgün bir şekilde yüklenmiş parabolik kablolardaki çökme geçilen açıklığın %33'ü kadardır. Pratikte diğer düşünceler ve tasarım kararları bu oranı çok fazla değiştirmemektedir. Kablo sistem kullanılan yapılarda, kablo ile geçilen açıklığın çökmeye oranı 1/8 ve 1/10 olmaktadır [21] [26].

3.2.1.1. Asma Strüktürlerin Sınıflandırılması

Funiküler asma sistemler; tek eğrilikli, çift kablolu ve çift eğrilikli olmak üzere üç grup içerisinde toplanmaktadır (Şekil 3.72). Bu bölümün örnekleri (Tablo 3.5)'de gösterilmiştir [21].

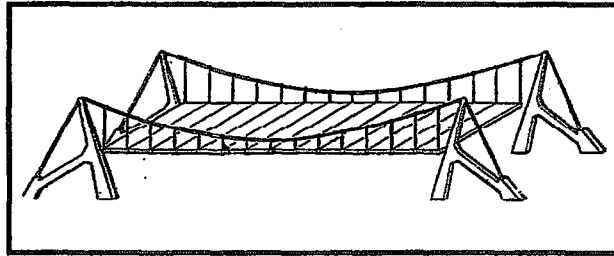


Şekil 3.72: Füniküler asma sistemler

• Tek Eğrilikli Asma Strüktürler

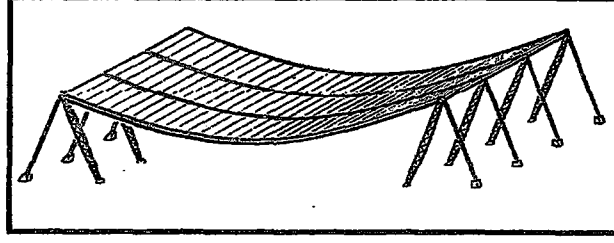
Tek eğrilikli asma sistemler, iki veya daha fazla paralel zincir eğrisi kabloların destekler arasında gerilmesiyle oluşmaktadır. Bu kablolar çatı döşemesine doğrudan olarak destek vermektedir veya ikincil düşey kablolar kullanılarak sistem dengelenmektedir [21].

Tek eğrilikli asma sistemlerde, çatı döşemesinin düz olması istenildiği durumlarda, döşemenin kablo ile bağlantısını sağlayan askı çubukları kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde, 45-90 m. arasında açıklık geçilmektedir (Şekil 3.73) [27].



Şekil 3.73: Çatı döşemesinin düz olduğu, tek eğrilikli asma sistem

Kabloların çatı döşemesine doğrudan destek verdiği sistemlerde, kablolar kolonlar üzerinden geçerek ankraj kitlesine bağlanmaktadır. Bu tip strüktürlerde kolon açıklık kablosuyla gergi kablosu arasındaki açının açı ortayı doğrultusunda düzenlenir ve sadece basınç kuvvetlerinin etkisinde kalır (Şekil 3.74) [27].

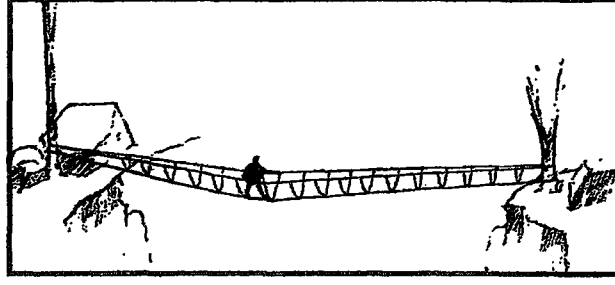


Şekil 3.74: Kabloların çatı döşemesine doğrudan destek verdiği asma sistemler

Tek eğrilikli asma sistemlerde stabiliteyi arttırmak için çatı örtüsü ağır malzemeden yapılmalıdır. Bu nedenle kablolarla oturtulan çatı örtüsü genelde prefabrik beton plaklardır. Plakların bağımsız olarak strüktürel sisteme yerleştirilmesi durumunda, sistemin stabilitesi çatının ağırlığına bağlıdır. Ayrıca plaklar birbirlerine kablolarla bağlanarak çatı örtüsüne ön gerilme verilir. Bu şekilde çatının eğilme rijitliği ve asma sistemin stabilite güvenliği sağlanmış olmaktadır [27].

Köprüler, tek eğimli strüktürel yapıların ilk tarihi örneklerindedir. İlk köprü örnekleri Çin, Hindistan ve Güney Amerika'da görülmüştür. Halen mevcut olan en eski örnek Hindistan'da bulunan, tek eğrilikli bambu halatlardan yapılmış 200 m. açıklık geçen köprüdür [27].

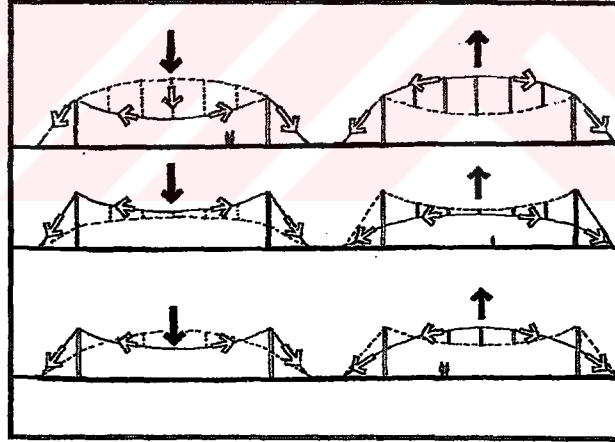
Yayalar bu köprünün üzerinden, köprünün hemen iki yanına bağlanmış iplere tutunarak geçmektedir. Daha sonraki gelişmelerle köprülerin taban ve kenar bölgelerinde bulunan dokuma halatlar 'U' şeklinde dikilerek hamak formunda köprüler yapılmıştır (Şekil 3.75) [21].



Şekil 3.75: Halattan yapılmış ilkel bir köprü

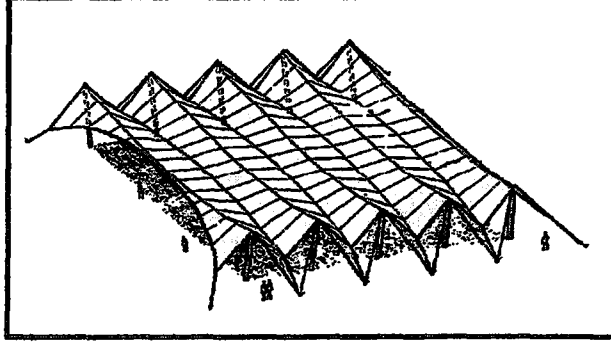
- **Çift Kablolü Asma Strüktürler**

Çift kablolü asma sistem, taşıyıcı kablo ve stabilize kablosu ile bunları birbirlerine bağlayan paralel ve diagonal elemanlardan meydana gelmektedir. Ayrıca çift kablolü asma strüktürler, asma kablolar kullanılarak rüzgarın kaldırma kuvvetine karşı dengede tutulan tek eğrilikli sistemler ile birbirlerine benzemektedir (Şekil 3.76) [21] [27].



Şekil 3.76:Çift kablolü strüktürler ve asma kablo kullanılarak dengede tutulan sistemler

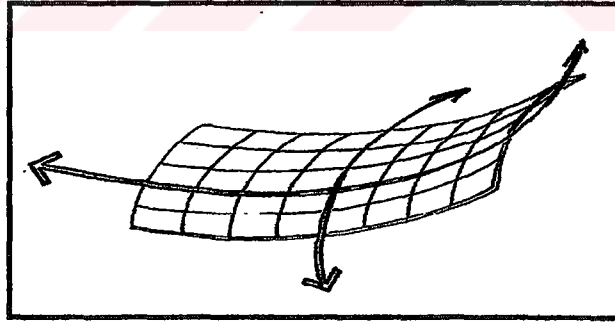
Eğer iki kablo aynı düzlem üzerinde bulunursa, bu kabloları dik olarak yerleştirilen bazı ek yatay sağlamlaştırma elemanlarının sisteme dahil edilmesi gerekmektedir (Şekil 3.77). Bu sistemde geçilen açıklık 45-90 m. arasında değişmektedir [21] [27].



Şekil 3.77:Çift kablolu strüktürler ve bunlara dik olarak yerleştirilen yatay sağlamlaştırma elemanları


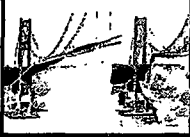


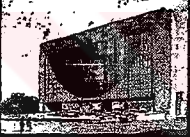




- **Çift Eğrilikli Asma Strüktürler**

Çift eğrilikli strüktürel yapılar 'anticlastic' yani eyer şeklinde yapılardır. Bir örnek verilecek olursa bir eğim pozitif, diğer eğim negatif yönde oluşmaktadır. Bu sistemde asma kablolar tek bir yönde açıklık geçmektedir. Bu kablolar dik olarak yerleştirilen kablolar ise taşıyıcı sistemi stabil hale getirmektedir. Böylelikle sistem rüzgarın oluşturacağı kaldırma kuvvetine dayanıklı hale gelmektedir (Şekil 3.78) [21].



Şekil 3.78: 'Anticlastic'şekle sahip çift eğimli strüktürel yapılar

Tablo 3.5 : Zincir Eğrisi Kablo Sistemli Yapı Örnekleri

3.2.1.2. Örnek Yapılar			
Unitown Köprüsü		Raleigh Arena	
	Yer: Unitown Tarih: 1801 Mimar: James Findley		Yer: Raleigh, A.B.D. Tarih: 1962 Mimar: Deitrich & Nowicki
Tacoma Narrows Köprüsü		Yale Hokey Sahası	
	Yer: Tacoma Tarih: 1940 Mimar: Moisseiff		Yer: New Haven, A.B.D. Tarih: 1968 Mimar: Eero Saarlen
Burgo Kağıt Fabrikası		Münih Olimpik Stadyumu	
	Yer: Mentua, İtalya Tarih: 1962 Mimar: Pier Luigi Nervi		Yer: Münih, Almanya Tarih: 1972 Mimar: Behnish
Minneapolis Federal Rezerv Bankası		Ohnaruto Köprüsü	
	Yer: Minneapolis, A.B.D. Tarih: 1973 Mimar: G.Birkerts		Yer: Japonya Tarih: 1960
Dulles Terminal Binası		Denver Uluslararası Havaalanı	
	Yer: Washington DC, A.B.D. Tarih: 1962 Mimar: Eero Saarlen		Yer: Denver A.B.D. Tarih: 1995 Mimar: Brad Burn
Utica Oditoryum			
	Yer: Utica, New York Tarih: 1962 Mimar: Lev Lutin		

• Uniontown Köprüsü

Uniontown köprüsü, tek eğimli asma strüktürel yapılara bir örnektir. Bir köprünün doğasında olan problem, yolcular ve taşıtlar üzerlerinden geçerken oluşturdukları değişken yük ile birlikte köprünün şeklinin de değişmesidir. Rijit bir köprü yüzeyi, 1801 yılında James Findley tarafından geliştirilmiştir. Bu köprü asma köprü sistemlerde bir anahtar gelişmeye neden olmuştur. Findley'in ilk köprüsü Jacobs Creek Uniontown, Pennsylvania'da 61 m. açıklık geçmiştir. Rijitleşmiş köprü yüzeyi, dökme demir zincirlerinde desteklemesiyle hareketli yüklerin etkilerine karşın köprünün şeklinin korunması sağlanmıştır. Findley'in köprüsünde, sonradan ortaya çıkan asma köprülerde kullanılan aynı basit düşünce kullanılmaktadır. Destek olarak iki veya daha fazla kule kullanılmıştır. Ayrıca düşey kabloların asıldığı asma kablolar otoyola destek veren köprü yüzeyini taşımaktadır. Kulelerin tepesindeki yatay tepkileri dengelemek için, çelik kablolar büyük beton payandalara ankre edilmektedir. Buna ek olarak yanıl dayanımı ve rijitliği sağlayabilmek ve yanıl rüzgar kuvvetinin oluşturduğu dönme etkisine direnç gösterebilmek için köprü yüzeyi rijitleştirilmiştir (Şekil 3.79) [21].



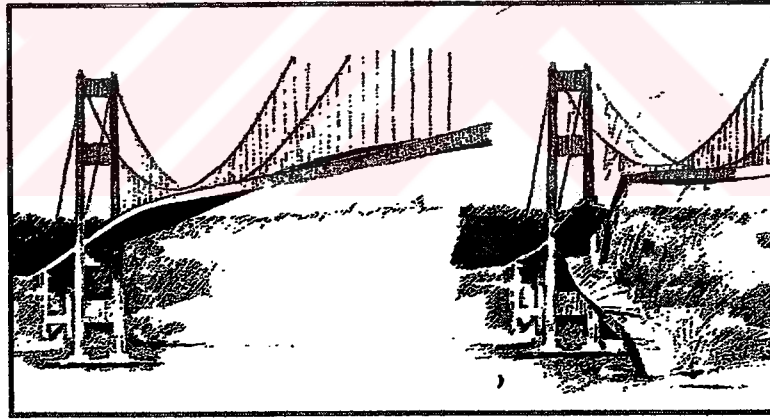
Şekil 3.79: Uniontown Köprüsü, James Findley, Uniontown, 1801

• Tacoma Narrows Köprüsü

Tacoma Narrows köprüsü, tek eğimli asma strüktürel yapılara bir örnektir. 1940 yılında Tacoma'da Moisseiff adındaki mühendis tarafından tasarlanmıştır. Geçilen açıklık 853 m.'dir. Bu açıklık Bronx Whitestone köprüsünden çok daha fazladır. Köprü plağı çok incedir. Bu köprü az bir trafik için tasarlanmıştır. Gidiş ve

geliş olmak üzere yaya yollarıyla birlikte iki şerit genişliğindedir. Köprüyü oluşturan giriş 2.4 m. derinliğindedir. Sonuç olarak girişin derinliği ve geçilen açıklık arasındaki oran 1/350'dir [21].

Köprü daha sonraları adı 'Gallopıng Gertie' olarak anılmaya başlanmıştır. Çünkü bu köprü hafif rüzgarlarda bile yanal salınım yapmaktadır. Fakat aynı zamanda köprü, uzunluğu boyunca küçük dalgacıklar meydana getirmektedir. 7 Kasım 1940 tarihinde 68 kilometre/saat (kmh) hızla esen rüzgar köprü yüzeyinde birçok yanal bükülmeler ve uzunlamasına dalgacıklar meydana getirmiştir. Köprü yüzeyinin şiddetli hareketleri, düşey olarak yerleştirilmiş kablolarda kopmalara yol açmıştır. Bu kopmalar sonucunda diğer kablolarda aşırı yükleme olmuştur. Bu etkileşimler zincirleme biçimde köbrünün strüktürel sistemini etkilemiştir. Sonuç olarak bazı asma çubuklar kopmuştur. Köbrünün ortasında yer alan büyük bir parça köprü yüzeyi de kopmuştur (Şekil 3.80) [21].



Şekil 3.80 : Tacoma Narrows Köbrüsü, Moisseiff, Tacoma, 1940

Köbrünün tasarımında çok az bir esneklik payı bırakılması, aerodinamik salınım ve titreşimlerin hesaba katılmaması köbrünün çökmesine yol açmıştır. Kuvvetli rüzgarların köprülere etki ettiği durumlarda, salınımlı moment etkisi strüktürel sistemin dengesini bozmaktadır. Buna ek olarak köprüye etki eden moment ve dönme etkileri derece derece artmaktadır. Sonradan yapılan rüzgar tüneli testlerinde, bu köbrünün rijit girişinin aerodinamik etki altında kalma olasılığının diğer makas

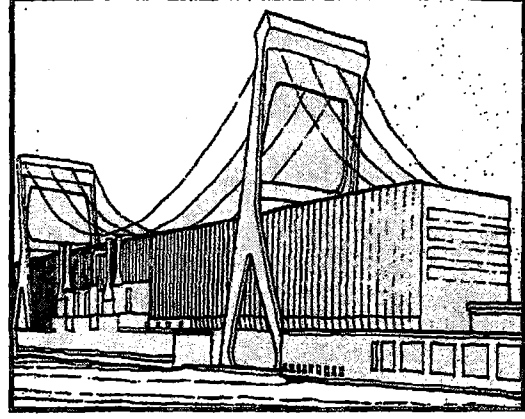
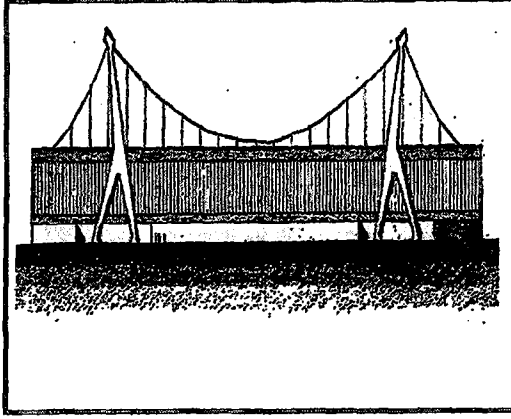
kirişlere nazaran daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Makas kirişler rüzgar etkisini küçük ve karışık rüzgar şekline çevirerek etkisinin azalmasını sağlamaktadır [21].

Tacoma Narrows köprüsünün yıkılmasıyla birlikte dünya çapında asma köprü tasarlayan mimarların tamamı, inşa ettikleri köprülerin aerodinamik yapısını test etmiştir. Bazı mühendisler aerodinamik salınımları azaltabilmek için, açık makas taşıyıcıları asma köprülerde kullanmaktadır. Diğer tasarımcılar ise kanat tarzındaki taşıyıcıları tasarımlarında uygulamaktadır. Bu köprülerde alt yüzey kanat şeklindedir. Ayrıca kanat yüzey şekli, gelen rüzgar kuvvetinin yönünü değiştirerek köprüye altından bir kaldırma kuvveti etkisi sağlamaktadır. Kanat şeklindeki tasarımların kullanıldığı köprüler rüzgar kuvvetinden etkilenerek büyük salınımlar yapmamaktadır. Bu şekildeki köprü yapıları diğer köprü konstrüksiyonlarına nazaran %50 daha az bir ağırlığa sahiptirler [21].

• Burgo Kağıt Fabrikası 'Burgo Paper Mill'

Burgo Kağıt Fabrikası, tek eğimli asma strüktürel yapılara bir örnektir. Köprü tarzındaki bu çatının, strüktürü 1962 yılında Mantua, İtalya'da Pier Luigi Nervi tarafından tasarlanmıştır. Bu yapı, 7.992 m² alanın üzerini örtmekte ve kağıt üretim fabrikası olarak kullanılmaktadır. Yapı uzunlamasına taşınmaktadır. Yapının geçtiği açıklık 163 m'dir. Dört tane birincil çelik halat ve bu halatlara dik olarak bağlanmış ikincil çelik halatlar tarafından taşınmaktadır. Ayrıca yapı her iki uçta 43 m. sarkmaktadır. Rüzgarın kaldırma kuvvetine karşı çatının ağırlığı yeterli direnci göstermektedir. Beton ayaklar, rijit bir kafes olarak çalışmaktadır. Ayrıca binanın, geçtiği açıklığa dik olarak yerleştirilen ayaklar yapının yanal kararlılığını arttırmaktadır. Yapının orjinal strüktürel sistemi dört tane geniş beton ayak üzerine kurulmuştur. Bu beton ayakların yüksekliği 50 m.'dir. Kablo destekli strüktürel sistemler, asma köprü sistemlerle özdeş bir strüktürel çalışma sergilemektedir. Birbirlerinden farkları, yatay basınç reaksiyonlarının her iki sistemde farklı şekilde desteklenmesidir. Köprülerde kullanılan kablolar yere ankre edilmektedir. Herbir kablunun bitim noktalarında beton temeller çekme kuvvetlerine karşı kullanılmaktadır. Fakat Paper Mill binasında kullanılan çelik kablolar yere

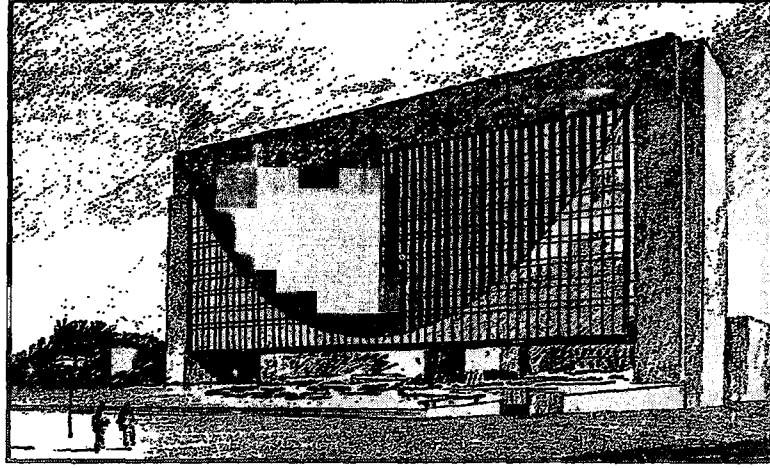
bağlanmamıştır. Bu çelik kablolar konsol çıkan yapının çatısına bağlanmıştır. (Şekil 3.81) [21] [31].



Şekil 3.81: Burgo Kağıt Fabrikası, Pier Luigi Nervi, Şekil 3.82: Burgo Kağıt Fabrikası, Perspektif görünüş
Mantua, İtalya, 1962

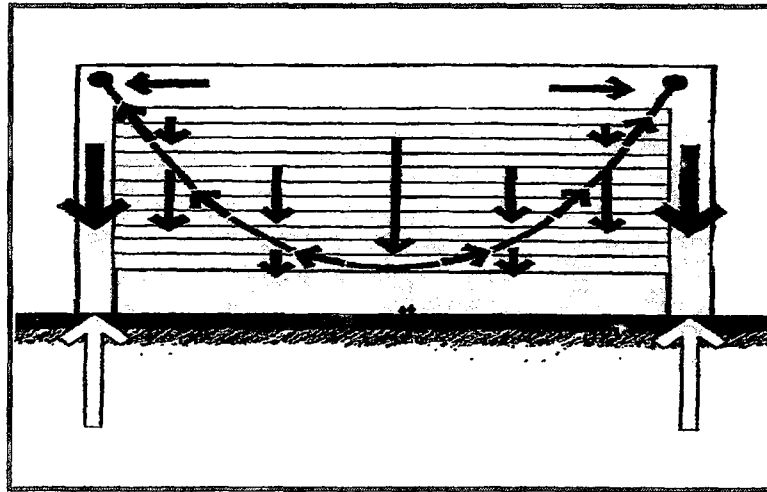
• **Minneapolis Federal Reserv Bankası 'Minneapolis Federal Reserve Bank'**

Minneapolis Federal Reserv Bankası, tek eğimli asma strüktürel yapılara bir örnektir. Bu yapı, 1973 yılında Minneapolis'te inşa edilmiştir. Mimarları, G.Birkerts ve ortaklarıdır. Bu yapının tasarımında giriş katındaki düzeni engelleyecek olan kolonları yok edebilmek için yapı yerden yukarıda inşa edilmiştir. Yer ile yapı arasında kolonsuz bir geniş alan oluşturulmuştur. Yapı iki aşamalı olarak tasarlanmıştır. Birinci aşama, çok iyi korunan geniş bir bodrum katıdır. Bu kat büyük miktarda paranın alınıp işleme konduğu bir mekan olarak tasarlanmıştır. İkinci aşama olarak on katlı bir ofis yapısı inşa edilmiştir. Bu ofislere giriş sadece yapıyı taşıyan desteklerden sağlanmaktadır. Birkerts, bu yapının tasarımı için bir taraftan çok korunaklı ve saydam olmayan, diğer taraftan ise saydam ve rahat ulaşılabilen bir yapı tasarlamaya çalıştığını ifade etmiştir (Şekil 3.83) [21].



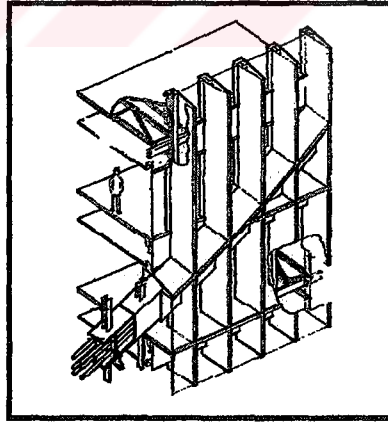
Şekil 3.83: Minneapolis Federal Reserv Bankası, G.Birkets, Minneapolis, 1973

Bu yapı, asma strüktürel sistemin açık bir şekilde görüldüğü önemli bir binadır. Ofis bloğunun geçtiği açıklık 82.3 m'dir. İki servis kulesi, yapıya düşey olarak destek olmaktadır. Ayrıca ofis bloğunun yanıl kararlılığını sağlamaktadır. Bu servis kuleleri, merdivenleri, asansörleri ve mekanik alanları içermektedir. Herbir kule granit kaplanmış betonarme perde sistem ile inşa edilmiş yapılardır. 'H' şeklindeki taşıyıcı strüktürel yapı yerden yukarıya doğru bir konsol yapı gibi taşınmaktadır. İki tane asma çelik kabloya yükler düzgün bir şekilde etkimektedir (Şekil 3.84) [21].



Şekil 3.84: Minneapolis Federal Reserv Bankası, taşıyıcı sistemine etki eden yükler

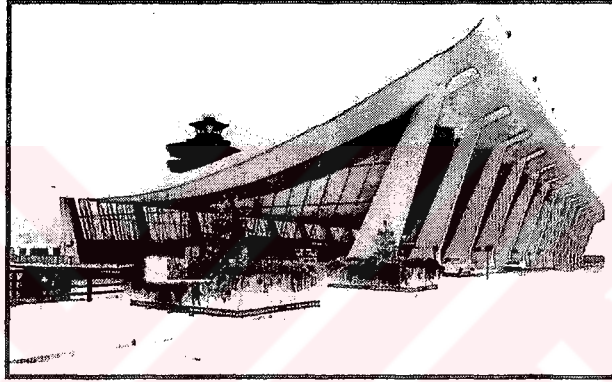
Çelik kablolar parabole yakın bir şekil aldığı için bu sisteme zincir eğrisi sistemi denilmektedir. Bu zincir eğrisi taşıyıcı eleman kaynaklanmış çelik plakalardan oluşur. Herbir plaka 0.91 m. derinliğindedir. Dört tane ön germeli 100 mm. çapında kablo ile bağlanmıştır. Herbir zincir eğrisi taşıyıcı elemenda, bu çelik kabloların sayıları yapının yukarisından aşağıya doğru 8, 6, 4 ve 2 olmak üzere azalmaktadır. Zincir eğrisi taşıyıcı sistemin, yapının üst kısmında oluşturduğu basınç kuvvetini dengeleyebilmek için betonarme iki kulenin en üst noktalarının arasına kutu şeklinde makas sistem yerleştirilmiştir. Bu makas sistem 8.5 m. derinliğinde, 18.3 m genişliğinde ve 82.3 m. uzunluğundadır. Zincir eğrisi sistemin üzerindeki katlar kolonlar tarafından taşınmaktadır. Bu kolonlar zincir eğrisi elemanın üzerinden destek almaktadır. Zincir eğrisi elemanın altında kalan katlar ise zincir eğrisi elemana asılmıştır. Yapının cam cephesi zincir eğrisi strüktürel sistemin altında kalmaktadır. Binanın cephesinden yapının zincir eğrisi sistem ile taşındığı anlaşılmaktadır. Kat döşemeleri oluklu çelik saç üzerine hafif beton kaplamadır. Bu oluklu çelik saç, hafif çelik makaslar tarafından taşıtılmaktadır. Bu çelik makaslar 18.3 m. uzunluğundadır. Ayrıca bu makaslar iç mekanların kolonsuz bir yapı düzeni içerisinde olmasını sağlamaktadır. (Şekil 3.85) [21].



Şekil 3.85: Mineapolis Federal Reserv Bankası, cephe detayı

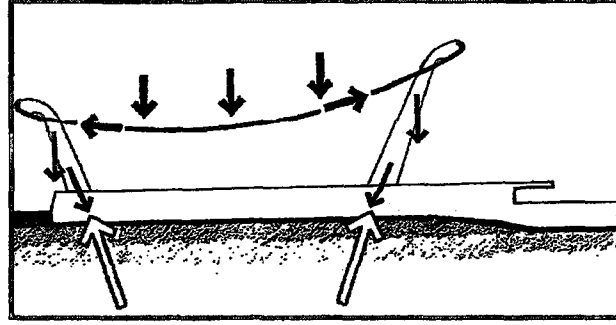
- **Dulles Terminal Binası 'Dulles Terminal Building'**

Dulles Terminal Binası, tek eğimli asma strüktürel yapılara bir örnektir. Bu yapı, 1962 yılında Washington DC'de inşa edilmiştir. Mimarları Eero Saarinen ve ortaklarıdır. Strüktür mühendisleri, Ammann ve Whitney'dir. Bu yapı ustaca planlanmış ve mimariyi ifade eden bir yapıdır. Bu yapının planı toplu bir plandır. Yolcuların yürüme mesafeleri çok kısadır. Bu terminal binası mobil bekleme salonuyla çok daha esnek bir yapıya sahip olmaktadır. Bu yapının asma çatısı ve büyük dikmeleri dikkati çeken strüktürel öğelerdir (Şekil 3.86) [4].



Şekil 3.86: Dulles Terminal Binası, Eero Saarinen, Washington DC, 1962

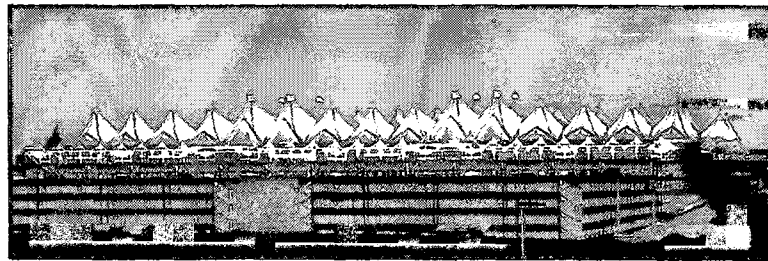
Çatı, 12.2 m. aralıklarla sıralanmış beton direklerle taşınmaktadır. Bu beton direklerin yüksekliği 19.8 m. ile 12.2 m. arasında değişmektedir. Çatının strüktürel sistemi, beton ayaklar üzerine asılmış bir büyük hamağa benzemektedir. Çatının taşıyıcı sisteminde zincir eğrisi 25 mm. çapında çelik kablolar, 3 m. aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu kabloların aralarında hazır beton paneller kullanılmıştır. Çatıda kullanılan beton panellerin üzeri son katman olarak yerinde dökülmüş beton kaplanmıştır. Yapının inşaatı sırasında, çatıya dökülecek olan betonun tasarlanan eğimi alabilmesi için kum torbaları, hazır beton paneller üzerinde geçici olarak yerleştirilmiştir. Beton istenilen eğimi aldığı anda, çelik kabloların üzerine beton dökülmüştür. Bu sayede, ters kemer formunun rüzgarın kaldırma kuvvetine olan direnci artırılmıştır. Büyük betonarme ayaklar asma sistemin oluşturacağı basınç kuvvetine karşı direnç göstermektedir. (Şekil 3.87) [4] [21].



Şekil 3.87: Dulles Terminal Binasının, taşıyıcı sistemine etki eden kuvvetler

• **Denver Uluslararası Havaalanı ‘Denver International Airport Terminal’**

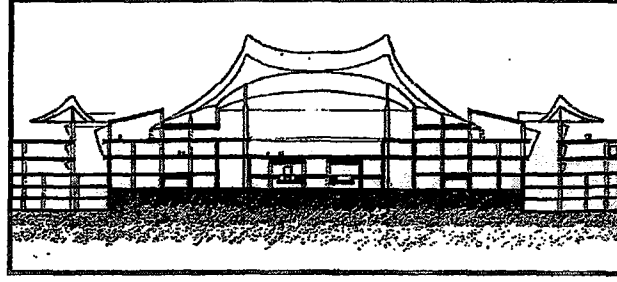
Denver Uluslararası Havaalanı, çift kablolu asma strüktürel sistemlere bir örnektir. Birbirlerine dik şekilde yerleştirilmiş liflerle güçlendirilen membran çatı sistemi ana terminalin en büyük holünde kullanılmıştır. Bu asma strüktürel sistem, dünyada bir mekanın üzerini kaplayan en büyük taşıyıcı sistemdir. 1995 yılında Denver’da inşa edilmiştir. Mimarları, Bradburn ve ortaklarıdır. Strüktür mühendisleri Severud ve ortaklarıdır. Membran malzeme, hafiflik, kurulmadaki kolaylık ve hız nedeniyle seçilmiştir. Ayrıca estetik nedenler de membran malzemenin seçiminde önemli bir rol oynamıştır. Yapının bulunduğu bölgedeki Rocky Mountains dağlarının karlı tepelerinden alıntı yapılarak binanın formu ortaya çıkarılmıştır (Şekil 3.88) [4].



Şekil 3.88: Denver Uluslararası Havaalanı

Dağların karlı tepelerinin formu 34 tane çelik direk ile oluşturulmuştur. Herbir çift tepe birbirlerinden 45 m. aralıklarla yerleştirilmiştir. Direkler arasına gerilmiş, büyük holün üzerinde bulunan membranların yaptığı çökme 63 m.’dir. Bu membran çelik kablolarla güçlendirilmiştir. Çatı, formunun üzerinde oluşan tepe ve vadi şekillerinin

üst noktaları en fazla çekme kuvvetinin oluştuğu noktalardır. Bu noktalardaki çelik kablolar, yerçekimi kuvvetine ve sistemin ağırlığına karşı direnç göstermektedir. Ayrıca vadi formunun alt noktasında bulunan çelik kablolar rüzgarın kaldırma kuvvetine direnç göstermektedir. Çatıda oluşan vadi ve tepelerin uç noktalarındaki çelik kabloların arasına dik olarak 12.2 m. aralıklarla çelik kablolar yerleştirilmiştir (Şekil 3.89) [21].



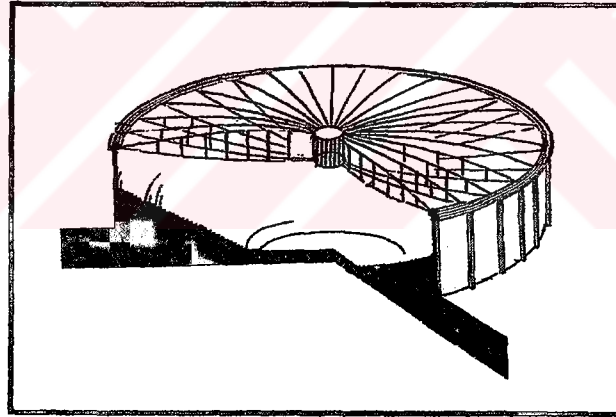
Şekil 3.89: Denver Uluslararası Havaalanı Kesiti

Çatı malzemesi iki katmanlı membranlardan oluşmaktadır. Her iki membranda malzeme olarak teflon kaplamalı fiberglas kullanılmaktadır. Dış katman strüktürel yüzeyi, iç katman ise akustik bariyer yüzeyini oluşturmaktadır. Ayrıca iç katman ısıнын dış yüzeye çıkmasını engelleyici bir izolasyon malzemesidir. Bu yapıdaki en kritik detay, esnek olan membran çatı ile rijit duvarların birleşme noktalarıdır. Bilet gişeleri üzerinde üçgen cam malzemedeki yapılmış tepe pencereleri bulunmaktadır. Böylelikle büyük holden altından gökyüzü görülebilmektedir. Membran çatı yüzeyi, pnömomatik bir tüp strüktürel sistem kadar esneyip büzülebilmektedir. Çelik kablolar ve membran çatı yüzeyi çelik tübüler direklerin üzerlerine geçirilmiştir. Bu tübüler çelik direkler ise yapının taşıyıcı sistemine ankre edilmiştir. Zincir eğrisi şeklindeki kablolarla asılmış olan membran yüzeyler, tübüler çelik direklerde basınç kuvveti oluşturmaktadır [21].

• Utica Oditoryumu 'Utica Auditorium'

Utica Oditoryumu, çift kablolu asma strüktürel sistemlere bir örnektir. Çelik kabloları Denver Havaalanı örneğinde olduğu gibi, paralel bir şekilde yerleştirmenin en büyük dezavantajı sistemde oluşacak yatay itme kuvvetini asma çelik kablolar ile

dengelemektir. Dairesel bir düzlemde oluşan itme kuvvetlerini ise bir basınç çemberi ile dengelemek mümkündür. Dolayısıyla bu yapıda Dulles Terminal Binası'nda kullanılan çelik halat veya konsol direkler gibi strüktürel elemanlara ihtiyaç yoktur. Utica Auditorium'u 1962 yılında Utica, New York'da inşa edilmiştir. Strüktür mühendisleri Lev Letlin ve ortaklarıdır. Çatı, bisiklet tekerleği şeklindeki bir strüktürel sistem ile inşa edilmiştir, çapı 63m.'dir. Sistem radyal asma kablolar ile taşınmaktadır. Kubbenin dışında yer alan 63 m. çapa sahip betonarme basınç çemberi ile iç kısımda yer alan çekme çemberinin alt kısmına bağlı radyal kablolar, sistemin yerçekimi kuvvetine karşı dengede kalmasını sağlamaktadır. Aynı şekilde kubbeyi yukarı doğru kaldıracak olan kuvvetler, basınç çemberi ile çekme çemberinin üst kısmına bağlanmış olan radyal kablolar ile dengelenmektedir. Bu iki ayrı kuvvete karşı direnç radial kabloların iki ayrı çekme çemberine bağlanmasıyla sağlanmaktadır. Bu çemberler birbirlerine düşey desteklerle bağlanmışlardır. Basınç çember çevresinde yer alan kolonlar tarafından taşınmaktadır (Şekil 3.90) [21].

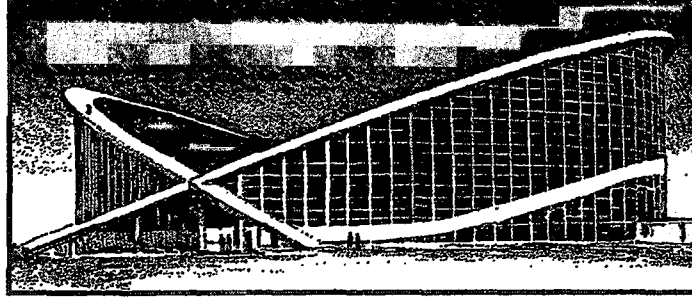


Şekil 3.90: Utica Oditoryum

• Raleigh Arena

Raleigh Arena, çift eğimli asma strüktürel sistemlere bir örnektir. 1952 yılında Raleigh'de inşa edilmiştir. Mimarları Deitrick ve Nowicki'dir. Strüktür mühendisleri Severud, Elstad ve Kruger'dir. Bu yapı, asma strüktürel sistem kullanılarak inşa edilen yapılara ilk örneklerden biridir. Bu yapıda, basınç kuvvetlerine karşı

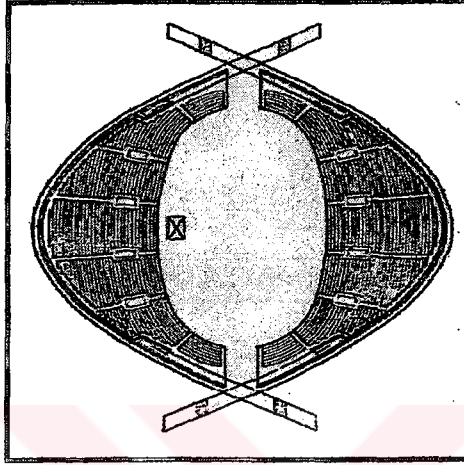
kullanılan kemer ile çekme kuvvetlerine karşı çatıda kullanılan strüktürel sistemler çok açık bir şekilde ayrılmaktadır (Şekil 3.91) [21].



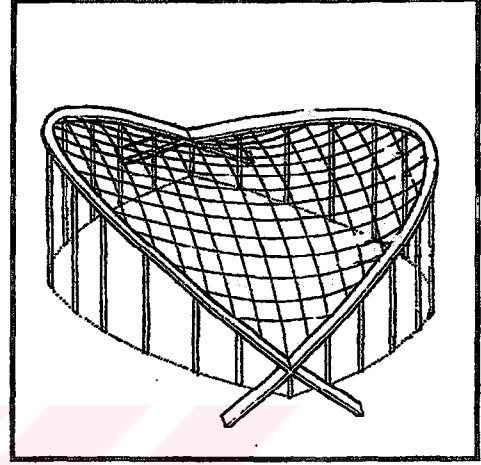
Şekil 3.91: Raleigh Arena, Deitrick & Nowicki, Raleigh, 1952

Eğer şeklindeki çatı formu, sadece strüktürel kaygılardan dolayı seçilmemiştir. Aynı zamanda 5.500 kişilik oturma kapasitesine sahip kapalı tribünün çatı örtüsünü oluşturmaktadır. Kubbelerin tersine, bu yapının içerisindeki tribünün en yukarisında oturan kişiyle en alt kısmında oturan kişinin, çatı ile arasındaki mesafe eşittir. Ayrıca bu çatı yapısı oturma gruplarının üzerlerinden çeşitli yönlerde gün ışığı alınabilmesine olanak vermektedir. Birincil asma kablolar, eğik kemerler arasında 90.1 m. açıklık geçmektedir. Bu kabloların çapları 18 mm. ile 32 mm. arasındadır. 1.8 m aralıklarla yerleştirilmişlerdir. İkincil kablolar, birincil kablolarla zıt yönde yerleştirilmişlerdir. Rüzgar kuvvetinin oluşturacağı kaldırma kuvvetine karşı tasarlanmışlardır. Çapları 12 mm. ile 18 mm. arasında değişmektedir. Bu kablolar da 1.8 m. aralıklarla yerleştirilmişlerdir. İkincil kablolar, sıcak havalarda kabloların gevşemesi ihtimali göz önüne alınarak ön germeli olarak inşa edilmiştir. Kıvrımlı metal çatı örtüsü ise birincil kablolar üzerine monte edilmiştir. Bu kıvrımlı metal örtü üzerine 3.7 cm kalınlığında rijit izolasyon malzemesi ve çatı kaplama malzemesi konmuştur. Strüktürel sisteme birincil desteği, çapraz şekilde yerleştirilmiş betonarmeden yapılmış parabolik iki basınç kemeri vermektedir. Bu kemerler yerden 27.4 m. yüksekliğe kadar çıkmaktadır. Bu kemerlerin derinlikleri 4.6 m. ile 7.6 m. arasında değişmektedir. Kemerlerin kesiştikleri noktada kemer kalınlığı 4.6 m.'dir. Kemerlerin en yüksek noktasında ise kemer kalınlığı 7.6 m.'dir. Kemerlerin alt kısımlarında kutu kutu boşluklar bırakılmıştır. Bu şekilde kemerlerin ağırlıkları azaltılmıştır. Kabloların doğurduğu çekme kuvvetleri kemerlerin üst yüzeyinde

oluşmaktadır. Çatının ağırlığı kemerlerden kolonlara iletilmektedir. Kemerlerin bitim noktalarındaki ayaklarında, dış itki etkisiyle oluşacak momentlere ve itme kuvvetine karşı temeller yeraltından birbirlerine çelik kablolarla bağlanmışlardır. Kemerlerin düşey yükü kolonlar tarafından karşılanmaktadır (Şekil 3.92) (Şekil 3.93) [21].



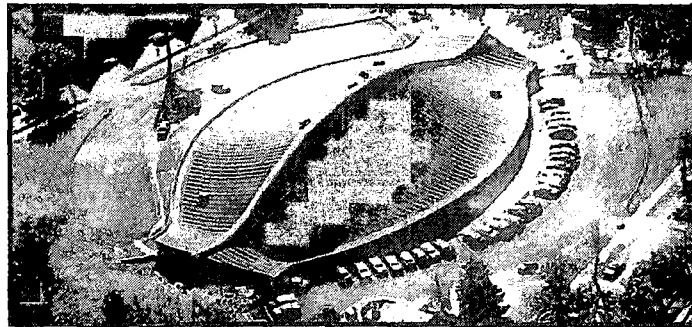
Şekil 3.92: Raleigh Arena, plan



Şekil 3.93: Raleigh Arena, aksonometrik çizimi

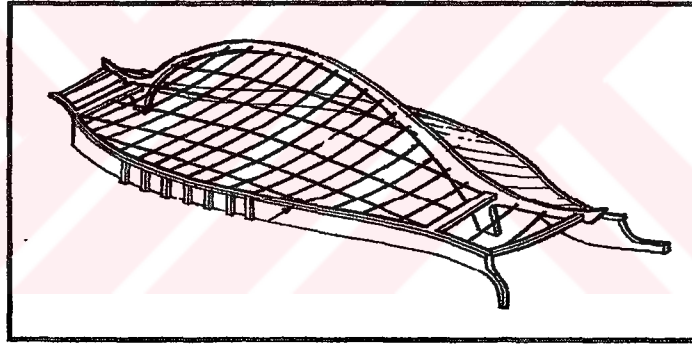
• Yale Hokey Sahası 'Yale Hockey Rink'

Yale Hockey Sahası da çift eğrilikli asma strüktürel sistemlere bir örnektir. 1958 yılında New Haven'da inşa edilmiştir. Mimarları Eero Saarinen ve ortaklarıdır. Strüktür mühendisleri ise Severud Elstad Krueger ve ortaklarıdır. Bu yapının formu fonksiyonel, estetik ve strüktürel etkenler göz önünde tutularak tasarlanmıştır. Bir hokey sahası tasarımını oluşturacak ilk fikir, oval bir plan şeması içerisinde 2900 kişilik bir izleyici grubunun en uygun şekilde oturtulmasıdır (Şekil 3.94) [21].



Şekil 3.94: Yale Hokey Sahası, Eero Saarinen, New Haven, 1958

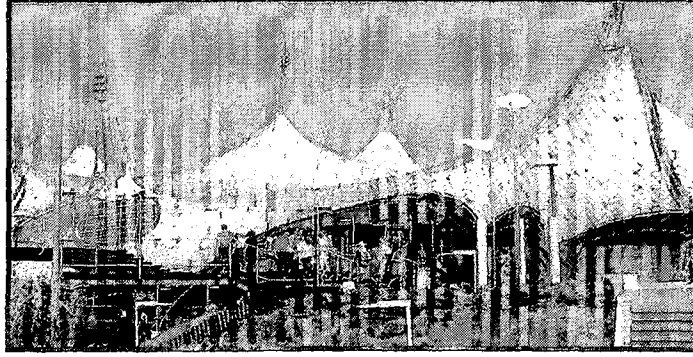
Yale Hokey Sahasında dışbükey bir yanduvar kullanılmıştır. Bu şekilde yansıyan seslerin tek bir noktada odaklanması sağlanmıştır. Bu hokey ringinin formunu belirleyen birincil eleman 73 m. açıklık geçen beton parabol kemerdir. Bu kemerin bitim noktalarında, kemerin daireselliği ters yöne doğru 12.2 m. devam ederek, hokey sahasına giriş mekanının üzerini bir konsol halinde örtmektedir. Eğrisel zincir eğrisi formundaki kablolar 1.83 m. aralıklarla ortadaki kemer ile yapının çevresindeki eğrisel duvarlar arasında gerilmiştir. Çatıyı oluşturan asma kablolar ek olarak yapının başına ve sonuna üçer tane ek kablo ilave edilmiştir. Bu şekilde betonarme kemerin kararlılığı arttırılmıştır. Yapının yan duvarları düşeyle bir kaç derece yana eğiktir. Ayrıca yan duvarlara, yatay bir kemer formu verilmiştir. Bu duvarın yüksekliği 2.1 m. , kalınlığı ise 4.6 m.'dir. Ancak bu boyutlarda ve formda olan bir duvar, asma kabloların oluşturduğu itme kuvvetine karşı direnç gösterebilir (Şekil 3.95) [21].



Şekil 3.95: Yale Hokey Sahası, aksonometrik çizimi

- **Münih Olimpik Stadyumu 'Munich Olympic Stadium'**

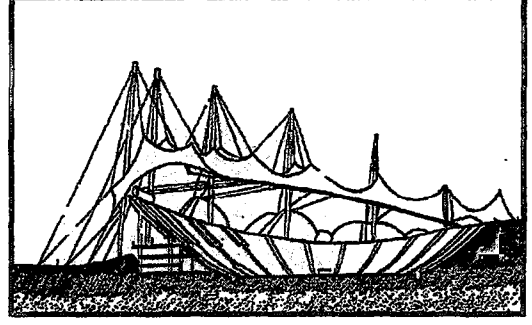
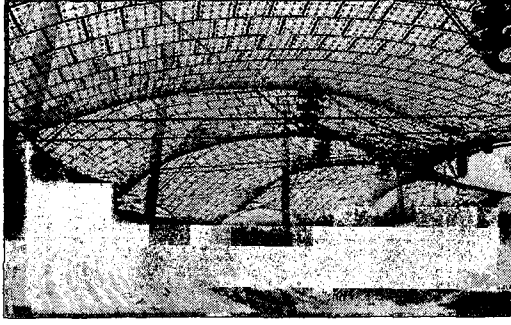
Münih Olimpik Stadyumu, çift eğimli asma strüktürel sistemlere bir örnektir. Bu stadyum 1972 yılında Münih'te inşa edilmiştir. Mimarları Behnisch ve partnerleri'dir. Strüktür mühendisleri ise Frei Otto, Leonhardt ve Andrae'dir. Bu stadyum, çadırların strüktürel ve görsel özelliklerine benzer özellikler taşır. 1972 yılında Olimpiyat Oyunları için tasarlanmıştır. Bu yapı futbol, binicilik ve dinlenme alanları içermektedir (Şekil 3.96) [4] [21] [31].



Şekil 3.96: Munich Olimpik Stadyumu, Behnish, Munich, 1972

Olimpik stadyumda, 14000 kişilik bir spor arenası vardır. Bunun içerisinde jimnastik, hendbol, basketbol ve diğer iç mekan aktiviteleri bulunmaktadır. Ayrıca 8.000 kişilik yüzme ve dalma alanları vardır. Bütün bu mekanlar yerin altına yerleştirilmişlerdir. Kablo çatılar, olimpiyat oyunları ve geniş gölge alanlar oluşturabilmek için en önemli elemanlardır. Bu kablolu strüktürel sistem 74000 m.²lik alanın üzerini örtmektedir. Ayrıca döneminde inşa edilmiş en büyük germe membran strüktürdür [4] [21] [31].

Bu yapı, çekme strüktürel sistemlerdeki gelişmelerin sonuçlandığını göstermektedir. Bu binada kullanılan strüktürel sistem, ön germeli kablodur. Ters ve çift eğimli asma sistemin karakteristik özelliğini alması bu sistemin rüzgar kuvveti karşısında direncini zayıflatmaktadır. Bu yapı, üç ayrı çapta çelik kablo içermektedir. Geniş bir ağ şeklindeki çatı, 25 mm. çapındaki kabloların ikişerli kullanılmasıyla ve bu ikişerli kabloların aralarında her yönde 76 cm. mesafe bırakılmasıyla oluşturulmuştur. Kabloların birleşim noktalarında mandal şeklinde kullanılmıştır. Ayrıca bu mandal birleşimler akrilik panelleri birleştirmede kullanılmıştır. Çatı ağının kenar çizgilerinde kullanılan kablolar 80 mm. çapındadır. En kalın kablo 120 mm. çapındadır. Bu kablolar çatının ağ kenar kablolarını yere birleştiren, ayrıca çatı ağını dikmelerin tepe noktalarına bağlayan kablolardır (Şekil 3.97) (Şekil 3.98) [21].



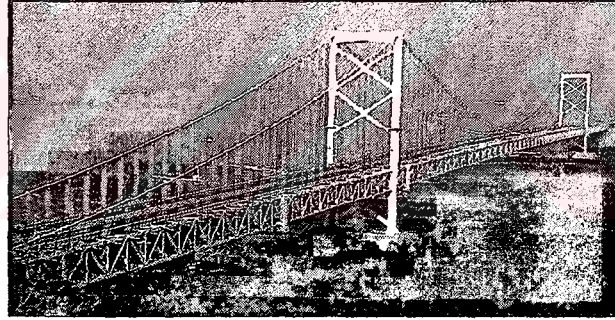
Şekil 3.97: Münih Olimpik Stadyumu, iç görünüşü Şekil 3.98: Münih Olimpik Stadyumu, kesiti

Strüktürel sistemin ilk aşamadaki düşey taşınması 12 tane boru çelik dikme tarafından sağlanmaktadır. Bunların yükseklikleri 50 m. ile 80 m. arasında değişmektedir. Bu dikmelerin çapları ise 3.5 m.'yi geçmektedir. Bu büyük dikmeler tribünlerin arkasında yer almaktadır. Çelik çatı ağ örtüsünü taşıyabilmek için, çelik kablolar herbir dikmenin tepe noktasına bağlanmıştır. Tribünün üzerindeki çelik çatı ağ örtüsü, zincir eğrisi bir çelik kablonun yardımı ile stadyumun bir tarafından diğer tarafına gerilmiştir. Sonuç olarak tribünün üzerindeki bu gölgelik dışarıdan bakıldığında, hiçbir destek almadan havada duruyormuş izlenimi vermektedir. Çelik çatı ağ, tribünlerin arkasına doğru çıkma yapmıştır. Çatının strüktürel sistemi tasarlanırken iki problem ortaya çıkmıştır. Çatı kaplaması olarak, ilk teklif polyvinylchloride üzeri polyester membran kaplama malzemesinin çelik ağ sisteminin altına konulmasıdır. Bu sistem aynen Montreal'deki Alman pavyonunda kullanılan sistemdir. Fakat iç mekanda renkli televizyonun izlenebilmesi ve ışıklandırma düzeninin sağlanabilmesi için rijit akrilik paneller kullanılmıştır. Bu paneller, çelik ağ kafesin üzerine yerleştirilmiştir. İkinci problem temeller ilişkilidir. Başlangıçta mühendisler, yerin altında ön germeli ankrajlar yerleştirerek strüktürel kabloları germeyi düşünmüşlerdir. Bu sistem birçok kalıcı strüktürel sistem için kullanılmaktadır. Fakat yerel yapı denetlicileri çok daha büyük, hantal ve maliyeti yüksek temeller ve devasa beton dayanaklar yapılmasını istemişlerdir. Bu temel ve dayanakların boyutları 18.3 m. derinlik ve 6.1m. genişliktedir. Fakat bütün bu zorluklar yapının görsel heyecanını ve mühendislik başarısını hiçbir zaman azaltmamaktadır. Ayrıca çatının en güzel görüntüsü koşu pisti tarafındadır. Bu

noktadan tırbün gölgeliklerinin sanki , ağırlıksız şeffaf olduğu ve havada uçuyormuş gibi bir etki yarattığı anlatılmaktadır [21] [31].

• Ohnaruto Köprüsü

Bu köprü, 1990 yılında, Japonya'da Honshu ve Shikoku adaları arasında inşa edilmiştir. Bu köprünün tasarımını Honshu-Shikoku köprü yetkilileri yapmışlardır. Honshu ve Shikoku adalarının birleştirilmesi için tasarlanan bu köprü deniz yatağındaki jeolojik ve coğrafik etkilere karşı dayanıklı bir şekilde yapılmıştır. Asma köprünün tasarımında dikkat edilen en önemli etken depremler ve tayfunlardır. Bu nedenle köprü yapılmadan önce strüktürel sistemin rüzgar kuvveti ve deprem kuvveti karşısındaki direnci test edilmiştir. Bu yapı sekiz büyüklüğündeki bir depreme dayanıklı şekilde inşa edilmiştir. Köprünün strüktürel yapısını asma sistem ve köprü yüzeyinde kullanılan kafes sistem oluşturmaktadır (Şekil 3.99) [6].

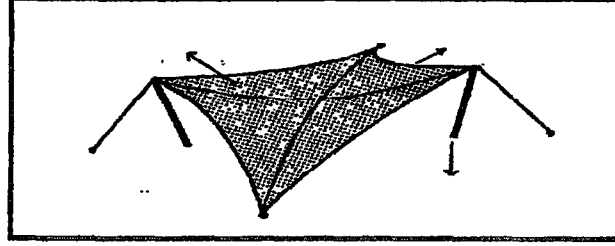


Şekil 3.99: Ohnaruto Köprüsü, Japonya, 1990

3.3.2. Çadırlar

Çadır, ince antiklastik germe membran olup kemer veya bir dikme tarafından taşınmaktadır. Çadır, iki eğrilikli kablo strüktürel sistemin bir varyasyonudur. Bu sistemlerde membran bütün çekme kuvvetlerine karşı direnç gösteren tek malzemedir. Küçük çadır sistemler tamamiyle membranlardan oluşmaktadır (Şekil 3.100). Geçilen açıklık arttıkça membranlarda oluşan çekme kuvvetleri artmaktadır. Bu nedenle membranların dirençleri, yüzeylerine eşit aralıklarla yerleştirilen kablolar ile artırılmaktadır. Bu kablolar ve membran malzeme, strüktürel sistemde oluşan

yükleri taşımaktadır. Eğer çadır sistemin kenar kısımları bağlanmamış ve esnek bırakılmış ise, sistem iç bükey şekil almaktadır. Bu şekil, membran sistemde oluşan çekme kuvvetlerini ifade etmektedir [4] [21].



Şekil 3.100: Küçük çadır sistemler

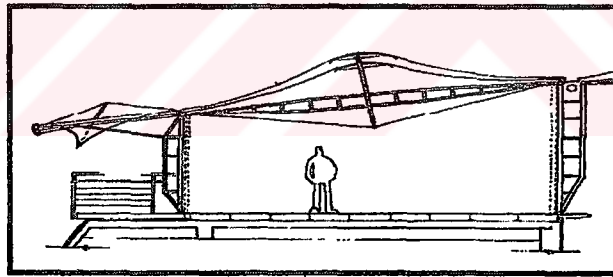
Membran sistemlerde kenar kısımları en büyük iç kuvvetlere sahip noktalardır. Genellikle çelik kablolar ile güçlendirilmektedir. Bu kabloların sıkıca bağlandıkları ankraj noktaları vardır. Bu noktalara kalın çelik kablo veya dikme bağlanmaktadır. Çelik kablo, çadır sistemde oluşan çekme kuvvetlerini temele ileten bir elemandır. Ayrıca çadır sistemlerde dikmeler basınç kuvvetlerini yeryüzeyine iletmektedir [21].

Horst Berger, çadır strüktürlerde yeni tasarımlar geliştiren bir mühendistir. Yazılarında malzeme ve teknolojik gelişmelerin son yıllarda önemli bir şekilde artmakta olduğunu belirtmiştir. Membran bir sistemdeki strüktürel basitlik, kuvvetlerin yönünün ve akışının görsel olarak algılanmasını sağlamaktadır [21].

Membran strüktürlerde, mimari form ve strüktürel fonksiyonlar bir bütündür. Çadır sistemlerin tasarlanabilmeleri için strüktürel sisteminin anlaşılması esastır. Çadırların strüktürel davranışlarını kavrayabilmek ve bu sistemleri tasarlayabilmek için kullanılan başka bir yol ise ölçekli modeller yardımıyla tasarım yapmaktır. Bu modellerde, hafif çift örgü membranlar kemerler, dikmeler ve kablolar tarafından desteklenmektedir. Ölçekli modellerin membran sistemlerinde minimum gerilme oluşmaktadır. Gerçek boyuttaki çadır sistemde membranda oluşan gerilme, ölçekli modelde oluşan gerilmeden çok daha fazladır. Bu nedenle çadırlarda kullanılan membran sistemler, yük altındaki gerilmelere göre seçilmektedir. Bu seçimde aralarındaki kalite ve özellikler de göz önüne alınır. Çadır strüktürler inşa edilmeden önce üç boyutlu modelleme ile gerilmiş membran sistemin şekli ve taşıyıcı

elemanların yerleri ayarlanır. Bu teknik yelkenli teknelerin tasarım ve yapımında da kullanılmaktadır. Ayrıca bu teknik yardımıyla yelkenli teknelerin aerodinamik yapıları bir daha test edilip kesinleştirilmektedir. Çağdaş çadır strüktürlerinin planlanmasında üç boyutlu bilgisayar modellemeleri, plan şeklinin oluşmasında ve strüktürel sistemin üzerinde oluşan çekme kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çadır sistemlerin rüzgara karşı stabil olabilmeleri, iki eğrilikli olarak tasarlanmalarıyla sağlanmaktadır [21].

Çadırlar merkez destekli strüktürel sistemlerle, asma köprülerle ve kablo destekli çift konsol sistemlerle aynı ailedendir. Merkez dikmelerle çok daha kolay bir şekilde taşınmaktadır. Fakat bu şekildeki çadır strüktürler, fonksiyonel açıdan istenmeyen sistemlerdir. Kemerler veya basınç kuvvetine karşı yapılmış kompleks strüktürel elemanlar, çadırlarda düşey desteklemenin sağlanabilmesi için kullanılmaktadır. Merkez destekli sistemlerde membranlarda oluşan çekme kuvveti, mantar şeklindeki dikmeler kullanılarak yükün geniş bir alan üzerine dağıtılmasıyla azalmaktadır (Şekil 3.101) [21].



Şekil 3.101: Imagination Binası, Herron Associates, Londra, 1994

Çadır sistemde membran olarak kullanılan malzemeler, güneş ışığı altında uzun süre kaldıkları zaman bozulmaktadır. Bu nedenle çadırlar geçici strüktürler olarak düşünülmektedir. Geliştirilmiş membranlar, özellikle fiberglaslar güneş ışımalarının oluşturduğu bozulmayı minimuma indirmektedir. 'Dupond Teflon' adındaki malzeme, membranların kullanılma sürelerini 20 yıla kadar çıkarmakta bu sistemlerin kalıcı strüktürler olarak kullanılmasını sağlamaktadır [21]. Çadır sistemler çelik kablolar ile desteklenirse bu strüktürlerin sınırlarını oluşturan çizgiler esnektir. Çadır strüktürel sistemlerdeki membran malzemedeki oluşan gerilme ve

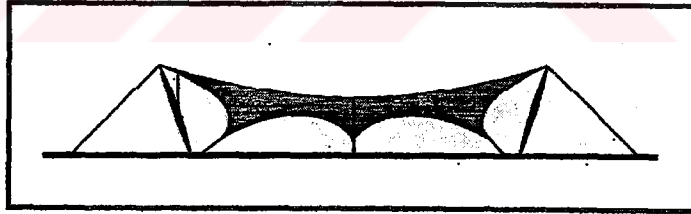
destek veren elemanlardaki basınç, çadır yüzeyinin kenar çizgilerini belirler. Duvarlar, kirişler ve kemerler gibi rijit sınırları olan elemanlar, membran yüzeyin kenar çizgilerinin kullanışlı kavislere sahip olabilmesi için çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Ayrıca bu elemanlar çadır sistemde oluşan bütün çekme kuvvetlerine karşı direnç göstermektedir [21].

3.2.2.1. Çadırların Sınıflandırılması

Çadır sistemler, yüksek noktalarından desteklenme durumlarına göre doğrudan desteklenen ve dolaylı desteklenen sistemler olmak üzere iki sınıfta toplanmaktadır [3]. Bu bölümün örnekleri (Tablo 3.6)'da gösterilmiştir.

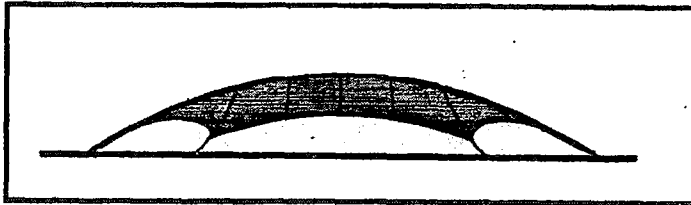
• Yüksek Noktalarından Doğrudan Desteklenen Çadır Sistemler

Bu sistemlerde membran örtü, desteklere doğrudan asılarak ankraj noktalarına gerdirilmektedir. Membran örtünün kenar kısımlarında yüksek nokta gerektiği uygulamalarda, örtü çevrede yerleştirilen direklerle desteklenmektedir (Şekil 3.102) [3].



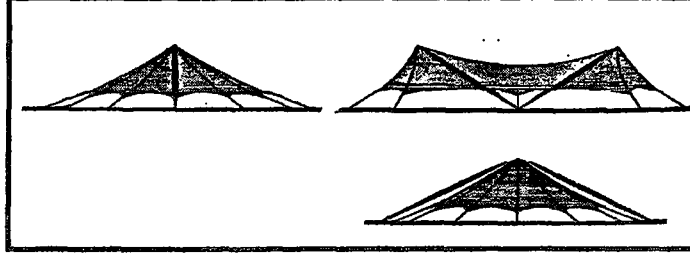
Şekil 3.102: Kenarları yüksek, direklerle desteklenmiş çadır

Membran örtü, mekanın aksından geçecek şekilde düzenlenen destek kemeri ile yükseltilebilmektedir (Şekil 3.103) [3].



Şekil 3.103: Yüksek noktaları kemerle desteklenmiş çadır

Çadır sistemde yüksek noktalar, membran örtünün iç direklerle desteklenerek oluşturulabildiği gibi, direklerle dışarıdan desteklenerek de düzenlenebilmektedir (Şekil 3.104) [3].

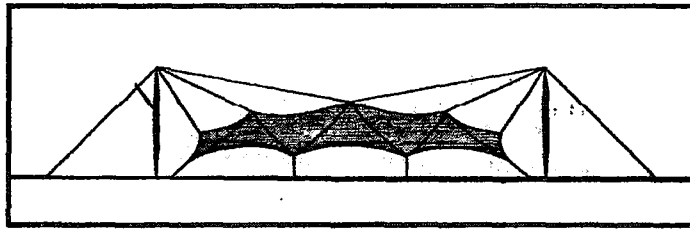


Şekil 3.104: Yüksek noktaları iç ve dış direklerle desteklenmiş çadır

• Yüksek Noktalarından Dolaylı Desteklenen Çadır Sistemler

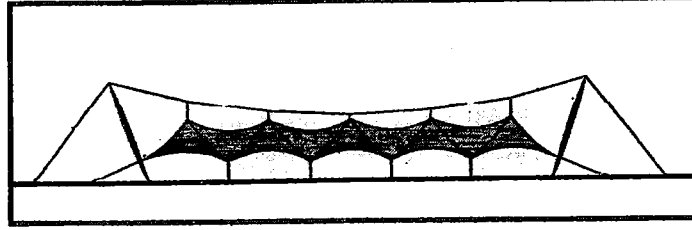
Daha büyük açıklıklı mekanların ara direksiz olarak örtülmesinin amaçlandığı bu sistemlerde direkler içte ve dışta düzenlenebilmektedir. Fakat membran örtü dolaylı olarak kablolar tarafından desteklenmektedir [3].

Membran örtü, üzerinde saptanan bazı noktalarından kablolarla gerilmektedir. Bu kablolar membran örtünün kenarında düzenlenen direklere asılmaktadır (Şekil 3.105) [3].



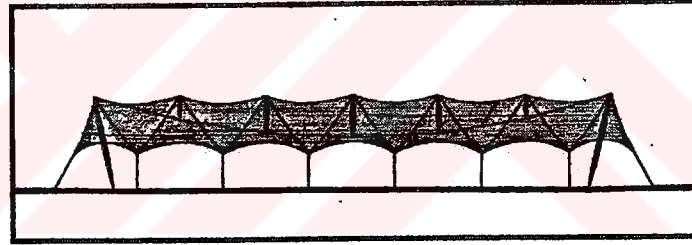
Şekil 3.105: Yüksek noktaları, kablolarla gerilmek suretiyle dolaylı desteklenen çadır sistem

Dolaylı olarak desteklenen çadır sistemlerde, yüksek noktalar oluşturmanın diğer bir yöntemi, membranın karşılıklı düzenlenen direkler arasındaki zincir eğrisi bir kabloya belirli noktalarından asılmasıyla oluşmaktadır (Şekil 3.106) [3].

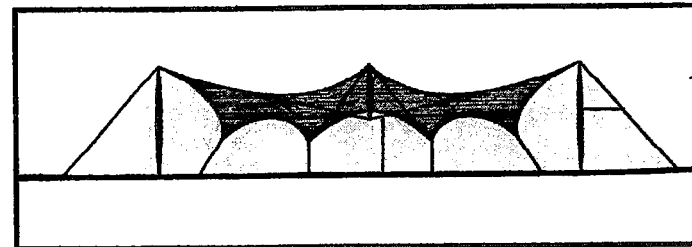


Şekil 3.106:Yüksek noktaları, membranın kablolarla asılarak taşınmasıyla oluşturulan sistem

Membran örtü, direkler arasına gerilen kabloların üzerine iç dikmeler oturtularak (Şekil 3.107), ya da örtü, dış destekler arasına gerilen gergi kabloları ve iç destekler yardımı ile taşınabilmektedir (Şekil 3.108) [3].


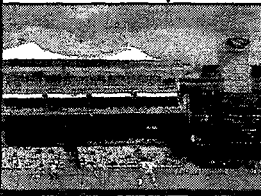


Şekil 3.107:Yüksek noktaları, membranın kablo destekli iç dikmeler ile taşınmasıyla oluşturulan sistem



Şekil 3.108: Gergi kabloları ve iç dikmelerle dolaylı desteklenen çadır sistem

Tablo 3.6: Çadır Sistem Yapı Örnekleri

3.2.2.2. Örnek Yapılar	
Hac Terminali, Kral Abdülaziz Uluslararası Havaalanı	
	Yer: Cidde, Suudi Arabistan
	Tarih: 1982
	Mimari: Skidmore, Owings & Merrill
Mounds Stands, Lord's Kriket Sahası	
	Yer: Londra, İngiltere
	Tarih: 1987
	Mimari: Michael Hopkins

- **Hac Terminal, Kral Abdülaziz Uluslararası Havaalanı 'Haj Terminal, King Abdul Aziz İnternational Airport'**

Hac Terminal binası, 1982 yılında Suudi Arabistan'da Cidde'de inşa edilmiştir. Mimarları Skidmore, Owings ve Merrill'dir. Strüktür mühendisleri Geiger Berger ve ortaklarıdır. Bu havaalanı, 950.000 hacının her yıl hac için Mekke'ye gelmesi nedeniyle, artan ihtiyaçların karşılanabilmesi için 1982 yılında yapılmıştır. Terminalin kapasitesi aynı anda 50.000 gelen yolcu, 80.000 giden yolcudur (Şekil 3.109) [4] [21].



Şekil 3.109: Hac Terminal, Kral Abdülaziz Uluslararası Havaalanı, Geiger Berger, Cidde, Suudi Arabistan, 1982

Terminalin tasarımında, mimarlar o bölgenin göçebelerinin kullandığı geleneksel bedevi çadırlarından örnek almışlardır. Terminalde kullanılan çadır strüktürel sistem, hac zamanı şehrin içerisinde gölge sağlamak için kurulan geçici çadır sistemlerden esinlenerek tasarlanmıştır. Mimarlar, o bölgenin yerli insanların çöl sıcaklığında çadır altında yaşamalarının bir sıcak bina içerisinde yaşamalarından çok daha kolay ve tercih edilir olduğunu öğrenmişlerdir. Ayrıca sıcak bir bölgede bulunan bir havaalanı terminalinde kullanılacak olan suni iklimlendirme, çok masraflı olmaktadır. Özellikle bu havaalanının yılın bazı özel günlerinde kullanımının artacak olması, suni iklimlendirme kullanımının gereksizliğinin başka bir nedenidir. Bütün bu etkenler çadır strüktürel sistemin seçilmesine neden olmuştur [4] [21].

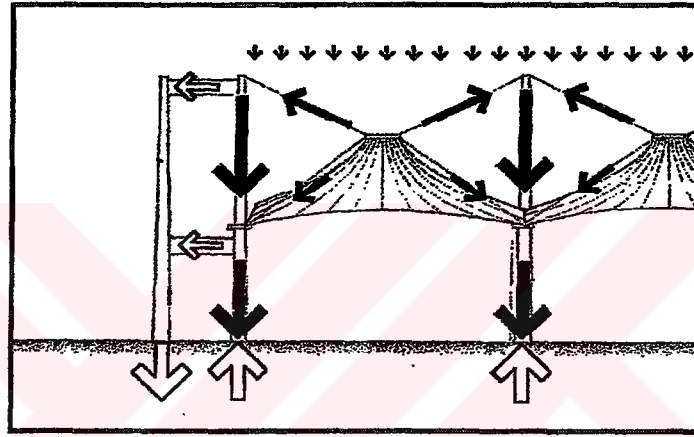
Çadırda kullanılan membran, yarı saydam ve gün ışığını terminalin içine yayan özelliğindedir. Geceleri, membran çatı yüzeyi, dikmelere monte edilmiş lambalardan gelen ışıkları yansıtmaktadır. Binanın içerisinde hava akımının oluşabilmesi, dolayısıyla iç mekanın serinleyebilmesi için çadırların formları ve yükseklikleri yeterlidir. Ayrıca çadır sistemlerin üzerlerinde açılan delikler hava akımının oluşmasını sağlamaktadır [21].

Havaalanının üzeri 430.000 m²'lik bir çadır sistem ile örtülmüştür. Dünyada yapılmış en büyük çadır sistemdir. Modüller olarak inşa edilmiştir. Modüllerin üzeri 39.4 m.'lik kare kenarlı konik formlu çadırlar ile örtülmüştür. 21 modül tek bir grup olarak kullanılmıştır. Toplam 210 çadır modül kullanılmıştır. Kapalı ve iklimlendirilmiş varış binası çadırların altında havaalanının apronlarına paralel olarak yerleştirilmiştir [4] [21].

Çadır sistem tepe noktasında bulunan 3.96 m. çapındaki çelik çekme çemberine bağlanmıştır. Ayrıca çadır sistem, çevresindeki kablolar tarafından dört köşeden taşıyıcı dikmelerin orta noktalarına bağlanmıştır. Çekme çemberi ise, iki noktadan kablolar ile dikmelerin tepe noktalarına bağlanmıştır. Teflon kaplamalı fiberglas membran çevre koşullarına 20 yıl dayanabilmektedir. Bu membran 32 tane çelik kablo tarafından güçlendirilmiştir. Bu kablolar membranın tepe noktasındaki çekme çemberi ile çadırın çevresinde bulunan kablolar arasına yerleştirilmiştir. Bu kablolar çekme kuvvetine karşı direnç göstermektedir. Membran sistem, çelik çekme çemberi ile kablolar arasına yerleştirildikten sonra, yarı konik bir şekil almaktadır. Membran sistemde oluşan çift eğim, rüzgarın membranda oluşturacağı titreşimleri azaltmaktadır [21].

Taşıyıcı dikmeler, 46 m. yüksekliğinde yukarı doğru incelen boru kesitli çelikten yapılmıştır. Başlangıç noktalarındaki çapları 2.5 m., tepe noktalarındaki çapları ise 1m.'dir. İç kısımdaki herbir dikme dört tane membran örtüye destek vermektedir. Dikmeler arasındaki membran örtünün oluşturduğu gerilme, sistemi stabil halde tutmaktadır. Bu yapının strüktürel sisteminde oluşan yatay etkileri rüzgar kuvvetleri oluşturmaktadır. Yapının kenarlarında kalan çadır modüllerindeki iç basınç,

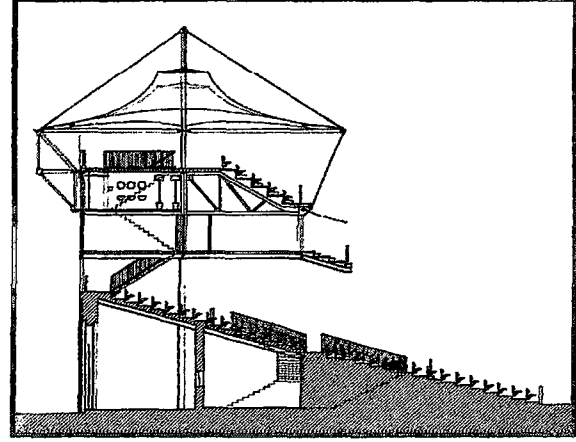
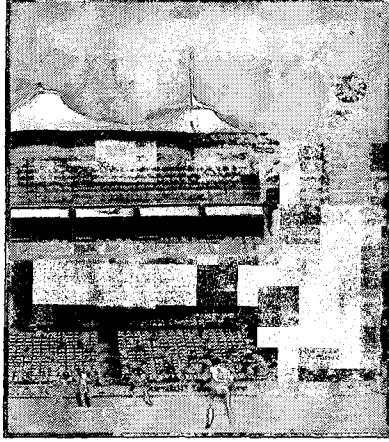
membranın tepesinde yer alan basınç çemberi ve dikmelerin ortasına bağlanmış çelik kablolar tarafından dengelenmektedir. Bu çelik kabloların oluşturduğu iç basınç nedeniyle yapının kenarındaki dikmeler ikişerli vierendeel çerçeve olarak kullanılmıştır. Böylelikle strüktürel sistemde oluşan dengelenmemiş yatay kuvvetlere karşı sistem dayanıklı hale getirilmiştir. Köşelerde, bu basınç kuvvetleri iki yönlü olmaktadır. Bu nedenle yapının köşelerinde, dörtlü dikmeler kullanılmıştır. Bu dikmeler, üç boyutlu bir kafes oluşturacak şekilde kümelenmiştir (Şekil 3.110) [21].



Şekil 3.110: Hac Terminali, iki boyutlu yük diagramı

- **Mounds Stands, Lord's Kriket Sahası 'Mounds Stands, Lord's Cricket Field'**

Bu yapı 1987 yılında Londra'da, Michael Hopkins ve ortakları tarafından yapılmıştır. Strüktürel mühendisleri ise Ove Arup ve ortaklarıdır. Hopkins membran strüktürel sistemleri kullanarak zarif bir çadır sistem oluşturmaya çalışmıştır. Bu strüktürel sistemin tasarımı, 17.yy'da çimlerin üzerine hafta sonlarında inşa edilen geçici strüktürlerden alıntıdır (Şekil 3.111) [6] [21].



Şekil 3.111: Mounds Stands, Lord's Kriket Sahası, Micheal Hopkins, Londra, 1987

Bu yapının strüktürel olarak bağımsız çalışan, tuğla duvardan yapılmış bir terası vardır. Çadır sistem 406 mm. çapındaki 6 tane tübüler çelik kolon tarafından taşınmaktadır. Bu kolonlar yapının omurgasını ve döşeme kirişlerini taşımaktadır. Yapının omurgası belli bir sayıdaki kirişin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu kirişler ara katlardaki ve üst katlardaki döşemeyi taşımaktadır. Binanın arkasındaki kirişler düzlem hatıllara bağlanmışlardır. Bu hatıllar yükleri düşey olarak yerleştirilmiş çelik çubuklara iletmektedir. Bu çelik çubuklar 18 m. aralıklarla yerleştirilmiştir [21].

Üst kattaki oturma kısmı membran ile kaplanmıştır. Membran çelik dikmelerin ve zincir eğrisi kabloların yardımı ile gerilmiştir. Membran sistem altı dikme tarafından taşınmaktadır. Herbir çadırın üzerinde bulunan çelik çemberler ile membran örtü gerilmektedir. Ayrıca çadır konik bir şekil alana kadar membran yukarıya kaldırılabilir [21].

Membran sistemin ilk olarak teflon kaplamalı fiberglass malzemedan yapılması düşünülmüştür. Yangın ihtimaline karşı daha sonra PVC kaplamalı polyester malzeme seçilmiştir. Membran bilgisayarla oluşturulmuş şablonlara göre kesilmiştir. Ayrıca yapıda kullanılan membran sistemde, altı dikme arasında kalan kısımlar ultrasonik dalga kaynağı ile birleştirilmiştir [21].

SONUÇ

Strüktürel sistemlerde geçilen açıklık ve malzeme seçimi çok önemlidir. Yapı malzemesinin taşıyıcı özelliğine ters düşen ve geçilmesi gereken açıklığa uygun olmayan taşıyıcı sistemle iyi bir mimari ortaya çıkarmak imkansızdır. Malzemenin ve strüktürün etkin bir şekilde kullanılacağı taşıyıcı sistemi seçmek mimarın görevidir. İyi bir mimari tasarım anlayışı, Vitruvius'un dediği gibi sağlam, kullanışlı ve estetik olmak zorundadır.

Mimaride strüktürel sistemlerin doğru bir şekilde uygulanması, iyi tasarımlar elde edilebilmesi için önemlidir. Fakat uygun strüktürel sistemlerin, mimari estetik ve fonksiyonel kaygılar nedeniyle göz önüne alınmadığı yapısal örnekler de bulunmaktadır.

Büyük açıklıklı çelik yapılarda, strüktürel sistemlerin göz önüne alınmaması mümkün değildir. Bu yapılarda strüktürel sistem, diğer yapılara nazaran çok daha büyük önem taşır. Ayrıca bu sistemlerin binanın fonksiyonel ve estetik boyutuna büyük etkisi vardır. Bu nedenle geniş açıklıklı çelik yapılarda, taşıyıcı sistem biraz daha dışa dönük ve binanın estetik boyutunu oluşturacak şekilde tasarlanmaktadır.

Büyük açıklıklı çelik sistemlerin; mimariye, taşıyıcı sisteme, uygulama ve inşaat katkuları diğer strüktürel sistemlerden daha üstündür. Kısaca özetlemek gerekirse bu sistemler;

- Mimariye; şeffaflık, hafiflik ve esneklik kazandırmaktadır.
- Taşıyıcı sisteme; depreme karşı iyi performans ve fabrika ortamında imal edildiği için yüksek üretim kalitesi sağlamaktadır.
- Uygulamaya; inşaat süresinin kısılması, kolon sayısının azalması, hafif olduğu için temel maliyetinin düşmesini gibi olumlu etkileri vardır.

Büyük açıklıklı çelik yapıların olumsuz yönleri olumlu yönlerinden çok daha azdır. Buna rağmen bir yapının konstrüksiyonuna karar verilirken, çelik yapıların olumsuz taraflarına her zaman dikkat edilmektedir. Çelik malzemenin olumsuz yönleri korozyon, yangına karşı dayanımın düşük olması, yüksek maliyeti ve kalifiye iş gücü gerektirmesidir.

Günümüzde mimaride çelik strüktürel sistemlerin kullanımının artması, High-Tech mimari gibi çelik malzemenin ağırlıklı kullanıldığı akımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu mimari akımlarda, strüktürel çelik sistemler yapılarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu strüktürel sistemler, yapıların tasarımlarında taşıyıcı sistemden başka binaların estetik yönünü oluşturan mimari elemanlardır.

Sonuç olarak büyük açıklıklı çelik yapı sistemlerinin gelişimi ve bu sistemlerin tasarımında mühendislik açısından sağlanan yenilikler, çelik konstrüksiyonlu yapıların bugünkü durumuna gelmesinde önemli etkileri olmuştur. Çelik taşıyıcı sistemler, dünyada büyük açıklıkları geçmekte tercih edilen ve modern mimariyi biçimlendiren strüktürler haline gelmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Aktuna, H.**, (1988). 'Uzay Kafes Strüktür ve Uygulamaları Üzerine bir Araştırma', *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Üniveristesi, İstanbul.
- [2] **Barış, Z.**, (1998). 'Metalin, Özelde Demir ve Çeliğin Yapıdaki Strüktürel İşlevinin Tarihsel Gelişim Çerçevesinde Araştırılması', *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [3] **Bayülgen, C.**, (1993). *Çağdaş Strüktür Sistemleri*, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [4] **Berger, H.**, (1996). *Light Structures*, Birkhäuser Verlag, Italy.
- [5] **Billington, D.**, (1983). *The Tower and The Bridge*, Basic Books Inc., U.S.A.
- [6] **Cerver, F.**, (2000). *The World of Contemporary Architecture*, Könemann, Italy.
- [7] **Chilton, J.**, (2000). *Space Grid Structures*, Architectural Press, England.
- [8] **Ching, F.**, (1991). *Building Construction Illustrated*, Reinhold, New York.
- [9] **Covan, H.**, (1980). *Architectural Structures*, Pitman, England.
- [10] **Davies, C.**, (1991). *High Tech Architecture*, Verlag Gerd Hatje, Stuttgart.
- [11] **Eggen, A. and Sandaker, B.**, (1995). *Steel Structure and Architecture*, Watson-Guptill Publications, New York.
- [12] **Elliott, C.**, (1992). *The Development of Materials and Systems for Buildings*, M.I.T.Press, U.S.A.

- [13] **Gerçek, C.**, (1979). *Yapıda Taşıyıcı Sistemler*, Doğu Matbacılık, Ankara.
- [14] **Gökçe, G.**, *Çağdaş Mimaride Strüktür*, *Akademi Mimarlık ve Sanat*, İstanbul Devlet Güzel Sanatlar Akademisi, Sayı 9.
- [15] **Güller, Ö.**, (1999). Orta Büyüklükteki Spor Salonlarında Taşıyıcı Sistem Tasarımı, Yapımsal Sorunları ve Çözüm Önerileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [16] **Hanour, A.**, (1998). *Principles of Structures*, Blackwell, U.S.A.
- [17] **Harris, J.**, (1996). *Masted Structures in Architecture*, The Bath Press, England.
- [18] **Joedicke, J.**, (1960). *A History of Modern Architecture*, Verlag, Germany.
- [19] **Koçak, N.**, (2002). Mimaride Direkli Strüktürlerin İncelenmesi ve Uygulanmış Örneklerin Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
- [20] **Makowski, Z.**, (1988). History of The Development of Braced Domes, *Domes From Antiquity to Present*, IASS – MSÜ Symposium, İstanbul.
- [21] **Moore, F.**, (1999). *Understanding Structures*, Mc Graw Hill, U.S.A.
- [22] **Osmanoğlu, E.**, (2002). Çelik Yapı Konstrüksiyonlarının Tarihsel Gelişimi ve Mimariye Sağladığı Olanakların Örnekleriyle İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Üniversitesi, İstanbul.
- [23] **Rapson, R.**, (1981). *Structural Systems*, Verlag Gerd Hatje, Germany.

- [24] **Salvadori, M. and Heller, R.**, (1980). Çeviren: H.Karataş, B. Utku. Mimarlıkta Taşıyıcı Sistem, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [25] **Salvadori, M.**, (1990). Why Buildings Stand Up, The Murrey Printing Company, U.S.A.
- [26] **Şener, H.**, (1992). A Study On Cable Structure with Emphasis On The Structure and Architectural Principles for Cable Roof Design, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [27] **Tekgüvercin, D.**, (2000). Uzay Kafes, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [28] **Uçar, M.**, (1998) Türkiye’de Çelik Taşıyıcı Sistemli Binaların Detaylandırılma Açısından İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Üniveristesi, İstanbul.
- [29] **Wardenier, J.and Dutta, D.and Yeomas, N.and Packer, J.and Bucak, Ö.and Sakae, K.**, (2001). Çeviren: A. Büyüktaşkın. Kutu ve Boru Profillerden Oluşan Çelik Konstrüksiyon Yapıların İmalat, Çatım ve Yerinde Montaj Esasları Hakkında Tasarım El Kitabı, Lebib Yalkın Matbaası, İstanbul.
- [30] **Wigginton, M.**, (1996). Glass in Architecture, Phaidon Press, Hong Kong.
- [31] **Wilkinson, C.**, (1991). Supersheds, Butterworth, England.

ÖZGEÇMİŞ

Kerimcan Apak, 1973 yılında Ankara'da doğdu. Şubat 2000'de Doğu Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nden birincilikle, mezun oldu. Ekim 2000'de MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Programı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılından beri Yeditepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

1999 yılında staj yaptığı mimari büro ile birlikte girdiği, Muğla Dalaman Havaalanı Uluslararası Terminal Binası yarışmasında satınalma ödülünü aldı. 2002 yılında Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi'ne, 'Cam ve Çelik Malzemenin Estetik Bağlamda Tasarımı' başlıklı bildiri ile katıldı.

