

**SİLİNDİR YÜZEYLİ UZAY KAFES SİSTEMLERDE
YÜKSEKLİK VE GEÇİLEN AÇIKLIK
BAKIMINDAN TEK VE ÇİFT TABAKALI
SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

90576

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

Kutluğ SAVAŞIR

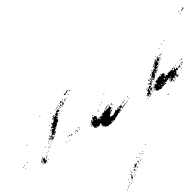
Aralık, 1999

İZMİR

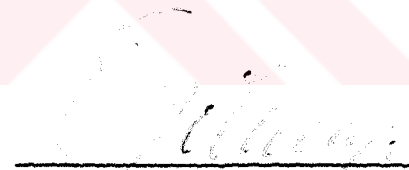
**TC. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

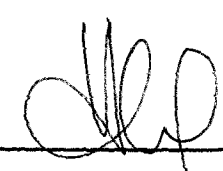
TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Atilla ORBAY
(Yönetici)


Doç. Dr. Mustafa Düzgün
(Jüri Üyesi)


Doç. Dr. Mustafa Düzgün
(Jüri Üyesi)


Prof. Dr. Cahit HELVACI
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca göstermiş olduğu her türlü yardım ve öneriler ile tezin bitmesinde büyük rol oynayan danışmanım Doç. Dr. Attila ORBAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca araştırma sırasında göstermiş oldukları yardımlardan dolayı Ergüven İnşaat Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti.'den inşaat mühendisi Uluğ Cam ile Uskon Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş.'ye ve Altınyıldız Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederim.

Tüm yaşantımda olduğu gibi bu tez süresince her türlü destek ve yardımlarından dolayı aileme de teşekkür ederim.

Kutluğ SAVAŞIR

ÖZET

Son yüz yılın ikinci yarısında çok sık olarak kullanılmaya başlanan uzay kafes sistemler, konvansiyonel sistemle yapılan ve aynı alanı örten uygulamalara göre çok daha hafif ve ekonomik olmaktadır. Bunun yanında konvansiyonel sistemler ile geçilemeyen açıklıkları uzay kafes sistemler rahatlıkla geçebilmektedir. Dolayısıyla uzay kafes sistemler en az malzeme ve en fazla verimin alındığı etkin strüktürler arasında yerlerini almışlardır.

Hazırlanan tez, sistem bileşenlerinin üretim ve montaj giderleri ile sistemin alacağı geometrik form açısından, silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerin kendi içinde bir karşılaştırmasından oluşmaktadır.

Birinci bölüm genel olarak uzay kafes sistemlerin tanımlarını, tarihi gelişim sürecini, uzay kafes sistemlerin statik çözümlenmesi ile ilgili genel varsayımları ve tezin amacını içerir. Tezin amacı, maliyet ve sistem ağırlığı bakımından silindir yüzeyli tek ve çift katlı uzay kafes sistemleri karşılaştırmak ve geometrik koşullara bağlı olarak en uygun çözümü bulmak olarak belirlenmiştir.

İkinci bölümde uzay kafes sistemler, strüktür geometrileri açısından düzlem ve eğri yüzeyli olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Daha sonra eğri yüzeyli uzay kafes sistemler; ‘silindir yüzeyli uzay kafes sistemler’, ‘jeodezik kubbeler’ ve ‘hiperbolik paraboloid yüzeyli uzay kafes sistemler” olarak üç grupta incelenmiştir. Ardından uzay kafes sistemi oluşturan bileşenler; ağırlıkları, üretim maliyetleri ve yüklere dayanımları açısından incelenmiştir. Ele alınan bu bileşenler; düğüm noktaları, çubuklar, konik parçalar, cıvatalar, somunlar, pimler ile aşık, eğim ve mesnet elemanlarıdır. Bu incelemeden sonra uzay kafes sistemlerin yapım ve montaj çeşitlerine değinilmiştir. Uzay kafes sistemin montaj şekli genel olarak yerde ve yerinde yapım olarak ikiye ayrılmıştır. Bu iki yöntem olumlu ve olumsuz yanları ile karşılaştırılmış, farklı durumlarda ki en uygun montaj şekilleri saptanmıştır. Son

olarak da günümüze kadar yapılmış olan uzay kafes sistemin kullanıldığı bina örneklerine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde uzay kafes sistemlerin ekonomik olması için gerekli olan kriterlere yer verilmiştir. Daha sonra silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerin maliyet ve ağırlığını etkileyen geometrik faktörler saptanmıştır. Bu geometrik faktörler; sisteme eğriliğini veren yayın geçtiği açıklık, bölünme sayısı ve geometrik şekli ile sistemin geometrik yüksekliği, mesnet sayısı, sistemdeki çubukların eksenlere göre simetrisi, sistemin tek veya çift katlı olması ve çift katlı sistem için iki kat arasındaki yüksekliktir. Tüm bu kriterlerin silindir yüzeyli uzay kafes sistemin maliyetine ve ağırlığına olan etkileri bu bölümde incelenmiş ve sonuçlar çıkarılmıştır. Çıkan bu sonuçlar, grafik ve tablolar yardımıyla karşılaştırılarak sunulmuştur.

Sonuç bölümünde ise üçüncü bölümde elde edilen veriler yorumlanmıştır. Sonuç bölümünde bulunan verilerin tüm silindir yüzeyli uzay kafes sistemleri kapsayan genel sonuçlar olmasına dikkat edilmiştir. Bunun yanında bulunan sonuçların tümünü sonsuz sayıda yapılabilen silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerin hepsinde bulmak mümkün olmayabilir. Önemli olan üçüncü bölümde bahsedilen geometrik faktörlerin değişiminin, sistemde yarattığı etkilerin saptanmasıdır.

ABSTRACT

In the second half of the last century, space frame which have often been used are more economical and lighter than the ones which have been built according to the conventional system and the ones which cover the same area. Besides, space frame can easily cover the spacings which cannot be covered by conventional systems. Because of this space frame take their place in active structures which gain the least material and the most products.

The thesis which has been prepared consist the comparision of “Braced Barrel Vault” and “Space Frame” from the point of the products and the montage expenses of the system components and from the point of the geometrical from which the system will get.

The first part consists the introductions of space frame, the process of its historical improvement, the hypothesis which are related to the static solution of space frame and the purpose of the thesis. The purpose of the thesis has been planned to compare the cylinder surface one or two storeys space frames from the point of the system cost and heaviness and to find the most suitable solution according to the geometrical conditions.

In the second part, space frame have been divided into two parts which are “curve” and “plane” from the view of geometrical structure. Then, curved surface space frame are examined in three groups such as; “Braced Barrel Space Frame”, “Jeodezic Domes” and “Hyperbolic Paraboloid Surfaced Space Frame”. In the following parts, the components which consist to their heaviness, their cost of products, their load resistance. These components are the elements of nodes, bar elements, conic pieces, bolts, female screws, pins, purlins and declinations, bearers. After this study, it has been pointed out the varieties of the montage from of space frame has generally been divided into two such as; the in-situ construction and ground surface construction. These two methods are compared according to their

good or bad sides and the most suitable montage forms have been set up in different situations. Lastly, the recent examples of space frame buildings have been given.

In the third part, the essential criteria for space frame to be economical have been mentioned. Then, the geometrical factors which affect the cost and heaviness of Braced Barrel Vault System have been set up. These geometrical factors are; the spacing which the arc that gives the curvature of the system passes through, the number of division, the geometrical form with the geometrical height of the system, the number of supports the symmetry of the beading according to the axis, the one or two storeys of the system, the height between the two storeys of the double storeys system. The effects of all these criteria to the cost and heaviness of space frame have been examined in this part and some results have been given by comparing with the help of some graphic diagrams and tableaux.

At the last part, the datum in the third part have been explained. It has been regarded that all these results must be the general results of braced barrel vault systems. Besides, it can't be possible to find all these results in all braced barrel vault systems. The most important thing is to establish the effects of the changing of geometrical factors which have been mentioned in the third part.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	VI
RESİMLERİN LİSTESİ	IX
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	XII
TABLoların LİSTESİ	XIV
GRAFİKLERİN LİSTESİ	XVII

BİRİNCİ BÖLÜM

1.1. GİRİŞ	1
1.2. UZAY KAFES SİSTEMİN TANIMI	2
1.3. SİSTEMİN KISA TARİHÇESİ	4
1.4. SİSTEMİN STATİK ÇÖZÜMLENMESİ İLE İLGİLİ VARSAYIMLAR	7
1.5. TEZİN AMACI	8

İKİNCİ BÖLÜM

2.1. STRÜKTÜR GEOMETRİSİ AÇISINDAN SINIFLANDIRMA	9
2.1.1. Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler	11
2.1.2. Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler	14
2.1.2.1. Silindir Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler	15
2.1.2.2. Jeodezik Kubbeler	19
2.1.2.3. Hiperbolik Paraboloid Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler	21
2.2. SİSTEMDE KULLANILAN ELEMANLAR VE ÖZELLİKLERİ	22
2.2.1. Düğüm Noktaları	22
2.2.1.1. Mero Sistemi	23

2.2.1.2. İçi Boş Küre Sistemi	26
2.2.1.3. Triodetik Sistem	27
2.2.1.4. Moduspan Sistemi	29
2.2.1.5. Unibat Sistemi	30
2.2.2. Çubuklar ve Konik Parçalar	32
2.2.3. Cıvata, Somun ve Pimler	34
2.2.4. Aşık ve Eğim Elemanları	36
2.2.5. Mecnct Bileşenleri	37
2.3. SİSTEMİN YERİNE YARLEŞTİRİLMESİ	40
2.3.1. Yerinde Yapım	40
2.3.1.1. Yarım Küre Geometrilili Sistemlerin Yerinde Yapımı	41
2.3.1.2. Düzlem Yüzeyli Kafes Kirişlerin Yerinde Yapımı	42
2.3.1.3. Hareketli İskeleler Yardımıyla Yerinde Yapım	44
2.3.2. Yerde Yapım	46
2.3.2.1. Vinçle Taşıma	46
2.3.2.2. Lift-Slab Yöntemiyle Taşıma	49
2.3.2.3. Pnömatik Balonlarla Kaldırma	53
2.3.2.4. Merkez Pilon Yöntemiyle Kaldırma	54
2.3.2.5. Helikopterle Taşıma	55
2.4. UZAY KAFES SİSTEMLERİN UYGULANDIĞI YAPILARDAN	
ÖRNEKLER	56
2.4.1. Osaka 1970 Tema Pavyonu	56
2.4.2. Antalya Atatürk Fuar ve Kongre Merkezi	58
2.4.3. Abdi İpekçi Kapalı Spor Salonu	59
2.4.4. Hangar Projesi	61
2.4.5. Serangoon Gardens	62
2.4.6. Shopping Arcades	63
2.4.7. Montreal 1967 A.B.D. Pavyonu	64
2.4.8. Osaka 1970 Batı Almanya Pavyonu	65

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3.1. UZAY KAFES SİSTEMLERDE EKONOMİKLİK KRİTERLERİ	67
3.2. SİSTEM MALİYETİNİ VE AĞIRLIĞINI ETKİLEYEN GEOMETRİK FAKTÖRLER	68
3.2.1. Sisteme Eğriliğini Veren Yayın (Doğuray) Geçtiği Açıklığın (AC) Değişiminin Etkisi	71
3.2.2. Sistemin Geometrik Yükseklik (H) Değişiminin Etkisi	80
3.2.3. Sisteme Eğriliğini Veren Yayın Bölünme Sayısı -Frekans-(F) Değişiminin Etkisi	89
3.2.4. Sistemde Kullanılan Mesnet Noktası Sayısındaki (M) Değişimin Etkisi	99
3.2.5. Sistemde Kullanılan Çubuk Tipi Sayısı ve Kiriş Yüksekliği	106
3.2.6. Sistem Çubuklarının Eksenlere Göre Simetrisinin Değişiminin Etkisi	113
3.2.7. Sisteme Eğriliğini Veren Yayın Geometrisindeki Değişimin Etkisi	120
3.2.8. Sistemin Tek veya Çift Katlı Olmasının Etkisi	122
SONUÇ	125
KAYNAKLAR	129

RESİMLER

	<u>Sayfa</u>
Resim.I-1: Uzay Strüktürler İle Oluşturulan İlk Uçak Örneği.	5
Resim.II-1:Uzay Kafes Kiriş İle Yapılmış Bir Üst Örtü.	12
Resim.II-2: Düzlem Yüzeyle Uzay Kafes Kiriş Örneği.	13
Resim.II-3: Eğik Yüzeyle Uzay Kafes Kiriş Örneği.	13
Resim.II-4: Katlanmış Yüzeyle Uzay Kafes Kiriş Örneği.	14
Resim.II-5: Katlanmış Yüzeyle Uzay Kafes Kiriş Örneği.	14
Resim.II-6: Tek Katlı Çember Kesitli Tonoza Çatılı Uzay Kafes Sistem.	16
Resim.II-7: Tek Katlı Parabol Kesitli Tonoza Çatılı Uzay Kafes Sistem.	16
Resim.II-8: Çift Katlı Çember Kesitli Tonoza Çatılı Uzay Kafes Sistem.	17
Resim.II-9: Çift Katlı Çember Kesitli Tonoza Çatılı Uzay Kafes Sistem.	17
Resim.II-10: Çift Katlı Parabol Kesitli Tonoza Çatılı Uzay Kafes Sistem.	18
Resim.II-11: Çift Katlı Elips Kesitli Tonoza Çatılı Uzay Kafes Sistem.	19
Resim.II-12: Daire Planlı Jeodezik Kubbe.	20
Resim.II-13: Elips Planlı Jeodezik Kubbe Örneği.	20
Resim.II-14: Mero Sistemi İle Üretilen Düğüm Noktası Örneği.	23
Resim.II-15: En sık kullanılan küreler.	24
Resim.II-16: 18 Delikli Küre.	25
Resim.II-17: 6 Delikli Küre.	25
Resim.II-18: Mero Sistem Bileşenleri.	25
Resim.II-19: Triodetik Sistem ile Üretilen Düğüm Noktası Örnekleri.	27
Resim.II-20: 6 Çubuklu Birleşim.	28
Resim.II-21: 9 Çubuklu Birleşim.	28
Resim.II-22: Triodetik Sistemle İnşa Edilen Bir Uzay Kafes Çatı Örneği.	28
Resim.II-23: Moduspan Sisteminde Kullanılan Bileşenler.	29

Resim.II-24: Moduspan Sisteminin Uygulanma Şekli.	29
Resim.II-25: Unibat Sistemde Modüllerin Montajı.	31
Resim.II-26: Unibat Sistemde Modüllerin Montajı.	31
Resim.II-27: Uzay Kafes Sistemlerde Kullanılan Çelik Çubuklar.	32
Resim.II-28: Düğüm Noktası İle Çubukların Birleştirilmesi.	34
Resim.II-29: Cıvatalar Sıkıldıktan Sonra Sistemin Görünüşü.	34
Resim.II-30: Bileşenlerin Yerinde Montaj Aşaması.	41
Resim.II-31: En üst Sırayı Birleştiren İşçiler.	41
Resim.II-32: Sistemin Son Hali.	42
Resim.II-33: Elemanları Birleştiren İşçiler	42
Resim.II-34: İlk Sıranın Yerleştirilmesi.	43
Resim.II-35: İşçilerin Havada Montajı.	43
Resim.II-36: Yerinde Yapım Sırasında Bir İşçi.	44
Resim.II-37: Hareketli İskele İle Yerinde Yapım.	45
Resim.II-38: Montaj Anında İşçiler.	45
Resim.II-39: Vinçle Kaldırmadan Önce Yerde Birleştirilen Sistem.	46
Resim.II-40: Tek Vinçle Kaldırma.	47
Resim.II-41: Çift Vinçle Kaldırma.	47
Resim.II-42: Vinçle Sistemin Yerine Yerleştirilmesi.	48
Resim.II-43: Kaynak Sırasında İşçiler.	48
Resim.II-44: Jeodezik Kubbeyi Kaldıran Bir Vinç.	49
Resim.II-45: Sistemin Yerine Kaldırılması.	50
Resim.II-46: Yardımcı Kuleler ile Kaldırma.	51
Resim.II-47: Kalıcı Kulelerle Kaldırma.	51
Resim.II-48: Yerdeki Birleşim Aşaması ve Kulelerin Yerleştirilmesi.	52
Resim.II-49: Sistemin Yerine Kaldırılması.	52
Resim.II-50: Sistemin Yerine Sabitlenmesi.	52
Resim.II-51: Merkez Pilon Yöntemi ile Kaldırma.	54
Resim.II-52: Merkezdeki Pilon Söküldükten Sonra Sistemin Görünüşü.	54
Resim.II-53: Helikopterle Taşıma.	55
Resim.II-54: Helikopterle Taşıma.	55

Resim.II-55: Tema Pavyonu'nun Görünüşü.	57
Resim.II-56: Antalya Atatürk Fuar ve Kongre Merkezinin İç ve Dış Görünüşü.	59
Resim.II-57: Abdi İpekçi Kapalı Spor Salonunun Görünüşü.	60
Resim.II-58: Serangoon Gardens'ın Dış Görünüşü.	62
Resim.II-59: Serangoon Gardens'ın İç Görünüşü.	62
Resim.II-60: Shopping Arcades'in İç Görünüşü.	64
Resim.II-61: Montreal 1967 A.B.D. Pavyonunun Dış Görünüşü.	65
Resim.II-62: Osaka 1970 Batı Almanya Pavyonu'nun Dış Görünüşü.	66



ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil.I-1. Düğüm Noktasının Merkezinde Tek Bir Noktada Kesişen Çubuk Eksenleri.	8
Şekil.II-1: Doğuray ve Doğrultman Yönleri.	9
Şekil.II-2: İçi Boş Küre Sistemi ve Montaj Elemanları	26
Şekil.II-3: Unibat Sistemi İle Üretilen Piramit Modüller.	30
Şekil.II-4: Modüllerin Montaj Şekli.	30
Şekil.II-5: Aşık ve Eğim Elemanı Detayı.	36
Şekil.II-6: Aşık ve Eğim Elemanı Detayı.	36
Şekil.II-7: Aşık ve Eğim Elemanı Detayı.	37
Şekil.II-8: Hareketli Mesnet Detayı.	38
Şekil.II-9: Hareketli Mesnet Detayı.	38
Şekil.II-10: Hareketli Mesnet Detayı.	39
Şekil.II-11: Sabit Mesnet Detayı.	39
Şekil.II-12: Hareketli İskele Yardımıyla Yerinde Yapım.	45
Şekil.II-13: Lift-Slab Yönteminin Çalışma Prensibi.	50
Şekil.II-14: Kaldıraçlar.	50
Şekil.II-15: Pnömatik Balonla Kaldırma.	53
Şekil.II-16: Uçak Hangarı Projesinin Çizimleri.	61
Şekil.III-1: Doğuray ve Doğrultman Yönleri.	69
Şekil.III-2: AC, H ve L ile Tanımlanan Uzunluklar.	69
Şekil.III-3: 20 Metre Açıklıklı Sistem.	71
Şekil.III-4: 40 Metre Açıklıklı Sistem.	71
Şekil.III-5: 7.5 metre yükseklikli sistem.	80
Şekil.III-6: 15 metre yükseklikli sistem	80

Şekil.III-7: Frekansı 16 Olan Sistem.	89
Şekil.III-8: Frekansı 26 Olan Sistem.	89
Şekil.III-9: 4 Noktadan Mesnetli Sistem.	99
Şekil.III-10: 8 Noktadan Mesnetli Sistem.	99
Şekil.III-11: 2 Metre Kiriş Yüksekliğine Sahip Olan Sistem.	106
Şekil.III-12: 2,90 Metre Kiriş Yüksekliğine Sahip Olan Sistem.	106
Şekil.III-13: Çift Yönde Simetrik Çubukların Kullanıldığı Sistem Örneği.	113
Şekil.III-14: Tek Yönde Simetrik Çubukların Kullanıldığı Sistem Örneği.	113
Şekil.III-15: Tek Katlı Uzay Kafes Sistem.	122
Şekil.III-16: Çift Katlı Uzay Kafes Sistem.	122



TABLOLAR

	<u>Sayfa</u>
Tablo.II-1: Strüktür Geometrisi Açısından Uzay Kafes Kiriş Örnekleri.	10
Tablo.II-2: Mero Sistemi Küre Çapları, Ağırlıkları ve Fiyatları.	24
Tablo II.3: İçi Boş Küre Sistemi İle Üretilen Bazı Kürelerin Ağırlıkları ve Fiyatları.	27
Tablo.II-4: ST 37-2, ST 52-3 Çelik İçin Çekme ve Akma Gerilmeleri.	32
Tablo.II-5: Standart Boru Ölçüleri.	33
Tablo.II-6: Cıvata, Somun ve Pim İçin Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri.	35
Tablo.II-7: Cıvatalarla Somunların Çap ve Fiyatları.	35
Tablo.II-8: Mesnet Noktalarının Çapları ve Fiyatları.	39
Tablo.III-1: Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Açıklık Değişimine Göre Karşılaştırılması.	73
Tablo.III-2: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	75
Tablo.III-3: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	76
Tablo.III-4: Açıklık Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	77
Tablo.III-5: Açıklık Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	78
Tablo.III-6: Açıklık Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	79
Tablo.III-7: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Karşılaştırılması.	82

Tablo.III-8: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	84
Tablo.III-9: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	85
Tablo.III-10: Geometrik Yüksekliğin Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	86
Tablo.III-11: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	87
Tablo.III-12: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	88
Tablo.III-13: Frekans Değişimine Göre Sistem Bileşen Sayılarının Karşılaştırılması.	90
Tablo.III-14: Frekans Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Uzunluğunun Karşılaştırılması.	92
Tablo.III-15: Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	93
Tablo.III-16: Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	94
Tablo.III-17: Frekans Değişimine Göre Düğüm Elemanları Maliyetinin Göreceli Karşılaştırılması.	96
Tablo.III-18: Frekans Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	97
Tablo.III-19: Frekans Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması	98
Tablo.III-20: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Seçilen Örnek Çubuk* Enkesit Alanının Karşılaştırılması.	101
Tablo.III-21: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlığı Karşılaştırılması.	102
Tablo.III-22: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	103
Tablo.III-23: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Ağırlığı Karşılaştırılması.	104

Tablo.III-24: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	105
Tablo.III-25: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Basınca Çalışan Örnek Çubuğun Enkesit Alanının Karşılaştırılması.	108
Tablo.III-26: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	109
Tablo.III-27: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	110
Tablo.III-28: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	111
Tablo.III-29: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	112
Tablo.III-30: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Ağırlıkları Karşılaştırılması.	115
Tablo.III-31: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	116
Tablo.III-32: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Düğüm Elemanları Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	117
Tablo.III-33: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	118
Tablo.III-34: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	119
Tablo.III-35: Silindir Yüzeyle Uzay Kafes Sistem Geometrilere.	120

GRAFİKLER

	<u>Sayfa</u>
Grafik.III-1: Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Açıklık Değişimine Göre Karşılaştırılması.	73
Grafik.III-2: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	75
Grafik.III-3: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	76
Grafik.III-4: Açıklık Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	77
Grafik.III-5: Açıklık Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	78
Grafik.III-6: Açıklık Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	79
Grafik.III-7: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Karşılaştırılması.	82
Grafik.III-8: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	84
Grafik.III-9: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	85
Grafik.III-10: Geometrik Yüksekliğin Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	86
Grafik.III-11: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	87
Grafik.III-12: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	88

Grafik.III-13: Frekans Değişimine Göre Sistem Bileşen Sayılarının Karşılaştırılması.	90
Grafik.III-14: Frekans Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Uzunluğunun Karşılaştırılması.	92
Grafik.III-15: Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	93
Grafik.III-16: Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	94
Grafik.III-17: Frekans Değişimine Göre Düğüm Elemanları Maliyetinin Göreceli Karşılaştırılması.	96
Grafik.III-18: Frekans Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	97
Grafik.III-19: Frekans Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	98
Grafik.III-20: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Seçilen Örnek Çubuk* Enkesit Alanının Karşılaştırılması.	101
Grafik.III-21: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlığı Karşılaştırılması.	102
Grafik.III-22: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	103
Grafik.III-23: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Ağırlığı Karşılaştırılması.	104
Grafik.III-24: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	105
Grafik.III-25: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Basınca Çalışan Örnek Çubuğun* Enkesit Alanının Karşılaştırılması.	108
Grafik.III-26: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	109
Grafik.III-27: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	110

Grafik.III-28: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	111
Grafik.III-29: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	112
Grafik.III-30: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Ağırlıkları Karşılaştırılması.	115
Grafik.III-31: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	116
Grafik.III-32: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Düğüm Elemanları Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	117
Grafik.III-33: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.	118
Grafik.III-34: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.	119

BİRİNCİ BÖLÜM

1.1. GİRİŞ

Uzay kafes taşıyıcı sistemleri XX. Yüzyılın ikinci yarısı içinde dikkat çekmiş ve uygulanmıştır. Bunda en önemli neden, bu sistemin diğer sistemlere göre yapısal üstünlükleri, rijitliği ve hafifliğidir. Yani “Uzay strüktürler olarak adlandırılan bu üç boyutlu çubuk sistemler belli koşulların sağlanmasıyla sadece basınç ve çekme kuvvetleriyle etkilenecek eğilme durumunun baskın olduğu taşıyıcı sistemlere oranla daha etkin olmaktadır”(TÜRKÇÜ, 1982, s.1.).

Uzay kafes sistemleri, özellikle geniş açıklıkları mekan ortasında kolon kullanmadan veya az sayıda kolon kullanarak örtmede son derece elverişlidir. Son yıllarda sergi salonları, kiliseler, yüzme havuzları, endüstri binaları, hangarlar, okul binaları ve alışveriş merkezleri gibi geniş açıklıkları olan ve sık düşey taşıyıcı istenmeyen hacimleri örtmek için kullanılmışlardır. Uzay kafes sistemleri, doğru olarak planlandığı takdirde diğer sistemlere göre daha az malzeme gerektirmekte, dolayısıyla daha ekonomik olmaktadır.

“Uzay kafes sistemleri ile ilgili ilk uluslararası konferans ‘Surrey Üniversitesi’ tarafından hazırlanmış ve 1966 yılında Londra’da yapılmıştır. Bu konferans aynı zamanda 1966 yılına kadar yapılan üç boyutlu yapıların iskeletlerinin gelişmesini gözden geçirme fırsatı olmuştur” (YAZICI, 1989, s.2.).

Uluslararası sergiler, konstrüksiyonları deneme, yeni malzemeleri kullanma, yeni konstrüksiyon tekniklerini uygulama konularında tasarımcıyı teşvik etmektedir. Montreal 1967’deki A.B.D. Pavyonu ve Osaka 1970’deki Tema Pavyonu uzay kafes sistemlerin yapıda kullanılan ilk denemelerindendir. Bunlar günün teknolojik

gelişmelerini ve teknik yenilikleri yansıtır. Bu sergilerin her birinde uzay kafes sistemleri, üç boyutlu strüktürlerin modern mimari ve inşaat mühendisliği üzerindeki etkilerini göstermiştir.

Uzay kafes sistemler, basit prefabrike bileşenler ile inşa edilirler. Bu bileşenler;

- çelik çubuklar(boru elemanlar),
- düğüm noktaları (küre elemanlar),
- cıvata ve somunlar,
- aşık ve eğim elemanlarıdır.

Genel olarak dört ana bileşenden kurulabilmesi, bu sistemleri prefabrikasyon için ideal kılmaktadır. Uzay kafes sistemleri oluşturan bileşenler, standart ölçü ve şekildedirler. Prefabrikasyonun hızlandığı son otuz yıllık dönemde uzay kafes sistemler etkin özellikleri bakımından mimaride önemli bir yer tutmaktadır. “Bu yapı sistemlerinin esası, modüler, prefabrik ve genellikle standart ölçü ve şekillerdeki çok sayıda elemanların birleştirilmesiyle hafif fakat çok rijit üç boyutlu yapılar teşkil etmektir” (SAĞIROĞLU, 1992, s.75.). Seri üretim ile üretilen bu elemanlar fazla hüner istemeden kolay ve çabuk olarak monte edilirler. Parçaların küçüklüğü ve hafifliği nedeni ile kolay taşınırlar ve fabrikalarda kalite kontrolünden geçtikleri için de boyutlarında, milimetrik duyarlılıklar vardır.

1.2. UZAY KAFES SİSTEMİN TANIMI

“*Uzay kafes sistemler* terimi, mimarlık ve inşaat mühendisliği dünyasında ‘dengede durabilmek için üç boyutlu mekanlara gereksinim duyan ve yük taşıyan strüktürler’i ifade etmek için kullanılır” (EEKHOUT, 1989, s.11.). Bu tanıma aslında tüm mimari yapılar için de geçerli olduğundan karşı çıkılabilir. Fakat yapılar üçüncü boyutta dengede olmazlarsa ayakta duramazlar. “*Makaslı bir yapı ‘kompoze’ bir strüktürdür. Böyle bir çatı, birbirinden ayrı düz makaslardan, dikey kolonlardan, tepedeki aşıklar ile duvar panellerindeki ve çatı düzlemlerindeki rüzgar*

çubuklarından oluşur. Bu kompoze yapı uzaydadır fakat iki boyutlu elemanlardan oluşur. Bunlar ayrı ayrı hareket eden bileşen elemanlar olarak analiz edilemezler. Uzay kafes sistemler ise gerçek üç boyutlu strüktürlerdir”(EEKHOUT, 1989, s.11.).

Bir diğer kaynakta ise uzay kafes sistemler; “Birden fazla düzlem içindeki çubuk ve düğüm noktalarından oluşan ve yükleri, uzay içinde üç boyuta dağıtan bir taşıyıcı sistemdir”(TÜRKÇÜ, 1982, s.3.) şeklinde tanımlanmaktadır.

Ayrıca Dizayn Konstrüksiyon dergisinde; “Uzay sistem; üç boyutlu, yüksek ölçüde rijit boru ve kürelerden oluşan, geniş açıklıkları geçmede kullanılan prefabrik çelik bir konstrüksiyon türüdür”(ALAÇAM, 1992, s.40.) ve “Uzay kafes sistemleri, düzlem ya da eğri birbirleriyle düğüm noktalarından bağlı çubuklar ağından kurulu düzenlerdir” (ÖZŞEN, 1991, s.57.) şeklinde tanımlanmaktadır.

“Uzay strüktürlerin taşıyıcı elemanlarını içine almak için en az iki düzlem gereklidir. Bu nedenle en basit uzay strüktür aynı düzlem içinde olmayan üç çubuğun bir düğüm noktasında birleşmesi ile bulunur” (TÜRKÇÜ, 1982, s.3.).

Farklı bakış açılarına göre Uzay Kafes Sistemleri şu şekillerde de tanımlayabiliriz. *“Strüktürel Olarak: Uzay kafes sistemler, üç boyutlu analiz edilebilen taşıyıcı strüktürlerdir. İki boyutlu elemanlar gibi analiz edilemezler. İngilizce’de kullanılan ‘Space Structures’ veya ‘Spatial Structures’ terimleri, ‘Spatially Stabilised Structures’ teriminin kısaltılmış halleridir. Almanca’da ise ‘Ruimte’ ve ‘Ruimtelijske Constructies’ kelimeleri” ile anlatılmaktadır.*

Mimari Olarak (Arkitektonik): Uzay kafes sistemler, ferahlık etkisi olan strüktürlerdir. Mekan içindeki kişilerin çevresindeki tüm üç boyutları içeren ferah sistemlerdir. Gerçekte mimari çekicilik uzay strüktürleri inşa etmenin başlıca nedenleridir.

Fonksiyonel Olarak: Uzay kafes sistemlerin bir yapı olarak çalışmaları için bir mekana ihtiyaçları vardır. Bu sistemler oldukça hantaldırlar ve hava ile şişirilen strüktürler gibi içlerinde geniş bir hava tabakası içerirler.

Fizyolojik Olarak: Uzay kafes sistemler, karada inşa edilen yapılar ile havacılıkla ilgili olan yapılar arasında konumlanırlar. Kendileri havada gibidirler fakat karayla da ilişkileri vardır” (EEKHOUT, 1989, s.11.).

Temel bir varsayım olarak, uzay kafes sistem elemanlarının moment taşımadığı, yükleri yalnızca eksenel kuvvetler olarak aktardığı kabul edilir. Bu varsayım tezin konusunu oluşturan “Tek Katlı Uzay Kafes Sistemler” ile “Çift Katlı Uzay Kafes Sistemler” için farklılık oluşturur. “Çift Katlı Uzay Kafes Sistemler” terimi ile, düğüm noktalarının moment taşımadığı, sistemde yüklerin sadece eksenel kuvvetler olarak iletildiği; alt, üst ve diyagonal çubuklardan oluşan silindirik yüzeyli uzay kafes sistemleri anlatılmaktadır. “Tek Katlı Uzay Kafes Sistemler” terimiyle ise, moment taşıyan düğüm noktalarının kullanıldığı, alt ve diyagonal çubukların olmadığı silindirik yüzeyli uzay kafes sistemler anlatılmaktadır. “Uzay Kafes Kiriş” terimi de düzlem yüzeyli ve çift katlı sistem için kullanılacaktır. Ayrıca “Uzay Kafes Sistemler” veya “Uzay Strüktürler” terimleri ise genel olarak çelik çubuklardan ve düğüm noktalarından oluşan yapısal sistem anlamındadır.

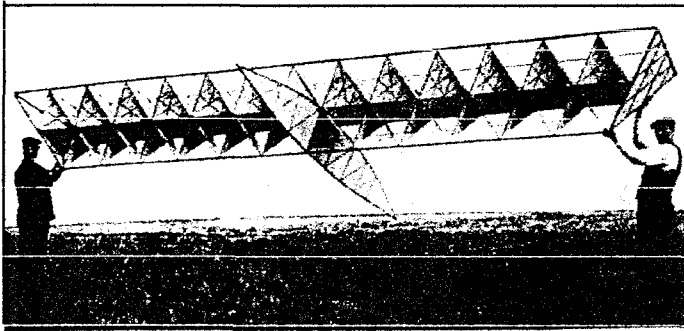
1.3. SİSTEMİN KISA TARİHÇESİ

Her yeni endüstrileşme olgusu yapı tekniğini ve yapı malzemesini etkilemektedir. Gerek sürekli gerekse ani atılımcı gelişmeler, eninde sonunda yapı olayını etkilemiş ve değiştirmiştir. Özellikle 19.yy’da önemli gelişmeler olmuştur. “Demirin endüstriyel zaferi kısa zamanda hızlı bir ilerleme kaydetmiş ve ekonomik seri üretimin gerçekleşmesine neden olmuştur. Daha çok İngiltere’de yapılan ilk demir döküm konstrüksiyonlardan sonra demirden ve çelikten inşa edilen yapılar görülmeye başlanmıştır”(BUREN, 1988, s.22.). Demirin yapıda kullanılması ve seri

üretimin yaygınlaşması, uzay kafes sistemlerin doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur.

Uzay kafes sistemlerin, bina uygulamalarında kullanılabileceği yaklaşık 200 yıldır bilinmektedir. Uzay strüktürler ile yapılan ilk yapı Bé langer ile Brunet tarafından 1806 - 1811 yılları arasında Paris'te inşa edilen "Halle au Blé" adlı dökme demir elemanlardan oluşan ve yarım küre şeklindeki bir yapıdır. İngiltere'deki ilk demir kubbe ise 1815 - 1823 yılları arasında Brighton'da "Royal Pavillion"un üzerinde inşa edilmiştir. 1827'de Fowler "Syon House"un serasını demir bir kubbeye kaplamıştır. "Bu kubbe yapıları az çok ahşabın çeliğe dönüşmesiydi. Statik şema çok basitti ve stabilitesi yetersiz görünüyordu" (EEKHOUT, 1989, s.12.). Glasgow'un Botanik Bahçeleri'nde inşa edilen "Crystal Art Pallace"ın kubbeleri de bükülmüş doğramalarla yapılmıştı.

Uzay kafes sistemlerin ilk statik analizi 1892 yılında yapılmıştır. "Bu tarihte August Föppl, çubuklardan kurulacak sistemler içinde stabil olan en küçük çokgenin bir üçgen, en küçük çok yüzlünün (hacmin) ise dört üçgenden oluşan tetraeder (düzgün dört yüzlü) olduğunu ortaya koymuştur"(TÜRKÇÜ, 1982, s.2.). August Föppl, üç boyutlu çelik makaslarla ilgilenen ve araştırma yapan ilk araştırmacılardan biri olarak kabul edilir. Buna karşın metal uzay strüktürler üzerine ilk gerçek girişimi Alexander Graham Bell'in tasarladığı ve 1907 yılında gerçekleştirdiği bilinir. 1905 yılında Orville ve Wilbur Wright kardeşler, A.B.D.'de uzay kafes elemanlarını kullanarak Flyer III adını verdikleri ilk uçağın montajını tamamlayıp, bu makineyle uçtular (Resim. I-1).



Resim.I-1: Uzay Strüktürler İle Oluşturulan İlk Uçak Örneği.

“Sonraları Le Ricolais uzay strüktürlerde doğada bulunan bazı kriterler ve bazı moleküller arasındaki şaşırtıcı benzerliğe dikkati çekmiş ve uzay strüktür kavramının kuramsal yayılmasına büyük katkılarda bulunmuştur”(G REL, 1986, s.36-37.).

Uzay kafes sistemler ile ilgili en önemli gelişmeler, II. Dünya Savaşı ve sonrasındaki yıllarda kaydedilmiştir. Buckminster Fuller, bu yıllarda Jeodezik Uzay Strüktürler kavramını geliştirmiştir. Uzay kafes sistemlerin portatif olması, taşıması ile montajının kolay ve hızlı olması, geniş açıklıkları rahatlıkla geçebilmesi, ve seri üretimle üretilmesi gibi avantajlarından dolayı savaş yıllarında hangar ve köprü projelerinde kullanılmaya ba lanmı tır. A.B.D.’de Konrad Wachsmann, seri hangar projeleri için uzay strüktürleri önermiştir.

Tüm bu gelişmelerin yanı sıra, geleneksel hesap yöntemleri ile sonuca varmak oldukça zordu. Z. S. Makowski’nin teorik ve pratik etütleri, çubuklara gelen yükleri hesaplamayı kolaylaştıracak yöntemlerin elektronik hesap makineleriyle c z m ne imkan sağladı.

1942 yılında Max Mengerhousen  nl  “Mero Sistemi”ni geliştirerek uzay strüktürlerin prefabrik üretiminde  nc  olmuştur. Sistem günümüzde de en çok tanınan ve yapılarda kullanılan uzay kafes sistemidir.

Oysa ki sistem gerçek popülerliğine 1950’lerde ve daha sonraki yıllarda mimarlar tarafından bir tasarım amacı olarak kullanılması ile ulaşmıştır. O yıllarda uzay kafes sistemlerin en çok kullanıldığı binalar; köprüler, sergi salonları, tren istasyonları, spor salonları, kuleler, ve cam evlerdi. 1954’te de Mies van der Rohe, Chicago’da bir toplantı salonunun üstünü uzay kafes kiri lerle  rtmeyi ba armı tır.

Bugün uzay kafes sistemlerin statik hesapları bilgisayarlar ile çok kısa sürede ve kesin olarak yapılabilmektedir. Ayrıca yapısal zorluklardan biri olan, çok sayıda  elik çubuğun üzerinde birleştiği mafsallı düğüm noktalarının tasarımı ve üretimi geliştirilmiştir. Böylece uzay kafes sistemler, diğer sistemlere karşı birçok üstünlüğü

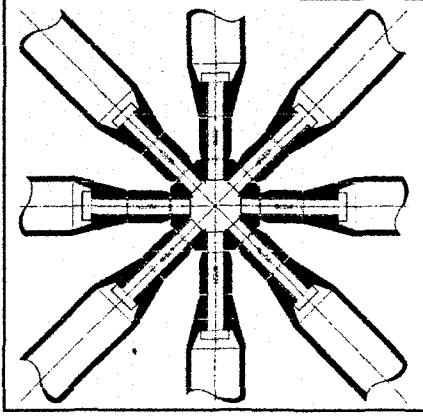
ile “Uzay Çağı” olarak adlandırılan XX. yüzyıla damgasını vuran yapı sistemi olmuştur.

1.4. SİSTEMİN STATİK ÇÖZÜMLENMESİ İLE İLGİLİ VARSAYIMLAR

Uzay kafes sistemler hiperstatik sistemlerdir. Bu yüzden sistemin el ile çözümü çok zordur. Sistemin çözümünde düğüm noktalarının mafsallı olduğu ve moment taşımadığı, çelik çubuklar ile de sadece eksenel kuvvetlerin aktarıldığı varsayılır. Bu varsayımlar sistemin çözümünü oldukça kolaylaştırmıştır.

Uzay kafes sistemlerde, düğüm noktalarının moment taşımadığını kabul edebilmek için üretim ve montaj aşamalarında dikkat edilmesi gereken ön koşullar vardır. Bunlar:

- Düğüm noktaları mafsallı yapılmalıdır. Sistem çubuklarının düğüm noktalarına kaynakla birleştirilmemesi gerekmektedir.
- Bir düğüm noktasında birleşen çubukların eksenleri, düğüm noktasının merkezinde tek bir noktada birleşmelidir. Bunun için de düğüm noktalarının fabrikada üretimi ve üzerlerine deliklerin açılması sırasında milimetrik hassasiyet gerekmektedir (Şekil.I-1).
- Sisteme gelen dış yükler yalnızca düğüm noktalarına etki etmelidir. Eğer çelik çubuklara dış yük gelirse çubuklarda moment oluşur ve bu moment düğüm noktalarına etkir.
- Çubuklar düz ve doğrusal olmalıdır. Kendi ağırlığı ile sarkabilecek çubuklar kullanılmamalıdır.
- Çift katlı uzay kafes sistemlerde, bir düğüm noktasına aynı düzlemde olmayan en az 3 çubuk birleşmelidir. Tek katlı uzay kafes sistemlerde ise çubukların arasında kalan alanların üçgen olma zorunluluğu vardır. Çünkü statik olarak en sağlam iki boyutlu şekil üçgen ve üç boyutlu cisim de düzgün dörtyüzlüdür.



Şekil.I-1: Düğüm Noktasının Merkezinde Tek Bir Noktada Kesişen Çubuk Eksenleri.

Bu beş ön koşuldan ilkinin pratikte tam olarak gerçekleştirilmesi olanaksızdır. Yani düğüm noktalarının tam olarak mafsallı olması zordur. Ancak, öyle olduğu varsayılarak sistemin çözümü kolaylaşmaktadır. Ayrıca çubukların kendi ağırlıkları ile sehim yapmadıkları varsayılır. Büyük sehim yapacak uzun çubuklar, daha küçük parçalara bölünmelidirler. Sistem çubuklarının doğrusallığını bozacak üst kaplama malzemeleri, aşık elemanları, aydınlatma aygıtları asma tavan ve havalandırma tesisatı gibi sisteme yük getiren gereçler, sistem çubuklarının doğrusallığını bozmamak için düğüm noktalarına birleştirilmelidir.

Diğer ön koşulların gerçekleştirilmesi, sistem parçalarının üretimindeki hassasiyet ve sistemi yerine uygulayan ustaların yeteneğine bağlıdır.

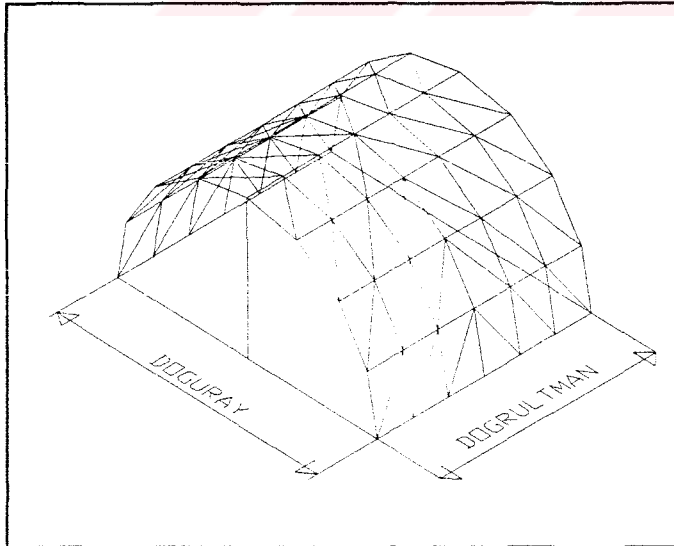
1.5. TEZİN AMACI

“Silindirik Yüzeyle Uzak Kafes Kirişlerde Yükseklik ve Geçilen Açıklık Bakımından Tek ve Çift Tabakalı Sistemlerin Karşılaştırılması” adı altında hazırlanan bu tezin amacı, maliyet ve sistem ağırlığı bakımından silindir yüzeyle uzak kafes sistemleri karşılaştırmak ve koşullara bağlı olarak en uygun çözümü bulmak olarak belirlenmiştir. Bunun için önce uzak kafes sistemlerin genel tanımı ve özellikleri anlatılacak ardından da en ekonomik ve uygun sistemin sağlanmasındaki ön koşullar ele alınacaktır. Son olarak da sistemlerin karşılaştırmaları, hazırlanan tablo ve grafikler ile sunulacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

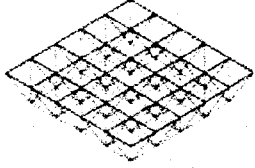
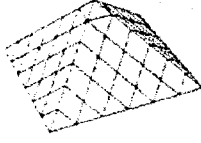
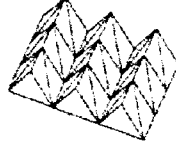
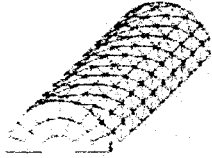
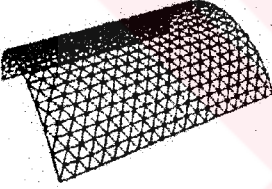
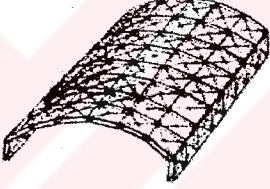
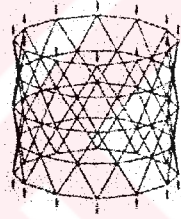
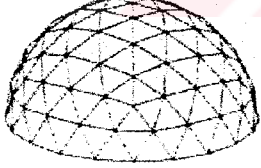
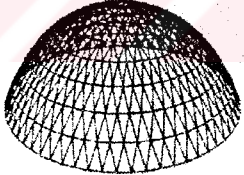
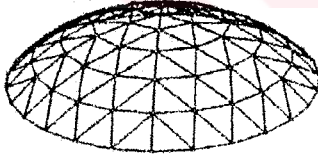
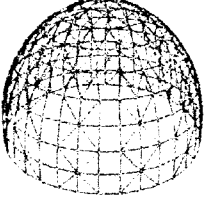
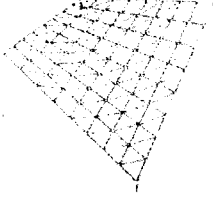
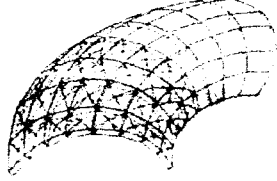
2.1. STRÜKTÜR GEOMETRİSİ AÇISINDAN SINIFLANDIRMA

Uzay kafes sistemlerin strüktür geometrilerini incelemekten önce konuyla ilgili bazı kavramları açıklamakta yarar vardır. Bilindiği gibi uzay sistemler üç boyutlu hacimsel strüktürlerdir. Strüktürü oluşturan bileşenler de temel geometrik kavramlardan ‘doğru parçası’ ve ‘nokta’ya benzetilebilir. Doğru parçaları uç uca geldiği zaman çizgiyi oluştururlar. Uzay kafes sistemleri, geometrik olarak oluştururken birbirini dik kesen iki düzlem içinde bulunan iki çizgi kullanılır. Bunlardan birine ‘doğuray’ diğetine de ‘doğrultman’ adını veririz. Bu çizgilerin biçimi ya eğri ya da düz olmaktadır.



Şekil.II-1: Doğuray ve Doğrultman Yönleri.

Tablo.II-1: Strüktür Geometrisi Açısından Uzak Kafes Kiriş Örnekleri.

KAYNAK: 1.0.02 Numaralı, Mero-Raumstruktur GmbH & Co. Broşürü

Bu noktada uzay kafes sistemleri, strüktür geometrisi açısından incelersek;

- düzlem yüzeyli,
- eğri yüzeyli

olarak iki ana guruba ayırabiliriz.

Diğer bir yaklaşımla uzay kafes sistemleri, çubukların bulunduğu katmanlar açısından;

- tek katlı,
- çift katlı

sistemler olarak da ikiye ayırabiliriz.

Uzay kafes sistemi kullanarak elde edeceğimiz hacimsel örtülerin tümü Tablo.II-1’de görülmektedir.

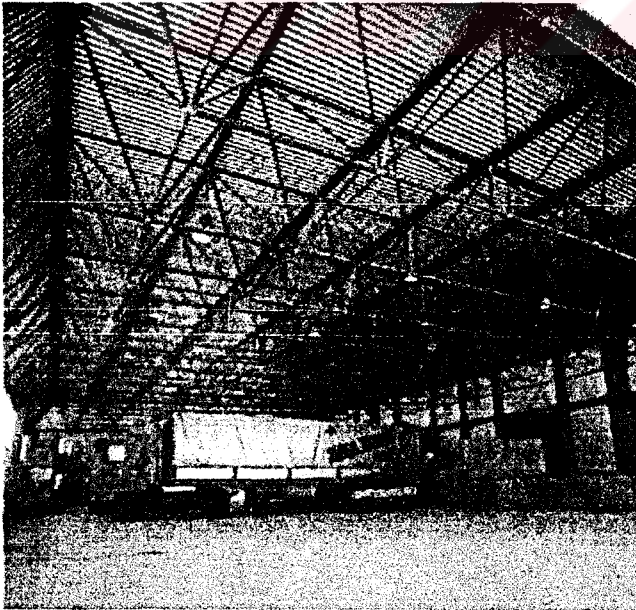
İlk üç örnek düzlem yüzeyli uzay kafes sistemlere örnektir. Dört ve dokuz arasında kalan şekiller tek eğrilikli, diğerleri de çift eğrilikli uzay kafes sistemlere verilen örneklerdir (Tablo.II-1).

2.1.1. Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler

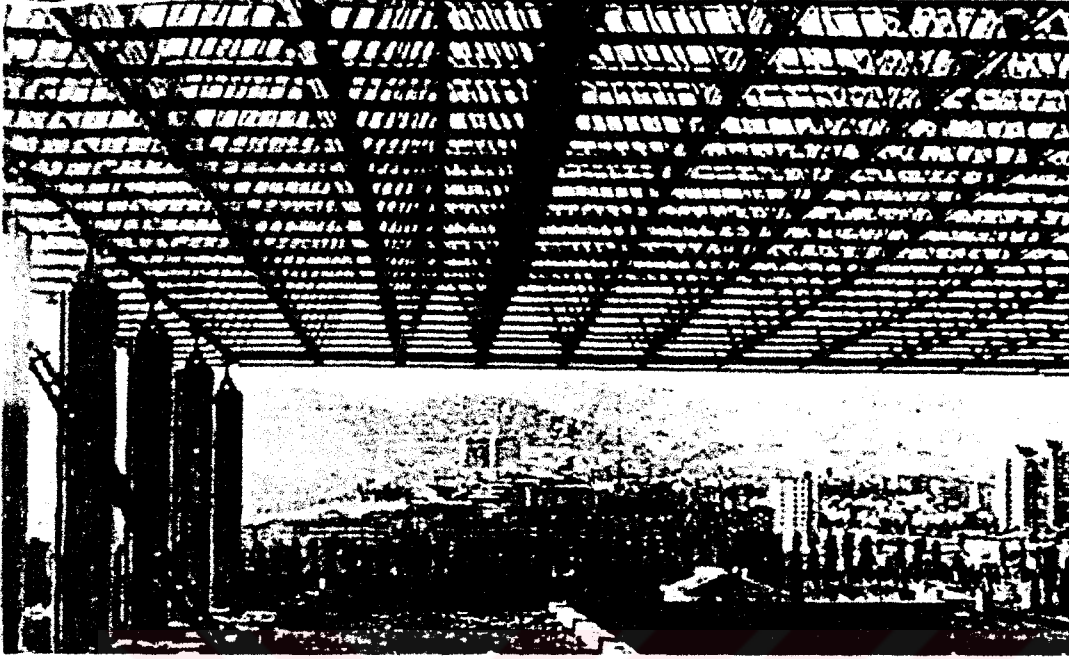
En çok tanınan ve en sık kullanılan uzay kafes sistem örnekleri düzlem yüzeyli olanlardır. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler, doğurayı ve doğrultmanı düz bir çizgi olan sistemlerdir. Yüzey geometrisini oluşturan her iki çizginin de düz olmasından dolayı eğrilikleri yoktur. Düz, eğik ve katlanmış yüzeyler olarak kullanılabilirler(Tablo.II-1’de birinci, ikinci ve üçüncü şekiller).

Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler çift katlı üretilmek zorundadırlar. Tek katlı yapılma imkanları yoktur. Eğer tek katlı yapılsalardı, mafsallı düğüm noktalarından dolayı sisteme etki eden düşey yükler altında sehim yapar ve çökerlerdi (Resim.II-1). Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler alt ve üst tabaka çubuklarının arasındaki yükseklik sayesinde bir kiriş gibi çalışırlar. Bundan dolayı bu tür sistemlere ‘uzay kafes kirişler’ de denir.

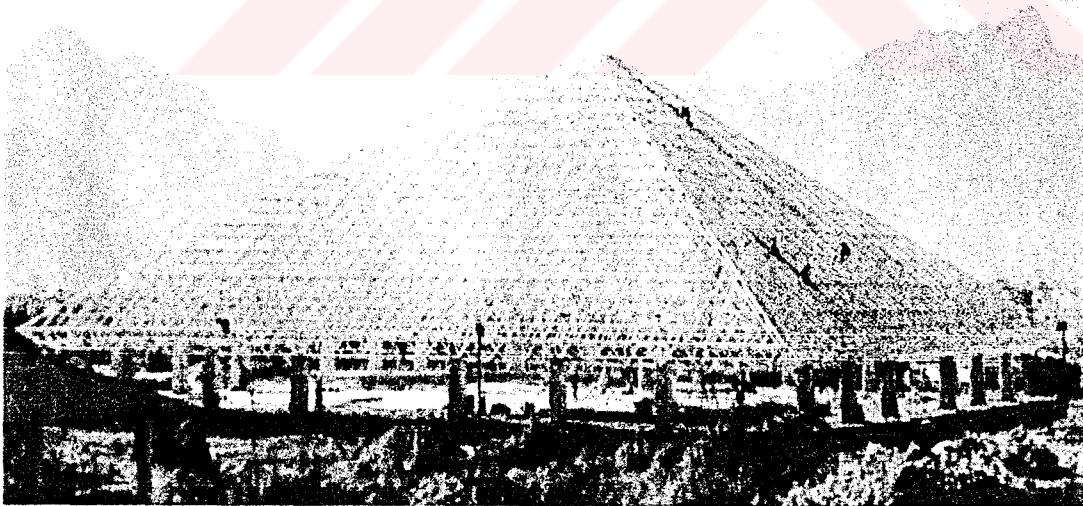
Uzay kafes kirişler, çok geniş açıklıkları mekan içinde en az sayıda kolon kullanılarak geçen sistemlerdir (Resim.II-2). Sistemin etkinliğini artırmak ve daha geniş açıklıkları geçmek için sistem, katlanmış veya eğik yüzeyler halinde üretilmektedir (Tablo.II-1’de ikinci ve üçüncü şekiller), (Resim.II-3, II-4, II-5). Bu yolla açıklıklar geçilirken yapıların yükseklikleri gereğinden fazla olabilmektedir. Yapının yüksek olması ile ilgili bir sorun yoksa eğik uzay kafes kirişleri kullanmak etkinlik açısından en uygun sonuçları vermektedir.



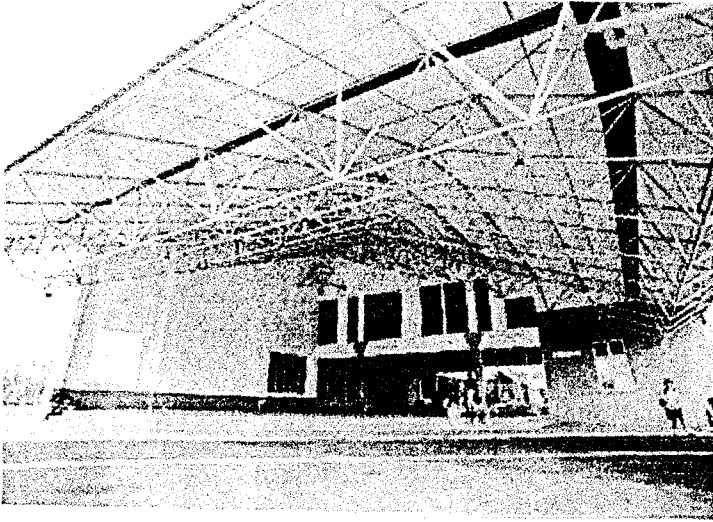
Resim.II-1:Uzay Kafes Kiriş İle Yapılmış Bir Üst Örtü.



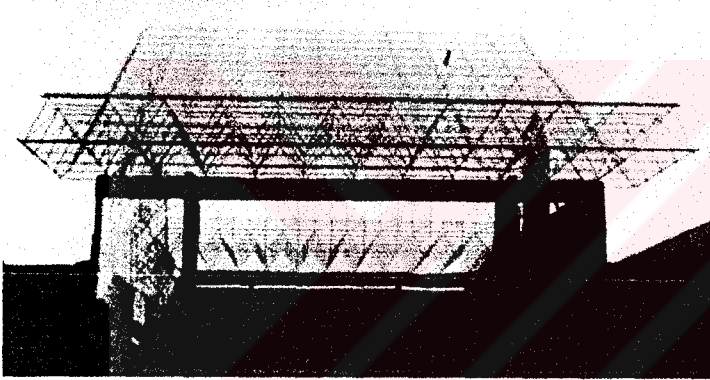
Resim.II-2: Düzlem Yüzeyli Uzak Kafes Kiriş Örneği.



Resim.II-3: Eğik Yüzeyli Uzak Kafes Kiriş Örneği.



Resim.II-4: Katlanmış
Yüzeyli Uzay Kafes Kiriş
Örneği.



Resim.II-5: Katlanmış
Yüzeyli Uzay Kafes Kiriş
Örneği.

2.1.2. Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler

Eğri yüzeyli uzay kafes sistemleri elde etmek için doğuray ve doğrultman çizgilerinden en az birinin eğri olması gerekir. Eğer doğuray ve doğrultman çizgilerinden yalnız bir tanesi eğri, diğeri doğru ise bu tür sistemlere ‘tek eğrilikli sistemler’, her ikisi de eğri ise ‘çift eğrilikli sistemler’ denir. Silindirik yüzeyli uzay kafes sistemler tek eğrilikli sistemlere, örnek gösterilebilir.

Çift eğrilikli sistemler ise eğriliklerinin yönüne göre ikiye ayrılırlar. Eğrilikleri aynı yönde ise jeodezik kubbeler (Tablo.II-1’de on ve on üç arasındaki şekiller),

eğrilikleri ters yönde ise hiperbolik paraboloidler (Tablo.II-1’de on dördüncü şekil) olarak ikiye ayrılırlar. Tor yüzeylerinin ise iç tarafları ters, dış tarafları aynı yönde eğriliğe sahiptirler (Tablo.II-1’de on beşinci şekil).

2.1.2.1. Silindir Yüzeyli Uzak Kafes Sistemler

Uzak kafes sistemler geniş açıklıkları örtmek için silindir şeklinde yüzeyler olarak inşa edilebilirler. Bugüne kadar birçok hangar, spor salonu, yüzme havuzu, tenis kortu ve sanayi yapılarının üstü bu sistemle örtülmüştür. Silindir yüzeyli sistemlere ‘tonoz çatılı sistemler’ de denilmektedir.

Tonoz çatılı uzak kafes sistemlere eğriliğini veren doğuray yayıdır. Bu yay geometrik olarak üç şekilde olabilir:

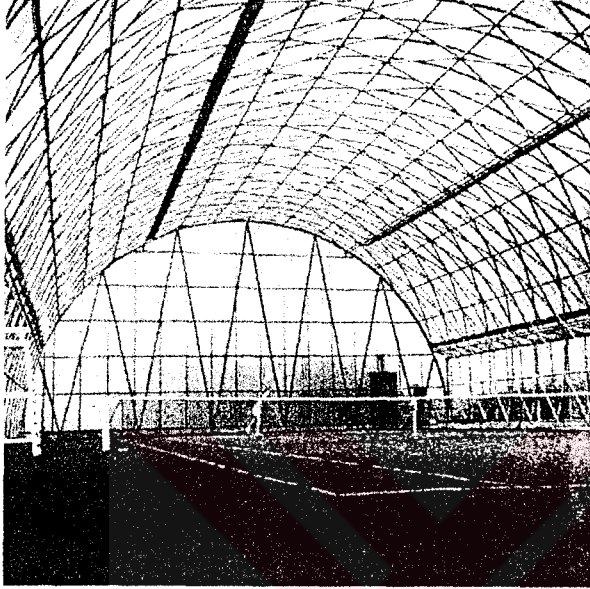
- Çember yayı,
- parabol yayı,
- elips yayı.

Yayın aldığı isimlere göre de tonoz uzak kafes sistemleri; çember yaylı tonoz sistemler, parabol yaylı tonoz sistemler ve elips yaylı tonoz sistemler olarak üç grupta inceleyebiliriz (Resim.II-6, II-7).

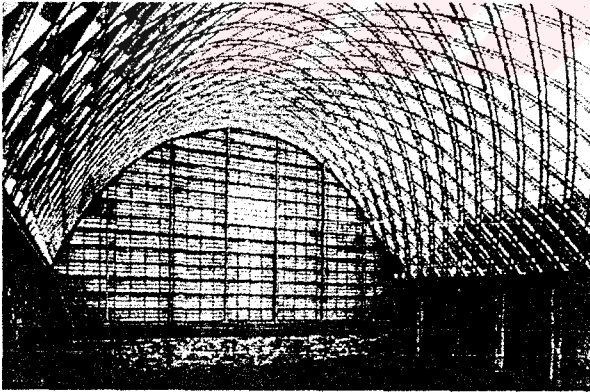
Tonoz uzak kafes sistemler, tek veya çift katlı olarak inşa edilebilirler. Tablo.II-1’de beşinci ve yedinci şekiller tek katlı, altıncı ve sekizinci şekiller de çift katlı tonoz uzak kafes sistemlere örnektir.

Çift katlı uzak kafes sistemdeki düğüm noktaları moment taşımadığı varsayılan mafsallardan oluşur. Buna karşın tek katlı uzak kafes sistemlerde mafsallı düğüm noktaları kullanılamamaktadır. Mafsallı düğüm noktası kullanıldığı zaman sistem labil olmakta, yani teorik olarak sistemin hareketi önlenmemektedir. Bu nedenle tek katlı tonoz sistemlerde ya çubuklar birbirleri ile kaynaklanarak birleştirilir ya da

düğüm noktalarına kaynakla birleştirilir. Kaynakla birleşim sistemin temel varsayımına aykırı olduğu için tonoz uzay kafes sistemler çoğunlukla çift katlı olarak uygulanmaktadırlar (Resim.II-8, II-9, II-10, II-11).



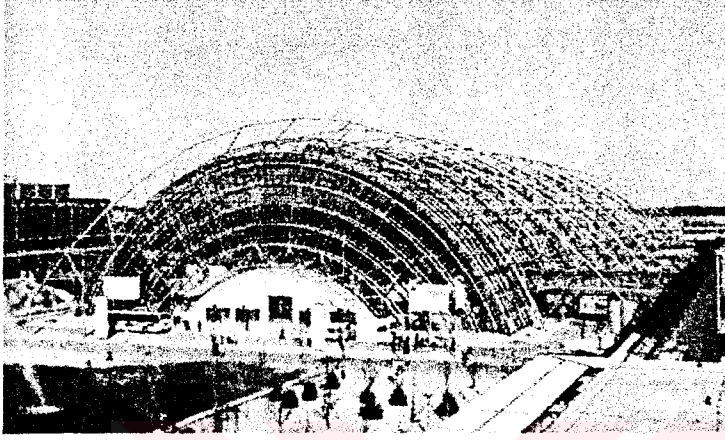
Resim.II-6: Tek Katlı Çember Kesitli Tonoz Çatılı Uzay Kafes Sistem.



Resim.II-7: Tek Katlı Parabol Kesitli Tonoz Çatılı Uzay Kafes Sistem.

Ayrıca tek katlı tonoz sistem uygulamalarında çubukların arasında kalan alanların üçgen şeklinde olması sistemin dayanımını artırmaktadır. Bilindiği gibi en stabil şekil üçgendir. Bu nedenle doğuray yönündeki çubuklarla doğrultman yönündeki çubukların arasından bir sıra daha çubuk geçirilir. Böylece sistem üç yönlü ızgara şekline dönüşür. “Yapılan testler ve analizler sonunda, üç yönlü kafes ızgaradan

meydana gelen kemerlerde kuvvet dağılımının eşit olduğu ve sistemin son derece rijit olduğu tespit edilmiştir” (YAZICI, 1989, s.21.).



Resim.II-8: Çift Katlı
Çember Kesitli Tonz
Çatılı Uzay Kafes Sistem.

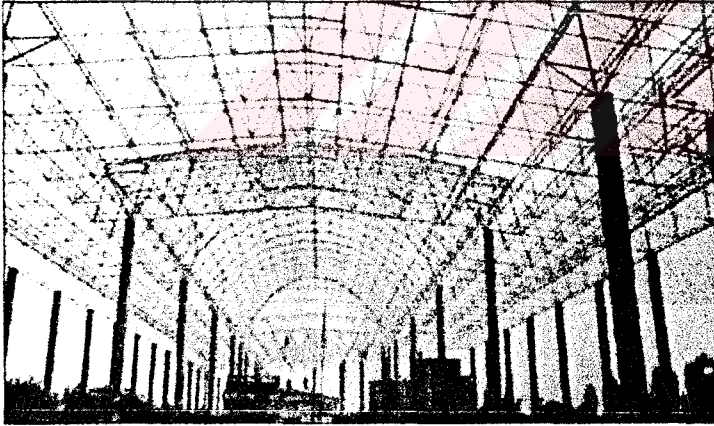


Resim.II-9: Çift Katlı Çember
Kesitli Tonz Çatılı Uzay
Kafes Sistem.

Tonoz şekilli uzay kafes sistemlerde prefabrikasyon üzerine Joseph Zeman önemli çalışmalar yapmıştır. Özellikle son yıllarda birçok uygulamalarda bulunmuştur. Çalışmalarında geniş açıklıklı binaların silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerle örtülmesinin fiyat ve malzeme bakımından ekonomik olduğunu tespit etmiştir.

Türkiye'deki uzay kafes sistem üretici firmaların yetkilileri ile yaptığım görüşmelerde, silindir yüzeyli olan diğer strüktür sistemlerine (betonarme kabuk, çelik makas, ahşap makas vb.) göre uzay kafes sisteminin hem daha hafif olduğu hem de maliyetinin daha düşük olduğu ifade edilmiştir.

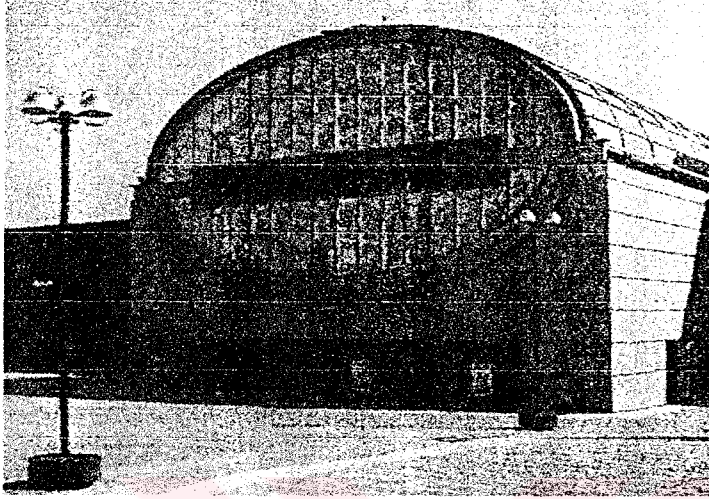
Eğer tonoz uzay kafes sistemler, bir yönde sabit diğer yönde de hareketli mesnetlere oturtuluyorsa, hesaplanan çubuk kalınlıklarına bağlı olarak sistemin maliyeti artmakta. Eğer her iki yönde sabit mesnetlere oturtuluyorsa sistem daha ekonomik olmaktadır.



Resim.II-10: Çift Katlı
Parabol Kesitli Tonoz
Çatılı Uzay Kafes Sistem.

Tonoz uzay kafesler ile düzlem uzay kafesleri karşılaştırsak, tonoz şeklinin sisteme getirdiği strüktürel bir üstünlük de vardır. Düzlem uzay kafeslerde, sisteme etki eden dış yükler, etkidikleri yöne dik yönde mesnetlere iletilirler. Oysa ki tonoz şeklinde bu açılar 180 dereceden küçük açılardır. Tonozun ortasında bile bu açı 180 derece olmamaktadır. Bundan dolayı statik olarak silindir yüzeyli uzay kafes sistemler daha üstündürler. Fakat böyle bir uygulamada yüzey alanı, düzlem uzay

kafes kirişlerden daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla da maliyet açısından düzlem kafes kirişler tonoz kafes sistemden daha ekonomik olmaktadır.



Resim.II-11: Çift Katlı
Elips Kesitli Tonoz Çatılı
Uzay Kafes Sistem.

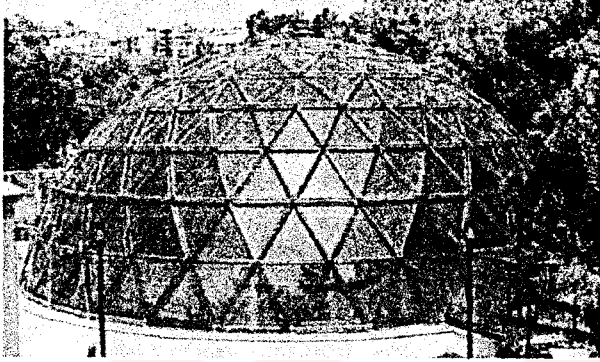
2.1.2.2. Jeodezik Kubbeler

Bilindiği gibi kubbe bilinen en eski strüktür şeklidir. Uzay kafes sistemlerin de en tipik örnekleri kubbe şeklinde yapılmıştır. Kubbe şekilli uzay kafes sistemlere ‘jeodezik kubbe’ler de denilmektedir.

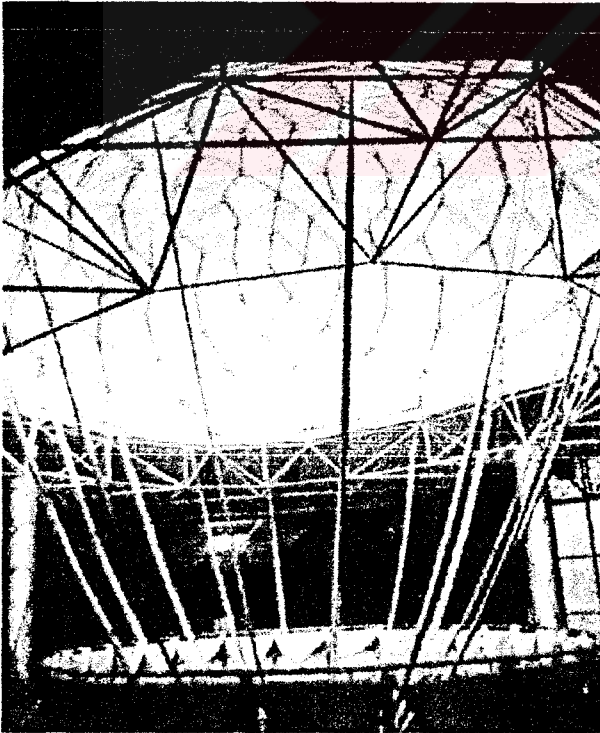
Jeodezik kubbeler çift eğrilikli sistemlerdir. Sistemi oluşturan eğriler birbiriyle aynı yönde olmak zorundadır. Eğriler çember yayı olabileceği gibi parabol ve elips yayı da olabilmektedir. Jeodezik kubbelerin çift katlı yapılma zorunluluğu yoktur. Hesaplama sonucu çıkan çubuk kalınlıkları sağlanabiliyorsa tek katlı da yapılabilir.

Tablo.II-1’de on ve on üçüncü arasında kalan şekiller jeodezik kubbelerine örnektir. Jeodezik kubbelerin bir çok değişik tipleri vardır. Bunlardan bazıları; Schwidler Kubbeleri, Ağ Kubbeleri, Kafes Kubbeler, Lamelli Kubbeler ve Kaburgalı Kubbelerdir.

Jeodezik kubbeler ile daire şeklindeki alanları kaplayabildiğimiz gibi elips planlı alanları da kaplayabiliriz (Resim. II-12, II-13).



Resim.II-12: Daire Planlı Jeodezik Kubbe.



Resim.II-13: Elips Planlı Jeodezik Kubbe Örneği.

Jeodezik kubbeler denince akla ilk gelen kişi Buckminster Fuller olmaktadır. Hayatını uzay kafes sistemlerin gelişmesine adayan bilim adamı, en ünlü eserini 1967'de Montreal'de düzenlenen dünya fuarında inşa etmiştir. Çok kısa bir süre içinde inşa ettiğı A.B.D. Pavyonu ile jeodezik kubbelerin etkin malzeme ve etkin strüktür ilkelerine uygunluğunu dünyanın gözleri önüne sermiştir. Bu yapının dışında patentini aldığı birçok tasarımı ve düğüm noktası çözümleri de bulunmaktadır. Hatta hayatının bir bölümünü de kendi tasarladığı küçük çaplı jeodezik kubbe evinde geçirmiştir.

2.1.2.3. Hiperbolik Paraboloid Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler

Uzay kafes sistemler, hiperbolik paraboloid formlarda da uygulanabilmektedirler. Özellikle Amerika ve Japonya'da bu tip uygulamalara rastlanılmaktadır (Tablo.II-1 de on dördüncü örnek).

Hiperbolik paraboloid yüzeyli uzay kafes sistemler çift eğrilikli sistemlerdir ve eğrilikler birbirine terstir. Eğrililerden doğuray da doğrultman da birer parabol yayıdır. Hiperbolik paraboloid yüzeyli uzay kafes sistemlerin çift katlı yapılma zorunluluğı vardır.

Örneğin Amerika'da Minneapolis-Saint Paul International Havaalanında 1969 yılında inşa edilen hangar hiperbolik paraboloid uzay kafes sistemi ile yapılmıştır. Bu çatının mesnetleri arasındaki mesafe 58 metredir.

2.2. SİSTEMDE KULLANILAN ELEMANLAR VE ÖZELLİKLERİ

“Üç boyutlu sistemler prefabrikasyon fikri ile beraber gelişmiştir. Çok yakın yılların ve endüstri uygarlığının eseridir”(GERÇEK, 1979, s.95). Diğer yapım sistemlerine göre bir çok üstünlüğü olan uzay kafes sistemlerin bir üstünlüğü de basit prefabrike bileşenler ile inşa edilebilmesidir. Uzay kafes sistemlerin daha iyi anlaşılması için önceki bölümde sistemin genel özellikleri incelenmiştir. Bu bölümde de bileşenlerinin özelliklerini incelemek konunun anlaşılmasında yararlı olacaktır. Sistemi oluşturan bu bileşenler;

- düğüm noktaları,
- çelik çubuklar,
- cıvata, somun ve pimler,
- aşık ve eğim elemanları,
- mesnet bileşenleridir.

2.2.1. Düğüm Noktaları :

Düğüm noktaları, çelik çubukları bir noktada birleştirmeye yarayan ve sisteme gelen tüm dış yüklerin ilk etki ettiği uzay kafes sistem elemanlarıdır. Bu nedenden dolayı uzay kafes sistemlerin en önemli bileşenidir.

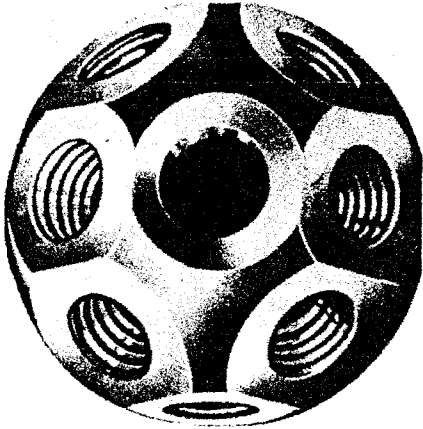
Düğüm noktası sistemleri ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Birçok yeni sistem bulunmuş, fakat bunların birçoğunun çok karmaşık ve bu yüzden çok pahalı sistemler olduğu görülmüştür. Son senelerde en ideal çubuk bağlantı sistemi üzerindeki çalışmalar oldukça yoğunlaşmıştır.

Düğüm noktalarının farklı şekillerdeki çözümü, farklı sistemleri meydana getirmiştir. Bu sistemler düğüm noktalarının adlarıyla anılmaktadır. Bu sistemlerden en çok kullanılan beş tanesi Mero Sistemi, İçi Boş Küre Sistemi, Triodetik Sistem, Unibat Sistemi ve Moduspan Sistemidir. Bu bölümde farklı düğüm noktalarını incelerken aynı zamanda günümüzde en çok uygulanan uzay kafes sistemler de incelenecektir.

2.2.1.1. Mero Sistemi:

Dr. Max Mengerinhausen tarafından geliştirilen ve düğüm noktalarının içi dolu kürelerden oluştuğu bir sistemdir. Mero Sistemi'nin ortaya çıkmasıyla uzay kafes sistem teknolojisinde büyük bir gelişme görülmüştür.

Mero Sistemi'nde çubukların birleştiği noktalar küre şeklinde olup, dövülerek şekil verilmiştir (Resim.II-14). Çapları kullanıldığı yere ve aldığı yüke göre 50 mm ile 240 mm arasında değişen küreler DIN 17200'e uygun ST 60 çelik malzemeden üretilirler. En sık kullanılan kürelerin çapları, ağırlıkları ve fiyatları Tablo.II-2'de verilmiştir (Resim.II-15).

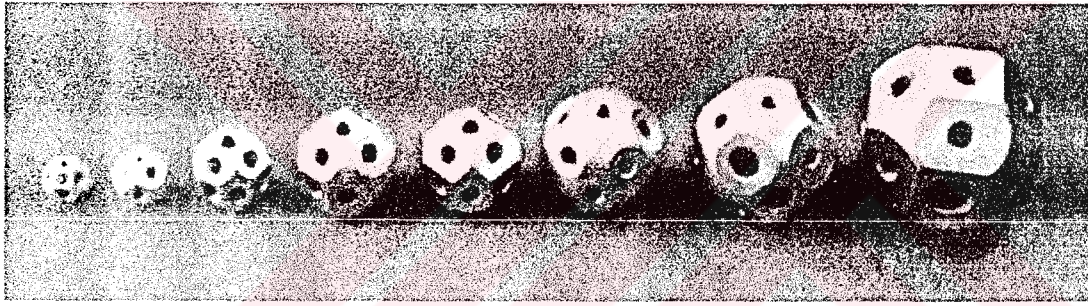


Resim.II-14: Mero Sistemi ile üretilen düğüm noktası örneği.

Tablo.II-2: Mero Sistemi Küre Çapları, Ağırlıkları ve Fiyatları.

Mero Sistemi Küre Çapları	Ağırlığı (gr)	Fiyatı (TL)
Ø 50	500	375.000
Ø 60	600	519.000
Ø 75	800	895.000
Ø 90	1100	1.375.000
Ø 110	2000	2.875.000
Ø 132	3800	4.875.000
Ø 154	5200	5.625.000

Kaynak: Uskon Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş., (1999, Kasım, 22) (Kişisel Görüşme)
 1\$=500.000 TL (22. Kasım. 1999)

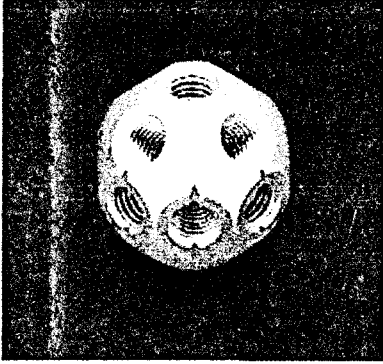
**Resim.II-15:** En sık kullanılan küreler.

Küre üretiminin iki aşaması vardır:

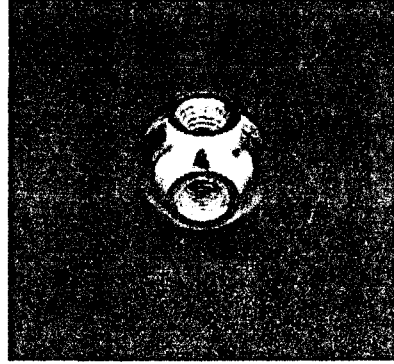
Önce, sıcak dövme tekniği ile malzeme küresel şekle dönüştürülüp arkasından kumlama yöntemiyle yüzeydeki tufal tabakası temizlenir. İkinci aşamada ise, bu küresel parçaların, geliştirilmiş özel tezgahlar ve aparatlarda bilgisayarda hazırlanan çizimlerine uygun üretimi, talaşlı üretim yöntemleri ile gerçekleştirilir.

Kürelerde maksimum 18 adet civata deliği açılıp dış çekilebilir (Resim.II-16). Gerekmeyen deliklerse açılmaz (Resim.II-17). “Küreler, derecenin 1/10 hassasiyeti ile delinmelidir. Aksi takdirde boruların aksları ile delik aksları tutmadığından bu iki eleman birbirine vidalanamaz”(ALAÇAM, 1992, s.40.). Küreler delindikten sonra 0.25 mikron galvaniz ile kaplanır. Bu sistemin ekonomik olması için “düğüm

noktalarının fabrikadaki seri üretim sayısının en az 100.000 adet olması gerekmektedir”(Patzelt, 1967, s.7.).



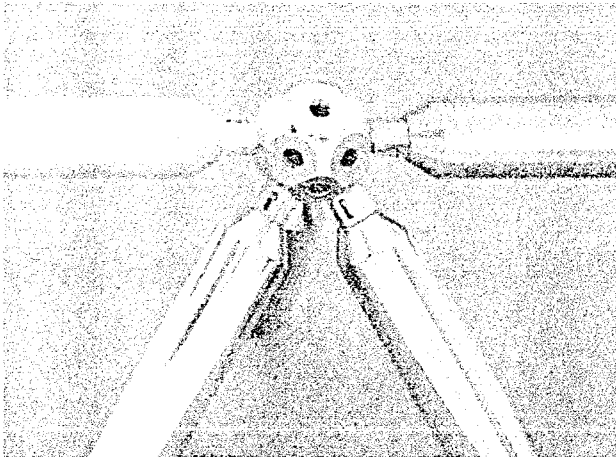
Resim.II-16: 18 Delikli Küre.



Resim.II-17: 6 Delikli Küre.

Çelik borularla düğüm noktalarının birleştirilmesi sırasında çift yönlü çalışan özel vidalar kullanılmaktadır. Bu vidalar, fabrikada çelik borulara kaynaklanırlar. Vida sıkıldıkça bir ucu kürenin içine diğer ucu da çelik borunun içine girer. Sayısız kere sökülüp, tekrar monte etme olanağının olması bu sistemin üstünlüğüdür.

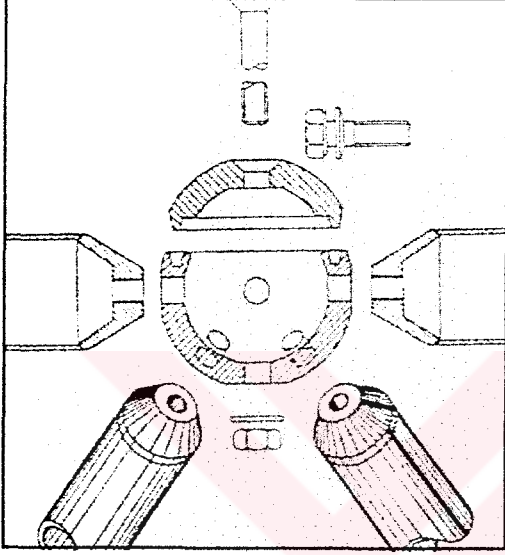
Günümüzde ülkemizde en çok tanınan ve en yaygın olarak kullanılan sistem Mero Sistemidir ve bundan dolayı diğer sistemlere göre daha ekonomik olmaktadır. Bu nedenle tezin ilerleyen bölümlerinde düğüm noktası ifadesi ile içi dolu çelik küreler anlatılmaktadır. Uzay kafesi meydana getiren diğer bileşenler anlatılırken de Mero Sistemi'ne uygun olan bileşenler ele alınacaktır (Resim.II-18).



Resim.II-18: Mero Sistem Bileşenleri.

2.2.1.2. İçi Boş Küre Sistemi:

Düğüm noktaları içi boş küreler şeklindedir. Kürelere uzay kafes sistemin gereği minimum on adet delik açılmıştır. İçi boş ve belirli et kalınlıklarına sahip küreler, sifero çelik dökümdür (Şekil.II-2).



Şekil.II-2: İçi Boş Küre Sistemi ve Montaj Elemanları

Küreler, kapak ve ana gövde olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Kapak ve gövdede talaşlı üretimle fatura açılmaktadır. Kapak kısmı ana gövdeye tam bir küre oluşturacak şekilde bir montaj cıvatası ile sabitlenmektedir. Kapağa açılan üst delik ile ana gövdeye açılan alt delik, kapak ile ana gövdenin birleştirilmesinde kullanılan cıvata içindir. Ana gövdede açılan diğer delikler ise çelik çubukların küreye bağlanmasında kullanılırlar.

Deliklere dış açılmamaktadır. Çelik çubuk elemanların küreye montajı için önce, kürenin ana parçasının içine cıvatalar yerleştirilir. Dolayısıyla cıvata uçları dışarıya doğru çıkmış olur. Daha sonra çelik çubukların ucundaki pasolu konik parçaların içine cıvata uçları sokulur ve cıvatalar sıkılır. Tüm çubuklar küreye birleştirildikten sonra kürenin kapağı takılır. Tablo.II-3’de en sık kullanılan küre çapları, ağırlıkları ve fiyatları verilmiştir.

Kürelere, dökümden sonra basınç ve çekme testleri uygulanmaktadır. Sifero malzemesi 52 Kgf/mm² çekme dayanımına sahiptir.

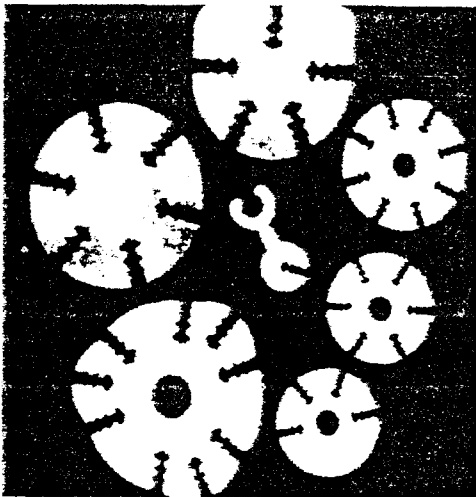
Tablo II.3: İçi Boş Küre Sistemi İle Üretilen Bazı Kürelerin Ağırlıkları ve Fiyatları.

İçi Boş Küre Çapları	Ağırlığı (gr)	Fiyatı (TL)
Ø 75	800	960.000
Ø 100	1200	1.500.000
Ø 120	3800	3.000.000

Kaynak: Ergüven İnşaat Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti./İzmir, (1999, Ekim, 25) (Kişisel Görüşme)
1\$=500.000 TL (22. Kasım. 1999)

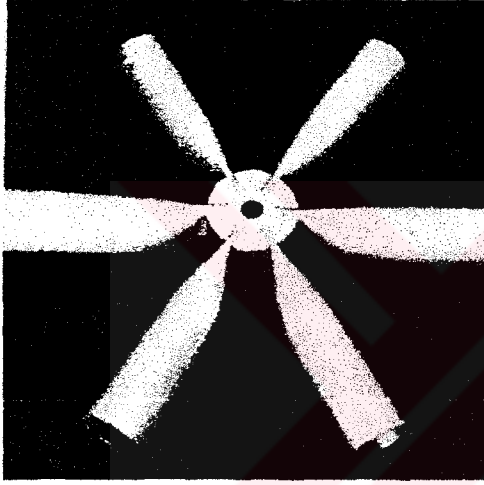
2.2.1.3. Triodetik Sistem:

Başarılı sistemlerden bir tanesidir. Kanadalı bir firma tarafından, önceleri alüminyum sistemler için düşünülmüşse de daha sonraları çelik sistemlerde de kullanılmıştır. Düğüm noktası elemanları çubuk sayısına göre, istenilen biçimde prese edilmiş alüminyum parçalardır. Üzerlerinde dişli yarıklar bulunmaktadır (Resim.II-19). Çubukların uçları bu yarıklara girecek şekilde ezilmiş ve kertikler açılmıştır. Fakat çubuklar bu işleme tabi tutulurken et kalınlığından kayıp olmamasına dikkat edilmektedir.

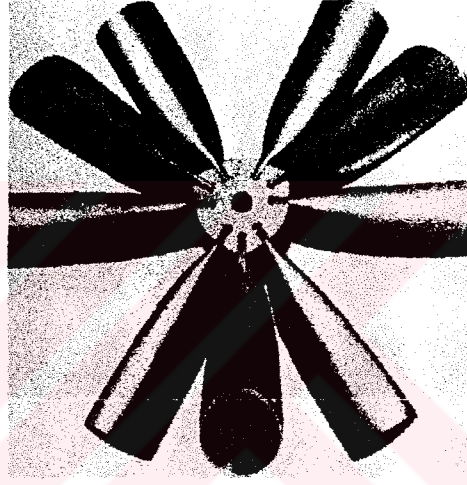


Resim.II-19: Triodetik Sistem ile Üretilen Düğüm Noktası Örnekleri.

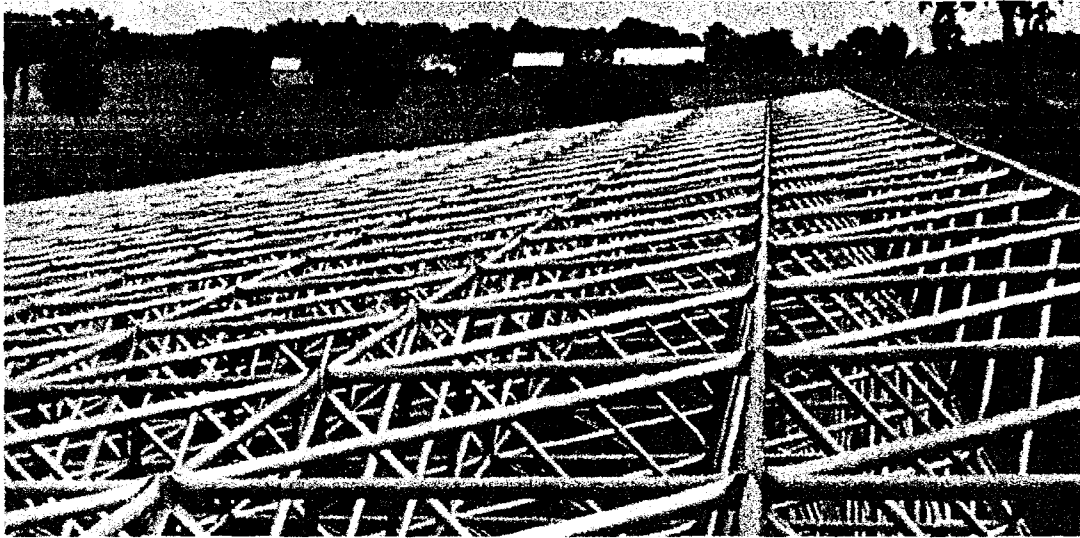
Sistem çubukları düğüm noktası üzerindeki yarıklara, istenilen açılarda yerleştirilirler. Altlarına ve üstlerine birer plaka oturtularak ortadan bir cıvata ile sıkılırlar. Bu plakalar çubuk başlarının yarıklardan çıkmasını önler. Oldukça ucuz bir sistemdir. Elemanların üretimi ve monte edilmesi ise son derece basittir. Resim.II-20 ve Resim.II-21’de çubukların “Triodetik Sistem”le birleştirilmesine örnek gösterilmektedir (Resim.II-22). Ülkemizde üretimi yapılmadığından dolayı bu sistem Mero Sistemi’ne göre ekonomik değildir. Bu nedenle fiyat analizi yapılmamıştır.



Resim.II-20: 6 Çubuklu Birleşim.



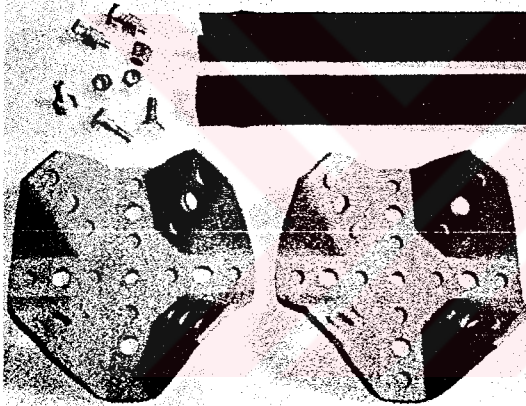
Resim.II-21: 9 Çubuklu Birleşim.



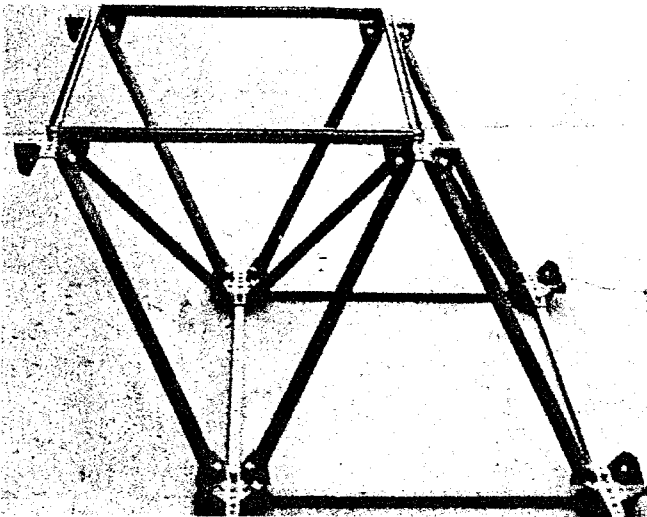
Resim.II-22: Triodetik Sistemle İnşa Edilen Bir Uzay Kafes Çatı Örneği.

2.2.1.4. Moduspan Sistemi:

Daha çok Amerika’da uygulanan bir uzay kafes sistemidir. Sistemin özelliği, kare veya dikdörtgen kesitli tek tip çelik çubuk, iki tip tabla ve tek tip bulon ile modüllerin hazırlanmasıdır (Resim.II-23). Moduspan Sisteminde daire kesitli çubuklar kullanılmaz. Michigan Üniversitesi tarafından geliştirilen sistemin bir diğer olumsuz yanı da her zaman her yerde rahatlıkla bulunabilecek lama, putrel ve korniyet gibi elemanların sistemde kullanılmaz oluşudur (Resim.II-24). Mero Sistemi’ne göre ekonomik değildir. Çok ekonomik olmadığından fiyat analizi yapılmamıştır.



Resim.II-23: Moduspan Sisteminde Kullanılan Bileşenler.

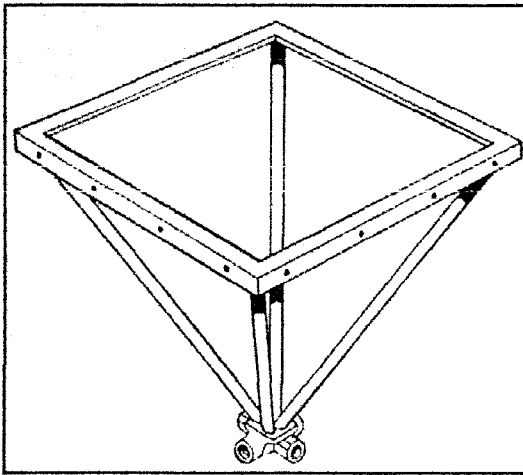


Resim.II-24: Moduspan Sisteminin Uygulanma Şekli.

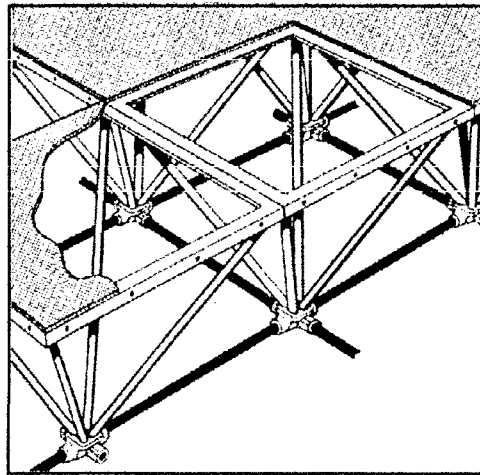
2.2.1.5. Unibat Sistemi:

Bu sistemde düğüm noktası bulunmamaktadır. Sistem çift yönlü ve çift katlı bir ızgara şeklindedir. Bu ızgaralar prefabrike piramitlerden ve bu piramitleri birleştiren bağlantı çubuklarından oluşmaktadır. Bu piramitler kare, dikdörtgen veya altıgen tabanlı olarak üretilebilirler. Piramitlerin üretimi fabrikada kaynakla birleştirilerek yapılır. Şantiyeye piramitler hazır halde getirilir (Şekil.II-3).

Sistemin montajı sırasında piramitler, tabanları üste gelecek şekilde birbirleri ile birleştirilirler. Piramitlerin üst başlıkları, yani üst kat ağını meydana getiren çubuklar köşebent profiller olup, üzerlerinde delikler bulunmaktadır. Piramitler, bu deliklerden geçen cıvatalar yardımıyla birbirlerine bağlanırlar. Piramitlere yüksekliğini veren diyagonal elemanlar ise kare, dikdörtgen, 'U', 'T', 'L', 'I' kesitli veya boru şeklinde üretilebilen çelik çubuklardır. Çelik çubukların birleştiği noktada, üzerinde dişli yuva bulunan bir eleman vardır. Alt kattaki ağı meydana getiren çubuklar bu birleşim elemanlarına vidalanır. Bu çubuklar sadece çekmeye çalışırlar. Böylece prefabrike piramitler üstten cıvatalarla, alttan da çubuklarla bağlanmış olurlar (Şekil.II-4).

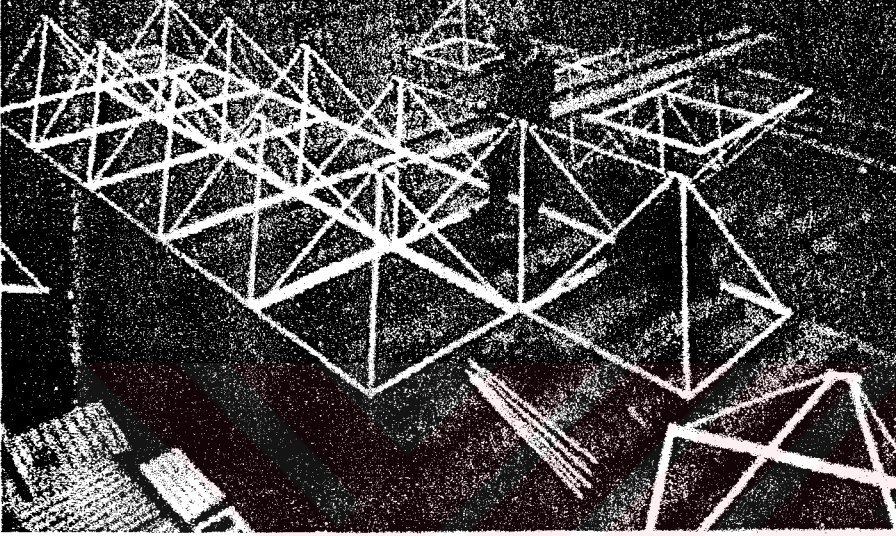


Şekil.II-3: Unibat Sistemi İle Üretilen Piramit Modüller.

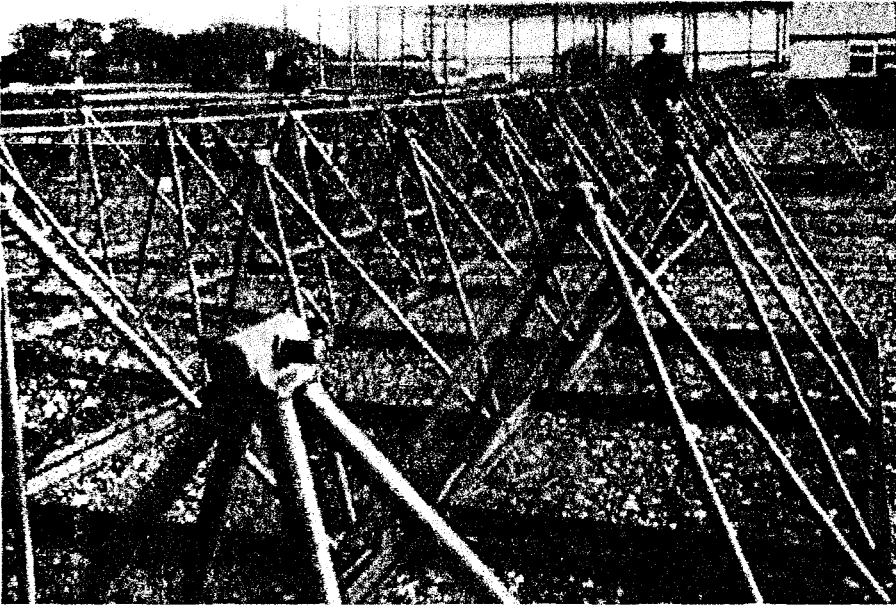


Şekil.II-4: Modüllerin Montaj Şekli.

Unibat Sistemi ile üretilen piramitler iç içe yerleştirilerek kolayca taşınmakta ve çok az bir alanda depolanabilmektedir. Sistemin montajı için en az iki tane işçi yeterli olmaktadır (Resim.II-25, II-26). Ülkemizde bu sistemi uygulama olanağı olmamıştır.



Resim.II-25: Unibat Sistemde Modüllerin Montajı.



Resim.II-26: Unibat Sistemde Modüllerin Montajı.

2.2.2. Çubuklar ve Konik Parçalar:

Uzay Kafes Sistemlerin ikinci önemli bileşeni çelik çubuklardır. Düğüm noktası olarak kürelerin kullanıldığı sistemlerde çubuklar, iki ucuna konik parçaların kaynaklandığı borulardan ibarettir (Resim.II-27). Konik parçalar, çekme ve basınç kuvvetlerinin iletilmesinde kullanılmaktadır. Boru ve konik parçalar ST 37-2 veya ST 52-3 olmalıdır (Tablo.II-4). Boru malzemenin özellikleri DIN 17100'e uygun olmalıdır. Konik parçalarının boruya kaynaklanması sırasında DIN 4100 ve DIN 4115 standartlarına uyulmalıdır.

Tablo.II-4: ST 37-2, ST 52-3 Çelik İçin Çekme ve Akma Gerilmeleri.

Çelik Kalitesi	Çekme Gerilmesi	Akma Gerilmesi
ST 37-2	37 - 45 Kgf/mm ²	24 Kgf/mm ²
ST 52-3	52 - 62 Kgf/mm ²	36 Kgf/mm ²

Kaynak: Uskon Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş. Broşürü.



Resim.II-27: Uzay Kafes Sistemlerde Kullanılan Çelik Çubuklar.

Borular, düğüm noktaları gibi özel üretilen parçalar değildir. Piyasada rahatlıkla bulunan standart yapı profilleri arasından seçilirler. Projenin gerektirdiği uzunluklarda kesilerek kullanılırlar. Tablo.II-5’de projelerde kullanılan boruların iç ve dış çapları, et kalınlıkları ile ağırlıkları verilmiştir. Bu ölçülerin dışında özel üretim yapılması da mümkündür. Fakat özel üretim her zaman maliyeti artırıcı bir özelliğe de sahiptir. Uzay kafes sistemlerde kullanılan boruların maliyeti, kullanılan boru ağırlığı (kg) ile borunun birim fiyatı (TL / Kg) çarpılarak bulunur.

Tablo.II-5: Standart Boru Ölçüleri.

Dış Çap (cm)	İç Çap (cm)	Et Kalınlığı (cm)	Alan (cm ²)
2.69	2.425	0.265	1.0646
3.37	3.045	0.325	1.6375
4.24	3.915	0.325	2.0816
4.83	4.505	0.325	2.3828
6.03	5.665	0.365	3.3526
7.61	7.245	0.365	4.2585
8.89	8.485	0.405	5.5268
11.43	10.980	0.450	7.9204
13.97	13.485	0.485	10.4581
16.51	16.025	0.485	12.3932
21.90	21.500	0.400	13.6345
21.90	21.400	0.500	17.0039
21.90	21.270	0.630	21.3606
21.90	21.190	0.710	24.0284
21.90	21.100	0.800	27.0177
21.90	21.020	0.880	29.6642
27.30	26.500	0.800	33.8036
27.30	26.300	1.000	42.0974
27.30	26.100	1.200	50.3283

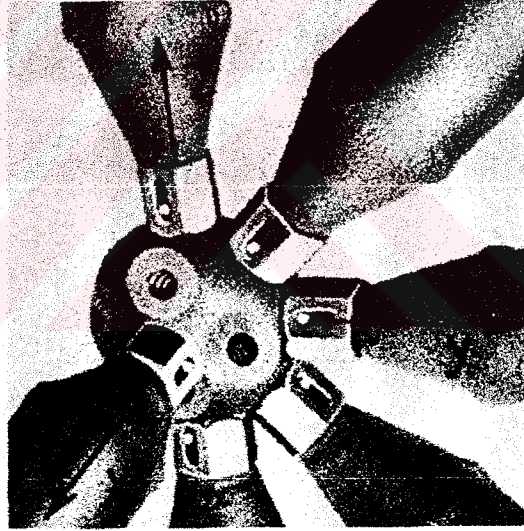
Kaynak: Uskon Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş., (1998, Aralık, 15), (Kişisel Görüşme)

2.2.3. Cıvata, Somun ve Pimler:

Cıvata, somun ve pimler; borularla küreler arasındaki kuvvet aktarımı görevini yüklenirler. Cıvatalar, boru uçlarına kaynaklanmış olan konik parçalar yardımıyla iş görürler. Şöyle ki cıvata kafaları konik parçaların içinde kalarak dönebilmektedirler. Konik parça ile düğüm noktası elemanı arasında somun tabir edebileceğimiz altıgen kesitli bir parça bulunur. Pim deliğine sahip olan somunlar, cıvata üzerine geçirilerek pimlenirler. Bu somunlar, cıvataların döndürülmesi ile çelik çubuklarla kürelerin montajında rol alırlar (Resim.II-28, II-29).



Resim.II-28: Düğüm Noktası İle Çubukların Birleştirilmesi.



Resim.II-29: Cıvatalar Sıkıldıktan Sonra Sistemin Görünüşü.

Cıvatalar, DIN 13'e uygun ISO dişli olmalıdır. Cıvata, somun ve pim için kullanılan malzemeler ve bunların mekanik özellikleri Tablo II-6'daki esasları sağlamaktadır. Cıvatalarla somunların çap ve fiyatları Tablo.II-7'de verilmiştir.

TABLO II-6: Cıvata, Somun ve Pim İçin Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzeme Grubu	CIVATA			SOMUN	PİM		
	Tip				Tip		
	5·6	8·8	10·9	-	6·8	8·8	12·9
Minimum Çekme Dayanımı Kgf/mm ²	30	64	90	32	48	64	90
Minimum Kopma Dayanımı Kgf/mm ²	50	80	100	50	60	80	120
Minimum Çekme Uzaması %	20	12	9	9	8	10	4

Kaynak: Uskon Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş. Broşürü.

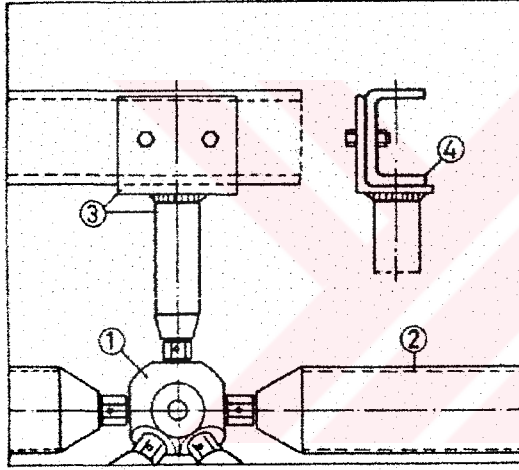
TABLO II-7: Cıvatalarla Somunların Çap ve Fiyatları.

CIVATA		SOMUN	
ÇAP (mm.)	FİYAT (TL)	ÇAP (mm.)	FİYAT (TL)
Ø 10	75.000	Ø 17	37.000
Ø 12	99.000	Ø 18	42.000
Ø 16	185.000	Ø 24	59.000
Ø 20	349.000	Ø 27	78.000
Ø 24	727.000	Ø 30	86.000
Ø 27	951.000	Ø 32	96.000
Ø 30	1.183.000	Ø 36	129.000
Ø 33	1.518.000	Ø 38	147.000
Ø 36	2.277.000	Ø 41	183.000
Ø 39	2.846.000	Ø 46	249.000
Ø 42	3.163.000	Ø 50	536.000

Kaynak: Uskon Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş., (1999, Aralık, 6), (Kişisel Görüşme)

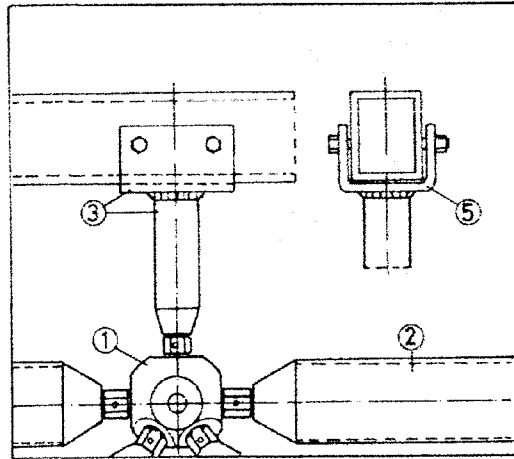
2.2.4. Aşık ve Eğim Elemanları:

Eğim elemanları; çatı eğimini düzenleme amacıyla kullanılırlar. Üst başlık kürelerinde bulunan deliklere uçlarındaki cıvatalar aracılığı ile bağlanırlar. Eğim elemanlarının bir ucunda konik, cıvata, somun ve pim vardır. Diğer ucunda ise “U” veya “L” kesitli ve eğim elemanlarına kaynakla birleştirilmiş olan, minimum 3 mm saçtan bükülmüş elemanlar vardır. Saç elemanın kesiti, aşıkların “U” veya kutu profil olarak seçimine göre değişmektedir. Eğim elemanlarının boyu eğime bağlı olarak değişir (Şekil.II-5, II-6, II-7.).



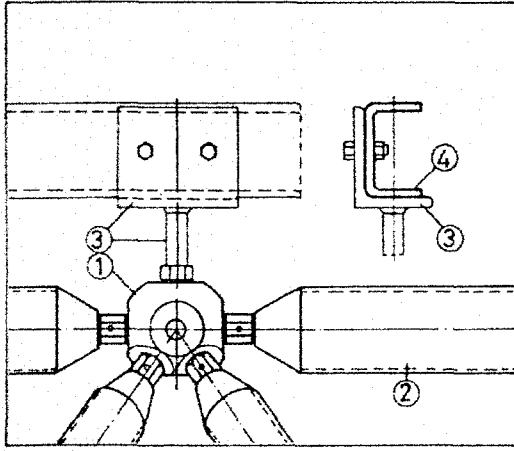
1. Uzay Sistem Küresi.
2. Uzay Sistem Çubuk Elemanı.
3. Eğim Elemanları.
4. Aşık.

Şekil.II-5: Aşık ve Eğim Elemanı Detayı.



1. Uzay Sistem Küresi.
2. Uzay Sistem Çubuk Elemanı.
3. Eğim Elemanları.
4. Aşık.
5. Saç Eleman.

Şekil.II-6: Aşık ve Eğim Elemanı Detayı.



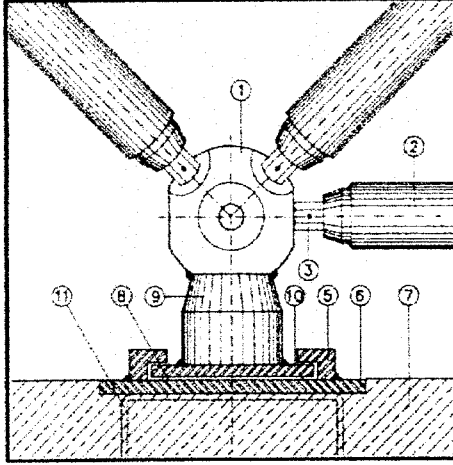
1. Uzay Sistem Küresi.
2. Uzay Sistem Çubuk Elemanı.
3. Eğim Elemanları.
4. Aşık.

Şekil.II-7: Aşık ve Eğim Elemanı Detayı.

Aşıklar; yapılacak kaplama cinsine uygun, düzgün ve yeterli yüzeyler oluşturmak ve gerekli çatı eğimini sağlamak için, eğim elemanları yardımıyla uzay kafes sistem çatıya monte edilirler. Taşıdıkları yüke göre “U”, kare, dikdörtgen yada değişik kesitli olan aşıklar, ST37 malzemeden imal edilirler (Şekil.II-5, II-6, II-7.).

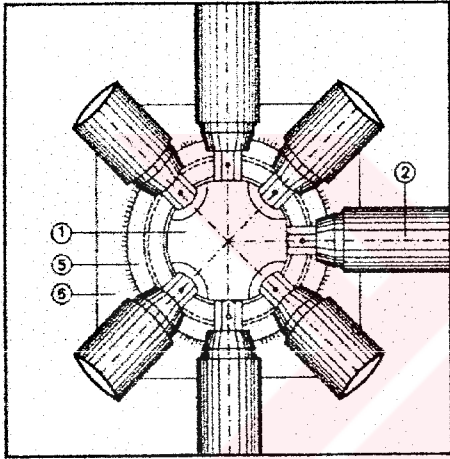
2.2.5. Mesnet Bileşenleri:

Mesnet bileşenleri, uzay kafes sistemdeki mesnet noktasındaki küreler ile kolonların birleştirilmesinde kullanılan elemanların tümüne denilir. Uzay kafes çatının kolonlara mesnetlenme işlemi önce mesnet noktasındaki küreler ile mesnet çubuklarının kaynakla veya somunla birleştirilmesi ile başlar. Mesnet çubuklarının yerine mesnet koniği de kullanılabilir. Daha sonra mesnet çubuklarına mesnet tutucu çıtalar takılır ve ardından çubuklara taşıyıcı levhalar kaynaklanır. Mesnet noktalarının sabit veya hareketli özellikte olmasına göre taşıyıcı levhalar, altları teflonlu veya teflonsuz levhalardan seçilirler. Teflon yüzeyi pürüzsüz olduğu için mesnet, hareketli mesnet olmaktadır. Mesnet noktasındaki hareketi sınırlandırmak için mesnet tutucu çıtalar kullanılır (Şekil.II-8, II-9.).



- 5. Mesnet Tutucu Çıta.
- 6. Ankraj Plakası.
- 7. Kolon.
- 8. Teflon.
- 9. Mesnet Çubuğu.
- 10. Taşıyıcı Levha.
- 11. Ankraj Çubuğu.

Şekil.II-8: Hareketli Mesnet Detayı.

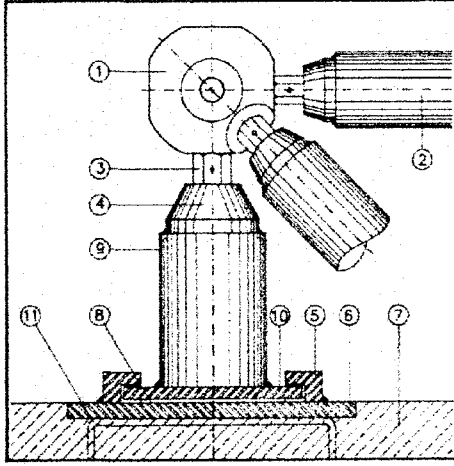


- 1. Uzak Sistem Küresi.
- 2. Uzak Sistem Çubuğu.
- 5. Mesnet Tutucu Çıta.
- 6. Ankraj Plakası.

Şekil.II-9: Hareketli Mesnet Detayı.

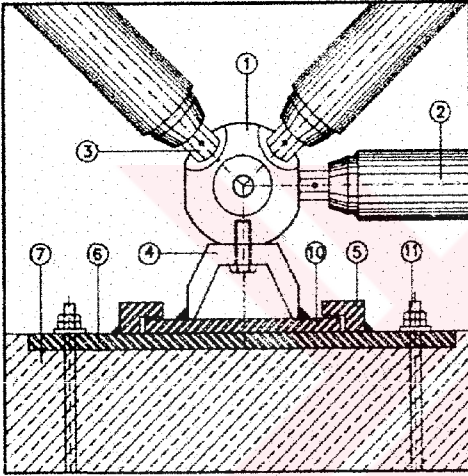
Kolon başlarına da ankraj plakaları, ankraj çubukları yardımıyla sabitlenir. En son olarak da uzak kafes sistem kaldırılarak kolonların üzerine yerleştirilirler. Sistem doğru olarak konumlandırıldığı zaman ankraj plakaları ile mesnet tutucu çıtalar kaynakla birleştirilir (Şekil.II-10, II-11.).

Mesnet noktaları sistemin tüm yüklerinin kolonlara aktarıldığı noktalardır. Bir başka deyişle sistemdeki en büyük kuvvetler bu noktalardadır. Bu nedenle mesnet elemanları gelen tüm kuvvetlere dayanabilecek özelliklerde olmalıdır. Özellikle mesnet noktasında kullanılan plaka ve levhalar çok yüksek basınç altında bile biçim değiştirmeyecek kalınlıklarda ve özelliklerde olmalıdır. Mesnet noktalarının çapları ve fiyatları Tablo.II-8’de verilmiştir.



- 5. Mesnet Tutucu Çıta.
- 6. Ankraj Plakası.
- 7. Kolon.
- 8. Teflon.
- 9. Mesnet Çubuğu.
- 10. Taşıyıcı Levha.
- 11. Ankraj Çubuğu.

Şekil.II-10: Hareketli Mesnet Detayı.



- 4. Mesnet Koniği.
- 5. Mesnet Tutucu Çıta.
- 6. Ankraj Plakası.
- 7. Kolon.
- 10. Taşıyıcı Levha.
- 11. Ankraj Çubuğu.

Şekil.II-11: Sabit Mesnet Detayı.

TABLO II-8: Mesnet Noktalarının Çapları ve Fiyatları.

ÇAP (mm.)	TEK PARÇA MESNET	KONİK MESNET
Ø 60	13.000.000 TL	8.000.000 TL
Ø 75	20.000.000 TL	12.000.000 TL
Ø 90	23.000.000 TL	18.000.000 TL
Ø 110	47.000.000 TL	25.000.000 TL
Ø 130	55.000.000 TL	34.000.000 TL
Ø 160	72.000.000 TL	47.000.000 TL
Ø 200	91.000.000 TL	
Ø 240	125.000.000 TL	

Kaynak: Uskon Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş., (1999, Aralık, 6), (Kişisel Görüşme)

2.3. SİSTEMİN YERİNE YERLEŞTİRİLMESİ

Uzay kafes sistemler; bileşenlerinin özelliklerinden ve inşa edilen strüktürün geometrisinden dolayı bizlere çok sayıda yerine yerleştirme şekilleri sunabilmektedirler. Yerleştirme tipine, yerleştirme anında ortaya çıkacak yük durumları da dikkate alınarak önceden karar verilmelidir. Yerleştirme işlemi başlamadan önce destekler, üç yöndeki “X”, “Y”, “Z” koordinatlarından gelebilecek yüklere ve yüklemelere göre önceden gözden geçirilmelidir. Daha önceden numaralanan düğüm noktaları ve çubuklar yerleştirme planına göre bir araya getirilir. Uygulama sırasında tüm konstrüksiyonun stabilitesi, yardımcı çubuklar ya da asma-germe elemanlarıyla sağlanır.

Uzay kafes sistemlerdeki bileşenlerin yerine yerleştirilme yöntemlerini genel olarak ikiye ayırabiliriz. Bu yöntemler, sistem bileşenlerinin binadaki asıl yerinde birleştirilmesi yani “yerinde yapım” ile yerde birleştirilip asıl yerine taşınması yani “yerde yapım”dır.

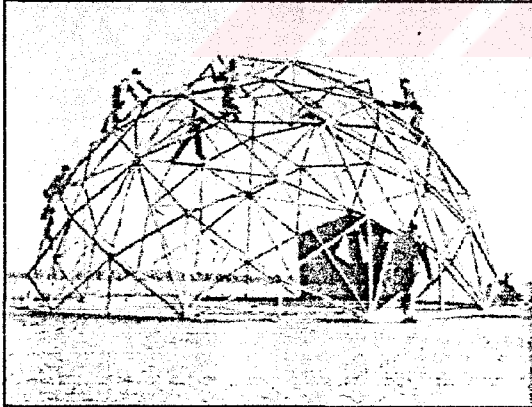
2.3.1. Yerinde Yapım

Uzay kafes sistemleri meydana getiren çelik çubuklar ve düğüm noktalarının birbirleri ile birleştirilmesi, sistemin projesinde gösterilen yerde gerçekleşir. Uzay kafes sistemlerin yerinde yapımı sırasında farklı strüktür geometrisine bağlı olarak üç ayrı yöntem izlenebilir. Bu yöntemleri “yarım küre geometrili sistemlerin yerinde yapımı”, “düzlem yüzeyli kafes kirişlerin yerinde yapımı” ve “hareketli iskeleler yardımıyla yerinde yapım” olarak sıralayabiliriz.

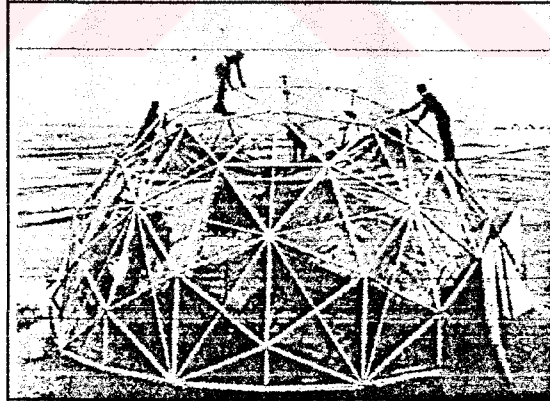
2.3.1.1. Yarım Küre Geometrilili Sistemlerin Yerinde Yapımı

Uzay kafes sistemlerle oluşturulan, yarım küre veya küre kapağı geometrisine sahip sistemlerin yerinde yapımı için kullanılan yöntemdir. Bu yöntem için ilk önce uzay kafes sistemin mesnet noktalarının ankre edileceği betonarme döşeme veya kirişler hazırlanır ve düğüm noktalarının yerleri tespit edilir. Birleştirme işine kürenin en alt sırasındaki çubuklarla düğüm noktalarının birleştirilmesi ile başlanır. Alt sıradaki bileşenlerin tümü monte edilince bir üst sıraya geçilir. Bu işlem en üst sıradaki elemanların da birleştirilmesine kadar devam eder (Resim.II-30, II-31).

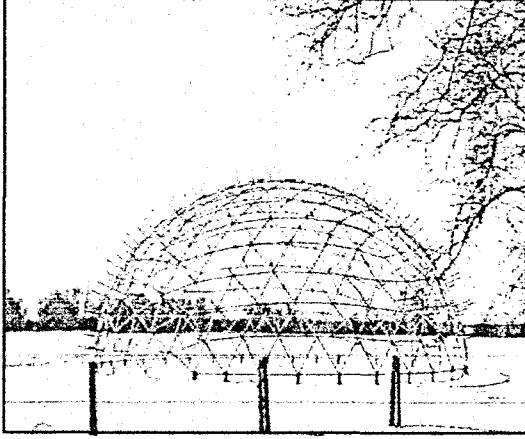
Bu yapım türünde iskele veya kalıp kullanmaya gerek yoktur. Çünkü birleştirilme işlemi tamamlanan her sıra, bir üst sıranın iskelesi görevini üstlenir. İşçiler alt sıralara basarak üst sıralardaki elemanların birleştirilmesini sürdürürler. Bu nedenle sistemin montaj maliyeti çok düşüktür (Resim.II-32, II-33).



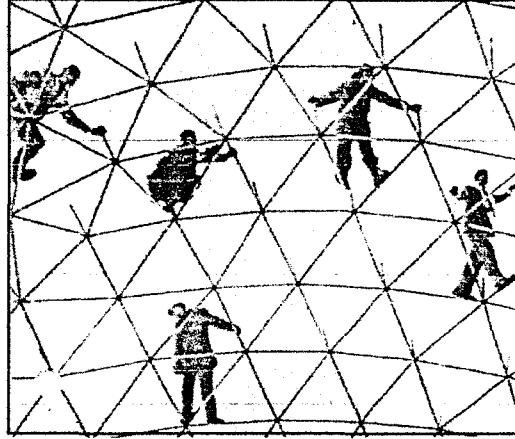
Resim.II-30: Bileşenlerin Yerinde Montaj Aşaması.



Resim.II-31: En üst Sırayı Birleştiren İşçiler.



Resim.II-32: Sistemin Son Hali.



Resim.II-33: Elemanları Birleştiren İşçiler

2.3.1.2. Düzlem Yüzeyli Kafes Kirişlerin Yerinde Yapımı

Düzlem yüzeyli kafes kirişlerin yerinde yapımı için önce mesnet noktalarının belirlenip hazırlanması gereklidir. Bundan sonra üstü örtülecek alanın kısa kenarında yer alacak olan bir sıra uzay kafes kiriş şantiye alanı içinde yerde oluşturulur. Daha sonra bir vinç yardımı ile projedeki yerine kaldırılarak monte edilir (Resim.II-34). İlk sıranın yerine yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra bu kafes kiriş taşıyıcılık özelliğine sahip olur. Oluşturulan kafes kiriş, tüm sistemdeki kendi kendini taşıyabilecek en küçük parçadır. Küre geometrili sistemlerde olduğu gibi işçiler bu kafes kirişin üzerine çıkarak, bir sonraki kafes kirişin montajını havada gerçekleştirirler (Resim.II-35).

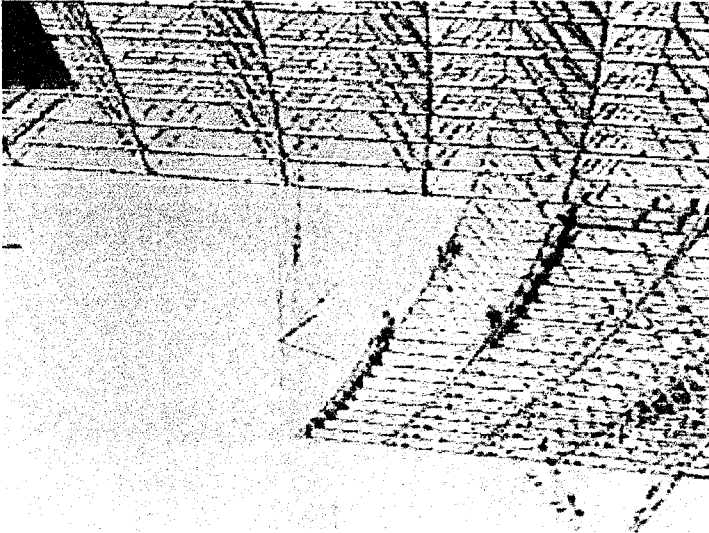
Bu montaj tipinde de kalıba ve iskeleye gerek kalmamaktadır. Elemanların birleştirilmesi tamamlandıktan sonra uzay kafes kirişler diğer bileşenlerin montajı için, işçileri taşıma görevini üstlenirler (Resim.II-36).

Bu montaj şekli genellikle küçük açıklıklı sistemlerde veya büyük vinçlerin kullanılmadığı şantiyelerde tercih edilmelidir. Bu şartlar dışında bu yöntemin uygulanması ekonomik değildir. Sistemin her ne kadar kalıp ve iskele gideri olmasa

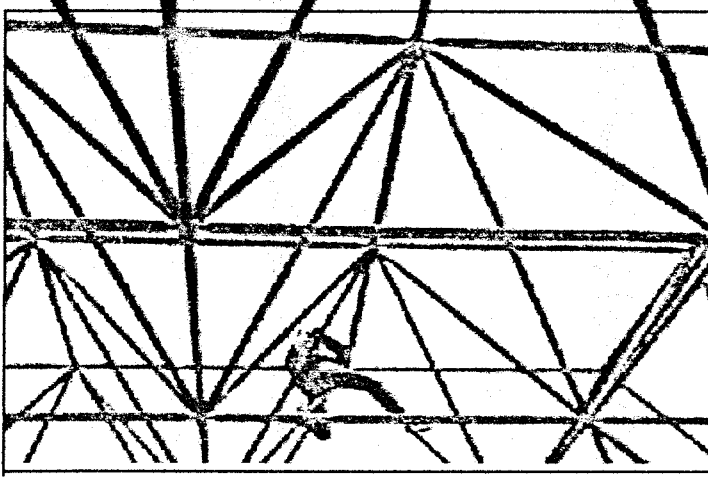
da işçilerin çubuk ve düğüm elemanlarını havada monte etmeleri, yerde monte etmelerinden iki kat daha yavaş yapılmaktadırlar. Uygulama süresinin artması işçilik giderleri yönünden maliyeti doğru orantılı olarak artırır. Ayrıca işçilerin yukarıdan düşüp yaralanma riski de mevcuttur.



Resim. II-34: İlk Sıranın Yerleştirilmesi.



Resim.II-35: İşçilerin Havada Montajı.

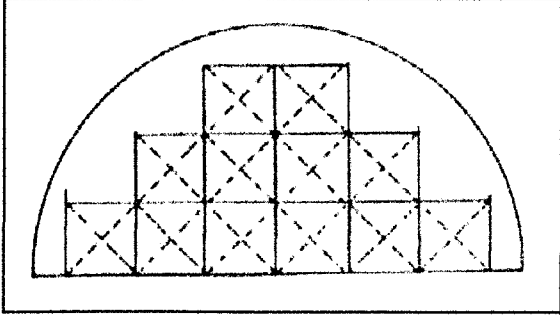


Resim.II-36: Yerinde Yapım Sırasında Bir İşçi.

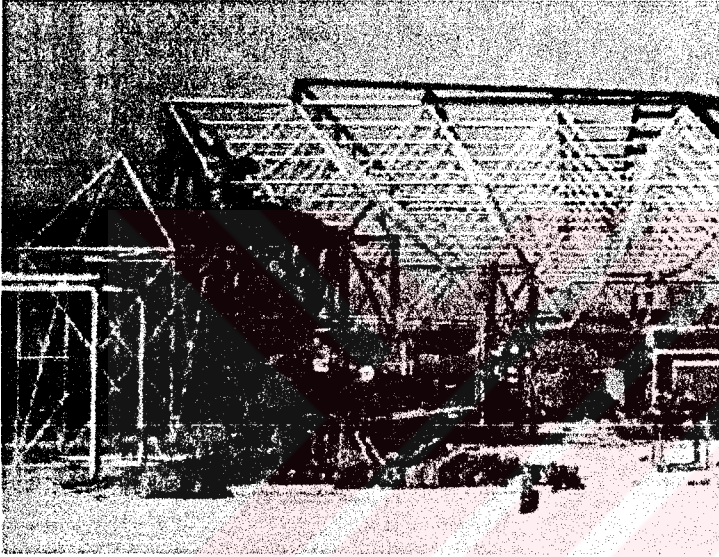
2.3.1.3. Hareketli İskeleler Yardımıyla Yerinde Yapım

Hareketli iskeleler ile yapım yöntemi genellikle kolonlar üzerine konumlandırılan uzay kafes sistemler için kullanılır. Önce kolonların üzerine mesnet bileşenleri yerleştirilir. Ardından uzay kafes sistemin uygulanacağı alanın içine hareketli iskeleler kurulur. Uzay kafes sistemi oluşturan düğüm noktaları ile çubukların birleştirilmesine sistem jeodezik kubbe ise, en alt sıradan başlanır ve en üste kadar birleştirme işine devam edilir. Sistem uzay kafes kiriş ise, mesnet noktaları arasına bir sıra uzay kafes kiriş yerleştirilir (Resim.II-37). Daha sonra iskeleler hareket ettirilerek bir sonraki uzay kafes kirişler birleştirilir. Bu yöntem ile silindirik yüzeyli uzay kafes sistemler ve jeodezik kubbeler de yapılabilir (Şekil.II-12).

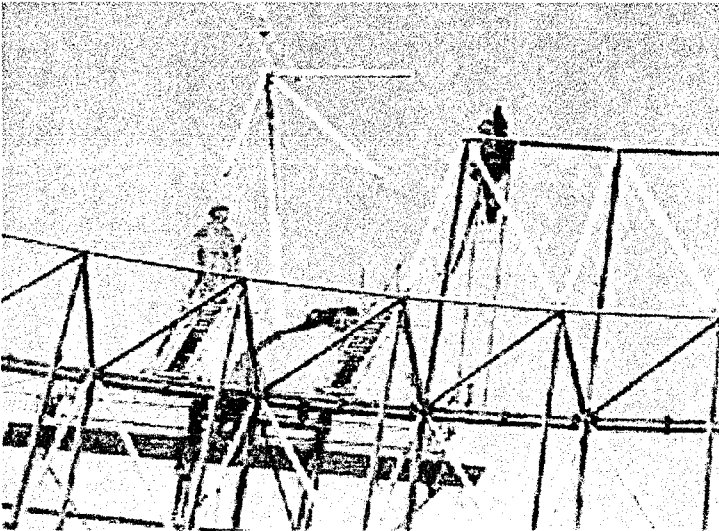
İskele ve kalıp kullanılmadan yapılan önceki sistemlere göre, işçiler açısından daha güvenli bir yapım çeşididir (Resim.II-38). Yapım iskelesiz sisteme göre daha hızlı ilerler. Bu maliyeti düşüren bir etki yapar. Fakat bu yapım sisteminde de iskelenin ek maliyeti vardır.



Şekil.II-12: Hareketli İskele Yardımıyla
Yerinde Yapım.



Resim.II-37: Hareketli
İskele İle Yerinde Yapım.



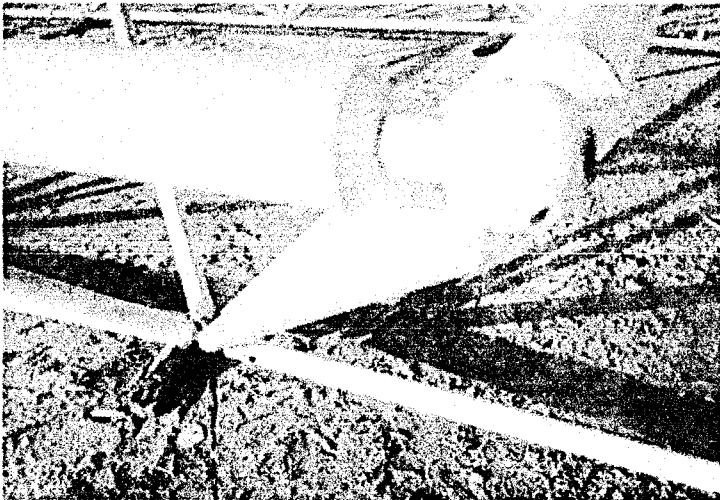
Resim.II-38: Montaj Anında
İşçiler.

2.3.2. Yerde Yapım

Uzay kafes sistemi meydana getiren çubuklar ile düğüm noktalarının birleştirme işlemi şantiyenin en uygun yerinde ve yerde gerçekleştirilir. Daha sonra çeşitli yöntemlerle projedeki asıl yerlerine taşınarak sabitlenirler. Uzay kafes kirişlerin taşıma yöntemlerini; “vinçle taşıma”, “lift-slab yöntemiyle taşıma”, “pnömatik balonlarla kaldırma”, “merkez pilon yöntemiyle kaldırma” ve “helikopterle taşıma” diye beş ana başlık altında inceleyebiliriz.

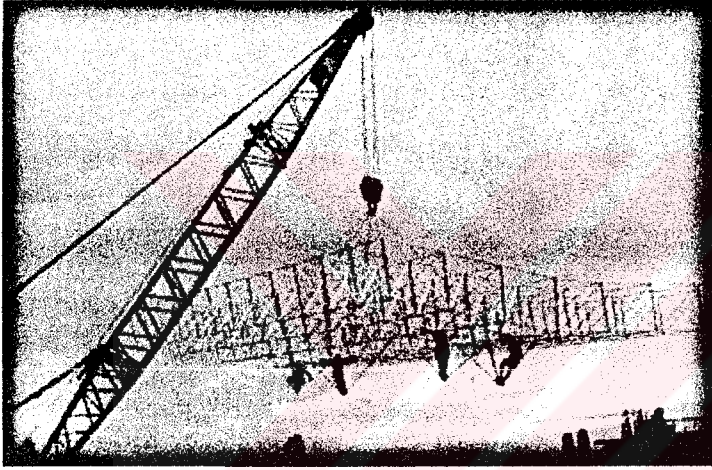
2.3.2.1. Vinçle Taşıma

Öncelikle uzay kafes sistemin, üzerine oturacağı kolonlar hazırlanır. Daha sonra şantiyenin en uygun herhangi bir yerinde çelik çubuklar ile düğüm elemanları birleştirilir. Hatta çoğu zaman uzay kafes sistem üzerine, kaplama malzemeleri de yerde monte edilir (Resim.II-39).

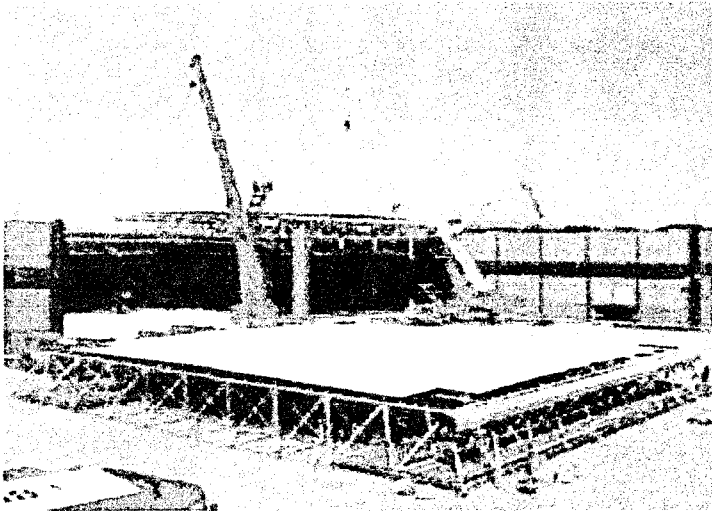


Resim.II-39: Vinçle Kaldırmadan Önce Yerde Birleştirilen Sistem.

Eğer sistem çok büyük değil ise bir tek vinçle bir seferde kaldırılır ve kalıcı yerine yerleştirilir. Çok büyük sistemlerde ise çatı, ya tek bir vinçle birkaç parça halinde yerine kaldırılır ya da birden fazla sayıda vinçle bir seferde kaldırma yolu seçilir. Vinçle kaldırma sırasındaki problemlerden biri, uzay kafes sistemin kablolar yardımı ile vince bağlanmasında görülür. Tek vinç kullanılacak ise sistem, birbirine simetrik dört noktadan vince kablolarla asılır (Resim.II-40). Eğer birden fazla sayıda vinç kullanılacak ise asılma noktası sayısı dördün katları şeklinde artmalıdır (Resim.II-41).

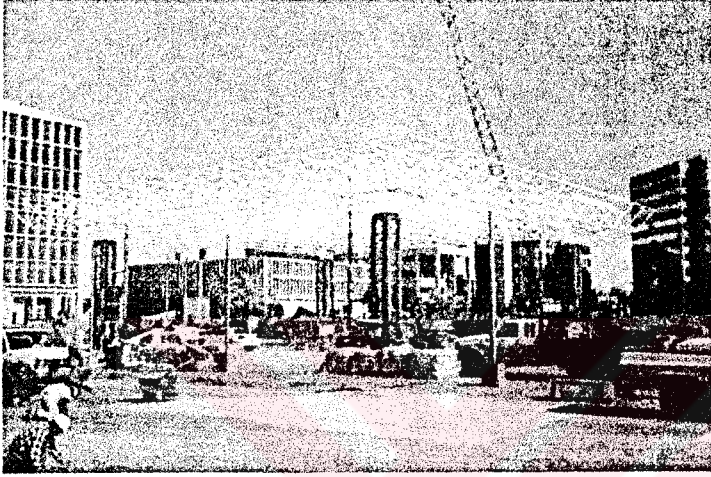


Resim.II-40: Tek Vinçle Kaldırma.



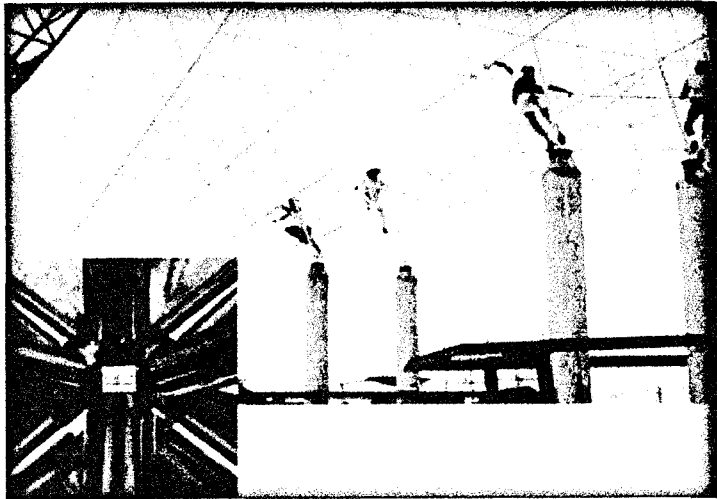
Resim.II-41: Çift Vinçle Kaldırma.

Büyük sistemler için önerilen iki çözümden ilki olan tek vinçle çalışma, diğerine göre hem daha ekonomiktir, hem de uygulanması daha kolaydır. Çünkü vinçle kaldırma işlemi sırasında uzay sistem çatının zarar görmemesi gerekir. Bunun için de vinç operatörünün çok dikkatli ve konusunda uzman olması gerekir. Birden fazla sayıda vincin uyumlu çalışması ve çatıyı yere paralel olarak kaldırması çok zordur (Resim.II-42).



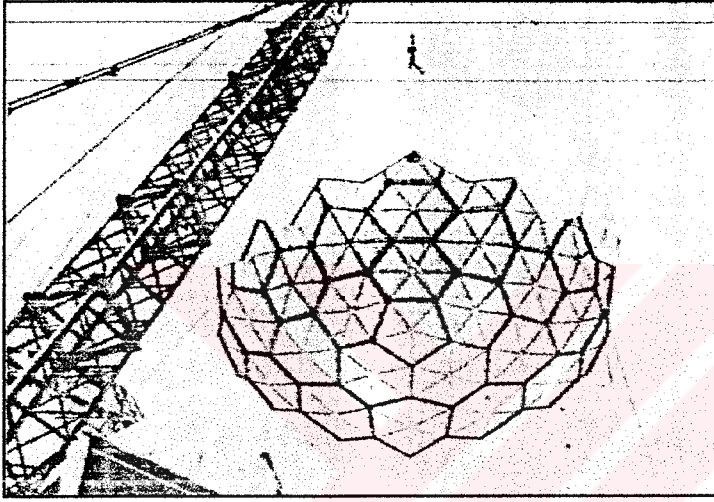
Resim.II-42: Vinçle Sistemin Yerine Yerleştirilmesi.

Vinç yardımıyla kaldırılan uzay kafes sistemler kolonların üzerinde bulunan ince saç levhalara kaynak yardımıyla birleştirilirler. Bunun için çatının önce bir kenarı kolonlara oturtulur ve kaynaklanır, sonra karşı kenar oturtulur ve kaynaklanır (Resim.II-43).



Resim.II-43: Kaynak Sırasında İşçiler.

Vinçle taşıma yöntemi, uzay kafes sistemlerin yerine yerleştirilmesi için öngörülen yapım yöntemleri içinde en yaygın olanıdır. Çünkü sistemi oluşturan parçalar yerde yapılmaktadır. Bu da yerinde yapım yöntemlerine göre hem daha hızlı olmaktadır, hem de işçiler için tamamen güvenlidir. Bu nedenle maliyeti düşüktür. Maliyeti artıran tek neden vincin kullanım kirasından kaynaklanmaktadır (Resim.II-44).



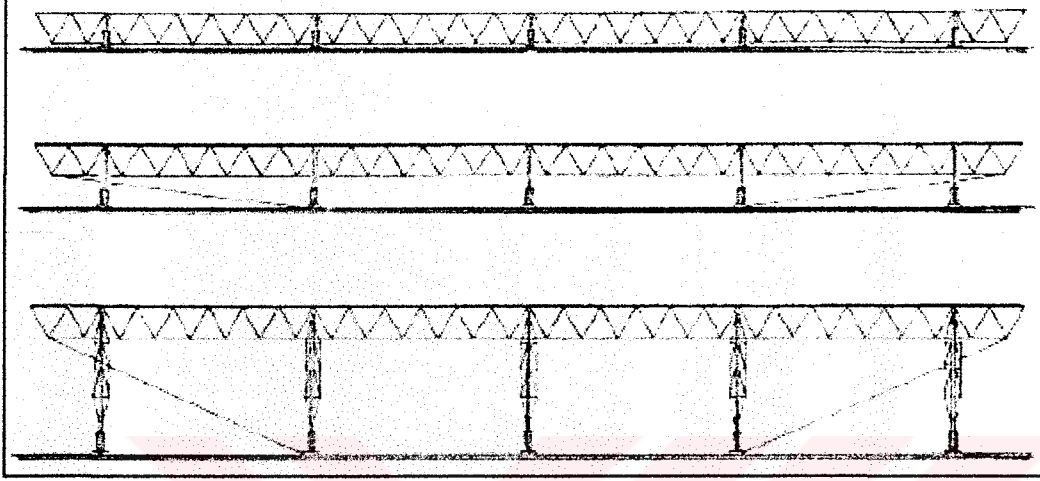
Resim.II-44: Jeodezik Kubbeyi Kaldıran Bir Vinç.

2.3.2.2. Lift-Slab Yöntemiyle Taşıma

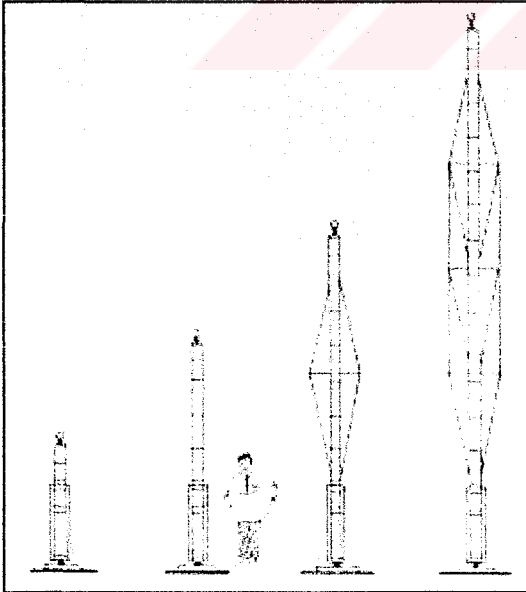
Bu sistemle yapım için ilk şart inşaat alanında kolonların hazırlanmasıdır. Bu kolonlar sadece uzay kafes sistemi kaldırmak için kullanılan geçici kolonlar olabileceği gibi, uzay sistemin asıl yerini alacağı kolonlar da olabilir.

Uzay kafes sistem, üzerine gelecek kaplamalar da dahil olmak üzere yerde, asıl yerinin izdüşümünde birleştirilirler. Sonra hidrolik yolla veya çelik halatlar yardımıyla mekanik olarak yukarıya kaldırılarak, ana destek elemanlarıyla (kolonlarla) birleştirilirler. Yukarıya kaldırma işinin, sistemin yere paralellliğini

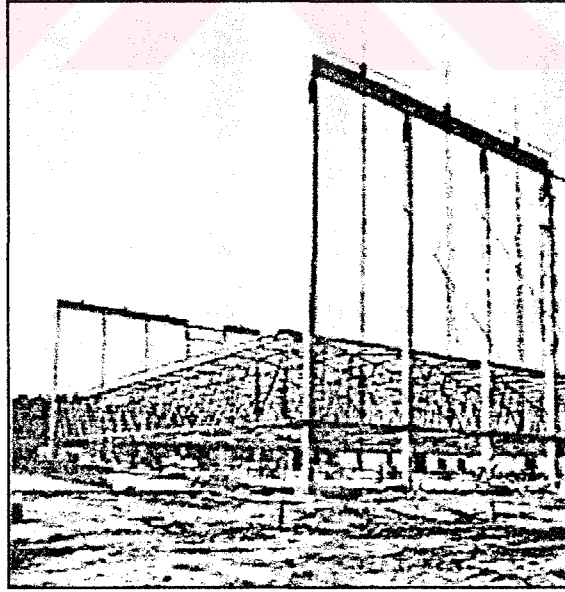
bozmayacak şekilde ve çok dikkatli olarak yapılması gerekir. Tüm kablolar aynı anda ve aynı hızla çekilmelidir (Şekil.II-13, II-14), (Resim.II-45).



Şekil.II-13: Lift-Slab Yönteminin Çalışma Prensibi.



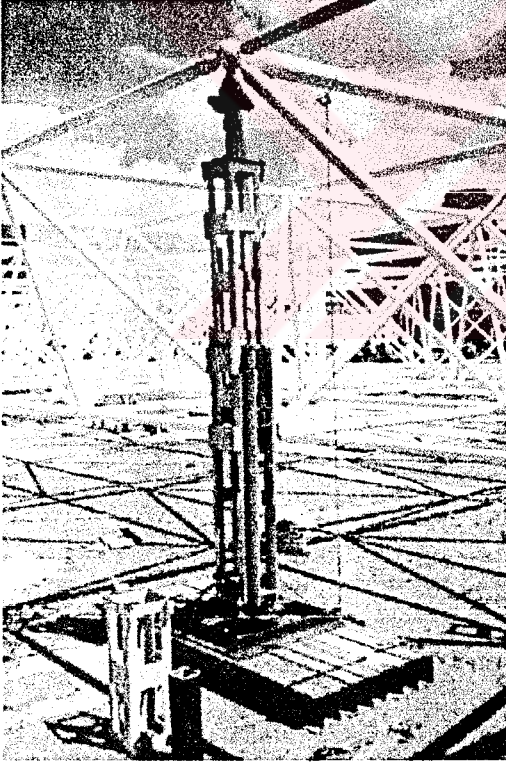
Şekil.II-14: Kaldıraçlar.



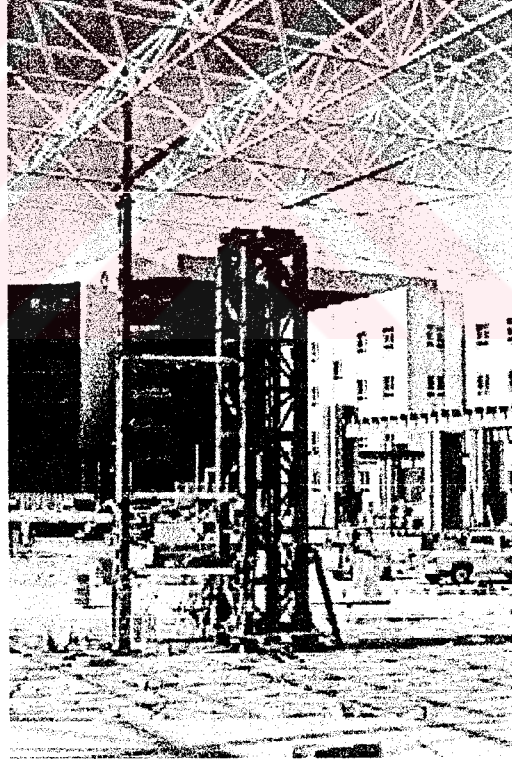
Resim.II-45: Sistemin Yerine Kaldırılması.

Eğer yardımcı kuleler kullanıldı ise, sistem yerine yerleştirildikten sonra kuleler sökülürler. Kulelerin çıktığı bölgelere gelecek çubuk ve düğüm elemanlarının montajı havada tamamlanır (Resim.II-46, II-47).

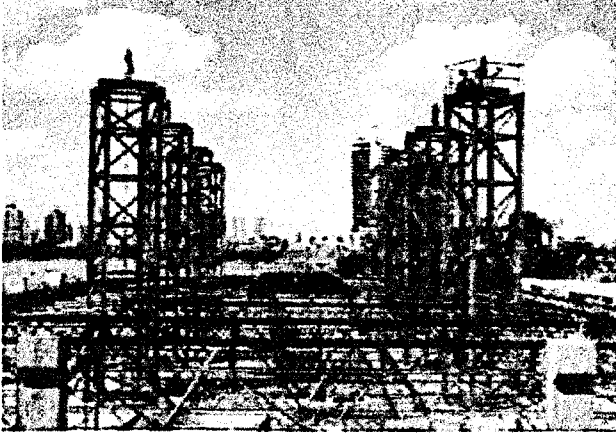
Lift-Slab Metodu, yerinde montaj yöntemlerine göre hem hızlı hem de güvenli olmasına karşın, vinçle kaldırma yöntemine göre daha üstün değildir. Eğer yardımcı kolonlar kullanıldıysa, az da olsa parçaları havada birleştirme işi vardır. Bu da hem montaj süresini hem de işçilerin düşüp sakatlanma riskini artırır (Resim.II-48, II-49, II-50).



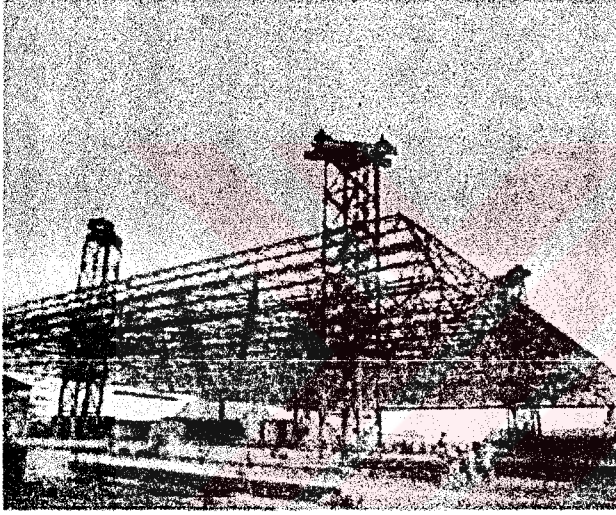
Resim.II-46: Yardımcı Kuleler ile Kaldırma.



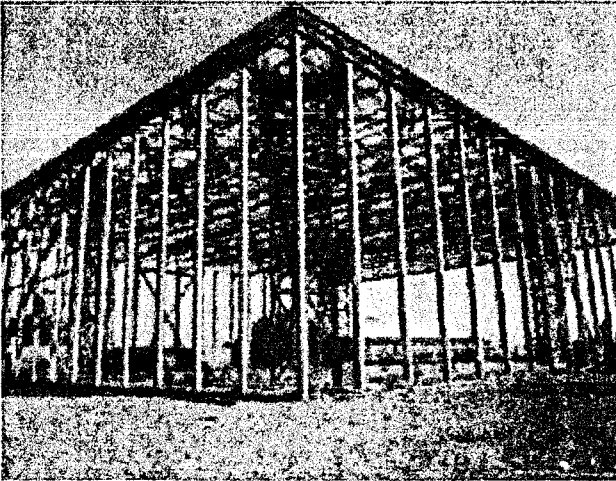
Resim.II-47: Kalıcı Kulelerle Kaldırma.



Resim.II-48: Yerdeki Birleşim
Aşaması ve Kulelerin Yerleştirilmesi.



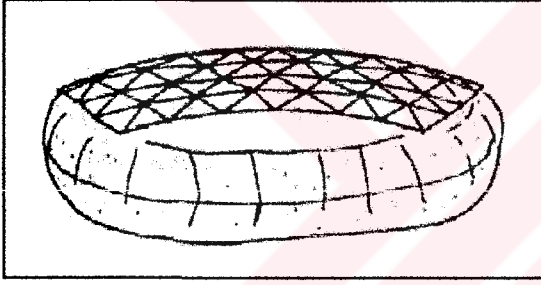
Resim.II-49: Sistemin Yerine
Kaldırılması.



Resim.II-50: Sistemin Yerine
Sabitlenmesi.

2.3.2.3. Pnömatik Balonlarla Kaldırma

Pnömatik balonla kaldırma sistemi genellikle silindir yüzeyli uzay kafes sistemleri gerekli yerlerine kaldırırken kullanılan bir sistemdir. Önce inşaat alanına, yapılacak kabuğun geometrisine göre silindir, küre veya tor yüzeyli bir pnömatik balon getirilir. Uzay kafes sistemin elemanlarının birleştirilme işlemine en üst noktasından başlanır. Her sıra bittiğinde, uzay kafes sistemin içine yerleştirilen pnömatik balon şişirilir. Böylece birleşimi tamamlanan uzay kafes sistem sırası yukarıya kalkar. Daha sonra bir alt sıranın birleştirilme işlemi yapılmaya başlanır. En son sıranın çubukları da birleştirildikten sonra, döşeme üzerinde mesnet noktaları hazırlanır ve balonun havası yavaşça indirilerek düğüm noktalarıyla mesnetler kaynaklanır (Şekil.II-15).



Şekil.II-15: Pnömatik Balonla Kaldırma.

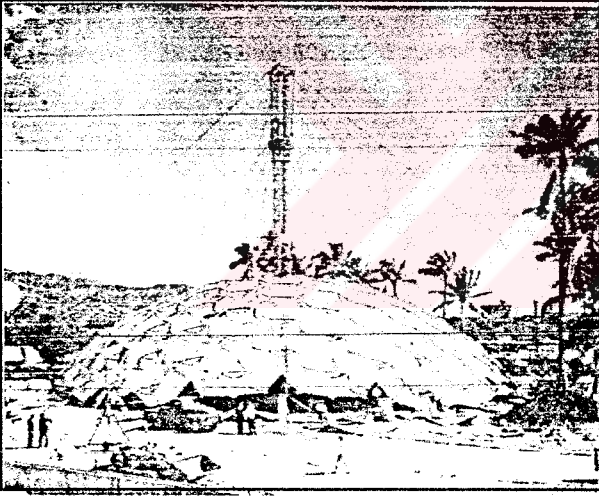
Bu yapım yönteminin, sisteme getirdiği bir üstünlük vardır. İlk sıra bileşenleri birbirlerine monte edilirken, çubuklar kendi ağırlıkları ile sistemin formunu zorlarlar. Formun büzüşüp deforme olması, pnömatik balonun desteği ile önlenmiş olmaktadır. Birkaç sıra birleştirildikten sonra ise uzay kafes sistem kendi mukavemetini elde ettiği için, pnömatik sistemin formu koruma desteğine ihtiyaç kalmaz.

Açıktır da anlaşılacağı gibi bu yapım şeklinde pnömatik balon, bir yerde uzay kafes sistem için kalıp görevini üstlenmektedir. Bu yöntem ile 1958'de Kansas Abilene'de bir kubbe yapılmıştır. Balonun maliyeti oldukça ekonomiktir ve güvenli bir kaldırma yöntemidir.

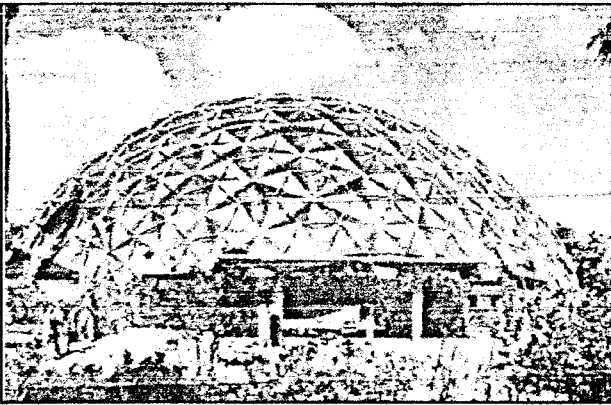
2.3.2.4. Merkez Pilon Yöntemiyle Kaldırma

Montaj için önce uzay kafes sistemin inşa edileceği alanın merkezine bir pilon yerleştirilir. Bu pilonun üstüne de 360° dönebilen bir merkezi vinç yerleştirilir. Uzay kafes sistemin montajına en üst sıradan başlanır. Bir sıra çubuk ve düğüm elemanı birleştirilince sistem pilondaki vinçle yukarıya çekilir (Resim.II-51). Bu işleme en alttaki sıranın da sisteme birleştirilmesine kadar devam edilir.

Tüm çubuklar ve bağlantı elemanları birleştirildikten sonra uzay kafes sistem döşemeye ankre edilir. Böylece merkez pilonun işi bitmiş olur. Merkez pilon sökülürken bir yandan da uzay kafes sistemin üst kaplama malzemeleri yerleştirilir (Resim.II-52).



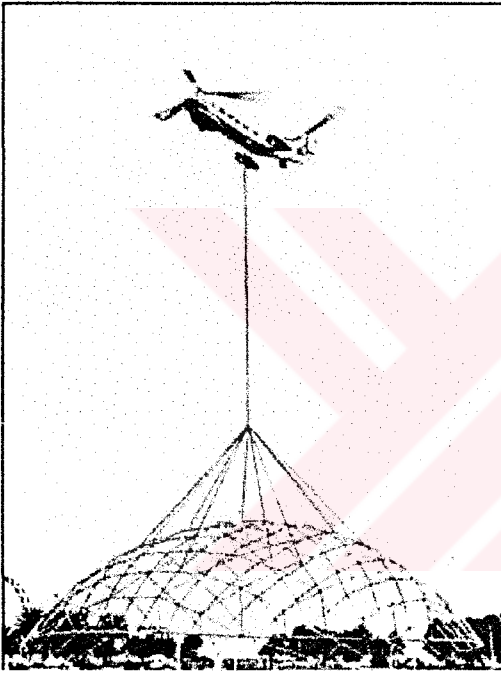
Resim.II-51: Merkez Pilon Yöntemi ile Kaldırma.



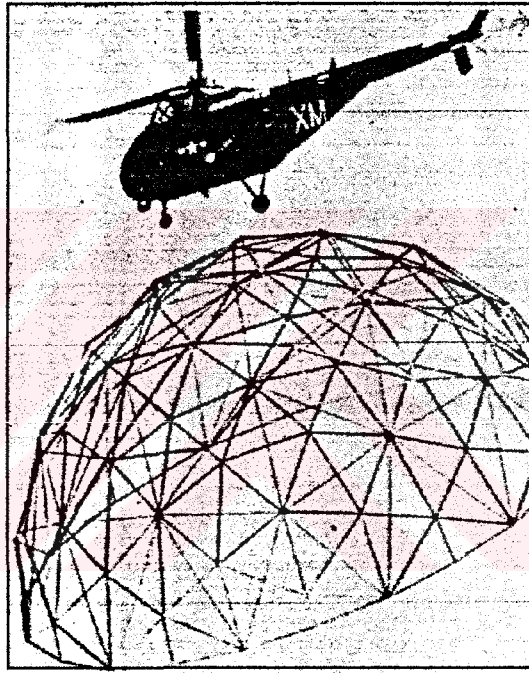
Resim.II-52: Merkezdeki Pilon Söküldükten Sonra Sistemin Görünüşü.

2.3.2.5. Helikopterle Taşıma

Bu yöntem 1970’li yıllarda, ilk kez Amerika’da kullanılmıştır. Buckminster Fuller fabrikada monte ettiği bazı jeodezik kubbeleri şantiye sahasına helikopter ile taşıma yolunu seçmiştir. Bu yöntem ile taşıma havadan olduğu için uzay kafes sistem en hızlı şekilde yapı alanına ulaşmaktadır (Resim.II-53, II-54). Fakat helikopterle taşıma ekonomik olmadığı için günümüzde tercih edilmemektedir.



Resim.II-53: Helikopterle Taşıma.



Resim.II-54: Helikopterle Taşıma.

2.4. UZAY KAFES SİSTEMLERİN UYGULANDIĞI YAPILARDAN ÖRNEKLER

Uzay kafes sistemler, XX. yüzyılın özellikle ikinci yarısında birçok yapıda uygulanmıştır. Uzay kafes sistemlerin kullanıldığı yapıların çoğu hangar, sergi salonu, spor salonu, yüzme havuzu, tren istasyonu, fabrika ve stadyum işlevini üstlenmiştir. Çok geniş açıklıkları çok az sayıda kolonla geçen sistem, bu yönüyle tercih edilmiştir.

Uzay kafes sistemlerin uygulandığı yapıların incelenmesi, önceki bölümde yer alan Tablo.II-1'deki strüktür sıralamasına uygun olarak yapılacaktır. Bu bölümde uzay kafes sistemlerin kullanıldığı farklı işleve sahip yapı örnekleri, mimari biçimleri ve mimariye getirdikleri yeniliklerden dolayı incelenmiştir.

2.4.1. Osaka 1970 Tema Pavyonu

Kenzo Tange tarafından 1970'li yıllarda tasarlama ve yapı teknolojilerinin ulaştığı en son bulgu ve görüşlerin başarılı bir birleşimi olarak yapılan sergi alanının çekirdeğini; değişik kotlarda düzenlenmiş meydanlar, geçit törenleri, danslar ve tüm kültürel gösteri mekanları oluşturur.

Tema Pavyonu'nun yapılış amacı el sıkışan, konuşan, gösterileri seyreden, dans eden insanların bir araya getirilmesidir.

Tema Pavyonu, yaklaşık 30.000 m² alana sahiptir. Gösteri ve seyretme eylemlerinin geçtiği mekanların üstünü, 37 metre yüksekliğinde ve 108 m. x 291 m. boyutlarında iki tabakalı dev bir uzay kafes kiriş örtmektedir. Uzay strüktür çatı, örtme fonksiyonunun ötesinde aydınlatma, ısıtma ve her tür ses aletleri ile bazı sergileme mekanları ve plastik yaşama kapsüllerini taşımaktaydı (Resim.II-55.).

Çift katlı uzay kafes kirişten oluşan çatı 10.8 metre boyundaki 2272 adet alt, üst ve diyagonal çelik çubuk ile 639 düğüm noktasından oluşmaktaydı. Uzay kafes sistem çatının ağırlığı, 4.24 tondur. Bu sistemin üstündeki pnömatik çatı da 1.48 ton ağırlığındadır. Tema Pavyonu'nun üstünü örten bu çatı, 108 m. x 75.6 m. boyutlarındaki altı kolon tarafından taşınmaktaydı.

Bu büyüklükteki bir çatıda montaj aşamasında çelik çubuklarla düğüm noktalarının birleştirilmesi ile çatının yerine montajında sorunlar çıkmıştır. Bu sorunlardan ilki çatının yerine kaldırılmasında yaşanmıştı. Çatı ya yerde birleştirilip yukarıya kaldırılacaktı ya da çelik çubuklar yukarıya kaldırılıp yerinde montaj yapılacaktı. İkinci sorun da düğüm noktaları ile çubukların birleştirilmesinde yaşanmıştır. En küçük bir hata çatının dengesini bozmaktadır.



Resim.II-55: Tema Pavyonu'nun Görünüşü.

Pnömatik çatı şeffaf polyester filminden oluşmuş çift yüzeyli bir örtüydü. Bu örtü her biri 10 m. x 10 m. boyutlarındaki uzay kafes sistem birimlerinin üzerini örtmekteydi. Pavyonun uzun kenarında 29, kısa kenarında da 10 tane uzay kafes birimi bulunmaktaydı. 30.000 m²lik alan 243 uzay kafes sistem birimi tarafından kaplanmış olup, pnömatik çatı dört tabakadan oluşmaktadır. Bunların en içindeki tabaka 50 mikron kalınlığında olup, üzerinde 250 mikronluk basınca dayanıklı ikinci bir tabaka bulunuyordu. Isı yansıtıcı olan 200 mikronluk üçüncü tabakanın üstünde de havanın ultraviyole ışınlarından alt tabakaları koruyan 200 mikron kalınlığında son tabaka yer almıştır.

2.4.2. Antalya Atatürk Fuar ve Kongre Merkezi

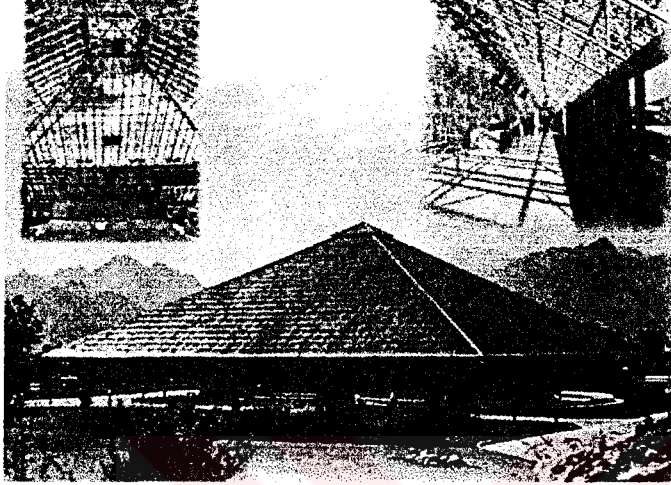
Antalya’da yapılan “Cam Piramit” mimari yapısından dolayı ülkemizin ender yapılarındandır. Beydağları ile uyum sağlayan Cam Piramit’in mimari projeleri, mesleki kontrollük ve koordinasyonu Y. Müh. Mimar Yaşar MARULYALI ve Levent AKSÜT tarafından yapılmıştır.

Antepe A.Ş. tarafından yapılan inşaatın çatısı Uskon A.Ş. tarafından eğik yüzeyli çift katlı uzay kafes sistem olarak projelendirilmiştir.

Antalya Belediyesine ait olan bu yapı 60 m. x 60 m. serbest açıklığı olan 24 adet betonarme kolona oturtulmuştur. Çatı ve duvarları tamamen camla kaplı olan yapının en yüksek noktası 23 metredir. Dışta titanyum mavisi 6 mm’lik reflekte cam, içte 4 + 4 mm’lik lamine cam kullanılmıştır. Yapının tamamında iklimlendirme sistemi vardır.

Çok amaçlı olarak kullanılabilen Cam Piramit 2500 kişilik konferans ve konser salonu olarak kullanıldığı gibi 3600 m² lik bir sergi salonu olarak da hizmet vermektedir. Yapıda akustik duvarlar ve tribünler hareketli olarak düşünülmüştür.

Binanın bodrum katında ayrıca 440 ve 330 kişilik konferans salonları, basın merkezi ve sergi salonuna yer verilmiştir. Yapı 10.000 U.S.\$'a mal olmuştur (Resim.II-56.).



Resim.II-56: Antalya Atatürk Fuar ve Kongre Merkezinin İç ve Dış Görünüşü.

2.4.3. Abdi İpekçi Kapalı Spor Salonu

1970'lerde İstanbul için büyük bir kapalı spor salonu yapılması planlanmıştır. Yapılan yarışmayı Ragıp BULUÇ, Ziya TANALI ve Ercan YENER'in hazırladığı mimari proje kazanmıştır.

“Abdi İpekçi Kapalı Spor Salonu; teknoloji seçiminde yeterli kararlar gerektiren, strüktürel ve mimari unsurlara sahipti. Estetik açıdan en önemli sorun büyük boyutların binanın görünüşündeki dağılımı ve ara mekan ile yardımcı küçük mekanlar arasında iyi bir oranlama yapılmasıdır” (Dizayn Konstrüksiyon, 1987, s:15). Yapı 100.80 m. x 81.60 m.'lik ve binayı dıştan çevreleyen 18 kolonun üzerine oturan büyük bir uzay kafes çatı ile örtülüydü. 12.500 kişilik tribünlerle çevrili büyük bir salon ve çeşitli atletizm çalışmaları için birkaç küçük salondan oluşuyordu.

Çatıyı oluşturan uzay kafes kirişler yükleri eşit oranlarda, yüksek dış kolonlara aktarmaktadırlar. Bu kolonlar 3 m. çapında 16.15 m. yüksekliğinde olup, kazık temeller tarafından taşınmaktadır.

Yapım süreci iç strüktürel sistem için temellerin ve dış kolonları taşıyacak olan kazık temellerin yapımı ile başlamıştır. Bunu dış kolonların yapımı izlemektedir. Asıl gelişmiş teknikler 2000 ton ağırlığındaki uzay kafes kirişlerin zeminde monte edilerek, bir bütün halinde 18 m. yukarıya lift-slab yöntemiyle kaldırılması sırasında kullanılmıştır (Resim.II-57).



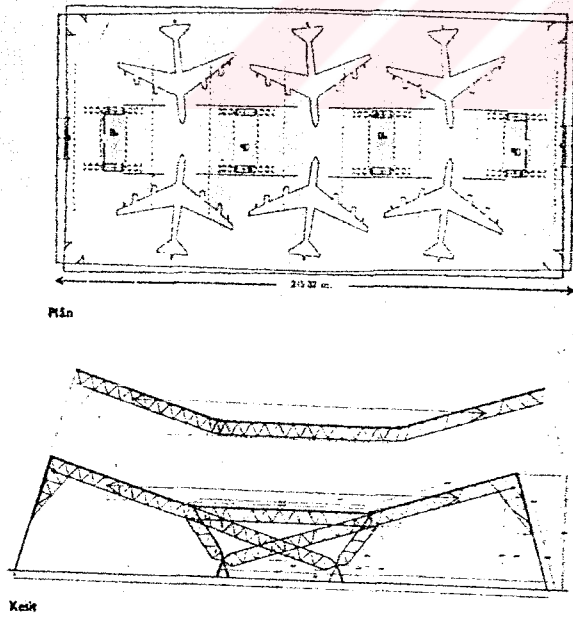
Resim.II-57: Abdi İpekçi Kapalı Spor Salonunun Görünüşü.

2.4.4. Hangar Projesi

Mimar Konrad Wachmann büyük bir hangar projesinin hazırlanması için Amerikan Hükümeti tarafından görevlendirilmiştir. Projede çatı katlanmış yüzeyli uzay kafes kirişlerden oluşmaktadır. Amaç kolonsuz olarak büyük açıklıkları geçmektir. Yapıda kullanılan çelik çubukların ağırlığı metrekare başına 65 Kg'dır.

Sistem üçgen piramit şeklindeki modüllerden oluşmaktadır. Uzay kafes sistemde kullanılan modüller 3.05 m. açıklığa sahiptir. Alt ve üst katları oluşturan çelik çubuklar 15,2 cm. enkesit alanına, diyagonal çubuklar da 7,6 cm. enkesit alanına sahiptir (Şekil.II-16).

Hangar 117,95 m. genişliğe, 245,32 m. uzunluğa ve 13,10 m. yüksekliğe sahiptir. Uzay kafes sistemden oluşan çatı, her iki başında 30,48 metrelik konsollara sahiptir. Konsolları dengelemek amacıyla gergi kabloları kullanılmıştır.



Şekil.II-16: Uçak Hangarı Projesinin Çizimleri.

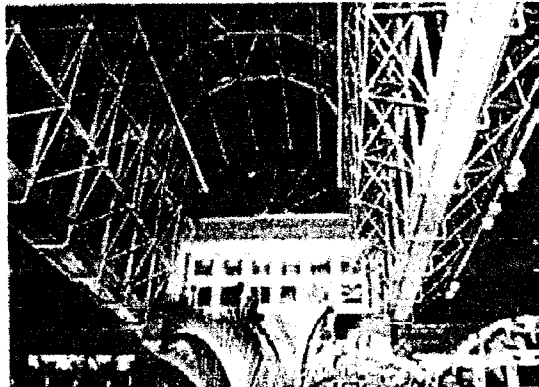
2.4.5. Serangoon Gardens

Uzay kafes sisteminin geliştirilmesinden sonra gerçekleştirilen birçok karmaşık tasarımdan biri de Singapur'daki "Serangoon Şehir Kulübü Bahçeleri"nin iç bahçe üst örtüsünün tasarımıydı. Singapurlu Mimar Eugene Seow, ortada bir iç bahçe ve bu bahçenin iki yanında simetrik olarak yerleştirilen teras çatılı iki beton yapıdan oluşan bir bina tasarlamıştı. İç bahçenin üst örtüsü başlangıçta akrilik malzemedен oluşan bir şilindir formunda düşünöldü. Fakat mimar, kolon aralıklarının 35 m. x 20 m. olmasını istedi. Böylece akrilik malzeme ile kaplamanın pek bir anlamı kalmadı. Bu aşamada Mick Eekhout'un değişik bir önerisi vardı. Eekhout, çift "T" kirişlerin arasına dört tane doğrusal oluk yapmayı ve olukları da silindir yüzeyli çift katlı uzay kafes sistemle birbirine bağlamayı önerdi. Uzay kafes sistemi oluşturan kare piramit modölin taban boyutları tam bir cam panel boyutundaydı (1.7 m. x 1.7 m.). Yan yana beş uzay kafes sistem tonozdan oluşan üst örtü, yanlarda yer alan ve farklı katlardaki betonarme yapılarla birleştirildi (Resim.II-58).

Proje onaylandıktan sonra ströktürel proje mühendisi, olukların sonunun betonarme taşıyıcılara bağlanmasının mümkün olamayacağını fark etti. Çünkü aynı yerde, aynı yapıdan konsol şeklinde çıkan hafif donatılı balkon plağı vardı. Bu profesyonel bir hataydı. Bu değişiklik sadece uzay kafes sistemi kapsamıyordu. Cam panelleri, olukları, elektronik olarak çalışan içteki cam ekran sistemini ve havalandırma fanlarını da kapsıyordu.



Resim.II-58: Serangoon Gardens'ın Dış Görünüşü.



Resim.II-59: Serangoon Gardens'ın İç Görünüşü.

Binanın ayrıntılı tasarımı, her biri dört köşeden kolonlar ile desteklenmiş serbest beton döşeme alanlarının kompozisyonundaki strüktüralizmden dolayı çok güçlü görsel etkiye sahipti. Uzay sistem tasarımı, önceden bu planda tahmin edilmişti. “Diğer yandan, mimarın strüktürel davranışa ve uzay kafes sistemin üç boyutlu karmaşık detaylarının tasarımına olan ilgisi, üretici-mimar veya şantiye mimarını uzay kafes sistem elemanlarının detaylarını uygun duruma getirmesi konusunda uyardı” (EEKHOUT, 1989, s:60). Sonuç içeriden ilk bakışta algılanmasa da dışarıdan bakıldığında yapının camdan bir şelale gibi görünmesinin verdiği etkidir (Resim.II-59).

2.4.6. Shopping Arcades

Serangoon Gardens projesinden sonra yapılan silindir yüzeyli uzay kafes sistem uygulamalarından biri de Kemeraltı Dükkanları’nın (Shopping Arcades) üst örtüsüdür. Bu uygulama Amsterdam’ın güney doğusunda, Mimar Ben LOERAKKER ve Mick EEKHOUT tarafından yapılmıştır. Tonoz çatı 11 m. genişlikte ve 33 m. uzunluktaki silindir yüzeyli uzay kafes sistemden oluşmaktadır. Bu uzay kafes sistem, Serangoon Gardens tasarımının asıl planındaki gibi kare piramit modülün kullanılmasıyla oluştu. Tonoz çatı 1986 yılında tasarlanıp, 1987 yılında tamamlandı. Bu yapı Serangoon tonozunun çok basit bir kopyası gibiydi (Resim.II-60).

Mimarlardan biri, çubuk ve düğüm noktası sayılarında sıklık bir şaşırtıcılığın olduğu uzay kafes sisteme karşıydı. Bu Batı Almanya’da Mönchengladbach’daki bir kenarı 7, diğer kenarı 10 m. yüksekliğinde ve 6 m. genişlik, 70 m. uzunluğundaki bir kemeraltı çarşısının yenilenmesi için benzer bir silindir yüzeyli uzay kafes sistemin tasarımında da problem olmuştu. Mimar Haasen çatıyı tamamen uzay kafes sistemle yapmayı tercih etmedi fakat kare piramit modülü kullandı.



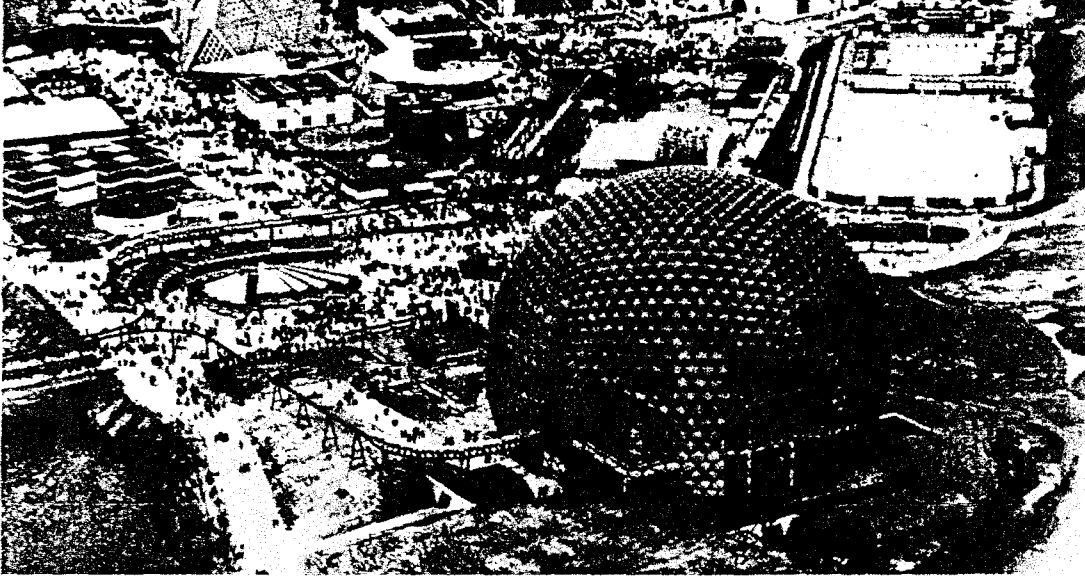
Resim.II-60: Shopping Arcades'in İç Görünüşü.

2.4.7. Montreal 1967 A.B.D. Pavyonu

“Fuller’in ‘gelişmiş bir çevre kontrolü’ olarak tarif ettiği Amerikan Küresi, Montreal’de A.B.D. Pavyonu olarak yapılmıştır” (KARAHASANOĞLU, 1967, s.33). Yapıda uygulanan jeodezik kubbenin çapı 80 m. ve yüksekliği de 65 m.’dir. 1964-1965 New York Fuarı’ndaki A.B.D. Pavyonu’na göre çok az çelik malzeme kullanılarak yapılmıştır.

Kürenin çevresini saran çelik boru sisteminin iç kısmı akrilik - plastik bir zarla kaplanmıştır. Alt kısımda kullanılan borular üsttekilere oranla bir kat daha ağır olup, kubbeye 5.900 düğüm noktası bulunmaktaydı. Her bir düğüm noktasına iç noktalarda altı, dış noktalarda da on iki çelik çubuk birleşmektedir (Resim.II-61).

Dıştaki çelik çubuk sistemi vinç yardımıyla yerine yerleştirilmiş ve iç kısmı akrilik bir zarla kaplanmıştır. 60 m. yüksekliğindeki küreye güneşin değişik açılardan gelmesi sonucu küre üzerindeki zar yanıp sönmekle küreye hareketlilik sağlıyordu. İç yüzeydeki güneşlikler elektronik cihazlarla kontrol ediliyordu.



Resim.II-61: Montreal 1967 A.B.D. Pavyonunun Dış Görünüşü.

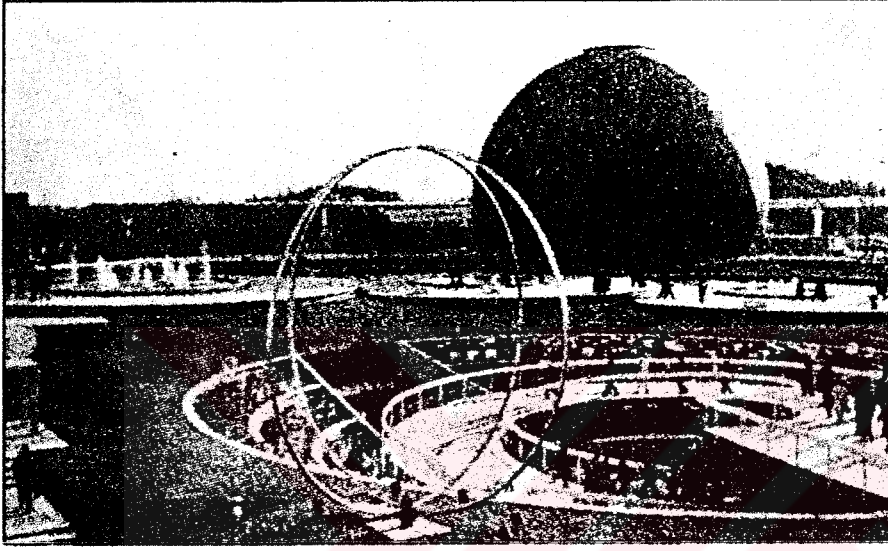
2.4.8. Osaka 1970 Batı Almanya Pavyonu

Almanya’da açılan yarışmada birinci seçilen proje Osaka’da uygulanmıştır. Yapı yeraltında birbiri ile kesişen 30 m. çaplı 8 m. yükseklikte dört betonarme dairesel sergi salonu ile 30 m. çaplı bir kubbenin örttüğü oditoryumdan meydana gelmiştir.

Kubbe çift tabakalı bir jeodezik kubbe olup mavi vinil kaplı üçgenlerle örtülmüştür. Pavyon alanının bir ucunda diğer bölümlerden ayrılmış restoran ve idare binası vardır (Resim.II-62).

Bütün sergi alanları yeraltında bulunduğundan, pavyon iyi düzenlenmiş bir bahçe görünümündedir. Bu dairesel alanlar ziyaretçiler tarafından gezildikten sonra, bir stüdyo görünüşündeki küresel salona geçilir. Pavyonun teması müziktir. Esas özelliği teraslanmış ve çevre düzenlemesi yapılmış sergi salonlarında görülür.

“Mimarın hareket noktası ‘düşünme ve dinlenme’ prensibini gerçekleştirmekti. Bu şekilde düşünmesine neden; ziyaretçilerin oditoryumda görüş ve işitme bakımından etki altında kalacakları ve bundan dolayı düşünmeye teşvik edilecekleri fikridir. Fakat gerçek, hayal edilen duruma benzememektedir” (BEŞKARDEŞ, 1970, s.181.).



Resim.II-62: Osaka 1970 Batı Almanya Pavyonu'nun Dış Görünüşü.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3.1. UZAY KAFES SİSTEMLERDE EKONOMİKLİK KRİTERLERİ

Genel olarak herhangi bir üst örtü yapım sisteminin maliyetini etkileyen birçok etmen vardır. Bu etmenlerin giderleri sistemden sisteme değişmektedir. Kısaca sistem maliyetini etkileyen etmenleri;

- proje giderleri,
- bileşenlerin üretim giderleri,
- kullanılan kaplama malzemesi giderleri,
- nakliye giderleri,
- montaj giderleri,
- bakım giderleri

başlıkları altında altı ana bölümde toplayabiliriz.

Bu etmenlerden; bileşen üretimi, kaplama malzemesi ve yerine montaj giderlerine ikinci bölümde değinilmiştir. Proje giderleri ve bakım giderleri anlaşma yapılan firmalara bağlı olarak değişmektedir. Nakliye gideri ise malzemelerin taşınacağı yerin fabrikaya uzaklığına bağlıdır.

Tüm yapım sistemlerinin tek bir amacı vardır. “Amaç, herhangi bir ürünün üretilmesinde üretkenliğin artırılması, girdilerin akılcı kullanımının sağlanması, minimum girdi ile maksimum yararın elde edilebilmesi olmaktadır” (TÜRKÇÜ, 1988, s.6.).

Uzay kafes sistemler ele alındığı zaman, üstte yer alan altı etmene ek olarak sistemin geometrik şeklinin de sistem maliyetine etkisi vardır. Fayda değeri açısından en uygun çözüm; nakliyesi kolay, montaj süresi az, şantiyede az yer

kaplayan, belli bir alanı en az giderle kapatan, seri üretime uygun, en dayanıklı ve en sağlam, değişik planlara uyabilen bileşenleri olan uzay kafes sistemlerdir.

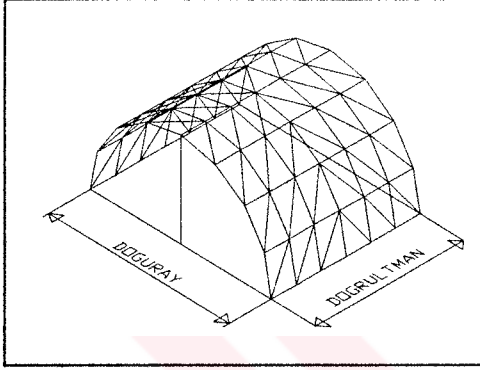
Bu bölümde silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerin maliyetleri ve sistemin toplam ağırlıkları karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırmayı sonsuz sayıdaki geometrik olasılık arasında yapmak mümkün değildir. “Seri üretime uygun düzgün uzay çerçeve geometrileri bile çok fazla sayıda bulunmaktadır. Kısaca, çok sayıda geometrik olasılıkların farklı ekonomik yönlerden incelenip seçilmesi gerekmektedir” (TÜRKÇÜ, 1982, s.38.). Bu nedenle sistemin geometrisini etkileyen faktörlerin sistemin maliyetine olan etkileri; sadece bir tanesinin değişken, diğerlerinin sabit tutulması yoluyla elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılması ile bulunabilir.

3.2. SİSTEM MALİYETİNİ VE AĞIRLIĞINI ETKİLEYEN GEOMETRİK FAKTÖRLER

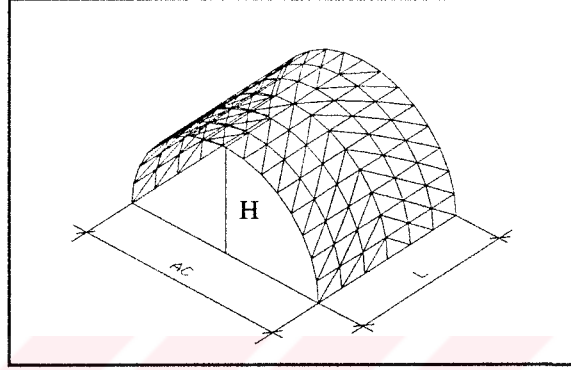
Silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerde, sistemin geometrisini değiştiren tüm etmenler maliyetin de değişmesine neden olurlar. Sistemin geometrisini oluşturan etmenlersekizana başlık altında toplanabilir.

1. Sisteme eğriliğini veren yayın (Doğuray) geçtiği açıklık (AC),
2. Sistemin geometrik yüksekliği (H),
3. Sisteme eğriliğini veren yayın bölünme sayısı -Frekans- (F),
4. Sistemde kullanılan sabit veya hareketli mesnet sayısı (M),
5. Sistem çubuklarının eksenlere göre simetrisi,
6. Sistemde kullanılan çubuk tipi sayısı ve giriş yüksekliği,
7. Sisteme eğriliğini veren yayın geometrisi,
8. Sistemin tek veya çift katlı olması

Bunların dışında doğrultman uzunluğunun (L) ve doğrultman bölünme sayısının (frekans, FL) değişmesinin de maliyete etkisi vardır. Ancak bu iki etmen sistem geometrisine direk olarak etki etmemektedir. Bu nedenle araştırma içine alınmamışlardır. Bunun yanında, doğrultman uzunluğu ve bölünme sayısının maliyeti artırıcı etkisi de gözardı edilmemelidir (Şekil.III-1, Şekil.III-2).



Şekil.III-1: Doğuray ve Doğrultman Yönleri.



Şekil.III-2: AC, H ve L ile Tanımlanan Uzunluklar.

Yukarıda adı geçen sekiz etmenin sistem maliyetine olan etkileri araştırılırken, “Newton-Rapson Yöntemi” ve “Stiffness Matris Yöntemi” kullanılarak hazırlanan iki bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Çalışmada önce Newton-Rapson Yöntemi ile tüm düğüm noktalarının koordinatları ve tüm çubuk uzunlukları belirlenip, ardından bu bilgilerden yararlanılarak Stiffness Matris Yöntemi ile çubukların iç kuvvetleri bulunmaktadır. Daha sonra bu iç kuvvetlere dayanabilecek çubuk enkesit alanları ve sistemin maliyeti çıkarılmaktadır. Bu sonuçlar tablo ve grafikler şeklinde düzenlenip, sistem maliyeti ve ağırlığındaki değişimler karşılaştırılacaktır.

Silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerin maliyetlerini ve ağırlıklarını birbirleriyle karşılaştırmak için çalışmamızda yedi çeşit tablo ve grafikten yararlanılmıştır. Kısaca bu tablo ve grafikleri;

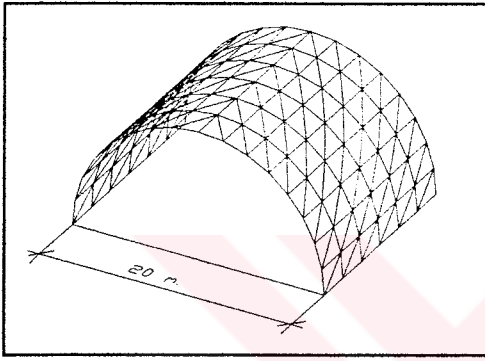
- Sistemde kullanılan toplam çubuk sayısı değişimi,
- Doğuray yönündeki çubuk uzunluğu değişimi,
- Sistem içinden seçilen örnek çubuğun enkesit alanının değişimi,
- Toplam düğüm noktası ve toplam çubuk ağırlığı değişimi,
- Toplam düğüm noktası ve toplam çubuk maliyetinin değişimi,
- Sistem ağırlığının değişimi,
- Sistem maliyetinin değişimi, şeklinde sıralayabiliriz.

Çalışmada yer alan üçüncü tip grafik hazırlanırken, “sistem içinden seçilen örnek çubuk” ifadesine yer verilmiştir. Bu ifade ile anlatılmak istenen çubuk; doğuray yayı üzerinde olan, bir ucu köşedeki sabit mesnete diğer ucu da başka bir düğüm noktasına bağlanmış olan elemandır. Seçilen bu örnek çubuğun sıfır çubuğu olmamasına da dikkat edilmiştir. Yani sisteme etki eden kuvvetler sonucu enkesit alanı diğer çubuklardan kesinlikle daha fazla olmaktadır. Bu nedenle enkesit alanlarındaki değişim en kolay bu çubukta gözlemlenmektedir.

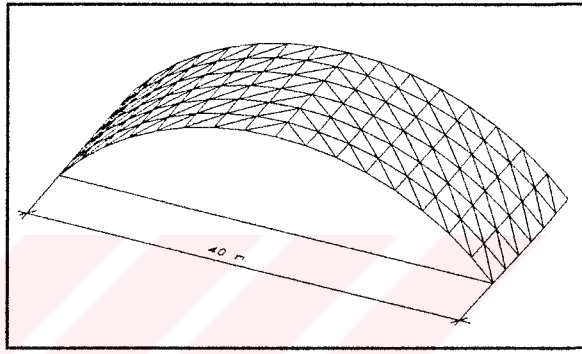
Araştırmada tüm silindir yüzeyli uzay kafes sistemler, bu yedi kriter yardımıyla birbirleri ile karşılaştırılmış ve sonuçta uygulanması en ekonomik olan çözümler araştırılmıştır.

3.2.1. Sisteme Eğriliğini Veren Yayın (Doğuray) Geçtiği Açıklığın (AC) Değişiminin Etkisi

Doğuray yayının geçtiği açıklığın değişiminin etkileri incelenirken; “AC” yani açıklık, değişken değer olarak alınmıştır. Açıklığın ilk değeri 20 metre alınarak altı geometri için ayrı ayrı çözümler elde edilmiştir. Daha sonra açıklık beşer metre artırılarak 25, 30, 35, 40 ve 45 metrelik açıklıklar için çözümler elde edilmiştir.



Şekil.III-3: 20 Metre Açıklıklı Sistem.



Şekil.III-4: 40 Metre Açıklıklı Sistem.

Yalnız açıklık değişiminin sisteme olan etkileri bulunurken diğer değerler sabit tutulmuştur. Bu değerler;

- Sistemin geometrik yüksekliği (H)= 10 metre
- Doğurayın bölünme sayısı (F)= 18
- Doğrultman uzunluğu (L)= 10 metre
- Doğrultman bölünme sayısı (FL)= 4
- Sabit mesnet sayısı (M)=4

olarak alınmıştır (Şekil.III-3, III-4).

Yapılan hesaplar sonucunda, doğuray açıklığının değiştirilmesinin sistemdeki çubuk ve düğüm noktası elemanlarının sayılarında hiç bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Yukarıdaki sabit değerlerin kullanıldığı tek katlı uzay kafes sistemlerde 95 adet düğüm noktası ve 238 adet çelik çubuk bulunmaktadır. Çift katlı olanlarda ise 167 adet düğüm noktası ve 576 adet çelik çubuk vardır. Çelik çubukların

sayılarının değişmemesine karşın, doğuray yönündeki çubukların uzunluklarında artış gözlenmiştir (Grafik.III-1, Tablo.III-1.). Bunun yanında doğrultman yönündeki çubuk boyları değişmemiştir. Grafik. III-1 ve Tablo III-1'deki değerler doğuray yönündeki çubuk boylarının değişimlerini göstermektedir.

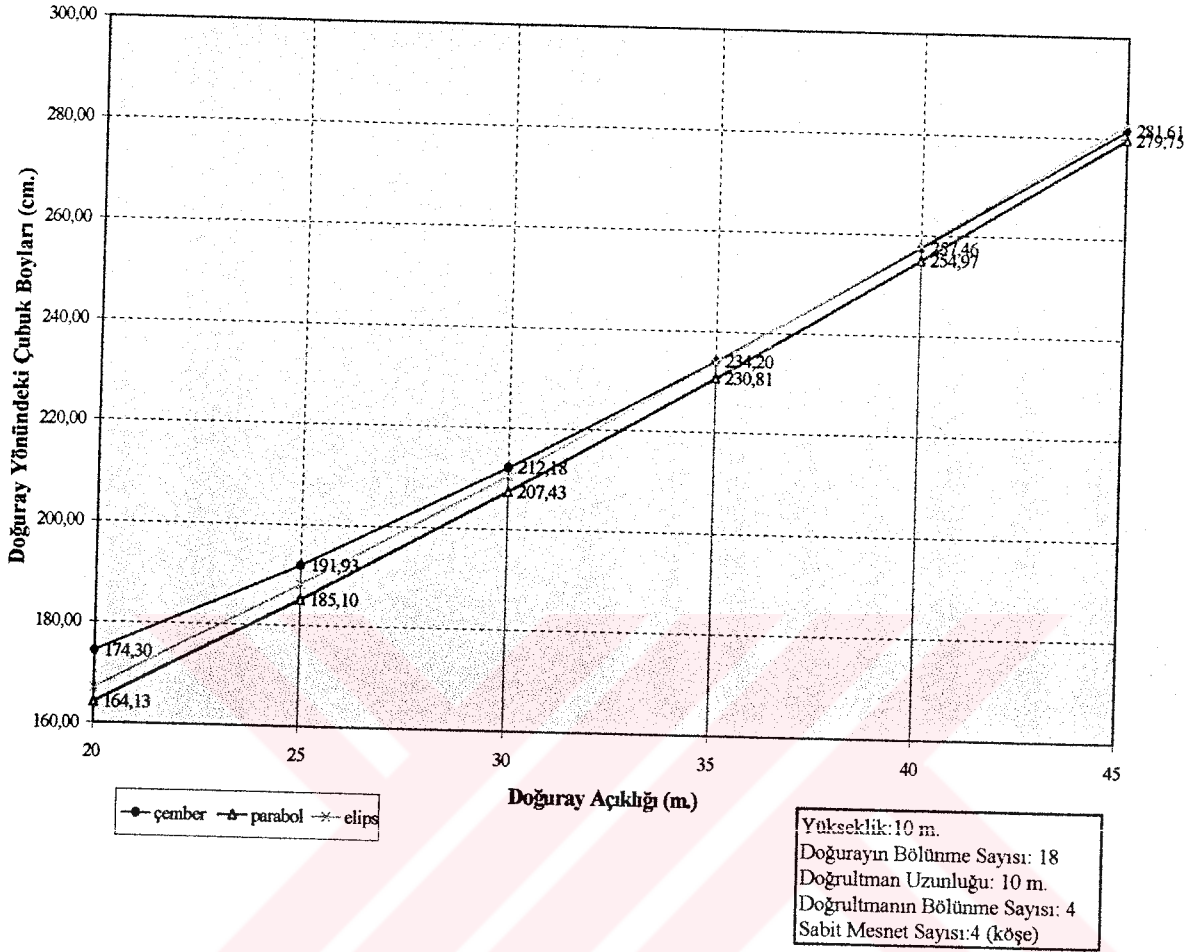
Bugün için piyasada çelik çubuklar 6 metre uzunluğunda üretilmektedir. Fabrikalar bu çubukları alıp projedeki uzunluklarda keserler. Kesim işlemi sonunda küçük parçalar işe yaramaz duruma gelir. Bu parçaların kaynakla birleştirilip yeniden kullanılma olasılığı olsa da birleştirme tercih edilmemelidir. Sistemdeki çubuk maliyetini en düşük sınıra çekmek için, çubuk boylarının 6 metreyi kalansız bölen uzunluklar arasından seçilmesi gerekir. Örneğin 6 metrelik bir çubuktan; 2 adet 3 metrelik, 3 adet 2 metrelik, 4 adet 1.5 metrelik, 5 adet 1.2 metrelik veya 6 adet 1 metrelik çubuklar kesilirse hiç kayıp olmaz.

Çubuk boyunun seçimindeki diğer kriter ise işçiler tarafından kaldırılmasının kolay olmasıdır. Yani bir işçi 3 metrelik çelik çubuğu kaldırıp tek başına montajını yapamaz. Böyle uzun çelik çubukları kaldırmak için vince gerek duyulur. Bu da sistemin montaj maliyetini artırır.

Çubukların taşınabilir boyutta olmasının yanında, çubukların enkesit alanlarının da maliyet üzerinde etkisi vardır. Çünkü çubukların ağırlığı, uzunlukları ile enkesit alanlarının çarpımı sonucu elde edilmektedir. Yani ince kesitli çubuklarla inşa edilebilen sistemler her zaman tercih edilmelidir.

Silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerde, doğuray yayının geçtiği açıklığın artırılıp, diğer kriterlerin de sabit alınması durumunda, sistem gitgide basık olmakta; böylece düğüm noktalarına etki eden dış yükler, çubuklara 180 dereceye yakın bir açı ile iletilmek zorunda kalmaktadırlar. Düğüm noktasına etkiyen kuvvetler bileşke kuvvetlerine ayrılırlar. İki çubuk arasındaki açının artması, bileşke kuvvetlerinin artmasına neden olur. Bileşke kuvvetler çubuklardaki eksenel kuvvetlerdir. Bu durum özellikle basınç çubuklarında enkesit alanların artmasına neden olur.

Grafik.III-1: Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Açıklık Değişimine Göre Karşılaştırılması.



Tablo.III-1: Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Açıklık Değişimine Göre Karşılaştırılması.

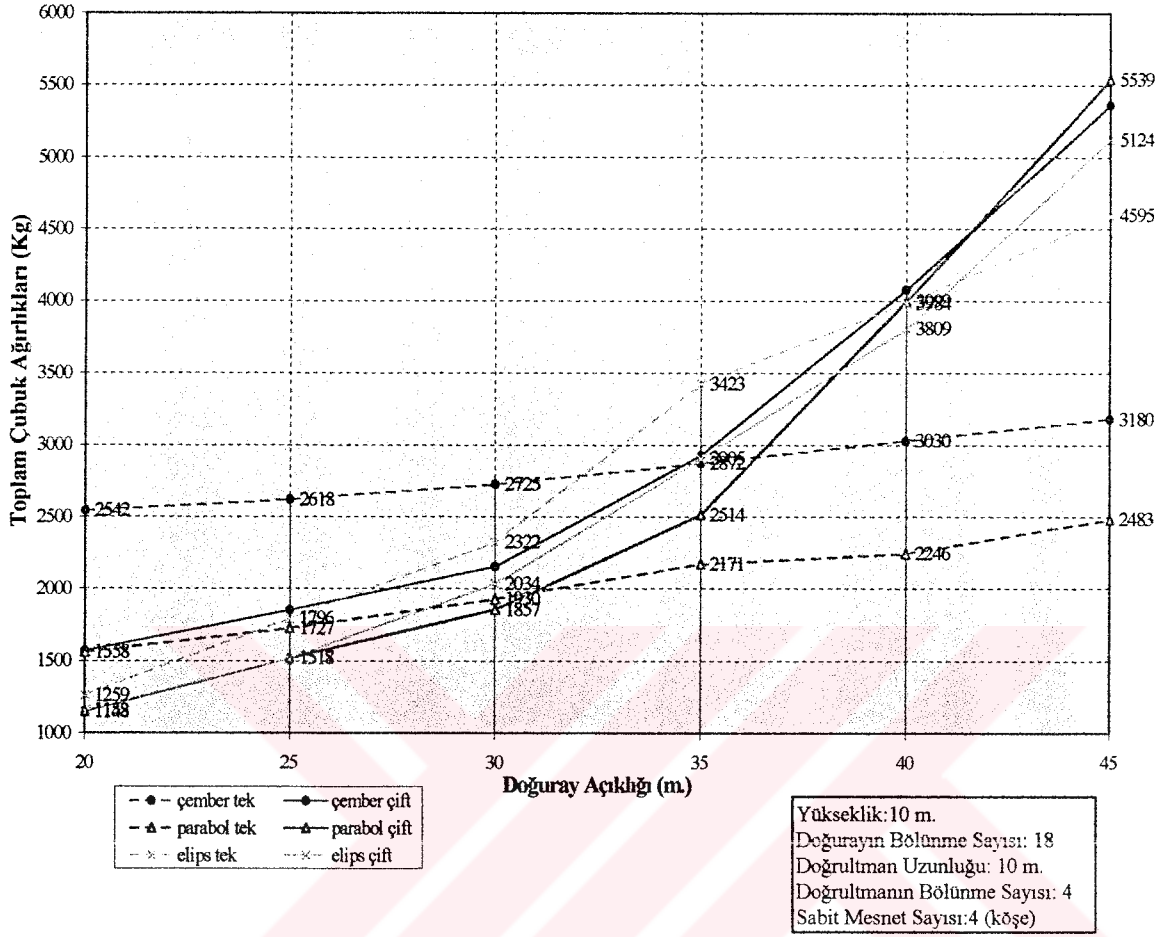
AÇIKLIKLAR	20 m.	25 m.	30 m.	35 m.	40 m.	45 m.
Çember (cm.)	174,30	191,93	212,18	234,20	257,46	281,61
Parabol (cm.)	164,13	185,10	207,43	230,81	254,97	279,75
Elips (cm.)	167,06	188,21	210,60	233,94	258,01	282,66

Çubuk boylarının çok uzun olduğu durumda, çubuklarda burkulma riski doğmaktadır. Bu riski ortadan kaldırmak için çubuk enkesit alanları artırılmalıdır. Doğuray yönünde geçilen açıklığın artırılması sonucu çubuk boylarının çok uzun olduğu sistemlerde, çubuk enkesit alanları çok büyük çıkmakta; sonuçta sistemin gerektirdiği enkesit alanlı çubuklar piyasada hazır olarak bulunamamaktadır. Bu durumlarda özel enkesitli çubuk üretimine gidilmektedir. Sistem maliyeti çok arttığı için bu iyi bir seçim değildir. 50,32 cm²'den daha kalın enkesite sahip olan çubuklar özel üretilmektedir.

Farklı geometrik kesitlere sahip silindir yüzeyli sistemlerde, kullanılan çubukların toplam ağırlıklarını birbirleri ile karşılaştırmak, tüm sistemdeki çubukların enkesit alanlarındaki değişimin daha iyi anlaşılmasına neden olacaktır (Grafik.III-2, Tablo.III-2). Aynı zamanda çubukların maliyeti, ağırlığı ile doğru orantılı arttığı için maliyet değişim grafiği ile ağırlık değişim grafiğinin aynı eğrilerden oluştuğu görülür (Grafik.III-3,Tablo.III-3).

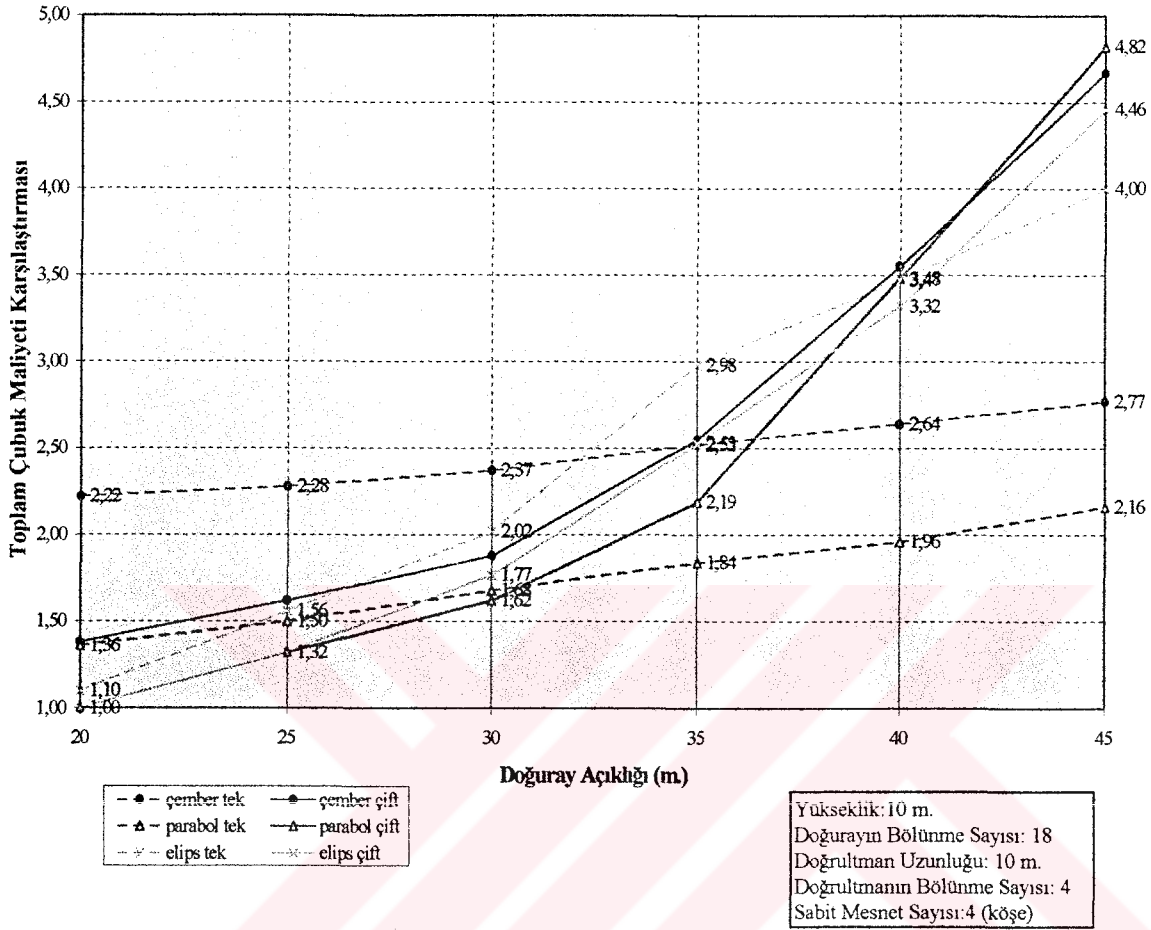
Sistem maliyetini etkileyen diğer bileşen düğüm noktasıdır. Doğuray yayının geçtiği açıklığın artırılması, tek katlı çember kesitli sistem dışındaki diğer sistemlerde düğüm noktası maliyetini artırmaktadır (Grafik.III-4, Tablo.III-4).

Son olarak sistemin toplam ağırlığı (Grafik.III-5, Tablo.III-5) ve maliyeti (Grafik.III-6, Tablo.III-6) grafik halinde sunulmuştur. Grafiklerden çıkarılan sonuç, doğuray yayının geçtiği açıklığın artmasının sistem maliyetini artırıcı etkisi olduğudur. Bunun yanında 30 metre açıklığa kadar tek katlı elips sistemlerin, 30 metreden daha büyük açıklıklarda da tek katlı parabol kesitli sistemlerin diğerlerine göre maliyeti daha az çıkmaktadır. Çift katlı sistemler için bu açıklık 25 metre civarındadır. Elips kesitli sistemlerin küçük açıklıklar için ekonomik olmasının nedeni; yüksekliğin sabit alınıp, açıklığın artırılması sırasında sistemin çok basık bir form almasındandır. Parabol kesitli sistemler diğer iki sisteme göre daha sivridirler. Sisteme düşey yönde gelen dış yükler, elips ve parabolde 180 dereceye daha yakın olmaktadır. Parabolde ise bu açı daha azdır.

Grafik.III-2: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.**Tablo.III-2: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.**

AÇIKLIKLAR	20 m.	25 m.	30 m.	35 m.	40 m.	45 m.
Tek Katlı Çember (Kg)	2542	2618	2725	2872	3030	3180
Çift Katlı Çember (Kg)	1570	1855	2153	2927	4077	5361
Tek Katlı Parabol (Kg)	1558	1727	1930	2171	2246	2483
Çift Katlı Parabol (Kg)	1148	1517	1857	2514	3999	5539
Tek Katlı Elips (Kg)	1259	1796	2322	3423	3984	4595
Çift Katlı Elips (Kg)	1153	1518	2034	2905	3809	5124

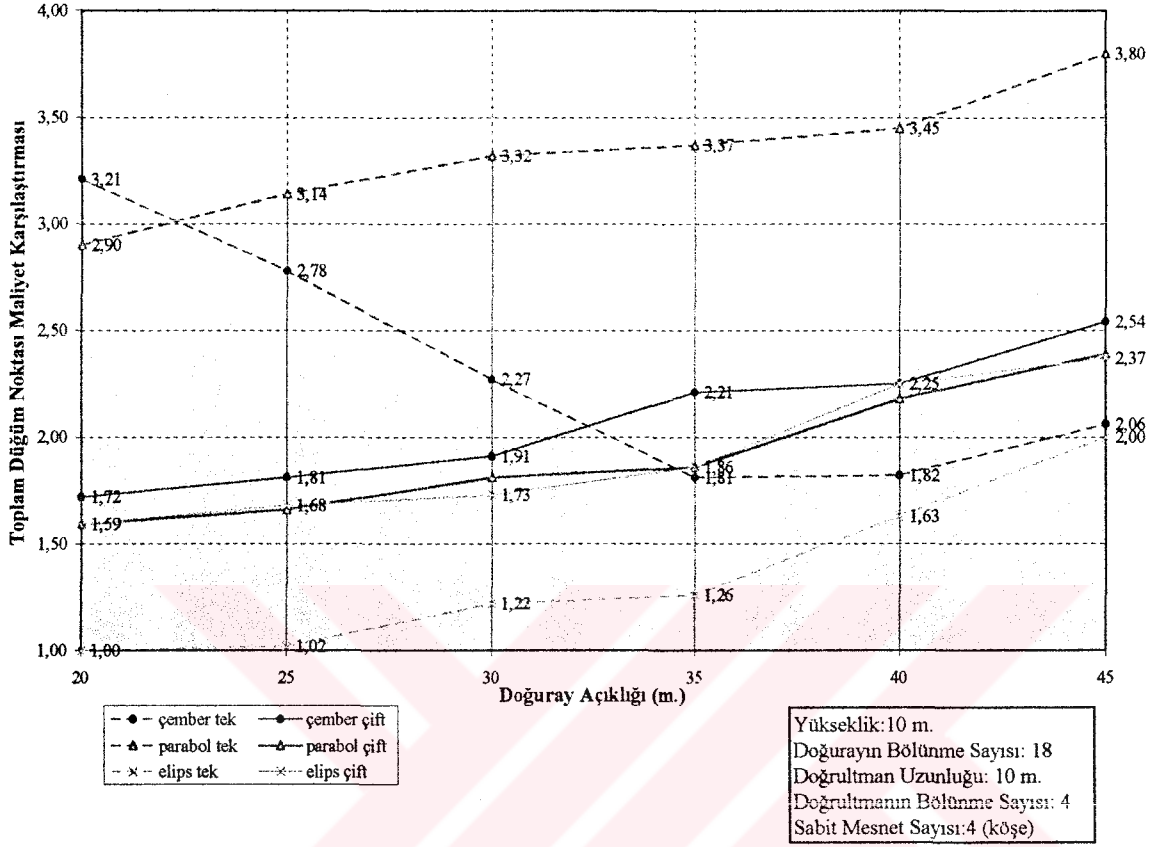
Grafik.III-3: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-3: Açıklık Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

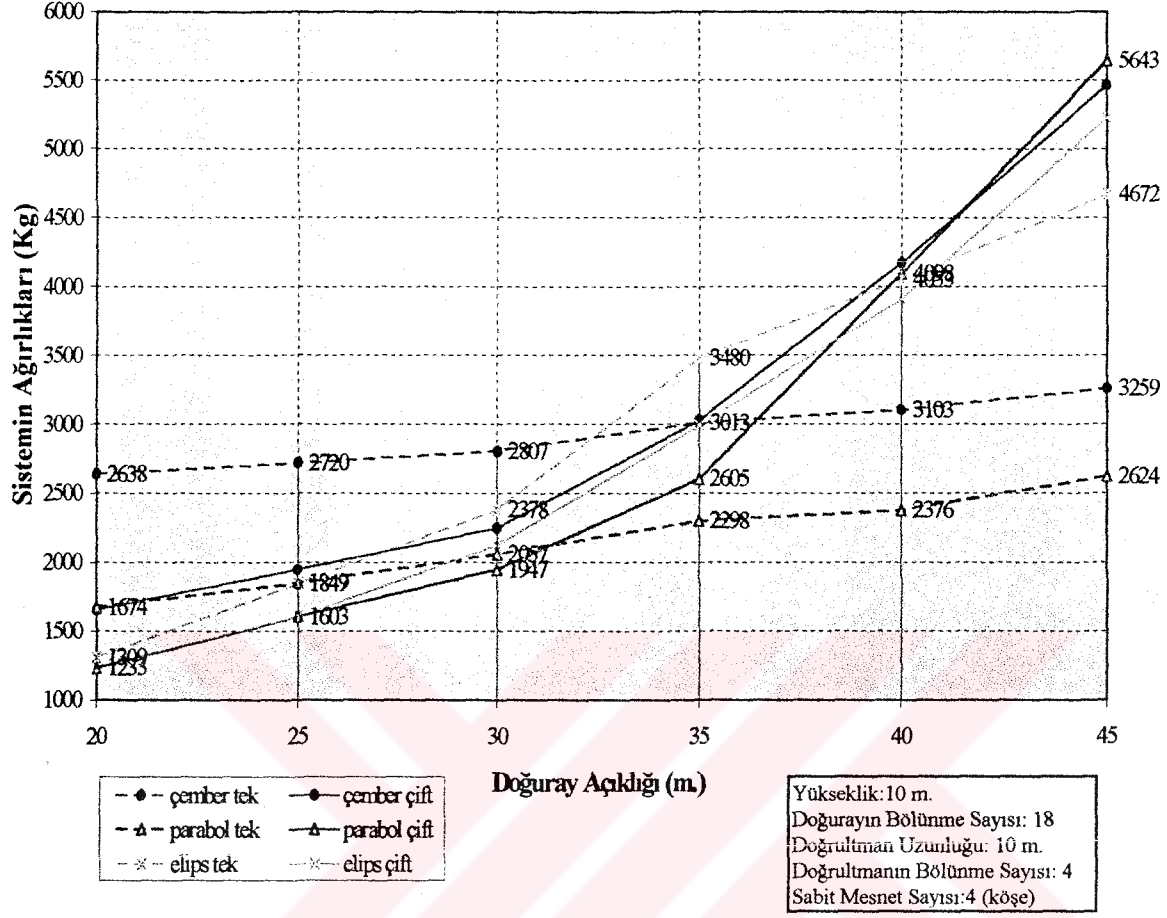
AÇIKLIKLAR	20 m.	25 m.	30 m.	35 m.	40 m.	45 m.
Tek Katlı Çember	2,22	2,28	2,37	2,52	2,64	2,77
Çift Katlı Çember	1,38	1,62	1,88	2,55	3,55	4,67
Tek Katlı Parabol	1,36	1,50	1,68	1,84	1,96	2,16
Çift Katlı Parabol	1,00	1,32	1,62	2,19	3,48	4,82
Tek Katlı Elips	1,10	1,56	2,02	2,98	3,47	4,00
Çift Katlı Elips	1,00	1,32	1,77	2,53	3,32	4,46

Grafik.III-4: Açıklık Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



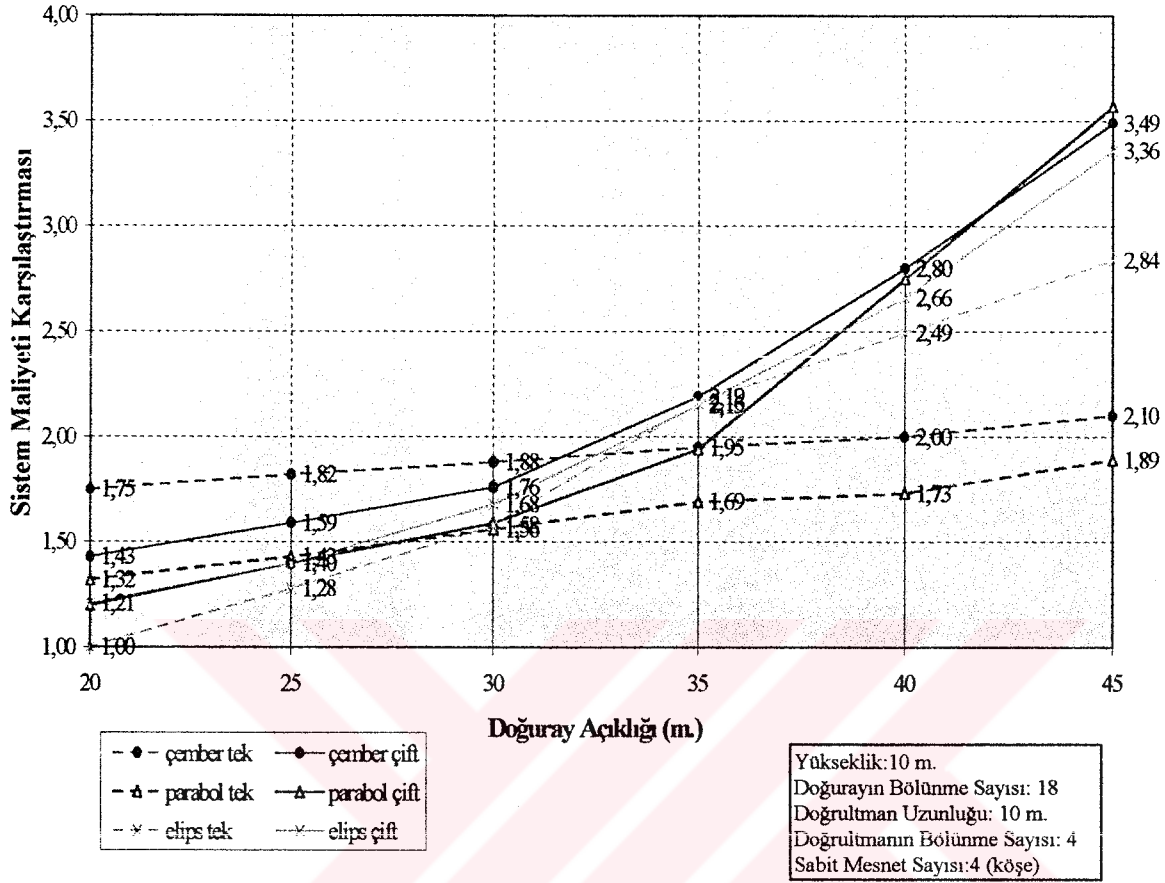
Tablo.III-4: Açıklık Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

AÇIKLIKLAR	20 m.	25 m.	30 m.	35 m.	40 m.	45 m.
Tek Katlı Çember	3,21	2,78	2,27	1,81	1,82	2,06
Çift Katlı Çember	1,72	1,81	1,91	2,21	2,25	2,54
Tek Katlı Parabol	2,90	3,14	3,32	3,37	3,45	3,80
Çift Katlı Parabol	1,59	1,66	1,81	1,86	2,18	2,39
Tek Katlı Elips	<u>1,00</u>	1,02	1,22	1,26	1,63	2,00
Çift Katlı Elips	1,59	1,68	1,73	1,86	2,25	2,37

Grafik.III-5: Açıklık Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.**Tablo.III-5: Açıklık Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.**

AÇIKLIKLAR	20 m.	25 m.	30 m.	35 m.	40 m.	45 m.
Tek Katlı Çember (Kg)	2638	2720	2807	3013	3103	3259
Çift Katlı Çember (Kg)	1658	1945	2245	3026	4177	5468
Tek Katlı Parabol (Kg)	1674	1849	2057	2298	2376	2624
Çift Katlı Parabol (Kg)	1233	1603	1947	2605	4098	5643
Tek Katlı Elips (Kg)	1309	1847	2378	3480	4053	4672
Çift Katlı Elips (Kg)	1238	1604	2122	2996	3910	5228

Grafik.III-6: Açıklık Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



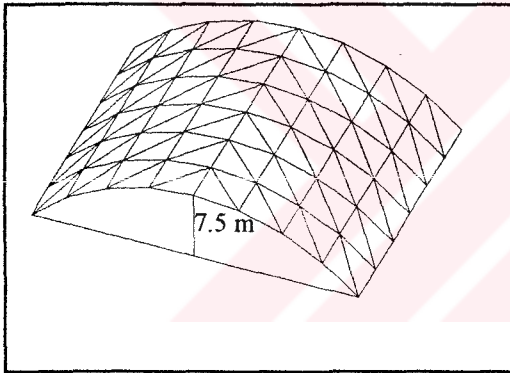
Tablo.III-6: Açıklık Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

AÇIKLIKLAR	20 m.	25 m.	30 m.	35 m.	40 m.	45 m.
Tek Katlı Çember	1,75	1,82	1,88	1,95	2,00	2,10
Çift Katlı Çember	1,43	1,59	1,76	2,19	2,80	3,49
Tek Katlı Parabol	1,32	1,43	1,56	1,69	1,73	1,89
Çift Katlı Parabol	1,20	1,40	1,59	1,94	2,75	3,57
Tek Katlı Elips	<u>1,00</u>	1,28	1,58	2,16	2,49	2,84
Çift Katlı Elips	1,21	1,40	1,68	2,15	2,66	3,36

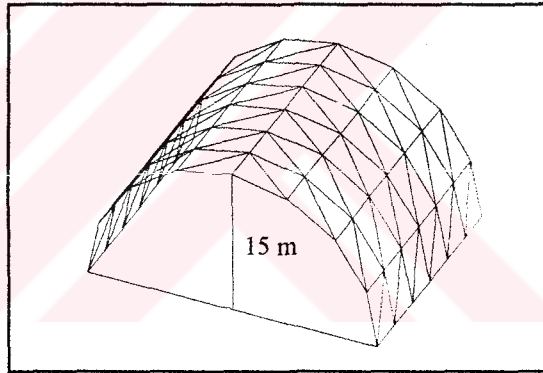
3.2.2. Sistemin Geometrik Yükseklik (H) Değişiminin Etkisi

Sistemdeki yükseklik dendiği zaman akla iki farklı yükseklik gelmektedir. Biri sistemin geometrisinin yüksekliği, yani doğuray yayının yüksekliğidir. Diğeri ise çift katlı uzay kafes sistemlerdeki alt ve üst tabaka arasındaki yüksekliktir. Bu yüksekliğe katlar arasındaki yükseklik denilmektedir. Katlar arasındaki yükseklik değişiminin sisteme olan etkileri ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır.

Sistemin geometrik yüksekliğinin değiştirilmesinin sisteme olan etkileri incelenirken; “H” yani yükseklik, değişken değer olarak alınmıştır. Geometrik yüksekliğin ilk değeri 7.5 metre alınmış, daha sonra yükseklik 2.5 metre artırılarak; 10, 12.5 ve 15 metrelik yükseklikler için çözümler elde edilmiştir.



Şekil.III-5: 7.5 metre yükseklikli sistem.



Şekil.III-6: 15 metre yükseklikli sistem.

Yükseklik değişiminin sisteme olan etkilerini bulabilmek için diğer kriterler sabit değerde tutulmuştur. Sabit tutulan değerler;

- Doğurayın geçtiği açıklık (AC)=30 metre
- Doğurayın bölünme sayısı (F)= 10
- Doğrultman uzunluğu (L)= 10 metre
- Doğrultman bölünme sayısı (FL)= 4
- Sabit mesnet sayısı (M)=4 olarak alınmıştır.

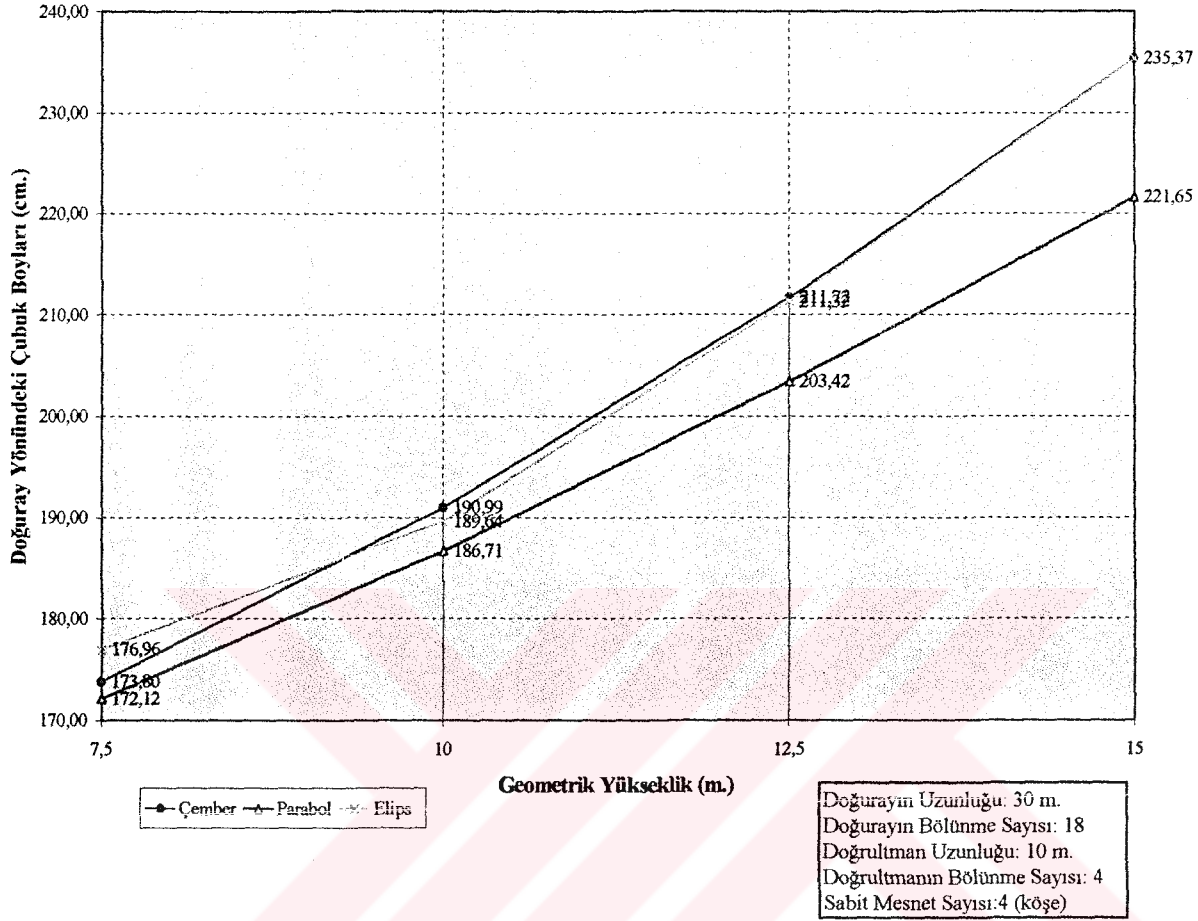
Doğuray açıklığının artırılmasında olduğu gibi, geometrik yüksekliğin artırılmasının çubuk ve düğüm noktası elemanlarının sayılarında hiç bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Yukarıdaki sabit değerlerin kullanıldığı tek katlı uzay kafes sistemlerde 105 adet düğüm noktası ve 264 adet çelik çubuk bulunmaktadır. Çift katlı olanlarda ise 185 adet düğüm noktası ve 640 adet çelik çubuk vardır. Sistem yüksekliğinin artırılması çelik çubukların sayılarını değiştirmese de doğuray yönündeki çubukların uzunluklarında artış meydana getirir (Grafik.III-7, Tablo.III-7.). Bunun yanında doğrultman yönündeki çubuk boyları değişmemiştir. Doğuray açıklığını 30 metre aldığımızda çember yüksekliği en fazla 15 metre olmaktadır. Bu bakımdan yüksekliği daha fazla artırmak geometrik olarak mümkün değildir.

İncelenen sistemler içinde; hiç artık çubuk olmayan ve işçilerce rahat taşınabilecek boyda olan çubukların, 12.5 metrelik yükseklikte elde edilebileceği görülmüştür. Diğer sistem yüksekliklerinde, çubuklardan artık parçalar çıkmaktadır (Grafik.III-7).

Sistemin geometrik yüksekliğinin artırılması, doğuray yönündeki çubuk enkesit alanlarında azalmaya neden olmaktadır. Bunun yanında tek katlı elips kesitli sistemler için doğuray açıklığının 30 metre sabit alınması ve yüksekliğin de 5 metre olması durumunda, sistem geometrisinin basık çıkmasından dolayı çubuk enkesit alanları aşırı kalın çıkmaktadır. Yüksekliğin artırılıp basıklığın ortadan kaldırılması sonucu, çubuk enkesit alanları küçülmektedir.

Sistem yüksekliğinin artırılmasının, sistemi oluşturan tüm çubuklara olan etkileri Grafik.III-8 ve Tablo.III-8’de gösterilmiştir. Grafik.III-9 ve Tablo.III-9’da ise bu etkilerin maliyete yansımaları ele alınmıştır. Sistemdeki toplam çubuk maliyetleri karşılaştırıldığında, tüm yüksekliklerde parabol kesitli sistemlerin diğerlerine göre daha ekonomik olduğu görülmüştür. Yüksekliğin 7.5 metre olduğu durumda tek katlı çember kesitli uzay kafes sistemde maliyet çok büyük artış göstermektedir. Bunun nedeni sistem geometrisinin basık olmasıdır.

Grafik.III-7: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Karşılaştırılması.



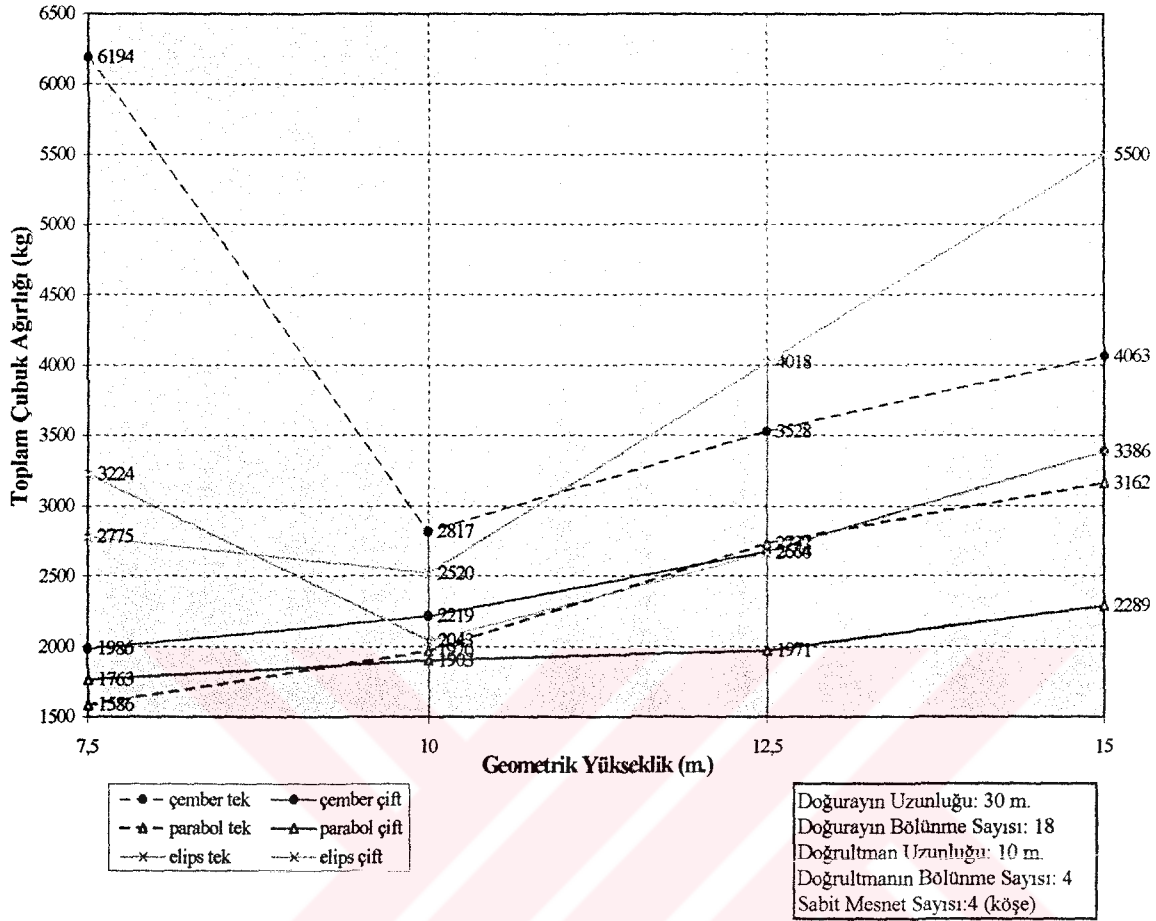
Tablo.III-7: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Boylarının Karşılaştırılması.

YÜKSEKLİK	7,5 m.	10 m.	12,5 m.	15 m.
Çember (cm.)	173,80	190,99	211,72	235,37
Parabol (cm.)	172,12	186,71	203,42	221,65
Elips (cm.)	176,96	189,64	211,32	235,37

Sistemdeki düğüm elemanlarının maliyetleri karşılaştırıldığında; parabol kesitli hariç diğer sistemlerde 10 metre yükseklik için en düşük maliyetle karşılaşılmıştır. Ayrıca yüksekliğin 10 metre alınıp, diğer kriterlerin sabit değerde alındığı durumda tek katlı elips kesitli sistem en düşük maliyete sahipken, 15 metre yükseklik için en yüksek maliyete sahip olmaktadır. İki yükseklik için böylesine büyük maliyet farklarının görülmesinin nedeni elipsin geometrisinden kaynaklanmaktadır. 30 metre doğuray açıklığı ve 7.5 metre yükseklik için elips kesitli sistem basık olduğu için çubuk enkesit alanları artmakta, bu artış düğüm noktalarına da yansımaktadır. Parabol yayının geometrisi diğer iki sisteme göre daha dik olduğundan, parabol kesitli uzay kafes sistemlerin basıklık sorunu azdır. Bu özelliğinden dolayı parabol kesitli sistemlerin ikisinde de düğüm noktalarının maliyetleri dengeli bir şekilde artmaktadır (Grafik.III-10, Tablo.III-10).

Son olarak da sistemin toplam ağırlığı (Grafik.III-11, Tablo.III-11) ve maliyeti (Grafik.III-12, Tablo.III-12) tablo ve grafik halinde sunulmuştur. Grafiklerden çıkarılan sonuç; silindir yüzeyli çift katlı uzay kafes sistemlerden parabol kesitli olanının, tüm yüksekliklerde maliyet açısından diğerlerine göre daha ekonomik olduğudur. Tek katlı silindir yüzeyli uzay kafes sistemler; doğuray açıklığının 30 metre ve geometrik yüksekliğin 10 metre alındığı durumda hem ağırlık hem de maliyet açısından en uygun sonuçları vermektedir.

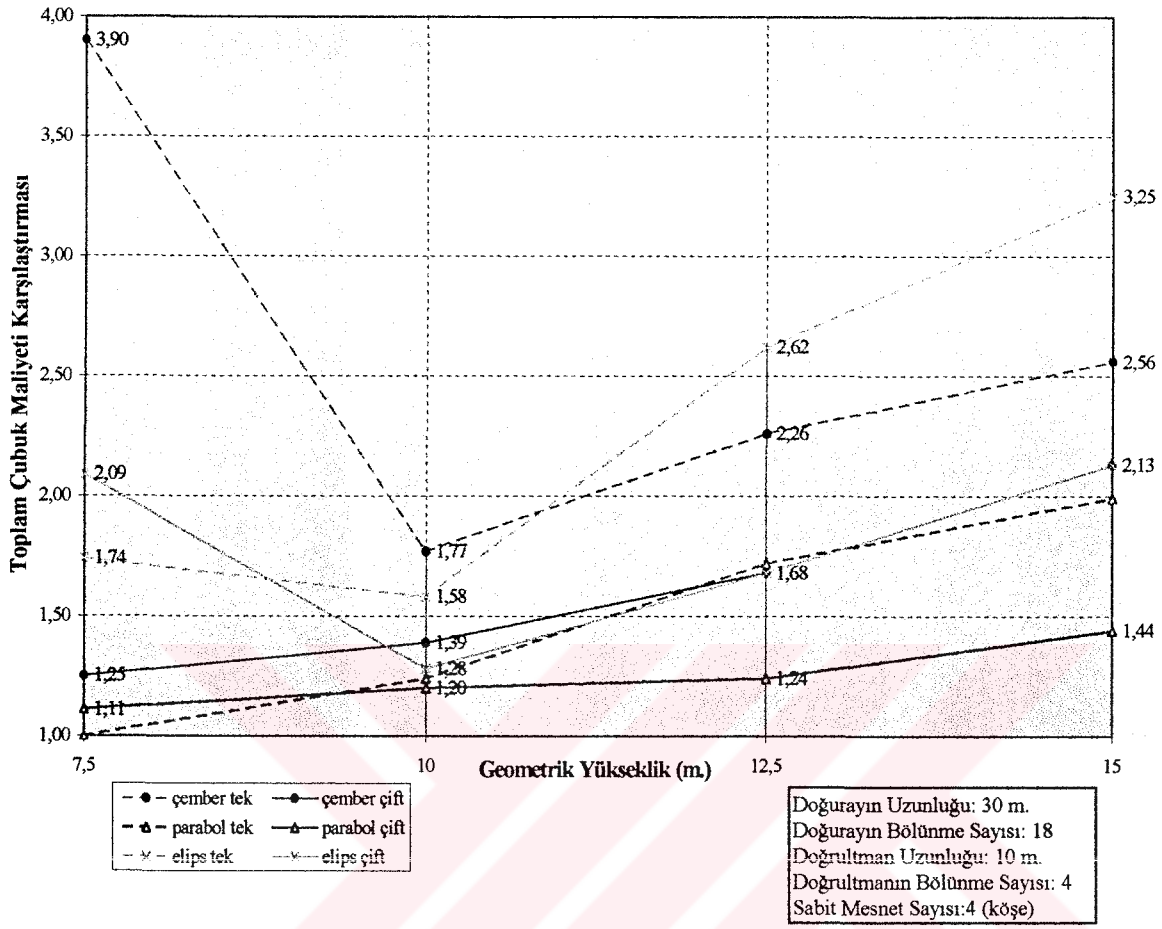
Grafik.III-8: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.



Tablo.III-8: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.

YÜKSEKLİK	7,5 m.	10 m.	12,5 m.	15 m.
Tek Katlı Çember (Kg)	6194	2817	3528	4063
Çift Katlı Çember (Kg)	1986	2219	2674	3386
Tek Katlı Parabol (Kg)	1586	1970	2732	3162
Çift Katlı Parabol (Kg)	1763	1903	1971	2289
Tek Katlı Elips (Kg)	2775	2520	4018	5500
Çift Katlı Elips (Kg)	3224	2043	2666	3386

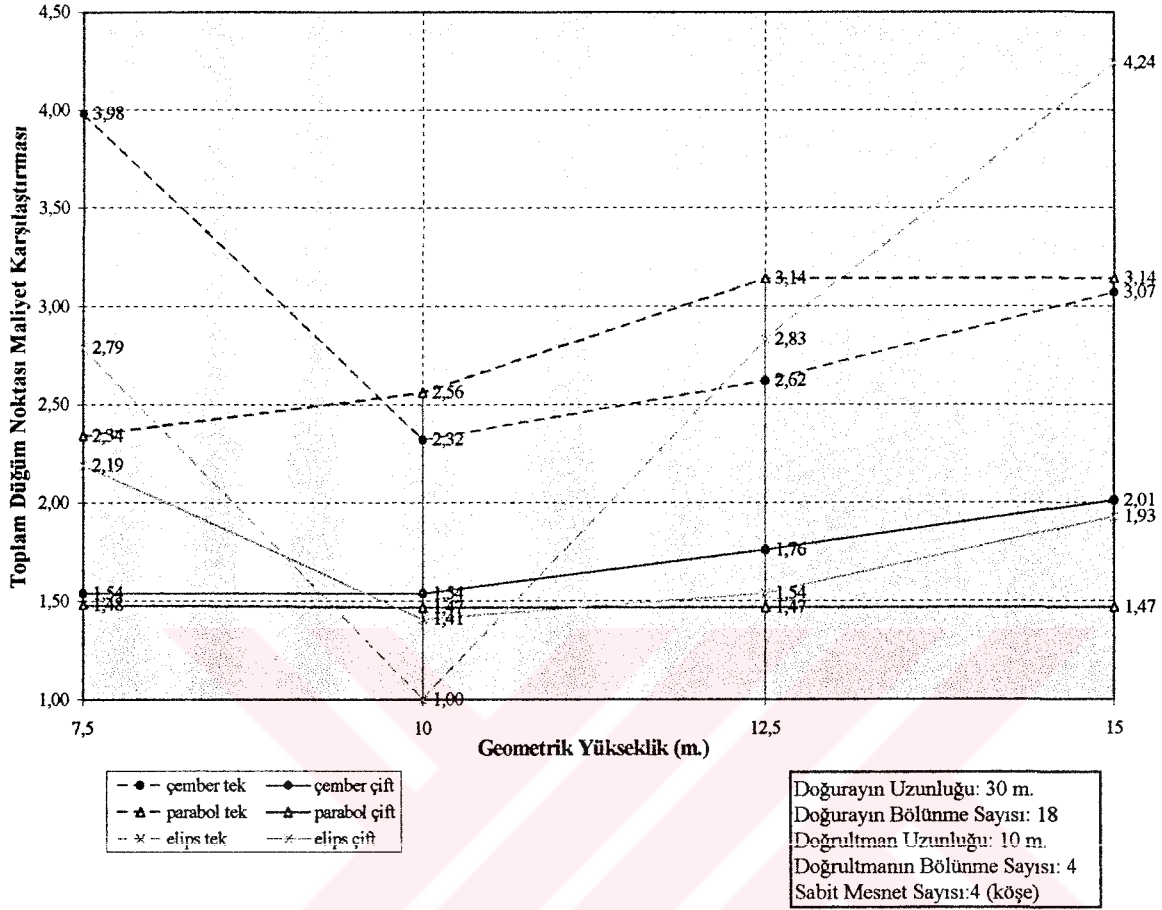
Grafik.III-9: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-9: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

YÜKSEKLİK	7,5 m.	10 m.	12,5 m.	15 m.
Tek Katlı Çember	3,90	1,77	2,26	2,56
Çift Katlı Çember	1,25	1,39	1,68	2,13
Tek Katlı Parabol	<u>1,00</u>	1,24	1,72	1,99
Çift Katlı Parabol	1,11	1,20	1,24	1,44
Tek Katlı Elips	1,74	1,58	2,62	3,25
Çift Katlı Elips	2,09	1,28	1,68	2,13

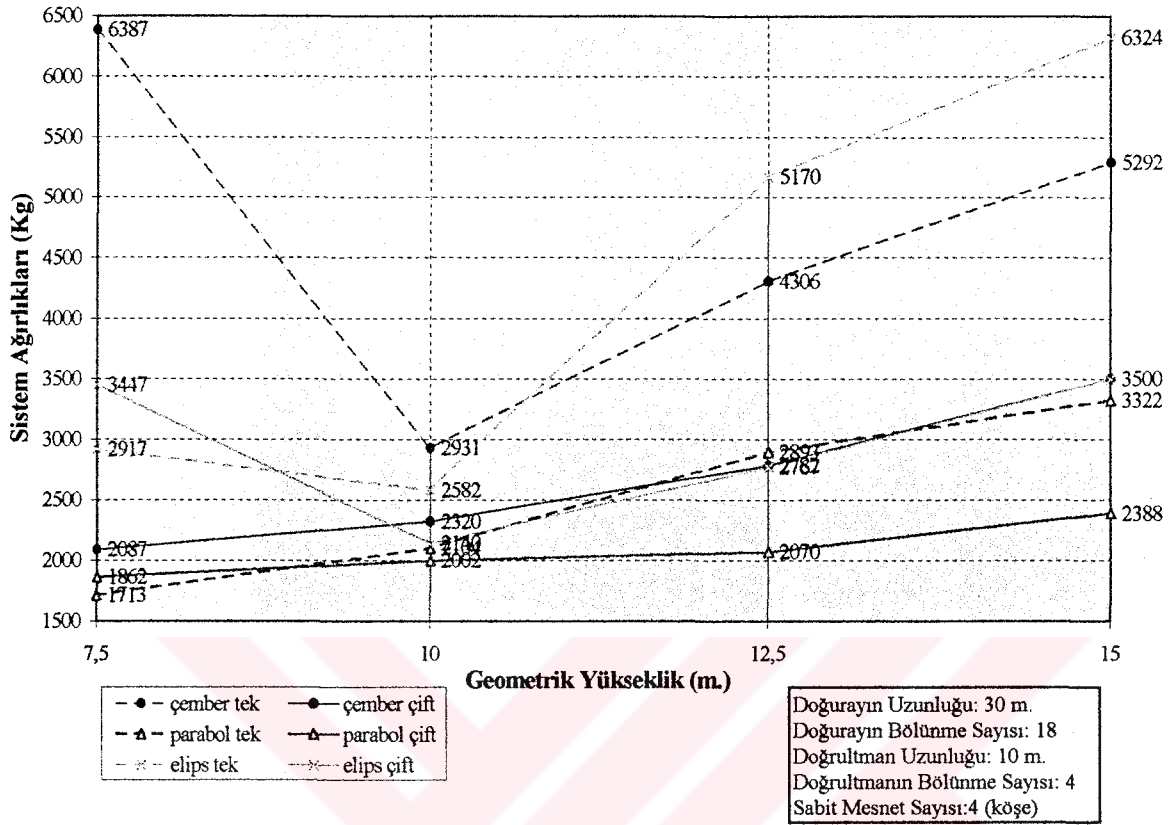
Grafik.III-10: Geometrik Yüksekliğin Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-10: Geometrik Yüksekliğin Değişimine Göre Toplam Düğüm Noktası Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

YÜKSEKLİK	7,5 m.	10 m.	12,5 m.	15 m.
Tek Katlı Çember	3,98	2,32	2,62	3,07
Çift Katlı Çember	1,54	1,54	1,76	2,01
Tek Katlı Parabol	2,34	2,56	3,14	3,14
Çift Katlı Parabol	1,48	1,47	1,47	1,47
Tek Katlı Elips	2,79	1,00	2,83	4,24
Çift Katlı Elips	2,19	1,41	1,54	1,93

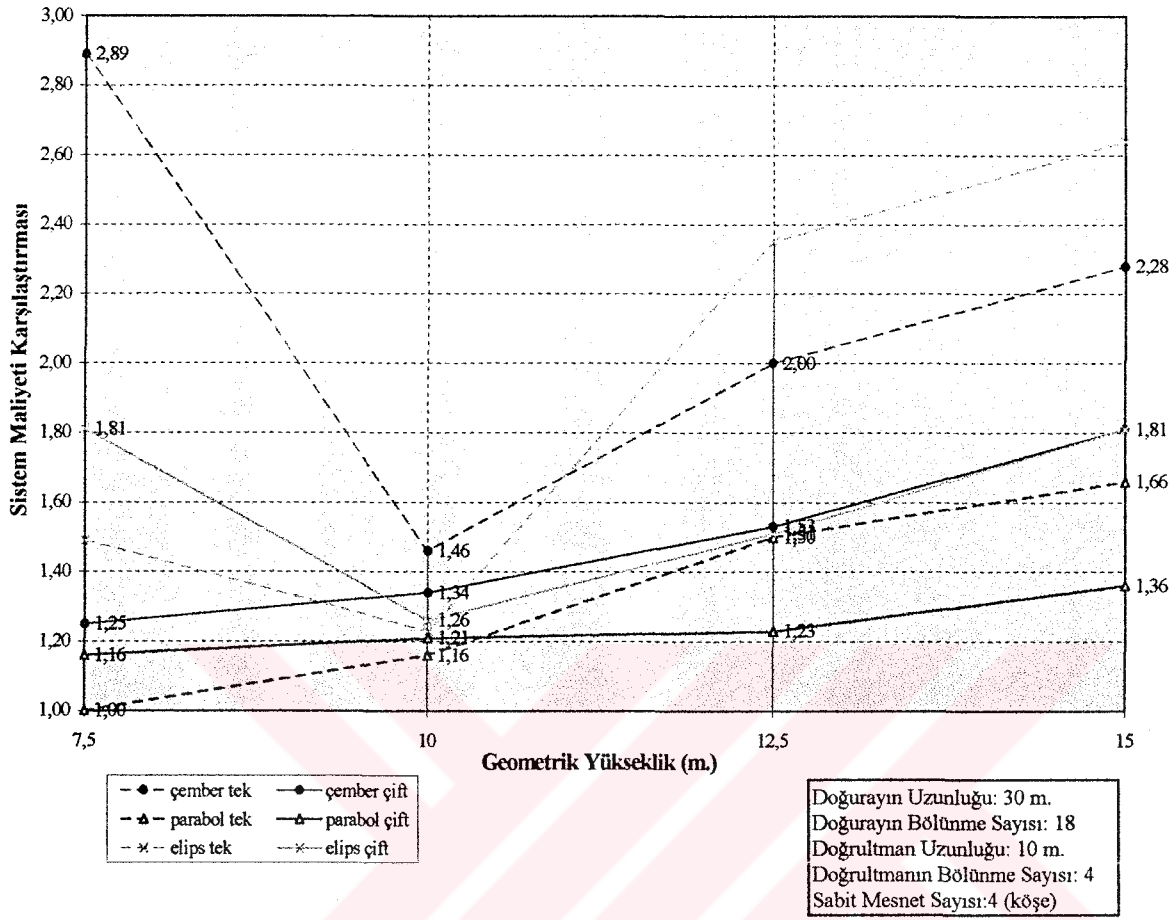
Grafik.III-11: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.



Tablo.III-11: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.

YÜKSEKLİK	7,5 m.	10 m.	12,5 m.	15 m.
Tek Katlı Çember (Kg)	6387	2931	4306	5292
Çift Katlı Çember (Kg)	2087	2320	2782	3500
Tek Katlı Parabol (Kg)	1713	2104	2893	3322
Çift Katlı Parabol (Kg)	1862	2002	2070	2388
Tek Katlı Elips (Kg)	2917	2582	5170	6324
Çift Katlı Elips (Kg)	3447	2140	2767	3500

Grafik.III-12: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-12: Geometrik Yükseklik Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

YÜKSEKLİK	7,5 m.	10 m.	12,5 m.	15 m.
Tek Katlı Çember	2,89	1,46	2,00	2,28
Çift Katlı Çember	1,25	1,34	1,53	1,81
Tek Katlı Parabol	<u>1,00</u>	1,16	1,50	1,66
Çift Katlı Parabol	1,16	1,21	1,23	1,36
Tek Katlı Elips	1,49	1,23	2,35	2,64
Çift Katlı Elips	1,81	1,26	1,51	1,81

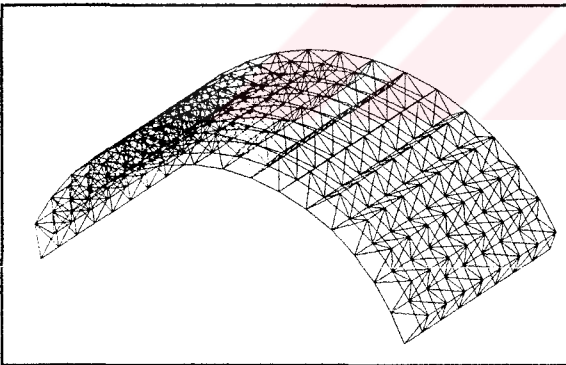
3.2.3. Sisteme Eğriliğini Veren Yayın Bölünme Sayısı -Frekans-(F) Değişiminin Etkisi

Sisteme eğriliğini veren yayın (doğuray yayı) bölünme sayısı, diğer bir değişle frekans değişiminin etkileri incelenirken; “F” yani bölünme sayısı, değişken değer olarak alınmıştır. Bölünme sayısının değerleri sırasıyla; 16, 18, 20, 22, 24 ve 26 alınarak, altı geometri için ayrı ayrı çözümler elde edilmiştir.

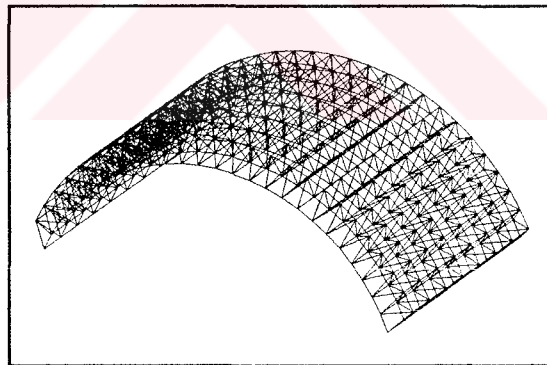
Doğuray yayının bölünme sayısı değişiminin sisteme olan etkileri bulunurken diğer değerler sabit tutulmuştur. Bu değerler;

- Doğurayın geçtiği açıklık (AC)=30 metre
- Sistemin geometrik yüksekliği (H)= 10 metre
- Doğrultman uzunluğu (L)= 10 metre
- Doğrultman bölünme sayısı (FL)= 4
- Sabit mesnet sayısı (M)=4

olarak alınmıştır.

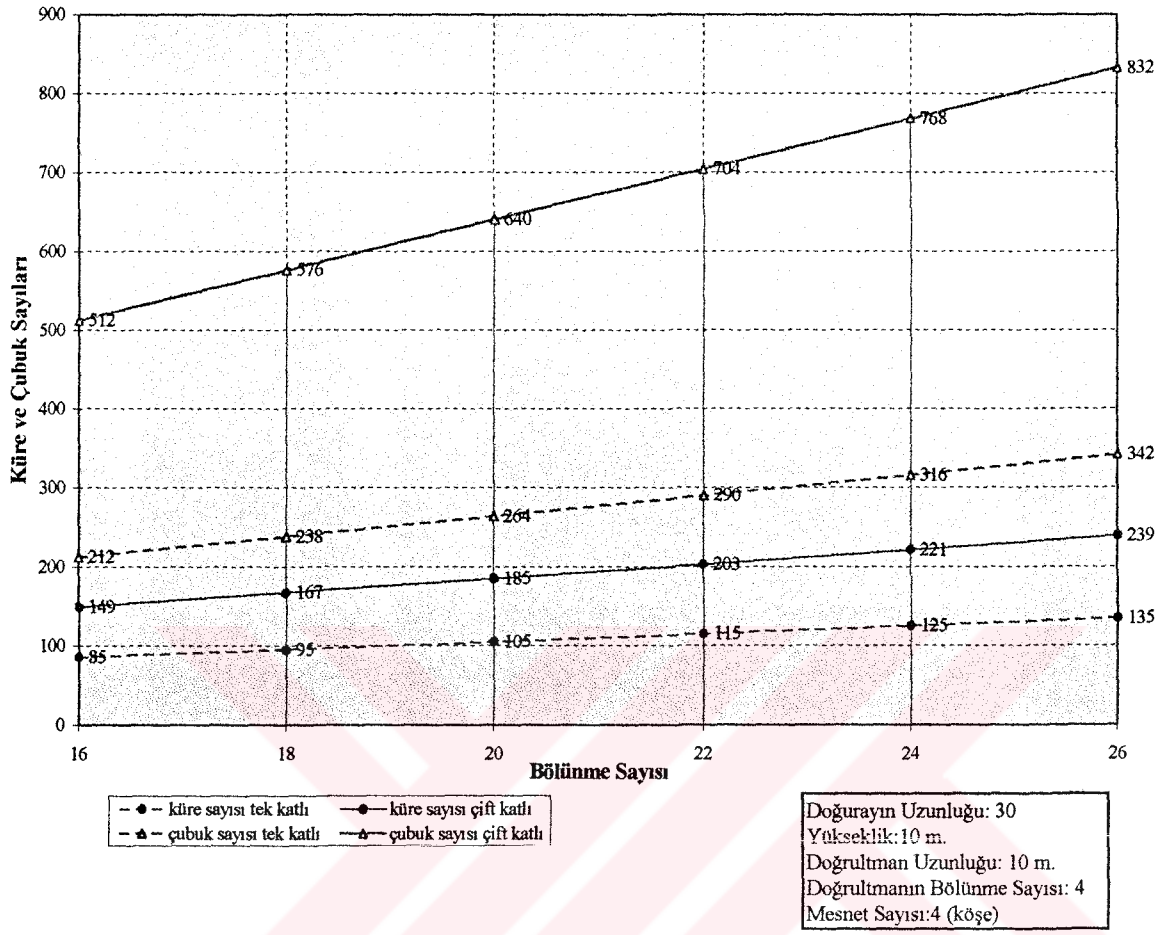


Şekil.III-7: Frekansı 16 Olan Sistem.



Şekil.III-8: Frekansı 26 Olan Sistem.

Doğuray yayının bölünme sayısını artırma, sistemdeki düğüm noktası ve çubuk elemanların sayılarını artırmaktadır. Yayın bölünme sayısındaki (frekans) değişimin sistem bileşenleri sayısına etkisi, Grafik.III-13 ve Tablo.III-13’de görülmektedir. Doğuray yayının bölünme sayısının artması, sistem kesitinin çokgene dönüşmesine; tersine bölünme sayısının azalması ise kesitin üçgene yaklaşmasına neden olmaktadır. Bu da mimari bir tercihtir.

Grafik.III-13: Frekans Değişimine Göre Sistem Bileşen Sayılarının Karşılaştırılması.**Tablo.III-13: Frekans Değişimine Göre Sistem Bileşen Sayılarının Karşılaştırılması.**

Bölünme Sayıları	16	18	20	22	24	26
Tek Katlı Sistemde Küre Sayıları	85	95	105	115	125	135
Çift Katlı Sistemde Küre Sayıları	149	167	185	203	221	239
Tek Katlı Sistemde Çubuk Sayıları	212	238	264	290	316	342
Çift Katlı Sistemde Çubuk Sayıları	512	576	640	704	768	832

Bölünme sayısının artırılmasının sisteme olan ikinci etkisi çubuk boylarında görülmektedir. Doğuray yayının geçtiği açıklık ve yükseklik sabit alındığı zaman doğuray yönündeki bölünme sayısı arttırılırsa, doğuray yönündeki çubuk uzunlukları tüm eğri yüzeyli uzay kafes sistemlerde azalmaktadır (Grafik.III-14, Tablo.III-14). Tüm sistemler için en uygun çubuk boyları; bölünme sayısının 18 olduğu durumda karşımıza çıkmaktadır. Bu bölünme sayısı için çubuklar 2 metre uzunluğunda kesilirler ve enkesit alanları da küçüktür. Diğer bölünme sayılarına göre, daha ekonomik sonuçlar almamızı sağlarlar.

Doğuray yayının bölünme sayısının artması, çubuk uzunluklarını kısaltıcı etki yaparken; aynı zamanda çubuk enkesit alanlarını artırıcı bir etki de yapmaktadır. Frekans arttıkça kısa boylu, fakat daha kalın enkesitli çubuklar kullanmak zorunda kalınır.

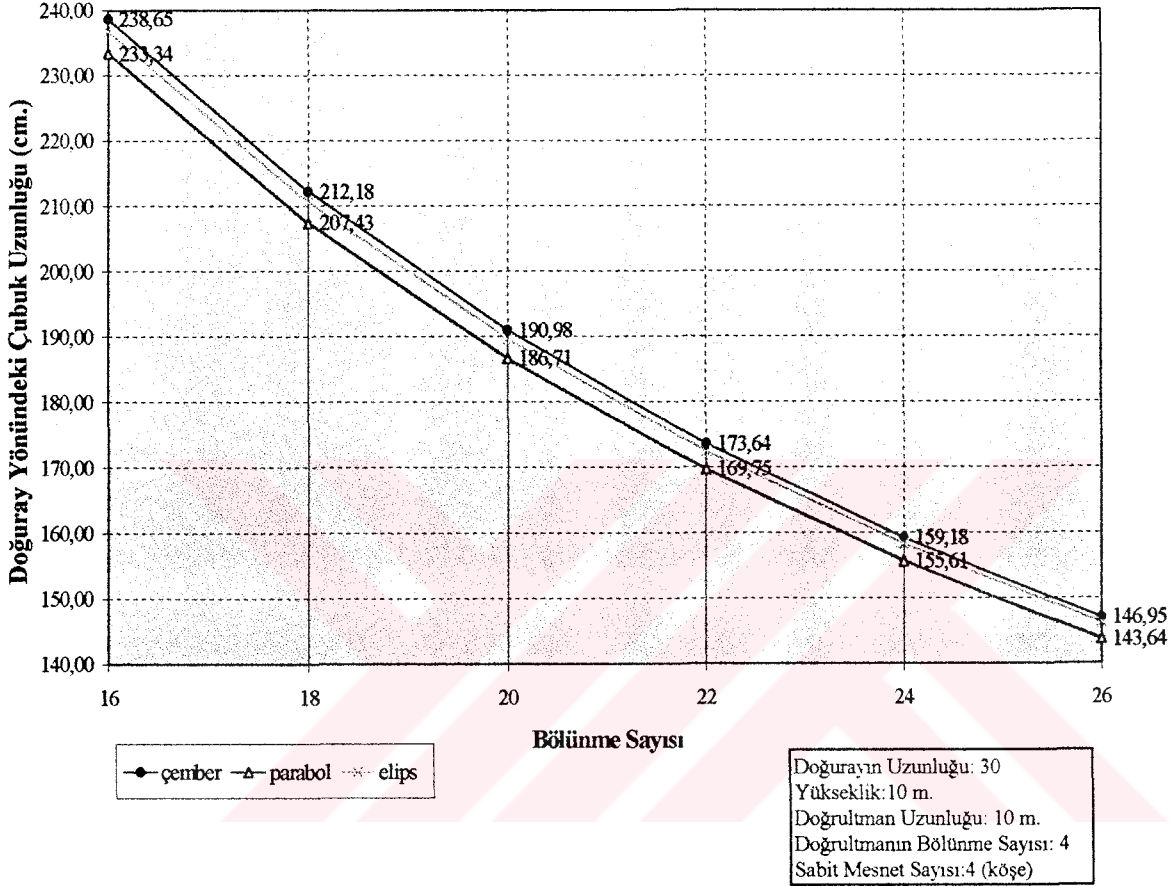
Üzerinde çalışılan altı sistem için, çubuk enkesit alanları ile çubuk boyları çarpılarak çubuk ağırlıkları bulunmaktadır. Bu işlem tüm çubuklar için yapıp, sonuçlar toplanınca toplam çubuk ağırlıklarına ulaşılır (Grafik.III-15, Tablo.III-15). Bölünme sayısının 16 ile 24 arasında değerler aldığı durumda parabol kesitli sistemler, 24 ve 26 arasında değerler aldığı durumda ise çift katlı elips kesitli uzay kafes sistemlerin toplam çubuk ağırlıkları diğer sistemlere göre düşük çıkmaktadır.

Bunun yanında sistemde kullanılan toplam çubuk ağırlıkları, çelik boruların birim fiyatı ile çarpılarak, sistemdeki toplam çubuk maliyetleri bulunur (Grafik.III-16 ve Tablo.III-16). Tablolardaki değerler hesaplanırken çelik çubukların birim fiyatı 240.000 TL/Kg olarak alınmıştır.

Sistem çubuklarıyla ilgili olarak hazırlanan grafikler incelendiğinde maliyet açısından çift katlı parabol kesitli sistemlerin 18 ila 24 bölünme sayıları için diğer sistemlere göre daha ekonomik olduğu görülür. Tek katlı sistemler içinde de yine parabol kesitli uzay kafes sistemler diğer ikisinden ekonomik olmaktadır. Tüm sistemlerde bölünme sayısının 22 veya 24 olduğu durumlarda, toplam çubuk ağırlığı

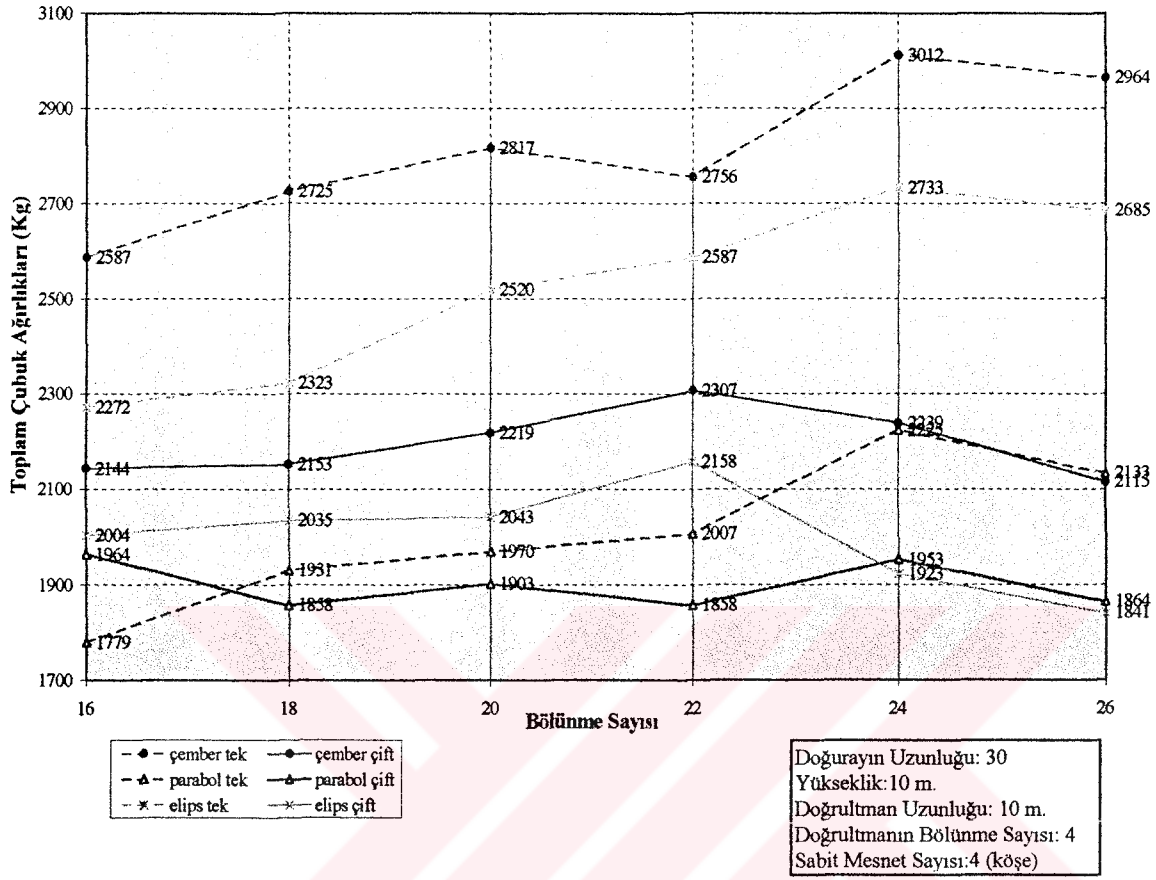
ve toplam çubuk maliyeti açısından en yüksek rakamlara ulaşılmaktadır. Bu frekans değerlerini eğrilerin tepe noktaları olarak görmekteyiz.

Grafik.III-14: Frekans Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Uzunluğunun Karşılaştırılması.



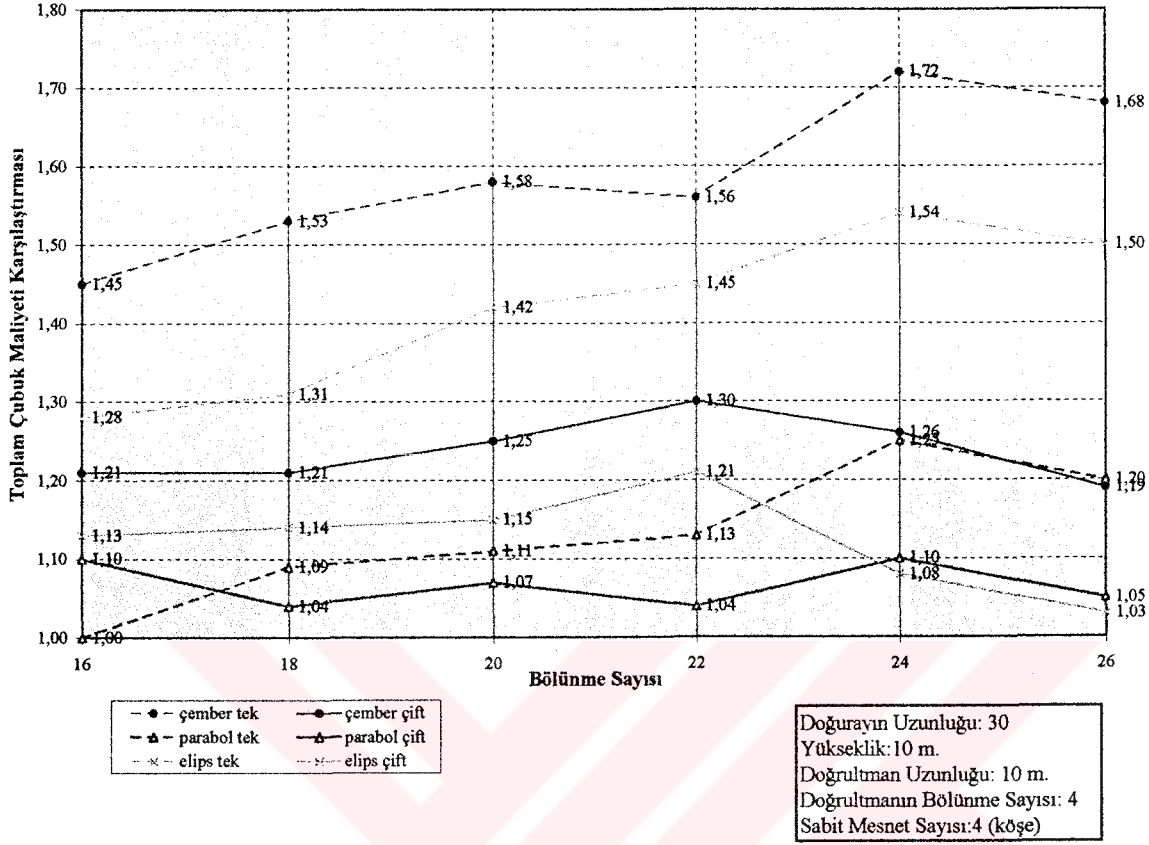
Tablo.III-14: Frekans Değişimine Göre Doğuray Yönündeki Çubuk Uzunluğunun Karşılaştırılması.

Bölünme Sayıları	16	18	20	22	24	26
Çember (m.)	238,65	212,18	190,98	173,64	159,18	146,95
Parabol (m.)	233,34	207,43	186,71	169,75	155,61	143,64
Elips (m.)	236,80	210,60	189,64	172,50	158,22	146,14

Grafik.III-15: Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.**Tablo.III-15:** Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.

Bölünme Sayıları	16	18	20	22	24	26
Tek Katlı Çember(Kg)	2587	2725	2817	2756	3012	2964
Çift Katlı Çember(Kg)	2144	2153	2219	2307	2239	2115
Tek Katlı Parabol(Kg)	1779	1931	1970	2007	2225	2133
Çift Katlı Parabol(Kg)	1964	1858	1903	1858	1953	1864
Tek Katlı Elips (Kg)	2272	2323	2520	2587	2733	2685
Çift Katlı Elips (Kg)	2004	2035	2043	2158	1923	1841

Grafik.III-16: Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-16: Frekans Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

Bölünme Sayıları	16	18	20	22	24	26
Tek Katlı Çember	1,45	1,53	1,58	1,56	1,72	1,68
Çift Katlı Çember	1,21	1,21	1,25	1,30	1,26	1,19
Tek Katlı Parabol	<u>1,00</u>	1,09	1,11	1,13	1,25	1,20
Çift Katlı Parabol	1,10	1,04	1,07	1,04	1,10	1,05
Tek Katlı Elips	1,28	1,31	1,42	1,45	1,54	1,50
Çift Katlı Elips	1,13	1,14	1,15	1,21	1,08	1,03

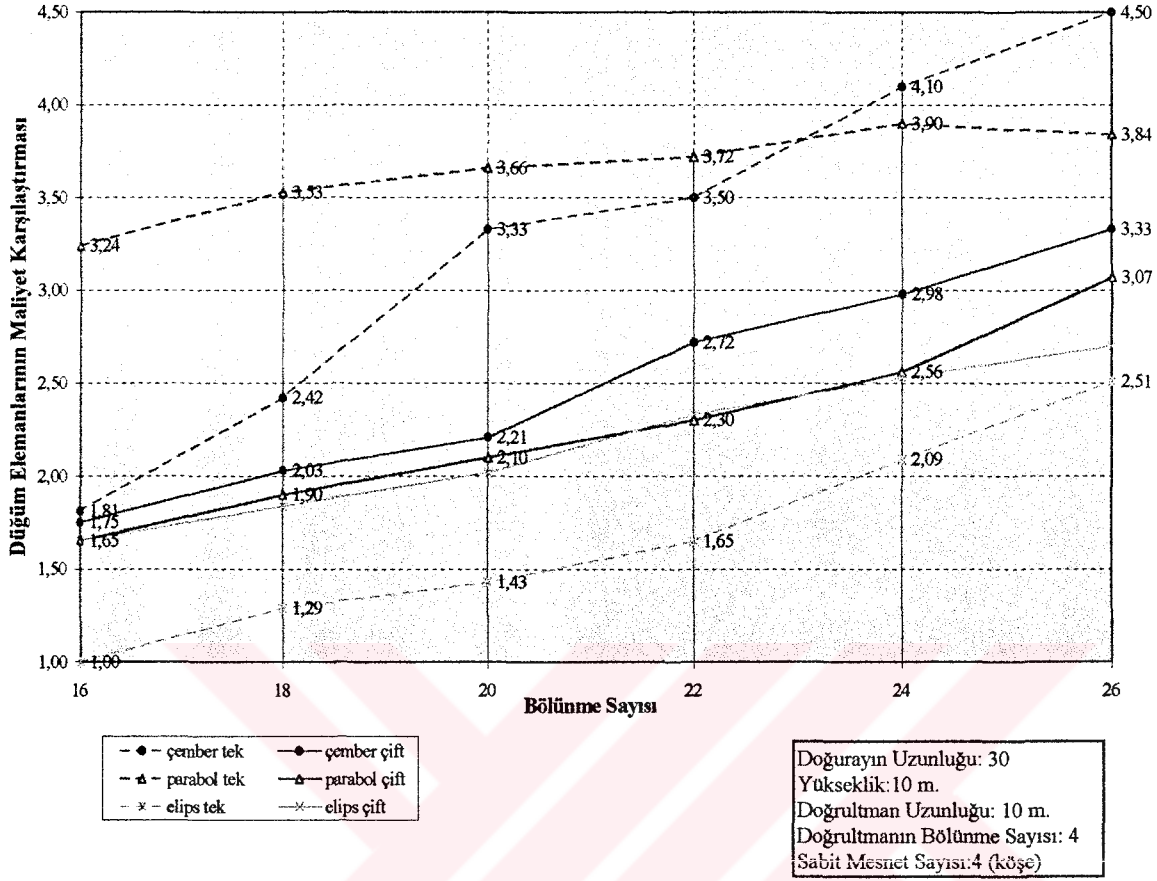
Genel olarak bakıldığında doğuray yönündeki bölünme sayısının artması toplam düğüm elemanı sayısını artırmakta, bunun sonucunda da sistemdeki düğüm elemanı maliyetinde artış olmaktadır (Grafik.III-17, Tablo.III-17). Düğüm noktası maliyetini düşürmek için doğuray yönündeki bölünme sayısının azaltılması ekonomik sonuçlar vermektedir. Altı silindir yüzeyli uzay kafes sistem için, düğüm elemanlarının maliyetleri karşılaştırıldığında; tek katlı elips kesitli sistemin diğerlerinden daha ekonomik olduğu görülür.

Tüm sistemin maliyeti hesaplanırken, toplam çubuk maliyetine kullanılan düğüm elemanlarının, somun ve civataların maliyetleri de eklenmektedir.

Doğuray yayındaki bölünme sayısı değişiminin, sistem ağırlığı (Grafik.III-18, Tablo.III-18) ve sistem maliyetine (Grafik.III-19, Tablo.III-19) olan etkileri incelendiğinde, bölünme sayısının 22 ila 24 arasında olduğu durumlarda grafik değerlerin eğrilik açıları azalma yönünde değişmektedir. En ekonomik sonuçların doğuray yayının bölünme sayısının en az olduğu durumlarda alındığı da görülmektedir. Sistem maliyetlerinin yer aldığı grafikte, bölünme sayısının 18'in altına düştüğü durumlarda çubuk boyları çok uzun çıkmakta ve montaj işinin vinçlerle yapılma zorunluluğu doğmaktadır. Bunun yanında montaj süresi uzadığından, hem zaman kaybı olmakta hem de yapı ekonomik olarak üretilmemektedir.

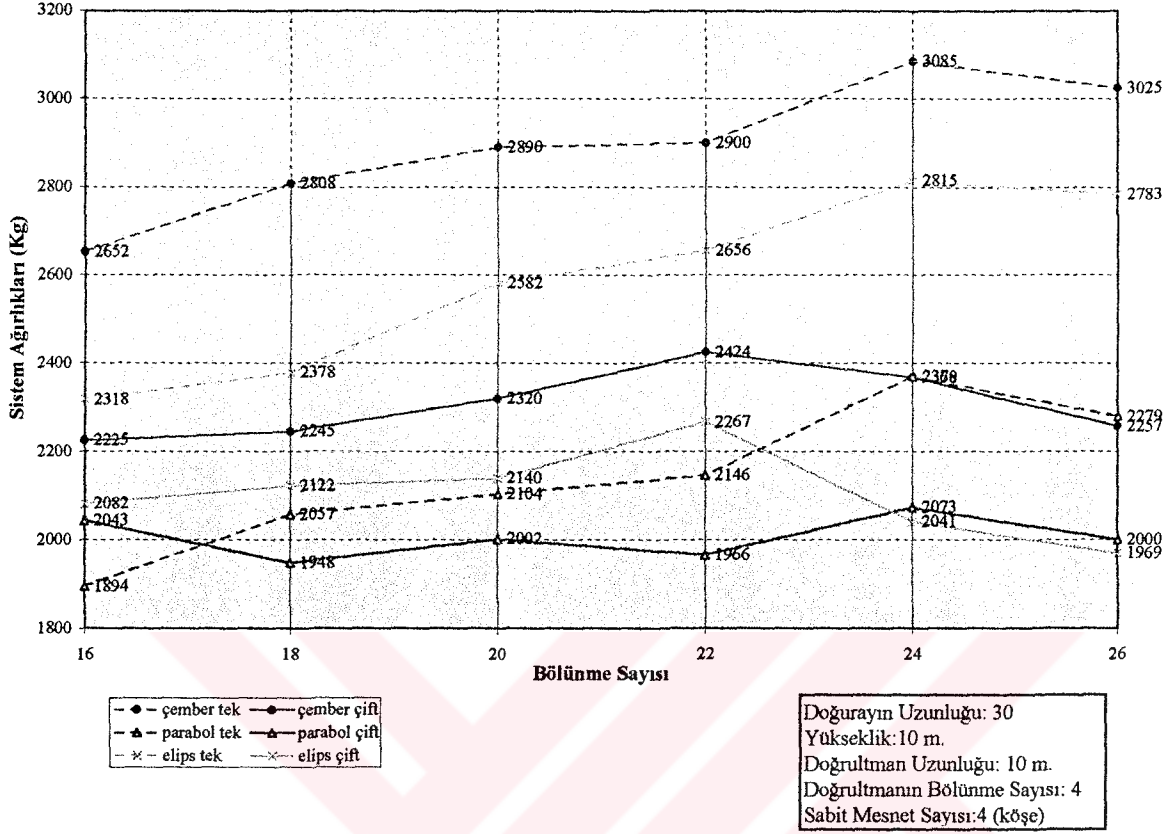
Tüm sistemler karşılaştırılırsa bütün bölünme sayılarında tek katlı parabol kesitli uzay kafes sistemlerin maliyetlerinin en düşük olduğu görülür. Yalnız çift katlı sistemleri karşılaştırırsak, doğurayın bölünme sayısının 24 olduğu duruma kadar parabol kesitli, daha büyük olduğu durumda da elips kesitli uzay kafes sistem ekonomik olmaktadır.

Grafik.III-17: Frekans Değişimine Göre Düğüm Elemanları Maliyetinin Göreceli Karşılaştırılması.



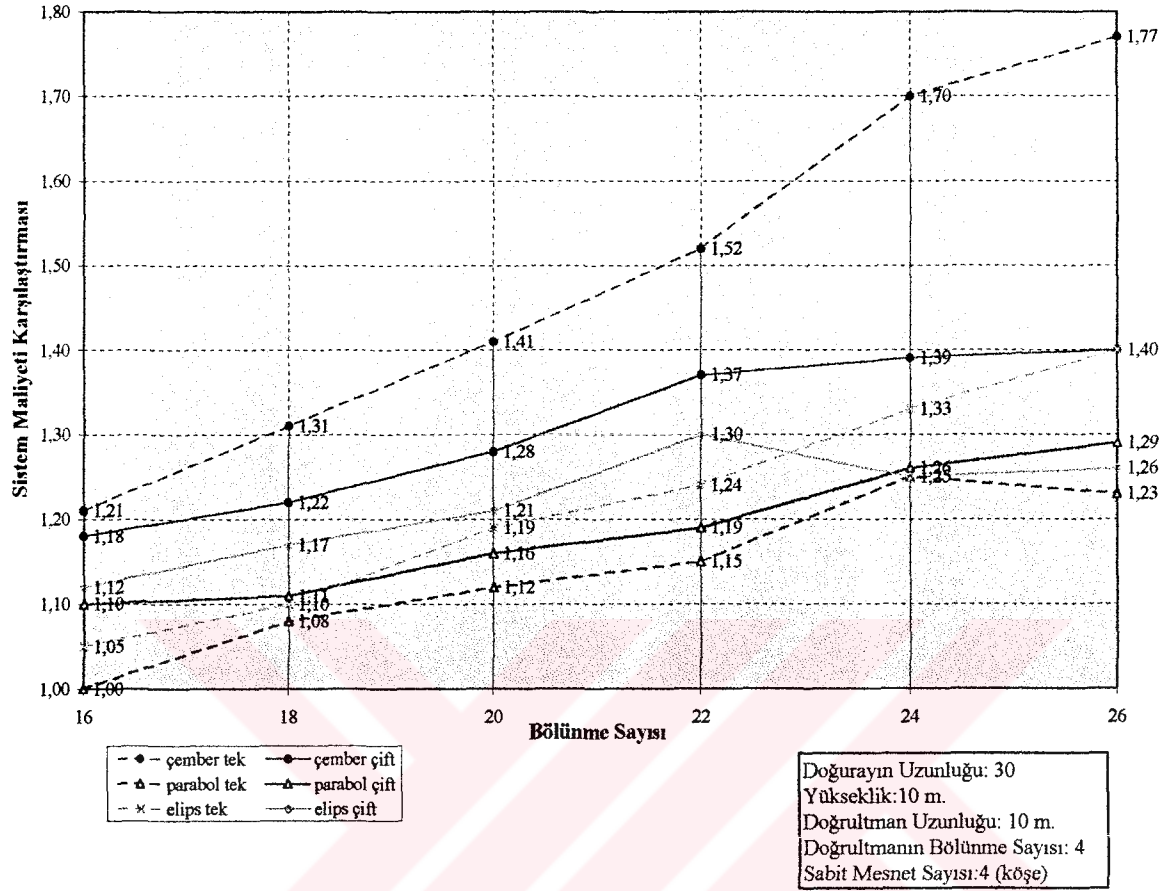
Tablo.III-17: Frekans Değişimine Göre Düğüm Elemanları Maliyetinin Göreceli Karşılaştırılması.

Bölünme Sayısı	16	18	20	22	24	26
Tek Katlı Çember	1,81	2,42	3,33	3,50	4,10	4,50
Çift Katlı Çember	1,75	2,03	2,21	2,72	2,98	3,33
Tek Katlı Parabol	3,24	3,53	3,66	3,72	3,90	3,84
Çift Katlı Parabol	1,65	1,90	2,10	2,30	2,56	3,07
Tek Katlı Elips	<u>1,00</u>	1,29	1,43	1,65	2,09	2,51
Çift Katlı Elips	1,65	1,84	2,02	2,33	2,53	2,70

Grafik.III-18: Frekans Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.**Tablo.III-18:** Frekans Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.

Bölünme Sayısı	16	18	20	22	24	26
Tek Katlı Çember(Kg)	2652	2808	2890	2900	3085	3025
Çift Katlı Çember(Kg)	2225	2245	2320	2424	2368	2257
Tek Katlı Parabol(Kg)	1894	2057	2104	2146	2370	2279
Çift Katlı Parabol(Kg)	2043	1948	2002	1966	2073	2000
Tek Katlı Elips (Kg)	2318	2378	2582	2656	2815	2783
Çift Katlı Elips (Kg)	2082	2122	2140	2267	2041	1969

Grafik.III-19: Frekans Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-19: Frekans Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması

Bölünme Sayısı	16	18	20	22	24	26
Çember Tek	1,21	1,31	1,41	1,52	1,70	1,77
Çember Çift	1,18	1,22	1,28	1,37	1,39	1,40
Parabol Tek	<u>1,00</u>	1,08	1,12	1,15	1,25	1,23
Parabol Çift	1,10	1,11	1,16	1,19	1,26	1,29
Elips Tek	1,05	1,10	1,19	1,24	1,33	1,40
Elips Çift	1,12	1,17	1,21	1,30	1,25	1,26

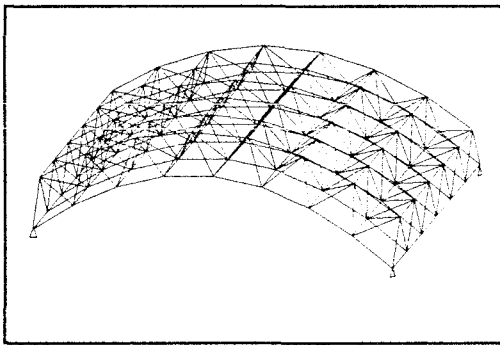
3.2.4. SİSTEMDE KULLANILAN MESNET NOKTASI SAYISINDAKİ (M) DEĞİŞİMİN ETKİSİ

Silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerde, kullanılan mesnet sayısının sistem geometrisine direk etkisi olmamaktadır. Ancak mesnet sayısındaki değişim çubuklardaki kuvvetleri değiştirmekte, böylece çubuk enkesitleri farklı değerler almaktadır.

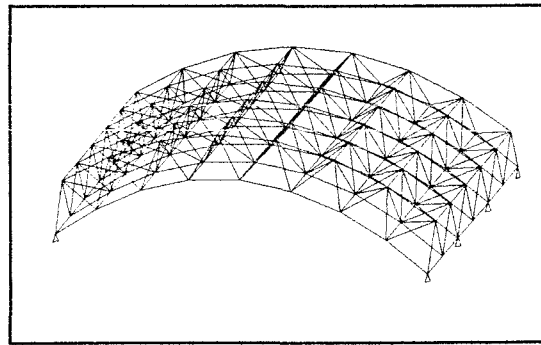
Mesnet sayısındaki değişimin sisteme olan etkilerini incelemek için, sabit mesnet sayısı sırasıyla 4, 6, 8 ve 14 olarak alınmış ve altı silindir yüzeyli uzay kafes sistem için çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Mesnet sayısı değişiminin sisteme olan etkileri bulunurken, diğer değerler sabit tutulmuştur. Bu değerler;

- Doğurayın geçtiği açıklık (AC)=30 metre
 - Sistemin geometrik yüksekliği (H)= 10 metre
 - Doğurayın bölünme sayısı (F)= 20
 - Doğrultman uzunluğu (L)= 12 metre
 - Doğrultman bölünme sayısı (FL)= 6
- olarak alınmıştır.



Şekil.III-9: 4 Noktadan Mesnetli Sistem.



Şekil.III-10: 8 Noktadan Mesnetli Sistem.

Mesnet noktası sayılarının seçilmesinde göz önüne alınan kriter doğrultman yönündeki bölünme sayısıdır. Doğrultman bölünme sayısı altı ise bu sistemde doğrultman yönünde yedi adet düğüm noktası var olur. Sistemde dört adet mesnet varsa, bu mesnetler sistemin dört köşesinde yer alan mesnetlerdir. Mesnet sayısı altı olursa, sisteme doğrultman açıklığının tam ortasına denk gelecek şekilde iki mesnet daha eklenmiş olur. Doğrultman açıklığını üçe bölersek, her iki kenarda dörder tane, toplamda da sekiz tane mesnet kullanmış oluruz. Eğer kenardaki tüm düğüm noktalarını mesnetlere sabitlesek on dört adet mesnet kullanmamız gerekir.

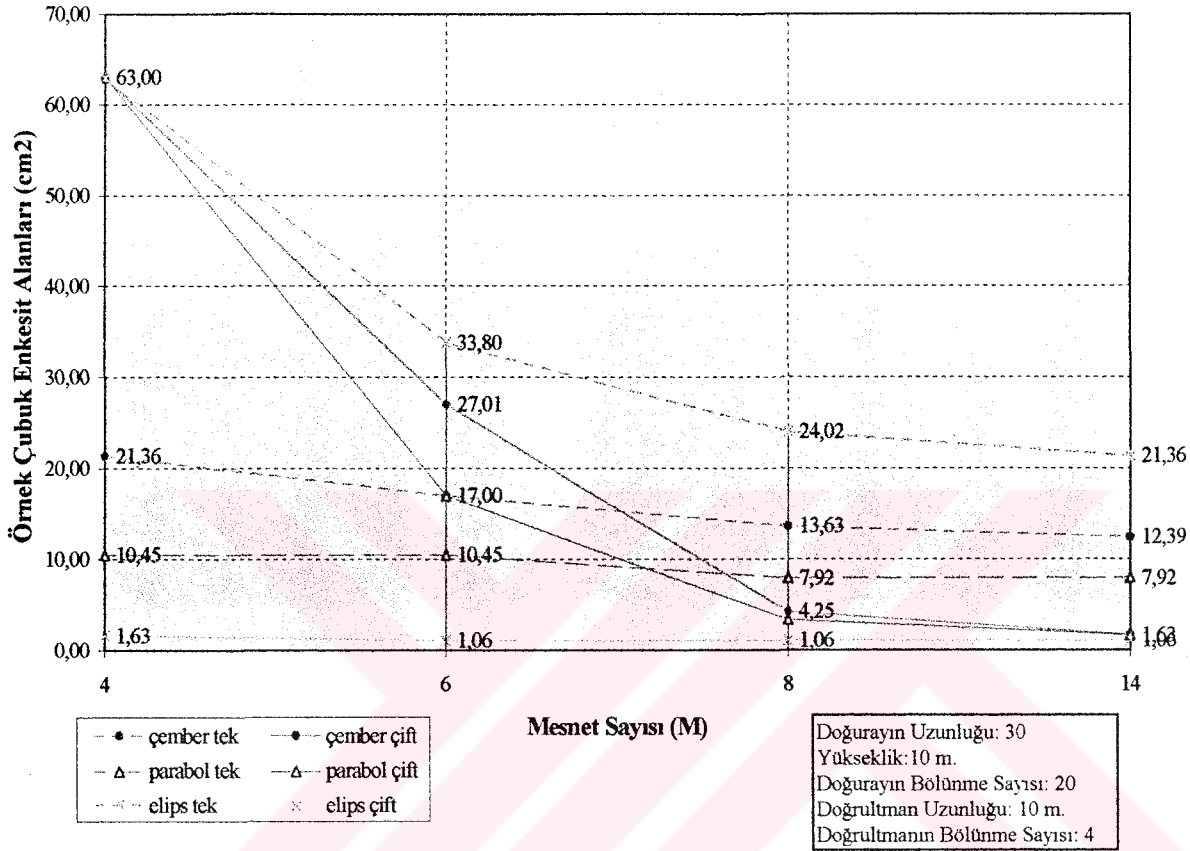
Mesnet sayısını değiştirdiğimiz zaman sistemdeki düğüm noktası ve çubuk sayıları değişmemektedir. Yukarıda sabit kabul edilen değerlerin kullanıldığı tek katlı uzay kafes sistemlerde 147 adet düğüm noktası ve 386 adet çubuk vardır. Çift katlı sistemlerde ise 267 adet düğüm noktası ve 960 adet çubuk yer almaktadır. Ayrıca çubuk uzunlukları da mesnet sayısına bağlı olarak değişmemektedir.

Mesnet sayısının değişimi sistemin iç kuvvetlerini değiştirmektedir. Dolayısıyla seçilen örnek çubuk enkesit alanı değişmektedir. Grafik.III-20 ve Tablo.III-20 incelendiği zaman mesnet sayısındaki artışın seçilen örnek çubuk enkesit alanlarını azalttığı görülmektedir. Çubukların enkesit alanlarının azalması sonucu, çubukların ağırlıkları (Grafik.III-21, Tablo.III-21) ve dolayısıyla maliyetleri (Grafik.III-22, Tablo.III-22) de düşmüş olur. Mesnet sayısının sekiz olarak alınması çubuk enkesit alanı açısından, tüm sistemler için en uygun olan seçenektir.

Mesnet sayısının artırılması sonucu çubuk enkesit alanlarındaki azalmanın genel sistem ağırlığına (Grafik.III-23, Tablo.III-23) ve maliyetine (Grafik.III-24, Tablo.III-24) olan yansımalarını grafik ve tablolardan izleyebiliriz. Ağırlık ve maliyetle ilgili tüm grafiklerdeki eğimler azalma yönündedir. Sistem maliyeti tablosunda tek katlı sistemler ile çift katlı çember kesitli sistemin maliyet grafikleri 8 mesnetten daha fazla sayıda mesnet yapıldığında artış yönünde olmaktadır. Bunun da tek nedeni mesnet fiyatlarının çok yüksek olmasıdır. Mesnet sayısı arttıkça, sistemdeki

kullanılan çubuk maliyeti azalmakta fakat mesnetlerden gelen ek maliyetler çubuk maliyetinden fazla olduğunda sistem maliyeti artmaktadır.

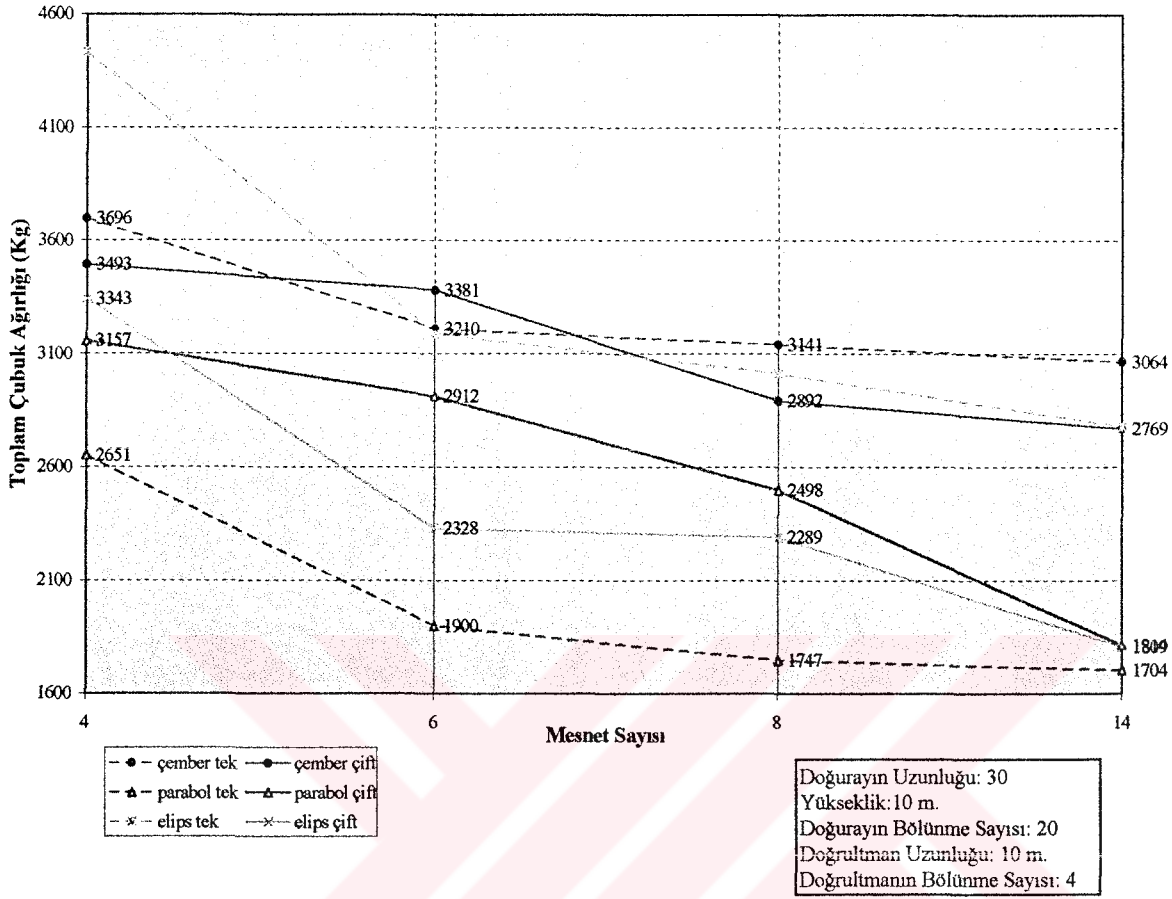
Grafik.III-20: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Seçilen Örnek Çubuk* Enkesit Alanının Karşılaştırılması.



* Bakınız sayfa 70.

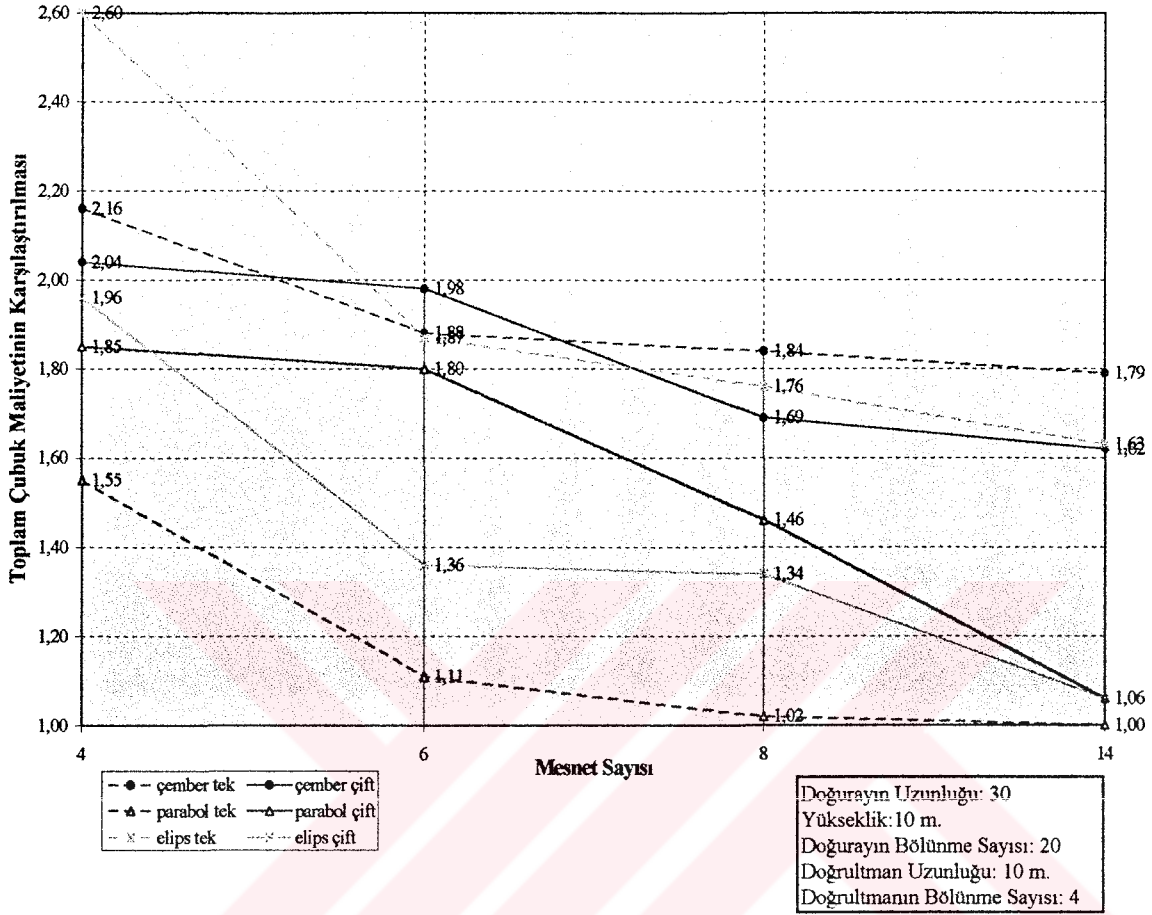
Tablo.III-20: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Seçilen Örnek Çubuk* Enkesit Alanının Karşılaştırılması.

Mesnet Sayısı	4	6	8	14
Tek Katlı Çember (cm²)	21,36	17,00	13,63	12,39
Çift Katlı Çember (cm²)	63,00	27,01	4,25	1,63
Tek Katlı Parabol (cm²)	10,45	10,45	7,92	7,92
Çift Katlı Parabol (cm²)	63,00	17,00	3,35	1,63
Tek Katlı Elips (cm²)	63,00	33,80	24,02	21,36
Çift Katlı Elips (cm²)	1,63	1,06	1,06	1,06

Grafik.III-21: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlığı Karşılaştırılması.**Tablo.III-21:** Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlığı Karşılaştırılması.

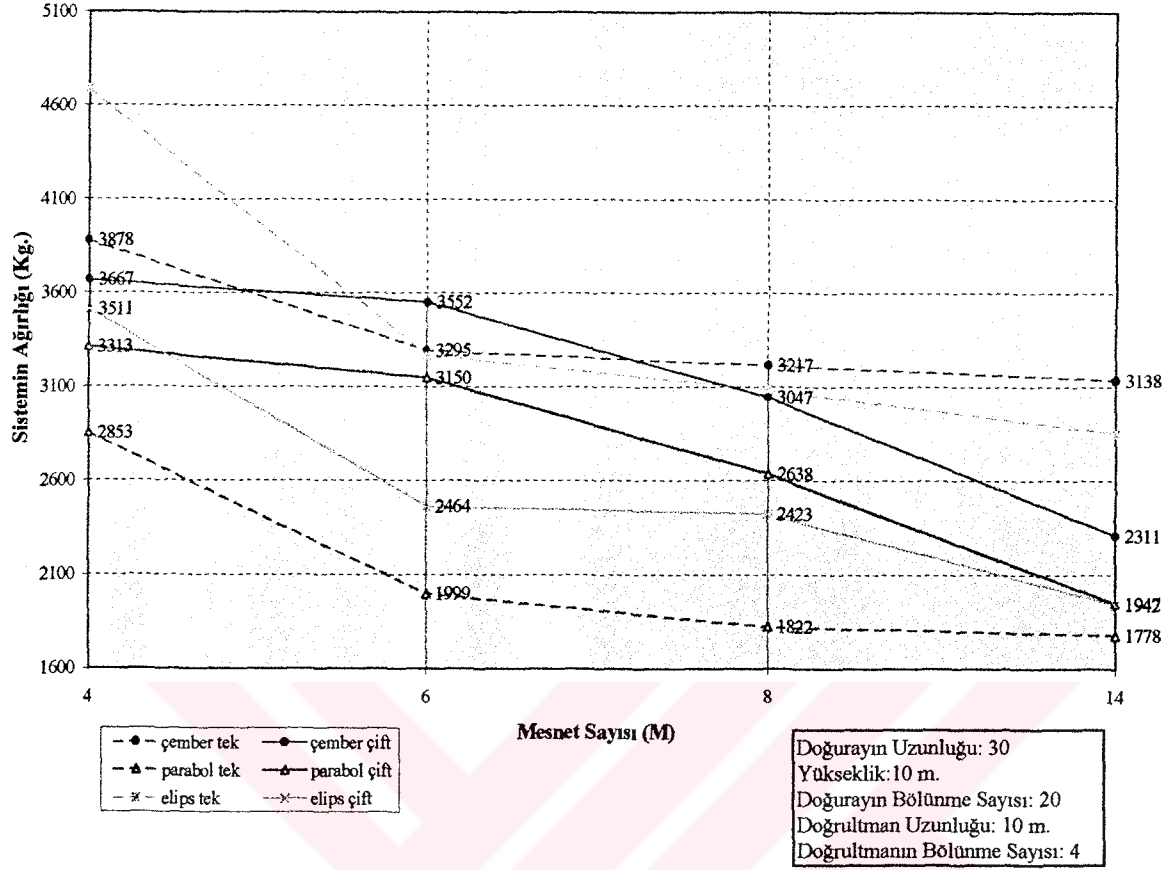
Mesnet Sayısı	4	6	8	14
Tek Katlı Çember (Kg)	3696	3210	3141	3064
Çift Katlı Çember (Kg)	3493	3381	2892	2769
Tek Katlı Parabol (Kg)	2651	1900	1747	1704
Çift Katlı Parabol (Kg)	3157	2912	2498	1814
Tek Katlı Elips (Kg)	4435	3189	3012	2779
Çift Katlı Elips (Kg)	3343	2328	2289	1809

Grafik.III-22: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-22: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

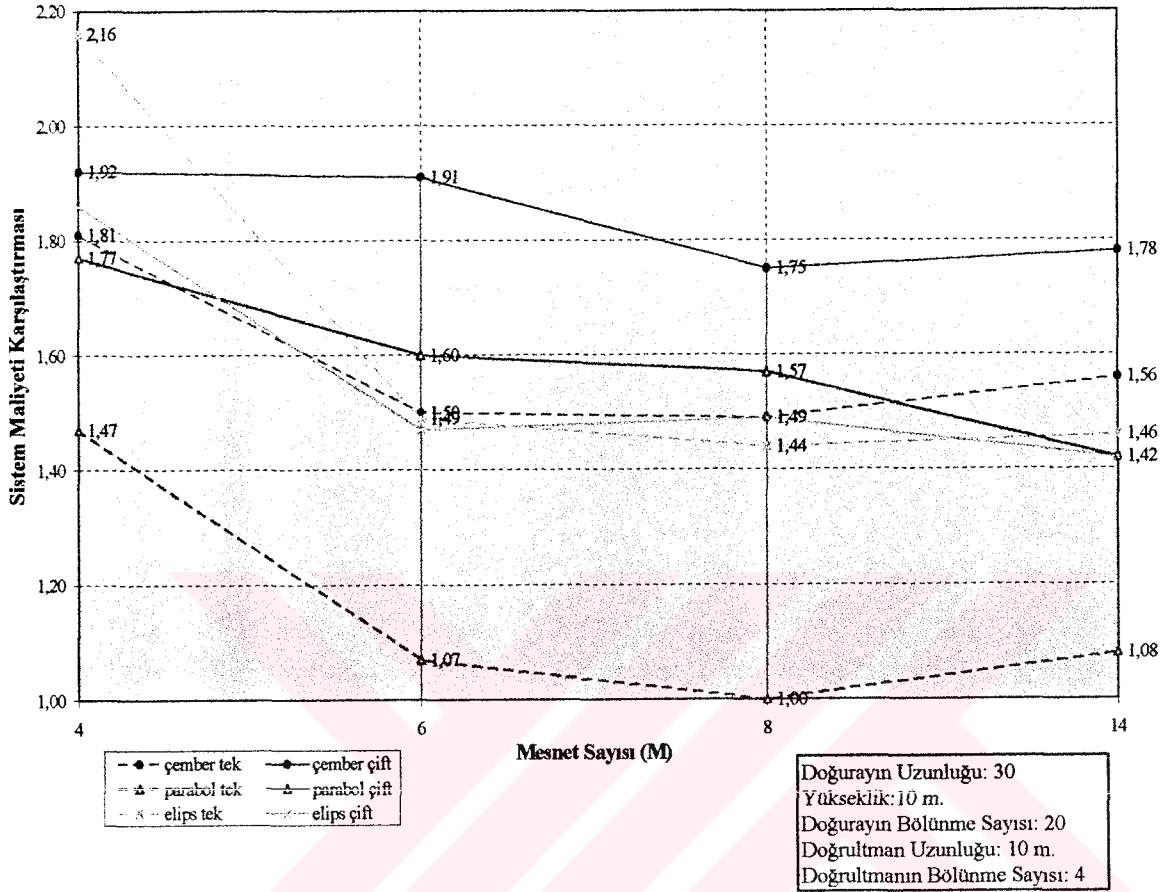
Mesnet Sayısı	4	6	8	14
Tek Katlı Çember	2,16	1,88	1,84	1,79
Çift Katlı Çember	2,04	1,98	1,69	1,62
Tek Katlı Parabol	1,55	1,11	1,02	1,00
Çift Katlı Parabol	1,85	1,80	1,46	1,06
Tek Katlı Elips	2,60	1,87	1,76	1,63
Çift Katlı Elips	1,96	1,36	1,34	1,06

Grafik.III-23:Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Ağırlığı Karşılaştırılması.**Tablo.III-23:**Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Ağırlığı Karşılaştırılması.

Mesnet Sayısı	4	6	8	14
Tek Katlı Çember (Kg)	3878	3295	3217	3138
Çift Katlı Çember (Kg)	3667	3552	3047	2311
Tek Katlı Parabol (Kg)	2853	1999	1822	1778
Çift Katlı Parabol (Kg)	3313	3150	2638	1947
Tek Katlı Elips (Kg)	4686	3272	3086	2853
Çift Katlı Elips (Kg)	3511	2464	2423	1942

Sabit olarak kabul ettiğimiz değerleri kullandığımızda, sekiz noktadan mesnetlenmiş sistem; enkesit alanları, çubuk boyları ve maliyetteki azalma nedeniyle diğerlerine göre daha ekonomik olmaktadır.

Grafik.III-24: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-24: Mesnet Sayısı Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

Mesnet Sayısı	4	6	8	14
Tek Katlı Çember	1,81	1,50	1,49	1,56
Çift Katlı Çember	1,92	1,91	1,75	1,78
Tek Katlı Parabol	1,47	1,07	<u>1,00</u>	1,08
Çift Katlı Parabol	1,77	1,60	1,57	1,42
Tek Katlı Elips	2,16	1,49	1,44	1,46
Çift Katlı Elips	1,86	1,47	1,49	1,42

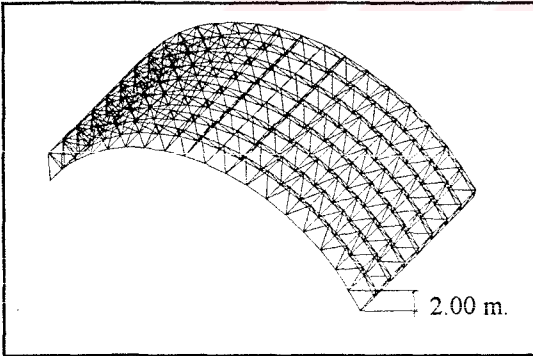
3.2.5. Sistemde Kullanılan Çubuk Tipi Sayısı ve Kiriş Yüksekliği

Çift katlı silindirik yüzeyli uzay kafes sistemlerde, alt ve üst tabaka arasında kalan yüksekliğe; ‘katlar arasındaki yükseklik’ veya ‘kiriş yüksekliği’ denilmektedir. Kiriş yüksekliği değişiminin, sistem ağırlık ve maliyetine olan etkilerini incelemek için; sırasıyla kiriş yüksekliği 1.70, 2.00, 2.30, 2.60 ve 2.90 metre olarak alınmış ve üç çift katlı tonoz uzay kafes sistem için sonuçlar elde edilmiştir (Şekil.III-11, III-12).

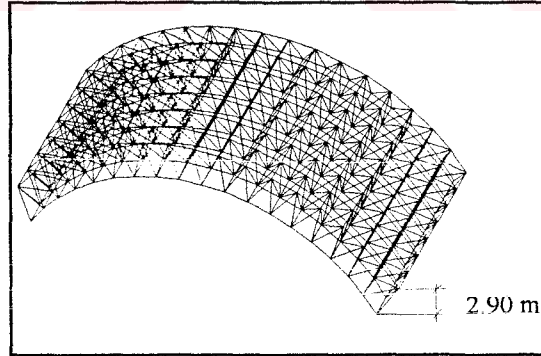
Kiriş yüksekliği değişiminin sisteme olan etkileri bulunurken, diğer değerler sabit tutulmuştur. Bu değerler;

- Doğurayın geçtiği açıklık (AC)=35 metre
- Sistemin geometrik yüksekliği (H)= 10 metre
- Doğurayın bölünme sayısı (F)= 18
- Doğrultman uzunluğu (L)= 10 metre
- Doğrultman bölünme sayısı (FL)= 4
- Sabit mesnet sayısı (M)=4

olarak alınmıştır.



Şekil.III-11: 2 Metre Kiriş Yüksekliğine Sahip Olan Sistem.



Şekil.III-12: 2.90 Metre Kiriş Yüksekliğine Sahip Olan Sistem.

Kiriş yüksekliğinin değiştirilmesinde önemli olan iki kriter vardır. Bunlardan ilki mimari tasarım sonucu seçilen kiriş yüksekliğidir. İki tabaka arasındaki yükseklik

havalandırma tesisatı ve aydınlatma elemanlarının tesisatının yerleştirilmesi için değişik yüksekliklerde yapılabilir. İkinci kriter de uzay kafes sistemin yüklere karşı dayanımı ile ilgili inşaat mühendisinin hesapladığı yüksekliktir. Her iki kriter için de uygun olan kiriş yüksekliği seçilmelidir.

Çift katlı silindir yüzeyli uzay kafes sistemlerde kiriş yüksekliğini değiştirdiğimiz zaman, tek değişen diyagonal çubukların uzunlukları ve enkesit alanlarıdır. İki tabaka arasındaki yüksekliği artırınca, diyagonal çubukların boyları da artar. Diyagonal çubuk uzunluğunun artması, bu çubuklarının basınca çalışanlarının narinlik katsayısını (λ), dolayısıyla burkulma sayılarını (w) artırır. Burkulma katsayısının artması çubuk enkesit alanlarının artmasına neden olur. Grafik.III-25 ve Tablo.III-25’de kiriş yüksekliği arttıkça, örnek olarak seçilen basınca çalışan bir diyagonal çubuğun enkesit alanındaki değişimler izlenmektedir.

Basınca çalışan diyagonal çubuk uzunluklarının ve enkesit alanlarının artması sistemdeki toplam çubuk ağırlığını (Grafik.III-26, Tablo.III-26) ve toplam çubuk maliyetini (Grafik.III-27, Tablo.III-27) artırır.

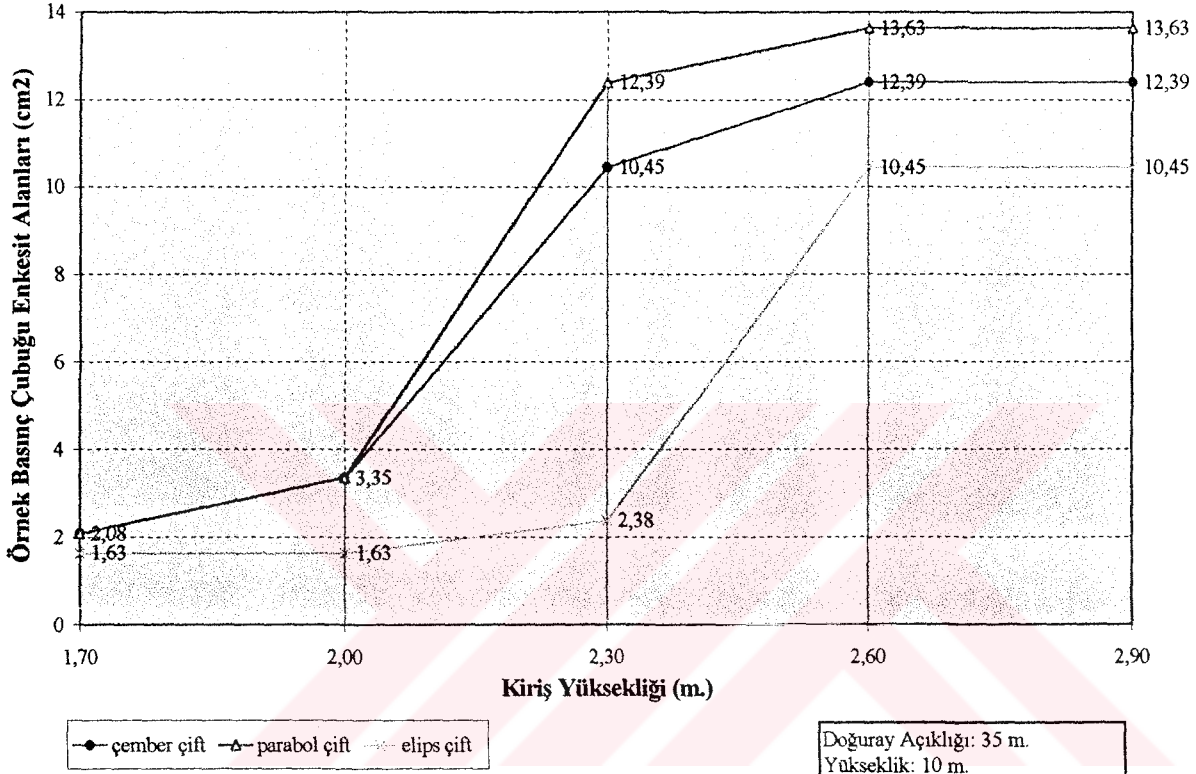
Toplam çubuk ağırlığındaki ve maliyetindeki değişim, sistemin ağırlığına (Grafik.III-28, Tablo.III-28) ve maliyetine de etki eder. Sabit alınan değerlere göre yapılan çözümde, 2.30 metre kiriş yüksekliğine kadar parabol, daha büyük kiriş yükseklikleri için de elips kesitli sistemler ekonomik olmaktadır (Grafik.III-29, Tablo.III-29).

Yapılan statik analizlerden anlaşılmıştır ki, kiriş yüksekliğinin artırılması sistemin yüklere karşı dayanımını artırmaktadır. Alınan sabit değerlere göre elips için, 2.30 m.; diğer iki sistem için de 2.00 m. kiriş yüksekliği hem maliyet hem de sistem dayanımı açısından en uygun sonuç olmaktadır.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da sistemdeki çubuk tipi sayısının en aza indirilmesidir. Mimari açıdan veya statik hesaplar açısından bir zorunluluk yoksa,

diyagonal çubuk uzunluğunun doğuray veya doğrultman yönündeki çubuklarla eşit alınmasının, sistemin montaj süresini ve maliyetini düşürmesinde etkisi olmaktadır.

Grafik.III-25: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Basınca Çalışan Örnek Çubuğun* Enkesit Alanının Karşılaştırılması.

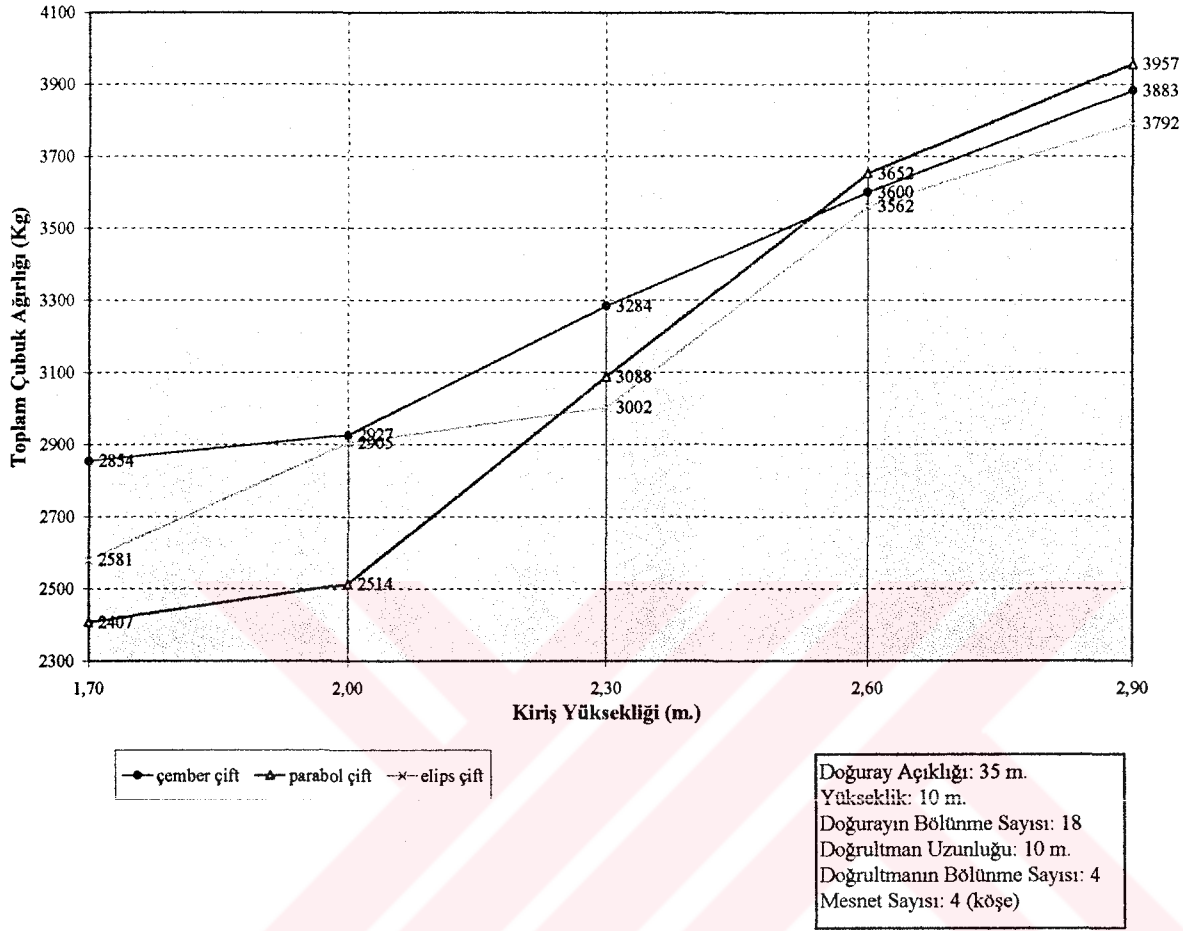


* Bakınız sayfa 107.

Tablo.III-25: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Basınca Çalışan Örnek Çubuğun* Enkesit Alanının Karşılaştırılması.

Kiriş Yüksekliği	1,70 m.	2,00 m.	2,30 m.	2,60 m.	2,90 m.
Çember (cm ²)	2,08	3,35	10,45	12,39	12,39
Parabol (cm ²)	2,08	3,35	12,39	13,63	13,63
Elips (cm ²)	1,63	1,63	2,38	10,45	10,45

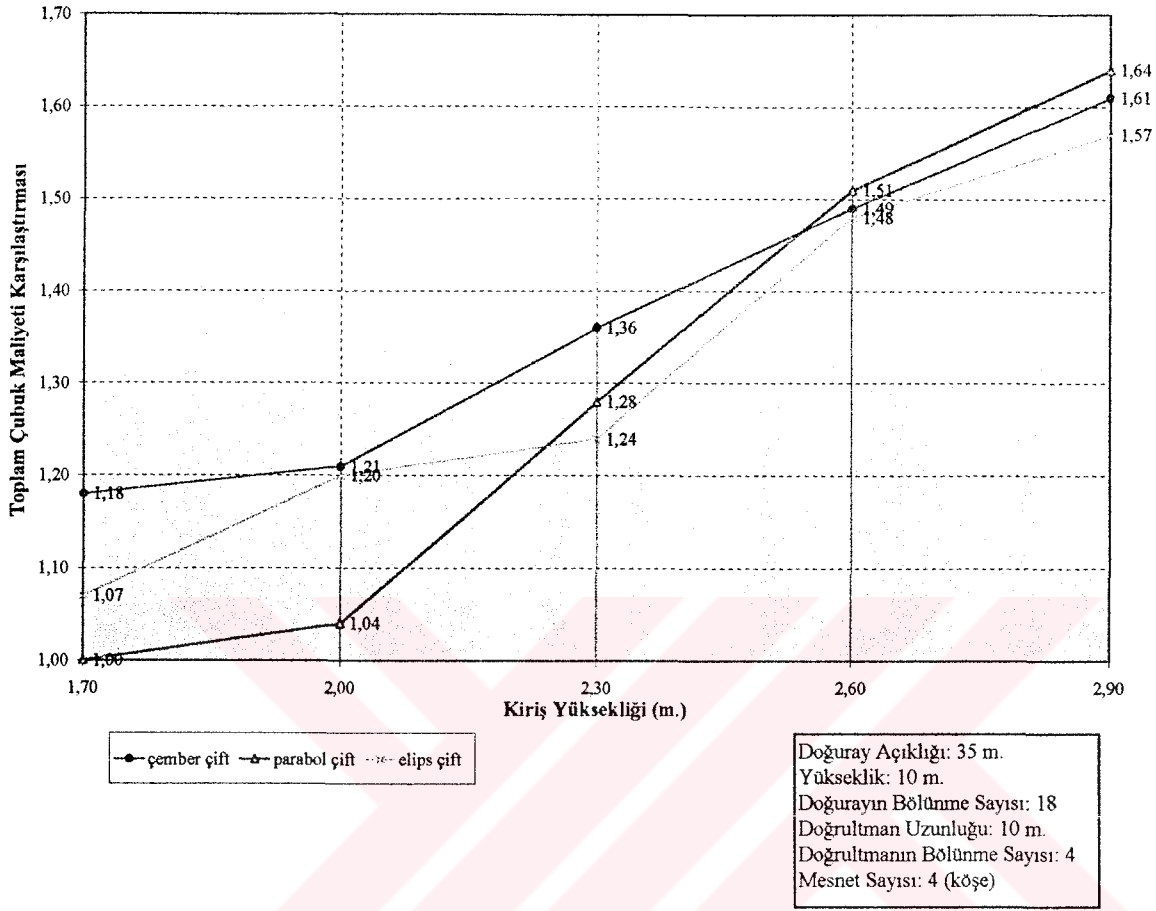
Grafik.III-26: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.



Tablo.III-26: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Ağırlıklarının Karşılaştırılması.

Kiriş Yüksekliği	1,70 m.	2,00 m.	2,30 m.	2,60 m.	2,90 m.
Çember (Kg)	2854	2927	3284	3600	3883
Parabol (Kg)	2407	2514	3088	3652	3957
Elips (Kg)	2581	2905	3002	3562	3792

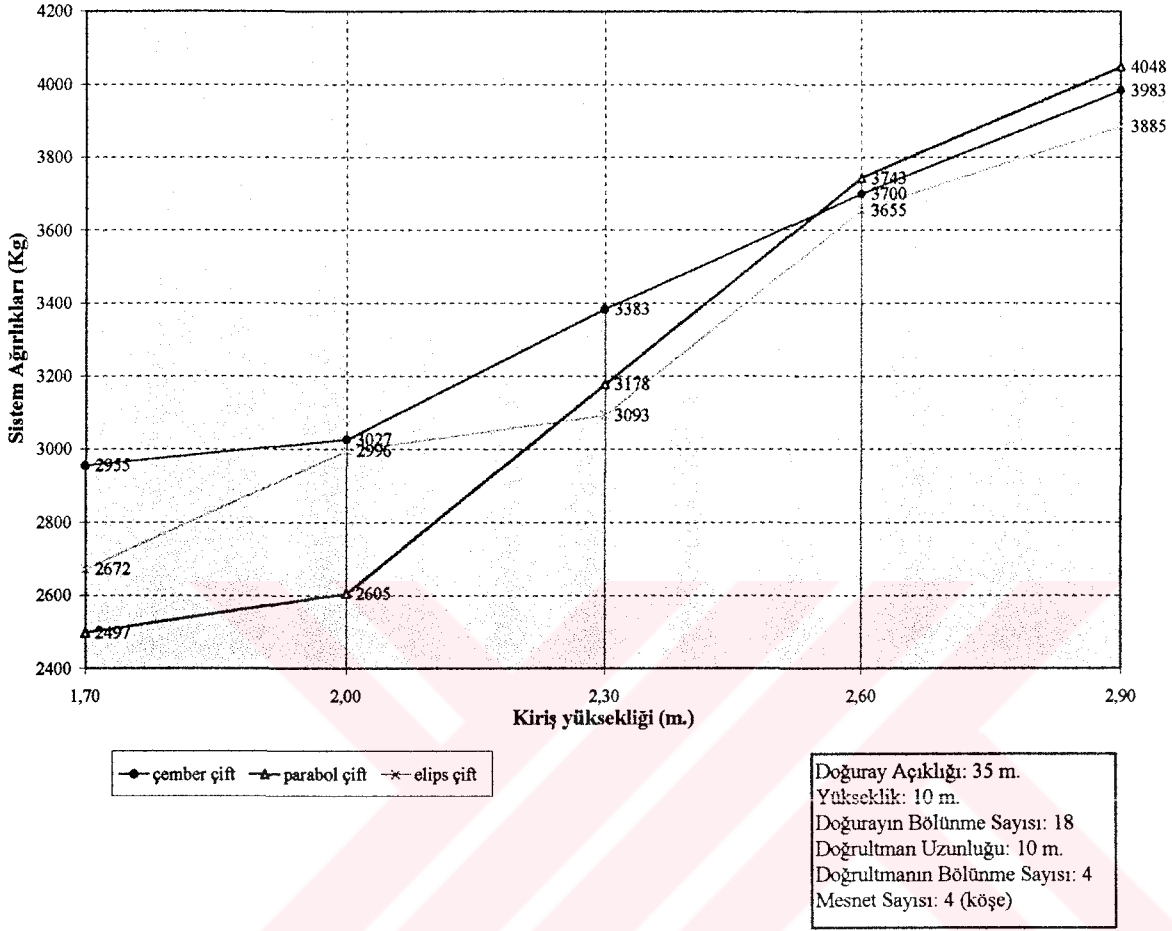
Grafik.III-27: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-27: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

Kiriş Yüksekliği	1,70 m.	2,00 m.	2,30 m.	2,60 m.	2,90 m.
Çember	1,18	1,21	1,36	1,49	1,61
Parabol	<u>1,00</u>	1,04	1,28	1,51	1,64
Elips	1,07	1,20	1,24	1,48	1,57

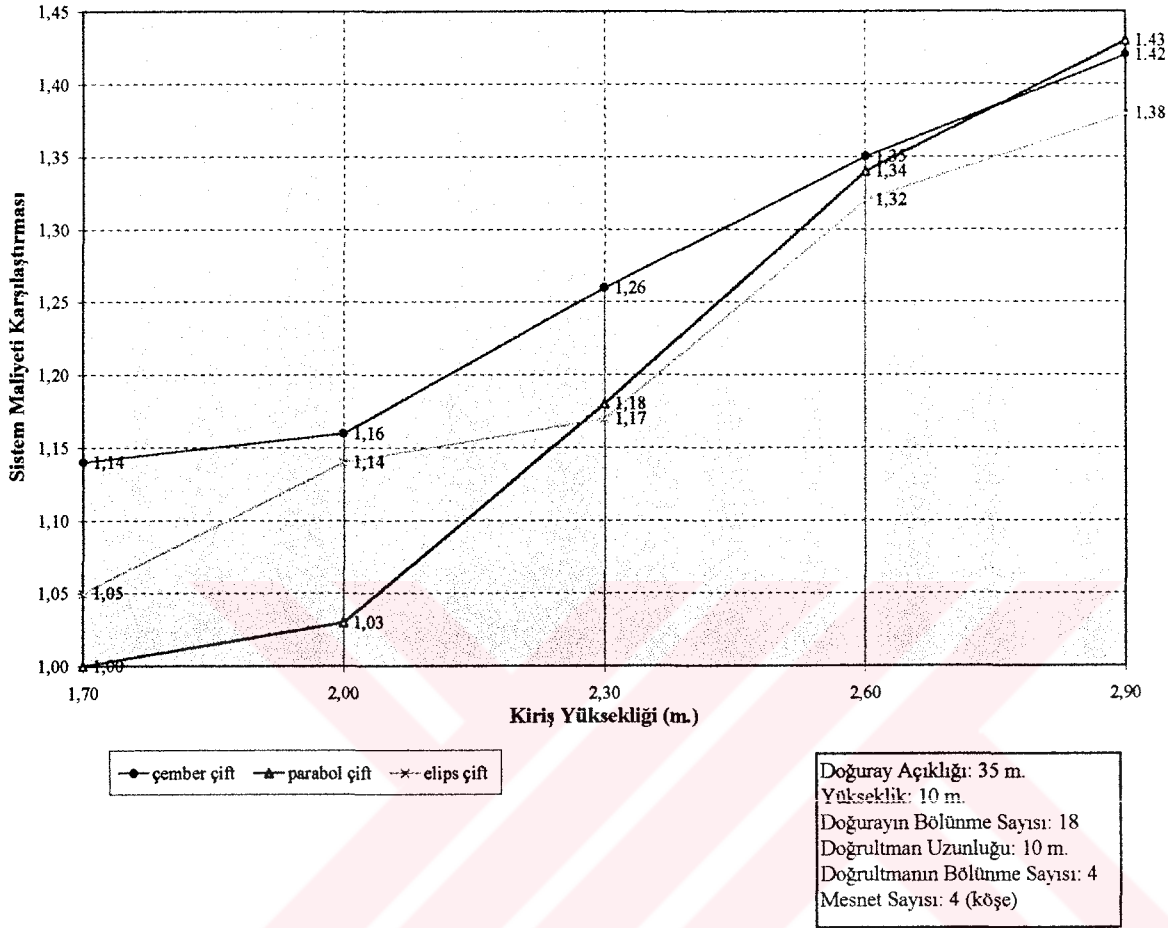
Grafik.III-28: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.



Tablo.III-28: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.

Kiriş Yüksekliği	1,70 m.	2,00 m.	2,30 m.	2,60 m.	2,90 m.
Çember (Kg)	2955	3027	3383	3700	3983
Parabol (Kg)	2497	2605	3178	3743	4048
Elips (Kg)	2672	2996	3093	3655	3885

Grafik.III-29: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



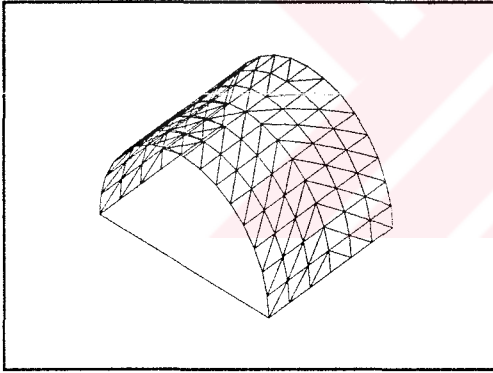
Tablo.III-29: Kiriş Yüksekliği Değişimine Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

Kiriş Yüksekliği	1,70 m.	2,00 m.	2,30 m.	2,60 m.	2,90 m.
Çember	1,14	1,16	1,26	1,35	1,42
Parabol	<u>1,00</u>	1,03	1,18	1,34	1,43
Elips	1,05	1,14	1,17	1,32	1,38

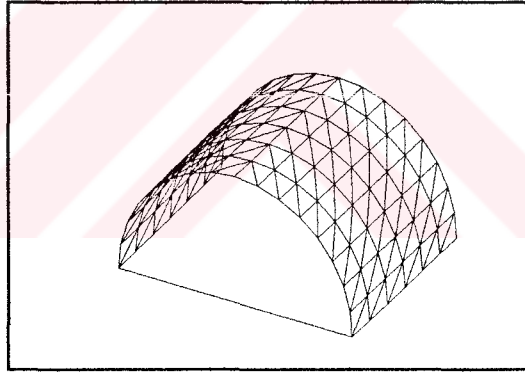
3.2.6. Sistem Çubuklarının Eksenlere Göre Simetrisinin Değişiminin Etkisi

Uzay kafes sistemi oluşturan çubuklar iki eksene göre simetrik olabilirler. Bu eksenlerden ilki, sistemin en üst düğüm noktasından doğrultmana paralel olarak geçen eksenidir. İkinci eksen ise doğrultman açıklığının tam ortasından doğuray yayı boyunca geçendir.

Bu iki eksene göre çubukların simetrisini incelediğimizde, çift katlı tonoz yüzeyli uzay kafes sistemlerin her iki eksen için de simetrik yapılma zorunluluğu olduğunu görürüz. Tek katlı sistemler incelendiğinde ise, bu sistemlerin tek veya çift yönde simetrik yapılabileceği görülür (Şekil.III-13, Şekil.III-14).



Şekil.III-13: Çift Yönde Simetrik Çubukların Kullanıldığı Sistem Örneği.



Şekil.III-14: Tek Yönde Simetrik Çubukların Kullanıldığı Sistem Örneği.

Sistemdeki çubukların eksenlere göre simetrilerinin değişim etkileri incelenirken, tek değişken çubukların simetrileri olmuştur. Bunun dışındaki tüm değerler sabit alınıp karşılaştırma yapılmıştır. Sabit değerler;

- Doğurayın geçtiği açıklık (AC)= 30 metre
- Sistemin geometrik yüksekliği (H)= 10 metre
- Doğurayın bölünme sayısı (F)= 18
- Doğrultman uzunluğu (L)= 10 metre
- Doğrultman bölünme sayısı (FL)= 4
- Sabit mesnet sayısı (M)=4

olarak alınmıştır.

Çubukların simetrilerinin değiştirilmesi sistemdeki düğüm noktası sayısı, çubuk sayısı ve çubuk uzunlukları üzerinde hiç bir etkisi yoktur. Ancak tek etki mesnet noktalarına yükleri aktaran bazı çubuklarda olmaktadır. Şekil.III-13’de de rahatlıkla görülebileceği gibi, köşelerde yer alan mesnetlere gelen diyagonal çubuklar, sistem içi kuvvetleri en kısa yoldan mesnet noktalarına aktarmaktadır. Tek yönde simetrik çubuklar kullanılan sistemde ise sistem içi kuvvetleri bazı mesnet noktalarına aktarılırken daha uzun bir yol izlemektedir. Bu zorlamalar sonucunda tek yönde simetrik sistemdeki bazı çubukların enkesit alanları, çift yönde simetrinin sağlandığı çubukların enkesit alanlarından daha fazla çıkmaktadır.

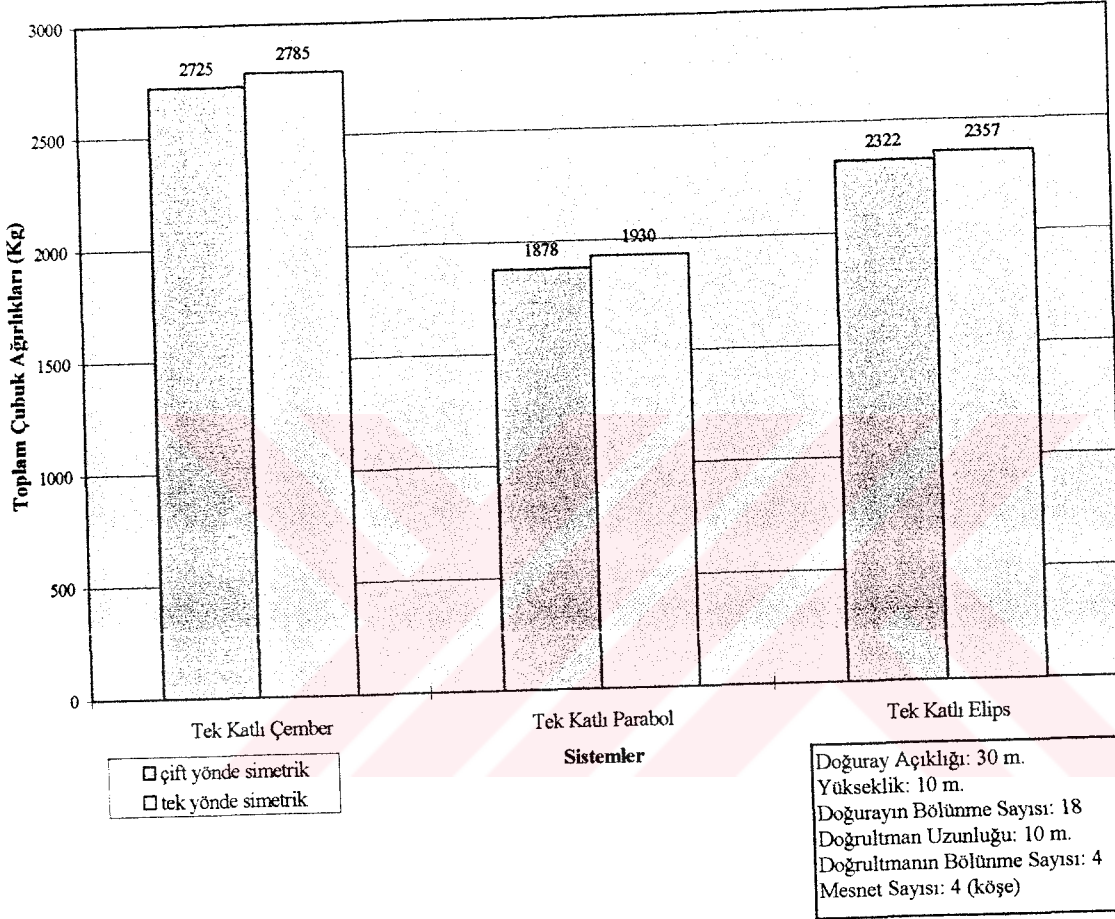
Bir sistemdeki çubuk enkesit alanlarının değişmesi, çubukların sistem içindeki toplam ağırlıklarını (Grafik.III-30, Tablo.III-30) ve maliyetlerini (Grafik.III-31, Tablo.III-31) de etkilemektedir. Bilindiği gibi sistem ağırlığının azaltılması sistem için olumlu bir etki yapmaktadır. Bunun yanında çift yönde simetrik sistemlerde sistem içi kuvvet aktarımı daha kısa yoldan olduğundan, sistemin dayanımı artmaktadır.

Sistemdeki düğüm noktalarının toplam maliyeti çift yönde simetrik sistemlerde, tek yönde simetrik sistemlere göre daha az olmaktadır (Grafik.III-32, Tablo.III-32).

Çift yönde simetrik sistemlerin ağırlığı tek yönde simetrik sistemlere göre çember ve elips kesitli sistemde 20 Kg, parabol kesitli sistemde de 80 Kg daha azdır (Grafik.III-33, Tablo.III-33). Tek yönde simetrik çubuklardan oluşan parabol kesitli

sistem, çift yönde simetrik parabol kesitli sisteme göre % 58 oranında daha pahalı olmaktadır (Grafik.III-34, Tablo.III-34).

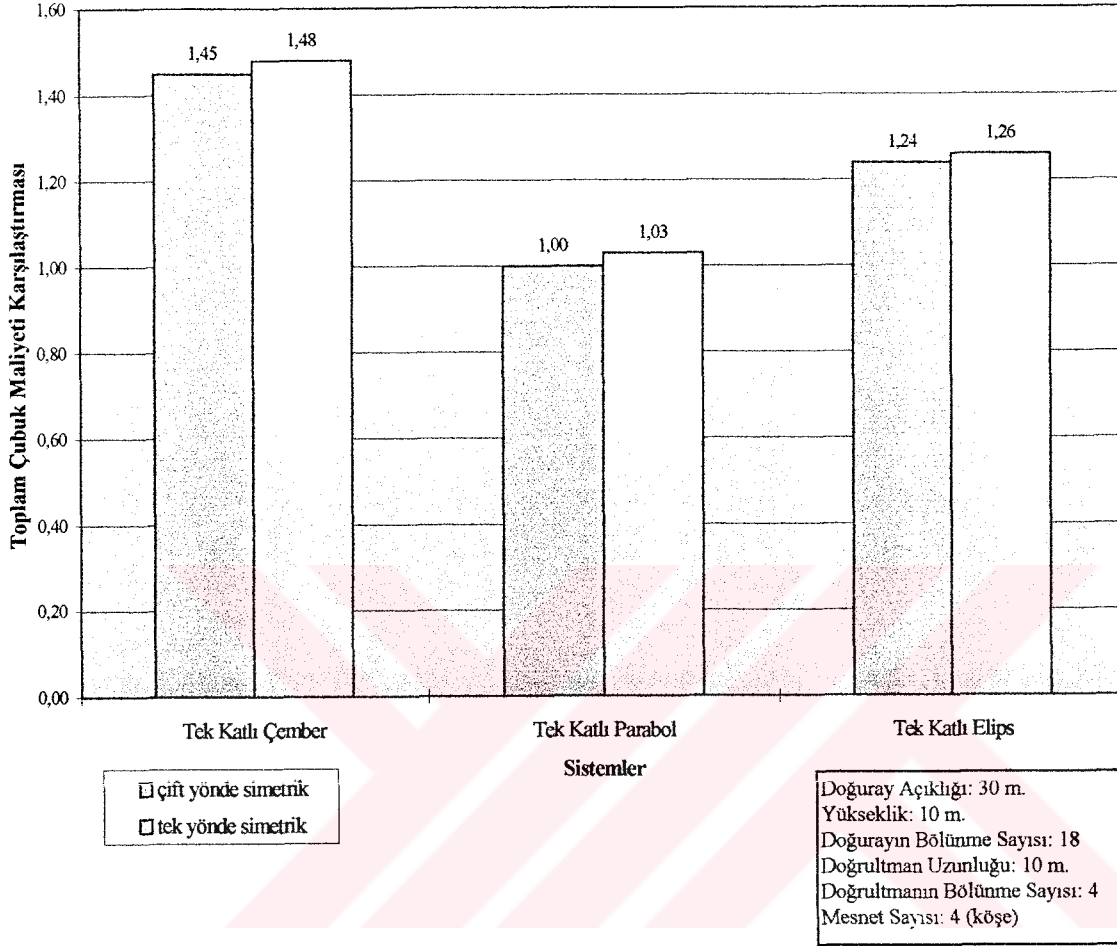
Grafik.III-30: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Ağırlıkları Karşılaştırılması.



Tablo.III-30: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Ağırlıkları Karşılaştırılması.

Simetri Eksen	Çift Yönde	Tek Yönde
Tek Katlı Çember (Kg)	2725	2785
Tek Katlı Parabol (Kg)	1878	1930
Tek Katlı Elips (Kg)	2322	2357

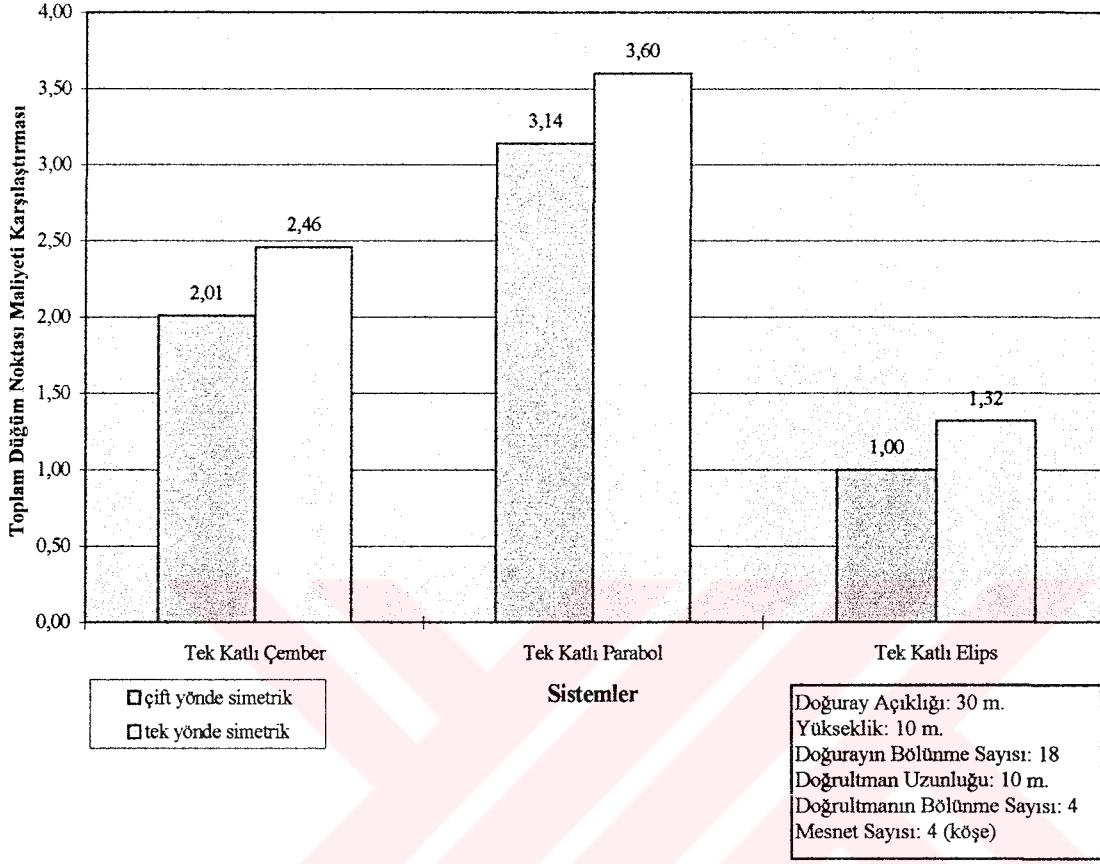
Grafik.III-31: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-31: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Çubuk Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

Simetri Eksen	Çift Yönde	Tek Yönde
Tek Katlı Çember	1,45	1,48
Tek Katlı Parabol	<u>1,00</u>	1,03
Tek Katlı Elips	1,24	1,26

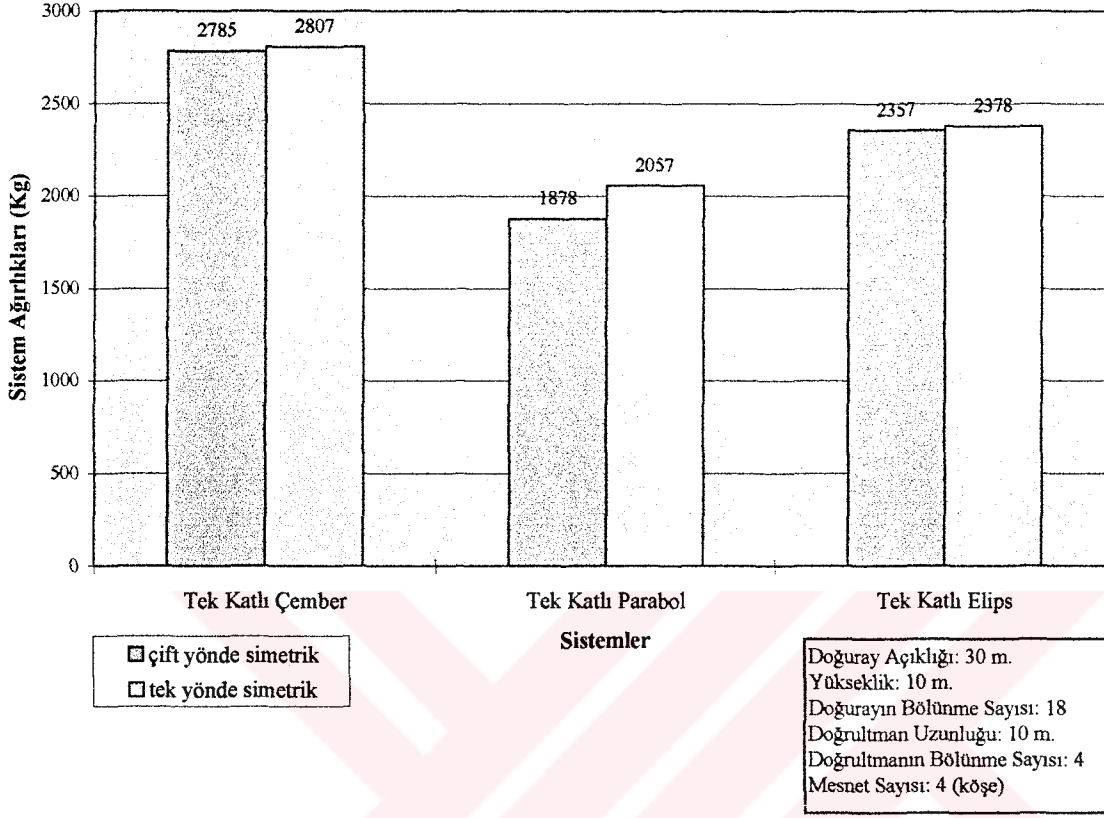
Grafik.III-32: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Düğüm Elemanları Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-32: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Toplam Düğüm Elemanları Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

Simetri Eksen	Çift Yönde	Tek Yönde
Tek Katlı Çember	2,01	2,46
Tek Katlı Parabol	3,14	3,60
Tek Katlı Elips	<u>1,00</u>	1,32

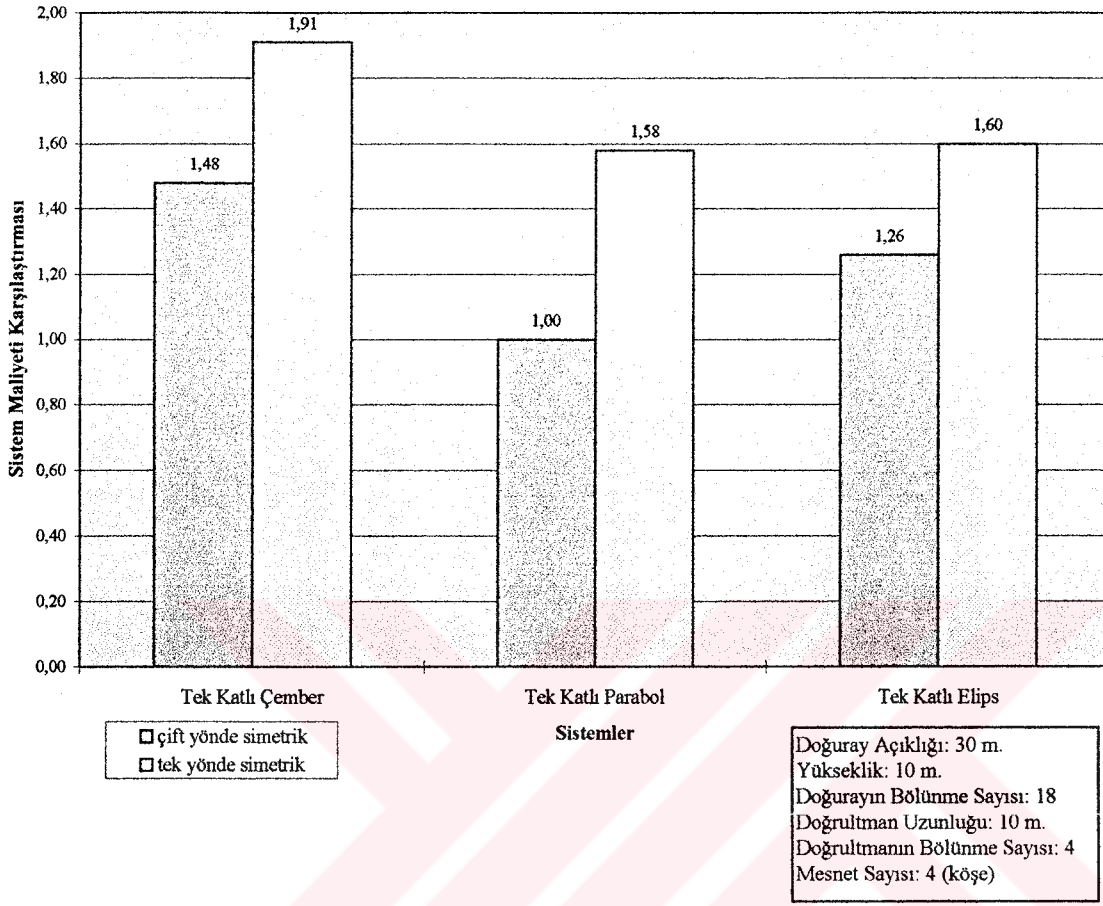
Grafik.III-33: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.



Tablo.III-33: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Ağırlıklarının Karşılaştırılması.

Simetri Eksen	Çift Yönde	Tek Yönde
Tek Katlı Çember (Kg)	2785	2807
Tek Katlı Parabol (Kg)	1878	2057
Tek Katlı Elips (Kg)	2357	2378

Grafik.III-34: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.



Tablo.III-34: Çubuk Simetrisindeki Değişime Göre Sistem Maliyetlerinin Göreceli Karşılaştırılması.

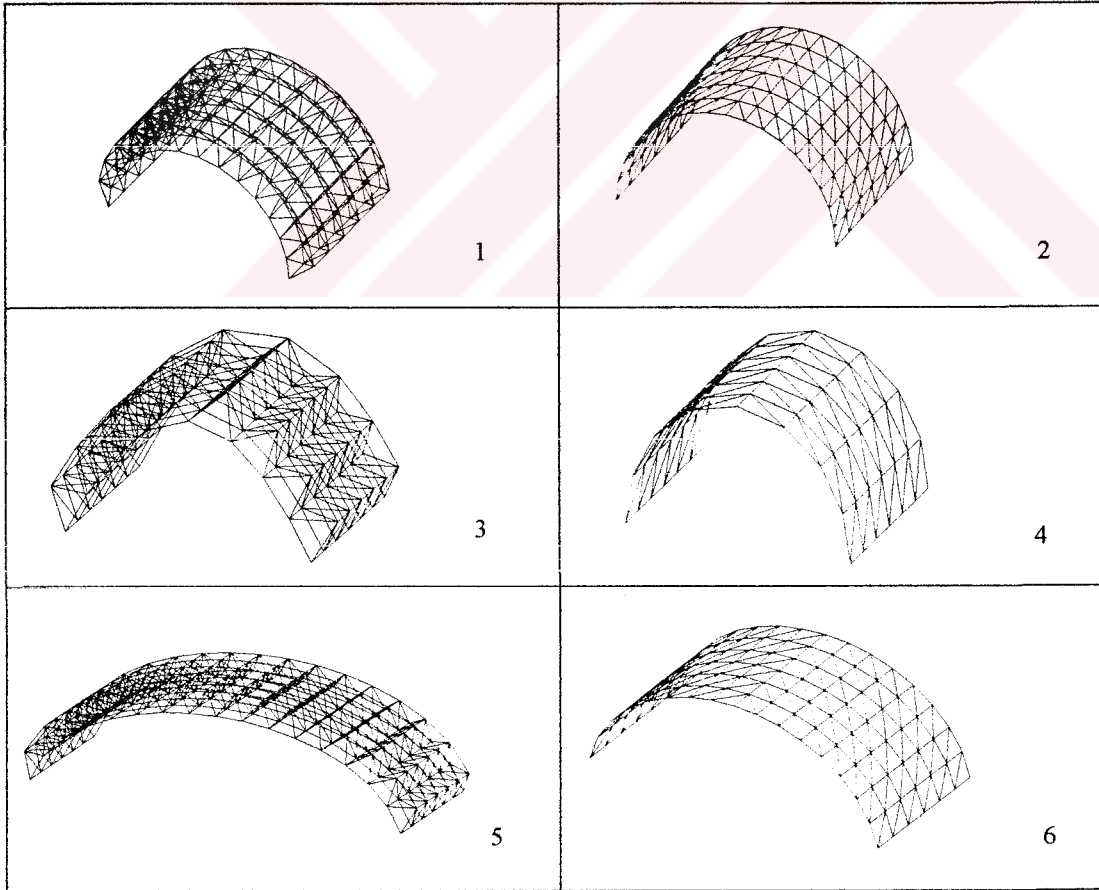
Simetri Ekseni	Çift Yönde	Tek Yönde
Tek Katlı Çember	1,48	1,91
Tek Katlı Parabol	<u>1,00</u>	1,58
Tek Katlı Elips	1,26	1,60

3.2.7. Sisteme Eğriliğini Veren Yayın Geometrisindeki Değişimin Etkisi

Silindir yüzeyli uzay kafes sistemler incelenirken sisteme eğriliğini veren doğuray yayının sahip olduğu geometrik şeklin de sistem maliyeti ve ağırlığı üzerine etkisi vardır. Bu bölümde daha önceki bölümlerde de adı geçen geometrik formlar ile oluşturulan sistemler karşılaştırılmıştır. Bu geometrik formlar, doğuray yayının sahip olduğu geometrik şekille adlandırılmıştır. Doğuray yayı üç şekilde karşımıza çıkar.

- Çember yayı veya yarım çember, (Tablo.III-35'da 1 ve 2)
- Parabol yayı, (Tablo.III-35'da 3 ve 4)
- Elips yayı veya yarım elips (Tablo.III-35'da 5 ve 6).

Tablo.III-35: Silindir Yüzeyli Uzay Kafes Sistem Geometrileri.



Önceki kriterlere göre yapılan tüm karşılaştırmalarda sistemin geometrik şekli de yer almaktadır. Bu konuyla ilgili olarak ilk önce üç sistem için, doğuray yayının üzerinde bulunan çubukların boyları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, çember yayı ile oluşturulan sistemlerin en uzun çubuklara, parabol yayının kullanıldığı sistemlerin de en kısa boylu çubuklara sahip olduğu görülmüştür. Elips yayının kullanıldığı sistemdeki çubukların ise orta uzunlukta olduğu saptanmıştır.

Farklı üç doğuray yayı için toplam çubuk ağırlıklarının karşılaştırmasını yaparken, en ağır sistem çember kesitli, en hafif sistem parabol kesitli sistem çıkmıştır. Toplam çubuk ağırlıkları ile toplam çubuk maliyetleri her zaman doğru orantılı olarak değişirler. Parabol kesitli uzay kafes sistemin toplam çubuk maliyeti diğer iki sisteme göre her durumda daha düşük çıkmıştır. Elips kesitli sistemlerin toplam çubuk maliyetleri parabol kesitli sistemden fazla, çember kesitli sistemden az çıkmıştır.

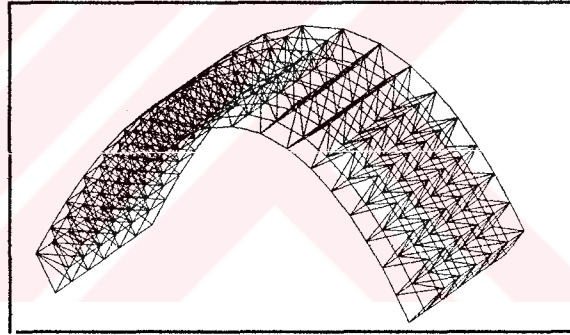
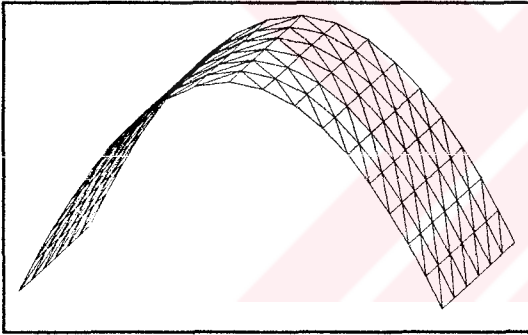
Sistemlerin toplam ağırlıklarını karşılaştırdığımızda, farklı bir sonuçla karşılaşmamaktayız. Toplam ağırlık olarak en hafif sistem yine parabol kesitli sistemler olmaktadır. Sistemlerin toplam maliyetleri karşılaştırıldığı zaman tüm açıklık ve yüksekliklerde en ekonomik sistem parabol yayının kullanıldığı sistemlerdir.

Teoride tüm veriler parabol kesitli uzay kafes sistemlerin en ekonomik sistemler olduğunu göstermektedir. Fakat uygulamada parabol yayının kullanıldığı sistem çok tercih edilen bir sistem değildir. Bunun da nedeni parabol yayının düzgün olmayan geometrisine bağlanabilir. Parabol yayı eşit uzunlukta çubuklara bölündüğü zaman çubuklar arasında kalan açı her çubuk çifti için farklıdır. Bu nedenle bu sistemde kullanılan düğüm noktaları seri üretim ile üretilemezler. Bunun yanında montaj aşamasında da çok sayıda farklı tip düğüm noktasını çubuklarla birleştirmek çok zaman almaktadır. Bu kriterler göz önüne alınınca çember kesitli sistemler çoğunlukla tercih edilmektedir.

3.2.8. Sistemin Tek Veya Çift Katlı Olmasının Etkisi

Çalışmada silindirik yüzeyli uzay kafes sistemler daha önce tek ve çift katlı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu iki sistem arasında karşılaştırma yapılırken daha önceki kriterlerin dışında bazı kriterlere değinilecektir (Şekil.III-15, III-16).

Yapılan tüm grafiklerde tek katlı uzay kafes sistemlerin maliyetleri çift katlı uzay kafes sistemlere göre daha yüksek çıkmıştır. Çift katlı sistemlerde alt üst ve diyagonal çubukların olmasına rağmen tek katlı sistemde toplam çubuk maliyeti daha fazla çıkmaktadır. Bunun nedeni tek katlı sistemlerin mafsallı olmayan düğüm noktalarından oluşmasıdır. Böylece çubuk enkesit alanları artmakta, bu da maliyeti etkilemektedir.



Şekil.III-15: Tek Katlı Uzay Kafes Sistem. Şekil.III-16: Çift Katlı Uzay Kafes Sistem.

Aynı alanı örten, aynı yüksekliğe sahip ve her iki yönde de aynı frekans değerlerine sahip olan, tek ve çift katlı uzay kafes sistemlerdeki çubuk enkesit alanlarının farklı kalınlıkta çıkmasının nedeni, çift katlı sistemin düğüm noktalarının moment taşımadığının varsayılmasıdır. Bu durumda sistemde sadece ‘çubuk eksenel kuvvetleri’ olarak tanımlanan çekme ve basınç kuvvetleri oluşur. Böylece çift katlı sistemlerde eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momenti oluşmamaktadır. Çift katlı sistemler gerçek anlamda uzay kafes sistem varsayımlarına uyan strüktürlerdir. Tek katlı uzay kafes sistemlerin statik analizinde eksenel kuvvet

kontrolü dışında eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momenti kontrollerinin de yapılması gerekir. Bu kontroller sonucunda sistemdeki çubukların enkesit alanlarını artırma gereği doğar.

Yukarıda sayılan tüm kontrollerin yapılma nedeni tek katlı uzay kafes sistemlerde kullanılan düğüm noktalarının mafsallı olmamasıdır. Çubuklarla düğüm elemanları kaynak yoluyla birleştirilir. Tek katlı uzay kafes sistemlerde düğüm noktaları mafsallı olarak kullanılırsa sistem 'labil' çıkmaktadır. Bu durumda sistem, üzerine gelen yüklere göre her yöne doğru hareket edebilir. Sistemin labil olduğu durum, hazırlanan bilgisayar programında da görülmüştür. Sistemin labil olduğu durumda program bu durumu bildirip, çalışmayı durdurmaktadır.

Statik problemleri dışında tek katlı uzay sistemlerin uygulama problemleri de vardır. Mafsallı olmayan düğüm elemanlarının çelik çubuklarla birleştirilmesi sırasında kaynak kullanılır. Genelde düğüm noktası elemanlarına altı çubuk birleşmektedir. Bunun anlamı her düğüm elemanı ile en az altı defa uğraşılma zorunluluğu olduğudur. Böylece işçilerin hızı diğer sisteme göre düşmektedir. Zaman kaybının yanında sistem maliyetine bir de kaynak maliyeti eklenmektedir.

Tek katlı uzay kafes sistemlerin çok sık uygulanmamasındaki bir neden de sistemin yerinde yapım şansının olmamasıdır. Sistem yerde bitirildikten sonra yerine kaldırılmalıdır. Bu işlem için bir vinç kullanma zorunluluğu vardır. Çünkü yerinde yapım yöntemini kullanmak için işçilerin basabileceği çubukların olması gerekir. Bunun dışında işçilerin yerden yüksekte kaynak yapmaları mümkün değildir. Böylece sistem maliyetine vincin kullanılma bedeli de eklenir.

Yapılan hesaplar sonucunda tek katlı sistemlerin içindeki bazı çubukların enkesit alanı oldukça ince çıkmaktadır. Bu ince çubuklarla, en kesit alanı daha büyük olan çubukların birleşimi sırasında, kalın çubukların kendi ağırlıkları ile ince çubuklarda şekil bozulmaları ortaya çıkmaktadır. Bu problemi önlemek için çok ince çubuklar sistemde kullanılmamaktadır. Hesaplarda gerekme bile bu tür çubuklarda diğer

çubukların enkesit alanlarına yakın enkesit alanları alma zorunluluğu doğar. Böylece maliyet biraz daha artmış olur.

Tüm bu olumsuz yönlerine ek olarak tek katlı uzay kafes sistemler ile çok fazla açıklık geçmek mümkün değildir. Bu tür sistemlerin genellikle küçük açıklıklı ve sisteme fazla yük gelmeyen durumlarda kullanılması uygun olur.

Uzay kafes sistemlerin diğer sistemlere olan bir üstünlüğü de sökülüp takılabilesidir. Bu özelliğinden dolayı fuar yapılarında çok sık kullanılmışlardır. Oysaki kaynaklı birleştirdiğimiz tek katlı uzay kafes sistemlerin sökülebileme gibi bir özelliği de yoktur. Sistem bileşenlerinden biri ileride kullanılamaz duruma geldiği zaman bu bileşen kesilip, yerine yenisi kaynaklanmalıdır. Yani bakım bedeli çift katlı uzay kafes sistemlerden fazladır.

Tüm bu olumsuz yönlerinden dolayı tek katlı uzay kafes sistemlerin maliyeti artmakta ve çift katlı uzay kafes sistemle yapım cazip hale gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı Türkiye’de uzay kafes sistemler üzerine çalışan firmalar silindirik yüzeyli ve tek katlı olan uzay kafes sistemleri kesinlikle kullanmamaktadırlar.

SONUÇ

Uzay kafes sistemler XX. yüzyıla damgasını vurmuş olan ve en az malzeme ile en fazla verimin alındığı etkin strüktürlerden biridir. Uzay kafes sistemler, kullanılan malzeme miktarının konvansiyonel yapım sistemlerine göre az olması, montajının kolay ve kısa sürede bitirilebilmesi, çok geniş açıklıkları çok az sayıda kolonla geçebilmesi ve seri üretime uygunluğu ile tercih edilen endüstrileşmiş yapım sistemleri arasında yer alır. Sistemi en etkin şekilde kullanabilmek için, önce bileşenlerinin özelliklerini tanımak gerekir. Sonraki aşama örtülecek alana en uygun formun seçilmesidir.

Örtülecek alana en uygun form seçilirken; farklı açıklık, yükseklik ve frekans değerleri gibi kriterler dikkate alınmalıdır. Çünkü farklı açıklık, yükseklik ve frekans değerlerine sahip olan sistemlerde farklı sonuçlar çıkmaktadır. Önemli olan belirli bu girdilerin sonucunda hangi sistemin daha dayanıklı ve daha ekonomik olacağıdır.

Silindir yüzeyli uzay kafes sistemler incelenip, birbirleri ile karşılaştırılırken sekiz ana kriter ele alınmıştır. Bu kriterler;

- Sisteme eğriliğini veren yayın geçtiği açıklık,
- Sistemin geometrik yüksekliği,
- Sisteme eğriliğini veren yayın bölünme sayısı,
- Sistemde kullanılan sabit veya hareketli mesnet sayısı,
- Sistemde kullanılan çubuk tipi sayısı ve giriş yüksekliği,
- Sistem çubuklarının geometrik eksenlere göre simetrisi,
- Sisteme eğriliğini veren yayın geometrisi ve
- Sistemin tek veya çift katlı olmasıdır.

Tez kapsamında bütün kriterleri kapsayacak şekilde yaklaşık 250 farklı silindir yüzeyli uzay kafes sistemin statik çözümü yapılmıştır. Çıkan sonuçlar değerlendirilip, silindir yüzeyli uzay kafes sistemler hakkında bazı saptamalar yapılmıştır.

Sisteme eğriliğini veren doğuray yayının geçtiği açıklığın artırılması, doğuray yayı üzerinde bulunan çubuk uzunluklarını artırır. Çubuk uzunluğu arttıkça, çubuk enkesit alanları da artar. Her iki durum da maliyeti artırıcı etki yapar. Doğuray açıklığının çok fazla, yüksekliğin de çok az olduğu basık sistemlerin kullanıldığı durumlarda yapının maliyeti artmaktadır. Geçilen açıklık ile yapının yüksekliği uyumlu olmalıdır.

Doğuray yayının yüksekliğinin artırılması, doğuray yayı üzerinde bulunan çubukların boylarının ve enkesit alanlarının artmasına neden olur. Sistem yüksekliğinin artırılması, çubuklar arasındaki açının azalmasına neden olur. Bu sisteme taşıyıcılığı açısından olumlu bir etki yapar. Yüksekliğin artırılmasının maliyeti artırıcı etkileri vardır. Silindir yüzeyli uzay kafes sistem ile bir alan örtülecekse, geçilen açıklıklar ile uyumlu yüksekliklerin alınması her zaman sistem maliyetine ve taşıyıcılığına olumlu etki yapmaktadır. Basık sistemler seçilmemelidir.

Doğuray yayının bölünme sayısının artırılması, sistemde kullanılan düğüm noktası ve çubuk eleman sayılarını artırmaktadır. Çubuk boylarında kısalma görülürken, çubuk enkesit alanlarında artış olmaktadır. Doğuray yayının bölünme sayısı azaltılırsa sistem maliyeti azalır. Fakat çubuk boylarında artış olur. İşçiler tarafından taşınamayacak boy ve ağırlıktaki çubuklardan oluşan sistemlerin yapımları zorlaşmaktadır. Bu durumlarda vinç veya kalıp gibi yardımcı eleman kullanma zorunluluğu, hem sistemin yapım süresini uzatır, hem de maliyetini artırır. Doğuray yayının bölünme sayısının artması da çok kalın enkesitli fakat kısa boylu çubukların kullanılmasına neden olur. Düğüm noktası ve çubuk sayısında olan artış işin bitirilme süresini geciktirir. Tüm bu nedenlerden dolayı uzay kafes sistemler için en az bileşenin kullanıldığı durumlar ekonomik olmaktadır.

Mesnet sayısının artırılmasının, sistem içi kuvvetlerin azalmasına yol açtığı; bu nedenle birçok çubuğun enkesit alanlarında azaltıcı etkisi olduğu saptanmıştır. Mesnet sayısının artırılmasının toplam çubuk ağırlığını ve maliyetini düşürdüğü

gözlenmiştir. Bunun yanında mesnet noktalarının üretim maliyetleri çok yüksektir. Gereksiz yere çok sayıda kullanılması sistem maliyetini olumsuz yönde etkiler. Ayrıca doğrultman yönündeki tüm kenar düğüm noktalarının kolon veya kirişlere mesnetlenmesi, bu mesnet noktaları arasındaki çubukların yük aktarmayan çubuklar olduğunu göstermiştir. Mesnet sayılarının belirlenmesinde, üstü örtülecek alanın boyutlarına göre bir tercih yapılmalıdır. Mesnetlerin konumları açısından simetrik olmayan durumlar, sisteme gelen yatay yükler karşısında birçok çubuğun çalışma şekline ters etki yapar.

Çift katlı uzay kafes sistemlerde, kiriş yüksekliğinin artırılması, sistemin dış yüklere karşı dayanımını artırmaktadır. Bunun yanında basınca çalışan diyagonal çubukların uzunlukları ve enkesit alanları artmakta, bundan sistem maliyeti de etkilenmektedir. Kiriş yüksekliğinin gereksiz yere artırılması sonucu, basınca çalışan diyagonal çubukların burkulma sorunuyla karşılaşılır. Tüm kriterlerde olduğu gibi her sistem için en uygun kiriş yüksekliği tespit edilmelidir. İki kat arasındaki yüksekliğin sistem dayanımı ve mimari tercihler açısından çok önemli olmadığı durumlarda, diyagonal çubukların doğuray veya doğrultman yönündeki çubuklarla aynı boyda yapılmasının, sistemin montaj süresini ve maliyetini azalttığı görülmüştür.

Sistemdeki çubukların eksenlere göre simetrik olması hem maliyeti düşürmektedir, hem de sistem içi kuvvetlerin simetrik dağılmasına neden olmaktadır. Her zaman çift yönde simetrik sistemlerin uygulanması uygundur.

Doğuray yayının geometrik şeklinin de sistem üzerinde etkileri olmaktadır. Özellikle parabol yayının kullanıldığı sistemler, elips ve çember yaylarının kullanıldığı sistemlere göre hem sistem elemanların maliyeti hem de sistemin taşıyıcılığı açılarından daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni parabol kesitli uzay kafes sistemlerde, sistemi oluşturan çubuklar arasındaki açılar diğer sistemlere göre daha küçük olmasıdır. Düğüm noktalarına düşey yönde gelen yükler, düğüm noktasının iki yanında bulunan çubuklara aktarılmaktadır. Bu iki çubuk arasındaki

açı 180 derece olursa özellikle tek katlı uzay kafes sistemlerde, sistemin çökme riski doğar. Yüklerin mesnetlere aktarımı yönünden bu açı ne kadar küçük olursa o kadar iyi sonuçlar alınır.

Silindir yüzeyli uzay kafes sistemleri tek ve çift katlı olmaları açısından karşılaştırsak, tek katlı silindir yüzeyli uzay kafes sistemler, çift katlı olan sistemlere göre kullanılan malzeme miktarı açısından daha ağır olmaktadırlar. Tek katlı sistemler; elemanlarının kaynakla birleştirilmesi, enkesit alanı büyük çubukların kullanılması, sistemin yerine montajının vinçlerle yapılması, düğüm noktalarının mafsallı olmaması dolayısıyla çubuklarda eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momentinin oluşması ve bileşenlerin sökülüp takılma şansının olmaması nedeniyle tercih edilmemektedir. Tek katlı uzay kafes sistemler çok geniş açıklıkları geçemezler. Geniş açıklıkları geçmeleri için çok büyük enkesitli çubuk elemanlara ihtiyaç duyarlar ve ekonomik olmaktan uzaklaşırlar. Uzay kafes sistem varsayımlarına gerçek anlamda uyan sistem çift katlı uzay kafes sistemlerdir. Günümüzdeki uygulamaların büyük bir çoğunluğu çift katlı sistemlerle yapılmaktadır. Tek katlı uzay kafes sistemler Türkiye’de birçok firma tarafından uygulanmamaktadır.

KAYNAKLAR

KİTAPLAR:

AVRAM, Constantin, (1984), Space Structures, Decebal Anastasescu, Amsterdam Elsevier.

BLASER, Werner, (1980), Filigran Architektur, Wepf & Co. Basel New York.

BORREGO, John, (1968), Space Grid Structures; Skeletal Frame Works and Stressed Skin Systems, Cambridge, M.I.T. Press Illus.

BRUMFIELD, M. Larry, (Derleme), (1983), Structural Dynamics and Control of Large Space Structures, Washington D.C. NASA.

DAVIES, R. M., (1967), Space Structures; A Study of Methods and Developments in Three-Dimensional Construction, (International Conferance on Space Structures, University of Surrey, 1966) New York, Willey.

EDMONDSON, Amy C., (1987), A Fuller Explanation The Synergetic Geometry of R. Buckminster Fuller, Birkhäuser Boston, U.S.A.

EEKHOUT, Mick, (1989), Architecture in Space Structures, Uitgeverij 010 Publishers, Rotterdam.

FULLER, Buckminster, (1967), Ideas And Integritys, U.S.A.

FULLER, R. B. M., (1969), Operating Manual for Spaceship Earth, Carbondale, Southern Illinois University Press.

FULLER, R. B. M., (1983), Inventions The Patented Works of R.B.M. Fuller, New York, St Martin's Press.

FULLER, R. B. M., (1975), Synergetics: Explorations in the Geometry of Thinking by R.B. Fuller in Collaboration with E.J. Applewhite, New York, Macmillan.

FULLER, R.B.M., (1969), Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity by R.B. Fuller, New York, Overlook Press.

FULLER, Richard Buckminster, (1973), Earth, inc. by R.B. Fuller Garden City, New York, Anchor Press.

GATZ, Konrad, (1966), Stahl Konstruktionen im Hockbau, Verlag Architektur Baudetail GmbH und Verlag Georg, D.W. Callwey, München.

GERÇEK, Cemil, (1979), Yapıda Taşıyıcı Sistemler, Yaprak Kitabevi, Ankara.

GÜREL, Sedat, (1968), Uzay Organizasyonlarında Yeni Gelişmeler, İTÜ Mim. Fak. Baskı Atölyesi, İTÜ. Mim. Fak. Yayını.

HEINRICK, Engel, (1967), Structure Systems, Deutsche Verlage Anstalt.

IAN, Mc Callum, (1959), A.R.I.B.A. Architecture USA, The Architectural Press, London.

KULAKSIZOĞLU, M. Erol, (1973), Mimarlık Alanında Çağdaş İnşaat Sistemleri Gelişimi ve İlgili Tasarım Olanakları, İTÜ Mim. Fak., Sim Matbaası, Cağaloğlu, İstanbul.

LIGHTNER, E. Burton, (1980), Workshop on Structural Dynamics and Control of Large Space Structures, Hampton, Virginia.

LOEB, Arthur Lee, (1976), Space Structures, Their Harmony and Counterpoint, Mass Addison Wesley Pub. Co., Advanced Book Program.

MAKOWSKI, Z., (1963), Raumliche Tragwerke aus Stahl; hrsg. Von Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf.

MAKOWSKI, Z. S., (1966), Steel Space Structures, London.

MARKS, Robert W, (1960), The Dymaxion world of Buckminster Fuller, New York, Reinhold Pub. Corp.

MARKS, Robert W, (1963), Buckminster FULLER: Ideas and Integrities, a Spontaneous Autobiographical Disclosure, Englewood Cliffs, N. J. Prentice Hall.

McHALE, John, (1964), R. Buckminster Fuller. Architekten von heute., Bond:4, Übersetzt von W.O. Driescher, Otto Maier Verlag Ravensburg.

MELLER, James, (1972), The Buckminster Fuller Reader, Penguin Books Ltd. Harmendsworth Middlesex, England.

MENGERINGHAUSEN, Von Dr.-Ing. Max, (1975), Raumfachwerke, Band:1, Würzburg, Germany Bauverlag GmbH.

MULLER, Rudolf, (1970), Räumliche Dachtragwerke Konstruktion und Ausführung Verlagsgesellschaft, Köln-Braunsfeld, Band:2, Stahl Plaste, Berlin.

PATZELT, O., (1967), Raumtragwerke aus Stahl, Deutsche Bauinformation, Berlin.

PAWLEY, Martin, (1990), Buckminster Fuller, Trefoil Publications, London.

SHARP, Dennis, (1972), A Visual History of Twentieth Century Architecture,
Printed and Bound by Jarrold & Sons Ltd., Norwick, England.

TÜRKÇÜ, H. Çetin, (1982), Uzay Çerçeve Çatıyı Farklı Geometrik Olanaklar Arasından Seçmede Kullanılabilecek Ölçütler ve Yöntemi, E.Ü. Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, Yayın No:15, Ticaret Matbaacılık, İzmir.

TÜRKÇÜ, H. Çetin, (1973), Beitrag zur Geometrie der Montage - Kugelhuppeln mit Berücksichtigung von Konstruktiven Kriterien, Berlin.

TÜRKÇÜ, H. Çetin, (1988), Endüstrileşmiş Yapım Konut Sorunu Açısından İrdelenmesi, D.E.Ü. Müh-Mim. Fak. Yayını,İzmir.

WARD, James, (1985), The Artifacts of R. B. Fuller. A Comprehensive Collection of His Designs and Drawings in four Volumes, Gerland Publishing, Inc. New York and London.

YAZICI, Muhteşem, (1989), Uzay Kafes Taşıyıcıların Konstrüksiyon Yönünden İncelenmesine Ait Bir Deneme, İ.T.Ü., İstanbul.

BİRDEN FAZLA YAZARI OLAN KİTAPLAR:

BUTTNER, O., & HAMPE, E., (1977), Bauwerk Tragwerk Tragstruktur, Band:1, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.

WALKER, E. A. & RILLAN, J. R., (1970), Richard Buckminster Fuller: Approaching The Benign Environment by R. B. M. Fuller, University, Auburn University by University of Alabama Press.

DERGİLER:

ALAÇAM, Ahmet, (1992, 81), Uzay Kafes Sistemleri, Dizayn Konstrüksiyon, s:40-42.

ARU, K. Ahmet, (1970), Expo 64-65 New York, Expo 67 Montreal, Expo 70 Osaka'nın Dünya Geleceği İçin Düşündürdükleri, Mimarlık, T.M.M.O.B.-Mimarlar Odası Yayını, Ankara, s:32-36.

BEŞKARDEŞ, Ö. Faruk, (1970, 4), Expo'70, Arkitekt, Nurgök Mat., İstanbul, s:24.

Glasshalle Messe Leipzig, (1996), Detail, No:5 s:240.

GÜREL, Sedat, (1970), Geleceği Amaçlayan Mimari ve Uluslararası Sergi Organizasyonları, Mimarlık, Sayı:10, T.M.M.O.B. Mimarlar Odası Yayını, Ankara, s:27-29.

KAMIYA, Koji, (1970), The Space Frame, Japan Architect, No:164, s:49-55.

KARAHASANOĞLU, Nur, (1967), Expo'67, Mimarlık, Sayı:47, T.M.M.O.B. Mimarlar Odası Yayını, Ankara, s:33-34.

KÜÇÜKERMEN, Önder, (1969, 11), Expo'70, Mimarlık, Sayı:73, T.M.M.O.B. Mimarlar Odası Yayını, Ankara, s:23-24.

ÖZŞEN, Görün, (1991, 69), Düzlem Uzay Kafesler'in Taşıyıcı Olarak Düzenlenmesi, Dizayn Konstrüksiyon, s:57-62.

SAĞIROĞLU, Şefik, (1992, 81), Prefabrik Uzay Sistem Çelik Konstrüksiyon İmalat Esasları, Dizayn Konstrüksiyon, s:75-76.

TÜRKÇÜ, Çetin, (1981), Jeodezik Kubbelerin Konstrüksiyonu, E.Ü.G.S.F. Dergisi, Sayı:2, s:12-13.

KİŞİSEL GÖRÜŞMELER:

Altınyıldız Uzay Sistem Konstrüksiyonları Sanati ve Ticaret Ltd. Şti. (1999, Eylül)

Banu BAKKALOĞLU, Uzay Modül Uzay Sistem Konstrüksiyonları - İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.'den (1999, Eylül)

Gökhan DEĞER, Uskon Prefabrike Uzay Çelik Kafes Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş. (1999, Eylül)

Selim ARDALI, İnşaat Mühendisi. (1999, Mart)

Selman IRLAYICI; Uzaysan Prefabrike İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.'nden (1999, Eylül)

Uluğ CAM; Ergüven İnşaat Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti.'nden (1999, Nisan)

YAZARI BİLİNMEYEN ÇALIŞMALAR:

A.B.D. Pavyonu, (1970), Japon Archiect, No: 164, s:92-95.

Abdi İpekçi Kapalı Spor Salonu, (1987), Dizayn Konstrüksiyon, Sayı:22, s.20-25.

Abdi İpekçi Kapalı Spor Salonu Çatı Montaj İşlemi, (1987), Dizayn Konstrüksiyon, Sayı:22, s.17-19.

Antalya’da Simge Bir Yapı, (1997, Ekim), Dizayn Konstrüksiyon, s.28-32.

Büyük Yapılarda Rasyonel Tekniklerin Kullanımı Konusunda Araştırma
İstanbul Abdi İpekçi Spor Salonu, (1987, Ocak), Dizayn Konstrüksiyon, s:15-16.

Düzlem Uzak Kafesler’in Taşıyıcı Olarak Düzenlenmesi, (1991), Dizayn Konstrüksiyon, sayı:69, s.57.

Uzak Kafes Sistemlerde Örtü Gereçleri, (1992, 83), Dizayn Konstrüksiyon, s:28-33.

Uzak Kafes Sistemleri, (1992), Dizayn Konstrüksiyon, sayı:81, s.40.

Uzak Sistemleri, (1999, Ağustos), İnşaat Ekonomi, Has Matbaası, s:64.

BROŞÜRLER:

Altınyıldız Uzay Sistem Konstrüksiyonları Sanati ve Ticaret Ltd. Şti. Broşürü.

Ergüven İnşaat Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti. Broşürü.

MERO-Raumstruktur GmbH & Co. Würzburg Broşürleri.

Prefabrik Uzay Sistem İmalatı Teknik Şartnamesi.

Uskon Prefabrike Uzay Çelik Kafes Sistem Teknik Şartnamesi.

UTS Uzay Taşıyıcı Sistemleri Mühendislik Makine ve Yapı Sanayi Ticaret Ltd. Şti.
Broşürü.

Uzaykon Uzay Kafes Sistemleri İnşaat San. ve Dış Tic. A.Ş. Broşürü.

Uzay Modül Uzay Sistem Konstrüksiyonları - İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. Broşürü.

Uzaysan Prefabrike İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti. Broşürü.

Uzay Sistem Prefabrik - Çelik - Konstruksiyon İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd Şti
Broşürü.