

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

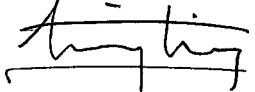
**UZAY KAFES SİSTEMLERİN  
YAPISAL ANALİZİ**

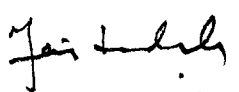

**İnş. Müh. A. Süha AKIN**

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında  
hazırlanan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. İbrahim Ekiz**

  
Prof. Zaker Öztürk

   
Prof. Dr. Feridun CILICI Prof. İbrahim Ekiz

**İSTANBUL, 1997**

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
1.0 UZAY KAFES SİSTEMLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	
1.1 Uzay Kafes Sistem Tanımı ve Kullanım Amacı	1
1.2 Uzay Kafes Sistemlerin Tarihsel Gelişimi	2
1.3 Uzay Kafes Sistemlerin Üstünlükleri	3
1.4 Uzay Kafes Sistemleri Oluşturan Öğeler	3
1.4.1 Çubuklar	4
1.4.2 Düğüm Noktaları	8
1.4.3 Mesnetler	18
1.4.4 Temeller	20
1.4.5 Örtü Gereci	21
1.5 Uzay Kafes Oluşum İlkeleri	23
1.6 Uzay Kafes Yapıların Türleri	27
1.7 Düzlem Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler	27
1.7.1 Düzlem Uzay Kafes Taşıyıcıların Yapım Sistemleri	34
1.7.2 Düzlem Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemlerin Montajı	44
1.7.3 Düzlem Uzay Kafes Sistemde Maliyeti Etkileyen Faktörler	45
1.8 Tek Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler	59
1.8.1 Tek Eğrilikli Uzay Kafes Sistemlerin Oluşum İlkeleri	60
1.8.2 Tek Eğrilikli Uzay Kafes Sistem Türleri	65
1.9 Çift Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler	72
1.9.1 Düğüm Noktaları Mafsallı Sistemler	72
1.9.2 Rijit Düğüm Noktalı Sistemler	81

2.0 UZAY KAFES TAŞIYICILARIN STATİK HESAP METODLARI	
2.1 Matris Deplasman Metodu	84
2.1.1 Rijit Düğüm Noktalı Sistemler	84
2.1.2 Düğüm Noktaları Mafsallı Sistemler	90
2.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi	92
3.0 DÜZLEM UZAY KAFES SİSTEMLERDE MESNETLENME TİPİVE KAFES YÜKSEKLİĞİNE BAĞLI MALİYET ANALİZİ	114
4.0 SONUÇ	156
KAYNAKLAR	157



## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalıőmamda, tez yönetimindeki anlayıő ve yardımları nedeniyle Prof. İbrahim Ekiz'e, desteklerinden dolayı Sosyolog Esra Bayram'a, İőő. Yük. Müh. Elif Bayram'a, İőő. Müh. Murat Süha Gündüz'e, anlayıőlarından ve sağladıkları imkanlardan dolayı Ataç İőőaat Tic. ve San. A.Ő. sahibi İőő. Yük. Müh. Hikmet Ataman'a ve şantiye őefim İőő. Yük. Müh. Ceyhun Kuruüzüm'e, her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, en derin teőekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Geniş açıklıkların geçilmesinde ekonomik ve fonksiyonel özelliklere sahip uzay kafes sistemler, günümüz modern toplumlarında taşıdığı önem bakımından kaçınılmazdır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde çok yoğun olarak karşılaşılan ve beraberinde pek çok sorun getiren geleneksel yapılar, gelişmekte olan toplumun ihtiyaçlarına cevap veremez hale gelmiştir.

Bu çalışmada uzay kafes sistemler geniş bir açıdan ele alınmıştır. İlk bölümde, sistemin genel tanımı, kullanım amaçları, sistemi oluşturan öğeler, sistem oluşum ilkeleri, yapı elemanlarının üretim teknolojisindeki gelişmeler ve taşıyıcı sistemin değişik mimari formları üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde, uzay kafes sistemlerin statik hesaplarında en çok kullanılan matris-deplasman ve sonlu elemanlar yöntemleri teorik olarak ele alınmıştır.

Kare tabanlı piramit modüllerden oluşan düzlem uzay kafes örneğinde kafes yükseklikleri ve mesnetleme tipleri değiştirilerek ekonomizasyon araştırması ise, üçüncü bölümde yapılmıştır.

Bu verilerin ışığında, uzay kafes sistemlerde açıklık arttıkça maliyetin arttığı ve kafes yüksekliğinin belli bir orana kadar artırılmasının ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

### ABSTRACT

Space frame structures which are economical and functional to cover large spans are a must for modern civilizations. Conventional structures which cause many problems in use are not good enough to solve the requirements of the developing countries like Turkey.

In this thesis, space frame structures are studied in details. In the first chapter, definition of system, why they are used, elements of system, principles of system, developments in production technologies of system elements and different architectural forms of structural system are discussed.

In the second chapter, matrix-displacement and finite element methods which are commonly used methods of the structural analysis of space frame structures.

In the third chapter, an economical analysis is investigated on a sample of a double layer grid structure which consists of square based pyramidal modules by changing height of the module and supporting forms.

As a result of this analysis, it is observed that as the span gets larger, the cost of system increases and as the height of module increases till a limit, the cost of system decreases.

## 1.0 UZAY KAFES SİSTEMLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 1.1 ) UZAY KAFES SİSTEM TANIMI VE KULLANIM AMACI

Uzay kafes sistemler düzlem veya eğri, birbirine paralel iki çubuklar ağı ile bu ağların herbirinin düğüm noktalarını diğer ağın bazı düğüm noktalarına bağlayan çubuklardan kurulu taşıyıcı düzenlerdir.

Günümüzde gelişmiş toplumlarda, son birkaç yüzyıldaki nüfus patlamaları nedeniyle ortaya çıkan daha fazla hizmet sonucu sosyal, kültürel ve eğlenceye yönelik işlevler oluşmaktadır. Bu işlevler sonucu, büyük açıklık gerektiren oditoryumlar, spor yapıları, uçak hangarları ve endüstri v.b. yapılarının kolonsuz olarak örtülmelerine ilişkin çalışmalar sürdürülmektedir. Sosyalleşme ve toplumsal yaşantı biçimleri geliştikçe büyük açıklıklı yapılara duyulan gereksinme artmakta, böylece yeni taşıyıcı sistem türlerinin gelişimi zorlanmaktadır

Toplumsal gelişmenin beraberinde getirdiği büyük açıklıklı yapılar ve örtülmeleri konusu karşısında, artık günümüzde geleneksel olarak kabul edilen yığma ve iskelet sistemler yetersiz kalmaktadır. Şöyle ki; taşıyıcı duvar ve kolonların kullanıldığı açıklıkların basit yatay öğelerle geçildiği yığma taşıyıcı sistemlerde, açıklıklar doğal gereçlerin boyutlarına bağımlı olarak sınırlı olmaktadır. Öte yandan, taşıyıcı ve örtücü işlevindeki öğelerden oluşan iskelet taşıyıcı sistemlerde ise ortaya çıkan hücresele çözümler mimari tasarımı büyük ölçüde ve olumsuz yönde etkilemektedir. Belirli açıklıklardan sonra çok ağırlaşan bu taşıyıcı sistemler, ekonomik olmayan boyutlara ulaşmaktadır.

Bu yüzden günümüzde büyük açıklıklı yapıların örtülmeleri konusunda yeni çağdaş taşıyıcı sistemler araştırılmaktadır. Bu araştırmalar sırasında asıl amaç, en az gereç kullanarak en hafif ve ekonomik sistemlerle, olanakların elverdiği ölçüde büyük açıklıkları örtebilmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için, basit basınç ve basit çekme gerilmelerini içeren taşıyıcı sistemler gerekmektedir

Basit çekmeye ve basınca çalışan doğrusal çubuk biçimindeki öğelerle, yükleri çok yönlü bir yayılım sonucu zemine aktaran Uzay Kafes Sistemler; strüktür alanındaki

bilgi birikimi, taşıyıcı sistem çözümlene yöntemlerindeki ve teknolojideki gelişmeler sonucunda, boşluğun doldurulması ilkesine göre üretilmiş çağdaş taşıyıcı sistemlerdir.

## 1.2) UZAY KAFES SİSTEMLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Ahşap gereç kullanımı ile gerçekleştirilen çatı çözümleri kafes sistemlerin ilk uygulamalarıdır.17. yüzyılda körüklü fırının bulunması ile üretilen demir, daha çok yük taşıma , ateşe dayanıklılık , kolaylık ile biçim verilebilmesi ve ucuza elde edilebilmesi gibi nitelikleri ile ahşap gerecin yerini almıştır.Daha sonraları ise demire oranla daha sağlam, hafif ve işlenebilirolan çelik, kafes sistem uygulamalarında önemli rol oynamıştır.

Fakat statik hesaplardaki zorluklar, farklı açılardaki çubukların bir düğüm noktasında birleştirilmesi güçlüğü ve uygun kalitede gereç yokluğu gibi konstrüktif ve teknolojik zorluklar uzay kafes sistemlerin gelişmesini engelliyen başlıca etkenler olmakta idi.20 yüzyıl başlarında bu sistemlerin statik analizlerinin yapılması (August Föppl'ün çubuklarda kurulacak sistemler içinde en stabil en küçük çokgenin bir üçgen, en küçük hacmin ise dört üçgenden oluşan dörtyüzlü olduğunu ortaya koyması, Le Ricolais'in doğada bulunan kristaller ve moleküller ile uzay kafes taşıyıcı sistemler arasında ilişki kurması gibi ) ve 1923 yılında unistrut, 1942 yılında mero gibi seri üretime imkan tanıyan sistemlerin ortaya çıkmasıyla bu zorluklar aşılmıştır.İkinci dünya savaşı döneminde bir duraklama dönemi yaşanmıştır.Tam anlamda sistemlerin araştırılması ve modüllerin tekrarı ile yapıların oluşturulması son 50-60 yıl içinde gerçekleşmiş, Makowski'nin teorik ve pratik etüdüleri de, çubuklara gelen güçleri hesaplamaya olanak verecek metodların elektronik hesap makinasıyla çözümünü sağlamıştır.

Artık günümüzde bu sistemlerin hesabı bilgisayarlar yardımıyla kısa sürede yapılabilmektedir.Ayrıca, çok sayıda çubukları tek bir yerde birleştiren düğüm noktaları ve iyi çözümlenmiş patentli uzay kafes sistemleri dünyanın bir çok ülkesinde geliştirilmiştir.

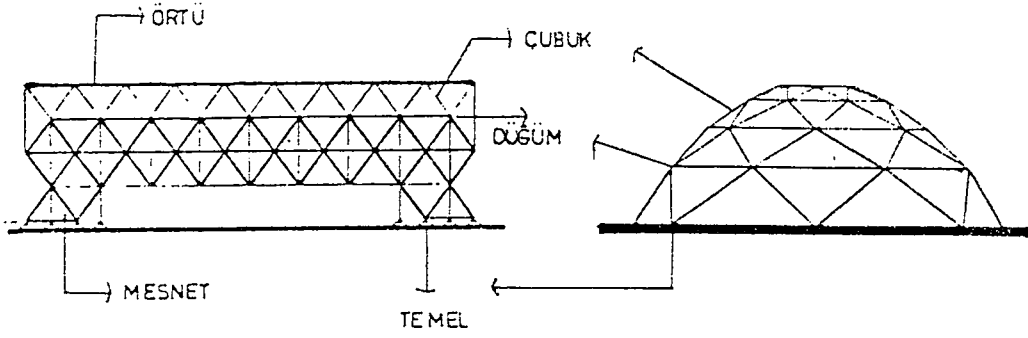
### 1.3 ) UZAY KAFES SİSTEMLERİN ÜSTÜNLÜKLERİ

- Hafiflik,
- Rijitlik
- Bir elemanın yetersizliği durumunda bir mukavemet ihtiyatı sağlayan yüksek mertebeden hiperstatiklik yaratma olanağı,
- Hemen hemen hiçbir eğilme elemanı bulunmaması nedeniyle malzemedeki en uygun yararlanma,
- Biçimlendirme ve çizimde büyük özgürlük,
- Hazır yapım ve montaj kolaylıkları
- Sökme ve değiştirme kolaylıkları
- Sökülen malzemenin tekrar kullanılabilmesi,
- Vasıfsız işçiler tarafından süratle montajının yapılabilmesi

### 1.4 ) UZAY KAFES SİSTEMLERİ OLUŞTURAN ÖĞELER

Bir uzay kafes sistem, daima ilk düğüm noktasını temelle aynı düzlem içinde bulunmayan en az üç çubukla bağlamak ve bundan sonra her ilave düğüm noktasında yine aynı düzlem içinde bulunmayan yeni üç çubuk yardımıyla bağlamak suretiyle kurulur. Bu bağlama işlemi sürdürüldüğünde, düğüm noktaları ve bunları birbirine bağlayan çubuklardan oluşan bir yüzey üretilmektedir. Bu yüzeyi yapının bir parçası olarak kullanabilmek için, mesnetlerle veya doğrudan zemine bağlanması, oluşturulan sistemin çevrenin olumsuz etkilerinden korunabilmesi için yalıtıcı bir örtü ile kaplanması gerekmektedir. O halde uzay kafes sistemleri oluşturan öğeler (şekil 1.4.1);

- Çubuklar
- Düğüm noktaları
- Mesnetler
- Temeller
- Örtü Gereçleridir.



Şekil 1.4.1-Uzay kafes sistemi oluşturan öğeler

### 1.4.1) ÇUBUKLAR

Doğru biçiminde öğelerdir. Alüminyum veya çelikten oluşturulabilir. Çeliğin alüminyuma göre daha ucuz ve daha mukavemetli olması nedeniyle, genellikle bu sistemlerde çelik kullanılır. Çeliğin en büyük dezavantajı korozyona uğramasıdır. Korozyondan korunması için çoğunlukla galvanize edilir. Ancak bu pahalı bir yöntemdir. Alüminyum, toplam yüke göre taşıyıcının kendi ağırlığının birinci derecede rol oynadığı durumlarda çelikle yarışabilir. Ayrıca alüminyum korozyona dayanıklıdır. Çelik çubuklar kullanılan sisteme göre O,T,I,L,U profil şeklinde olabilir. Fakat genellikle boruların kullanılması aşağıdaki nedenlerden dolayı tercih edilmektedir;

- Enkesitin her doğrultuda sahip olduğu büyük eylemsizlik yarıçapı nedeni ile burkulmaya karşı büyük mukavemetleri,
- Kapalı enkesitlerden dolayı burulmaya büyük mukavemetleri,
- Silindirik biçimlerinin zayıf bir sürüklenme katsayısına sahip olmasından ötürü rüzgar kuvvetlerindeki azalma,
- Yanal yüzeylerinin küçüklüğü ve içeri giren açılarının olmamasından ileri gelen bakım ve boya kolaylığı
- Çoğu zaman görünür bırakılan kafes taşıyıcının güzel görünümü.

-Borularda dış çap sabit tutulabilip, et kalınlığı arttırılarak çeşitli yükleri taşıyabilecek çubuk seçim imkanı ve bunun sonucu olarak düğüm noktalarında bir birliğin sağlanabilmesidir.

Bulonlu birleşimlerde, boruların düğüm noktasında birleşimlerini sağlayabilmek, boruların hepsini düğüm noktasına yanaştırabilmek için boru uçlarında özel bir çözüm gerekmektedir. Bundan dolayı boru uç elemanlarına (konikler) ihtiyaç vardır. Firmalar çubuklar üzerindeki işçiliği azaltmak için önce boruları düzgün olarak kesip daha sonra ayrıca imal edilmiş olan konikleri, borulara kaynatmaktadırlar. Eğilmeye çalışması istenmeyen çubuklarda, konikler kaynatılırken çubuk eksenine konik ekseninin çakışmasına ,yani eksantirisite yapmamasına dikkat edilmelidir.

Katlanmış ince sac kesitler ve bazen, ara aşık gibi bazı tali elemanlarda örtünün çizgisel değil yüzeysel mesnetlenmelerine olanak vermek için, üst başlık ağı çubuklarında, eğilme mukavemetlerini de artırıcı kutu kesitlerde kullanılabilir.Bazı düzenler bütünüyle kutu enkesitli çubuklardan kurulabilir.Böyle bir çözümün bir üstünlüğü de, birleşimlerin imalatı düzlem kesimlerle yetinmesidir.

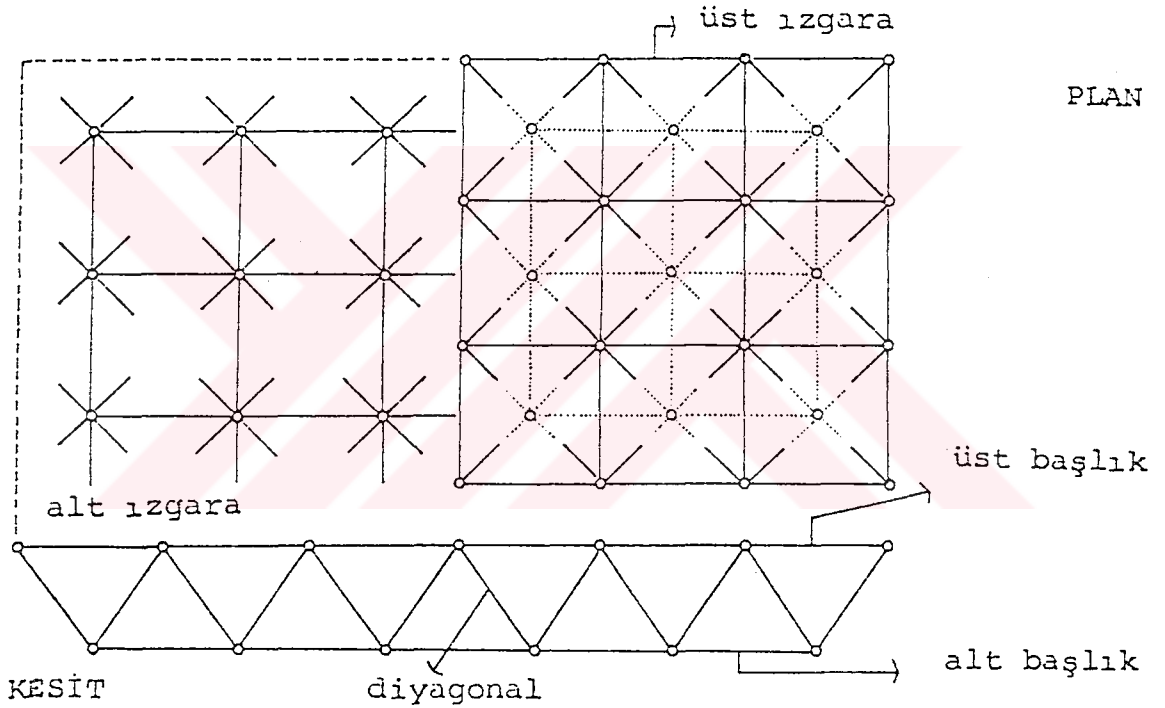
Özellikle çekmeye çalışan çubuklarda, dolu enkesitli yuvarlak çubukların da kullanıldığı olur.Bu kullanım basınç çubuklarında burkulma nedeni ile zorluklar yaratır.Taşıyıcı düzeninbüyük şekil değiştirmeler yapması kabul edilebiliyorsa, çekme çubuklarını yüksek mukavemetli kablolardan oluşturmakda mümkündür.Böyle bir taşıyıcı sistem genellikle , kablolardaki zorlamaların işaret değiştirmesini engelleyici öngerilmerinde verilmesini sağlamak için hiperstatik olmalıdır.

Uzay kafes sistemi oluşturan çubuklar özel bir üretim gerktirmeden piyasada bulunan standart konstrüksiyon profiller arasından seçilerek sistemde kullanılan boyutlara göre kesilmektedir.Çubuk üretiminde en önemli nokta, farklı enkesitlerde olan profil sayısının optimal bir sayıyla sınırlandırılmasıdır.Avrupa'daki en büyük uzay kafes sistem yapımcılarından Mero firması profillerini yalnız 20 farklı enkesitte seçmiştir.

Statik çözüm sonucunda çubuk boyutlandırması yapılırken, basınca çalışan çubuklarda burkulma katsayısı, çekme çubuklarında ise faydalı alan hesaplarda göz önüne alınmalıdır. Bulonlu birleşimlerde de bulonlar çekme gerilmesinde yük aktardıkları için çekme kuvvetine göre boyutlandırılırlar.

Türkiye’de pek çok firmanın, çubukları , korozyona karşı korumak için uyguladığı yöntem, gerekli yüzey temizlikleri yapıldıktan sonra ortalama 60 mikron kalınlıkta epoxy-polyester yada polyester esaslı toz ile boyanmasıdır. Gerekli görüldüğü takdirde çubuklar boyadan önce sıcak daldırma yöntemi ile ortalama 80 mikron kalınlıkta galvanizle kaplanır. Bulonlar da ise, titanyum bağlayıcı içinde depolanmış alüminyum ve çinko parçacıklarından oluşan ve yüksek korozyon direnci sağlayan delta-tone yöntemi uygulanır. Bu kaplama daldırma yöntemi ile uygulanır ,180 °C civarında fırınlanır ve ortalama kaplama kalınlığı 10 mikrondur.

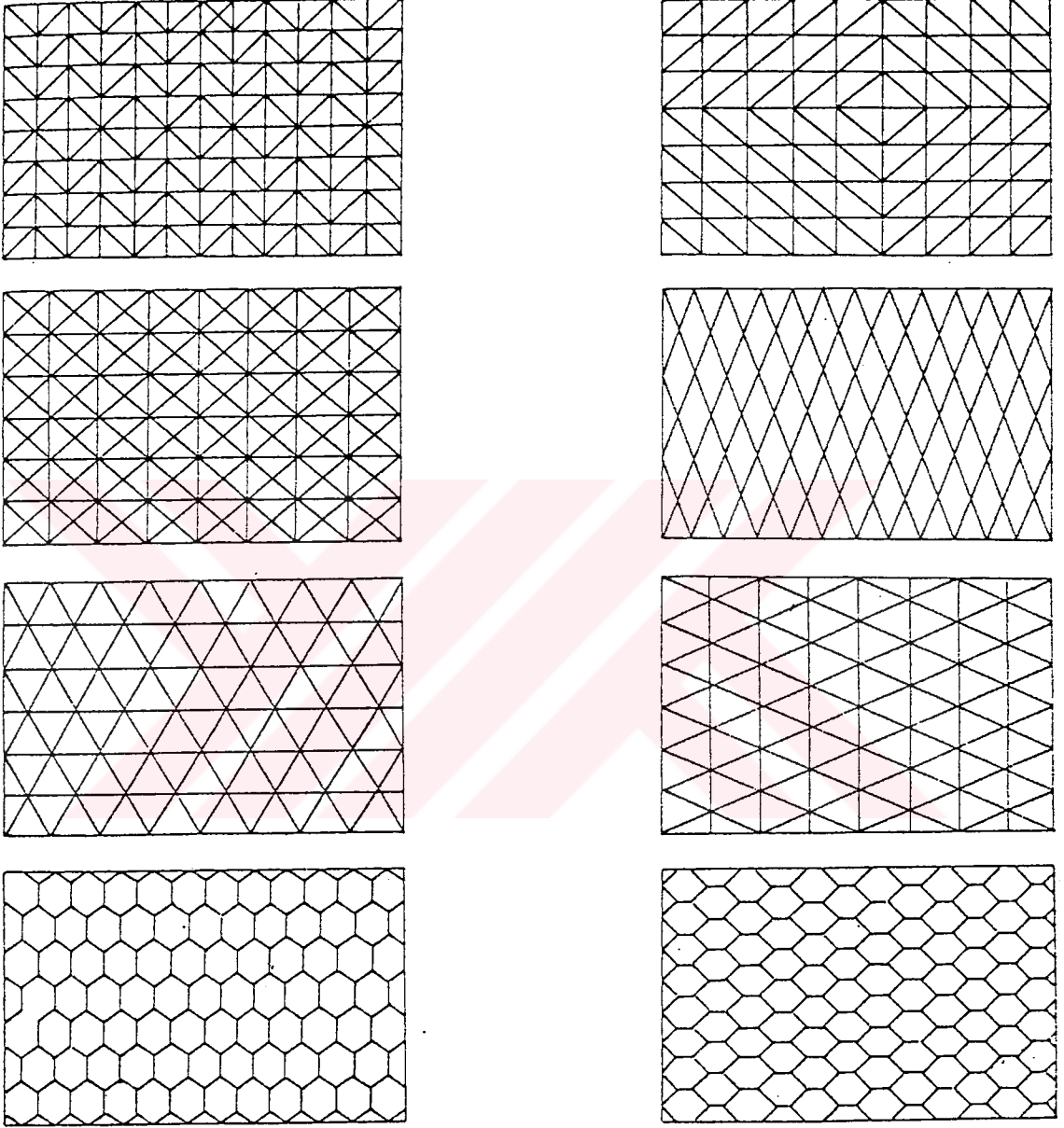
Çubuklar sistem içinde çeşitli adlarda görev yapmaktadır.( Şekil 1.4.2)



Şekil 1.4.2-Sistem içinde çubukların adlandırılması

Üst başlık, piramitlerin tepe noktalarını birleştiren çubuklar olup, genellikle basınca çalışacak şekilde düzenlenirler. Alt başlık ise, genellikle çekmeye çalışacak şekilde düzenlenen ve piramitlerin alt noktalarını birleştiren, Dikme ve Diyagonaller ise yükleri düğüm noktalarına ileten basınca ve çekmeye çalışan çubuklardır.

Alt ve üst başlıklardaki çubukların düğüm noktalarında birleşmesi sonucu ağ adı verilen geometrik yüzeyler oluşmaktadır.(Şekil 1.4.3)



Şekil 1.4.3-Ağların aldıkları geometrik biçimler

### 1.4.2 ) DÜĞÜM NOKTALARI

Çubukların birleşme noktalarına düğüm noktası denir. Bir uzay kafes taşıyıcısının en zor ve en hassas bölümüdür. Çünkü bir çok çubuğu bir noktada birleştirerek sistemin bir bütün olarak çalışmasını sağlamaktadır. Bu birleşimler sayesinde nokta yükler sadece uygulandığı eleman tarafından karşılanmaz, sistem içindeki diğer elemanlara da dağılır. Zaten bir yapının etkinliği, uygulanan yükü yaymasıyla anlaşılır. Böylece daha düzgün bir gerilim dağılımı oluşur. Çeşitli yapım sistemlerine göre değişik nitelikte olan düğüm noktaları yardımıyla diyagonal ve dikmelere gelen yükler mesnetlere aktarılır. Düğüm noktası tipi seçimi uygulanacak birleşim tekniğine (bulon, kaynak veya başka bir mekanik birleştirici), çubuk tipi, çubuk kesitine ve çubukların birleşim açılarına göre yapılır. Günümüzde en çok dairesel kesitli çubuklar için hazırlanmış düğüm noktası tipi vardır.

Aşağıda düğüm noktalarına ait üretilen sistemlerden en yaygın olarak kullanılan\_ lar detaylı olarak ele alınacaktır.

#### a) Wachsmann sistemi ( U.S.A.) ( Şekil 1.4.4)

Düğüm noktaları mafsallıdır ve her iki başlık ağında ek çubuklar kullanan çift doğrultulu uzay kafes taşıyıcıların kurulmasına olanak tanır. Söz konusu ek çubuklar her kare gözü iki üçgene bölerler.

Köşegenlerin tırnaklar yardımıyla birleşimini sağlayan çeneler elemanların üzerine bağlanmıştır. Sistem 1946 tarihlidir ve özellikle uçak hangarlarının örtülmesinde kullanılmıştır. Günümüzde karmaşıklığı dolayısıyla demode sayılmaktadır. Bununla birlikte, düğüm noktaları gerçekten mafsallı olan tek örneği oluşturmaktadır.

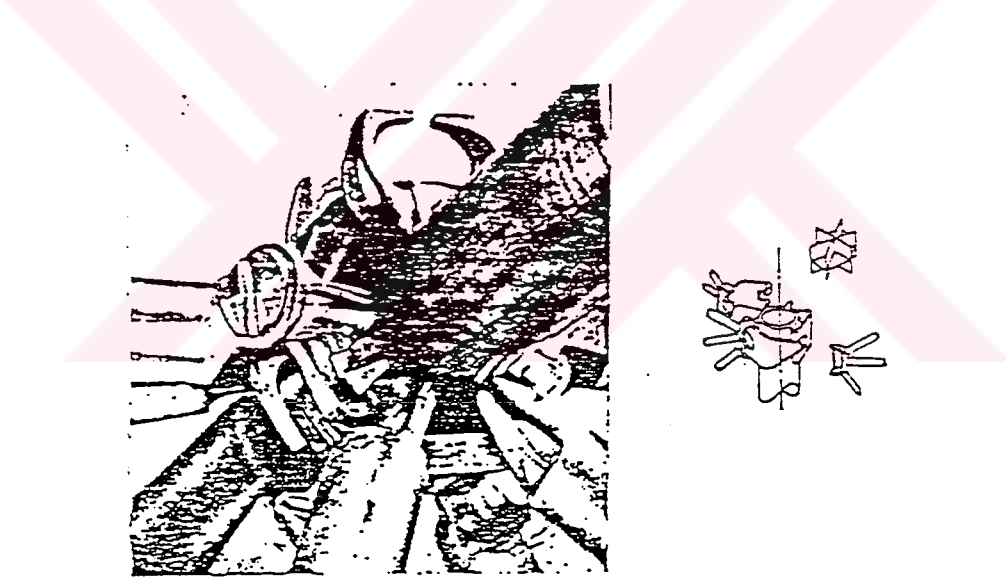
#### b) Oktaplatte düğüm noktası ( Mannesman, Almanya )(Şekil 1.4.5)

Düğüm noktaları iki yarım kürenin bir ara rondela üzerine kaynaklanması ile elde edilen çelik kürelerden oluşur. Birleşimler boru kesitli çubukların by kürelere basit olarak kaynaklanması ile gerçekleştirilir. Üstünlükleri,

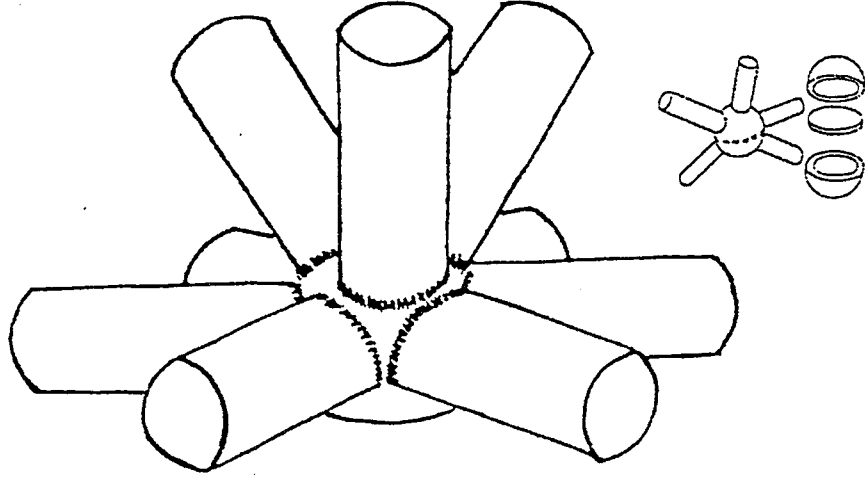
- basit kuruluş,
- boruların uçlarında özel kesim gerekmemesi,
- kolaylıkla gerçekleştirilen kaynaklar,
- güzel görünüm
- büyük rijitlik,
- eğri yüzeylerin kurulabilmesi olanağıdır.

Sakıncaları ise,

- boruların uzunluklarının çok kesin belirlenmesi zorunluğu,
- montaj zorluğu,
- sökölme olanaksızlığı,
- düğüm noktalarının kuruluş özelliğinin çok büyük açıklıkların aşılmasına engel olmasıdır.



Şekil 1.4.4- Wachsmann mafsallı düğüm noktası



Şekil 1.4. 5- Oktaplatte düğüm noktası

**c) S.D.C. düğüm noktası (Stephan de Chateau, Paris) (Şekil 1.4.6)**

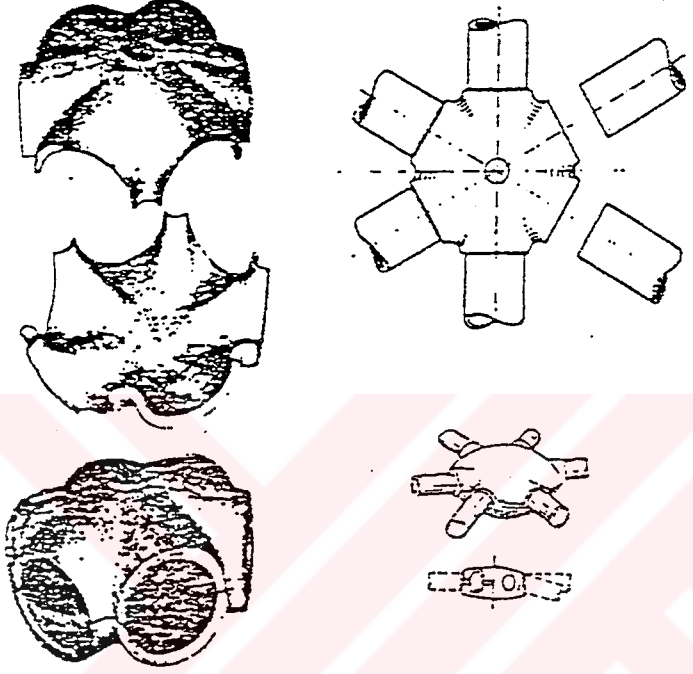
Düğüm noktaları, eş düzlemlili ve bir noktada kesişen altı boru enkesitli çubuğun birleşimine olanak veren, hafifçe bombeli dökme çelikten iki yarım kabuktan meydana gelir. İki yarım kabuk kaynakla birleştirilirler. Üst ve alt başlık ağlarının çubukları düğümlerin içine girer ve boyları ayarlandıktan sonra kaynaklanırlar. Her iki ağ arasındaki örgü çubukları doğrudan doğruya kabukların üzerine kaynaklanırlar. Kaynak dikişlerinin karmaşıklığını gidermek için örgü çubuklarının uçları dolu gövdelidir. Üstünlükleri,

- çubuk boylarının ayarlanabilme kolaylığı,
- çubukların düğümlerde oynatabilmelerinden dolayı küçük açı değişimleri olanağı; eğri yüzeylerin kurulabilmesine vermesi,
- yapılması kolay kaynak işlemleri,
- düzgün, küçük güzel görünümlü düğümler,
- büyük rijitliktir.

Sakıncaları ise,

- yalnız üç doğrultulu düzenlemelere uygun olması
- sökülmesinin imkansız oluşudur.

S.D.C. nokta düzeni özellikle büyük açıklıklı sürekli çatılarda uygun çözümler vermektedir.



Şekil 1.4.6- S.D.C. düğüm noktası

#### d) Triodetic düğüm noktası (Fentiman, Kanada) (Şekil 1.4.7)

Boru enkesitli çubukların birleşimi, değişik sayıda dişli radyal yarıkları olan çelik yada alüminyum diskler aracılığıyla gerçekleşir. Boruların uçları tek bir işlemle ve 0.2 mm mertebesinde hassaslıkla uygun açıda kesilir ve soğukta yassıltılır. Montaj sırasında çubukların uçları disklerdeki yarıklara zorla sokulur; birleşim kendi kendini sıkma ile çalışır. Üstünlükleri,

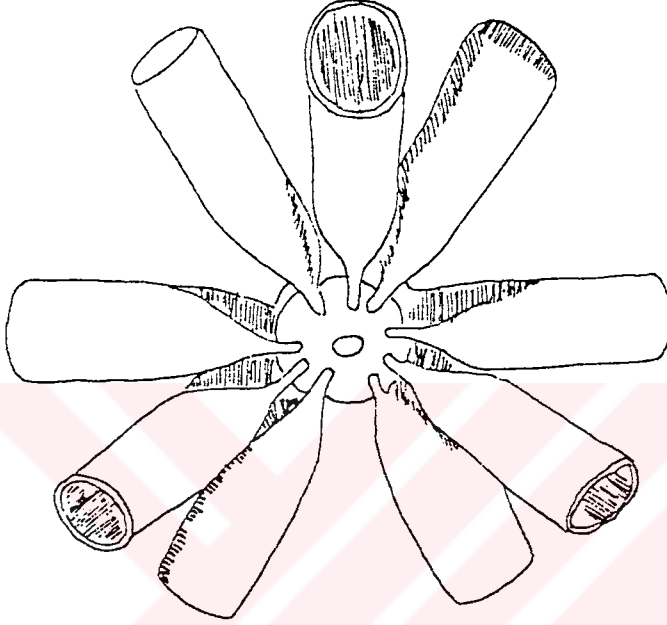
- bulon ve kaynak gerektirmeyen basit birleşimler,
- boruların mukavemetinin 9/10'una erişen yüksek mukavemetli düğüm noktaları
- önyapım olanağı

-sökme olanağıdır.

Sakıncası ise,

-montaj sırasında ayarlama imkansızlığı ve sonuç olarak büyük hassaslık zorunludur.

Triodetic düğüm noktalı düzenler büyük yüzeylerin alüminyum yada çelikle aşılmasında kullanılmıştır.



Şekil 1.4.7- Triodetic düğüm noktası

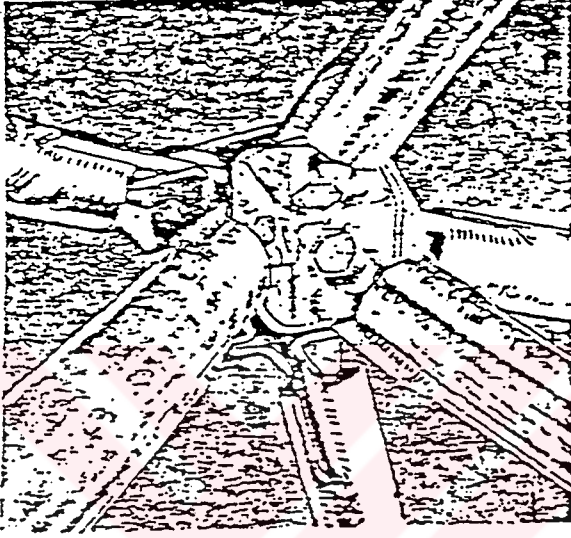
e) Varitec düğüm noktası (Stienen ve Tröhler A.G., İsviçre ) (Şekil 1.4.8)

Düğüm noktaları bir birleşim plağı ve birbirine dik üç yüzü bulunan parçalardan bileşiktir. Dört köşeli böyle bir düğüm noktası sekiz çubuğun birleştirilmesini sağlar. Birleşimler bulonlarla yapılır. Üst başlık ağının çubukları bazı kereler kutukesitli yada örtüyü taşımaya uygun profildirler. Bu düğüm noktası genellikle iki doğrultulu taşıyıcılarda kullanılır; ancak üç doğrultulularda da kolaylıkla uydurulması mümkündür.

Üstünlükleri,

- çok basit kuruluş,
- ekonomik imalat,

- montaj ve sökme kolaylığı,
  - ileri ölçüde ön yapım olanağı,
  - köşegenlerin bağlantı eksenleri çevresinde açısal değişim olanağıdır.
- Sakıncaları ise,
- hiç bir boy ayarlama olanağı olmayışı,
  - birleşimlerin mukavemetinin bulonlara bağlı olmasıdır.



Şekil 1.4. 8- Varitec düğüm noktası

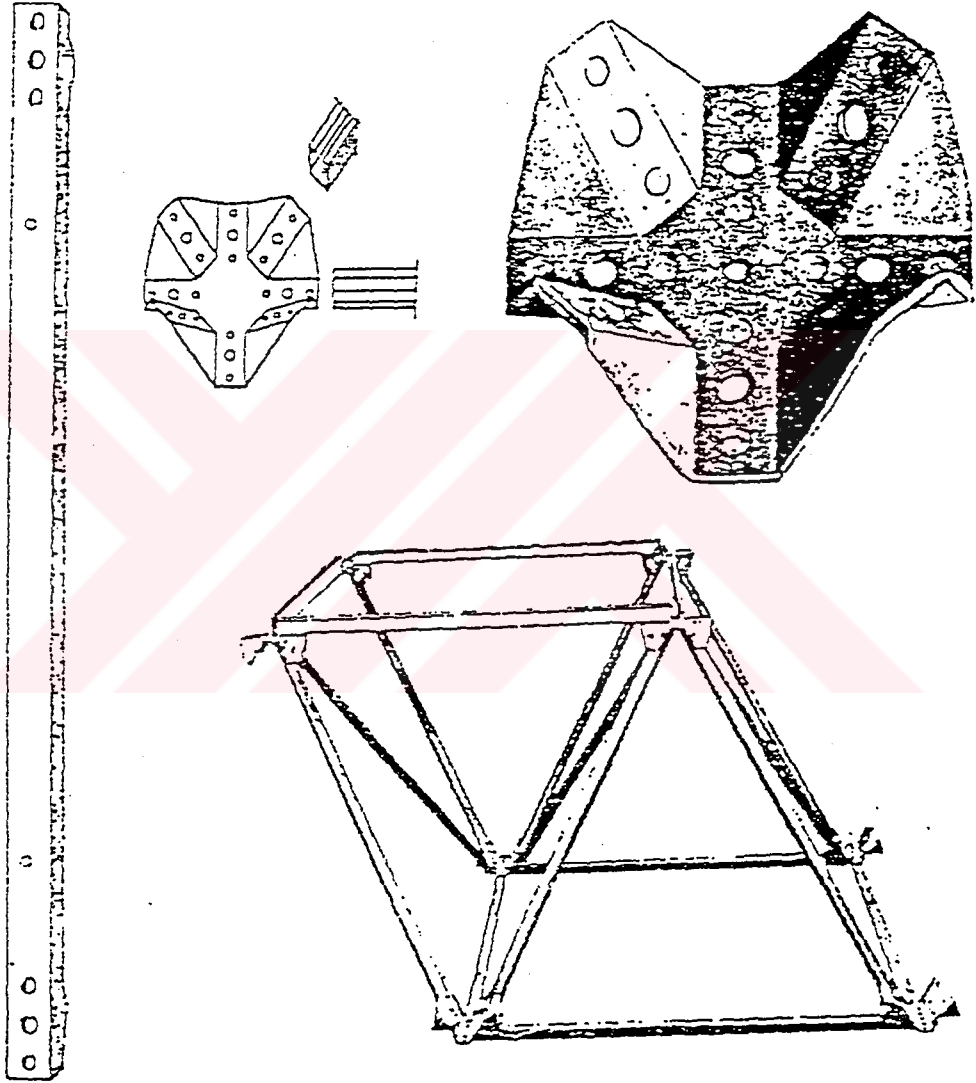
**f) Unistrut düğüm noktası ve sistemi ( Attwood, U.S.A.) (Şekil 1.4.9)**

Diğer kafes taşıyıcıların aksine bu sistemde çubuklar soğukta işlenmiş sacdan yapıldır. Düğüm noktasındaki birleşim, preste şekillendirilmiş 6 mm kalınlığındaki yumuşak çelikten bir levha aracılığıyla olur. Levhanın katlanmış yüzlerinin sekizinde, birer delik ve tutunmayı sağlayan ikişer tırnak bulunur. Bütün çubukların enkesitleri aynı değerdedir ki bu da düzenin adını açıklar. Her çubuğun ucu yüksek mukavemetli tek bir bulonla birleştirilir. Birleşimin pekiştirilmesi, bir düğüm noktasındaki aynı doğrultulu iki çubuğu birbirine bağlayan lamalarla mümkündür. Üstünlükleri,

- montaj ve sökme kolaylığı,
- taşıyıcı düzende hazır modüller kullanma olanağı,
- montajın bitmesinden sonrada takviye imkanındır.

Sakıncaları,

- düğüm noktalarının zayıf mukavemeti,
- çubuk boylarının ayarlanamaması,
- pek iyi olmayan görünüş,
- yalnız çift doğrultulu taşıyıcılara uymasındır.



Şekil 1.4.9 Unistrut düğüm noktası ve sistemi

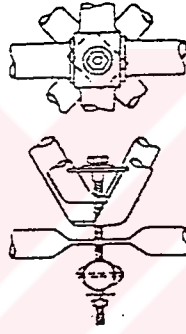
**g) Gero düğüm noktası ( Gero, Ding Cie., Avustralya ) (Şekil 1.4.10)**

Boru enkesitli çubuklar düğüm noktalarını, yerel olarak yassılaştırılarak ve örgü çubuklarında ayrıca katlanarak aşarlar. Aynı bir düğüm noktasının yassı yüzeyleri bir bulonla sıkılarak birbirlerine bağlanır. Üstünlükleri,

- düğüm noktalarında hiçbir parça olmaması
- sökme kolaylığıdır.

Sakıncaları ise,

- çubukların şekillendirilmesindeki ve montajındaki zorluklar,
- birleşimlerin zayıf mukavemeti,
- çubuk eksenlerindeki dış merkezliklerdir.



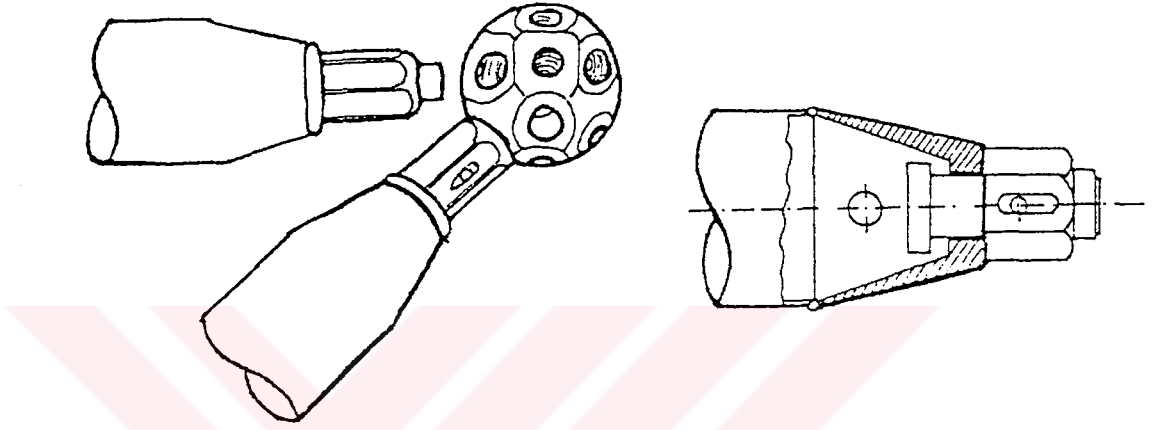
Şekil 1.4.10- Gero düğüm noktası

**h) Mero düğüm noktası ( M. Meninghausen, Almanya ) (Şekil 1.4.11)**

Düğüm noktaları, eksenleri birbirine dik üç doğrultuda ve bunların uzay açılı ortaylarında olan dış açılmış 18 deliğe sahip masif kürelerden oluşur. Boru kesitli çubukların uçlarında hareketli bir bulon ve bunun üzerine bağlı bir somun-manşon bulunur. Manşon döndürülerek bulonun ucu düğüm noktasındaki küreye giriş uzunluğu kadar dışarı çıkartılır. Sonra manşon ve bulon birlikte döndürülerek düğüm noktasına vidalanır. İşlem manşonun borunun ucuna sıkıştırılmasıyla son bulur. Üstünlükleri,

- tam fabrikasyon ve kolay montaj,
- sökme kolaylığı,

- küçük ve düzgün düğümler ve güzel görünüm,
  - tek bir düğüm tipi ile yüksek sayıda değişik birleşimler yapabilme olanağıdır.
- Sakıncaları ise,
- birleşimlerin zayıf mukavemeti,
  - parçaların çok işlem görmelerinden kaynaklanan pahalı maliyetidir.
- Mero sistemi 30 metreyi aşmayan açıklıklarda uygun sonuçlar vermiştir.



Şekil 1.4.11-Mero düğüm noktası

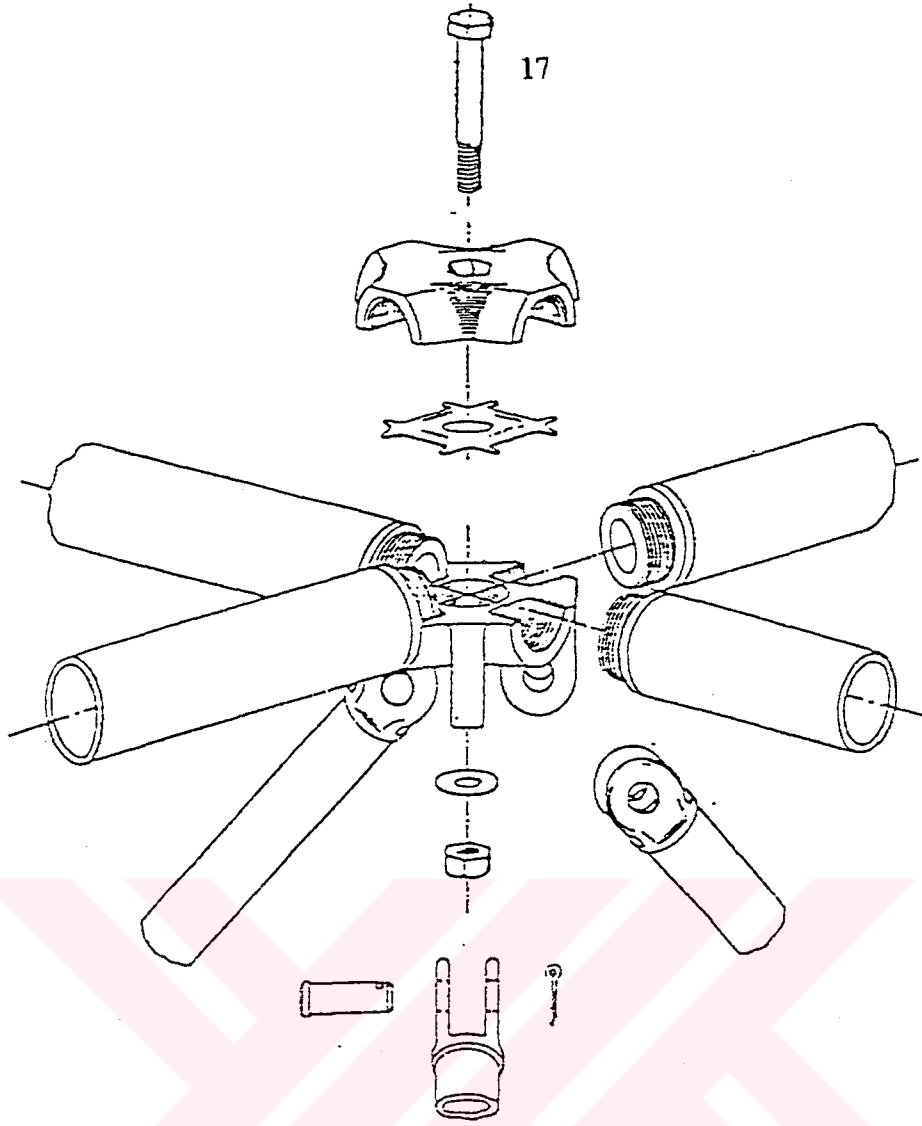
#### D) Nodus düğüm noktası ( British Stell Corporation, İngiltere ) (Şekil 1.4.12)

Düğüm noktaları dökme çelikten olup çubuklar boru yada kutu enkesitlidir. Çubuk uçları düğüm noktalarına kendilerine kaynaklanan özel parçalarla bağlanmaktadır. İki doğrultulu ağ çubukları bulunan, kare tabanlı piramitlerden oluşan düzenlemeler için uygundur. Üstünlükleri,

- kolay montaj, tam fabrikasyon,
- sökme kolaylığı,
- örgü çubukları açılarının ayarlanabilmesi olnağı,
- güzel görünümüdür.

Sakıncaları ise,

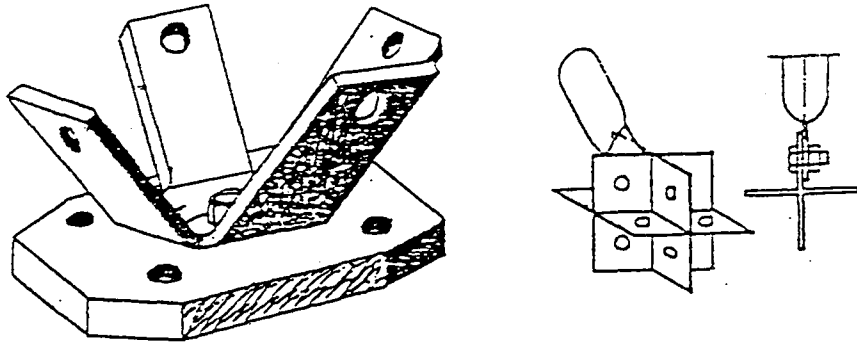
- çubuk boylarının ayarlanamaması,
- uzun atölye kaynak işlemleri gerektirmesidir.



Şekil 1.4.12 Nodus düğüm noktası

**j) Bulonla gerçekleştirilebilecek bazı basit düğüm noktaları örnekleri**

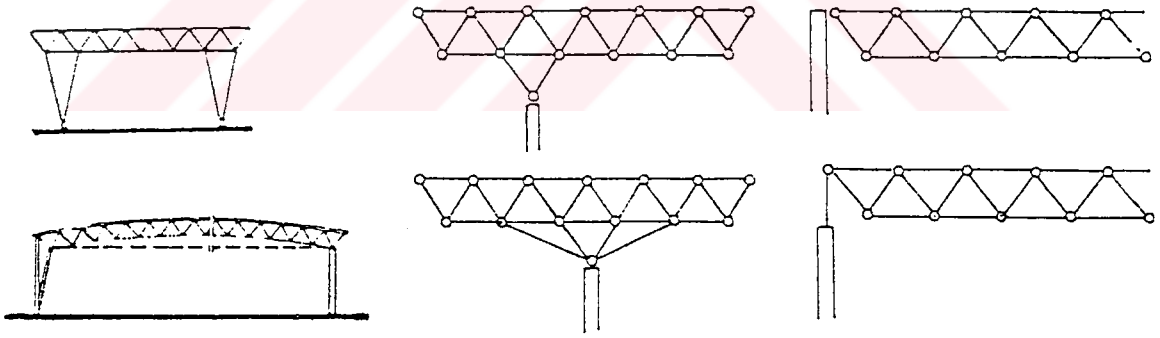
İki üç ve dört doğrultulu ağ dokuları için çubukların bulonlarla bağlanabilecekleri oldukça basit düğüm noktaları üretmek mümkündür. Şekil 1.4.13’de iki doğrultulu taşıyıcılar için tasarlanmış böyle basit iki düğüm noktası örneği görülmektedir. Aynı örneklerin üç ve dört doğrultulu ağ dokularına uyarlanabilmesi de mümkündür.



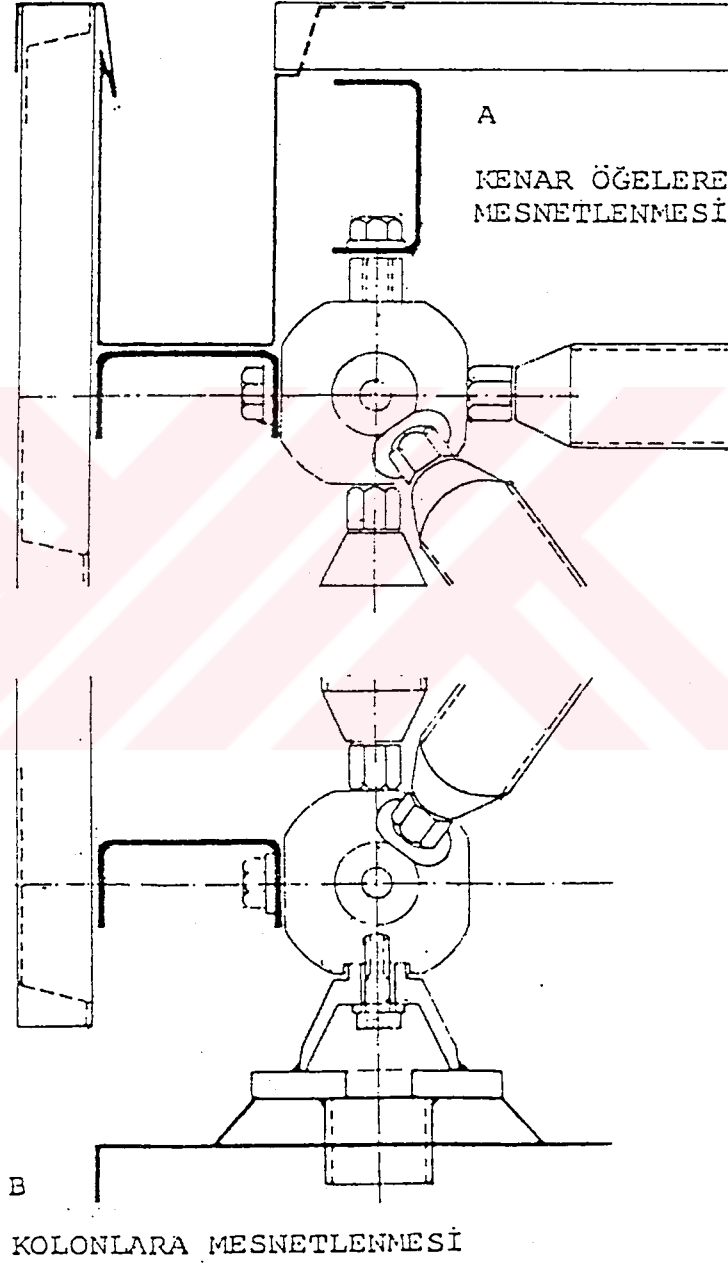
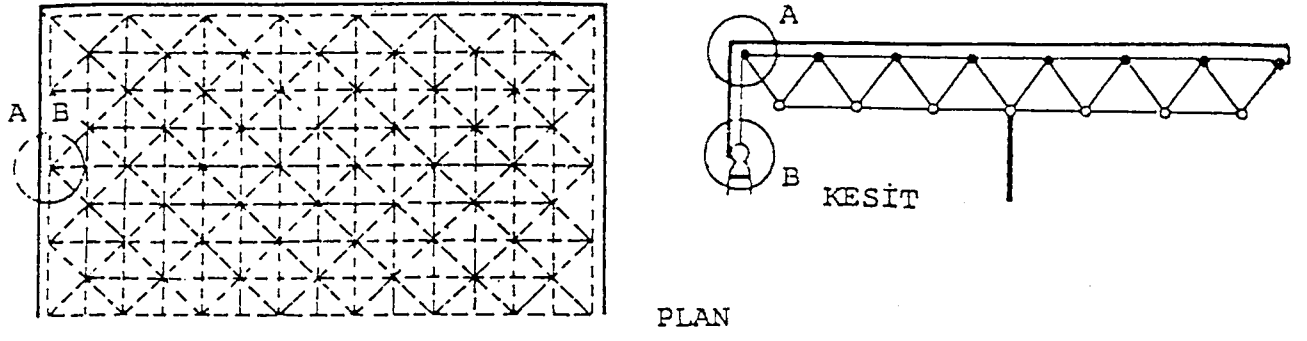
Şekil 1.4.13

### 1.4.3) MESNETLER

Sistemi zemine bağlayan öğelerdir. Sabit, doğrusal ve radyel hareketli mesnet tipinde oluşturulabilirler. Uzay kafes sistemler doğrudan doğruya zemine (temellere) oturtulabildiği gibi, kolon veya yan destek duvarlarına veya tamamen çubukların birbirlerine düğümlenmesiyle üretilen bir kafes sistemde oturtulabilir. (Şekil 1.4.14) Elemanlardaki gerilme dağılımlarında yapının uzunluğunun genişliğe oranının önemli etkisi vardır. En uniform gerilme dağılımı kare planlı yapılarda elde edilmektedir. Bununla beraber bu oranın büyük olduğu yapılarda mesnetlerin yerleri, gerilme dağılımını etkilemektedir. Genellikle mesnetlerin yerleri binanın fonksiyonel ihtiyaçlarına göre belirlenmekte ve açıklıktan tam yararlanmak için kenar mesnetlenmeleri yapılmaktadır. Fakat son araştırmalar göstermiştir ki; konsol kısımları olan uzay kafes sistemlerde, gerilme dağılımlarında ve sehimlerde önemli oranda olumlu değişiklikler olmaktadır.



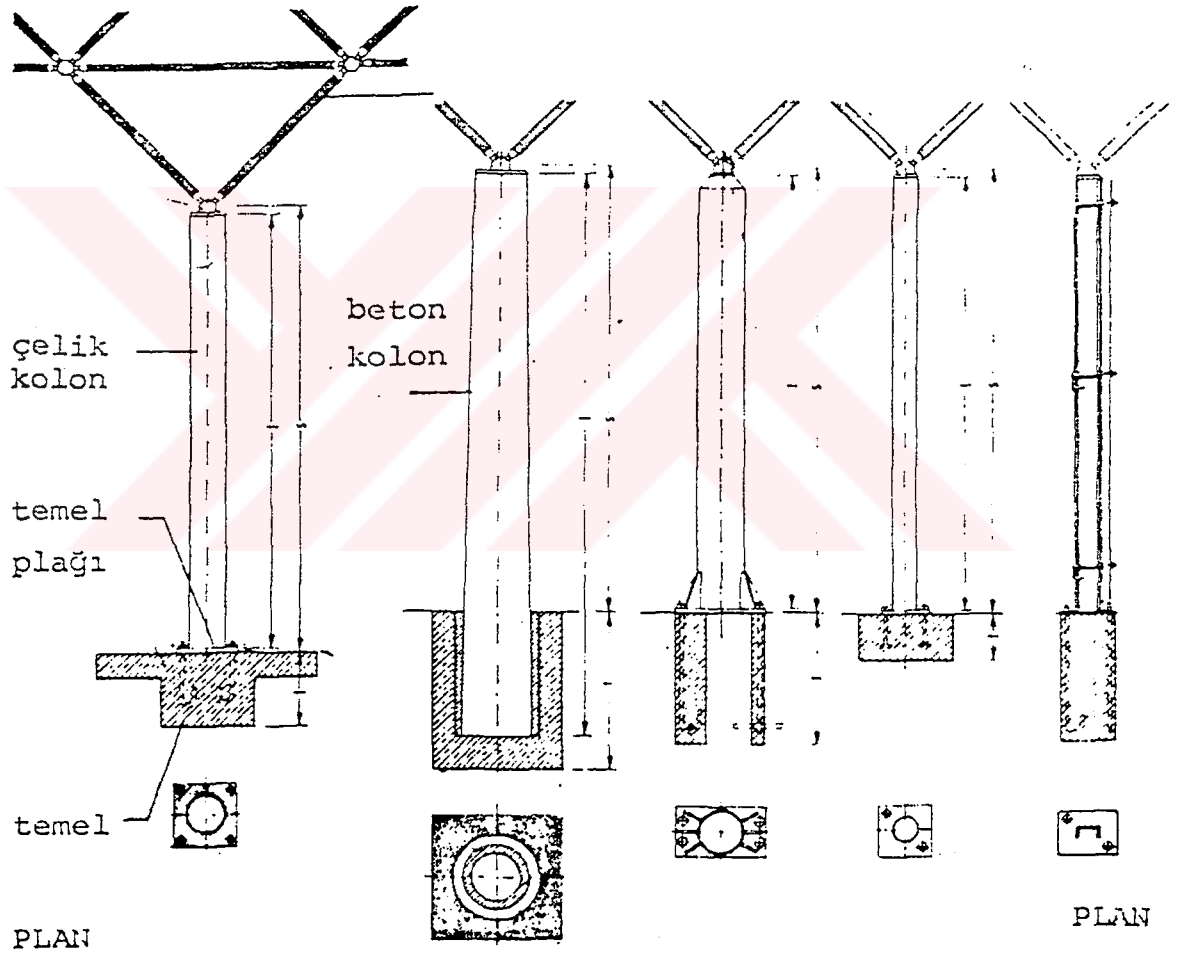
Şekil 1.4.14- Uzay Kafes Taşıyıcı sistemlerin mesnetlendirilmesi



Şekil 1.4.15-Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemlerin Kenar Ögelere ve Kolonlara mesnetlendirilmesi

#### 1.4.4 ) TEMELLER

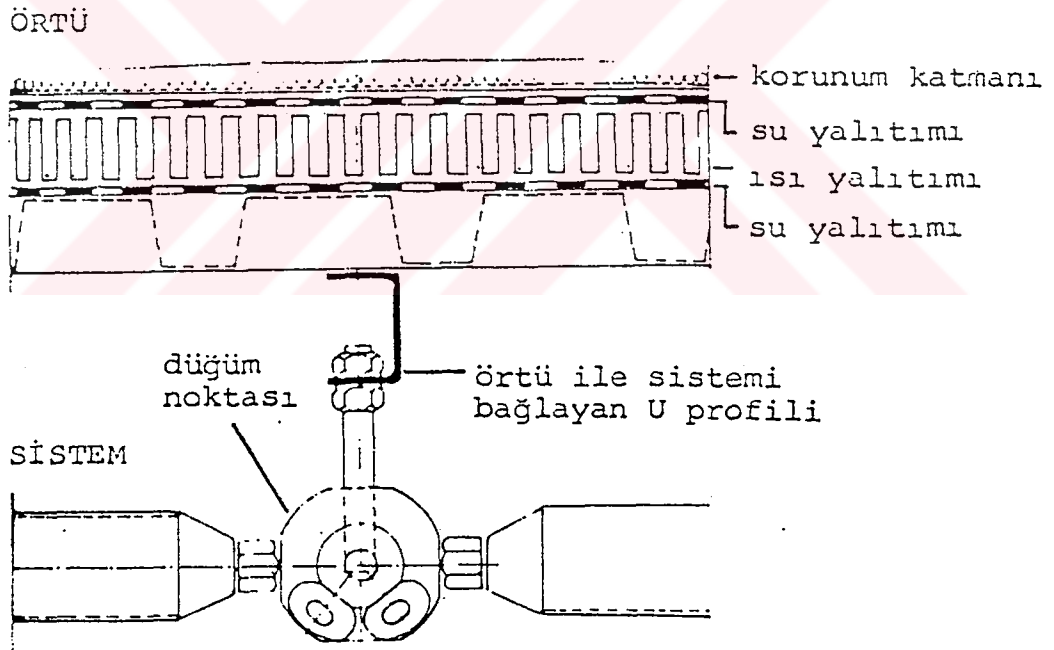
Betonarme temeller, uygulanacak uzay kafes sistemin büyüklüğü, biçimi ve tipine göre çeşitli şekillerde düzenlenirler. Çelik kolonlar ve sistemin doğrudan temellere oturan kenarları, betonarme temellere yerleştirilen ankraj levhalarına kaynakla veya bulonlarla bağlanırlar. Betonarme kolonlar prefabrik ise soket temellere oturtulurlar. Şekil 1.4.16'da çeşitli örnekler görülmektedir.



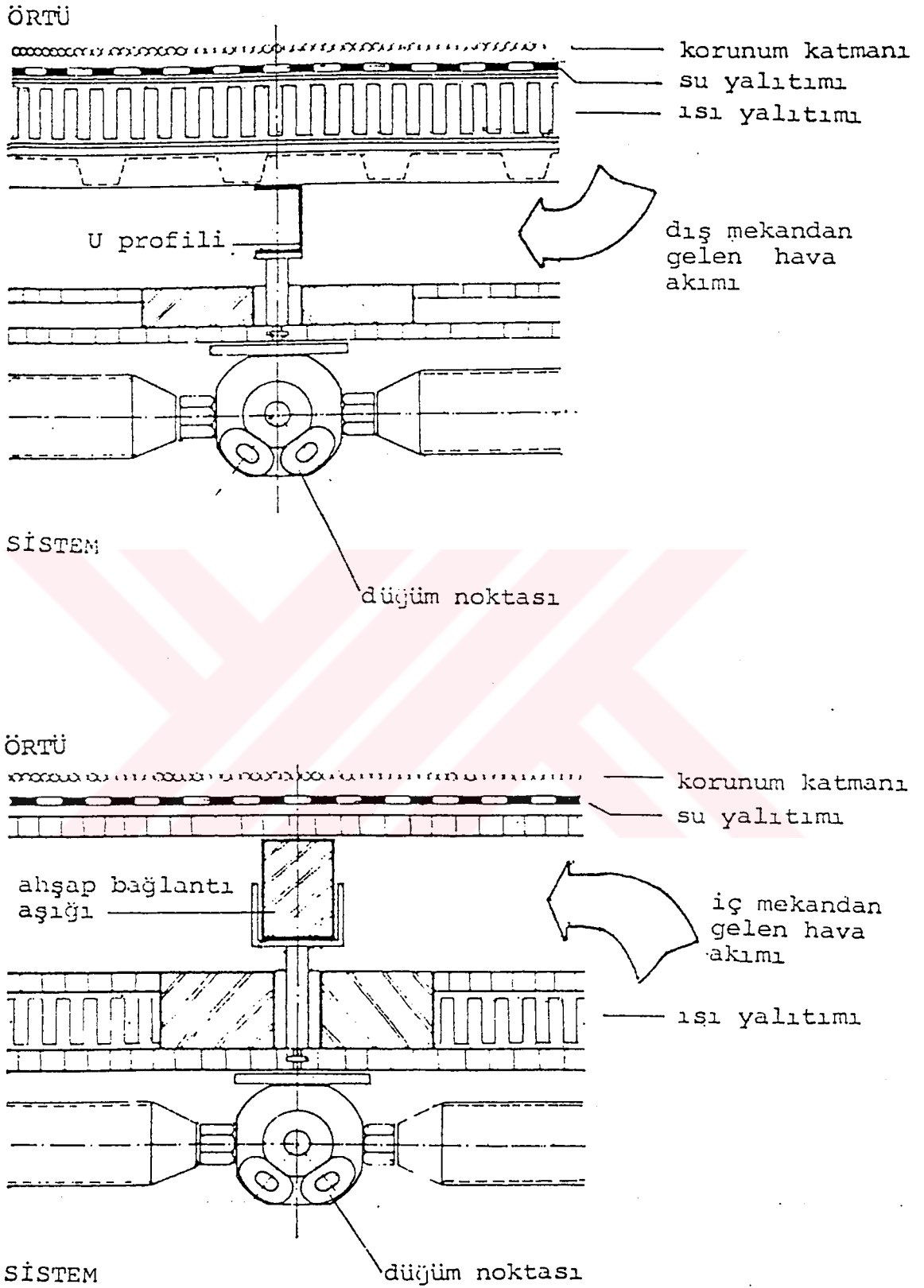
Şekil 1.4.16- Temel örnekleri

### 1.4.5) ÖRTÜ GERECİ

Uzay kafes taşıyıcı sistemler monte edildikten sonra, mekanı çevrenin istenmeyen koşullarından korumak için üzerleri kaplanır. Mekanın kullanım amacına göre gerekirse ısı ve su yalıtımı (muşamba, bitüm, kanaviçe, cam yünü, cam pamuğu v.b.) yapıldıktan sonra plastik oluklu levhalar, alüminyum oluklu levhalar, çakıl, oluklu sac levhalar kullanılarak örtü tamamlanır. (Şekil 1.4.17-Şekil 1.4.18) Birçok sistem çatı örtüsü yükünü aşıklara, oradanda özel bağlantılarla düğüm noktalarına iletmektedir. Bazı sistemlerde ise çatı örtüsü direk üst başlık ağı elemanlarına bağlanmaktadır ki; bunun nedeninde son zamanlarda bir çok tasarımcının öne sürdüğü, eğilme momenti gerilmesinin, aksenal gerilmeye oranının 1/1 e kadar çıkarılmasının kesitte bir değişiklik yaratmayacağı iddiasıdır.



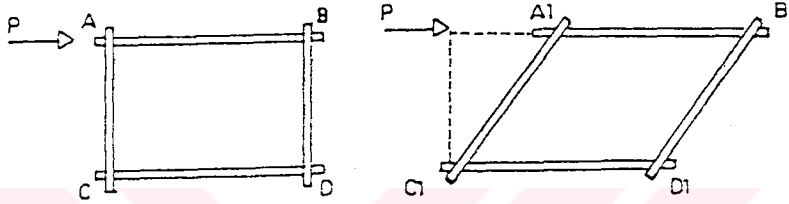
Şekil 1.4.17-Örtü oluşumu



Şekil 1.4. 18 Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemlerde sistem örtü ilişkisi

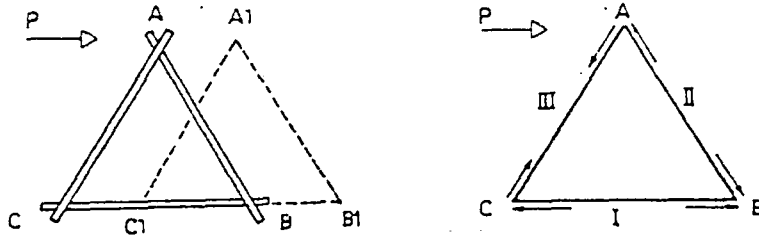
### 1.5 ) UZAY KAFES SİSTEM OLUŞUM İLKELERİ

Uzay kafes yapılarda kuvvet çubukları oluşturulurken en kararlı, deforme olması güç üçgen birimler kullanılmaktadır. Üç çubuktan meydana gelen üçgen, düğüm noktaları mafsallı olsa bile, denge durumundadır. Buna karşı dört çubuktan oluşan dikdörtgen ancak takviye ile denge durumuna getirilebilir. Şekil 1.5.1 de olduğu gibi çerçeveye P kuvveti etkidiğinde çerçeve deforme olmaktadır. Yani çerçeve rijit değildir.



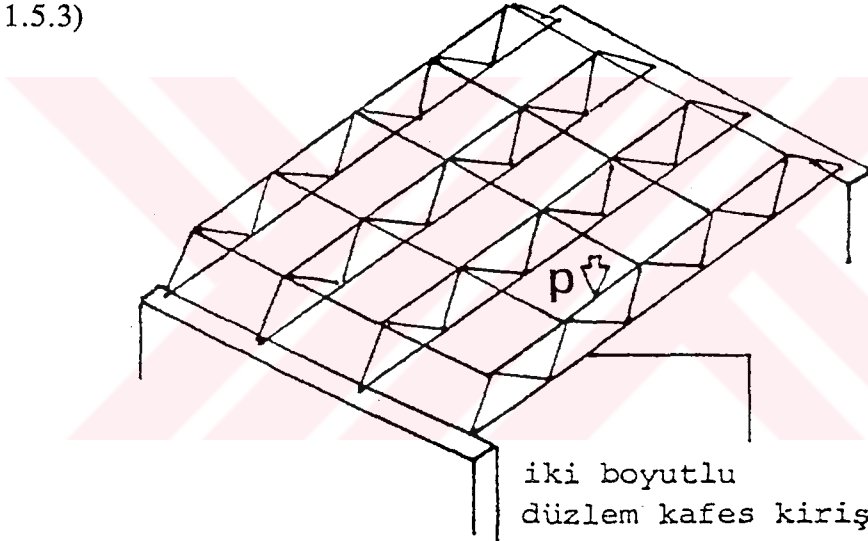
Şekil 1.5.1

Diğer yandan köşelerinden birbirine mafsallı ve B ve C köşelerinden mesnetli (şekil 1.5.2) üçgen çerçeveye bir P kuvveti etkidiğinde, biçimin verdiği rijitlik nedeniyle sistem bozulmayacaktır. P kuvvetinin etkisiyle I ve II çubuklarında basınç, III çubuğunda ise çekme oluşacaktır. Bu nedenle üçgen biçimi kafes sistemlerin en uygun biçimi olarak ele alınmaktadır.



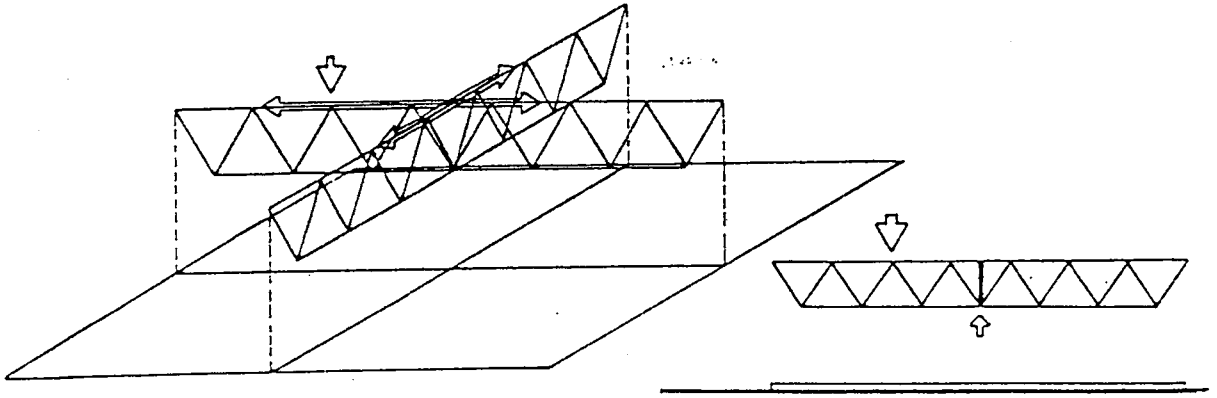
Şekil 1.5.2

Uzay kafes sistemlerin oluşumunu daha iyi açıklamak için iki boyutlu sistemlerden yola çıkmakta yarar vardır. İki boyutlu düzlem kafes kirişlerde yük akışı, bir düzlem içinde ve bir doğrultu boyunca olmaktadır. Bu kirişlerin kullanımı ile bir mekanın örtülmesi, bu kirişlerin birbirine paralel olacak şekilde ya da birbirini dik kesecek konumda kurulması ile gerçekleştirilebilir. Düzlem kafes kirişler birbirlerine paralel konumda kullanıldıklarında, yükler birbirine paralel kafes kirişlerin düzlemleri içinde, birbirinden ayrı olarak mesnetlere akacaktır. Ayrıca her kiriş için ayrı mesnetler gerekecektir ya da yük akış yönüne dik olmak üzere boydan boyya mesnet kullanılacaktır. Öte yandan oluşturulan bu örtü rijit değildir. Oluşacak bir P tekil yükü, kendisine en yakın düzlem kafes kirişi büyük ölçüde etkileyecektir. Bu nedenle de, kirişlerin kaldıracağı yükler oranında tasarlanmaları doğru olacaktır. (Şekil 1.5.3)



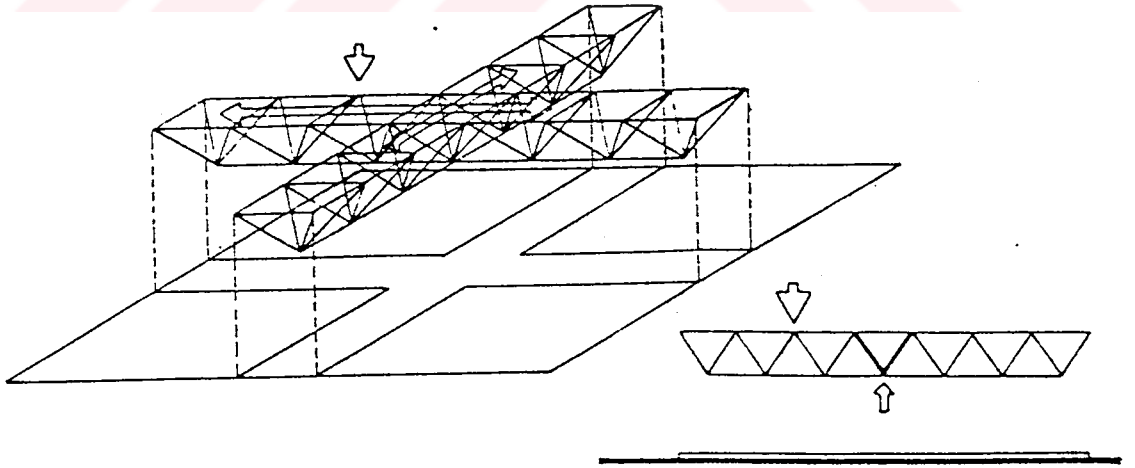
Şekil 1.5.3-Düzlem kafes kirişlerin paralel kullanımı ile bir mekanın örtülmesi

Birbirini dik kesen paralel kirişler sistemini ele alalım. Bu sistemde de yük akışı düzlem kirişler boyunca olacaktır. Ancak sistemin yapısından dolayı, örtü tek yönlü paralel sisteme göre daha sağlam bir yapı gösterecektir. Oluşacak tekil yükler, birbirini dik kesen düzlem kafes kirişlere dağılacaktır. (Şekil 1.5.4)



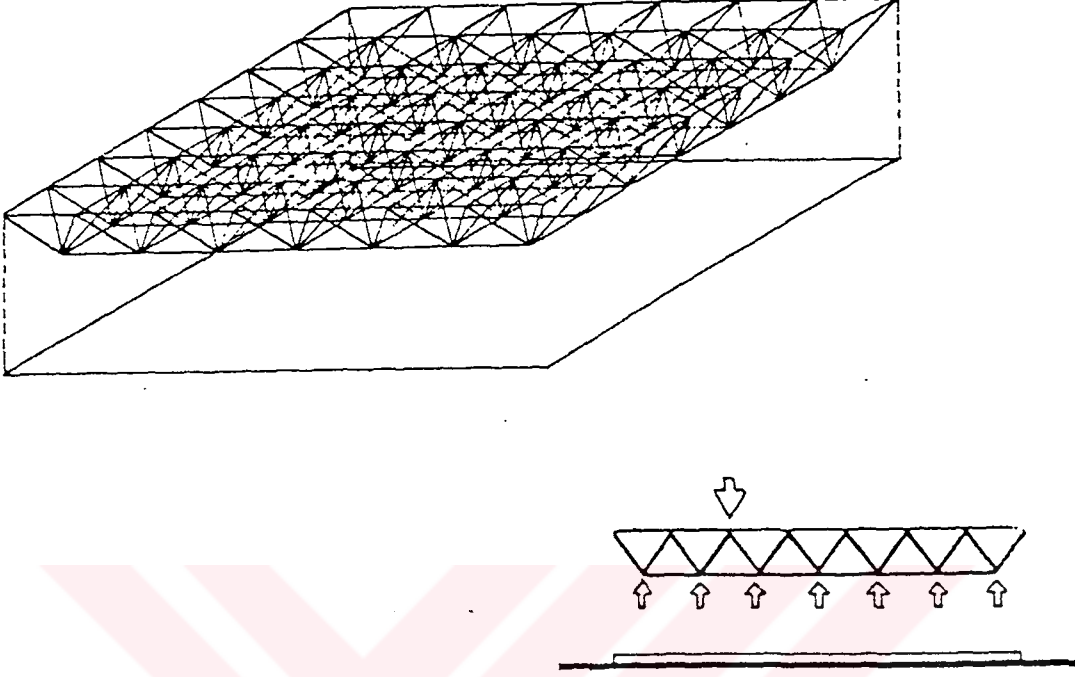
Şekil 1.5.4 -Birbirini dik kesen düzlem kafes kirişlerle yük aktarımı

Bu düzlem kafes kirişler, alt başlıklar ortada olacak şekilde kullanılmak suretiyle, paralel yönde dik olarak alt ve üst başlıklar birleştirildiğinde, uzay kafes kirişler oluşacak ve sağlanan rijitlik daha da pekişecektir.(şekil 1.5.5)



Şekil 1.5.5

Optimal tesir için sistemin enine ve boyuna sürekli bir şekilde kullanılması sonucu Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemlere geçilmektedir.(şekil 1.5.6)



Şekil 1.5.6

## 1.6) UZAY KAFES YAPILARIN TÜRLERİ

Taşıyıcı sistem tasarımcılarının doğa strüktürlerini de inceleyerek ve esinlenerek oluşturdukları uzay kafes sistemlerin en belirgin özelliği çizgisel öğelerin üçgen biçiminde birleştirilmesi ile üretilmektedir. Mafsallı düğüm noktaları ile bir düzen içinde bir araya getirilen basınç ve çekmeye çalışan bu çubuk öğelerinin oluşturduğu sistemler, kuvvet ve yükleri herhangi bir destek öğesine gerek kalmaksızın uzun mesafelere yönlendirip iletebilmektedir. Temel ilkeleri ve biçimleri açısından uzay kafes sistemleri üçe ayırırız. Bunlar:

- Düzlem Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler
- Tek Eğrilikli (tonozsal) Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler
- Çift Eğrilikli (kubbesel) Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler

## 1.7) DÜZLEM UZAY KAFES TAŞIYICI SİSTEMLER

Aynı plana sahip olması gerekmeyen çubuklardan yapılmış iki veya daha fazla düz yüzeysel ağı, düğüm noktalarından birbirlerine arada belirli bir açıklık kalacak şekilde bağlanmaları sonucu düzlem uzay kafes taşıyıcı sistemler oluşturulmaktadır. Daha evvel uzay kafes taşıyıcı sistemlerin oluşum ilkelerinde sözü edilen rijitite mantığı üç boyuta (uzaya) uygulanırsa, üçgenler, uzayda rijit piramit biçimlere dönüşmektedir. Bu piramitlerin yanyana kullanım ilkesi bize rijit ve bir bütün olarak çalışan düzlem uzay kafes strüktürleri vermektedir

Düzlem uzay kafes sistemlerin kullanım avantajları şöyle sıralanabilir:

- Dış yükleri her yöne dağıtan üç boyutlu sistemlerdir.
- Yüksek dereceden hiperstatiklik, sistemdeki çubuklardan birisinde meydana gelecek kopma veya burkulma halinde bile sistemin tamamen yıkılmasını engeller.
- Yüksek rijitlikleri, sistemde önemli deformasyonların olmasını engeller.
- Analiz ve testler, düzlem uzay kafes sistemlerin yangına karşı günümüz yapı sistemlerine göre daha dayanıklı olduğunu göstermiştir.

-Düzlem uzay kafes sistemler, tam ölçüsünde hazırlanmış prefabrike parçaların monte edilmesiyle oluştuğundan, montajda doğruluk ve hızı sağlar.

-İstenilen yönde genişletilebilme, sökülüp başka yerde kullanılabilme imkanı vardır.Mesnetlerin konuşlandırılmasında herhangi bir sınırlama yoktur.

-Üst ve alt başlık ağıları arasındaki boşluk elektrik ve mekanik teçhizatın döşenmesine imkan tanır.

-Her türlü hava koşulunda montajı yapılabilir.

-Deneyimler, Düzlem uzay kafes sistemlerin hava saldırılarında veya terorist saldırılarda olabilecek patlamalara karşı en dayanıklı yapılar olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda yatay deprem kuvvetine de en fazla direnç gösteren yapılardır.

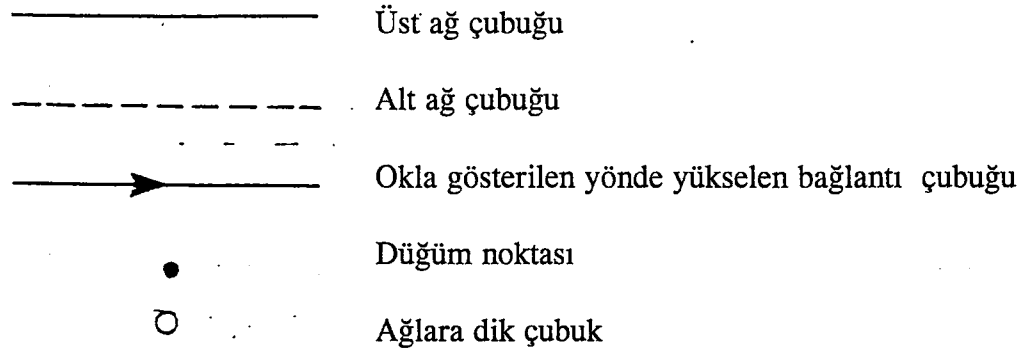
-Bir çok mimari uygulamada güzel bir görüntü sergiler.

Düzlem uzay kafes sistemler en genel olarak ikiye ayrılır:

a)Truss tipi düzlem uzay kafes sistemler: Dik olarak kesişen kafes sistemlerin meydana getirdiği düzenli hücrelerden oluşur. Üst ve alt başlık ağı tip ve oturum olarak aynıdır. Bunlar dikme ve diyagonellerle birleştirilir.

b)Space tipi düzlem uzay kafes sistemler: Alt ve üst başlık ağıları çakışmaz. Çoğunlukla prefabrike üretilmiş piramitsel (üçgen, kare, beşgen, altıgen tabanlı ) elemanların birleştirilmesiyle oluşur.

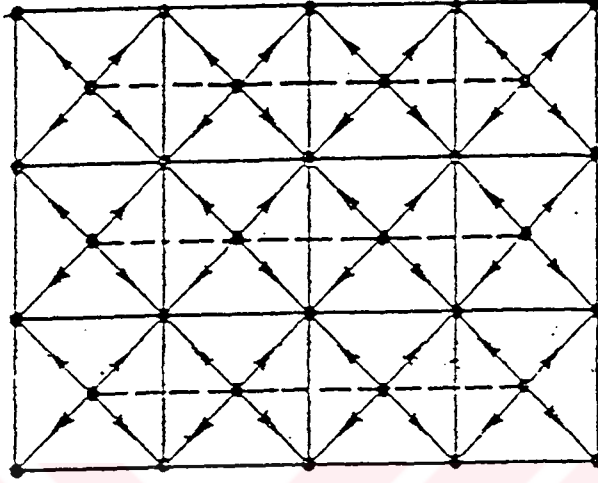
Herbiri projeciler için ,taşıyıcı olarak çok ilgi çekici olan büyük sayıda kuruluş düzenleri vardır. Aşağıda bu düzenlerden en önemlileri verilecektir; ancak daha karmaşık düzenlemeler de tasarlanabilir. Taşıyıcı sistem şemalarını anlaşılabilir duruma getirmek için şekil 1.7.1 de belirtilen gösterim simgeleri kullanılacaktır.



Şekil 1.7.1

- Tek doğrultulu düzenleme (U türü)

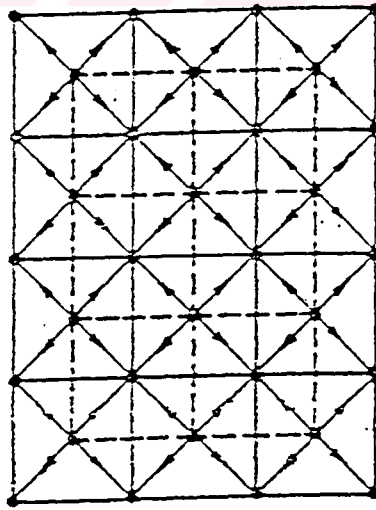
Herbir eğik düzlemi, genellikle warren türü bir düzlem kafes kırıstten oluşan, başlıkları komşu düzlemlere ortak bir katlanmış yüzey söz konusudur. (şekil 1.7.2) Bu tür düzenlemeler tek yönde taşıyıcıdır.



şekil1.7.2U türü taşıyıcı düzen

- İki doğrultulu dikdörtgen düzenleme (B1 türü)

Tepeleri dik açılı bir çubuklar ağı ile birleşen dikdörtgen tabanlı piramitlerin yan yana konulmasından oluşur. (şekil 1.7.3) Bu düzen birbirine dik iki doğrultuda taşıyıcıdır.



şekil 1.7.3-B1 türü taşıyıcı düzen

### - İki doğrultulu eğik düzenleme (B2 türü)

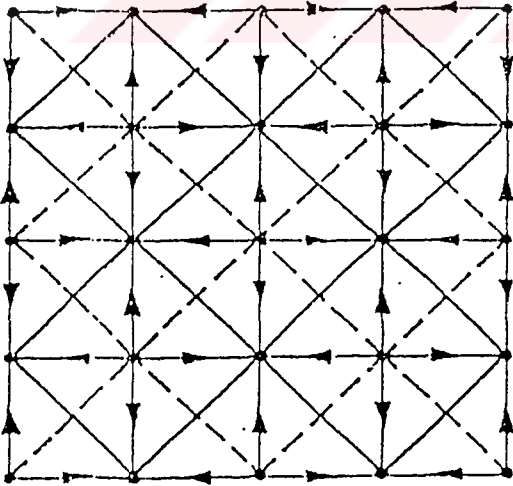
Bu tür bir öncekinden, üst ve alt çubukların çevre ile 45 derecelik açı yapmalarıyla ayrılır.(Şekil 1.7.4)

Örtülecek aynı bir yüzey ve aynı sıklıktaki bir ağ için B2 türü B1 türüne göre daha rijittir.Çünkü çevreye göre eğik ağın kirişleri değişik uzunluktadırlar.Köşelerdeki daha kısa kirişler daha rijittirler ve kendilerinden uzun kirişlere mesnetlik ederler.Bu sonuncular ise elastik mesnetlere oturan sürekli kiriş çalışması gösterirler.

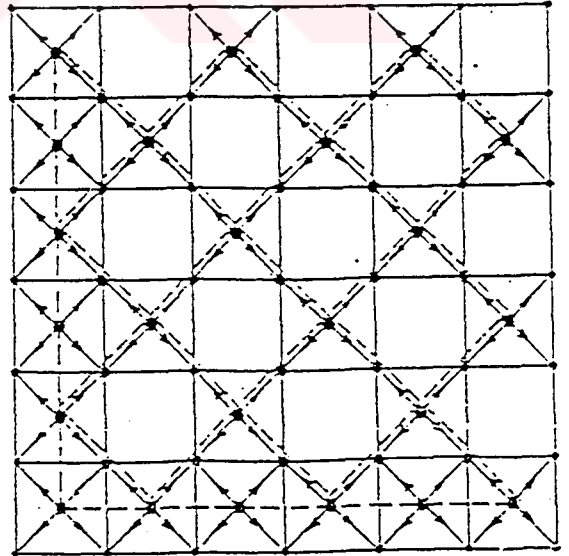
### -Çapraz iki doğrultulu düzenleme(B3 Türü)

Alt ağın çubukları üst ağınkilere göre 45 derecelik açı yaparlar.(Şekil 1.7.5)Bu düzenleme bundan önceki ikisinin bir ara çözümüdür.Üstünlüğü, alt çubuklara, basınca çalışan üst çubuklardan daha geniş bir ağ sağlamasında olup uzunluklar oranı 2 'ye eşittir.

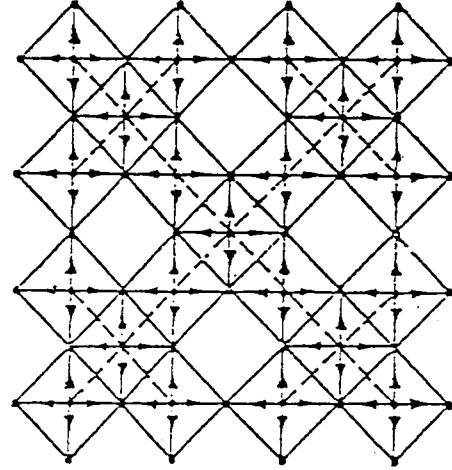
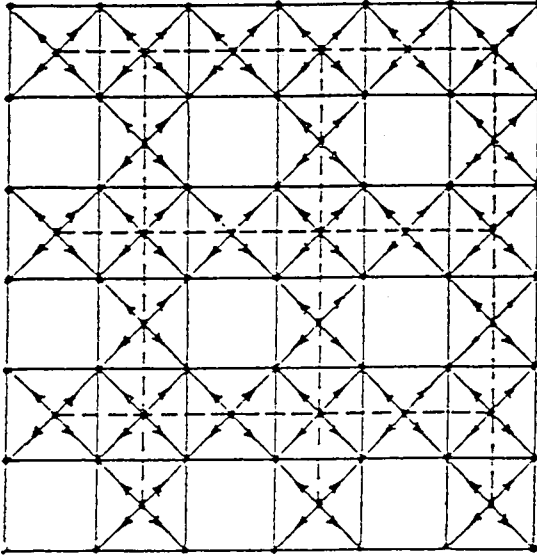
Genellikle, çubuk sayısını azaltmak, hiperstatiklik derecesini indirmek ve açık yada camlı bölümler oluşturmak amacıyla iki aralıktan biri boş bırakılır.Şekil 1.7.6 ve Şekil 1.7.7 benzer bir hafifletmenin B1 ve B2 türü düzenlemelere de getirilebileceğini göstermektedirler.



Şekil 1.7.4- B2 türü taşıyıcı düzen



Şekil 1.7.5- B3 türü taşıyıcı düzen



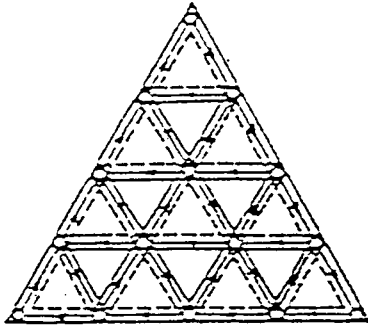
Şekil 1.7.6-B1 türü düzenin hafifletilmesi Şekil 1.7.7-B2 türü düzenin hafifletilmesi

#### - Düz üç doğrultulu düzenleme (T1 Türü)

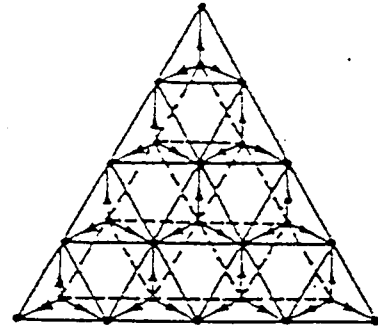
Truss tipine bir örnektir. Her iki ağda aynı olup eşkenar üçgenlerden kuruludur. (Şekil 1.7.8) Bu düzen üç doğrultuda taşıyıcıdır. Bununla birlikte bu düzenlemenin gerçek bir uzay kafes olmadığı, üç düzlem kafes kiriş ailesinin birleşimi gibi de ele alınabileceği söylenebilir. Her şeye rağmen, gerek birleşimleri ve yapımının teknolojisi ve gerekse hesabı yönünden diğer türlerle gösterdiği benzerlik onun kullanılmasının nedenidir.

#### - Ters üç doğrultulu düzenleme (T2 Türü)

Tepe noktaları üçgen çubuklar ağı ile birleştirilmiş ardışık dörtyüzlülerden kurulur. (Şekil 1.7.9)



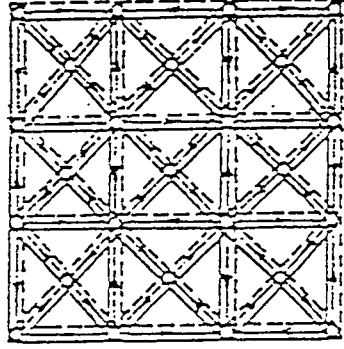
Şekil 1.7.8-T1 türü taşıyıcı düzen



Şekil 1.7.9-T2 türü taşıyıcı düzen

**- Dört doğrultulu düzenleme (Q Türü)**

Truss tipine bir diğer örnektir. Dört düşey düzlem kafes kiriş ailesinin ortak düzenlenmesidir. (Şekil 1.7.10)



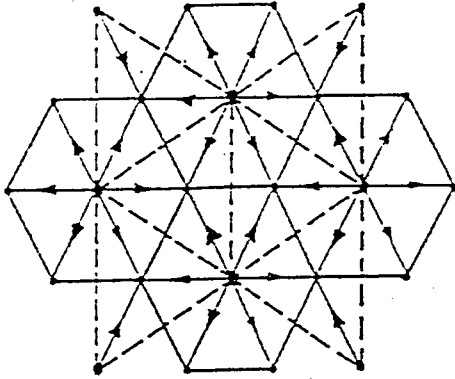
Şekil 1.7.10-Q türü taşıyıcı düzen

**-Basit altıgen düzenleme (H1 Türü)**

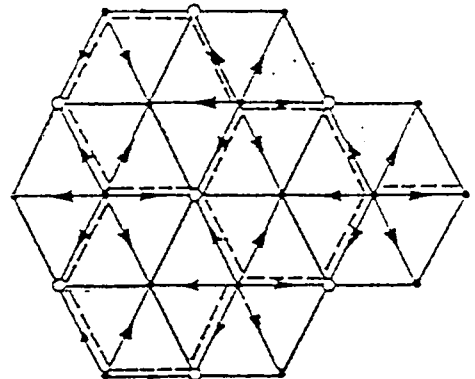
Ağlardan biri piramitlere taban oluşturan yanyana konmuş altıgenlerden, diğeri bu altıgen piramitlerin tepelerini birleştiren üçgenlerden kuruludur. ( Şekil 1.7.11)

**- Çift altıgen düzenleme (H2 Türü)**

Her iki ağda altıgenlerden örülü olup bir ağın düğüm noktasına diğeri ağın boşluğu gelecek şekilde şaşırtma vardır. (Şekil 1.7.12) Aynı bir düşey üzerindeki düğüm noktaları bir çubukla bağlanırlar. Köşegenlerin konumu o şekildedir ki bir ağdaki düğüm noktaları diğeri ağdakilerden değişiktir.



Şekil 1.7.11-H1 türü düzenleme



Şekil 1.7.12-H2 türü düzenleme

Bir düzenleme türünün seçimi her şeyden önce örtülecek alanın biçimine bağlıdır. Şöyle ki U,B ve Q türleri kare yada dikdörtgen alanlara uygunken T ve H türleri üçgen altıgen yada daire alanları daha kolaylıkla örterler. Ekonomik ve estetik biçimleme bağımlılıkları da bir düzenleme türünün diğerine tercihinde etkin olurlar.

Genellikle, yapının dış kenarındaki bütün düğüm noktaları mesnetlendirilir; ancak taşıyıcı düzenin şekil değıştirmezliğinin korunması ve çubukların aşırı büyük kesitler gerektirmemesi koşulları altında mesnet sayısı büyük ölçüde azaltılabilir.

Çok büyük bir yüzeyin örtülmesi durumunda, ekonomi düşüncesi ile geniş delikli bir ağ düzeni ve örtüyü taşımak için bunun üzerine oturan yardımcı kirişler çözümü önerilir.



## **I-7-1-) DÜZLEM UZAY KAFES TAŞIYICILARIN YAPIM SİSTEMLERİ**

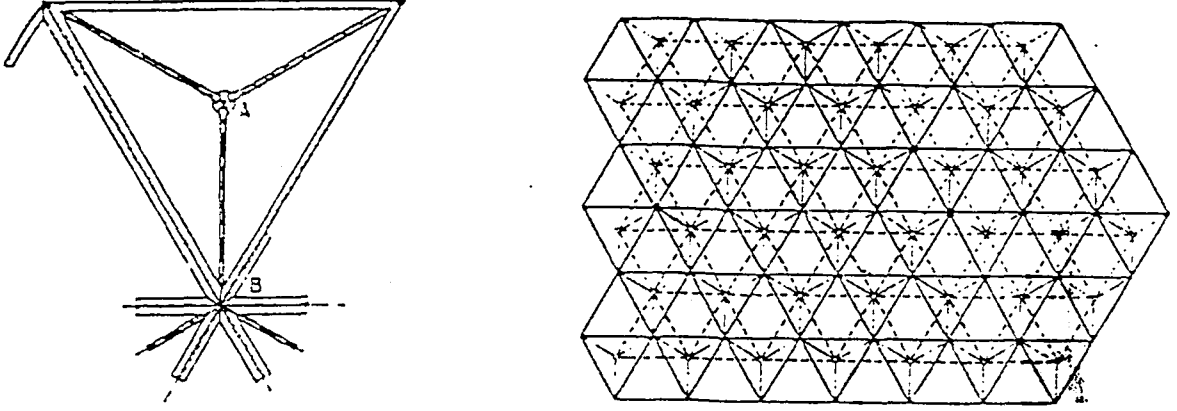
Günümüzde ilerleyen teknolojiyle beraber uzay kafes taşıyıcıların montajını kolaylaştırmak, ve süresini kısaltmak amacıyla üretilen bir çok patentli yapım sistemleri vardır. Her yapım sisteminin kendine özgün teknik üstünlükleri buna karşın hemen görünen sakıncaları ve belirli sınırları vardır. Başarılı bir prefabrike sistem, tekrar kullanılabilir, hafif, yapımı kolay ve dayanıklı olmalıdır. Prefabrik elemanların taşınmasının kolaylığı ve ekonomik yönü ile şantiyede montaj süreleri önemli faktörlerden olduğundan eleman sayısı ve birleşim sayısı en aza indirilmelidir. Bu yapım sistemleri üç grupta incelenebilir:

- Hazır Prizmatik Elemanlı Sistemler
- Hazır Düzlem Kafes Elemanlı Sistemler
- Hazır Prizmatik Kafes Elemanlı Sistemler

### **A) Hazır Prizmatik Elemanlı Sistemler**

#### **a) Pyramitec Sistemi (Şekil 1.7.13)**

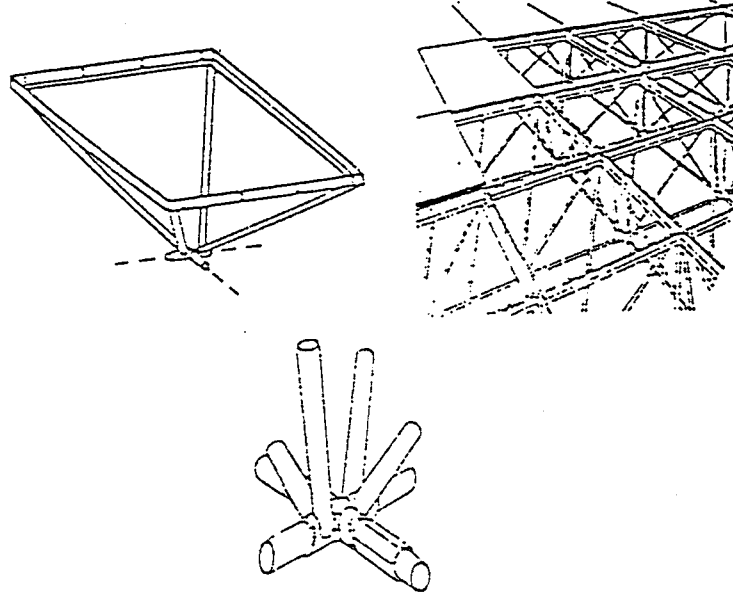
Bu sistem, en uygun ve ekonomik yapım sağlayabilen, çoğu zaman boş ara alanlar bırakabilen, üçgen, kare veya altıgen tabanlı modüler prefabrike piramitlerden oluşmaktadır. Yapımı basittir. Kural olarak, piramitler birbirlerine zemin seviyesinde bağlanmakta ve daha sonra yukarıya kaldırılmaktadır. Üst başlık, ters çevrilmiş piramitlerin taban kenarlarının yatay vidalarla yatay olarak birleştirilmesi ile yapılmaktadır. Bileşimde kullanılan vidalar yüksek mukavemetlidir. Alt başlık çubuklarının kendi aralarındaki bağlantısı manşon türü aksenal ayarlama vidaları ile yapılabilir ki bu da sisteme ters sehim ya da eğrilik verme olanağı sağlar. B1, B3, T2 ve H1 türü taşıyıcı düzenler Pyramitec sistemi ile kolaylıkla kurulabilirler. Sistemin üstünlükleri: ileri ölçüde önyapım olanağı, stoklama ve ulaştırmada elemanların üst üste istif edilme kolaylığı, montaj ve sökme kolaylığı, üst başlık ağını oluşturan taban çerçevelerine takılan hazır panolar yardımıyla döşeme elde etme imkanı şeklinde sayılabilir.



Şekil 1.7.13-Pyramitec sistemi

**b) Space-Deck Sistemi (Denings, İngiltere) (Şekil 1.7.14)**

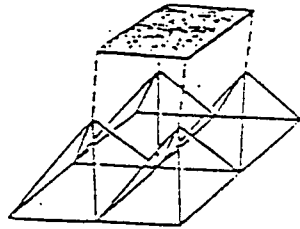
Genelde pyramitec sistemine çok benzer. Fark piramit tepelerinin alt başlık ağı çubuklarına bağlanma ayrıntısındadır. Bu sistemde hazır piramitler daima kare tabanlıdır. Bu taban, şantiyede komşu piramitlerin tabanlarına, düşey konumdaki kolları bulonlanarak birleştirilen ve üst başlık ağını oluşturan köşebentlerden bileşiktir. Piramitlerin tepe noktalarına, uçlarına içten ters dış açılmış haçvari konumlu borular bağlıdır. Ters konumlanmış piramitlerin tepe noktaları, uçları yuvarlak dolu enkesitli bir çubuğa kaynaklanmış borularla ya da doğrudan doğruya yüksek mukavemetli yuvarlak dolu enkesitli çubuklarla birleştirilir. Bu alt başlık ağını oluşturan çubukların uçlarına da sağ dış ve sol dış açılmıştır. Bu durumda, montaj ve ayarlama işlemleri, alt başlık ağı çubuklarının tepe noktalarındaki borulara vidalanması ile kolaylıkla gerçekleştirilir.



Şekil 1.7.14 -Space-Deck sistemi

**c) Space-Grid Sistemi (Butler Manufactory, U.S.A.) (Şekil 1.7.15)**

Bu sistem önceki sistemin, piramit tabanlarının alt başlık ağını oluşturacak şekilde değiştirilmiştir. Tepeler, kare şekilli ve çoğu kez içleri bir betonarme plakla doldurulmuş hazır çerçevelerle birleştirilerek üst başlık ağı oluşturulur ve örtü elemanları taşınır.

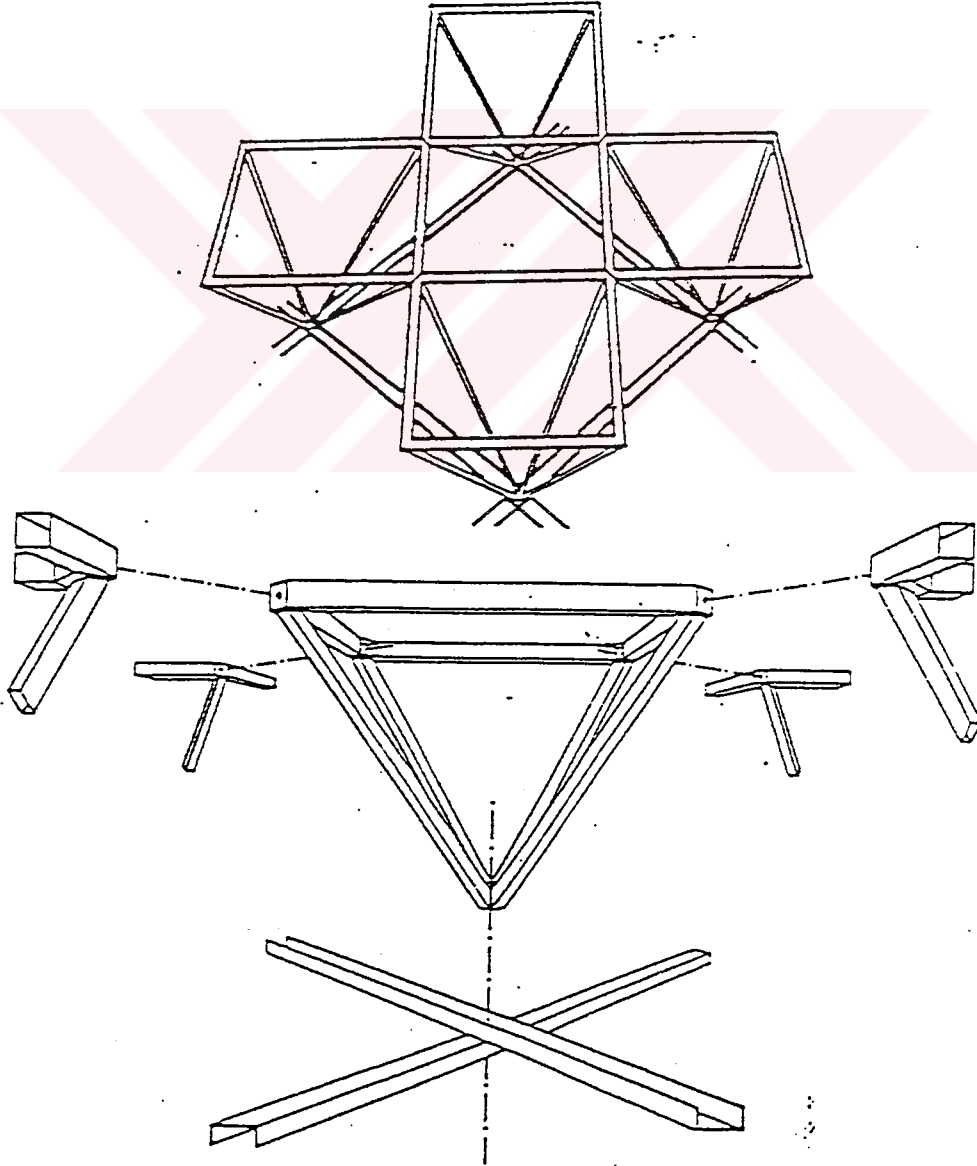


Şekil 1.7.15-Space-Grid sistemi

**d) Unibat Sistemi ( S. de Chateau, Fransa) (Şekil 1.7.16)**

Bu sistemde hazır piramitlerin yanyana getirilmesinden oluşur. Piramitlerin taban çerçeveleri kare biçimli olup birbirlerine köşelerinden birleştirilerek üst başlık ağını meydana getirirler. Piramit tepeleri ise taban kenarlarına göre 45 derecelik açı yapan ve şantiyede monte edilen sürekli çubuklarla bağlanır. Hazır piramitler kutu kesitli çubuklardan yapılırlar. Şantiyede tepe noktalarının birleştirilmesinde kullanılan sürekli çubuklar ise U profilindedir.

Bütün piramitler birbirleriyle eşkesitli olup, belirli bir piramit yüksekliğiyle geçilebilecek açıklığın sınırına gelindiğinde, farklı yükseklikte diğer bir piramit modülüne geçilir. ortaya çıkan uzay kafes taşıyıcı B3 türü düzenlemeye uygundur.



Şekil 1.7.16-Unibat sistemi

**e) Unistrut Sistemi (Attwood U.S.A.) (Şekil 1.4.9)**

Sistem soğukta çekilmiş U şeklinde sac profille, büyükçe düğüm levhalarından oluşur. Kuvvet aktarımı için sadece civatalar yeterli olmadığından, sıkıştırılarak oluşturulan kayma kamalarından yararlanır. Unistrut sistem elemanı hepsi aynı boyda aynı kesitte çubuklardan oluşmuştur. Unistrut çubuğu çelik plakaların preslenmesiyle imal edilen bağlayıcılarda birleşirler. Tüm birimler özel bir bağlama düzenine göre üretilmiştir ve bu çok düşük ve hassas tolerans verir. Bundan dolayı her bir parçanın kurulması çok kolay olur. Unistrut sistemi kendi kendine düzelen ve hiza alan bir sistemdir. Normal yükleme için standart birim kullanılır. Fakat büyük basınç altındaki bölgelerde birimler, ana strüktürüne parçalar eklenerek güçlendirilirler. Böylece daha çok yük taşıma kapasitesi sağlanır ve geniş açıklıklar temel kuruluş parçalarında bir değişiklik yapılmadan aşılmış olur. Bu sistem yalnızca dayanıklı olmakla kalmayıp, aynı zamanda dizaynda da esneklik sağlar. Büyüme kabiliyeti, demonte olabilmesi ve bütün parçalarının tekrar kullanılabilmesi üstünlükleridir. Sistemin borulara oranla statik açıdan daha elverişsiz olan U profillerden oluşması ise daha fazla gereç kullanılmasına ve dolayısıyla pahalıya çıkmasına neden olur.

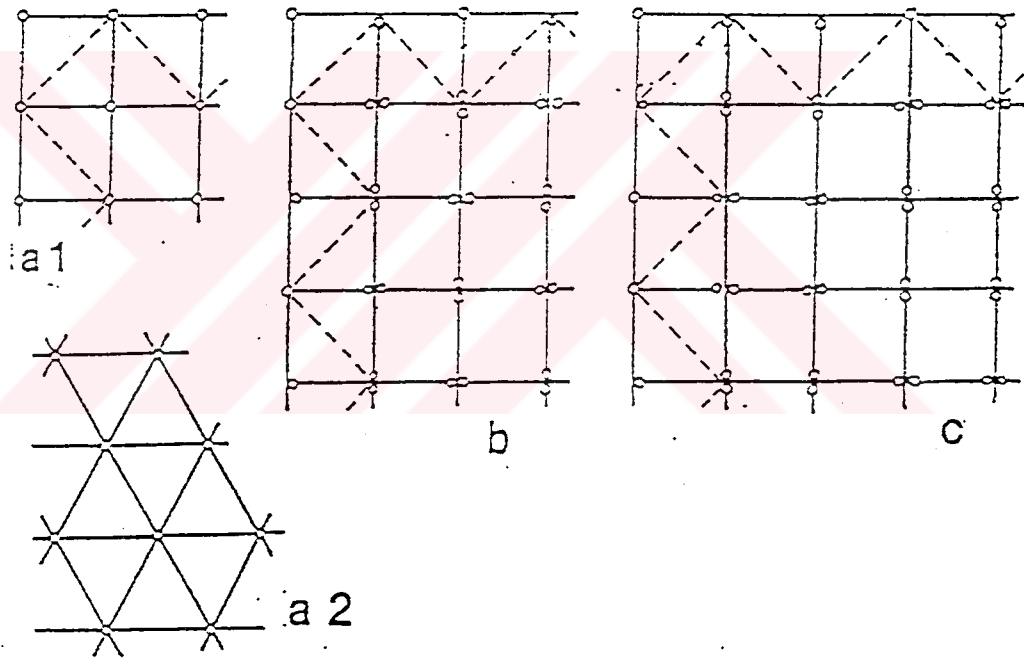
**f) Maymont Sisremi (Fransa)**

Son olarak, piramit sistemlerle büyük bir benzerlik gösteren, özel bir hazır örgü çubuğu modülü ile üst ve alt başlık ağları hiperbolik paraboloid yüzey teşkil edebilen Maymont sisteminden söz edilebilir. Hazır örgü çubuğu modülü bir dörtyüzlünün ikişer ikişer kesişen dört kenarını kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Boru kesitli bir çubuktan bükülmek ve sonunda uç uca kaynaklanmak suretiyle elde edilir. Uzay kafes taşıyıcının üst ve alt başlık ağ çubukları ise kesilmeden birbirleri üzerine konulan sürekli borulardan oluşur. Üst ve alt başlık ağlarının her düğüm noktasına iki hazır örgü çubuğunun köşeleri özel kelepçelerle bağlanır. Montaj başlangıçta, kelepçeler tam sıkılmadan düzlem olarak gerçekleştirilir. Bundan sonra yatay taşıyıcıya istenilen eğrilik düzlemin bir köşesi kaldırılarak verilir ve bu durumda kelepçeler tam olarak sıkıştırılır.

### B) Hazır Düzlem Kafes Elemanlı Sistemler

Hazır elemanları düzlem kafes kiriş olan sistemler daha çok, iki yada üç doğrultulu kafes ızgaralardır ve bu elemanların şantiyede birbirine bağlanmasıyla kurulurlar. Söz konusu düzlem kafes hazır elemanlar, tek modüllü olarak ızgaranın iki düğüm noktası arasında kalacak şekilde planlanabileceği gibi iki modüllü ve üç modüllü olarak tasarlanabilirler. İki doğrultulu ızgaralarda rijidliğin sağlanması için, genellikle üst başlık çubuklar ağına sonradan, şekilde kesik çizgilerle gösterilen köşegenlerde eklenebilir. Düzlem kafes hazır elemanlardan sözü edilen ızgaralar dışında taşıyıcılar düzenlenebilmesi de mümkündür. (Şekil 1.7.17)

Bahsedilen düzlem kafes hazır elemanlara örnek olarak aşağıda bazı sistemlere ilişkin detaylar verilecek, bazı sistemler ise kısaca açıklanacaktır.

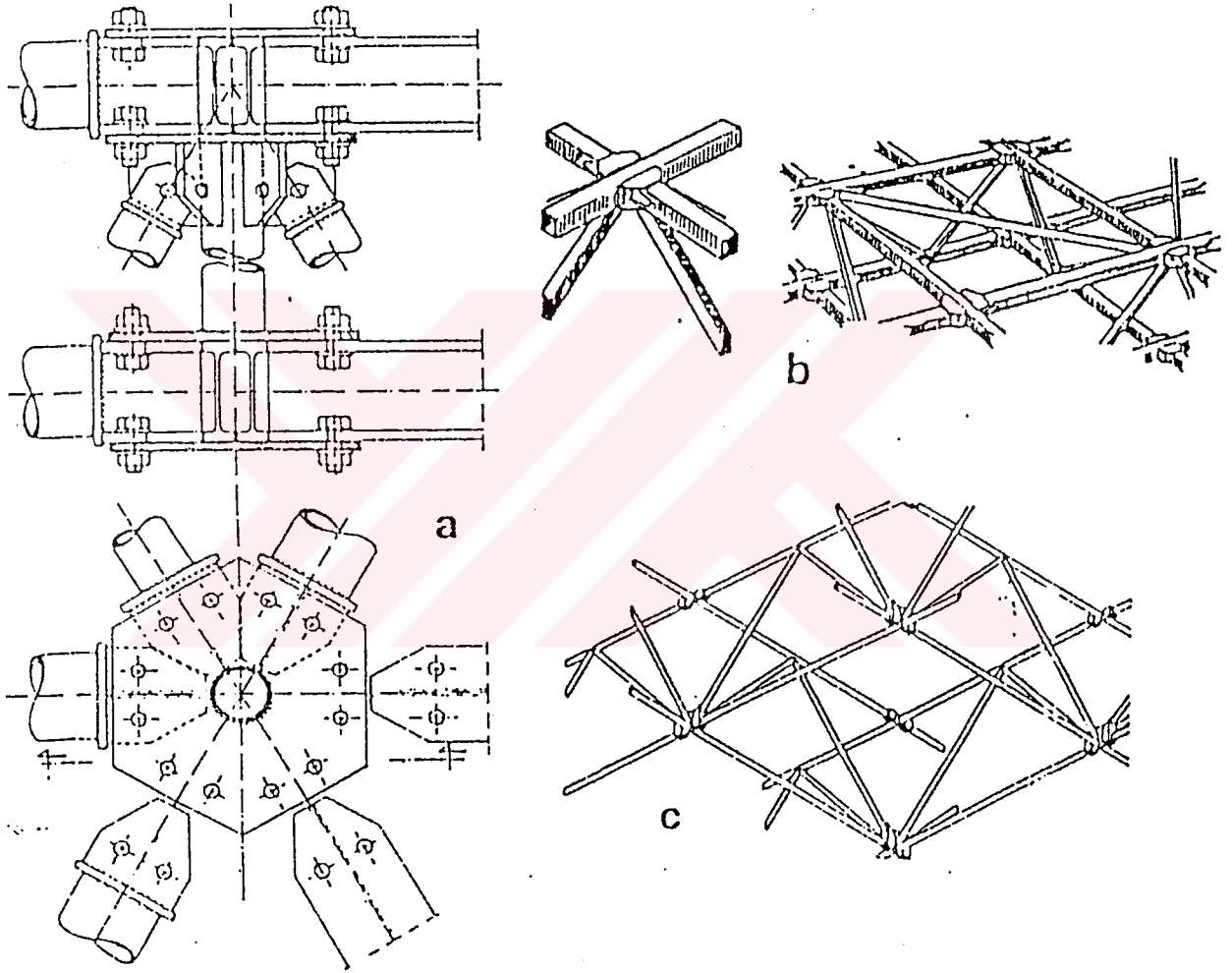


Şekil 1.7.17-Kafes Izgara Sistemler

- a1) Tek modül hazır elemanla iki doğrultuda
- a2) Tek modül hazır elemanla üç doğrultuda
- b) İki modüllü hazır elemanla iki doğrultuda
- c) Üç modüllü hazır elemanla iki doğrultuda

### a) Düzlem Kafes Hazır Elemanlı Izgara Sistemler Detayları

Bu tür ızgara sistemler , ulaştırma, montaj ve sökme kolaylıklarına karşın hassas ölçülendirme zorunluğu ve ızgara kirişlerin yanal ve burkulma rijitliklerinin olmayışı gibi sakıncaları da ortak gösterirler. İzleyen şekillerde, örnek olarak üç doğrultulu tek modülle Tridimatec sistemi düğüm noktası detayı (Şekil 1.7.18 a) iki doğrultulu iki modüllü Cash sistemi (Şekil 1.7.18 b) ve Tesep sistemi (Şekil 1.7.18 c) verilmektedir.



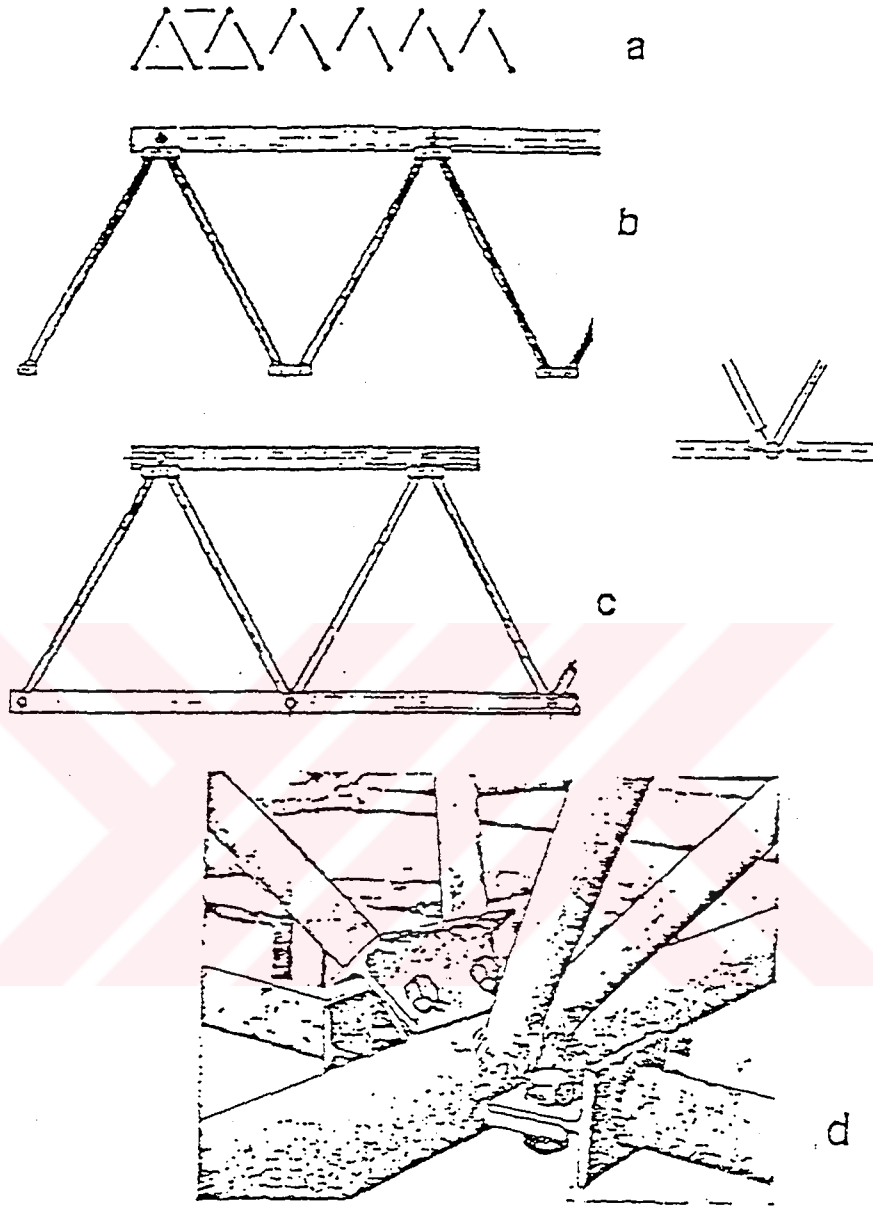
Şekil 1.7.18-a) Üç doğrultulu tek modüllü Tridimatec sistemi  
 b) İki doğrultulu iki modüllü Cash sistemi  
 c) İki doğrultulu iki modüllü Tesep sistemi

**b) Tubaccord Sistemi (Şekil 1.7.19)**

Hazır elemanları yine düzlem kafes giriş parçaları olmakla birlikte, montajdan sonra bir kafes gövdeli ızgara değil, tam bir uzay kafes taşıyıcı oluşturması açısından ilginç bir sistemdir. Hazır elemanların bir bölümü iki başlıklı düzlem kafes giriş görünümündeyken, diğer büyük bir bölümü ise yalnız bir başlığı örgü çubukları bulunan düzlem eleman biçimindedir. Montajda iki başlıklı eleman yapının bir kenarına eğik olarak yerleştirildikten sonra, tek başlıklı elemanlar bu birinci elemana sırayla bağlanırlar. İşlem yapının bir kenarından diğer kenarına kadar, tek başlıklı elemanların akordeonu andıran şekilde dizilmesiyle sürer. Sistem adını bu yerleştirilişten almaktadır. Bu şekilde katlanmış plak görünümünde olan ana elemanlara, sonradan üçüncü boyuttaki çubukların eklenmesiyle uzay kafes taşıyıcı tam olarak kurulmuş olur.

Hazır elemanlar arasındaki bağlantılar, ana elemanın düğüm noktalarına kılıcına kaynaklanmış levhalara, tali elemanların uçlarına kaynaklanmış T parçaların bulonlanması ile gerçekleştirilir. Üçüncü boyuttaki yatay çubuklar, üst başlık ağında köşebent, alt başlık ağında boru enkesitlidir.

Birleşimlerin karşılıklı konumlanmalarında büyük bir hassaslık isteyen bu sistem, hızlı montaj, ızgara sistemlere göre daha büyük rijidlik gibi üstünlüklerde göstermektedir.



Şekil 1.7.19 Tubaccord sistemi

a)Kuruluş düzeni

b)Tek başlıklı eleman

c)Çift başlıklı eleman

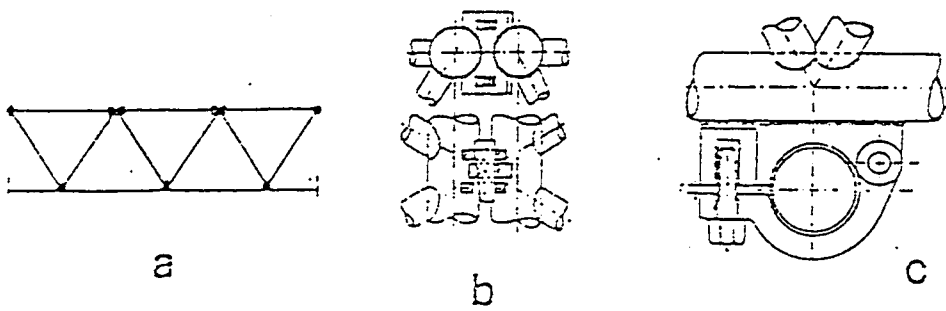
d)Düğüm noktasında elemanların birleşimi

### C) Hazır Prizmatik Kafes Elemanlı Sistemler

Hazır prizmatik kafes elemanlı sistemler, ulaştırma ve stoklama açılarından, diğer hazır elemanlı sistemlere göre daha fazla hacim işgal etme nedeniyle zorluklar gösterirler. Buna karşılık montaj süreçleri daha hızlıdır. Bu tür hazır elemanlı sistemlere örnek olarak, Dziewolski ve Daniel sistemlerinden söz edilecektir.

#### a) Dziewolski Sistemi (Fransa) (Şekil 1.7.20)

Uzunlukları ulaşım olanaklarıyla sınırlı üçgen prizma kafes sandıklar atölyede hazırlanır. Aynı bir kirişin çeşitli parçaları yerde eklenerek tam boya ulaşılır. Yan yana konulan kirişlerin birbiri ardı sıra yukarı kaldırılmasından sonra alt başlık ağı üçüncü boyut çubukları bağlanır. Bu şekilde elde edilen uzay kafes taşıyıcı iki doğrultuludur. Çubuklar çoğu zaman boru ya da bazen karesel kutu enkesitli seçilirler. Birbirlerine paralel olarak yanyana uzanan üst başlık çubuklarının birleşimi, ya kamalar yardımıyla ya da çubuklara kaynaklanmış düşey levhaların bulonlanması ile gerçekleştirilir. Hazır üçgen prizma elemanların alt başlık çubuklarına, üçüncü doğrultuda uzanan çubuklar için bağlantı bilezikleri kaynaklanır. Söz konusu bağ çubukları bu bileziklere vida ya da kamalarla sıkıştırılırlar. Genelde sistemin birleşim parçaları oldukça karmaşık ve pahalıdır.



Şekil 1.7.20 -Dziewolski sisteminde kuruluş ve birleşimler

**b) Daniel Sistemi ( E.Mas, Belçika)**

Üç değişik modüllü üçgen prizma kirişler etki oluşturacak şekilde, biri diğerinin ortasına gelerek birleştirilir ve kutu kesitli enlemelerle bağlanırlar.Orta bölgedeki seyrek atkılı düzeni, dört kenara konulan sürekli kiriş pekiştirir.Bütün çubuklar karesel kutu enkesitli olup enine bağlantı çubukları düğüm noktalarına bir manşon bulon ile birleştirilirler.

**1.7.2 ) DÜZLEM KAFES TAŞIYICI SİSTEMLERİN MONTAJI**

Düzlem kafes sistemlerin montajı üç yöntemle yapılır.

- a) Yerinde montaj: 6-7 metreye kadar olan sistemlerin bir kaldırma düzeni gerektirmeden, kurulacak iş iskelesi ile yerinde montajı gerçekleştirilebilir. Montaj sırasında sistemi ayakta tutabilmek için ara destekler kullanılır.
- b) Yukarı kaldırma yöntemi: Kolonları birbirine bağlayan kirişler yerde monte edildikten sonra vinçle yukarı kaldırılıp mesnetlere tespit edilmekte, daha sonra araları örülmektedir.
- c) Blok yöntemi : Sistem tamamen yerde monte edildikten sonra geçici destekler ve kablolar yardımıyla yukarı kaldırılıp mesnetlere tespit edilir .

### 1.7.3) DÜZLEM UZAY KAFES SİSTEMDE MALİYETİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Herhangi bir yapı sisteminin maliyetini etkileyen etmenler oldukça fazladır. Değişkenler arasına proje giderleri, malzeme ve bileşenlerin imalat giderleri, kullanılan malzeme miktarı, nakliyat ve montaj (yapım) giderleri, yapının ömrü, bakım masrafları v.b. katılabilir.

Daha da genişletilebilecek bu değişkenlerin yanı sıra imalatçı firma, projeyi yapan mimarlık bürosu, teknik yönleri yöneten büro, mal sahibi, yapının müteahidi gibi birbirinden kopuk grupların zaman zaman yapımda söz sahibi olması konuyu daha da karmaşıktır.

Düzlem uzay kafes sistemler söz konusu olduğunda önceden belirtildiği gibi işin içine sonsuz geometrik olasılıklar da girmekte, seri üretime uygun düzgün uzay çerçeve geometrileri dahi çok fazla sayıda bulunmaktadır. Kısaca, çok sayıda geometrik olasılıkların farklı ekonomik yönlerden incelenip seçilmesi gerekmektedir.

Bundan ötürü düzlem uzay kafes sistemlerin maliyetini etkileyen faktörlerden tümü yerine, en önemlilerinden olan üretim, montaj ve malzeme giderleri üzerinde durulacaktır.

Genel olarak belli bir alanı en az giderle örtebilen, en sağlam, en dayanıklı, nakliyatı kolay, istiflenme olanağı bulunan, inşa süresi daha kısa, çabuk ve basit üretime uygun, esnek bileşenli(değişik planlarda uygulanabilen) bir uzay çerçeve sistemi en optimal çözüm kabul edilebilir.

Bu koşulların bir kısmı bütün düzlem uzay kafes sistemlerde sağlanabilmektedir.Örneğin doğrusal çubuklardan oluşan bir düzlem uzay kafes sistemin nakliyata uygunluğu, montaj aletleri gereksinmesi, çabuk ve düğüm noktalarının istiflenebilme özellikleri pek değişmeyerek, farklı geometrik olasılıklar için, eş yahut yakın değerlerde olacaktır.

Fakat bileşenlerin seri üretime uygunluğu, montaj süresi, dolayısıyla montaj giderleri, malzeme sarfiyatı çeşitli etkenlere bağlı olarak değişmekte ve sistem ekonomisini etkilemektedir.

### 1.7.3 A) Bileşenlerin Tip Sayısı ile Üretim Ekonomisi Kriterleri

Düzlem uzay kafes sistemlerin iskeletleri daha öncede bahsedildiği üzere iki ana bileşenden kurulur.

a)çubuklar

b)düğüm noktaları

Bu iki bileşenlerin seri üretim yoluyla çok fazla sayıda üretilmesinin sağlanması, ekonomik bir üretimin ana şartlarıdır.

#### a)Çubukların Üretimi

Çubuklar özel bir üretim gerektirmeyip piyasada bulunan standart konstrüksiyon profilleri arasından seçilerek uzay çerçeve geometrisinde geçen uzunluklara göre kesilmektedir.

Kesilme işlemi için en uygun uzay kafes geometrisi, en az çubuk tipine sahip olan çatı geometrisi olacaktır.Denebilir ki 'a' uzunluğundaki tek bir çubuk tipi bu yönden en ideal durumdur.

Çubuk üretiminde ikinci önemli nokta, farklı en kesitlerdeki profil sayısının optimal bir sayıyla sınırlanmasıdır.Daha öncede bahsedildiği gibi Avrupa'nın en büyük uzay kafes sistem yapımcısı olan Mero firması profillerini sadece 20 farklı enkesitte seçmiştir.

#### b )Düğüm Noktaları Üretimi

Düğüm noktası uzay çerçevelerin çubuklardan daha önemli birleşenleridir. Her seri üretim çıktısında olduğu gibi düğüm noktalarının maliyetini azaltmak için bunlarında çok sayıda üretilmesi şarttır.Seri üretim için iki yol izlenebilir.

##### b-1)Değişken Geometrilili Düğüm Noktaları

Değişken geometrilili düğüm noktaları esnek kullanıma izin vermekte, tek bir düğüm noktası tipi ile çok sayıda uzay kafes sistem geometrisi yapılabileceğinden seri üretim için gerekli yüksek üretim sayıları yaratılmaktadır. Bu tip düğüm noktaları imalatta

daha büyük hassasiyet gerektirmekte, çoğu kez düğüm noktasından tam etkinlikte yararlanılmamaktadır. Örneğin Mero düğüm noktası 18 çubuğu, tek bir noktada birleştirecek şekilde yapılmakta, oysa her defasında en fazla 10 çubuk birleştirilmektedir. Kısaca 8 yuva kullanılmamaktadır.

### **b-2) Sabit Geometrilik Düğüm Noktaları**

İkinci olasılık bağlantı açıları sabit olan ve sadece bir uzay kafes sistem geometrisine uyan, dolayısıyla çözümü daha kolay ve ucuz olan düğüm noktaları geliştirip çatı geometrisinin değişken olmamasını baştan kabullenmektir.

Sabit geometrilik noktaları, kullanma olanaklarının sınırlı olmasına ve dolayısıyla seri üretim sayısının azalmasına karşın, salt imalat gideri açısından değişken geometrilik bir düğüm noktasına oranla daha ucuz olabilmektedirler.

Sabit geometrilik düğüm noktalarının minimum üretim sayısı 20.000, değişken geometrilik düğüm noktalarının ise 100.000 olarak verilmektedir.

Unistrut düğüm noktası sabit geometrilik düğüm noktasına iyi bir örnektir.

Düğüm noktaları ister değişken, ister sabit açılı düşünülün tek bir düğüm noktası tipi bir uzay kafes sistemin bütün eklemlerinde kullanabilmelidir.

### **1.7.3.B) Toplam Bileşen Sayısı ve Montaj İlişkisi**

Uzay kafes sistemlerde en ideal sistem, şantiyede en az birleşme noktasına veya yüzeyine sahip olan, bir bileşen tipi ile en az sayıda bileşenin montajı ile kurulan bir sistem olacaktır.

Bu koşula en çok hücre sistemler (üç boyutlu tam endüstriyel prefabrik sistemler) yaklaşmaktadır. Hücre sistemlerin montaj yönünden dezavantajları bunların çok büyük ve ağır montaj aygıtları gerektirmeleridir.

Diğer taraftan düzlem uzay kafes sistemlerin tek boyutlu doğrusal çubuklardan kurulması, bu sistemlerde çok birleşme noktası ile bileşen sayısı yaratmakta, kısaca montaj süresi diğer prefabrik sistemlere oranla artmaktadır.

Sonuç olarak montaj maliyeti açısından en uygun sistem mümkün olduğunca az birleşim noktası ile birleştirme alet ve edevatının optimum olarak kullanımına olanak vermelidir.

Şekil 1.7.21 ile Şekil 1.7.30 arasında Türk firmaların gerçekleştirdiği düzlem uzay kafes sistem örnekleri verilmiştir.





Diyarbakir Tütün Depoları



Altınpark Olimpik Yüzme Havuzu

Şekil 1.7.21



### **Antalya Otogarı / Antalya Bus Station**

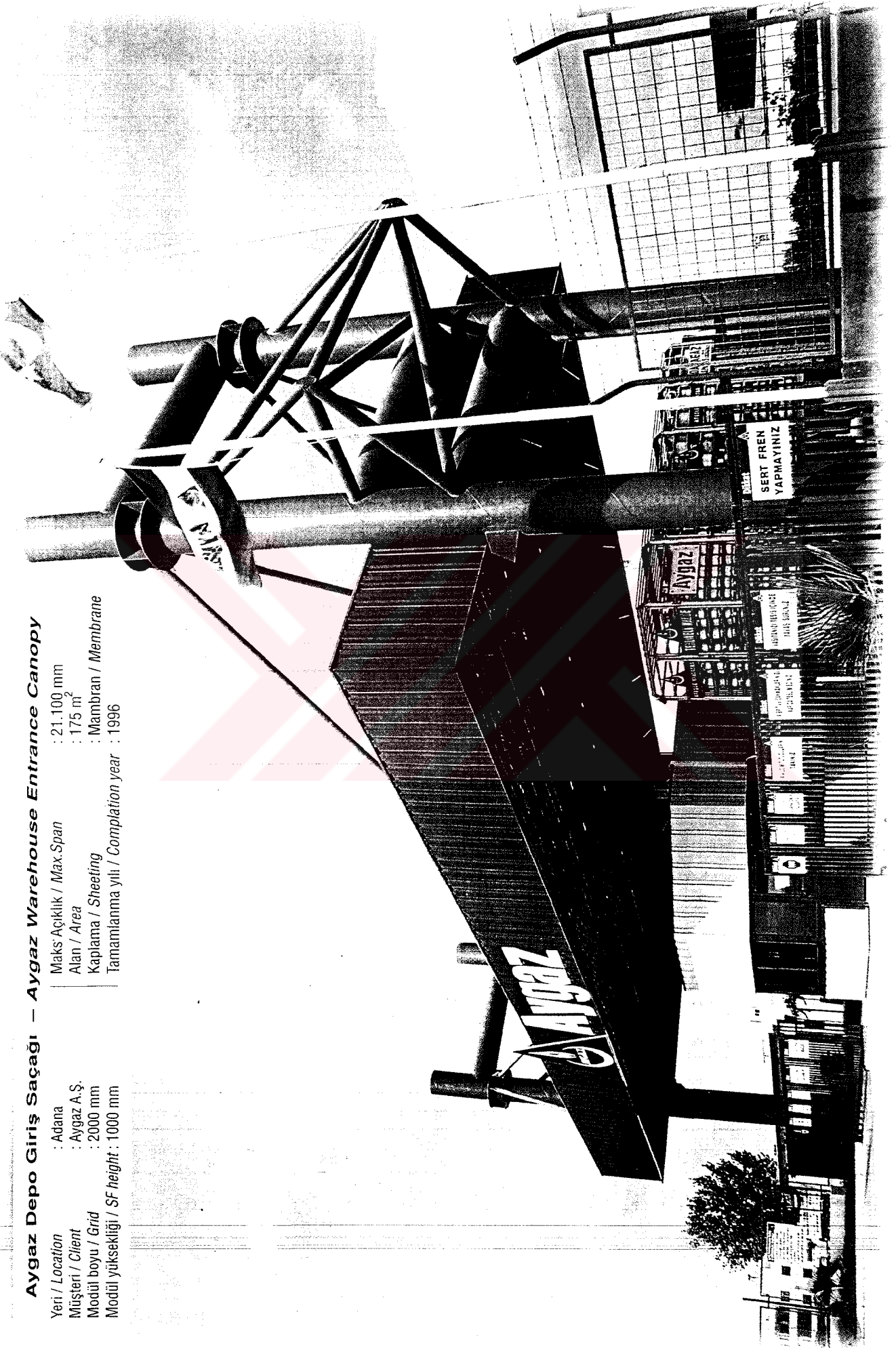
Yeri / Location	: Antalya	Maks. açıklık / Max. Span	: 25 m
Modül boyu / Grid	: Değişken / Various	Alan / Area	: 8490 m <sup>2</sup>
Modül yüksekliği / SF height	: 2121 mm	Kaplama / Sheeting	: Tek Kat Boyalı Saç / Single Skin Steel Sheet
		Tamamlanma yılı / Completion year	: 1995

Şekil 1.7.22

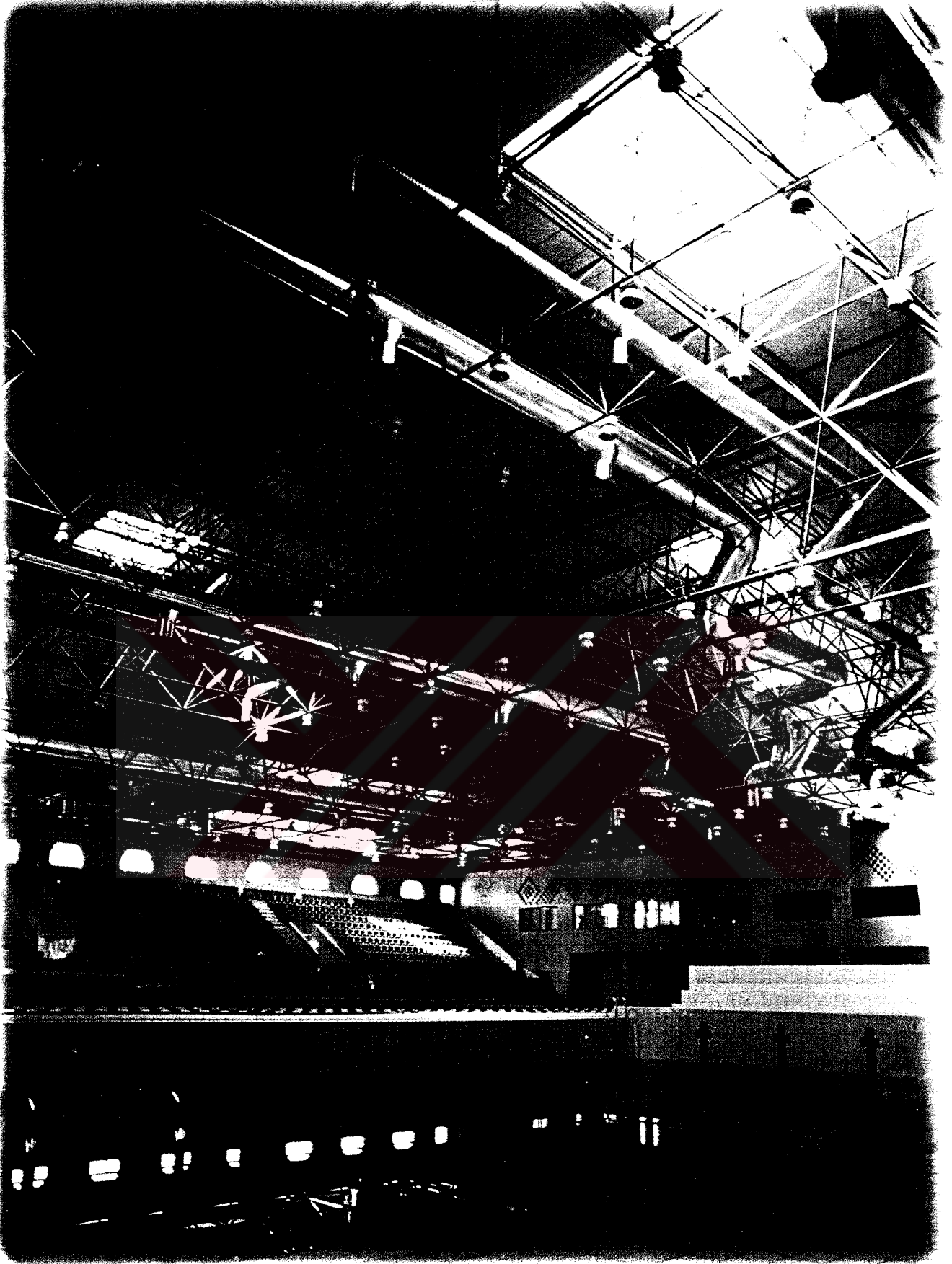
### Aygaz Depo Giriş Saçağı – Aygaz Warehouse Entrance Canopy

Yeri / Location : Adana  
 Müşteri / Client : Aygaz A.Ş.  
 Modül boyu / Grid : 2000 mm  
 Modül yüksekliği / SF height : 1000 mm

Maks Açıklık / Max.Span : 21.100 mm  
 Alan / Area : 175 m<sup>2</sup>  
 Kaplama / Sheeting : Mambrian / Membrane  
 Tamamlanma yılı / Completion year : 1996



Şekil 1.7.23



### Kuveyt Spor Kulübü-Yüzme Havuzu Kompleksi / Kuwait Sports Club-Swimming Complex

Yeri / Location : Kuveyt / Kuwait  
 Müşteri / Client : Gençlik ve Spor Kamu İdaresi  
 / Public Authority youth and sports  
 Modül boyu / Grid : 4000 mm  
 Modül yüksekliği / SF height : 3000 mm

Maks. açıklık / Max. Span : 63000 mm  
 Alan / Area : 3740 m<sup>2</sup>  
 Kaplama / Sheeting : Sandviç panel ve ışıklıklar / Sandwich panels and skylights  
 Tamamlanma yılı / Completion year : 1995

Şekil 1.7.24



### **Istanbul Dünya Ticaret Merkezi – Istanbul World Trade center**

Yeri / Location	: Yeşilköy / Istanbul	Alan / Area	: 9500
Modül boyu / Grid	: 2981 2981 mm	Kaplama / Sheeting	: Mamban / Membrane
Modül yüksekliği / SF height	: $\alpha = 48^\circ$ h = 2341 mm	Tamamlanma yılı / Completion year	: 1995

Şekil 1.7.25



### Antepe Piramit — Antepe Pyramid

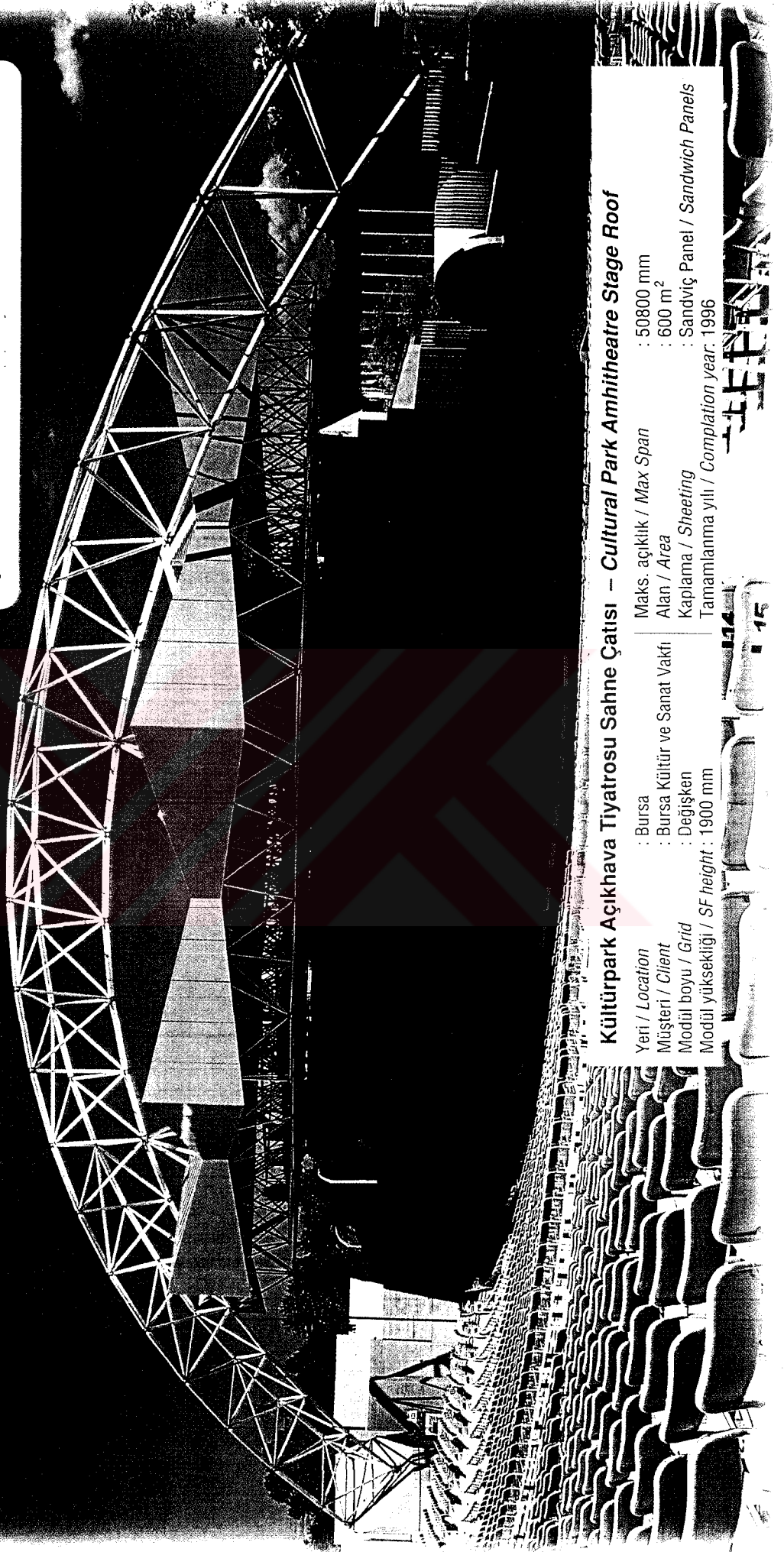
Yeri / Location  
Modül boyu / Grid  
Modül yüksekliği / SF height :  $\alpha = 45^\circ$  h = 1986 mm  
Maks. açıklık / Max. Span : 57814 mm

: Antalya — Antalya  
: 2600 X 3000  
h = 1986 mm

Alan / Area  
Kaplama / Sheeting  
Tamamlanma yılı / Completion year : 1996

: 3893  
: Renkli Cam / Glass

Şekil 1.7.26



### Kültürpark Açık hava Tiyatrosu Sahne Çatısı – Cultural Park Amphitheatre Stage Roof

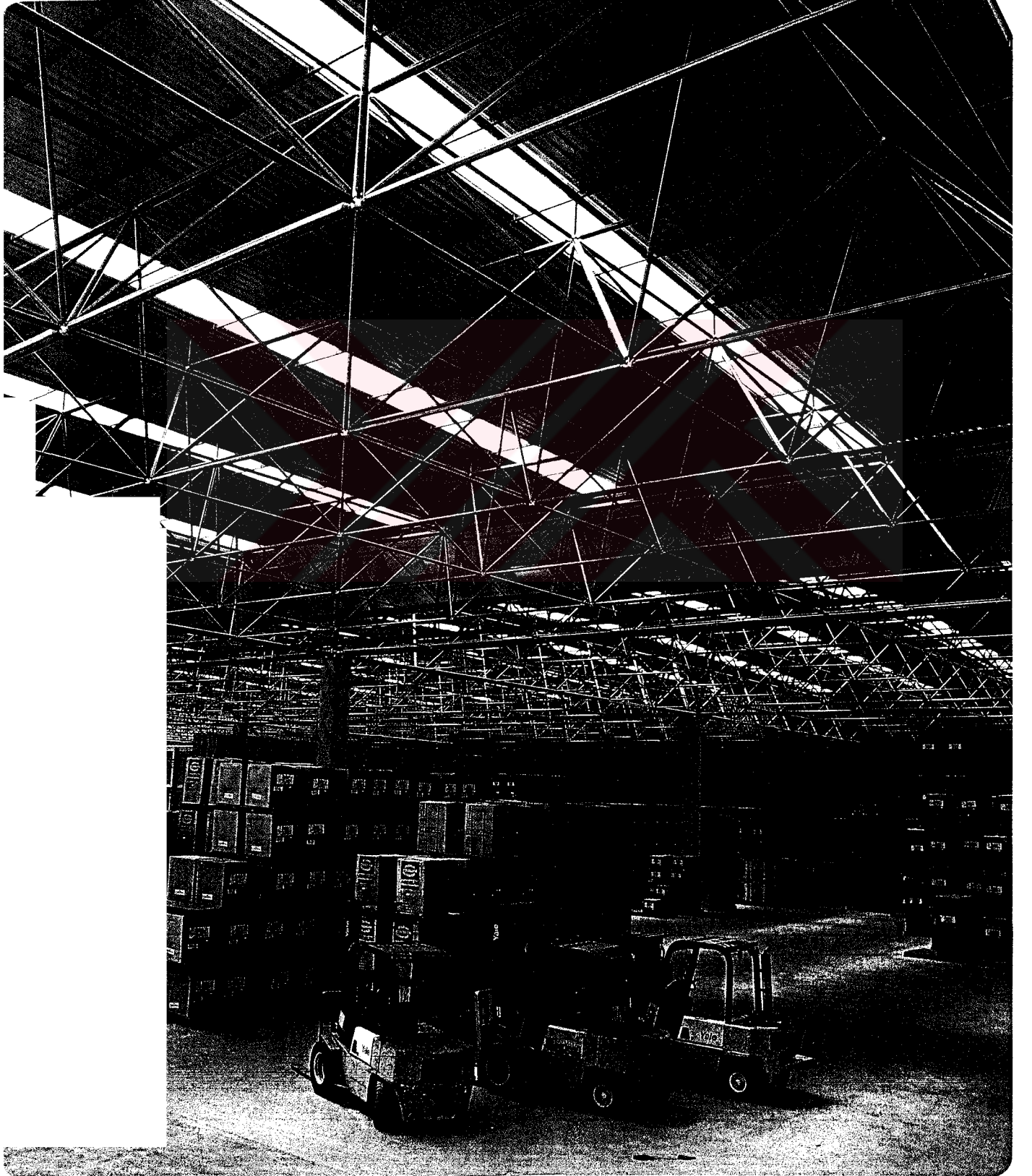
Yeri / Location	: Bursa	Maks. açıklık / Max Span	: 50800 mm
Müşteri / Client	: Bursa Kültür ve Sanat Vakfı	Alan / Area	: 600 m <sup>2</sup>
Modül boyu / Grid	: Değişken	Kaplama / Sheeting	: Sandviç Panel / Sandwich Panels
Modül yüksekliği / SF height	: 1900 mm	Tamamlanma yılı / Completion year	: 1996



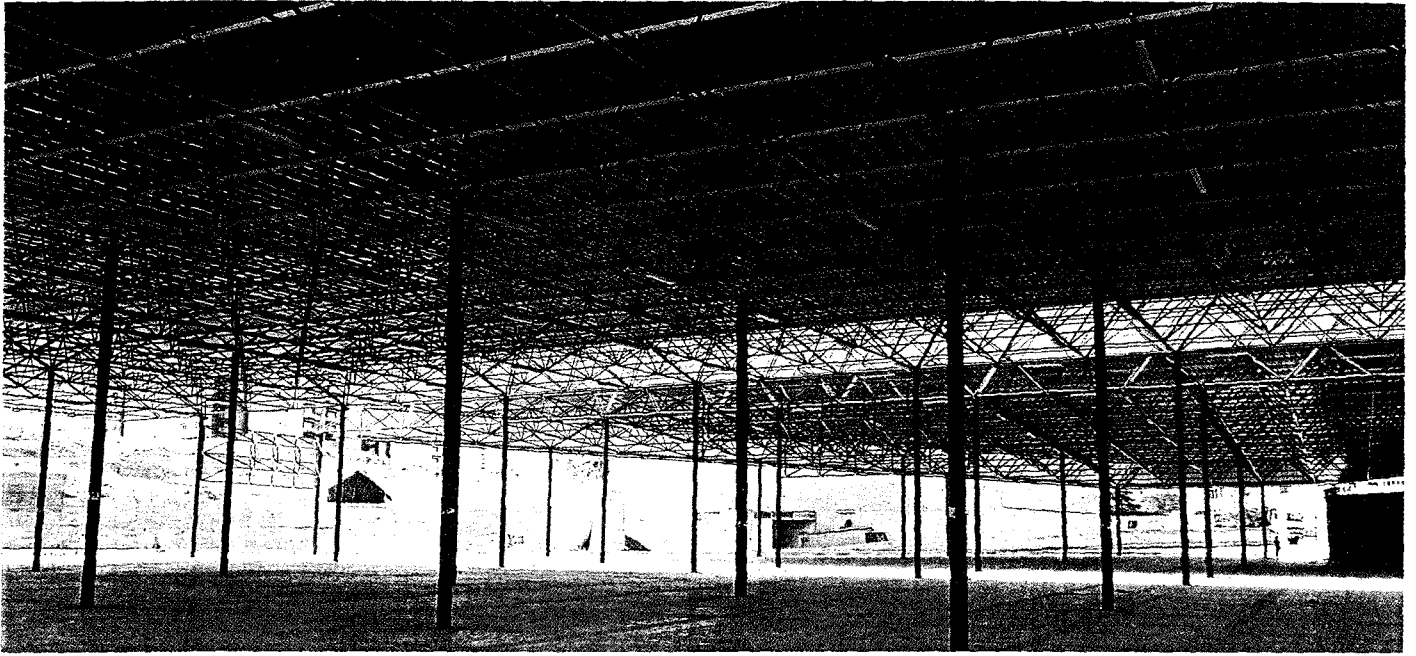
Şekil 1.7.28

### Zakher Alışveriş Merkezi – Zakher Shopping Mall

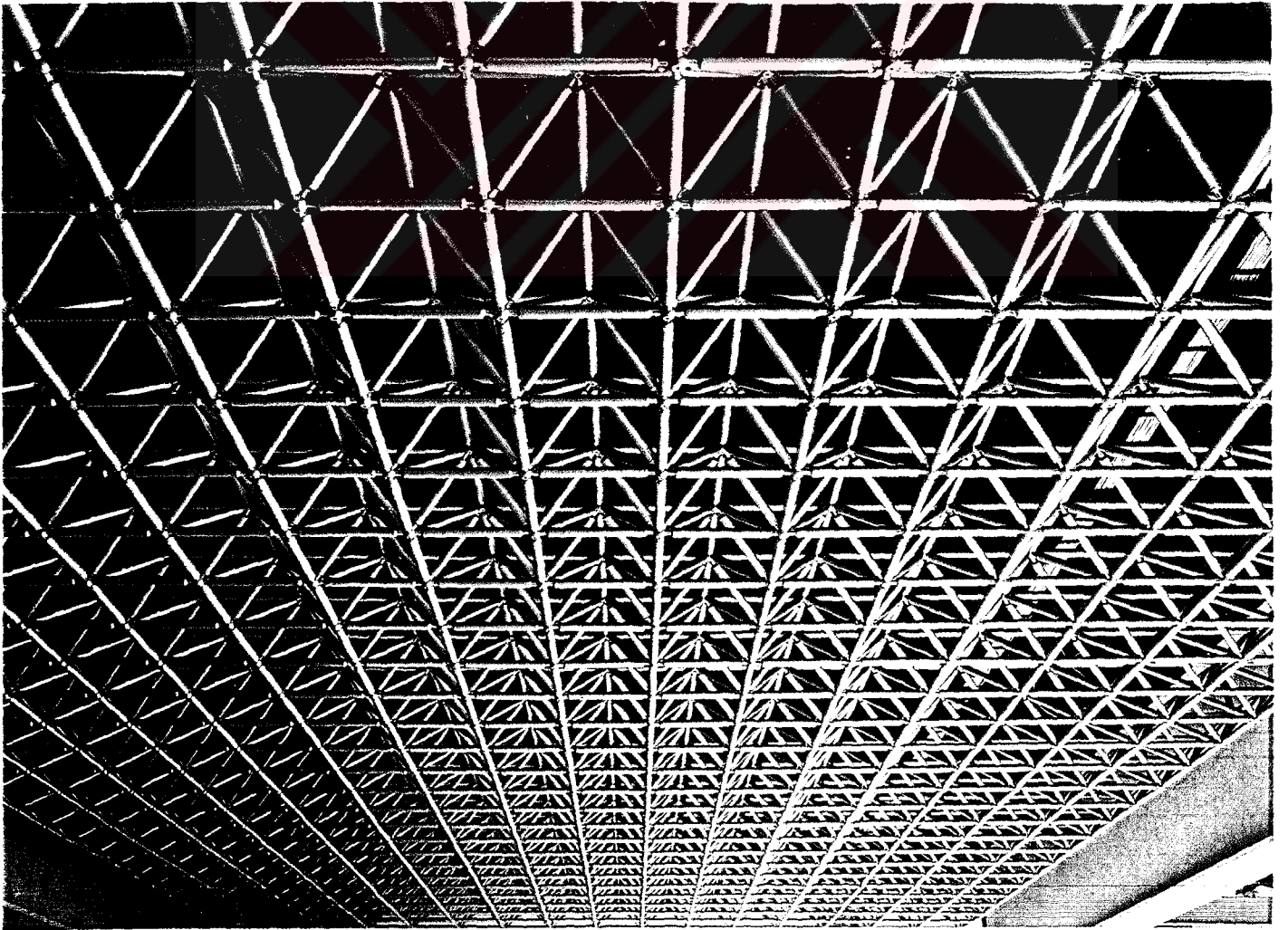
Yeri / Location	: Muskat, Umman / Muscat, Oman	Alan / Area	: 5200 m <sup>2</sup>
Modül boyu / Grid	: Değişken / Various	Kaplama / Sheeting	: Saçaklar kaplamasız Atrium ve Süpermarket çatısı üzeri Sandviç panel ve ışıklık / No Sheeting over canopies
Modül yüksekliği / SF height	: Değişken / Various		Sandwich panels and skylights over Atrium & Supermarket
Maks. açıklık / Max. Span	: 32240 mm	Tamamlanma yılı / Completion year	: 1995



Şekil 1.7.29



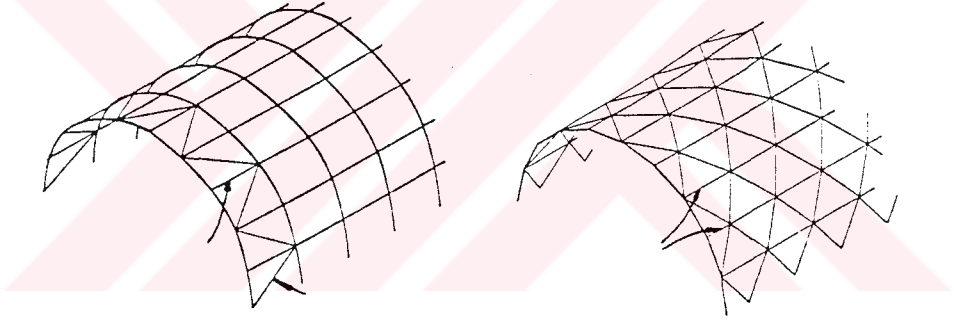
Yüzüncüyl Pazar Yeri Uzayı



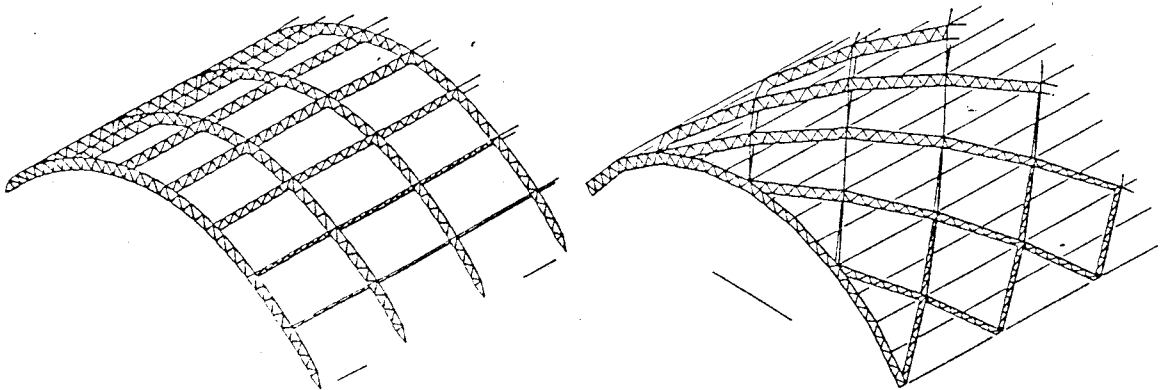
Dikmen Vadisi Projesi İç Mekan Uzayları

## 1.8 ) TEK EĞRİLİKLİ (TONOZSAL) UZAY KAFES SİSTEMLER

Çelik tonozlar, betonarme kabuktaki gibi homojen ve dolu olmayan, çubuklardan meydana gelmiş, boşluklu bünyede bir kabuğu andırırlar.30 metreye kadar olan genişlikler için hadde profilleri ve daire kesitli çubuklar, daha fazla olan genişliklerde bileşik kesitler ve kafes kesitler kullanılır.(şekil 1.8.1.a ve b)Bileşik ve kafes kesitlerin kullanıldığı çözümlerde ekonomi 25 metreden sonra başlar, tam ekonomi 30 metreden sonra sağlanır.Tonozlarda boyun ene oranı 2'den küçük veya eşit seçilmeli, ayrıca alın yüksekliğinin ene oranı 0.2'den büyük olmalıdır. Uygulamalarda tonozların eni 10 ile 80 metre arasında değişmektedir. Genellikle tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin kesitleri silindirikdir.Fakat yüzey düğüm noktalarının koordinatlarıyla oynanarak istenilen değişik kesitler elde edilebilir.Bu yaratılan kesitler her zaman, matematiksel bir eğriliğe uymak zorunda da değildir.



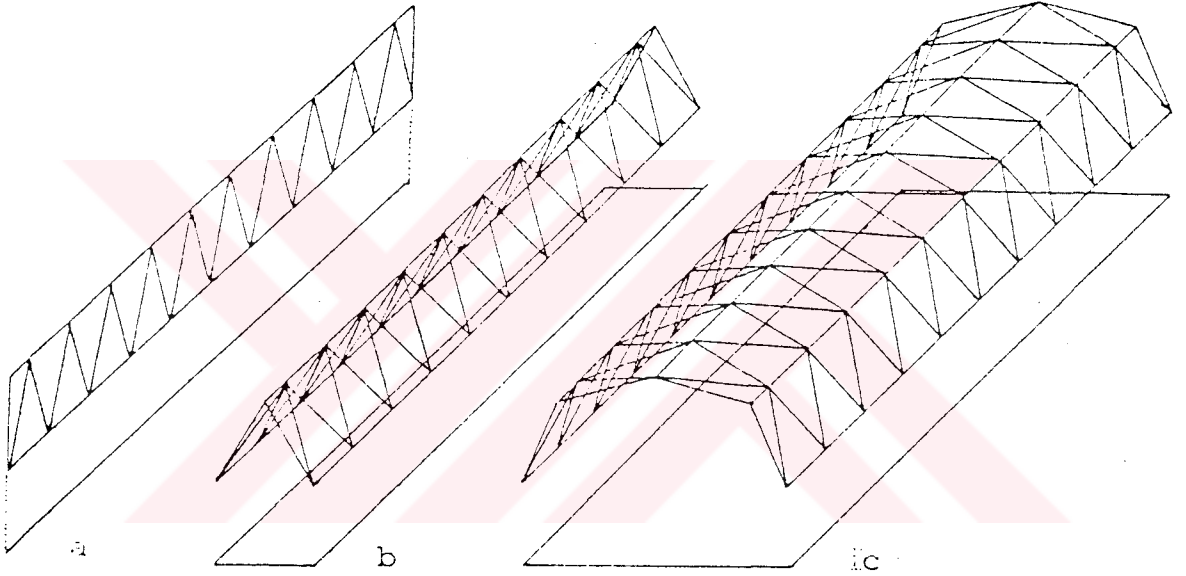
Şekil 1.8.1.a)Tek katmanlı çelik tonoz yapılar



Şekil 1.8.1.b)Çift katmanlı çelik tonoz yapılar

### 1.8.1)TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES SİSTEMLERİN OLUŞUM İLKELERİ

Tonozsal uzay kafes sistemlerin oluşumunda düzlem kafes sistemleri ele alalım. Şekil 1.8.2’de görüldüğü gibi, düzlem kafes kirişleri birleştirmek suretiyle katlanmış bir kafes sistem kurmak olasıdır. Düzlem kafes kirişleri katlamak suretiyle birleştirmeye devam edilirse poligonal ve sonra silindire yaklaşan katlanmış sistemler elde edilir.(şekil 1.8.3)

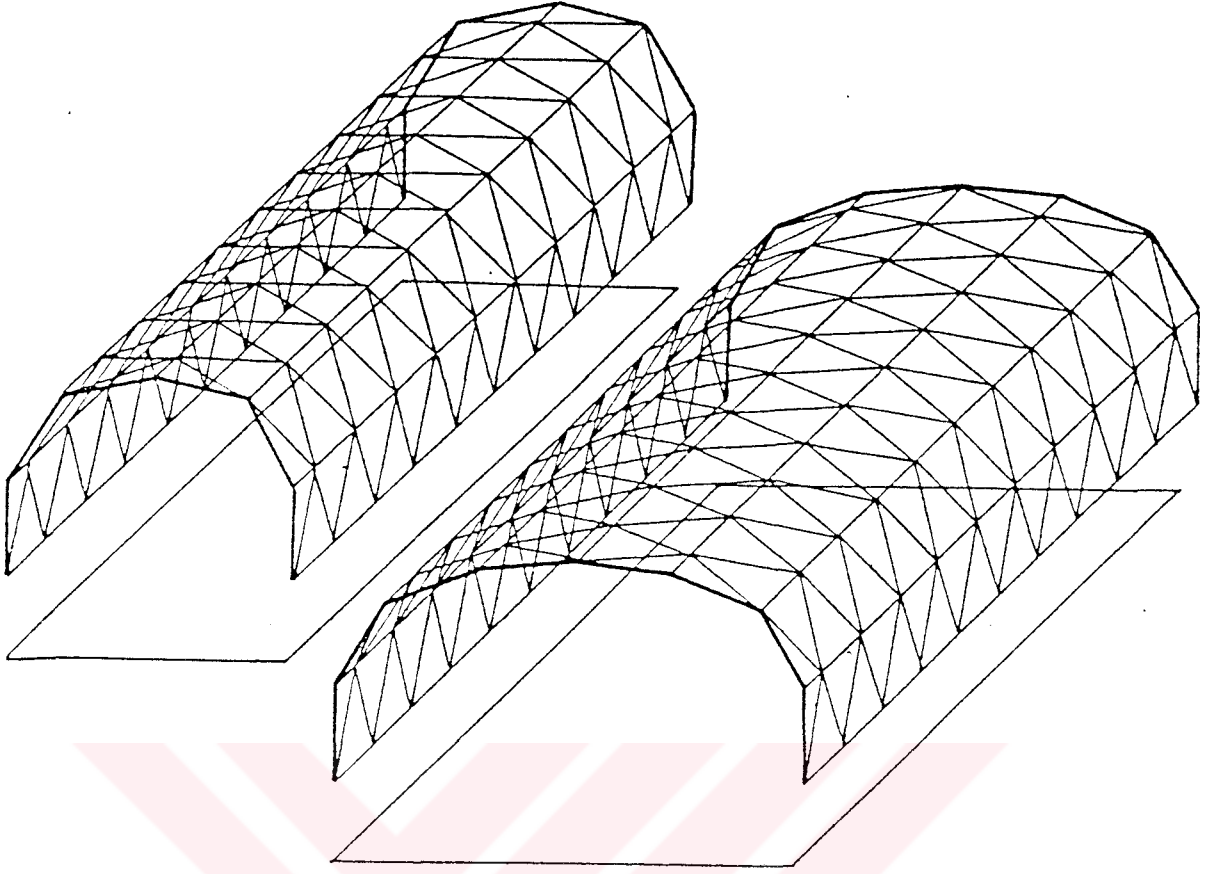


Şekil 1.8.2-a)Basit düzlem kafes kiriş

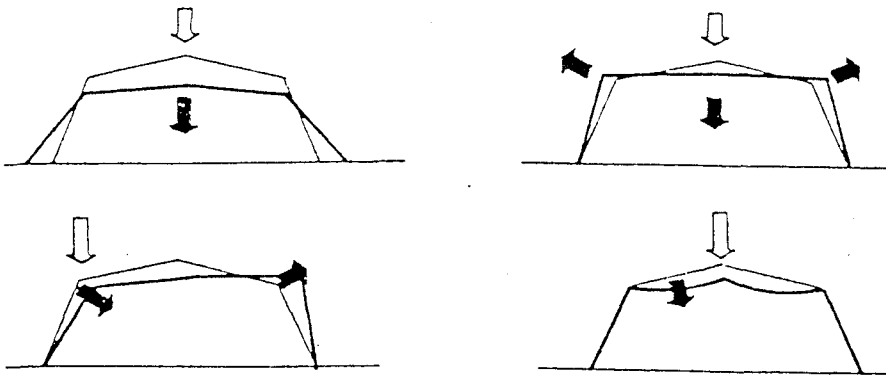
b)Tepede birleşen iki düzlem kafes kiriş

c)Düzlem kafes kirişlerle katlanmış kafes sistem kurulması

Fakat oluşturulan bu sistemler rijit değildir. Yükler karşısında deforme olurlar. Çünkü, örtülecek olan mekan yalnız karşılıklı iki kenarı üzerinde mesnetlenmektedir. Bir başka anlatımla mesnetler iki doğrultu üzerindedir.(şekil 1.8.4)

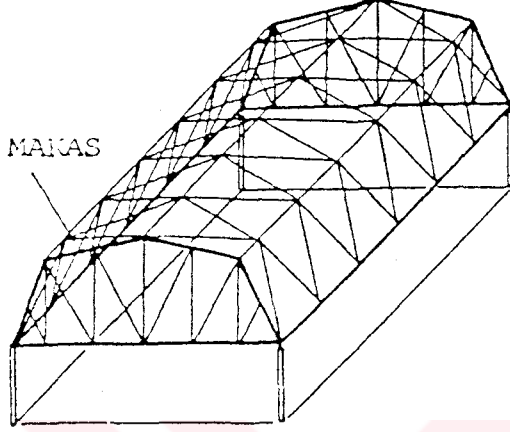


Şekil 1.8.3

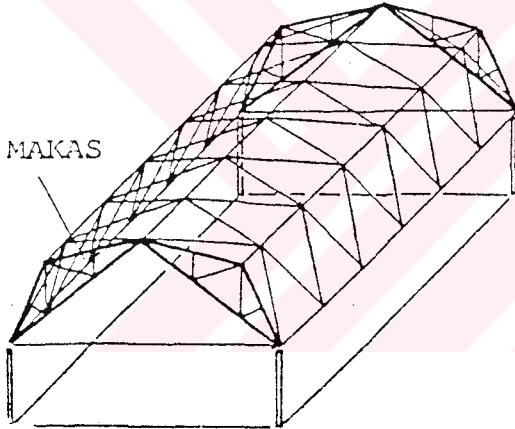


Şekil 1.8.4 -Yükler karşısında biçim bozulmaları

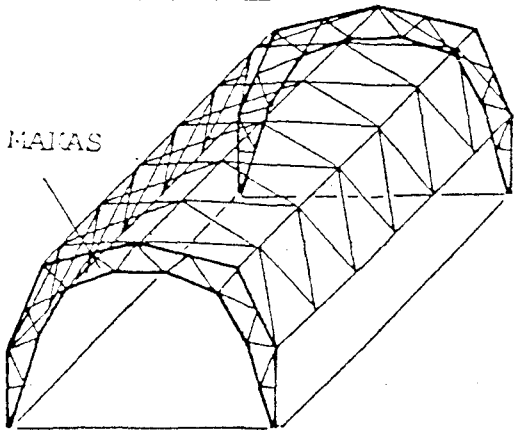
Sistemin rijit duruma gelebilmesi için mekanın diğer kenarlarının üzerinde de mesnetlerin oluşturulması, yani mekanda her iki doğrultu üzerinde mesnetlenme gerekmektedir. Bu amaçla mekanın diğer kenarları üzerinde mesnet işlevinde makas adı verilen öğeler kullanılmaktadır. Şekil 1.8.5' de çeşitli makaslarla rijit duruma getirilmiş tonozsal uzay kafes taşıyıcı sistemler görülmektedir.



DESTEKLENEN ÇELİK MAKASLAR

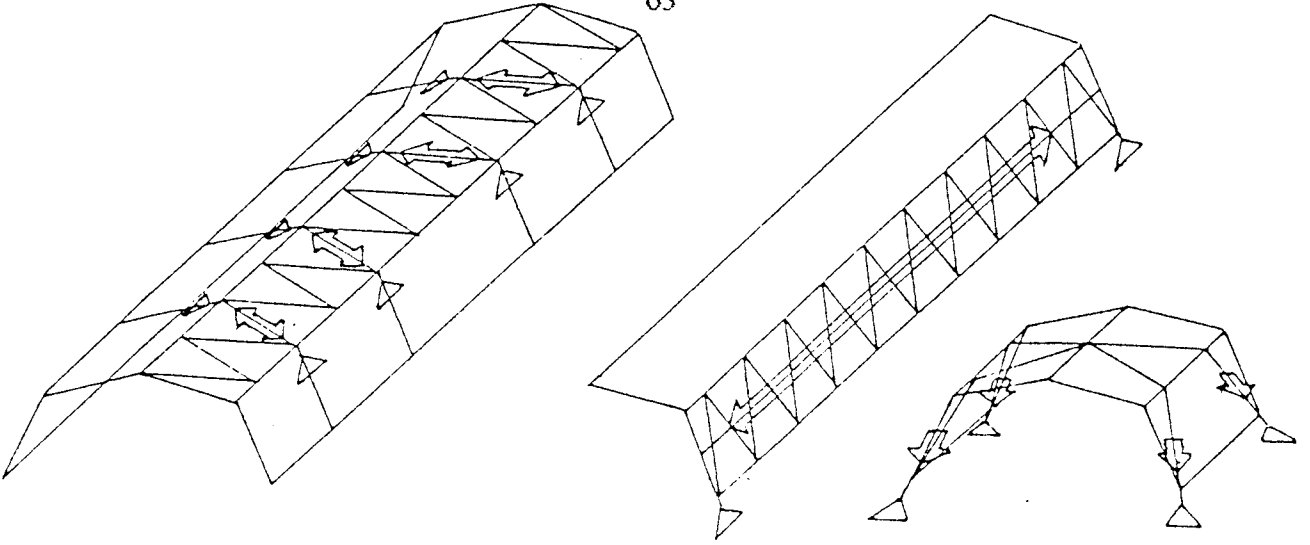


ÜÇ YÜKSEKLİKTEKİ ÇERÇEVENİN  
DESTEKLENEREK TEMELE OTUR-  
MASI



ÇELİK MAKASLARIN TEMELE OTUR-  
MASI

Şekil 1.8.5

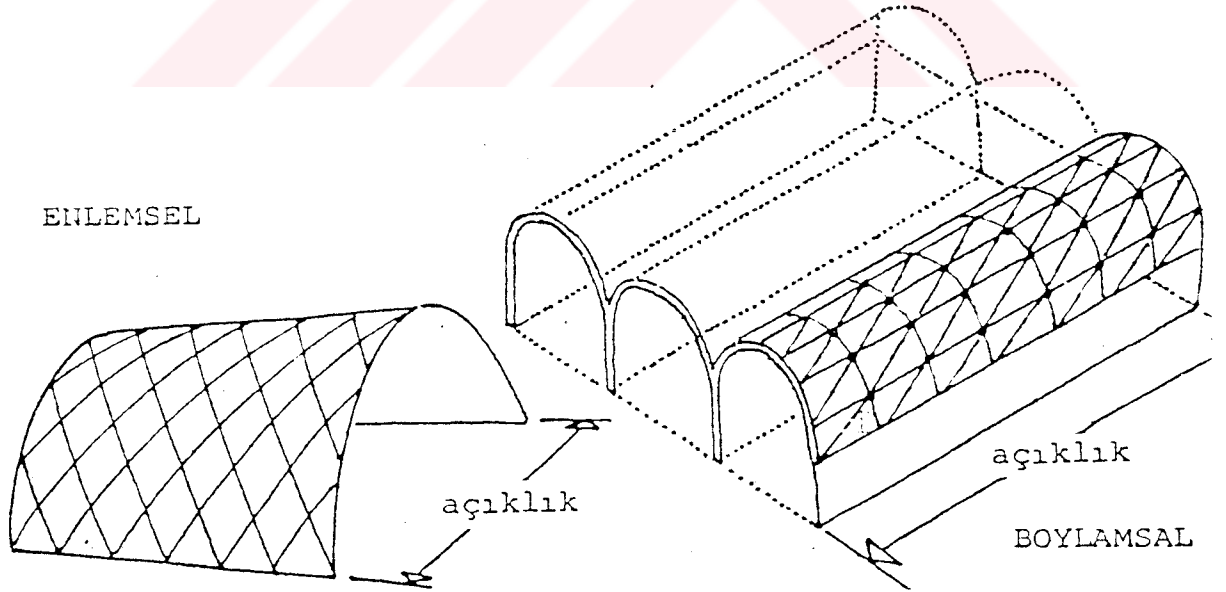


Şekil 1.8.6 -Tonzsal uzay kafes taşıyıcılarda yüklerin aktarılması

Tonzsal uzay kafes taşıyıcılar dengeli yükler altında çok iyi performans gösterirler. Fakat yükleme asimetrik olduğunda bölgesel moment artışları ve sehimler oluşur.

Sistem açıklıkları enlemsel ve boylamsal olarak geçilebilir.Boylamsal ve enlemsel geçişte çalışmalar farklıdır.Boylamsal geçişte örtünün boyu uzayıp eni daralmaktadır. Enlemsel geçişte ise örtünün eni uzayıp boyu kısalmaktadır.(şekil 1.8.7)

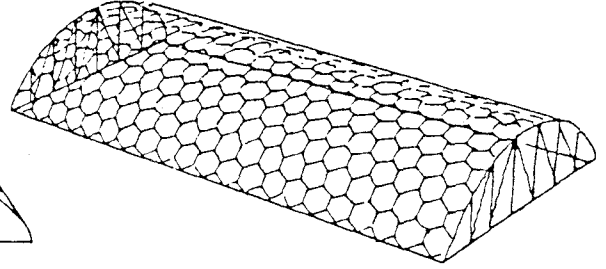
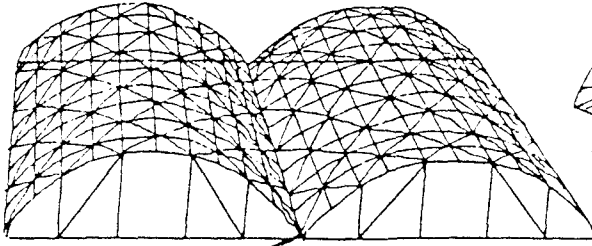
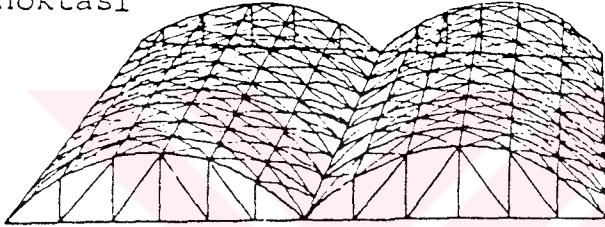
Mekanlar tek bir tonozla örtülebildiği gibi gereğinde iki veya daha fazla tonozla örtülebilir.(şekil 1.8.8)



Şekil 1.8.7 Tonzsal uzay kafes taşıyıcı sistem ile enlemsel ve boylamsal mekan örtülmesi

iki makaslı

tek makaslı

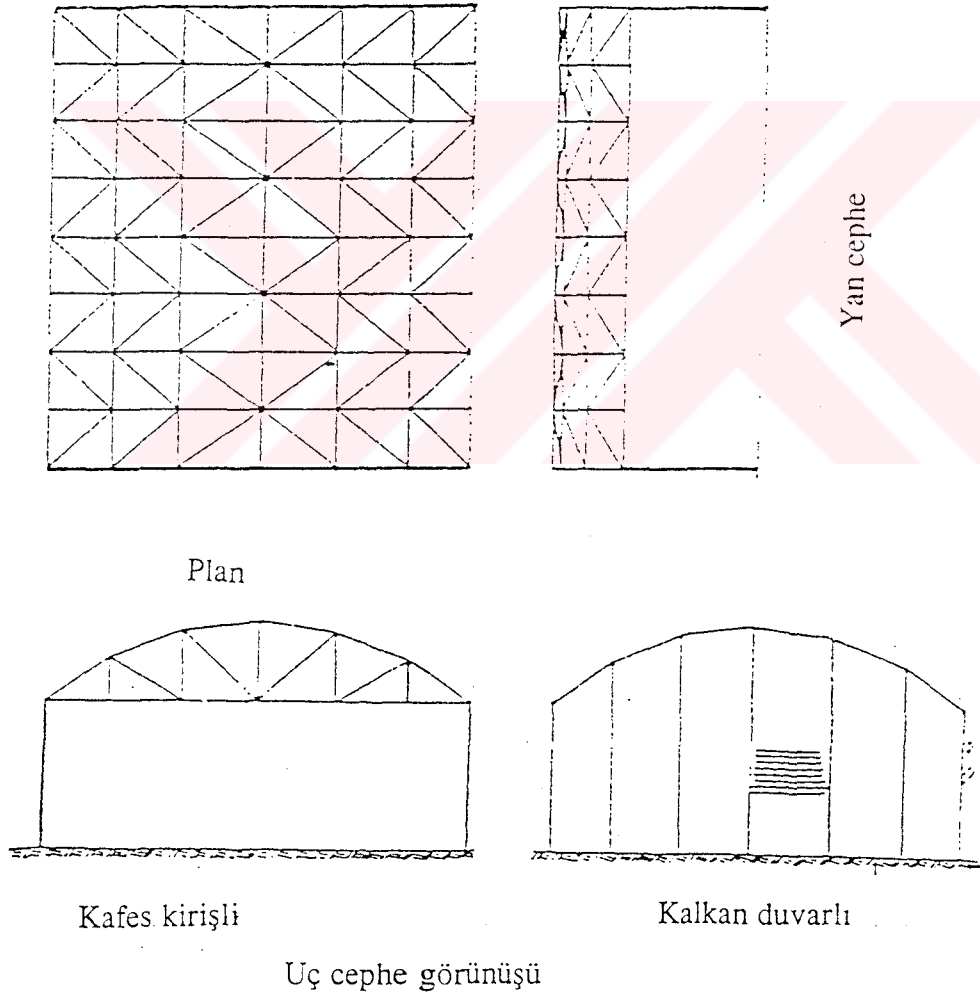
makas birleşme  
noktası

Şekil 1.8.8 -Tonozsal uzay kafes taşıyıcı sistemde tek veya çift makasla  
mekan örtülmesi

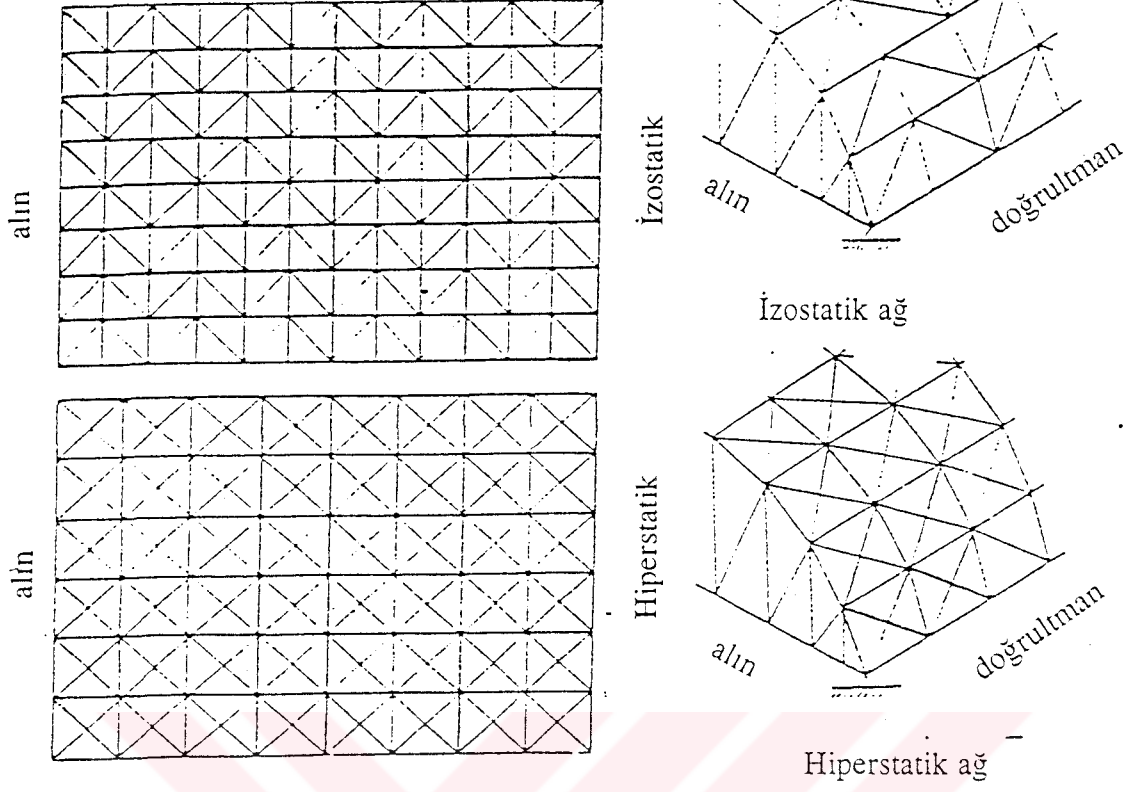
## 1.8.2) TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES SİSTEM TÜRLERİ

### a) Föppl ağ kabuklar (Şekil 1.8.9 - 1.8.10 - 1.8.11 - 1.8.12)

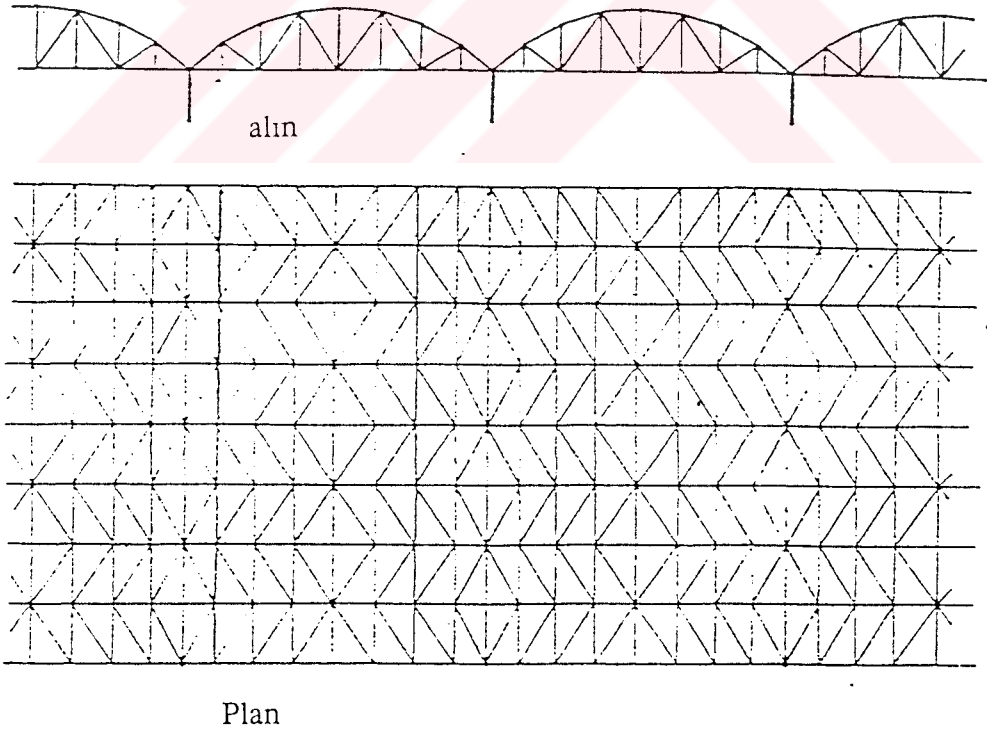
Enkesit olarak belirli bir eğri seçilir. Düğüm noktaları bu eğri üzerinde olmak şartıyla düzlem kafes sistemlerin birleştirilmesiyle yani, birinin üst başlığı diğerinin alt başlığı olacak şekilde bağlanmasıyla oluşur. İzostatik ve hiperstatik olmak üzere iki tipi vardır. İzostatik ağ kabukta aralara çekme çubukları bulunduğu hiperstatik ağ kabuk elde edilir. Sisteme planda kare veya kareye yakın şekil vermek ekonomiktir. Uygulamalarda birbirine komşu düzlem kafes sistemlerin sayısı 6 ile 10 arasında değişmektedir. Ağ kabuklar yanyana kullanılarak daha fazla açıklıklar geçilebilir.



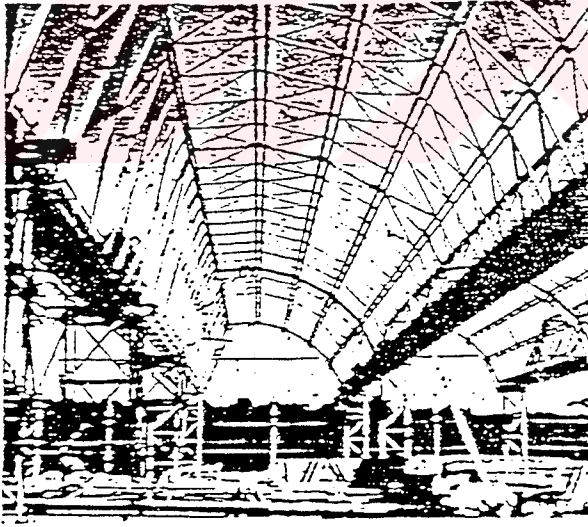
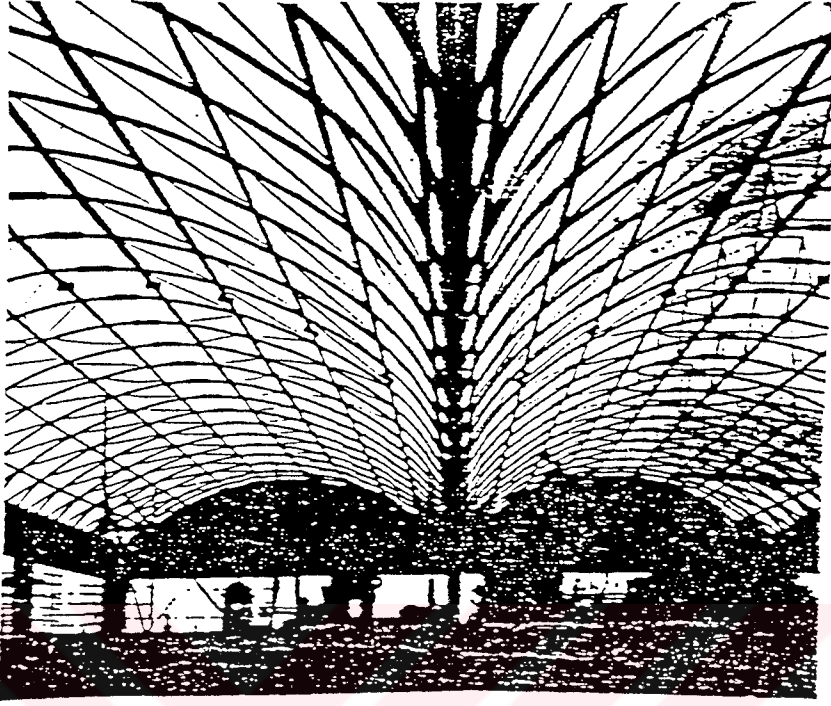
Şekil 1.8.9 Föppl ağ kabukların görünüşleri



Şekil 1.8.10 -Föppl ağ kabukların açılımları ve perspektik görünüşleri



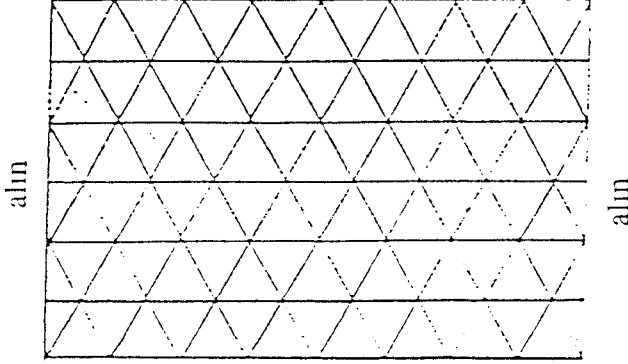
Şekil 1.8.11-Föppl ağ kabukların yan yana kullanılması



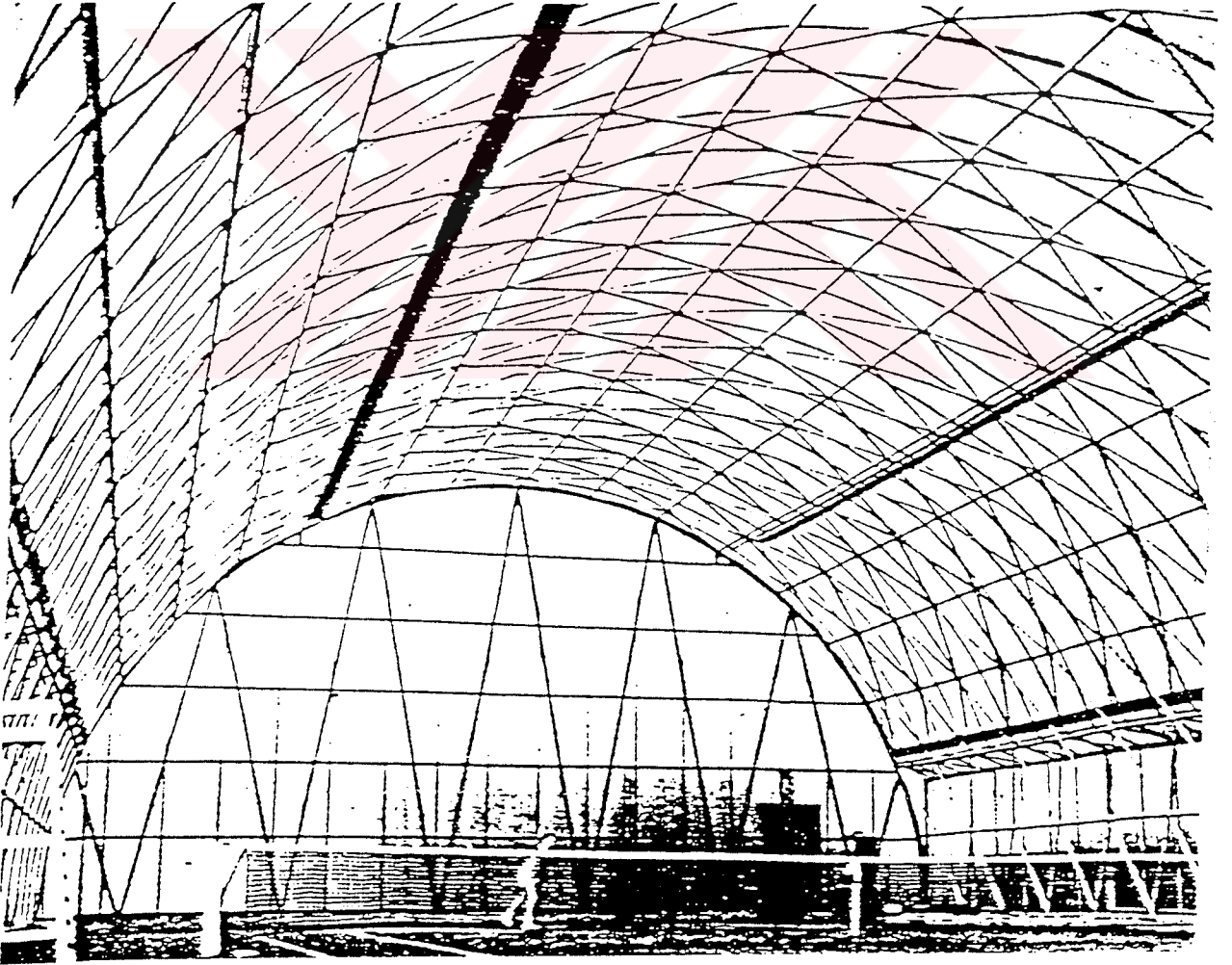
Şekil 1.8.12 -Föppl ağ kabuk örnekleri

b) Üç doğrultulu ağ kabuklar (Şekil 1.8.13 - 1.8.14)

Föppl ağ kabuk sistemin dikmelerinin kaldırılmış haline denir. En büyük avantajı tek bir düğüm noktası tipiyle çözülebilmesidir.



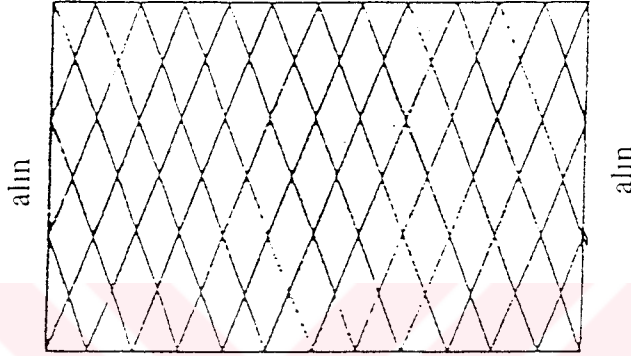
Şekil 1.8.13-Üç Doğrultulu ağ kabuk planı



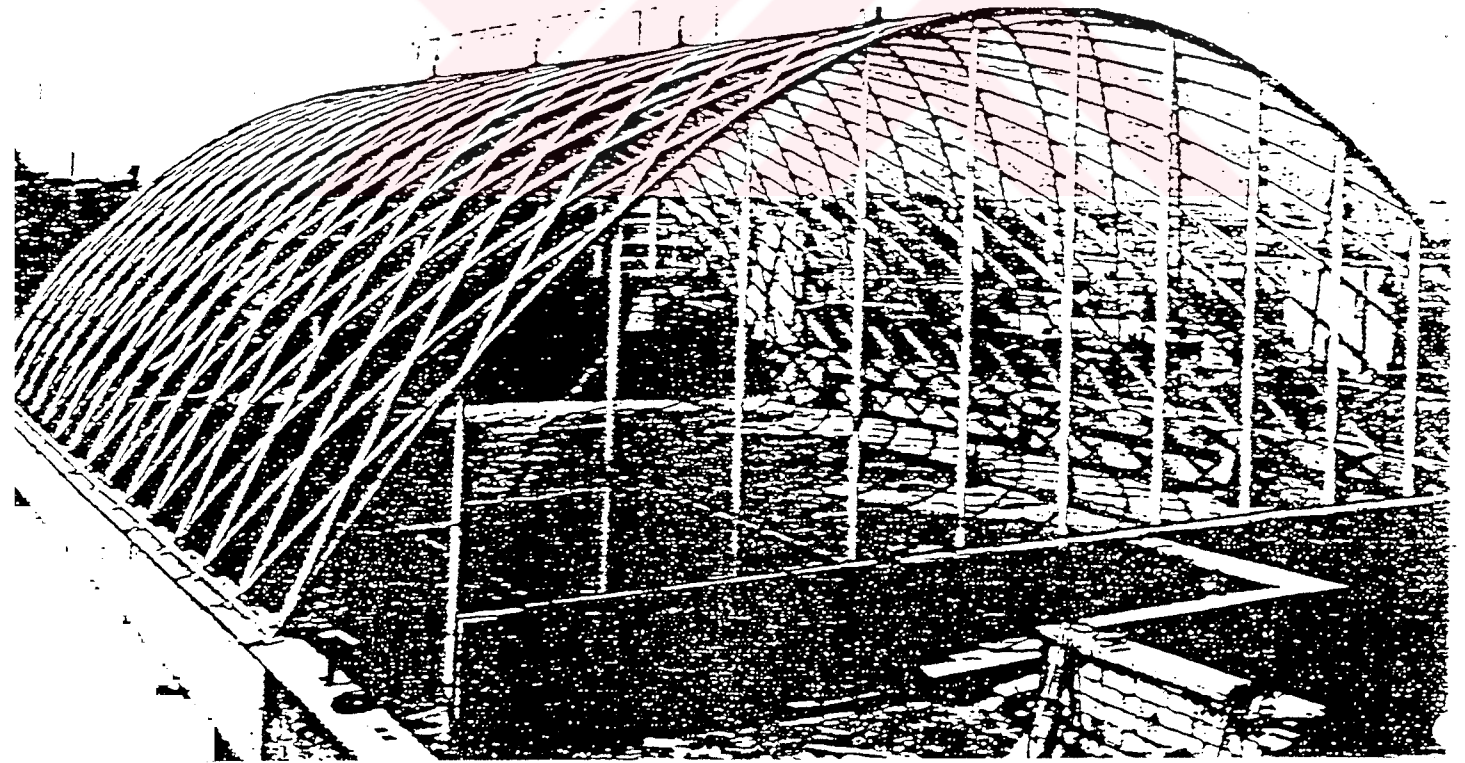
Şekil 1.8.14- Üç Doğrultulu ağ kabuk uygulaması

c) Baklava tipi ağ kabuklar (Şekil 1.8.15 - 1.8.16)

Diğerlerinden farkı doğrultman şeklindeki elemanlarının olmayışıdır. Baklava tip ağ kabuklarda verev giden çubukların, boykesitte bakıldığında zeminle yaptığı açı küçük olmamalıdır, yani yatık olmamalıdır. Eğer aksi söz konusu olursa çubuklar itkileri bir uçta zemine verirken, diğer uçta alın elemanına verir. Bu itkilerin bileşkesi de alın elemanını açmaya zorlar ki bu durumda alın elemanı çok rijit yapılmalıdır veya bu itkileri absorbe edecek başka önlemler alınmalıdır.



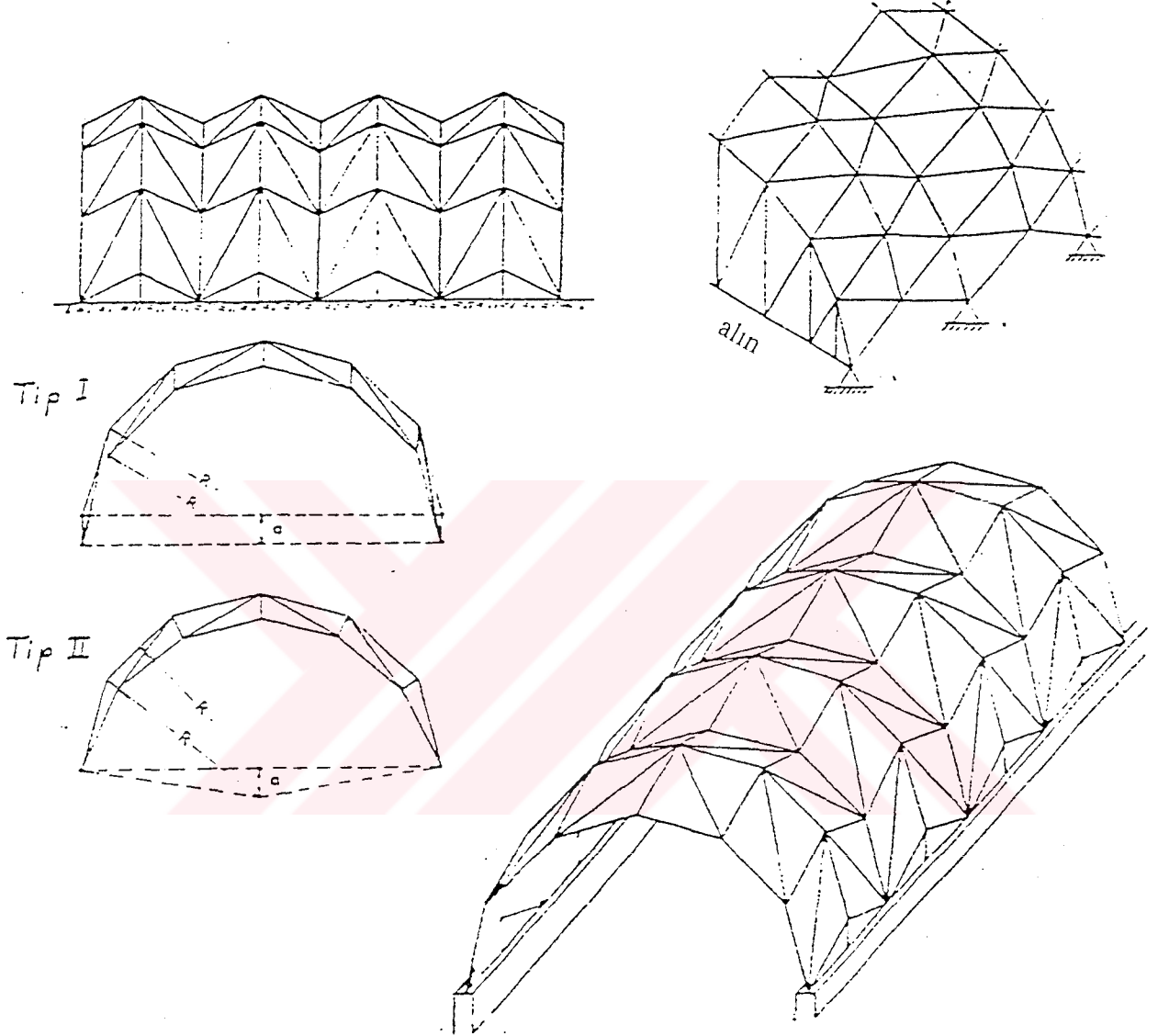
Şekil 1.8.15- Baklava ağ kabuk planı



Şekil 1.8.16- Baklava ağ kabuk uygulaması

d) Enine katlanmış ağ kabuklar (Şekil 1.8.17)

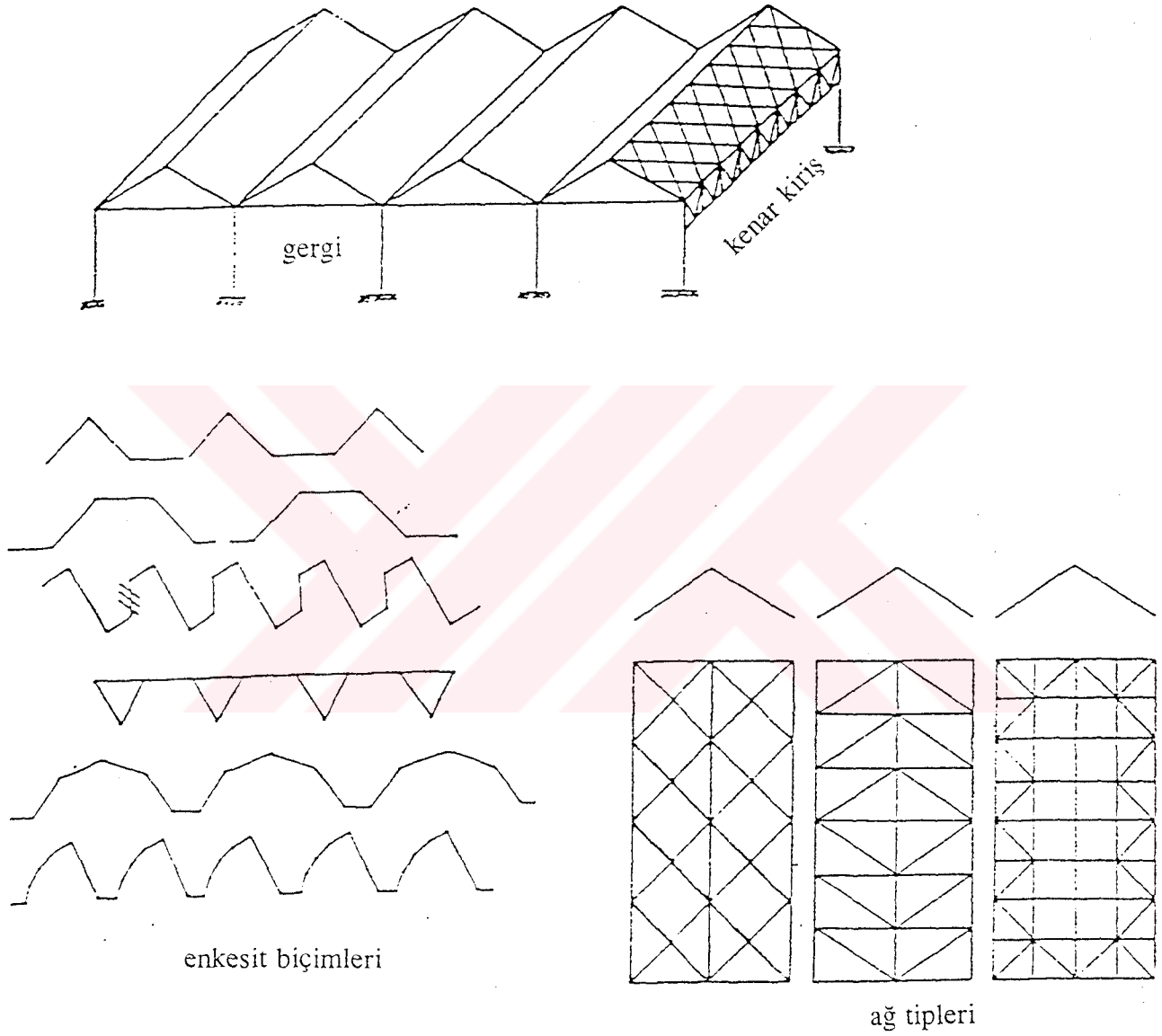
Montaj açısından oldukça zor bir tiptir. Boyuna nervürlerle stabilitesi artırılabilir.



Şekil 1.8.17-Enine katlanmış ağ kabuk görüşleri

e) Boyuna katlanmış ağ kabuklar (Şekil 1.8.18)

Föppl ve diğer ağ kabukların değişik bir uygulaması olarak düşünülebilir. Ağ tipleri değişik olabilir. Sık kolon kullanılıyorsa alın elemanı olarak gergi kullanılabilir. En son elemanlarda kenar kirişi olmalıdır.



Şekil 1.8.18-Boyuna katlanmış ağ kabuk görünüşleri

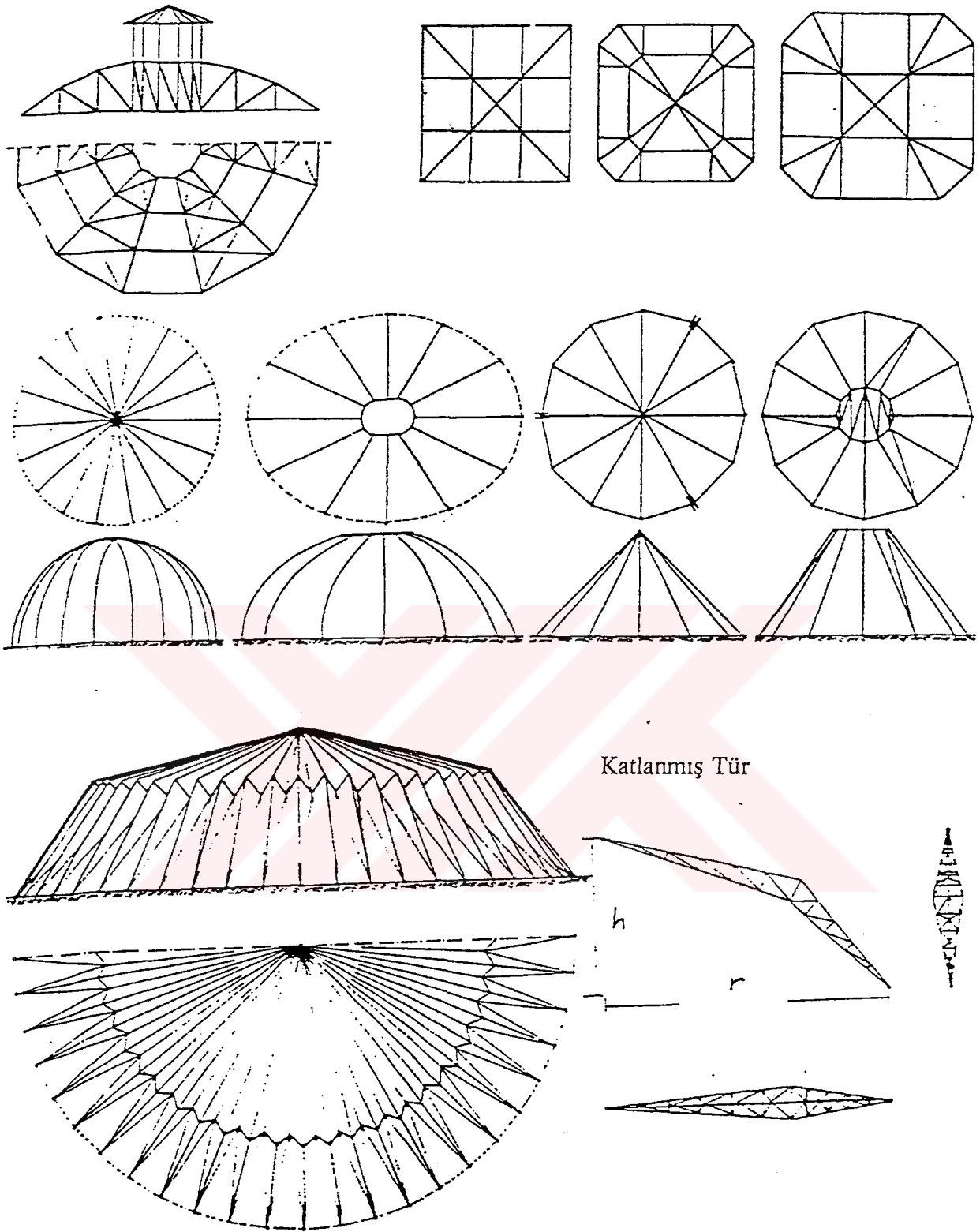
## 1.9) ÇİFT EĞRİLİKLİ (KUBBESEL)UZAY KAFES TAŞIYICI SİSTEMLER

Kubbesel uzay kafes taşıyıcı sistemler yükleri mekan içinde yönlendirerek zemine aktarılmasına olanak veren ve sadece basınca çalışan son derece hafif taşıyıcı sistemlerdir. Büyük açıklıkların örtülmesine önemli ölçüde gereçten ekonomi sağlar. Bu tür taşıyıcı sistemlerde çubukların düğüm noktaları çok duyarlı ve karmaşık kısımlardır. Maliyeti büyük ölçüde artırırlar. Üçgen, kare, çokgen ve dairesel alanların örtülmesinde bu sistemler yeğlenmektedir. Kubbesel sistemlerin kullanım alanları olarak konser salonları, stadyumlar, kapalı spor salonları ve büyük sergi pavyonları v.b. yapılar sayılabilir.

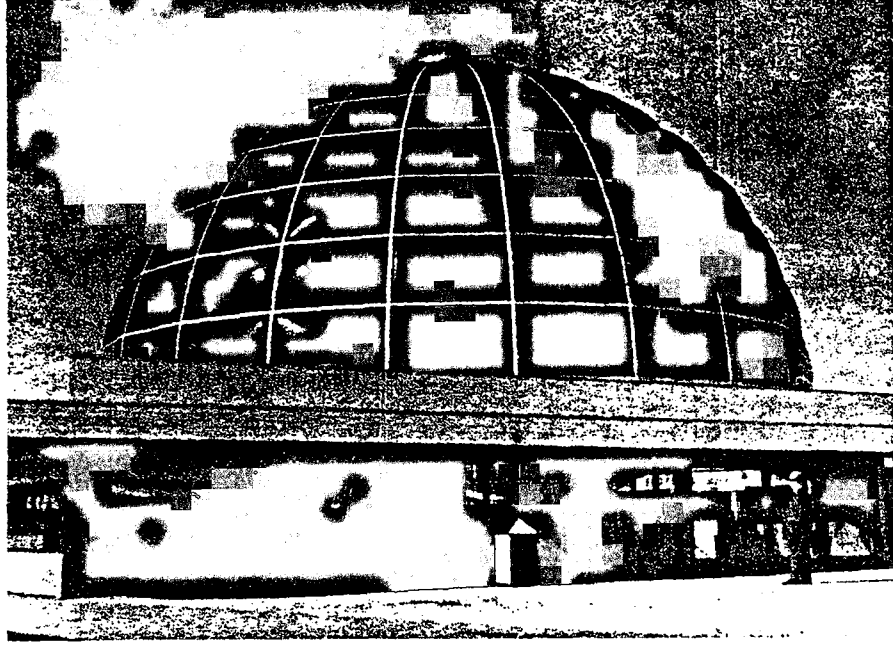
### 1.9.1) DÜĞÜM NOKTALARI MAFSALLI SİSTEMLER

#### a) Radyal nervürlü kubbeler (Şekil 1.9.1 - 1.9.2 - 1.9.3)

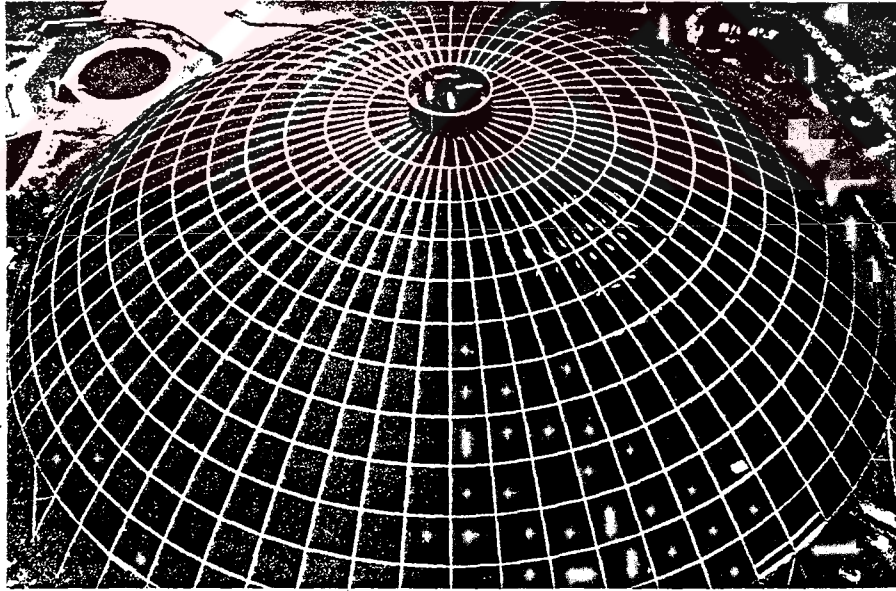
Planda bakıldığında örümcek ağına benzer. Ortada bir basınç çemberi en altta ise sistemin stabilitesini sağlamak için çekme çemberi vardır. Bütün nervürler bu basınç çemberine mesnetlenir. Küçük açıklıklarda nervürler tek bir profille yapılabilirken, açıklık büyüdükçe eğrisel düzlem kafes sistemler kullanılır. Nervürler basınç çemberinden ışınsal olarak uzanır. Kayıcı mesnetlerle sistem izostatik hale getirilebilir. Kayıcı mesnetler daima radyal doğrultuda olmalıdır, böylece ısı genişlemesinden oluşacak iç gerilmelerin önüne geçilmiş olur. Mutlaka dairesel alan örtmeşi gerekmez, değişik alanları da (elips, kare, dikdörtgen ve diğer çokgenler) örtmekte kullanılabilir. Koni, kesik koni, kesik piramit formları elde edilebilir.



Şekil 1.9.1-Radyal Nervürlü Kubbe türleri



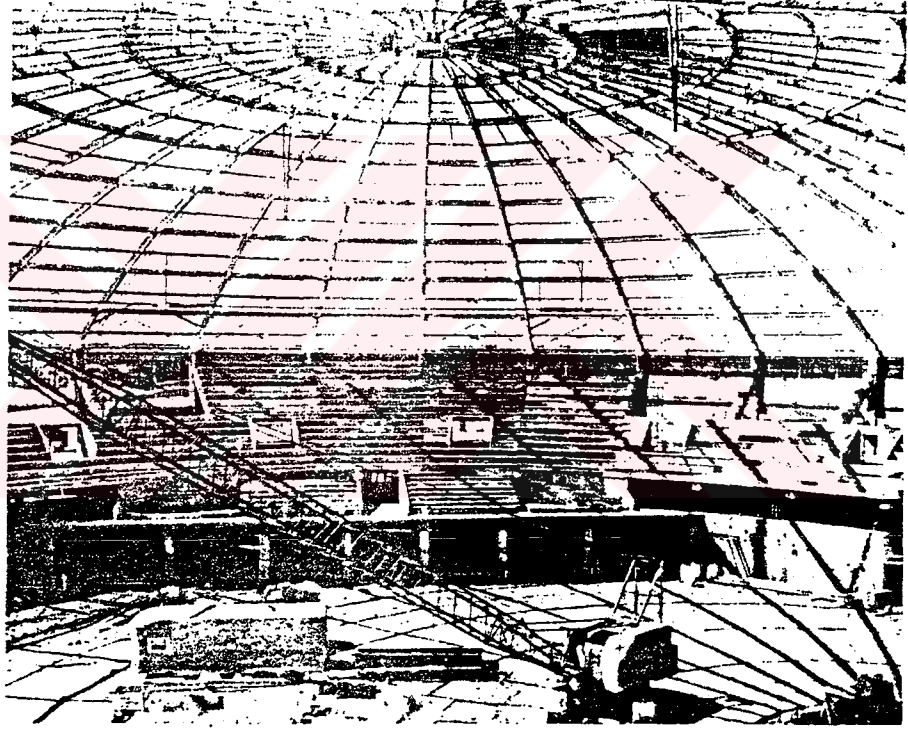
Şekil 1.9.2 -Blackpool 'da Astro-Swirl üstünü örten radyal nervürlü kubbenin dış görünüşü



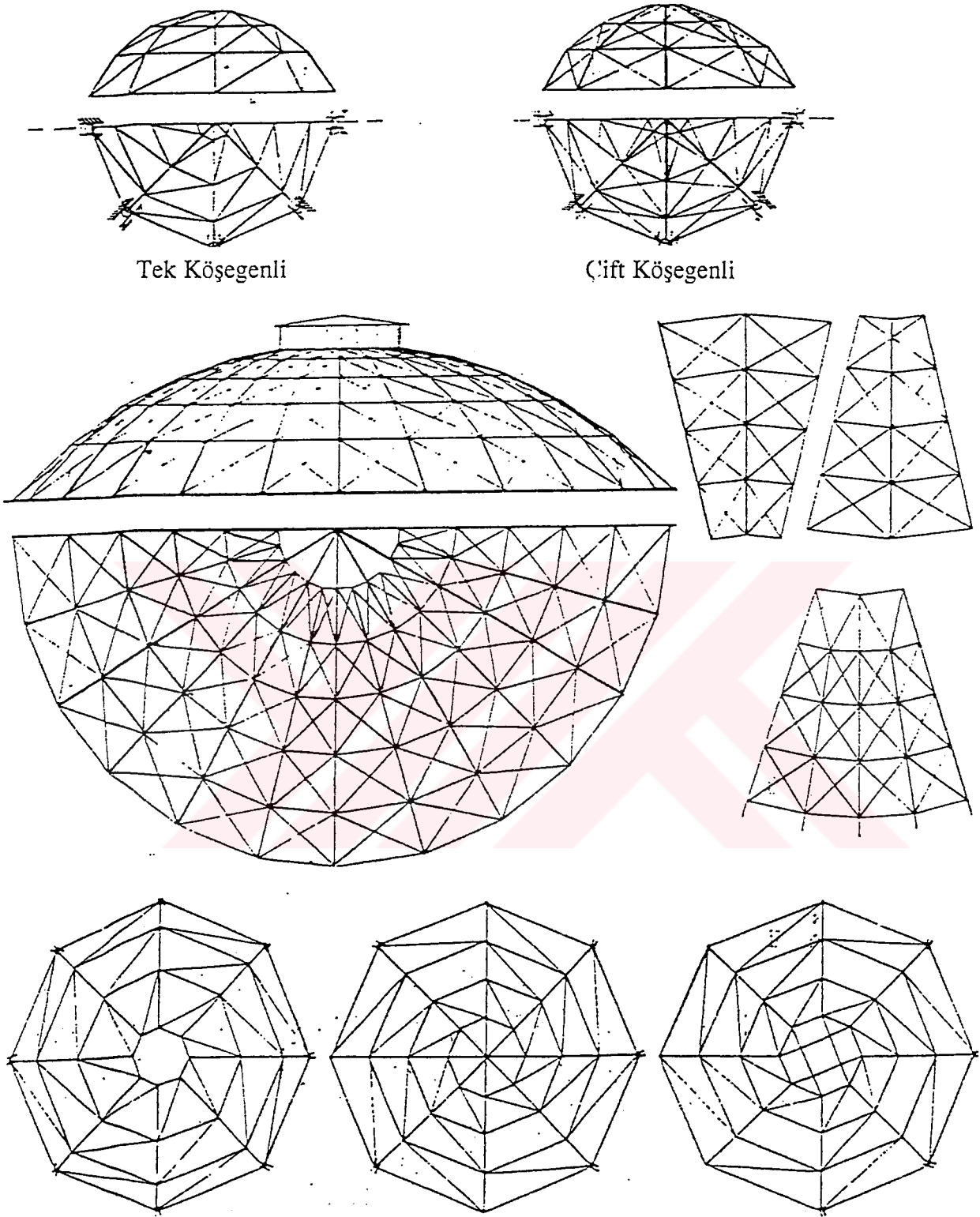
Şekil 1.9.3 - Rodos'taki Rodos Palace Otel'inin üstünü örten net açıklığı 61 m olan radyal nervürlü kubbenin dış görünüşü

**b) Schwedler kubbeler (Şekil 1.9.4 - 1.9.5 - 1.9.6)**

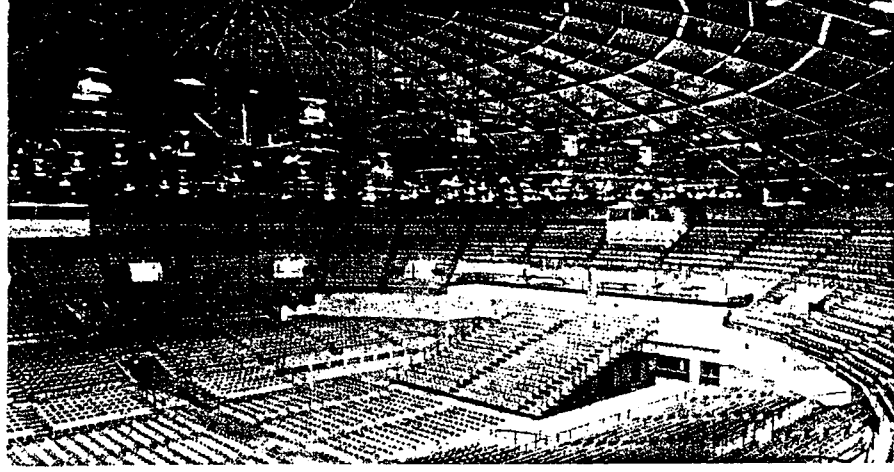
Başlıca özelliği bütün bölgelerinde bir üçgenlemenin olmasıdır. Enlemlerle boylamlar arasını diyagonellerle ören sistemdir. Bazen çift diyagonal kullanılır. Bunlar gergi çubukları( kablo) olabilir. Bu bağlama şekli son derece rijit, fakat hesabı son derece zor bir sistemdir. Kubbenin yukarılarına doğru sıkışmayı önlemek için diyagoneller seyreltilir veya kaldırılır. Radyal nervürlü kubbelerde olduğu gibi radyal doğrultuda yapılan kayıcı mesnetlerle ısı değişimlerinden meydana gelebilecek iç gerilmelerin önüne geçilir.



Şekil 1.9.4 -A.B.D. Dane County üstünü örten Schwedler kubbe



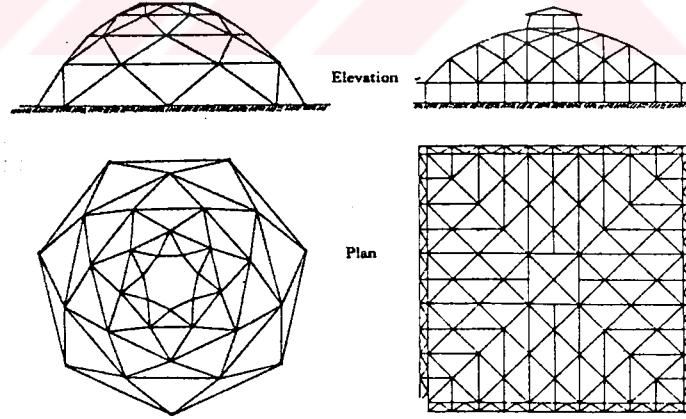
Şekil 1.9.5 -Schwedler Kubbelerin plan ve görünüşleri



Şekil 1.9.6- A.B.D. Kuzey Carolina'daki Charlotte Coliseum 'u örten  
Schwedler kubbe

c) Föppl kubbeler (Şekil 1.9.7)

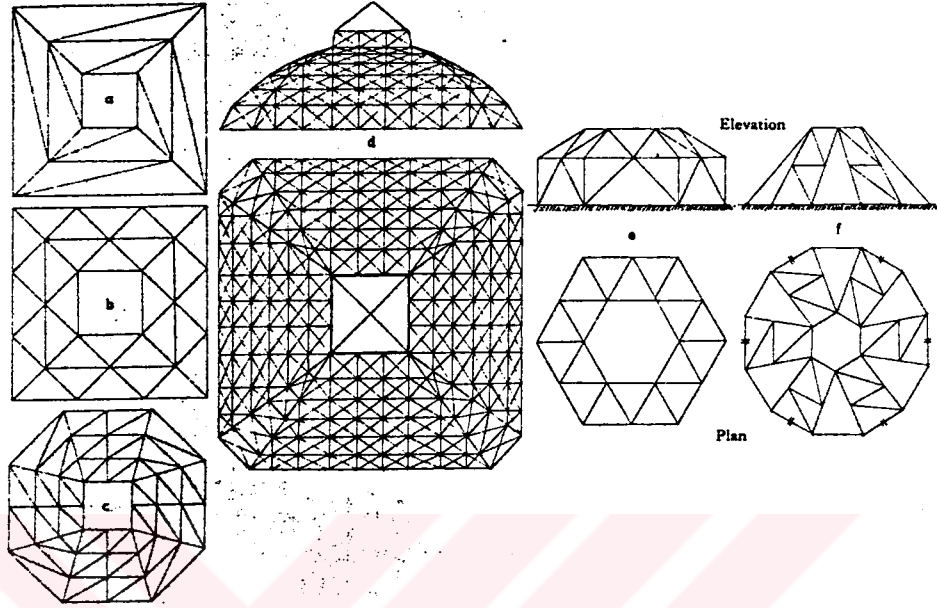
Çift diyagonelli schwedler kubbelerde boylamların kaldırılmasıyla elde edilmiş sistemdir. Görünüşü enteresandır



Şekil 1.9.7- Föppl Kubbelerin plan ve görüşleri

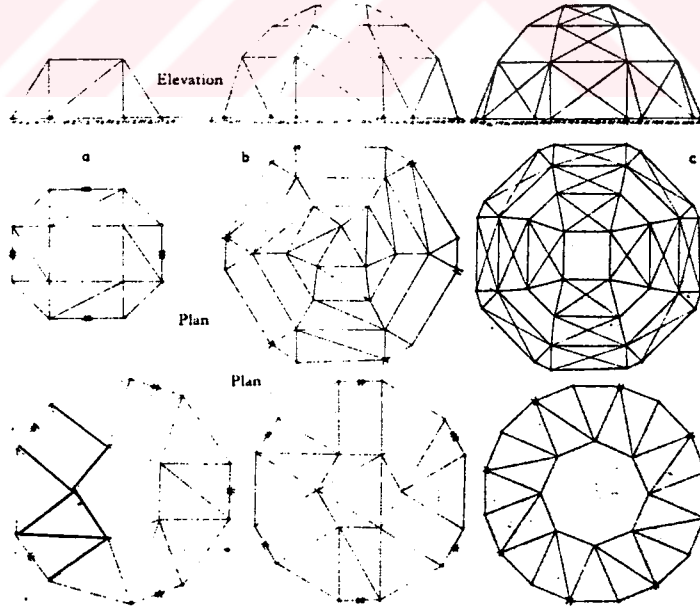
d) Schlink kubbeler (Şekil 1.9.8)

Özelliği kimi zaman trapez düzlem, kimi zaman ortogonal üçgen düzlemlerle oluşturulmasıdır. En büyük dezavantajı bütün düğüm noktalarının farklı olmasıdır.



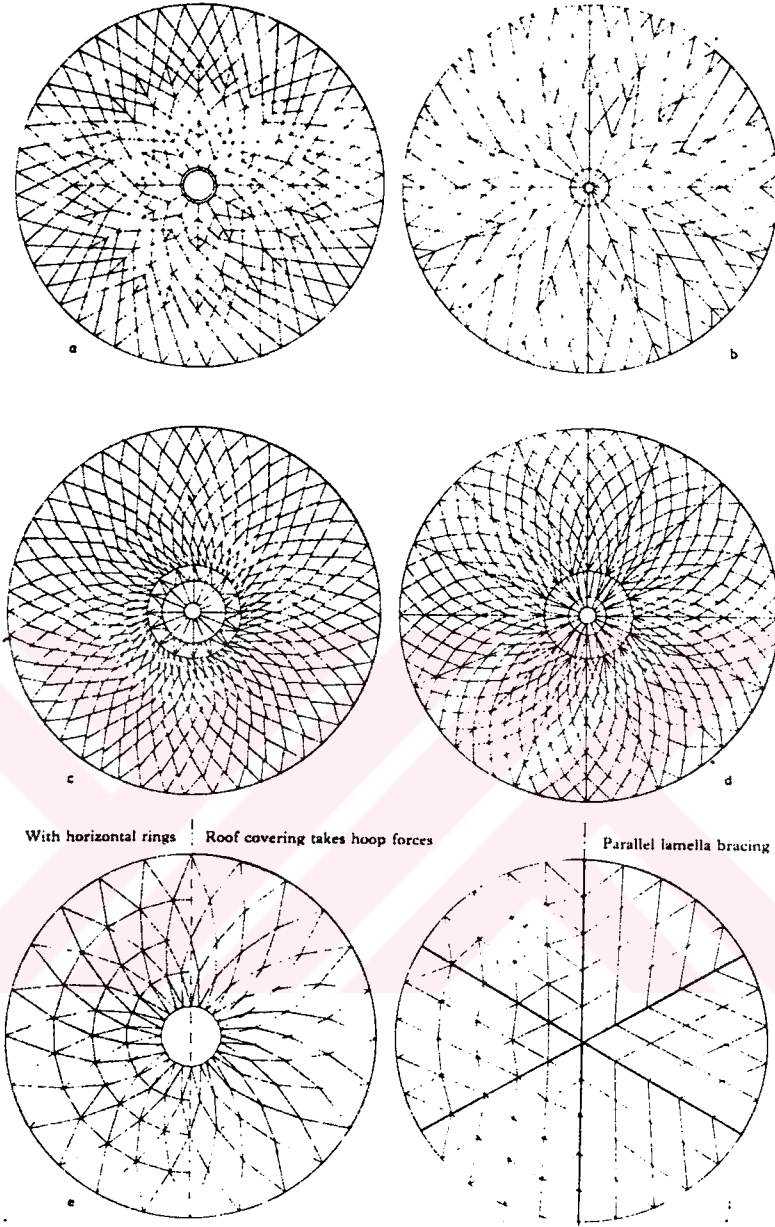
Şekil 1.9.8- Schlink Kubbelerin plan ve görünüşleri

e) Zimmerman Kubbeler (Şekil 1.9.9)

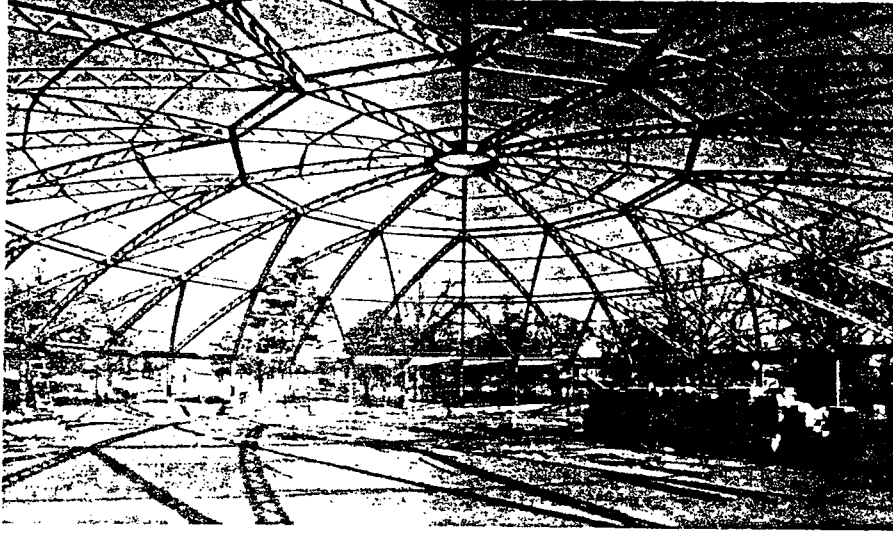


Şekil 1.9.9 - Zimmerman Kubbelerin plan ve görünüşleri

## e) Baklava Kubbeler (Şekil 1.9.10 - 1.9.11)



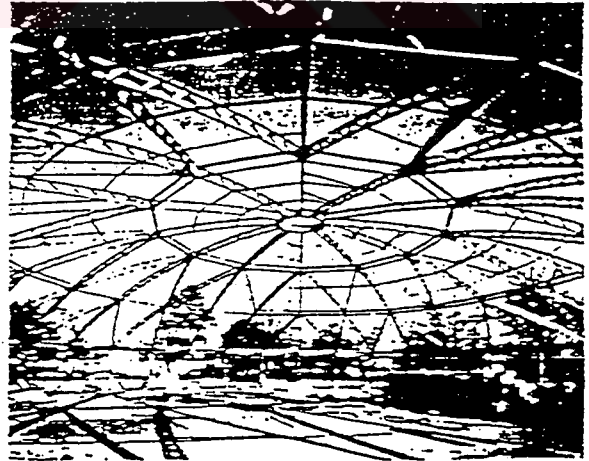
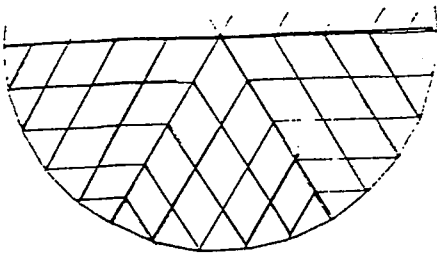
Şekil 1.9.10 - Baklava Kubbelerin plan ve görünüşleri



1.9.11-A.B.D. Arkansas Little Rock 'taki Armory Binasını örten Baklava Kubbe

f) Kiewitt Kubbeler (Şekil 1.9.12)

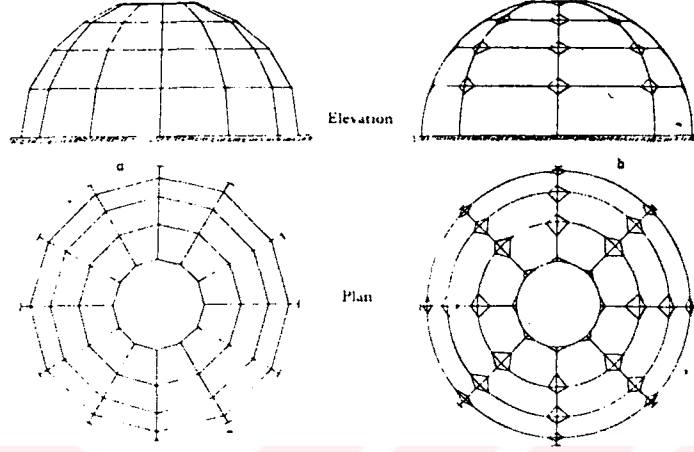
Radyal kubbelerle, Baklava kubbelerin karması bir sistemdir.



1.9.12 -Kiewitt kubbelerin plan ve görünüşü

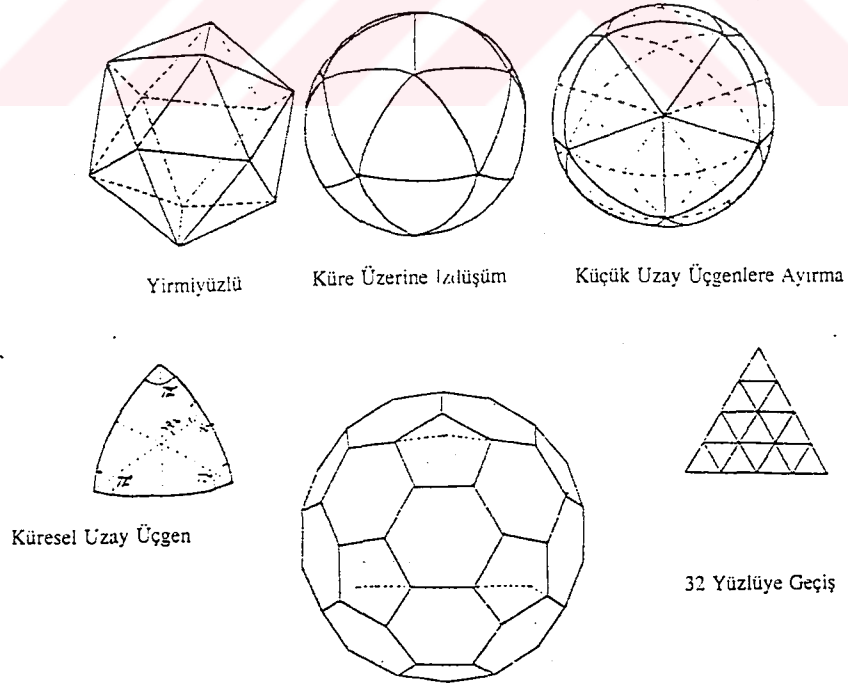
## 1.9.2 ) RİJİT DÜĞÜM NOKTALI SİSTEMLER

### a)Boylam ve Enlemlili Yüksek Kubbeler (Şekil 1.9.13)



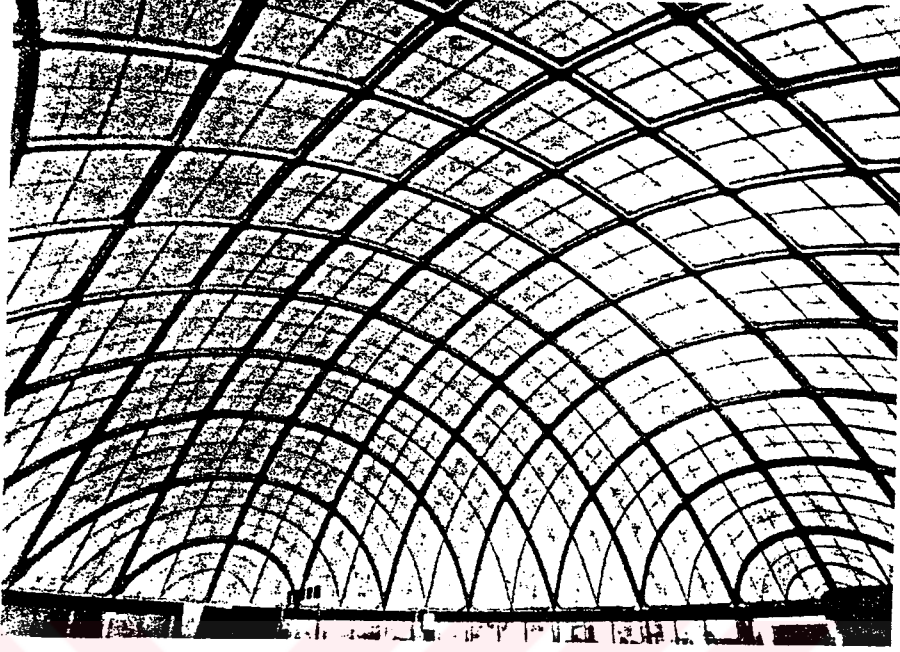
1.9.13- Boylam ve Enlemlili Yüksek Kubbelerin plan ve görünüşleri

### b)Fuller veya Jeodezik Kubbeler (Şekil 1.9.14)

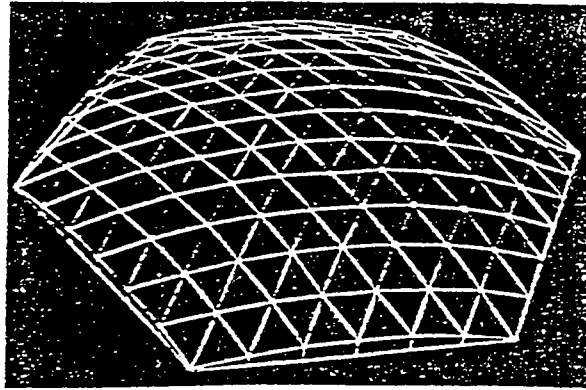
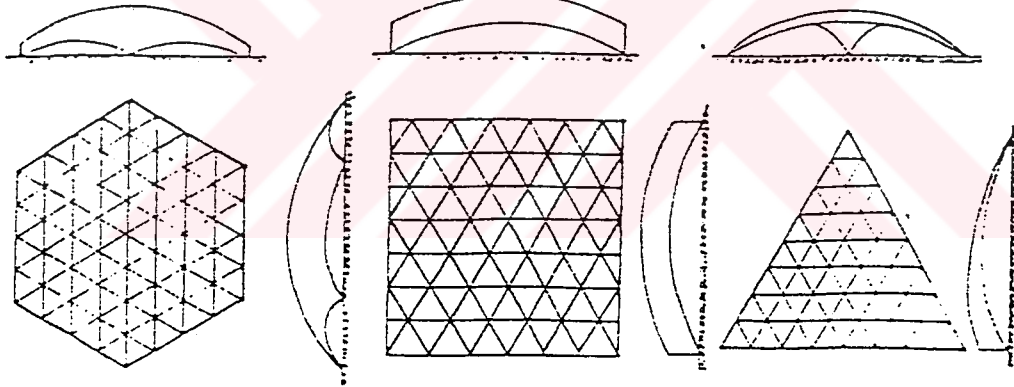


Şekil 1.9.14- Jeodezik Kubbeler

## c) Izgara Kubbeler (Şekil 1.9.15 - 1.9.16)



Şekil 1.9.15 - İki Doğrultulu, Izgara Kubbeler



Şekil 1.9.16 - Üç Doğrultulu Izgara Kubbeler

## 2.0) UZAY KAFES TAŞIYICILARIN HESAP METODLARI

Uzay kafes taşıyıcı sistemlerin yüksek hiperstatiklik derecesi ve büyük sayıda düğüm noktaları göz önüne alınırsa, hiperstatik sistemlerin geleneksel hesap yöntemlerinin elektronik bilgisayarlara başvurulmadan kullanılamayacağı anlaşılır. Uzay kafes sistemlerin çözümünde en genel olarak matris-kuvvet , matris-deplasman ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanılır. Statik hesaplarda göz önüne alınması gereken yük kriterleri şunlardır:

- a) Zati yük
  - Uzay kafes sistem
  - Aşık sistemi
  - Kaplama
- b) Hareketli yük
- c) Servis yükleri
  - Aydınlatma
  - Havalandırma
  - Temizlik
  - Kedi yolları
  - Asma tavanlar
  - Tesisat yükleri
  - Noktasal konsantre yükler
- d) Kar yükü
- e) Rüzgar yükü
- f) Deprem etkisi
- g) Sıcaklık etkisi

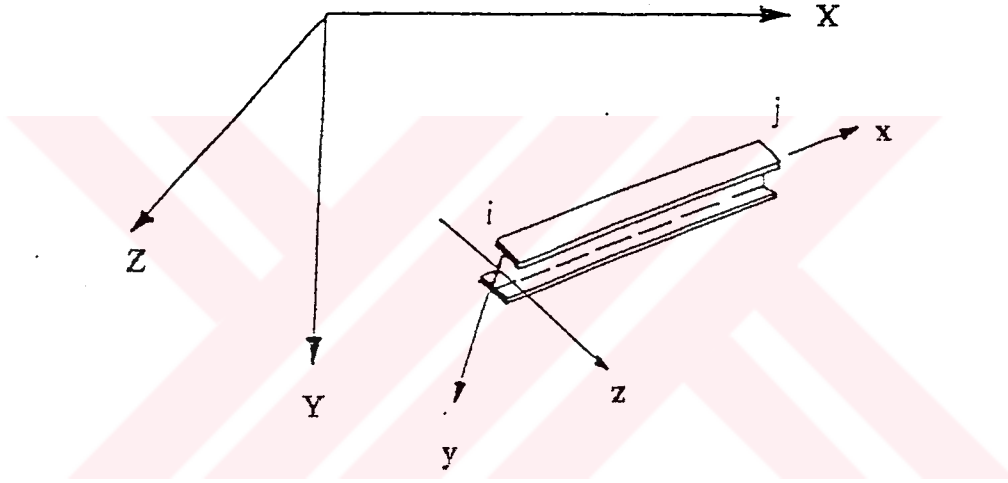
Bu bölümde matris-deplasman ve sonlu elemanlar yöntemleri hakkında bilgi verilecektir.

## 2.1)MATRİS-DEPLASMAN METODU

Hesaplarda

- Şekil değiştirmelerin elastik oldukları,
- Çubukların prizmatik ve simetrik enkesitli oldukları,
- Dış kuvvetlerin düğüm noktalarına uygulandıkları varsayımları yapılır.

Kafes taşıyıcı sistem, sağ el türü bir XYZ eksen takımına bağlanır.(şekil 2.1.1) Ayrıca i-j çubuğu için, benzer yönlendirilmiş bir XYZ yerel eksen takımı tanımlanır.X eksenini çubuk enkesitinin asal eksenleri doğrudur.



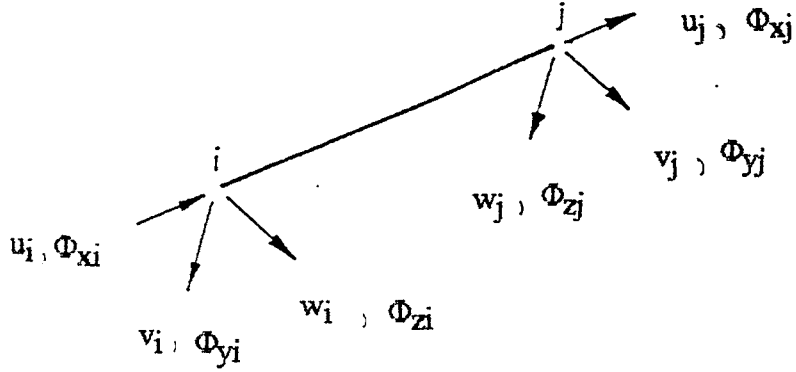
Şekil 2.1.1-Genel ve Yerel Eksen Takımları

### 2.1.1 ) RİJİT DÜĞÜM NOKTALI SİSTEMLER

a)Yerdeğiştirmeler vektörü (Şekil 2.1.2) : Her i-j çubuğu için, yerel eksen takımında bir (d ij ) yerdeğiştirmeler vektörü tanımlanabilir.Şöyle ki:

$$[d_{ij}]^t = [u_i \ v_i \ w_i \ \phi_{xi} \ \phi_{yi} \ \phi_{zi} \ u_j \ v_j \ w_j \ \phi_{xj} \ \phi_{yj} \ \phi_{zj}] \quad (2.1.1.1)$$

Burada u,v,w sırasıyla uçlarda x,y,z eksenlerine paralel ötelenmeleri ve  $\phi$  uçlarda aynı eksenler çevresindeki dönmeleri göstermektedir.

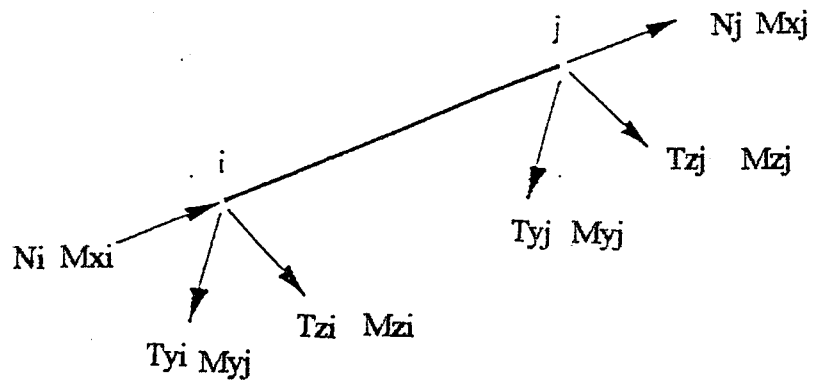


Şekil 2.1.2-( $d_{ij}$ ) Yerdeğiştirmeleri

b) Zorlar Vektörü (Şekil 2.1.3) :Her i-j çubuğu için, yerel eksen takımında bir  $F_{ij}$  zorlar vektörü tanımlanabilir. Şöyle ki :

$$[F_{ij}]^t = [N_i \ T_{yi} \ T_{zi} \ M_{xi} \ M_{yi} \ M_{zi} \ N_j \ T_{yj} \ T_{zj} \ M_{xj} \ M_{yj} \ M_{zj}] \quad (2.1.1.2)$$

Burada N ve T, düğümlerde çubuk uçlarına uygulanan kuvvetlerin eksenlere paralel bileşenlerini, M bu kuvvetlerin aynı eksenlere göre momentlerini göstermektedir.



Şekil 2.1.3 -( $F_{ij}$ ) Zorları

c) Rijitlik Matrisi : Fij vektörü dij vektörüne

$$[F_{ij}] = [K_{ij}] \cdot [d_{ij}] \quad (2.1.1.3)$$

biçiminde bir bağıntıyla bağlıdır.  $(K_{ij})$ , i-j çubuğunun yerel eksen takımındaki rijitlik matrisidir. Yapıların geleneksel mukavemet bağıntılarından

$$[K_{ij}] = \begin{bmatrix} a & b & -a & b \\ c & d & -c & e \\ -a & -b & a & -b \\ c & e & -c & d \end{bmatrix} \quad (2.1.1.4)$$

yazılabilir. a,b,c,d,e alt-matrisleri doğru eksenli kirişlerin elastik özelliklerinden belirlidir.

A : i-j çubuğunun enkesit alanını,

$I_x$  : Bu kesitin x eksenine göre eylemsizlik momentini,

$I_y$  : aynı kesitin y eksenine göre eylemsizlik momentini,

$G_i b$  : çubuğun burulma rijidliğini,

l : çubuğun boyunu

göstermek üzere bu alt matrisler

$$a = \begin{bmatrix} EA/l & 0 & 0 \\ 0 & 12EI_y/l^3 & 0 \\ 0 & 0 & 12EI_x/l^3 \end{bmatrix} \quad (2.1.1.4.a)$$

$$b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6EI_y/l^2 \\ 0 & -6EI_x/l^2 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1.1.4.b)$$

$$c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6EI_x/l^2 \\ 0 & 6EI_y/l^2 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1.1.4.c)$$

$$d = \begin{bmatrix} GI_b & 0 & 0 \\ 0 & 4EI_x/l & 0 \\ 0 & 0 & 4EI_y/l \end{bmatrix} \quad (2.1.1.4.d)$$

$$e = \begin{bmatrix} GI_b & 0 & 0 \\ 0 & 2EI_x/l & 0 \\ 0 & 0 & 2EI_y/l \end{bmatrix} \quad (2.1.1.4.e)$$

şeklindedir.

**d) Döndürme Matrisi :** Taşıyıcı sistemin bütünü için, yerel x,y,z eksen takımlarından genel X,Y,Z, eksen takımına geçmek gerekir.

$\lambda$ , çubuğun yerel eksen takımının j eksenini ile ( $j=x,y,z$ ) ile genel eksen takımının arasındaki açının kosinüsü olsun.

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_{xX} & \lambda_{xY} & \lambda_{xZ} \\ \lambda_{yX} & \lambda_{yY} & \lambda_{yZ} \\ \lambda_{zX} & \lambda_{zY} & \lambda_{zZ} \end{bmatrix} \quad (2.1.1.5)$$

$\lambda$  terimleri o şekildedir ki

$$[\lambda]^T = [\lambda]^{-1} \quad (2.1.1.6)$$

Yukarıda tanımlanan yerdeğiştirmelerin ve kesit zorlarının, bu kere genel eksen takımına göre hesaplanmış 12 terimli vektörleri  $d_{IJ}$  ve  $F_{IJ}$  olsunlar.  $\lambda_4$  ile

$$[\lambda_4] = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \quad (2.1.1.7)$$

kare matrisi gösterilsin. Buradan

$$[d_{ij}] = [\lambda_4] \cdot [d_{IJ}] \quad (2.1.1.8)$$

$$[F_{ij}] = [\lambda_4] [F_{IJ}] \quad (2.1.1.9)$$

bağıntıları yazılır.

$$[\lambda_4] \cdot [F_{IJ}] = [K_{ij}] [\lambda_4] \cdot [d_{IJ}] \quad (2.1.1.10)$$

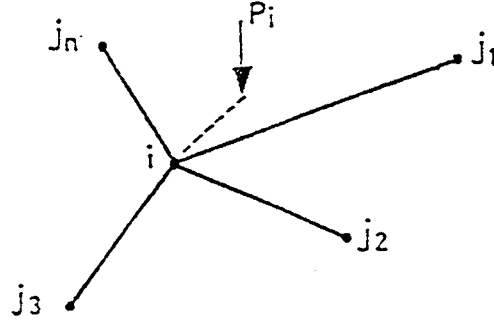
biçimine dönüşür. Bu bağıntının her iki yanıda  $[\lambda_4]^t$  ile çarpıp  $[\lambda]^t = [\lambda]^{-1}$  bağıntısında gözönünde tutularak

$$[F_{IJ}] = [\lambda_4]^t \cdot [K_{ij}] [\lambda_4] \cdot [d_{IJ}] \quad (2.1.1.11)$$

elde edilir.

Bu bağıntı genel eksen takımında,  $i$ - $j$  çubuğunun uçlarına etkiyen kesit zorlarının bileşenlerini, çubuğun yerel eksen takımında tanımlanmış bir rijidlik matrisi ve  $[\lambda]$  döndürme matrisi aracılığıyla, bu uçlardaki yerdeğiştirmelerin fonksiyonu olarak verir.

e) **Düğüm noktalarının dengesi** :Merkezsiz yada dışmerkez  $P_i$  dış yükünün üzerine etkidiği  $i$  düğüm noktası (şekil 2.1.4) kendisinde bileşen çubukların her birinin uyguladığı  $-F_{ij}$  uç zorlarının varlığı dolayısıyla dengededir.



Şekil 2.1.4-  $i$  Düğüm noktasına etkiyen  $P_i$  dış yükü

$P_I$ ,  $P_i$  dış yükünün kuvvet ve moment türü bileşenlerinin genel eksen takımında hesaplanmış 6 terimli vektörü olsun.  $i$  düğüm noktasının denge koşulları

$$P_I = \sum F_{IJüst} \quad (2.1.1.12)$$

bağıntısı ile yazılır. Toplam,  $i$  noktasında birleşen bütün çubukları kapsar. Yine bu bağıntıda  $F_{IJüst}$ , (2.1.1.11) bağıntısıyla verilen  $F_{IJ}$  matrisinin üst yarısını gösterir. Aynı matrisin alt yarısı  $j$  numaralı düğüm noktasının dengesinde kullanılır.

$P_I = \sum F_{IJüst}$  bağıntılarını kafes taşıyıcısının bütün düğüm noktaları için yazarak, düğüm noktalarının  $6n$  bilinmeyenli  $6n$  sayıda bir lineer denklem takımı elde edilir. Bazı bilinmeyenler çevre koşullarının zorunlu kıldığı bir değerdedirler. Bunlara ilişkin düğüm noktalarının denge denklemleri, mesnet tepkilerinin hesaplanmasını sağlar.

Bu denklemlerin bilgisayar yardımıyla çözümü, her düğüm noktası için yerdeğiştirmenin 6 bileşenini verir. Daha sonra (2.1.1.11) ve (2.1.1.9) bağıntılarından her çubuğun uç kesit zorları hesaplanır; geriye bunlardan yararlanarak çubuklarda gerilme kontrolü yapmak kalır.

### 2.1.2)- DÜĞÜM NOKTALARI MAFSALLI SİSTEMLER

Bir önceki bölümde gözden geçirilen bağıntılar uygulanırlıklarını korurlar; ancak yerel üçlü eksen takımının y ve z eksenleri işe karışmadığından, büyük ölçüde basitleşirler. Bu durumda,

$$[d_{ij}] = \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix} \quad (2.1.2.1)$$

$$[F_{ij}] = \begin{bmatrix} N_i \\ N_j \end{bmatrix} \quad (2.1.2.2)$$

$$[K_{ij}] = EA/l \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1.2.3)$$

$$[\lambda] = [\lambda_{xX} \quad \lambda_{xY} \quad \lambda_{xZ}] \quad (2.1.2.4)$$

biçimlerine dönüşürler. Tek indisli  $\lambda$  terimleri çubuk ekseninin, X,Y,Z ile yaptığı açılarının kosinüslerini gösterir.

$$[\lambda_2] = \begin{bmatrix} \lambda_{xX} & \lambda_{xY} & \lambda_{xZ} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{xX} & \lambda_{xY} & \lambda_{xZ} \end{bmatrix} \quad (2.1.2.5)$$

olmak üzere

$$[d_{ij}] = [\lambda_2] \cdot [d_{IJ}] \quad (2.1.2.6)$$

$$[F_{ij}] = [\lambda_2] \cdot [F_{IJ}] \quad (2.1.2.7)$$

konulursa (2.1.2.7) bağıntısı

$$[F_{IJ}] = EA / l \begin{bmatrix} g & -g \\ -g & g \end{bmatrix} \quad (2.1.2.8)$$

biçimini alır. Burada g değeri

$$[g] = \begin{bmatrix} \lambda_{XX}^2 & \lambda_{XX} \cdot \lambda_{XY} & \lambda_{XX} \cdot \lambda_{XZ} \\ \lambda_{XY} \cdot \lambda_{XX} & \lambda_{XY}^2 & \lambda_{XY} \cdot \lambda_{XZ} \\ \lambda_{XZ} \cdot \lambda_{XX} & \lambda_{XZ} \cdot \lambda_{XY} & \lambda_{XZ}^2 \end{bmatrix} \quad (2.1.2.9)$$

ile verilmektedir.

Düğüm noktalarının öteleme denge denklemleri ( $P_I = \sum F_{IJüst}$ ) biçimini korurlar; ancak  $P_j$  dış yükünün merkezsiz olması zorunlu olduğundan  $P_I$  3 terimli bir vektördür.  $F_{IJüst}$  burada (2.1.2.8) ile verilen  $F_{IJ}$  matrisinin üst yarısını gösterir. Böylece  $3n$  bilinmeyenli  $3n$  sayıda bir lineer denklem takımı elde edilir. (2.1.2.7) ve (2.1.2.8) bağıntıları ile her çubuktaki normal kuvvetler hesaplanır.

## 2.2 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi, sürekli bir sistemi problemin karakterine uygun sonlu elemanlara ayırarak elde edilen elemanlar üzerinde iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimizasyonu ve sonra bu elemanların birleştirilmesi ile sonuca gidilmesidir. Bunun sonucu olarak mesnet şartları sisteme ait özellikler, dış yüklerin sürekli ya da ani değişimleri kolayca göz önüne alınabilir. Dolayısıyla sonlu elemanlar yöntemi analitik metodlar ile çözülemeyen karışık problemlere uygulanabilir. Yüzeysel sistemin tipik bölgelerinde eleman boyutları küçültülerek o bölgenin daha prezisyonlu incelenmesi mümkün olur. Diğer bir avantajı da sınır şartlarının problemin çözüm sırasına göre en son adımda hesaplara dahil edilmesidir. Böylece çeşitli sınır şartlarını probleme uygularken baştaki yoğun hesaplara girilmez. Yapının geometrisine uygun olarak elemanın şekli bir, iki veya üç boyutlu olabilir. Eleman sınırları düz veya eğri çizgi olabilir. Eleman boyutları küçüldükçe problemin hata oranı azalmakta fakat çözüm süresi uzamaktadır. Sistemi oluşturan elemanların herbirine *sonlu elemanlar* denir ve birleştikleri köşe noktaları da *düğüm noktaları* olarak adlandırılır. Sonlu eleman yüzeyinin şekil değiştirmesi düğüm noktalarının deplasman parametrelerine bağlı olarak ifade edilir.

### 2.2.1 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNE GİRİŞ

Kartezyen  $x, y, z$ , koordinatlarda üç boyutlu sonlu bir elemanın varlığını düşünelim. Elemanın herhangi bir noktasındaki genel deplasmanları  $u$  vektörü ile gösterelim.

$$u = \{u, v, w\} \quad (2.2.1.1)$$

Burada  $u, v, w$ , sırasıyla  $x, y, z$ , doğrultularındaki ötelemelerdir. Cisme etki eden kuvvet vektörünü

$$b = \{b_x, b_y, b_z\} \quad (2.2.1.2)$$

olarak gösterilir ve buda sırasıyla x,y,z, doğrultularında o noktaya uygulanan kuvvetlerin bileşenlerini gösterir. Düğüm noktası yerdeğiştirmeleri q, ilk önce sadece x,y,z, doğrultularındaki ötelenmeler olarak ele alınacaktır. Eğer  $n_{em}$ =eleman düğüm noktası sayısı ise

$$q = \{q_i\} \quad (i=1,2,\dots,\dots,n_{em}) \quad (2.2.1.3)$$

dir. Burada

$$q_i = \{q_{xi}, q_{yi}, q_{zi}\} = \{u_i, v_i, w_i\} \quad (a)$$

dir. Benzer şekilde düğüm noktalarına etkiyen dış kuvvetler p sadece x,y,z, doğrultularındaki kuvvetler olarak ele alınacaktır. Bu

$$p = \{p_i\} \quad (i=1,2,\dots,\dots,n_{em}) \quad (2.2.1.4)$$

dir ve burda

$$p_i = \{p_{xi}, p_{yi}, p_{zi}\} \quad (b)$$

dir. Yerdeğiştirme şekil fonksiyonları, düğüm noktaları yerdeğiştirmeleri ile genel yerdeğiştirmeler arasındaki bağıntıyı aşağıdaki gibi sağlar.

$$u = f q \quad (2.2.1.5)$$

Yukarıdaki ifadede f, u'yu tamamen q'ya bağılı kılan fonksiyonları kapsayan kare matristir. Gerilme yerdeğiştirme bağıntıları, genel yerdeğiştirmelerin diferansiyeli ile elde edilir.

$$\epsilon = d u \quad (2.2.1.6)$$

Yukarıdaki eşitlikte d operatörü gerilme vektörü  $\epsilon$ 'yi u vektöründeki genel deplasmanlar cinsinden ifade eder (bkz 2.2.1.6.a, 2.2.1.6.b, 2.2.1.6.c, 2.2.1.6.d).

$$\epsilon_x = du/dx, \quad \epsilon_y = du/dy, \quad \epsilon_z = du/dz, \quad (2.2.1.6.a)$$

$$v_{xy} = v_{yx} = du/dy + dv/dx \quad (2.2.1.6.b)$$

$$v_{yz} = v_{zy} = dv/dz + dw/dy \quad (2.2.1.6.c)$$

$$v_{zx} = v_{xz} = dw/dx + du/dz \quad (2.2.1.6.d)$$

2.2.1.5 denklemini 2.2.1.6 da yerine konduğunda

$$\epsilon = B q \quad (2.2.1.7)$$

olur ve burada

$$B = d f \quad (2.2.1.8)$$

dir. B matrisi, noktasal birim yerdeğıştirmelerden dolayı elemanın herhangi bir noktasındaki şekil değıştirmeleri verir. Gerilme şekil değıştirme arasındaki ilişki bilindiğı üzere

$$\sigma = E. \epsilon \quad (2.2.1.9)$$

dir.2.2.1.7 denklemini 2.2.1.9 da yerine konduğunda

$$\sigma = E B q \quad (2.2.1.10)$$

türetilir. Burada E B matrisi noktasal birim yer değıştirmelerden dolayı, seçilen noktalarda oluşan gerilmelerin bulunmasını sağlar.

Virtüel iş prensibi, virtüel deplasmanlar metodu ve virtüel yükler metodu olmak üzere ikiye ayrılır. Sonlu elemanlar metodunda virtüel deplasmanlar metodu kullanılır. Kuvvetlerin işi hesaplanırken yer değıştirmelerin mutlaka o kuvvetlerden doğması gerekmez. Yani iş her zaman gerçek olmayabilir. Keyfi bir yer değıştirme ile de iş yapılabilir. Tamamen keyfi olan bu yer değıştirmeye virtüel yerdeğıştirme denir. Kuvvetin bu şekildeki yerdeğıştirme ile yaptığı işe virtüel iş denir. Virtüel yer ve şekil değıştirmeler, sistemin dış bağılarına uygun, sistemin iç sürekliliğini bozmayan, çok küçük ve keyfidir. Virtüel iş prensibi geneldir, geometrik veya fiziksel açıdan lineer veya lineer olmayan sistemlere uygulanabilir. Cismin fizik bünyesine bağılı değışildir.

Dengesi incelenen cisim rijit, elastik veya plastik olabilir. Virtüel iş teoreminden bildiğimiz üzere

$$\delta U(\text{iç iş}) = \delta W(\text{dış iş}) \quad (2.2.1.11)$$

dır. Bu eşitlikleri açmak için küçük virtüel yerdeğişimleri ifade eden bir  $\delta q$  vektörü olduğunu varsayalım.

$$\delta q = \{\delta q_i\} \quad (i=1,2,\dots,n_{em}) \quad (c)$$

Bu durumda 2.2.1.5 göre virtüel genel yerdeğişimler şu hale gelir.

$$\delta u = f \delta q \quad (d)$$

2.2.1.7 deki gerilme yerdeğişirme bağlantısı kullanılırsa

$$\delta \epsilon = B \delta q \quad (e)$$

olur. Bu durumda virtüel iç gerilme enerjisi şöyle yazılabilir:

$$\int \delta U = \int_V \delta \epsilon^T \sigma dV \quad (f)$$

Buna ek olarak noktasal ve elemanın tümüne etkiyen kuvvetlerin virtüel dış işi de şu hale gelir:

$$\delta W = \delta q^T p + \int_V \delta u^T b dV \quad (g)$$

f ve g denklemleri 2.2.1.11de yerine konursa

$$\int_V \delta \epsilon^T \sigma dV = \delta q^T p + \int_V \delta u^T b dV \quad (h)$$

olur. Bu eşitlikte, 2.2.1.9 dan  $\sigma$  yı, (d) ve (e) eşitliklerinin transpozelerini yerine koyduğumuzda

$$\delta q^T \int_V B^T E \epsilon dV = \delta q^T p + \delta q^T \int_V f^T b dV \quad (i)$$

elde edilir. 2.2.1.7 denkleminde  $\epsilon$  yerine konursa ve her iki taraftan  $\delta q^T$  ler sadeleştirilirse

$$\left( \int_V B^T E B dV \right) q = p + \int_V f^T b dV \quad (j)$$

elde edilir. Bu durumda j eşitliği şöyle yazılabilir:

$$K q = p + p_b \quad (2.2.1.12)$$

Burada

$$K = \int_V B^T E B dV \quad (2.2.1.13)$$

ve

$$p_b = \int_V f^T b dV \quad (2.2.1.14)$$

dir. 2.2.1.13 deki K, noktasal birim yerdeğişirmelerinden meydana gelen düğüm noktalarındaki fiktif etkileri içeren eleman rijitlik matrisidir. 2.2.1.14 deki  $p_b$  vektörü,  $b$  vektöründe cisme etki eden kuvvetlerden meydana gelen eşdeğer noktasal yükler vektörüdür. Yukarıdaki eşitlikte gerilmeler ve şekil değiştirmeler sadece noktasal deplasmanlar göz önüne alınarak çıkarılmıştır. Eğer bir başlangıç  $\epsilon_0$  şekil değiştirmesi mevcut ise toplam şekil değiştirme şu şekilde ifade edilir.

$$\epsilon = \epsilon_0 + C \sigma \quad (2.2.1.15)$$

Burada C şekil değiştirme gerilme ilişkisini gösteren matrisidir.

$$C = E^{-1} \quad (2.2.1.16)$$

Gerilme vektörü  $\sigma$  yı 2.2.1.15 deki değerler için çekersek

$$\sigma = E(\epsilon - \epsilon_0) \quad (2.2.1.17)$$

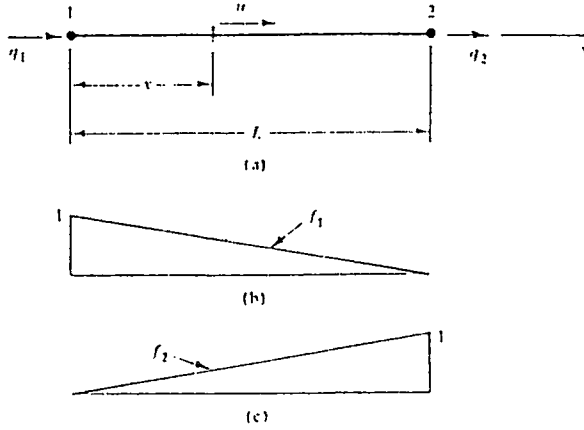
olur. Eğer bu ifade h denkleminde yerine konursa eşitlik şu hale gelir:

$$K q = p + p_b + p_0 \quad (2.2.1.18)$$

Burada

$$p_0 = \int_V B^T E \epsilon_0 dV \quad (2.2.1.19)$$

dir.  $p_0$ , sıcaklık değişimi gibi başlangıç şekil değiştirmelerinden dolayı oluşan noktasal eşdeğer yükler vektörüdür.



Şekil 2.2.1-Eksenel çalışan eleman

Şekil 2.2.1 de sonlu elemanlar yönteminin uygulanacağı eleman gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sadece x yönünde u ötelemesi vardır.

$$q = \{ q_1, q_2 \} = \{ u_1, u_2 \}$$

Benzer şekilde, sadece x yönünde cisme etki eden  $b_x$  kuvveti vardır.  $q_1$  ve  $q_2$  noktasal deplasmanları 1 ve 2 noktalarındaki x doğrultusundaki ötelenmelerden meydana gelir. Buna karşılık gelen 1 ve 2 noktasındaki noktasal kuvvetler

$$p = \{ p_1, p_2 \} = \{ p_{1x}, p_{2x} \}$$

dir. Eleman içinde herhangi bir noktadaki u deplasmanını x'e bağlı olarak şöyle gösterebiliriz:

$$u = c_1 + c_2 x \quad (k)$$

Bu ifade deplasman fonksiyonu olarak adlandırılır. Bilinmeyen  $c_1$  ve  $c_2$  sabitlerinin bulunmasıyla deplasman şekil fonksiyonuna dönüştürülür. Sınır şartlarından  $x=0$  için  $c_1 = q_1$  ve  $x=L$  için  $q_2 = c_1 + c_2 L$  bulunur. Buradan  $c_2 = (q_2 - q_1) / L$  olur. Bu ifadeleri (k) ifadesinde yerine koyduğumuzda

$$u = q_1 + ((q_2 - q_1) / L) x \quad (l)$$

elde edilir. Bu terim, sabitler yerine noktasal deplasmanlarla ifade edilmiş olur. (l) ifadesini 2.2.1.5 eşitliğine göre yazarsak

$$u = f q = \begin{bmatrix} 1-x/L & x/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix}$$

olur ve burada

$$f = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-x/L & x/L \end{bmatrix} \quad (m)$$

olur. Şekil 2.2.1 (b) de ve 2.2.1 (c) de bu iki deplasman fonksiyonları gösterilmiştir. Şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi tek yönde çalışan eleman için sadece 1. türevinin alınmasıyla elde edilir.

$$\epsilon = \epsilon_x = d u = du / dx = df / dx q = B q$$

Burada

$$B = df / dx = 1 / L \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (n)$$

Benzer şekilde gerilme - şekil değiştirme ilişkisi şu hale gelir:

$$\sigma = \sigma_x = E \epsilon = E \epsilon_x = E B q$$

$$E = E \text{ ve } E B = E \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} / L \quad (o)$$

2.2.1.13 denkleminde eleman rijitlik matrisi şu şekilde elde edilir.

$$K = \int_V B^T E B dV = E/L^2 \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \int_0^L \int_A dA dx = EA/L \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (p)$$

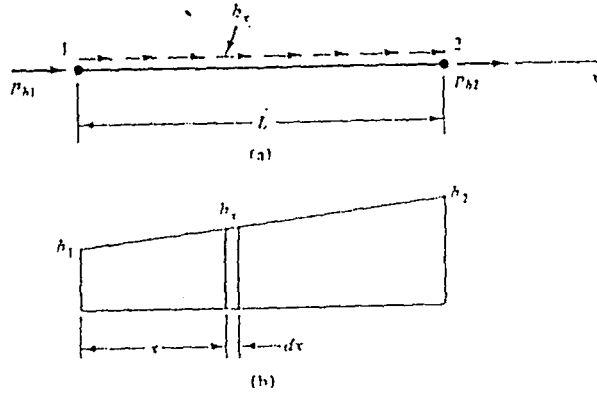
Burada A kesit alanı sabittir. Şekil 2.2.2 (a) ve (b), lineer olarak değişen yayılı yük  $b_x$  (birim uzunluğa etki eden kuvvet) olarak gösterilir.

$$b_x = b_1 + [(b_2 - b_1) x] / L$$

Bu cisme etki eden kuvvetlerden dolayı 2.2.1.14 denklemini noktasal eşdeğer yükleri aşağıdaki gibi verir.

$$p_b = \int_0^L f^T b_x dx = \int_0^L \begin{bmatrix} 1-x/L \\ x/L \end{bmatrix} [b_1 + [(b_2 - b_1) x] / L] dx$$

$$= L / 6 \begin{bmatrix} 2b_1 + b_2 \\ b_1 + 2b_2 \end{bmatrix} \quad (q)$$



Şekil 2.2.2-Eksenel Yayıllı Yüke maruz eleman

Eleman uniform sıcaklık değişimi ( $\Delta T$ ) ye maruz ise bu etkiden dolayı başlangıç şekil değiştirmesi şöyle ifade edilir.

$$\epsilon_0 = \epsilon_T = \alpha(\Delta T)$$

$\alpha$  sıcaklık uzama katsayısıdır. 2.2.1.19 dan

$$p_0 = p_T = \int_0^L \int_A B^T E \alpha (\Delta T) dA dx$$

$$= E A \alpha (\Delta T) / L \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \int_0^L dx$$

$$= E A \alpha (\Delta T) \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (r)$$

elde edilir. Eğer sıcaklık artarsa bu eşdeğer yükler 1 noktasında (-) , 2 noktasında (+) yönde etkir.

## 2.2.2ŞEKİL FONKSİYONLARI VE GENELLEŞTİRİLMİŞ DEPLASMANLAR

Bir önceki bölümde yer değiştirme fonksiyonunu yerdeğiştirme-şekil fonksiyonuna dönüştürdük .Şimdi bunları matrisler olarak ifade edeceğiz. Bu amaçla tahmini deplasman fonksiyonunu  $g$  geometrik martrisi ile  $c$  bilinmeyen sabit vektörünün çarpımı olduğunu kabul edelim.

$$u = g c \quad (2.2.2.1)$$

$g$  operatörünü her düğüm noktasında geliştirirsek

$$q = h c \quad (2.2.2.2)$$

olur ki burada

$$h = \{g_i\} \quad (i=1,2,\dots,n_{em}) \quad (a)$$

$g_i$  ,  $i$  noktasındaki  $g$  matrisini simgeler.  $h$  matrisinin kare ve tekil olmayan matris olduğunu farz ederek 2.2.2.2 deki  $c$  sabiti şu şekilde çekilebilir.

$$c = h^{-1} q \quad (2.2.2.3)$$

2.2.2.3 denklemini 2.2.2.1 de yerine koyulursa,

$$u = g h^{-1} q \quad (b)$$

(b) ve 2.2.1.5 karşılaştırılırsa istenen şekil fonksiyonun aşağıdaki gibi olduğu görülür.

$$f = g h^{-1} \quad (2.2.2.4)$$

Tek eksenli elemanlarda deplasman fonksiyonunu 2.2.2.1 şeklinde düzenlersek

$$u = [1 \ x] \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (c)$$

$$g = [1 \ x] \quad (d)$$

$g$  matrisi 1 ve 2 noktalarında çözülrse,

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (e)$$

bulunur. Ayırma çizgisi ile gösterildiği üzere h matrisi iki bileşenden oluşmaktadır.

$$h = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} \quad (f)$$

h matrisinin inversi alınrsa,

$$h^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/L & 1/L \end{bmatrix} \quad (g)$$

ve 2.2.2.4 eşitliğinden

$$f = g h^{-1} = [1-x/L \quad x/L] \quad (h)$$

ki bu da 2.2.1 deki (m) eşitliği ile aynıdır. Varsayılan deplasman fonksiyonlarındaki keyfi  $c_1, c_2, \dots, c_n$  katsayıları genelleştirilmiş yerdeğiştirmeler olarak kabul edilebilir. Noktasal deplasmanlar, etkiler ve rijitlikler arasındaki bağıntılar artık geliştirilebilir. Bunun sonunda, cisme etkiyen kuvvetler veya başlangıç gerilmeleri olmadan rijitlik denklemini şöyle yazılabilir.

$$K q = p \quad (i)$$

K matrisini g ve h matrisi cinsinden açarsak,

$$h^{-T} \int_V (d g)^T E (d g) dV h^{-1} q = p \quad (j)$$

$$B_c = d g \quad (2.2.2.5)$$

denklemin her iki tarafı  $h^T$  ile çarpılırsa ve  $d g$  nin yerine  $B_c$  yazılırsa

$$\int_V B_c^T E B_c dV h^{-1} q = h^T p \quad (k)$$

Bu denklem sadeleşmiş olarak şöyle yazılır.

$$K_c c = p_c \quad (2.2.2.6)$$

$$c = h^{-1} q \quad (2.2.2.3)$$

$$p_c = h^T p \quad (2.2.2.7)$$

$$K_c = \int_v B_c^T E B_c dV \quad (2.2.2.8)$$

$p_c$  vektörü  $c$  genelleştirilmiş deplasmanlarına karşılık gelen genelleştirilmiş etkileri içerir ve  $K_c$  matrisi  $c$  yi  $p_c$  ile ilişkilendiren rijitlik matrisidir.

$$K = h^{-T} K_c h^{-1} \quad (2.2.2.9)$$

ve 2.2.2.7 den

$$p = h^{-T} p_c \quad (2.2.2.10)$$

genelleştirilmiş yerdeğiştirmeler kullanılarak tek eksenli elemanları tekrar ele alırsak 2.2.2.3. denklemi aşağıdaki hale gelir.

$$c = h^{-1} q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/L & 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ (q_2 - q_1)/L \end{bmatrix} \quad (l)$$

(l) eşitliğindeki 1. genelleştirilmiş yerdeğiştirmeler rijit cisim, 2. si de uniform şekil değiştirme durumunu gösterir. Buna karşılık gelen dış etkilerde 2.2.2.7 den aşağıdaki gibi elde edilir.

$$p_c = h^T p = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 + p_2 \\ p_2 L \end{bmatrix} \quad (m)$$

2.2.2.8 genelleştirilmiş rijitliği aşağıdaki gibi sağlar

$$\begin{aligned} K_c &= \int_v B_c^T E B_c dV \\ &= \int_0^L \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} [0 \ 1] E A dx \\ &= E A L \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (n)$$

$K_c$  matrisindeki bir tek terim sıfırdan farklıdır. Eşitlik 2.2.2.9 u kullanarak bu sonucu  $K$  matrisine dönüştürebiliriz.

$$\begin{aligned}
K &= h^{-T} K_c h^{-1} = E A L \begin{bmatrix} 1 & -1/L \\ 0 & 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/L & 1/L \end{bmatrix} \\
&= E A / L \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{o}$$

Bu da daha önce bulunan sonuçla aynıdır.

### 2.2.3 TEK BOYUTLU ELEMANLAR

Bu bölümde çubuk sistemlerde sıkça ratlanan aksenal ve düşey yüke maruz kalmış elemanlar incelenecektir. Aksenal elemanlar bir önceki bölümde ele alındığından burada sadece sonucu tekrarlayacağız. Eleman rijitlik matrisi

$$K = E A / L \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.2.3.1}$$

lineer değişen cisme etki eden aksenal kuvvet  $b_x$  'e eşdeğer noktasal yükler

$$p_b = L / 6 \begin{bmatrix} 2b_1 + b_2 \\ b_1 + 2b_2 \end{bmatrix} \tag{2.2.3.2}$$

dir. Uniform sıcaklık değişiminden dolayı kaynaklanan eşdeğer noktasal yükler

$$p_0 = p_T = E A \alpha (\Delta T) \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.2.3.3}$$

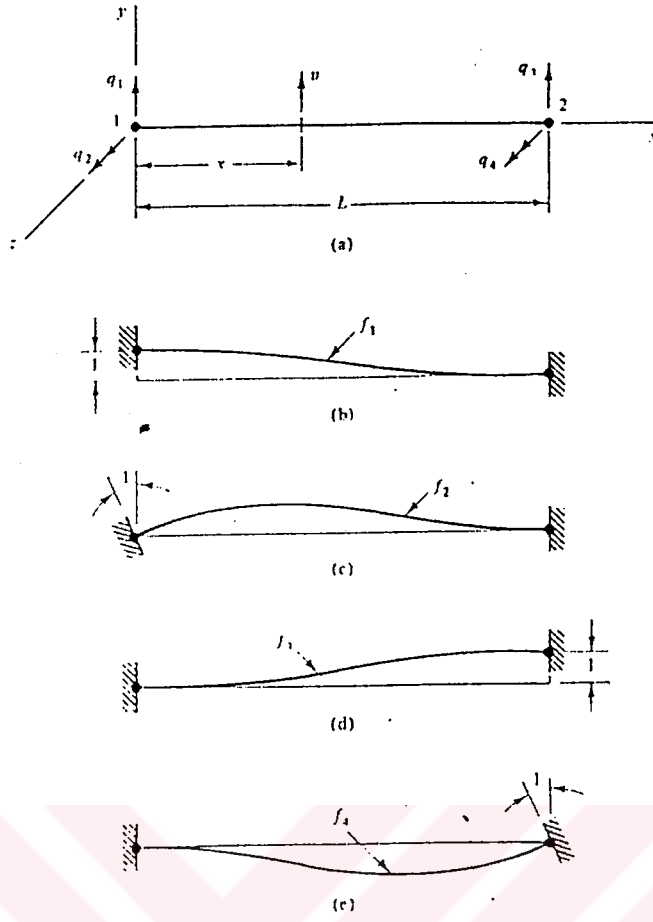
2.2.3.1 de verilen K matrisi prizmatik elemanlar için tektir. Şekil 2.2.3.(a) eğilme düzlemi x ve y olan elemanı gösterir.  $v$ , tekil genelleştirilmiş deplasmanı y doğrultusundaki ötelemesidir.

$$u = v$$

Buna karşılık gelen kuvvet y yönündeki  $b_y$  dir.

$$b = b_y$$

Birinci düğüm noktasında  $q_1$  ve  $q_2$  deplasmanları olur ki bunlardan  $q_1$ , y yönünde öteleme  $q_2$  de z eksenini etrafında dönmedir. Benzer şekilde ikinci düğüm noktası için  $q_3$  ve  $q_4$  vardır. Böylece noktasal deplasmanlar vektörü şu hale gelir.



Şekil 2.2.3-Düşey Yüke maruz eleman

Birinci düğüm noktasında  $q_1$  ve  $q_2$  deplasmanları olur ki bunlardan  $q_1$ ,  $y$  yönünde öteleme  $q_2$  de  $z$  eksenini etrafında dönmedir. Benzer şekilde ikinci düğüm noktası için  $q_3$  ve  $q_4$  vardır. Böylece noktasal deplasmanlar vektörü şu hale gelir.

$$q = \{ q_1, q_2, q_3, q_4 \} = \{ v_1, \theta_1, v_2, \theta_2 \}$$

Burada

$$\theta_1 = dv_1 / dx \quad \theta_2 = dv_2 / dx$$

Bu türevler düğüm noktalarındaki ötelemelerin değişim oranıdır. Bunla beraber küçük dönmeler olarak kabul edilebilir. 1 ve 2 noktalarında buna karşılık gelen noktasal yükler

$$p = \{ p_1, p_2, p_3, p_4 \} = \{ p_{y1}, M_{z1}, p_{y2}, M_{z2} \}$$

$p_{y1}$  ve  $p_{y2}$  1 ve 2 noktalarındaki y yönündeki kuvvetleri,  $M_{z1}$  ve  $M_{z2}$  bu noktalardaki z eksenini etrafındaki momenti gösterir.

$$v = c_1 + c_2x + c_3x^2 + c_4x^3 \quad (a)$$

ve g geometrik matrisi şu hale gelir.

$$g = [1 \quad x \quad x^2 \quad x^3] \quad (b)$$

Bu durumda birinci ve ikinci deplasmanlar arasında diferansiyel ilişki vardır. Bu yüzden g'nin x'e göre türevine ihtiyaç vardır.

$$dg / dx = [0 \quad 1 \quad 2x \quad 3x^2] \quad (c)$$

h matrisi iki nokta için şu şekilde düzenlenebilir.

$$h = \begin{bmatrix} g_1 \\ dg_1/dx \\ g_2 \\ dg_2/dx \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & L & L^2 & L^3 \\ 0 & 1 & 2L & 3L^2 \end{bmatrix} \quad (d)$$

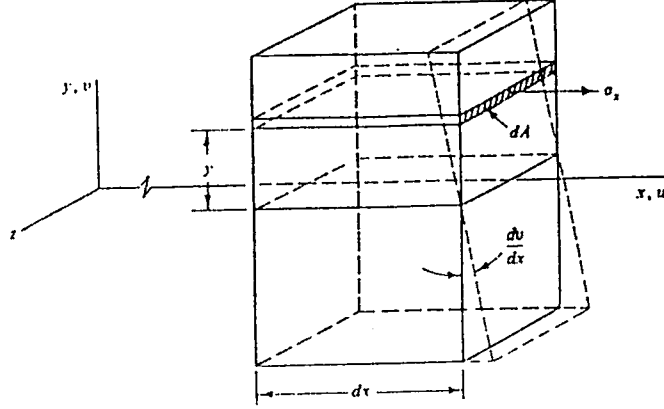
h matrisinin inversi de

$$h^{-1} = 1/L \begin{bmatrix} L^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L^3 & 0 & 0 \\ -3L & -2L^2 & 3L & -L^2 \\ 2 & L & -2 & L \end{bmatrix} \quad (e)$$

$h^{-1}$  matrisinin g ile çarpımından oluşacak f matrisinde şekil fonksiyonları şu şekilde ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} f &= g h^{-1} = \{f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad f_4\} \quad (f) \\ &= 1/L^3 [2x^3 - 3x^2L + L^3 \quad x^3L - 2x^2L^2 + xL^3 \quad 2x^3 + 3x^2L \quad x^3L - x^2L^2] \end{aligned}$$

Bu dört şekil fonksiyonu şekil 2.2.3 (b), (c), (d) ve (e) de gösterilmiştir. Bunlar  $q_1$  den  $q_4$  'e kadar birim noktasal deplasmanlardan dolayı uzunluk boyunca v nin değişimini gösterir. Şekil 2.2.4 görüldüğü gibi düzlem kesitlerinin şekil değiştirme sırasında aynı kaldığını varsayarsak gerilme deplasman bağıntısı aşağıdaki gibi çıkarılabilir.



Şekil 2.2.4-Eğilme şekil değiştirmeleri

$$u = -y \, dv/dx \quad (g)$$

bu bağıntıyı kullanarak eğilme şekil değiştirmesini şöyle elde ederiz;

$$\epsilon_x = du/dx = -y \, d^2v/dx^2 = -y \, \phi \quad (h)$$

$\phi$  eğriliği gösterir.

$$\phi = d^2v/dx^2 \quad (i)$$

$\epsilon_x$  ile  $v$  arasında bağlantıyı sağlayan lineer diferansiyel operatör h eşitliğinden ;

$$d = -y \, d^2/dx^2 \quad (j)$$

Böylece eşitlik 2.2.1.8 şekil değiştirme-yer değiştirme matrisi B 'yi şöyle verir.

$$B = d f = -y / L^3 [12x \ -6L \ 6xL \ -4L^2 \ -12x + 6L \ 6xL \ -2L^2] \quad (k)$$

Eğilme gerilmesi  $\sigma_x$  ile  $\epsilon_x$  eğilme şekil değiştirmesi arasındaki bağıntı

$$\sigma_x = E \, \epsilon_x \quad (l)$$

$$E = E \quad \text{ve} \quad E B = E B \quad (m)$$

Eleman rijitlik matrisi 2.2.1.13 den şöyle elde edilir.

$$K = \int_V B^T E B \, dV$$

$$= \int_0^L \int_A E y^2 / L^6 \begin{bmatrix} 12x - 6L \\ 6xL - 4L^2 \\ -12x + 6L \\ 6xL - 2L^2 \end{bmatrix} [12x - 6L \quad \dots \quad \dots \quad 6xL - 2L^2] dA dx$$

$EI$  ile çarpılıp integre edildiğinde şu şekli alır.

$$K = EI / L^3 \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2.2.3.4)$$

Burada

$$I = \int_A y^2 dA \quad (n)$$

asal eksene göre alınmış atalet momentidir. Birim uzunluğa uniform olarak dağılmış  $b_y$  yüküne (Şekil 2.2.5.a) eşdeğer noktasal yükler 2.2.1.14 de şöyle hesaplanabilir:

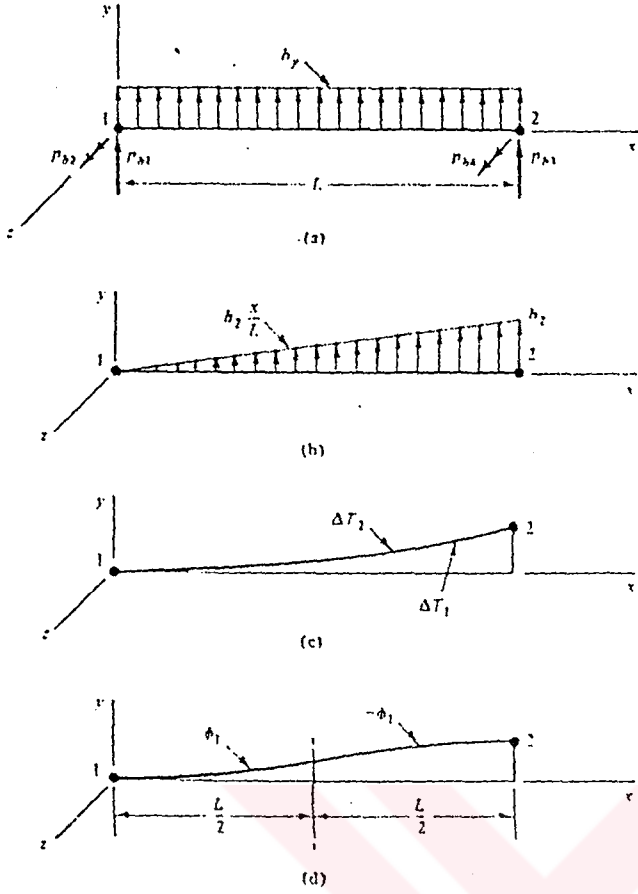
$$\begin{aligned} p_b &= \int_0^L f^T b_y dx = \int \{ f_1, f_2, f_3, f_4 \} b_y dx \\ &= b_y L/12 [6, L, 6, -L] \end{aligned} \quad (2.2.3.5)$$

Bu integrasyon için deplasman şekil fonksiyonları  $f_1$ 'den  $f_4$ 'e kadar  $f$  eşitliğinden elde edilir. Benzer şekilde üçgensel yüklemelere eşdeğer noktasal yüklerde (şekil 2.2.5.b)

$$p_b = \int_0^L f^T b_2 x/L dx = b_2 L/60 [9, 2L, 2L, -3L] \quad (2.2.3.6)$$

Eğilmeye maruz elemanın alt yüzeyindeki  $\Delta T_1$  sıcaklığından üst yüzeydeki  $\Delta T_2$  sıcaklığına kadar olan sıcaklık değişiminin lineer olduğunu kabul edelim (şekil 2.2.5.c).  $\Delta T_1 > \Delta T_2$  ise ve elemanın kalınlığının  $d$  olduğunu farz edersek elemanın herhangi bir noktasındaki sıcaklık değişimi:

$$\Delta T = 1/2 (\Delta T_1 + \Delta T_2) - y/d (\Delta T_1 - \Delta T_2) \quad (o)$$



Şekil 2.2.5-Düşey Yayılı Yüklere ve Başlangıç deformasyonuna maruz eleman.

Bu eşitlikteki ilk terim aksenal şekil değiştirmelere sebep olur ki bu hesaplarda önüne alınmaz. Bununla beraber ikinci terim eğilme uzamasına sebep olur. Çünkü bu terim  $y$  ile lineer olarak değişir. Bu yüzden:

$$\epsilon_{xt} = \alpha y / d (\Delta T_1 - \Delta T_2)$$

2.2.1.19 daki sıcaklık şekil değiştirmesini kullanarak aşağıdaki denklemi buluruz.

$$p_T = - \int_0^L \int_A B^T E \alpha y / d (\Delta T_1 - \Delta T_2) dA dx$$

Eşitlik (k)'dan B çekilirse ve integrasyonlar yapılırsa ( $EI$  sabiti için), terim şu şekilde gelir.

$$p_T = \alpha E I / d (\Delta T_1 - \Delta T_2) [0, -1, 0, 1] \quad (2.2.3.7)$$

2.2.3.7 den elde edilen uçlardaki eşdeğer noktasal yükler, eşit ve zıt momentlerle oluşur. Diğer taraftan elemanda 2.2.5.d şeklindeki başlangıç eğriliği varsa elemanda başlangıç şekil değiştirmesi şöyledir:

2.2.3.7 den elde edilen uçlardaki eşdeğer noktasal yükler, eşit ve zıt momentlerden oluşur. Diğer taraftan elemanda 2.2.5.d şeklindeki başlangıç eğriliği varsa elemanda başlangıç şekil değiştirmesi şöyledir:

$$\epsilon_{x0} = -y \phi_1 \quad (0 \leq x \leq L/2) \text{ ve}$$

$$\epsilon_{x0} = y \phi_1 \quad (L/2 \leq x \leq L)$$

Bu durumda, 2.2.1.19'dan

$$\begin{aligned} P_0 &= -\int_A \left( \int_0^{L/2} B^T E y \phi_1 dx - \int_{L/2}^L B^T E y \phi_1 dx \right) dA \\ &= 3EI \phi_1 / 2L \{-2, -L, 2, -L\} \end{aligned} \quad (2.2.3.8)$$

elde edilir. İki uçtaki momentler eşit olduğunda kuvvetlerin eşit ve zıt olduğunu görürüz.

#### 2.2.4 GENELLEŞTİRİLMİŞ GERİLMELER VE ŞEKİL DEĞİŞTİRMELER

Elastiste teorisinden bilindiği üzere:

$$M_z = \int_A -\sigma_x y dA' \quad (a)$$

dır. Bölüm 2.2.3'deki (l) ve (h) denklemlerinden gerilme - şekil değiştirme, şekil değiştirme - yer değiştirme ilişkileri yerine yazılırsa,

$$M_z = E \phi \int_A y^2 dA = EI \phi \quad (b)$$

Genelleştirilmiş gerilme olarak  $M_z$  ve şekil değiştirme olarak da  $\phi$ 'yi kabul edersek gerilme şekildeğiştirme operatörü  $E^*$  şu hale gelir.

$$E^* = EI \quad (2.2.4.1)$$

ki bu da kesitin eğilme rijitliğidir. (b) denkleminden

$$M_z = E^* \phi \quad (2.2.4.2)$$

elde edilir. Bu yaklaşımda  $d$  operatöründe (Bölüm 2.2.3 deki  $j$  eşitliğine bakınız)  $-y$  çarpanı yoktur. buna ek olarak genelleştirilmiş  $B^*$  matrisi (Bölüm 2.2.3 k eşitliğinin  $-y$  faktörü olmayanı)  $B$  matrisi yerine kullanılabilir.

$$B = -yB^* \quad (c)$$

$K$  matrisindeki terimlerin her kesit için inegrasyonu yapılması gereği kalmaz.

$$K = \int_0^L B^{*T} E^* B^* dx \quad (2.2.4.3)$$

Bu ifade daha önce  $K$  için kullanılmış olan 2.2.1.13 denkleme eşittir. Başlangıç eğriliği  $\phi_0$ 'nin bilinen herhangi bir başlangıç durumu için, denklem 2.2.1.19 aşağıdaki şekilde olur:

$$P_0 = \int_0^L B^{*T} E^* \phi_0 dx \quad (2.2.4.4)$$

İlerleyen kısımda (bölüm 2.2.6'da) eleman matrislerinin oluşturulması ve noktasal deplasmanların çözümü incelenecektir. Bu adımlara bağlı olarak her elemandaki gerilme durumunu bulmamız gerekecektir. Buda, 2.2.1.17'de verilen eşitlik kullanılarak geliştirilecektir.

$$\sigma = E(\epsilon - \epsilon_0) \quad (2.2.1.17)$$

2.2.1.7'de bu eşitlik yerine konursa,

$$\sigma = E(Bq - \epsilon_0) \quad (2.2.4.5)$$

Yine mukavemetten bildiğimiz  $\sigma$ - $M$  ilişkisi,

$$\sigma_x = -M_z y / I \quad (2.2.4.6)$$

Bu terimi c eşitliğine ve  $\epsilon_{x0} = -y\phi_0$  2.2.4.5'de yerine konursa,

$$-M_z y / I = -yE (B^*q - \phi_0)$$

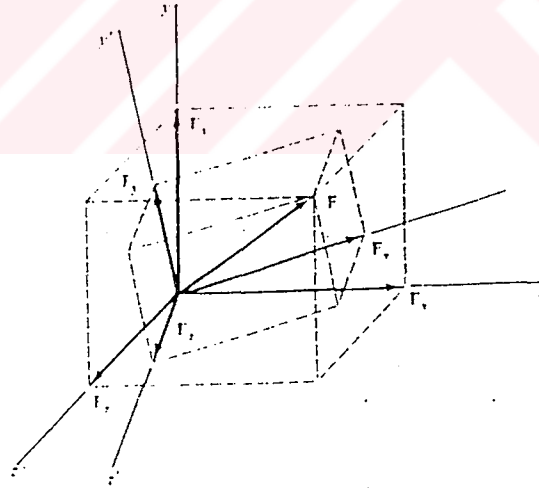
$$M_z = E^*(B^*q - \phi_0) \quad (2.2.4.7)$$

Bu ifade eğilmeye maruz elemanın uzunluğu boyunca herhangi bir noktasındaki momenti noktasal deplasmanlar,  $q$  ve başlangıç eğimi  $\phi_0$  cinsinden verir. Herhangi bir noktadaki eğilme gerilmesi de 2.2.4.6'daki denklemden elde edilebilir.

### 2.2.5 EKSEN DÖNÜŞÜMLERİ

Sonlu eleman için, eğer yerel ekseni global eksene paralel değilse eleman rijitliğine, noktasal deplasmanlara ve yüklere eksen dönüşümü uygulanmalıdır. Elemanlar tek bir matriste birleştiğinde her noktadaki sonuç denge denklemleri global eksen üzerinde elde edilir. Bunu için aşağıdaki dönüşüm matrisi kullanılır. Bu matriste ilk indisler yerel eksendeki  $x, y, z$  ve ikinci indisler global eksendeki  $x, y, z$ 'leri göstermek üzere,  $\lambda$  bunların arasındaki açının kosünüs değeridir.

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{xX} & \lambda_{xY} & \lambda_{xZ} \\ \lambda_{yX} & \lambda_{yY} & \lambda_{yZ} \\ \lambda_{zX} & \lambda_{zY} & \lambda_{zZ} \end{bmatrix}$$



Şekil 2.2.6-Eksen Dönüşümü

## 2.2.6 ELEMAN MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI VE ÇÖZÜMÜ

$$\delta U(\text{iç iş}) \delta W(\text{dışış}) \quad (2.2.6.1)$$

olduğunu biliyoruz. Virtüel noktasal deplasmanlar bütünü  $\delta D_N$  için bütün yapıdaki iç iş şu hale gelir,

$$\delta U = \delta D_N^T S_N D_N \quad (a)$$

Burada  $D_N$  tüm yapı için aktüel noktasal deplasmanlar vektörü,  $S_N$ 'de yine tüm yapı için noktasal rijitlik matrisidir. ( $D_N$ ,  $S_N$  global eksen üzerindeki değerlerdir.)

$$S_N = \sum_{i=1}^{n_e} K_i \quad (b)$$

Burada  $n_e$  eleman sayısıdır. Tüm yapı için dış iş,

$$\delta W = \delta D_N^T (A_N + A_{NB} + A_{NO}) \quad (c)$$

Burada  $A_N$  noktalara etkiyen dış yükler vektörünü gösterir.  $A_{NB}$  ve  $A_{NO}$  ise sırasıyla cisme etki eden kuvvetler ve başlangıç uzamaları nedeniyle oluşan eşdeğer noktasal yüklerdir. ( $A$  değerleri global eksenlerdeki yüklerdir.)

$$A_N = \sum_{i=1}^{n_e} P_i \quad A_{NB} = \sum_{i=1}^{n_e} P_{bi} \quad A_{NO} = \sum_{i=1}^{n_e} P_{oi} \quad (d)$$

a ve c denklemleri eşitlik 2.2.6.1'de yerine konup  $\delta D_N^T$  sadeleştirildiğinde,

$$S_N D_N = A_N + A_{NB} + A_{NO} \quad (2.2.6.2)$$

haline gelir. Mesnet şartları göz önüne alınmaksızın, bunlar yapının tüm düğüm noktaları için noktasal denge denklemleridir. 2.2.6.2 denkleminin çözüm için aşağıdaki gibi tekrar düzenleyip parçalara ayırabiliriz.

$$\begin{bmatrix} S_{FF} & S_{FR} \\ S_{RF} & S_{RR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_F \\ D_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_F \\ A_R \end{bmatrix} \quad (2.2.6.3)$$

Burada F indisi serbest noktaların deplasmanını R indisi de tutulmuş noktaların deplasmanını gösterir. Eşitlik 2.2.6.3'ü açarsak,

$$S_{FF} D_F + S_{FR} D_R = A_F \quad \text{ve} \quad (2.2.6.4.a)$$

$$S_{RF} D_F + S_{RR} D_R = A_R \quad (2.2.6.4.b)$$

(2.2.6.4.a)'dan  $D_F$ 'yi çekersek,

$$D_F = S_{FF}^{-1} (A_F - S_{FR} D_R) \quad (2.2.6.5)$$

Tutulu noktaların deplasmanları  $D_R$ 'den dolayı oluşan eşdeğer noktasal yükler aşağıdaki gibidir.

$$A_{FR} = -S_{FR} D_R \quad (2.2.6..6)$$

Serbest noktasal deplasmanlar bulunduktan sonra eğer istenirse mesnet reaksiyonları  $A_R$  eşitlik (2.2.6.4.b)'den bulunabilir. Daha sonra her elemandaki gerilmeler,

$$\sigma_i = E_i (B_i q_i - \epsilon_{0i}) \quad (i=1,2,\dots,n_e) \text{ 'den bulunabilir.}$$

Bu vektörde  $q_i$   $i$  inci eleman için noktasal deplasmanları gösterir.

### 3.0) DÜZLEM UZAY KAFES SİSTEMLERDEN MESNETLEME TİPİ VE KAFES YÜKSEKLİĞİNE BAĞLI MALİYET ANALİZİ

Bu bölümde Türkiye'de en çok kullanılan kare tabanlı piramit modülden oluşan, (detay için bkz Şekil 3.1) düzlem uzay kafes ele alınmıştır. 30x60 ebatlarında bir alan örten bu çatı sistemi, üç farklı mesnetleme için, kafes yüksekliği değiştirilerek maliyete etkisi araştırılmıştır.

A tipi mesnetlemede (Şekil 3.2) 1, 2 ve 3 akslarındaki ilk üçer mesnet sabit değerleri 'x' yönünde serbest 'y' yönünde tutulu, B tipi (Şekil 3.3) mesnetlemede 1, 2 ve 3 akslarındaki ilk ikişer mesnetler sabit, diğerleri 'x' yönünde hareketli 'y' yönünde tutulu, C tipi (Şekil 3.4) mesnetlemede 1 ve 3 akslarındaki ilk üç mesnet sabit değerleri 'x' yönünde serbest 'y' yönünde tutulu alınmıştır. A tipinde 'x' yönünde her 6m 'y' yönünde 15m, B tipinde 'x' yönünde 12m, 'y' yönünde 15m, C tipinde 'x' yönünde 6m, 'y' yönünde 30m'de bir mesnetleme yapılmıştır. Modül tabanını 3x3 seçilmiştir. Bunun nedeni de Türkiye'de üretilen boruların 12m standart boylara sahip olması ve bundan fire vermeden optimum kullanımı sağlamak içindir. Kullanılan malzeme listesi aşağıda verilmiştir. Araştırmaya kafes yüksekliği  $h=100\text{cm}$ 'den başlanmış  $h=180\text{cm}$ 'ye kadar çıkmıştır. Bunun altındaki ve üstündeki değerler için araştırma yapılmamıştır. Bunun nedeni de düğüm noktalarındaki birleşim açılarından dolayı olabilecek kosntriktif zorluklardır. Piyasadaki pek çok hazır modül de 30m'ye kadar olan açıklıklarda, yükseklikleri  $h=120\text{cm}$  ile  $150\text{cm}$  arasında değişmektedir. Analizde boru, (boru maliyetinde her bir boru 3m üzerinden hesaplanmıştır) konik, civata ve düğüm noktası maliyetleri hesaba katılmıştır. Analizde çatı kaplaması maliyetleri hesaba katılmamıştır bunun nedeni de kapatılacak yüzey değişmediğinden kaplama malzemesi maliyetinde de değişiklik olmayacaktır. Tüm sistemler aynı yükleme durumu için (zati yük İstanbul standartlarında kar yükü ve rüzgar yükü ) hesaplanmıştır. (Yükleme durumları için Bkz.Şekil 3.5) Eleman fiyatları, USKON Uzay Sistem Konstrüksiyonları San. ve Tic. A.Ş'nden 1997 Mayıs tarihinde alınmıştır. Çözümlerde, SAP90 destekli "Megaform" yazılımı kullanılmıştır.

### Kullanılan Malzeme Listesi

a) Borular: Uzay kafes sistemde hesapların öngördüğü kuvvetlere göre kesitleri tayin edilen borulara DIN 17100'e göre düşük karbonlu, kaynaklanabilme kabiliyeti yüksek St 37.2 veya St 52.3 dikişli veya çekmelidir.

Çelik Kalitesi      Çekme Gerilmesi      Akma Gerilmesi

St 37-2      37-45 kg/mm<sup>2</sup>      24kg/mm<sup>2</sup>

İç Çapı (mm)      Dış çap (mm)      Et Kalınlığı(mm)

20	26.9	2.65
25	33.7	3.25
32	42.4	3.25
40	48.3	3.25
50	60.3	3.65
60	76.1	3.65
80	88.9	4.05
100	114.3	4.50
125	139.7	4.85
150	165.1	4.85
200	219.0	4.00-5.00-6.30 7.10-8.00-8.80

b) Küreler: Çapları kullanıldığı yere ve aldığı yüke göre 50mm ile 240mm arasında değişen küreler DIN 17200'e göre C45 malzemeden üretilirler.

Küre üretiminin iki aşaması vardır;

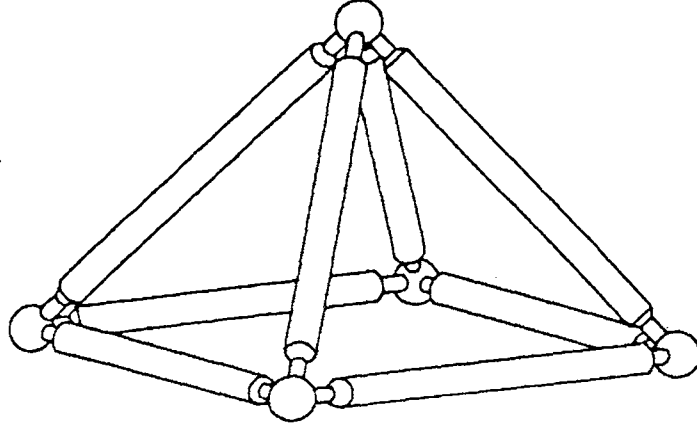
Önce sıcak dövme tekniği ile malzeme küresel şekle dönüştürülüp arkasından kumlama yöntemiyle yüzeydeki tufal tabakası temizlenir. İkinci aşamada ise, bu küresel parçaların geliştirilmiş özel tezgahlar ve aparatlarda bilgisayar kontrollü

hazırlanan resimlerine uygun üretimi talaşlı imalat usulleri ile gerçekleştirilir. Yapılan kalite kontrol sonucu kabul edilen küreler, ortalama 25 mikron kalınlığında elektro galveniz kaplanır.

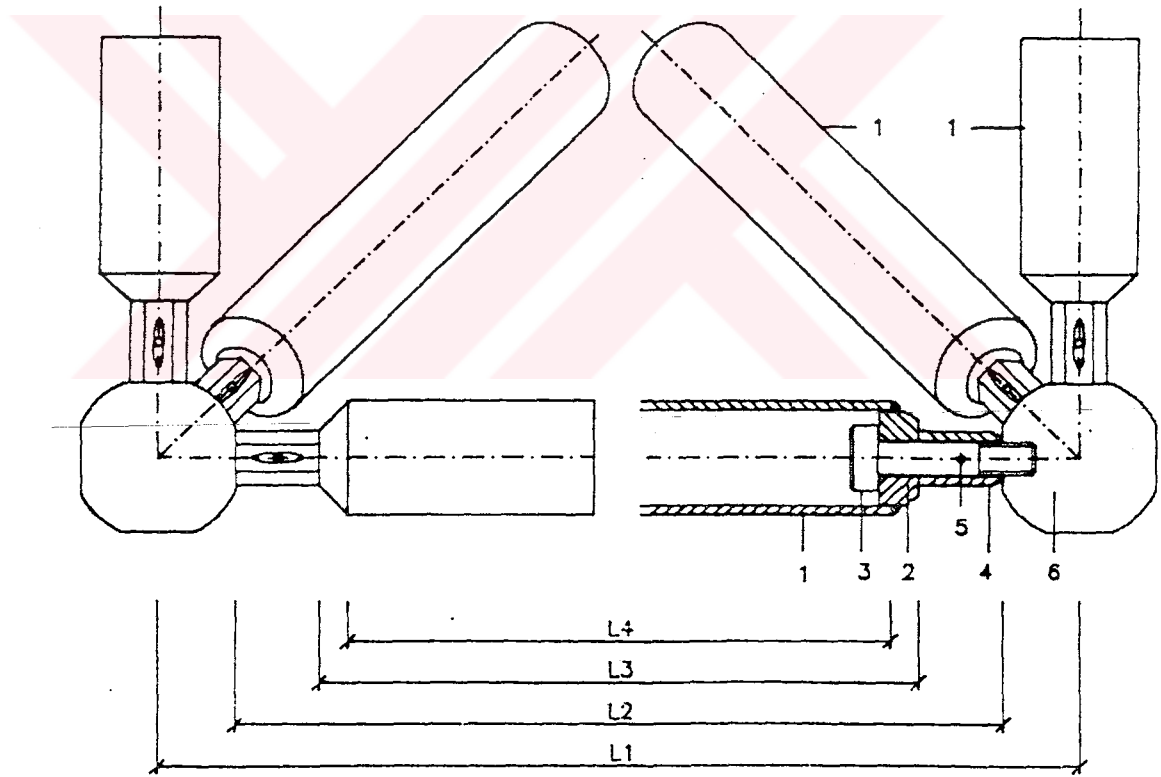
c) Civata, Somun ve Pim:

DIN 13'e uygun ISO dişli olan civatalar, DIN 267'de öngörülen şartları sağlar ve 8.8 ile 10.9 kalitelerinde üretilirler. Boru uçlarına kaynatılmış olan konilere takılan civatanın kafası konik parçanın içinde kalır ve rahatça dönebilir. Konik parça ile küre arasında kalan civataya soğuk çekme altıgen kesitli somun takılır. Somun et kalınlıkları, basınç ve çekme kuvveti taşımaya bağlı olarak değişir. Her iki tarafına açılan yarıklardan ve civatadan geçen pim, civataların sıkılmasını sağlar. Civata malzemesinin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

<u>Civata Kalitesi</u>	<u>8.8</u>	<u>10.9</u>
Orantısız uzama gerilmesi (%0.2 kalıcı uzamaya tekabül eden akma gerilmesi)	64 kg/mm <sup>2</sup>	90 kg/mm <sup>2</sup>
Çekme dayanımı	80 kg/mm <sup>2</sup>	104 kg/mm <sup>2</sup>
Minimum nihai bozulma%	12	9



SQUARE BASED PYRAMID MODUL



1- Çubuk

2- Konik

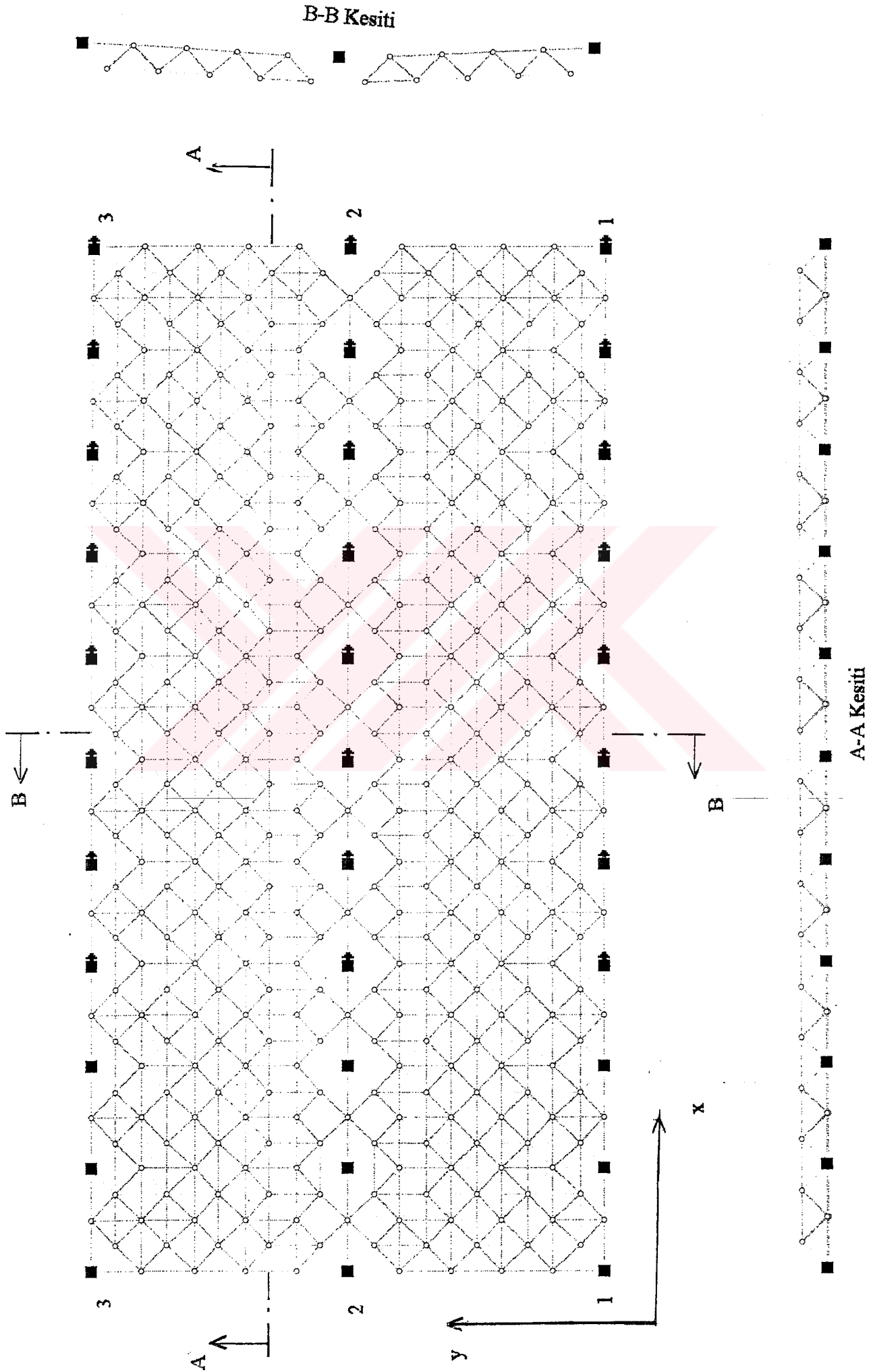
3-Saplama Başı

4-Manşon

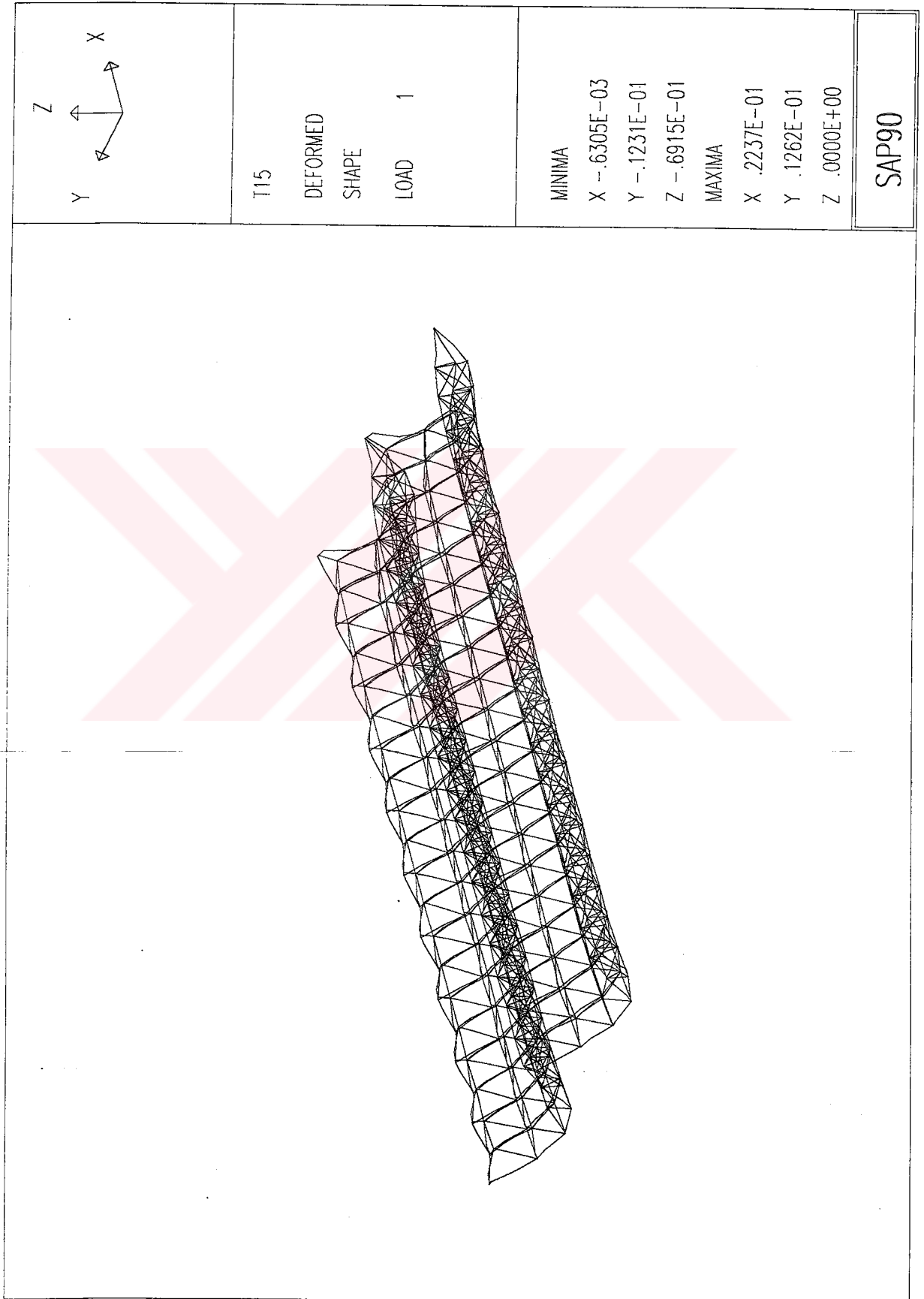
6-Saplama

7-Düğüm Noktası

Şekil 3.1- Araştırmada kullanılan modül tipi detayı



Şekil 3.2 - A Tipi mesnetlenme plan ve kesitleri



Şekil 3.2.a)- A Tipi mesnetlenmede deformasyon









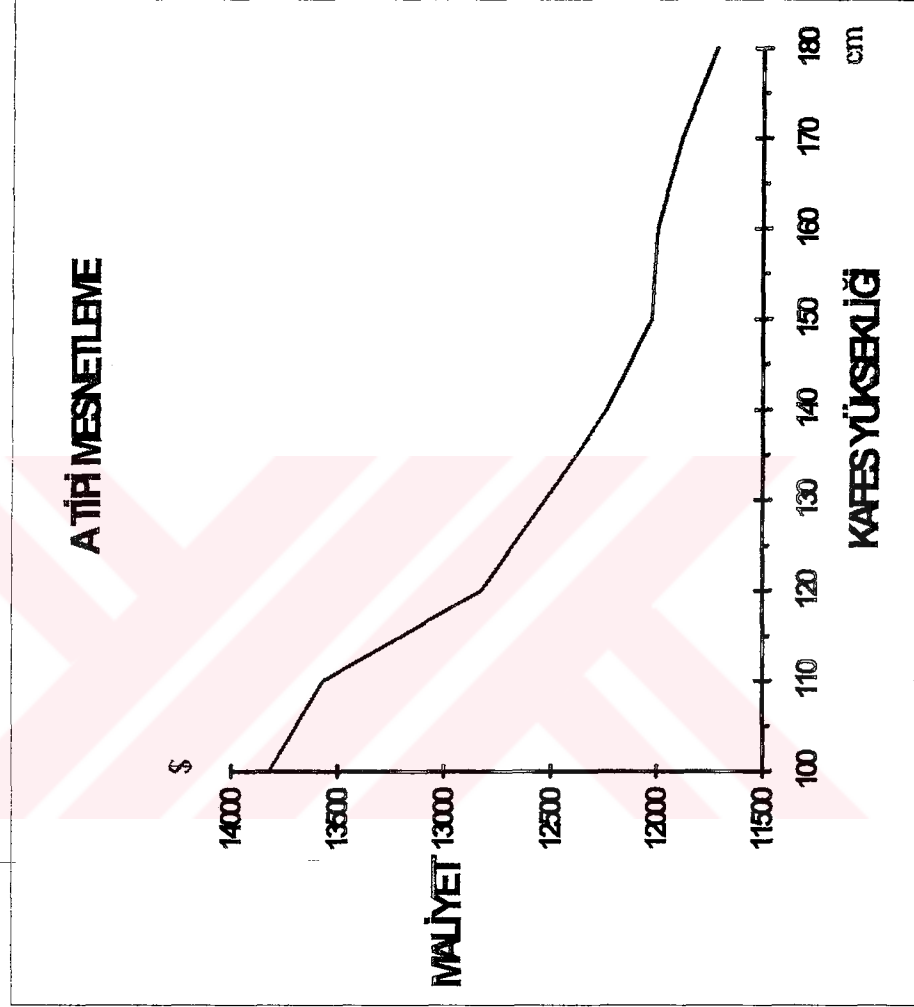




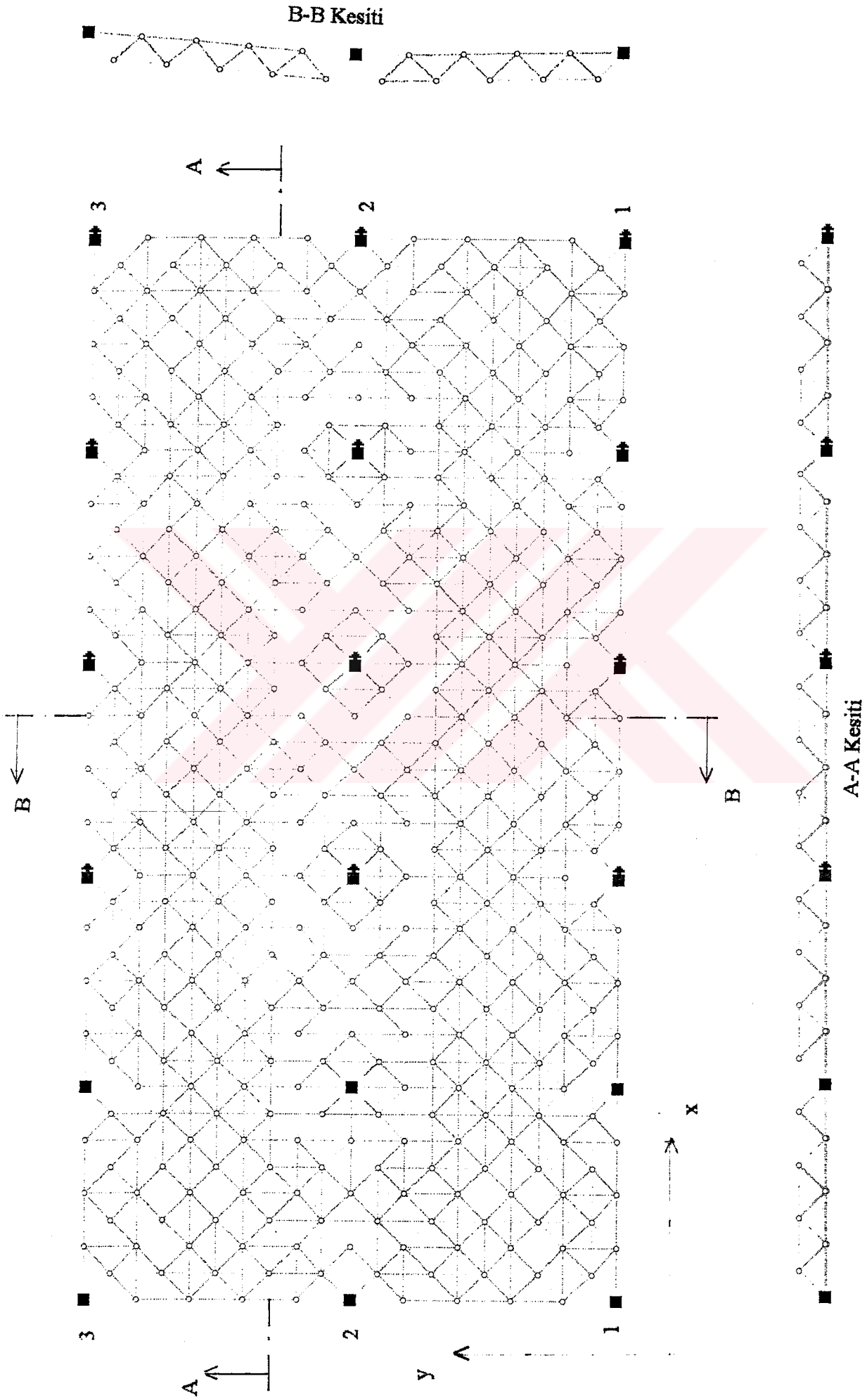




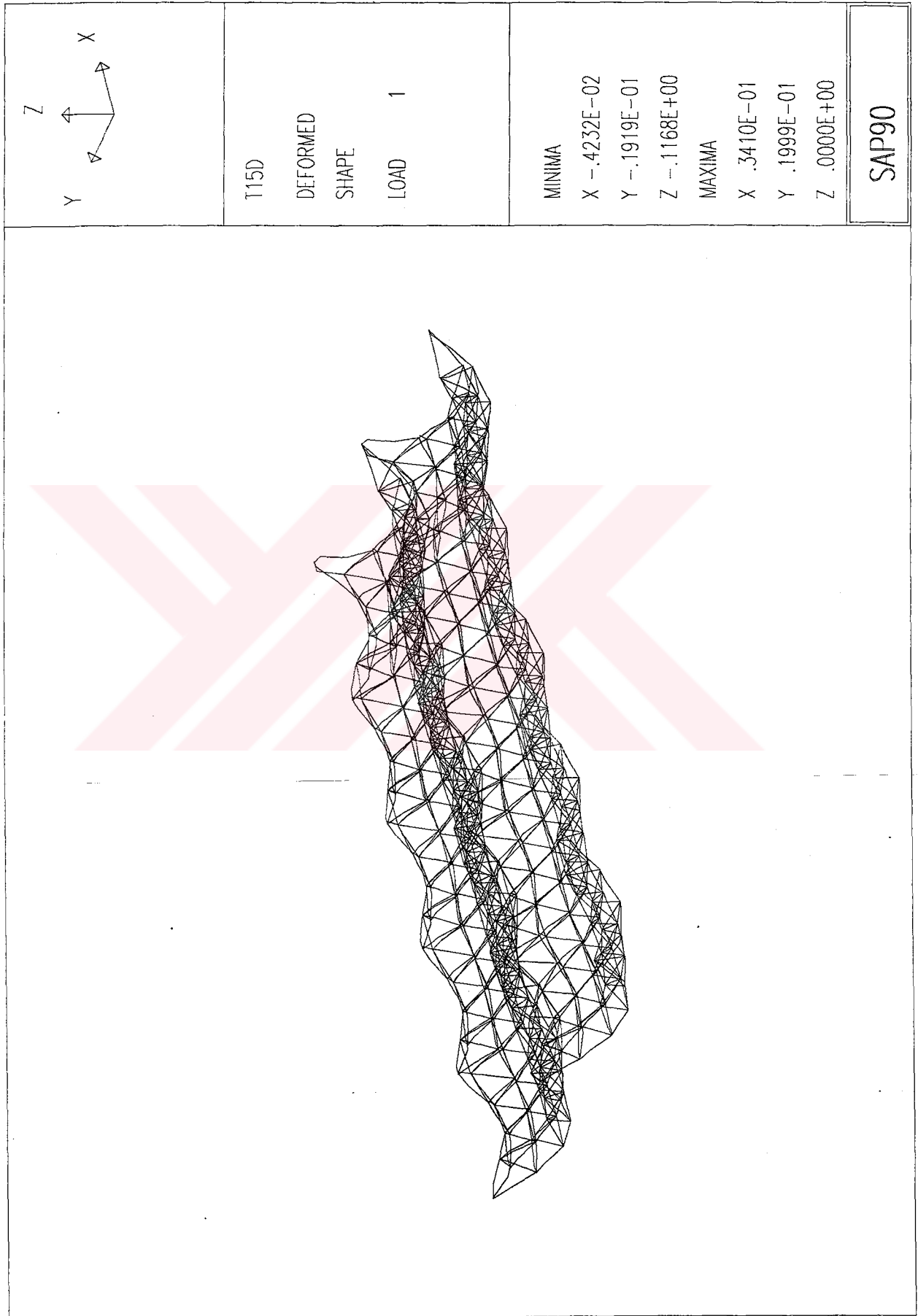




Grafik 3.1- A Tipi mesnetlenmede Maliyet- Kafes Yüksekliği eğrisi



Şekil 3.3 - B Tipi mesnetlenme plan ve kesitleri



T15D

DEFORMED  
SHAPE

LOAD 1

MINIMA

X -.4232E-02

Y -.1919E-01

Z -.1168E+00

MAXIMA

X .3410E-01

Y .1999E-01

Z .0000E+00

SAP90

Tablo 10-B Tipi mesnetlemede h = 100 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	457	3.15	1439.55	1.25	914	0.16	146.24	M 12x 8.8x50	914	0.14	127.96	φ 60	0	1.3	0
φ 48	341	6	2046	1.5	682	0.24	163.68	M 12x 8.8x45	682	0.14	95.48	φ 75	224	2.31	517.44
φ 60	409	8.7	3558.3	2	818	1.08	883.44	M 12x 8.8x40	818	0.14	114.52	φ 90	138	3.85	531.3
φ 76	241	10.95	2638.95	2.25	482	1.13	544.66	M 16x 10.9x30	482	0.31	149.42	φ 110	58	6.67	386.86
φ 89	99	14.7	1455.3	3	198	1.48	293.04	M 20x 8.8x40	198	0.75	148.5	φ 130	1	11.18	11.18
φ 114	47	22.5	1057.5	4	94	2.94	276.36	M 24x 10.9x50	94	1.3	122.2	φ 150	10	17.13	171.3
φ 140	6	28.05	168.3	4	12	4.88	58.56	M 20x 8.8x50	12	0.85	10.2				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>12363.9</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>2365.98</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>768.28</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1618.08</b>

SİSTEM MALİYETİ= 17116.24 \$

Tablo 11-B Tipi mesnetlemede h = 110 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	677	3.15	2132.55
φ 48	253	6	1518
φ 60	346	8.7	3010.2
φ 76	175	10.95	1916.25
φ 89	112	14.7	1646.4
φ 114	35	22.5	787.5
φ 140	2	28.05	56.1
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>11067</b>

Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
1.25	1354	0.16	216.64
1.5	506	0.24	121.44
2	692	1.08	747.36
2.25	350	1.13	395.5
3	224	1.48	331.52
4	70	2.94	205.8
4	4	4.88	19.52
<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>2037.78</b>

Cıvata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
M 12x 8.8x50	1354	0.14	189.56
M 12x 8.8x45	506	0.14	70.84
M 12x 8.8x40	692	0.14	96.88
M 16x 10.9x30	350	0.31	108.5
M 20x 8.8x40	224	0.75	168
M 24x 10.9x50	70	1.3	91
M 20x 8.8x50	4	0.85	3.4
<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>728.18</b>

Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 60	15	1.3	19.5
φ 75	236	2.31	545.16
φ 90	142	3.85	546.7
φ 110	22	6.67	146.74
φ 130	16	11.18	178.88
φ 150	0	17.13	0
<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1436.98</b>

**SİSTEM MALİYETİ = 15269.94 \$**

Tablo 12-B Tipi mesnetlemede h = 120 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	674	3.15	2123.1	1.25	1348	0.16	215.68	M 12x 8.8x50	1348	0.14	188.72	φ 60	19	1.3	24.7
φ 48	275	6	1650	1.5	550	0.24	132	M 12x 8.8x45	550	0.14	77	φ 75	302	2.31	697.62
φ 60	353	8.7	3071.1	2	706	1.08	762.48	M 12x 8.8x40	706	0.14	98.84	φ 90	90	3.85	346.5
φ 76	164	10.95	1795.8	2.25	328	1.13	370.64	M 16x 10.9x30	328	0.31	101.68	φ 110	10	6.67	66.7
φ 89	111	14.7	1631.7	3	222	1.48	328.56	M 20x 8.8x40	222	0.75	166.5	φ 130	10	11.18	111.8
φ 114	23	22.5	517.5	4	46	2.94	135.24	M 24x 10.9x50	46	1.3	59.8	φ 150	0	17.13	0
φ 140	0	28.05	0	4	0	4.88	0	M 20x 8.8x50	0	0.85	0				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>10789.2</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>1944.6</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>692.54</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1247.32</b>

SİSTEM MALİYETİ = 14673.66 \$

Tablo 13-B. Tipi mesnetlemede h= 130 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	680	3.15	2142	1.25	1360	0.16	217.6	M 12x 8.8x50	1360	0.14	190.4	φ 60	20	1.3	26
φ 48	290	6	1740	1.5	580	0.24	139.2	M 12x 8.8x45	580	0.14	81.2	φ 75	306	2.31	706.86
φ 60	345	8.7	3001.5	2	690	1.08	745.2	M 12x 8.8x40	690	0.14	96.6	φ 90	86	3.85	331.1
φ 76	161	10.95	1762.95	2.25	322	1.13	363.86	M 16x 10.9x30	322	0.31	99.82	φ 110	5	6.67	33.35
φ 89	103	14.7	1514.1	3	206	1.48	304.88	M 20x 8.8x40	206	0.75	154.5	φ 130	14	11.18	156.52
φ 114	21	22.5	472.5	4	42	2.94	123.48	M 24x 10.9x50	42	1.3	54.6	φ 150	0	17.13	0
φ 140	0	28.05	0	4	0	4.88	0	M 20x 8.8x50	0	0.85	0				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>10633.05</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>1894.22</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>677.12</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1253.83</b>

SİSTEM MALİYETİ= 14458.22 \$

Tablo 14-B Tipi mesnetlemede h= 140 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	900	3.15	2835
φ 48	84	6	504
φ 60	331	8.7	2879.7
φ 76	163	10.95	1784.85
φ 89	101	14.7	1484.7
φ 114	21	22.5	472.5
φ 140	0	28.05	0
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>9960.75</b>

Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
1.25	1800	0.16	288
1.5	168	0.24	40.32
2	662	1.08	714.96
2.25	326	1.13	368.38
3	202	1.48	298.96
4	42	2.94	123.48
4	0	4.88	0
<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>1834.1</b>

Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
M 12x 8.8x50	1800	0.14	252
M 12x 8.8x45	168	0.14	23.52
M 12x 8.8x40	662	0.14	92.68
M 16x 10.9x30	326	0.31	101.06
M 20x 8.8x40	202	0.75	151.5
M 24x 10.9x50	42	1.3	54.6
M 20x 8.8x50	0	0.85	0
<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>675.36</b>

Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 60	24	1.3	31.2
φ 75	311	2.31	718.41
φ 90	76	3.85	292.6
φ 110	14	6.67	93.38
φ 130	6	11.18	67.08
φ 150	0	17.13	0
<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1202.67</b>

**SİSTEM MALİYETİ= 13672.88 \$**

Tablo 15-B Tipi mesnetlemede h = 150 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	930	3.15	2929.5	1.25	1860	0.16	297.6	M 12x 8.8x50	1860	0.14	260.4	φ 60	146	1.3	189.8
φ 48	74	6	444	1.5	148	0.24	35.52	M 12x 8.8x45	148	0.14	20.72	φ 75	234	2.31	540.54
φ 60	321	8.7	2792.7	2	642	1.08	693.36	M 12x 8.8x40	642	0.14	89.88	φ 90	31	3.85	119.35
φ 76	208	10.95	2277.6	2.25	416	1.13	470.08	M 16x 10.9x30	416	0.31	128.96	φ 110	18	6.67	120.06
φ 89	50	14.7	735	3	100	1.48	148	M 20x 8.8x40	100	0.75	75	φ 130	2	11.18	22.36
φ 114	17	22.5	382.5	4	34	2.94	99.96	M 24x 10.9x50	34	1.3	44.2	φ 150	0	17.13	0
φ 140	0	28.05	0	4	0	4.88	0	M 20x 8.8x50	0	0.85	0				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>9561.3</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>1744.52</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>619.16</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>992.11</b>

SİSTEM MALİYETİ = 12917.09 \$

Tablo 16-B Tipi mesnetlemede h = 160 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küire	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	930	3.15	2929.5	1.25	1860	0.16	297.6	M 12x 8.8x50	1860	0.14	260.4	φ 60	157	1.3	204.1
φ 48	81	6	486	1.5	162	0.24	38.88	M 12x 8.8x45	162	0.14	22.68	φ 75	235	2.31	542.85
φ 60	325	8.7	2827.5	2	650	1.08	702	M 12x 8.8x40	650	0.14	91	φ 90	19	3.85	73.15
φ 76	213	10.95	2332.35	2.25	426	1.13	481.38	M 16x 10.9x30	426	0.31	132.06	φ 110	20	6.67	133.4
φ 89	35	14.7	514.5	3	70	1.48	103.6	M 20x 8.8x40	70	0.75	52.5	φ 130	0	11.18	0
φ 114	16	22.5	360	4	32	2.94	94.08	M 24x 10.9x50	32	1.3	41.6	φ 150	0	17.13	0
φ 140	0	28.05	0	4	0	4.88	0	M 20x 8.8x50	0	0.85	0				
<b>BORU MALİYE</b>			<b>9449.85</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>1717.54</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>600.24</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>953.5</b>

SİSTEM MALİYETİ= 12721.13 \$

Tablo 17-B Tipi mesnetlemede h = 170 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	948	3.15	2986.2	1.25	1896	0.16	303.36	M 12x 8.8x50	1896	0.14	265.44	φ 60	159	1.3	206.7
φ 48	72	6	432	1.5	144	0.24	34.56	M 12x 8.8x45	144	0.14	20.16	φ 75	230	2.31	531.3
φ 60	320	8.7	2784	2	640	1.08	691.2	M 12x 8.8x40	640	0.14	89.6	φ 90	24	3.85	92.4
φ 76	206	10.95	2255.7	2.25	412	1.13	465.56	M 16x 10.9x30	412	0.31	127.72	φ 110	18	6.67	120.06
φ 89	40	14.7	588	3	80	1.48	118.4	M 20x 8.8x40	80	0.75	60	φ 130	0	11.18	0
φ 114	14	22.5	315	4	28	2.94	82.32	M 24x 10.9x50	28	1.3	36.4	φ 150	0	17.13	0
φ 140	0	28.05	0	4	0	4.88	0	M 20x 8.8x50	0	0.85	0				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>9360.9</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>1695.4</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>599.32</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>950.46</b>

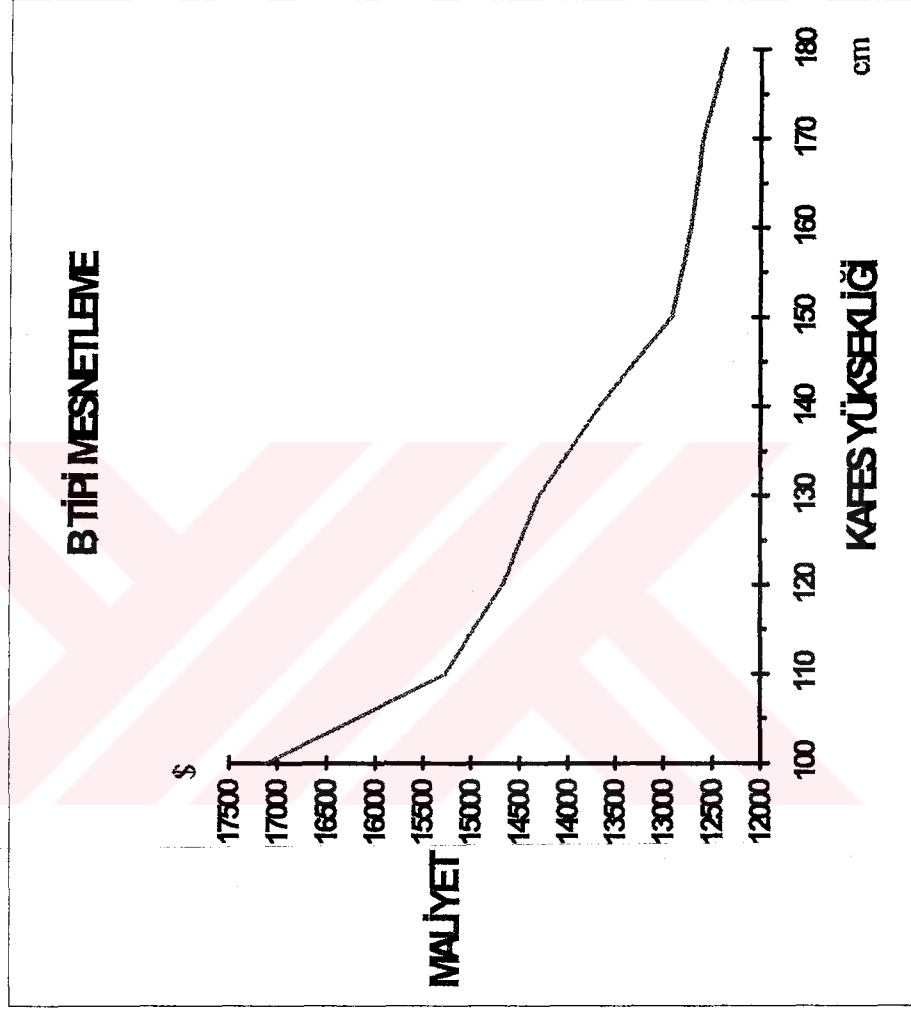
**SİSTEM MALİYETİ = 12606.08 \$**

Tablo 18-B Tipi mesnetlemede h= 180 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	962	3.15	3030.3	1.25	1924	0.16	307.84	M 12x 8.8x50	1924	0.14	269.36	φ 60	177	1.3	230.1
φ 48	77	6	462	1.5	154	0.24	36.96	M 12x 8.8x45	154	0.14	21.56	φ 75	214	2.31	494.34
φ 60	317	8.7	2757.9	2	634	1.08	684.72	M 12x 8.8x40	634	0.14	88.76	φ 90	22	3.85	84.7
φ 76	200	10.95	2190	2.25	400	1.13	452	M 16x 10.9x30	400	0.31	124	φ 110	18	6.67	120.06
φ 89	30	14.7	441	3	60	1.48	88.8	M 20x 8.8x40	60	0.75	45	φ 130	0	11.18	0
φ 114	14	22.5	315	4	28	2.94	82.32	M 24x 10.9x50	28	1.3	36.4	φ 150	0	17.13	0
φ 140	0	28.05	0	4	0	4.88	0	M 20x 8.8x50	0	0.85	0				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>9196.2</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>1652.64</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>585.08</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>929.2</b>

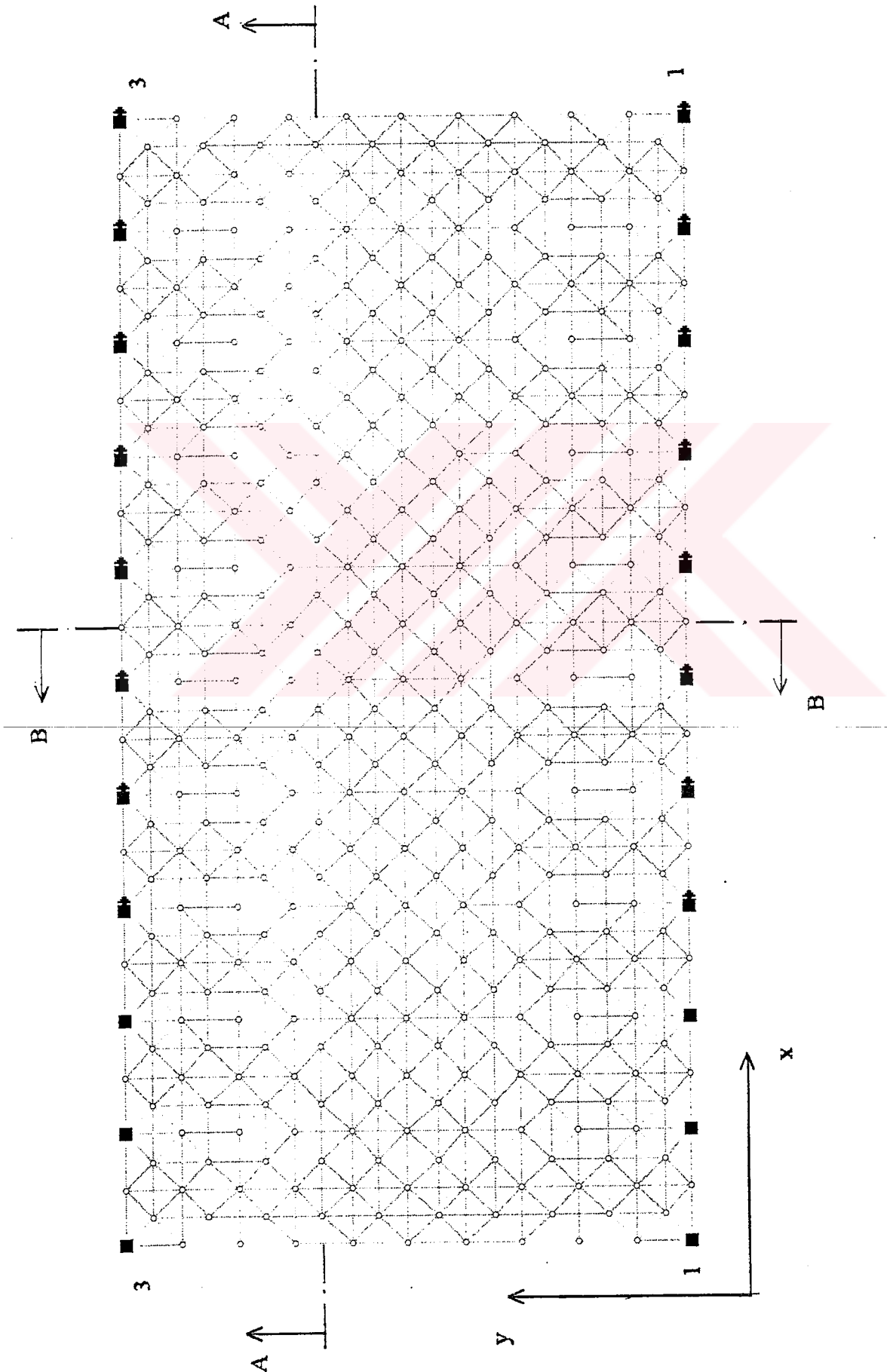
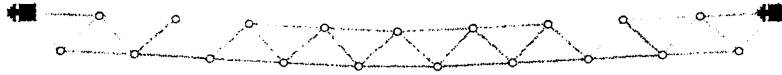
SİSTEM MALİYETİ=

12363.12 \$

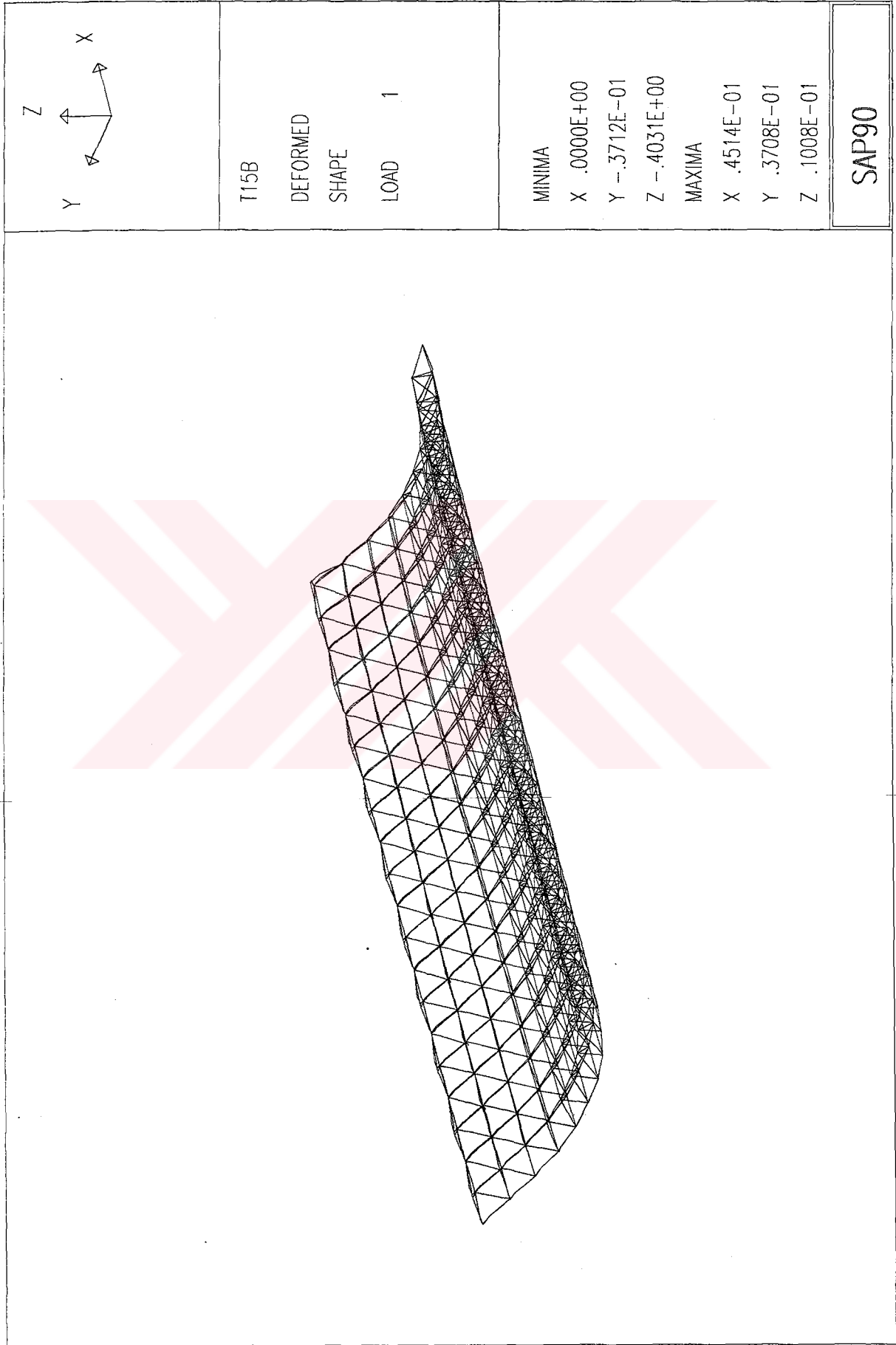


Grafik 3.2- B Tipi mesnetlenmede Maliyet- Kafes Yüksekliği eğrisi

B-B Kesiti



A-A Kesiti



Sekil 3.4. a) C Tipi mesnetlenmede deformatsyon

Tablo 19- C Tipi mesnetlemede, h = 100 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	895	3.15	2819.25	1.25	1790	0.16	286.4	M 12x 8.8x50	1790	0.14	250.6	φ 60	0	1.3	0
φ 48	179	6	1074	1.5	358	0.24	85.92	M 12x 8.8x45	358	0.14	50.12	φ 75	215	2.31	496.65
φ 60	92	8.7	800.4	2	184	1.08	198.72	M 12x 8.8x40	184	0.14	25.76	φ 90	173	3.85	666.05
φ 76	142	10.95	1554.9	2.25	284	1.13	320.92	M 16x 10.9x30	284	0.31	88.04	φ 110	43	6.67	286.81
φ 89	76	14.7	1117.2	3	152	1.48	224.96	M 20x 8.8x40	152	0.75	114	φ 130	0	11.18	0
φ 114	48	22.5	1080	4	96	2.94	282.24	M 24x 10.9x50	96	1.3	124.8	φ 150	0	17.13	0
φ 140	74	28.05	2075.7	4	148	4.88	722.24	M 20x 8.8x50	148	0.85	125.8				
φ 219	94	75	7050	4 UZ	188	24	4512	M 33x 8.8x70	188	2.1	394.8				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>17571.45</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>6633.4</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>1173.92</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1449.51</b>

**SİSTEM MALİYETİ = 26828.28 \$**

Tablo 20- C Tipi mesnetlemede, h = 110 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	834	3.15	2627.1	1.25	1668	0.16	266.88	M 12x 8.8x50	1668	0.14	233.52	φ 60	97	1.3	126.1
φ 48	209	6	1254	1.5	418	0.24	100.32	M 12x 8.8x45	418	0.14	58.52	φ 75	114	2.31	263.34
φ 60	128	8.7	1113.6	2	256	1.08	276.48	M 12x 8.8x40	256	0.14	35.84	φ 90	13	3.85	50.05
φ 76	140	10.95	1533	2.25	280	1.13	316.4	M 16x 10.9x30	280	0.31	86.8	φ 110	155	6.67	1033.85
φ 89	75	14.7	1102.5	3	150	1.48	222	M 20x 8.8x40	150	0.75	112.5	φ 130	52	11.18	581.36
φ 114	66	22.5	1485	4	132	2.94	388.08	M 24x 10.9x50	132	1.3	171.6	φ 150	0	17.13	0
φ 140	80	28.05	2244	4	160	4.88	780.8	M 20x 8.8x50	160	0.85	136				
φ 219	68	75	5100	4 UZ	136	24	3264	M 33x 8.8x70	136	2.1	285.6				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>16459.2</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>5614.96</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>1120.38</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>2054.7</b>

SİSTEM MALİYETİ=

25249.24 \$

Tablo 21- C Tipi mesnetlemede, h = 120 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	848	3.15	2671.2	1.25	1696	0.16	271.36	M 12x 8.8x50	1696	0.14	237.44	φ 60	114	1.3	148.2
φ 48	223	6	1338	1.5	446	0.24	107.04	M 12x 8.8x45	446	0.14	62.44	φ 75	53	2.31	122.43
φ 60	103	8.7	896.1	2	206	1.08	222.48	M 12x 8.8x40	206	0.14	28.84	φ 90	66	3.85	254.1
φ 76	146	10.95	1598.7	2.25	292	1.13	329.96	M 16x 10.9x30	292	0.31	90.52	φ 110	16	6.67	106.72
φ 89	72	14.7	1058.4	3	144	1.48	213.12	M 20x 8.8x40	144	0.75	108	φ 130	34	11.18	380.12
φ 114	68	22.5	1530	4	136	2.94	399.84	M 24x 10.9x50	136	1.3	176.8	φ 150	4	17.13	68.52
φ 140	100	28.05	2805	4	200	4.88	976	M 20x 8.8x50	200	0.85	170				
φ 219	40	75	3000	4 UZ	80	24	1920	M 33x 8.8x70	80	2.1	168				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>14897.4</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>4439.8</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>1042.04</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1080.09</b>

SİSTEM MALİYETİ= 21459.33 \$

Tablo 22- C Tipi mesnetlemede, h = 130 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	832	3.15	2620.8	1.25	1664	0.16	266.24	M 12x 8.8x50	1664	0.14	232.96	φ 60	103	1.3	133.9
φ 48	229	6	1374	1.5	458	0.24	109.92	M 12x 8.8x45	458	0.14	64.12	φ 75	66	2.31	152.46
φ 60	111	8.7	965.7	2	222	1.08	239.76	M 12x 8.8x40	222	0.14	31.08	φ 90	112	3.85	431.2
φ 76	154	10.95	1686.3	2.25	308	1.13	348.04	M 16x 10.9x30	308	0.31	95.48	φ 110	114	6.67	760.38
φ 89	80	14.7	1176	3	160	1.48	236.8	M 20x 8.8x40	160	0.75	120	φ 130	36	11.18	402.48
φ 114	72	22.5	1620	4	144	2.94	423.36	M 24x 10.9x50	144	1.3	187.2	φ 150	0	17.13	0
φ 140	98	28.05	2748.9	4	196	4.88	956.48	M 20x 8.8x50	196	0.85	166.6				
φ 219	24	75	1800	4 UZ	48	24	1152	M 33x 8.8x70	48	2.1	100.8				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>13991.7</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>3732.6</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>998.24</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1880.42</b>

SİSTEM MALİYETİ= 20602.96 \$

Tablo 23- C Tipi mesnetlemede, h = 140 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küire	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	867	3.15	2731.05	1.25	1734	0.16	277.44	M 12x 8.8x50	1734	0.14	242.76	φ 60	101	1.3	131.3
φ 48	195	6	1170	1.5	390	0.24	93.6	M 12x 8.8x45	390	0.14	54.6	φ 75	68	2.31	157.08
φ 60	114	8.7	991.8	2	228	1.08	246.24	M 12x 8.8x40	228	0.14	31.92	φ 90	122	3.85	469.7
φ 76	164	10.95	1795.8	2.25	328	1.13	370.64	M 16x 10.9x30	328	0.31	101.68	φ 110	122	6.67	813.74
φ 89	78	14.7	1146.6	3	156	1.48	230.88	M 20x 8.8x40	156	0.75	117	φ 130	18	11.18	201.24
φ 114	72	22.5	1620	4	144	2.94	423.36	M 24x 10.9x50	144	1.3	187.2	φ 150	0	17.13	0
φ 140	92	28.05	2580.6	4	184	4.88	897.92	M 20x 8.8x50	184	0.85	156.4				
φ 219	18	75	1350	4 UZ	36	24	864	M 33x 8.8x70	36	2.1	75.6				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>13385.85</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>3404.08</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>967.16</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1773.06</b>

SİSTEM MALİYETİ = 19530.15 \$

Tablo 24- C Tipi mesnetlemede, h = 150 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	884	3.15	2784.6	1.25	1768	0.16	282.88	M 12x 8.8x50	1768	0.14	247.52	φ 60	147	1.3	191.1
φ 48	183	6	1098	1.5	366	0.24	87.84	M 12x 8.8x45	366	0.14	51.24	φ 75	22	2.31	50.82
φ 60	113	8.7	983.1	2	226	1.08	244.08	M 12x 8.8x40	226	0.14	31.64	φ 90	146	3.85	562.1
φ 76	158	10.95	1730.1	2.25	316	1.13	357.08	M 16x 10.9x30	316	0.31	97.96	φ 110	98	6.67	653.66
φ 89	84	14.7	1234.8	3	168	1.48	248.64	M 20x 8.8x40	168	0.75	126	φ 130	18	11.18	201.24
φ 114	70	22.5	1575	4	140	2.94	411.6	M 24x 10.9x50	140	1.3	182	φ 150	0	17.13	0
φ 140	90	28.05	2524.5	4	180	4.88	878.4	M 20x 8.8x50	180	0.85	153				
φ 219	18	75	1350	4 UZ	36	24	864	M 33x 8.8x70	36	2.1	75.6				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>13280.1</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>3374.52</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>964.96</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1658.92</b>

SİSTEM MALİYETİ = 19278.5 \$

Tablo 25- C Tipi mesnetlemede, h = 160 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küire	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	870	3.15	2740.5	1.25	1740	0.16	278.4	M 12x 8.8x50	1740	0.14	243.6	φ 60	149	1.3	193.7
φ 48	182	6	1092	1.5	364	0.24	87.36	M 12x 8.8x45	364	0.14	50.96	φ 75	24	2.31	55.44
φ 60	138	8.7	1200.6	2	276	1.08	298.08	M 12x 8.8x40	276	0.14	38.64	φ 90	152	3.85	585.2
φ 76	148	10.95	1620.6	2.25	296	1.13	334.48	M 16x 10.9x30	296	0.31	91.76	φ 110	90	6.67	600.3
φ 89	84	14.7	1234.8	3	168	1.48	248.64	M 20x 8.8x40	168	0.75	126	φ 130	16	11.18	178.88
φ 114	80	22.5	1800	4	160	2.94	470.4	M 24x 10.9x50	160	1.3	208	φ 150	0	17.13	0
φ 140	82	28.05	2300.1	4	164	4.88	800.32	M 20x 8.8x50	164	0.85	139.4				
φ 219	16	75	1200	4 UZ	32	24	768	M 33x 8.8x70	32	2.1	67.2				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>13188.6</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>3285.68</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>965.56</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1613.52</b>

SİSTEM MALİYETİ= 19053.36 \$

Tablo 26- C Tipi mesnetlemede, h = 170 cm için dolar bazında sistem maliyeti

Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	881	3.15	2775.15	1.25	1762	0.16	281.92	M 12x 8.8x50	1762	0.14	246.68	φ 60	147	1.3	191.1
φ 48	164	6	984	1.5	328	0.24	78.72	M 12x 8.8x45	328	0.14	45.92	φ 75	26	2.31	60.06
φ 60	143	8.7	1244.1	2	286	1.08	308.88	M 12x 8.8x40	286	0.14	40.04	φ 90	184	3.85	708.4
φ 76	146	10.95	1598.7	2.25	292	1.13	329.96	M 16x 10.9x30	292	0.31	90.52	φ 110	74	6.67	493.58
φ 89	92	14.7	1352.4	3	184	1.48	272.32	M 20x 8.8x40	184	0.75	138	φ 130	0	11.18	0
φ 114	83	22.5	1867.5	4	166	2.94	488.04	M 24x 10.9x50	166	1.3	215.8	φ 150	0	17.13	0
φ 140	77	28.05	2159.85	4	154	4.88	751.52	M 20x 8.8x50	154	0.85	130.9				
φ 219	14	75	1050	4 UZ	28	24	672	M 33x 8.8x70	28	2.1	58.8				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>13031.7</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>3183.36</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>966.66</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1453.14</b>

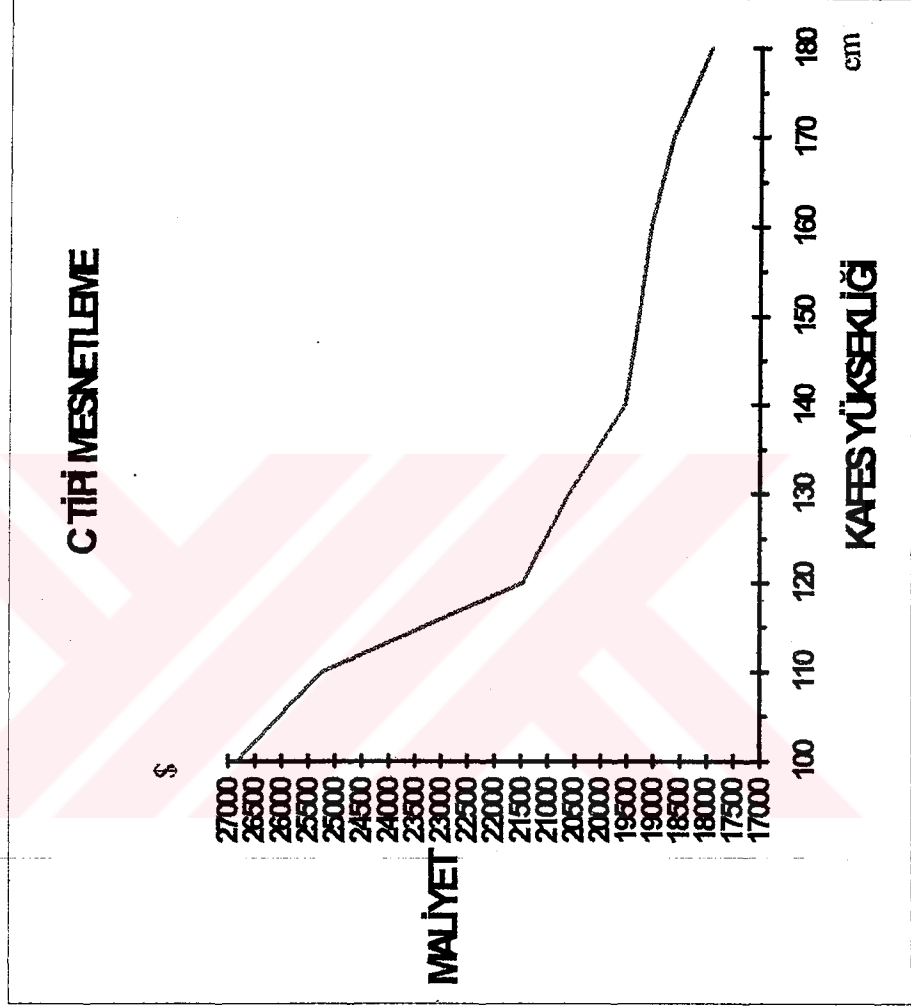
SİSTEM MALİYETİ = 18634.86 \$

Tablo 27- C Tipi mesnetlemede, h = 180 cm için dolar bazında sistem maliyeti

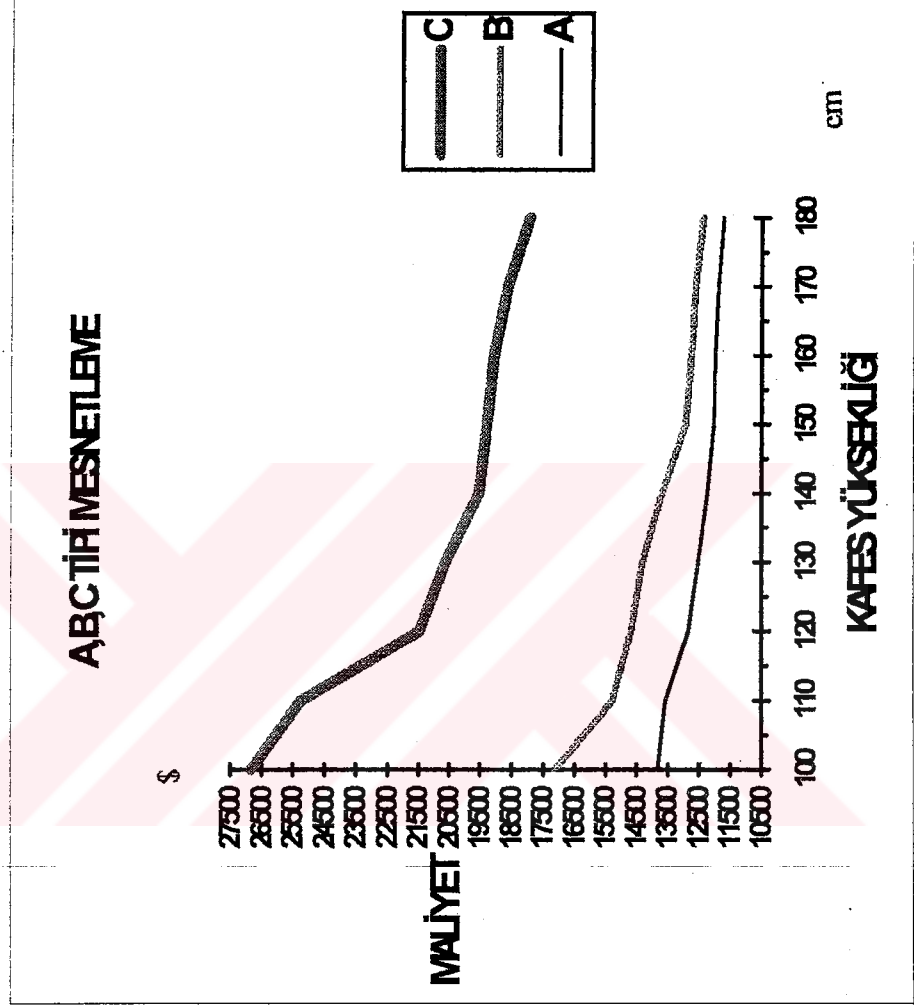
Boru	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Konik Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Civata Cinsi	Adet	Birim Fiyat	Maliyet	Küre	Adet	Birim Fiyat	Maliyet
φ 42	894	3.15	2816.1	1.25	1788	0.16	286.08	M 12x 8.8x50	1788	0.14	250.32	φ 60	163	1.3	211.9
φ 48	160	6	960	1.5	320	0.24	76.8	M 12x 8.8x45	320	0.14	44.8	φ 75	48	2.31	110.88
φ 60	142	8.7	1235.4	2	284	1.08	306.72	M 12x 8.8x40	284	0.14	39.76	φ 90	196	3.85	754.6
φ 76	136	10.95	1489.2	2.25	272	1.13	307.36	M 16x 10.9x30	272	0.31	84.32	φ 110	24	6.67	160.08
φ 89	100	14.7	1470	3	200	1.48	296	M 20x 8.8x40	200	0.75	150	φ 130	0	11.18	0
φ 114	96	22.5	2160	4	192	2.94	564.48	M 24x 10.9x50	192	1.3	249.6	φ 150	0	17.13	0
φ 140	60	28.05	1683	4	120	4.88	585.6	M 20x 8.8x50	120	0.85	102				
φ 219	12	75	900	4 UZ	24	24	576	M 33x 8.8x70	24	2.1	50.4				
<b>BORU MALİYETİ =</b>			<b>12713.7</b>	<b>KONİK MALİYETİ =</b>			<b>2999.04</b>	<b>CIVATA MALİYETİ =</b>			<b>971.2</b>	<b>KÜRE MALİYETİ =</b>			<b>1237.46</b>

SİSTEM MALİYETİ=

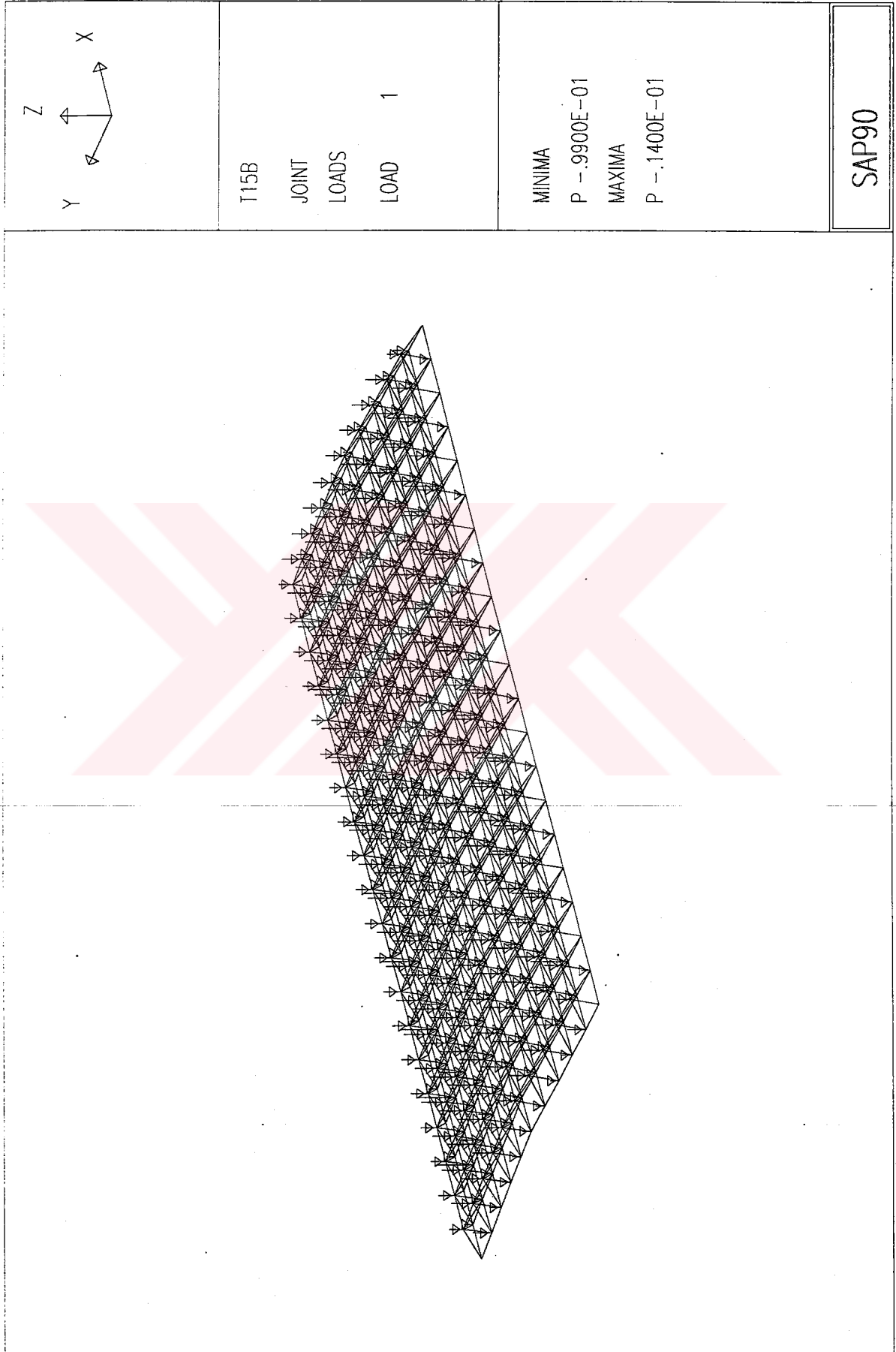
17921.4 \$



Grafik 3.3- C Tipi mesnetlenmede Maliyet- Kafes Yüksekliği eğrisi



Grafik 3 4- A,B, C Tipi mesnetlemelerin Maliyet- Kafes Yüksekliği eğrilerinin karşılaştırması



Şekil 3.5. Yükleme Durumları

#### 4.0 ) SONUÇ

Uzay kafes sistemlerle ilgili olarak hazırlanan bu çalışmanın sonucunda görülmektedir ki, bu tip yapılar büyük avantajlar sağlamaktadır. Uzay kafes sistemler, dolu gövdeli yapılara göre geniş açıklıkların geçilmesinde oldukça ekonomiktir, yapım süresini kısaltmaktadır, kesit boyutları büyük olmadığı için mimari açıdan kullanım hacmi artmaktadır, tesisatın döşenmesinde kolaylık sağlamaktadır, değişik mimari formlara imkan vermektedir, yapıda kullanılan malzemenin sökülüp taşınma olanakları mevcuttur, yapının istenilen yönde genişletilebilmesi mümkündür, hiperstatiklik derecesi yüksek olduğundan sistemdeki herhangi bir çubukta meydana gelebilecek bir kopmadan veya burkulmadan tüm yapı etkilenmemektedir.

En fazla açıklığı geçen 6x30m aralıklı h=100cm için C mesnetleme tipinde maliyetin en fazla olduğu, 15x12m aralıklı B mesnetleme tipinde maliyetin C'ye oranla 1.58 katı azaldığı ve 15x6m aralıklı A mesnetleme tipinde ise C'ye oranla 1.92 katı azaldığı Grafik 3.4'de görülmektedir. A,B, ve C tipi mesnetlendirmelerde h=140cm ile h=180cm arasında maliyetteki düşmenin azaldığı ve h=180cm için her bir mesnetlemede maliyetlerin en düşük olduğu görülmüştür. Yine Grafik 3.4'de görüldüğü gibi, C tipi mesnetleme için kafes yüksekliğinin h=100cm'den h=180cm'ye çıkartılması çatı konstrüksiyonunun maliyetininin 1.5 katı kadar, B tipi mesnetlemede 1.33 ve A tipi mesnetlemede 1.08 katı kadar azalmaktadır. Çözülen sistemlerde boru maliyeti toplam maliyetin %70-%75'ini, konik maliyeti %12-%16'sını , cıvata maliyeti %4-%5'ini, küre maliyetide %6-%10'unu oluşturmaktadır.

Sonuç olarak her ne kadar, uzay kafes sistemler mimari kullanım bakımından net açıklığın fazla olarak tasarlandığı sistemlerse de, örtülecek alanın geçilmesinde sistemin ortalarında mesnet konmasına imkan varsa mesnetlenmeli, eğer böyle bir imkan yoksa yüksekliği artırarak en düşük maliyet elde edilmeye çalışılmalıdır:

**KAYNAKLAR**

1. Borrego, J., "Space Grid Structures", M.I.T Press", 1968
2. Göğüş İ., "Matris Metodları ile Yapısal Analiz Dersi Notları", 1994
3. Köksal T., "Sonlu Elemanlar Metodu Ders Notları", 1994
4. Makowski, Z.S., "Analysis Design and Construction of Braced Barrel Vaults", 1982
5. Makowski, Z.S., "Analysis Design and Construction of Double Layer Grids", 1981
6. Makowski, Z.S., "Analysis Design and Construction of Braced Domes", 1984
7. Makowski, Z.S., "Räumliche Tragwerke aus Stal", 1962
8. Mengeringhausen, M., "Komposition im Raum", 1967
9. Weaver W. ve Johnston P.R., "Finite Elements For Structural Analysis", 1984
10. Wilson, E. L., and Habibullah, A., "SAP 90-A Series of Computer Programs for the Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Users Manual", 1989
11. Çelik Strüktürler, Yüksek Yapılar Panel Bildirileri, 1997
12. USKON Uzay Sistem Konstrüksüyonları San. Tic. A.Ş.'nin Teknik Şartnamesi, 1997

## ÖZGEÇMİŞ

**Soyadı:** AKIN

**Adı:** Ali Süha

**Doğum Tarihi:** 07-04-1970

**Doğum Yeri:** Ankara

**Eğitim:** 1976-1981 50. Yıl Ahmet Merter İlkokulu

1981-1988 Kadıköy Anadolu Lisesi

1989-1994 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

1994-... Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Programı

### **İş Tecrübesi:**

1994-1995 Ataç İnş. Tic. ve San. A.Ş. Taahhüdündeki Bursa Atık Su Arıtma Tesisleri İnşaatında Saha Mühendisliği

1996-1997 Ataç İnş. Tic. ve San. A.Ş. Taahhüdündeki Ankara Kayaş Bayındır Barajı İçme Suyu Arıtma Tesisi İnşaatında Saha Mühendisliği

1997-..... Ataç İnş. Tic. ve San. A.Ş. Taahhüdündeki Ankara Pursaklar İçme Suyu Arıtma Tesisi İnşaatında Şantiye Şefliği