

İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TEŞEKKÜR	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Uzay Kafes Sistemlerin Kurulması	3
3. UZAY KAFES SİSTEMLERİN HESAP YÖNTEMLERİ	9
3.1 . Mambran Analojisi	10
3.2 . Plak Analojisi	14
3.2.1. Eşdeğer Plagın Karakteristikleri	14
3.2.2 .Yerdeğişimelerin Diferansiyel Denklemi	17
3.2.3. Diferansiyel Denklemın Özel Biçimleri	18
3.2.3.1.İki Doğrultulu Kafes Taşıyıcı	18
3.2.3.2.Üç Doğrultulu Kafes Taşıyıcı	18
3.2.3.3.Dört Doğrultulu Kafes Taşıyıcı	19
3.2.3.4.Diferansiyel Denklemın Çözümü	20
3.2.3.4.1.Navier Yöntemi ile Çözüm	20
3.2.3.4.2. Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözüm	20
3.2.3.5. Çubuklardaki Kuvvetlerin Bulunması	22
3.2.3.5.1. Başlık Ağı Çubukları	22
3.2.3.5.2. Örgü Çubukları	23
3.3 .Matris Deplasman Metodu	24
3.3.1.Martis Deplasman Metodunun Özellikleri	26
3.3.2.Uzay Çerçeveler.	27
3.3.3.Yükleme Matrisleri	36
3.3.4. Eksen Takımları	38
3.3.5.Koordinat Sisteminin Dönüştürülmesi	39
3.3.6.Döndürme Matrisi	40
3.3.7.Düğüm Noktalarının Dengesi	42
3.3.8. Düğüm Noktası Mafsallı Sistemler	43
4. TEKNOLOJİK DETAYLAR	45
4.1.Çubuklar	45
4.2.Düğüm Noktaları	46
4.2.1.Wachsmann Sistemi	46
4.2.2.Oktaplatte Düğüm Noktası	47
4.2.3.S .D. C. Düğüm Noktası	48
4.2.4.Triodetic Düğüm Noktası	49
4.2.5.Varitec Düğüm Noktası	50
4.2.6. Unistrut Düğüm Noktası Sistemi	51

4.2.7. Gero Dügüm Noktası	52
4.2.8. Mero Dügüm Noktası	53
4.2.9. Nodus Dügüm Noktası	54
4.2.10. Bulonla Gerçekleştirilebilecek Bazı Basit Dügüm Noktası Örnekleri	55
4.3. Hazır Birleşik Elemanlar.	55
4.3.1. Piramit Biçimli Hazır Elemanlar	55
4.3.1.1. Pyramitec Sistemi	55
4.3.1.2. Space - Deck Sistemi	57
4.3.1.3. Space - Grid Sistemi	57
4.3.1.4. Unibat Sistemi	58
4.3.1.5. Maymont Sistemi	58
4.3.2. Hazır Düzlem Kafes Elemanlı Sistemler	60
4.3.2.1. Düzlem Kafes Hazır Elemanlı Izgara Sistemler Detayları	61
4.3.2.2. Tubaccord Sistemi	62
4.3.3. Hazır Pirizmatik Kafes Elemanlı Sistemler	62
4.3.3.1. Dziejowski Sistemi	64
4.3.3.2. Daniel Sistemi	64
5. PROGRAMIN AMACI VE DATA GİRİŞİ	66
5.1. Programın Amacı	66
5.2. Data Girişi	66
6. ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMÜ	67
6.1. Geliştirilen Sistemin Data Girişleri	69
6.2. Geliştirilen Programdan Elde Edilen Sonuçlar	70
6.3. SAP 90 Datasının Hazırlanması.	76
6.4. SAP 90 Çubuk Kuvvetlerinin Çözümü	81
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR	93
EK - 1	94
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 - Şekil değiştirmez karmaşık taşıyıcı düzen.	3
Şekil 2.2 - Şekil değiştirebilir karmaşık taşıyıcı düzen	4
Şekil 2.3 - Gösterim simgeleri	4
Şekil 2.4 - U türü taşıyıcı düzen.	5
Şekil 2.5 - B1(a) , B2(b) , B3(c) türü taşıyıcı düzen.	6
Şekil 2.6 - T1 türü taşıyıcı düzen.	7
Şekil 2.7 - H1 (a), H2 (b) türü taşıyıcı düzen.	7
Şekil 3.1 - Başlıca çubuk ağı sistemleri.	9
Şekil 3.2 - Tip C üç doğrultulu çubuk ağı sistemi	10
Şekil 3.3 - Mambran Kuvvetleri	11
Şekil 3.4 - "A" tipi çubuk ağı birim elemanı	11
Şekil 3.5 - "B" tipi çubuk ağı birim elemanı	12
Şekil 3.6 - "C" tipi çubuk ağı birim elemanı	12
Şekil 3.7 - En genel girişler ağı durumu.	14
Şekil 3.8 - Momentler Arası İlişkiler	15
Şekil 3.9 - Dört doğrultulu kafes taşıyıcı.	19
Şekil 3.10 - Komşu düğüm noktalarının rölatif koordinatları.	21
Şekil 3.11 - Üç doğrultulu başlık ağında çubuk kuvvetlerinin bulunması.	23
Şekil 3.12 - Çubuk i ucuna ait uç kuvvetlerinin bulunması.	27
Şekil 3.13 - Sistem Rijitlik Matrisi	32
Şekil 3.14 - Sistem rijitlik matrisinin elemanları arasındaki bağıntılar.	33
Şekil 3.15 Rijitlik matrisi elemanlarının çıkarılması.	34
Şekil 3.16 - Uzay Çubukların Rijitlik Matrisi.	35
Şekil 3.17 - Çubukların uçlarındaki ankastrelik reaksiyonları.	37
Şekil 3.18 - Çubuk Eksenleri	38
Şekil 3.19 - Müşterek Eksen Takımı.	39
Şekil 3.20 - Çubuk eksenlerinin müşterek eksen takımına dönüştürülmesi.	40
Şekil 3.21 - i düğüm noktasına etkiyen Pi dış yükü	42
Şekil 4.1 - Boru enkesitli çubuklarının uçları özel kesimli kaynaklı düğüm noktası	46
Şekil 4.2 - Washmann Mafsallı Düğüm Noktası	47
Şekil 4.3 - Oktaplatte Düğüm Noktası	47
Şekil 4.4 - S. D. C. Düğüm Noktası	49
Şekil 4.5 - Triodetic Düğüm Noktası	50
Şekil 4.6 - Varitec Düğüm Noktası	50
Şekil 4.7 - Unistrut Düğüm Noktası (Kuruluşu ve çubuğu)	52
Şekil 4.8 - Gero Düğüm Noktası	52
Şekil 4.9 - Mero Düğüm Noktası	53
Şekil 4.10 - Nodus Düğüm Noktası	54
Şekil 4.11 - Bulonla Gerçekleştirilebilen Basit Düğüm Noktaları Örnekleri	55
Şekil 4.12 - Pyramitec Sistemi	56
Şekil 4.13 Space - Deck Sistemi	57
Şekil 4.14 - Space- Grid Sistemi	58
Şekil 4.15 - Unibat Sistemi	59
Şekil 4.16 - Kafes Izgara Sistemler	60

Şekil 4.17 - a) Üç doğrultu tek modüllü Tridimatec sistemi	61
Şekil 4.18 - Tubaccord Sistemi	63
Şekil 4.19 - Dziejowski Sisteminde Kuruluş ve Birleşimler.	64
Şekil 4.20 - Daniel Sisteminde Kuruluş ve Birleşimler	65
Şekil 6.1 - Düğüm Numaraları	67
Şekil 6.2 - Çubuk Numaraları	68



TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında göstermiŐ olduğu yakınlık ve çabalarından dolayı, çok değerli hocam Prof. Dr. Sinan Çağdaş' a teşekkür ederim.



ÖZET

Bu tezin konusu olarak seçilen “ Uzay Kafes Sistemlerin Çözümü için Bilgisayar Programı” hakkında yapılacak çalışmanın başında , uzay kafes sistemler hakkında genel bir bilginin verilmesinin gerekli olduğu düşünülmüştür. Bu konuda sistemlerin nasıl kurulduğu, hiperstatiklik derecelerinin tespiti için bazı yöntemlerden bahsedilmiştir. Uzay kafes tipleri hakkında bir sınıflandırmaya yer verilmiştir.

Hesap yöntemleri hakkında bir araştırma yapılmış ve burada matris metodu geliştirilecek programın temeli olarak tespit edilmiştir. Bunun dışında, membran ve plak analogilerine değinilmiştir. Matris metodları için yapılan çalışmaya çerçevelerden başlayarak daha sonra çerçevenin köşelerinin mafsal olarak kabul edilmesi ile kafes sisteme geçme yöntemi takip edilmiştir.

Aynı zamanda, bu sistemleri destekleyen teknolojiler hakkında bilgi sunularak, uygulamada ne gibi üstünlük ve sakıncalarının olduğu konusunda fikir verilmeye çalışılmıştır.

Geliştirilen programın amacı, uzay kafes sistemleri üzerinde çalışan kullanıcıların en hızlı şekilde ve doğru sonuçlara vararak çalışmalarını sağlamaktır. Burada özellikle mero türü olarak isimlendirilen ve çubuk boyları ve iki yöndeki aralıkları eşit olan uzay kafes sistem için son derece pratik bir data hazırlama yöntemi geliştirilmiştir.

Burada program kendi kendine düğüm noktalarını ve çubukları üretmekte, bu da dolayısı ile çözüme büyük kolaylık ve hız getirmektedir. Aynı zamanda kullanıcının data hazırlarken yapabileceği hata miktarıda kısmen azaltılmış olmaktadır.

Bu programın istenilen hesapları doğru olarak yapıp yapmadığını görmek içinde, örnek bir problem ele alınmıştır. Bu problemi hem kendi programımız ile hem de mühendislik çevresince çözümlerinin doğruluğu kabul görmüş olan SAP 90 programı kullanılarak aynı sonuçlar bulunmuştur. Böylece programın doğru neticeler verdiği ortaya konmuştur.

ABSTRACT

In this thesis, we try to evaluate a computer program which should solve space - truss systems . But first , we should give general informaton about the space truss systems so, we try to achieve this in the first chapter. In this chapter , we make explanations about the types of space truss systems.

After giving this general information, we have a look at the methods of solving space truss systems. In this chapter, we understand that the adequate method for computing is matrix method. This is a well - established relation between the internal forces and the displacements at the ends of member. The member forces are related to member deformations by a matrix defined as individual member stiffness, denoted by "K". The stiffness matrix method, first determines dispalcements at certain points, more spacifically at the joints of the structure, and the internal forces later.

The structure stiffness matrix K is erect from the siffness matrices k of individual members. And to know the 21 adequate matrix members will be sufficient to establish the structure stiffness matrix (12 x12)

We establish our computer program in order to reduce the time spend by the user in preparing the data needed by the program to calculate the forces and the displacements of each member of the system. Now , program is evaluating its own data (joints, frame members) by this way , the process is getting quicker and easier. But this option is only suitable for "mero" called systems.

And an other important subject is the accuracy of the result that our program process. In order to be sure about the results , we solve the same system by both SAP90 and our program and find out that our results and SAP90 results are the same so that we can say that our program is sufficient to work. both in accuracy and siplicity.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Tezin konusunun daha iyi anlaşılabilmesi açısından, uzay kafes sistemler hakkında genel bilgiler verilmesi gerekli olduğu düşünülmüştür.. Bu genel bilgiler ikinci bölümün içeriğini oluşturmuştur.

Üçüncü bölümde, şu ana kadar geliştirilmiş olan hesap yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, sistemlerin dayandığı teknolojiler (düğüm noktası birleşimleri, ağ düzenleri ,vb.) hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, hazırlanan programın amacı ve programa istenilen datanın nasıl girilmesi gerektiği konusunda açıklamalar yapılmıştır.

Altıncı bölümde, mero tipi bir uzay kafes sistem SAP 90 bilgisayar programı ve geliştirilen program ile ayrı ayrı çözümlenerek sonuçları verilmiştir.

Yedince bölümde, sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Uzay kafes sistemler, düzlem ya da eğri birbirine paralel iki çubuk ağı ile bu ağların herbirinin düğüm noktalarını diğer ağına bazı düğüm noktalarına bağlayan çubuklardan kurulu taşıyıcı düzenlerdir.

Bu taşıyıcı sistem Amerika'da Le Ricolais, Fransa'da S. du Chateau ve İngiltere'de Makowski'nin çalışmaları ile 1950'den beri hızlı bir gelişme göstermiştir.

Başlangıçta, düğüm noktaları geleneksel birleşimler olarak bulunur ya da kaynakla gerçekleştirilirdi. Aşamalı olarak, bu sisteme ilgiyi arttıracak birleşim düzenleri geliştirildi. Teknolojik gelişme, doğal olarak standartlaşma ve hazır-yapıma yol açtı. Hazır-yapım: ya düğüm noktaları ve çubuklar gibi basit elemanlara, ya da üçgen ve dört yüzlü gibi birleşik elemanlara dayanmaktadır. Müdümlendirme taşıyıcı düzenlerin biçim değişimini kolaylaştırmaktadır.

Uzay kafes sistemlerin üstünlükleri :

- Hafiflik
 - Rijidlik (Normal kuvvet şekil değiştirmesine çalıştığından)
 - Bir elemanın yetersizliği durumunda bir mukavemet ihtiyatı sağlayan yüksek mertebeden hiperstatiklik yaratma olanağı.
 - Hemen hemen hiçbir eğilme elemanı bulunmaması nedeni ile malzemenin en uygun yararlanma.
 - Biçimlendirme ve çizimde büyük özgürlük.
 - Hazır - yapım ve montaj kolaylıkları.
 - Sökme ve değiştirme kolaylıkları.
 - Kare ve kareye yakın durumlarda (kenarların uzunluklarının oranı < 2) uzay kafes sistem, düzlem kafes sistemden daha hafiftir. Ancak estetik olarak tercih edilir.
- Burkulma güvenliği açısından boru kesitler uygundur.

2.1) Uzay Kafes Sistemlerin Kurulması

Uzay kafesler, rijid ya da mafsallı bağlı uçları düğüm noktalarını oluşturan doğru eksenli çubuklarla birleşmiştirler. Üçgenleme çubukları ile bağlanan birbirine paralel iki ağ, genellikle düzlemdirler.

Uzay kafes taşıyıcı sistemlerin temel elemanı, 6 çubuk ve 4 düğüm noktasından oluşan dörtyüzlüdür. Düğüm noktaları mafsallı olsa da dörtyüzlü kesinlikle şekil değiştirmez ; bilindiği gibi , bir düğüm noktasını üç diğer düğüm noktasına rijid olarak bağlamak için üç çubuk gerekli ve yeterlidir.

Böyle bir elemandan hareketle ve her bir yeni düğüm noktasını üç eski düğüm noktasına üç çubukla bağlayarak taşıyıcının iç izostatiklik özelliği korunur. Bir uzay kafesin gerekli izostatiklik şartı

$$t + \varphi = 3d \quad (2.1)$$

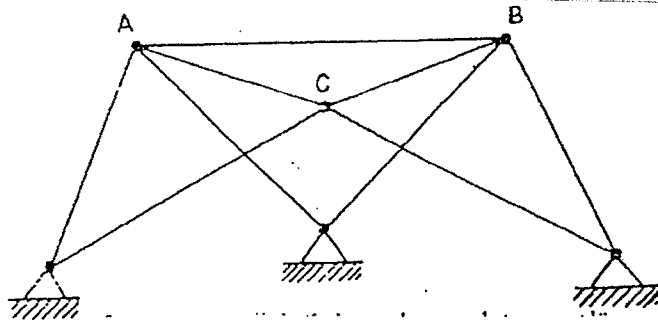
yazılır. Burada, t : mesnet tepkileri bileşenleri sayısını , φ : çubukların sayısını , d : düğüm noktaları sayısını göstermektedir.

Kafes tam olarak şekil değiştirmezse sistemin tümü ile ilgili 6 denge denklemleri yazılır ve t 6 'ya eşit alınır. Bu durumda izostatiklik şartı

$$\varphi = 3d - 6 \quad (2.2)$$

olur ki dörtyüzlü için gerçekleşmeyi sağladığı kolaylıkla kontrol edilebilir.

Bunun ile birlikte, tamamı ile şekil değiştirmez olmakla beraber, dörtyüzlüden üçlü çubuklar ekleyerek türetilmeyen, " karmaşık " denilen sistemler de vardır. Şekil (2.1) böyle karmaşık bir düzenin bir örneğini vermektedir. Bu örnekte $t = 9$, $\varphi = 9$, $d = 6$ olup izostatiklik şartı sağlanmaktadır. Böyle bir taşıyıcı sistem ,üst düzlem ABC üçgeninin herhangi bir diğer çokgen ile değiştirilmesi yardımı ile büyütülebilir.

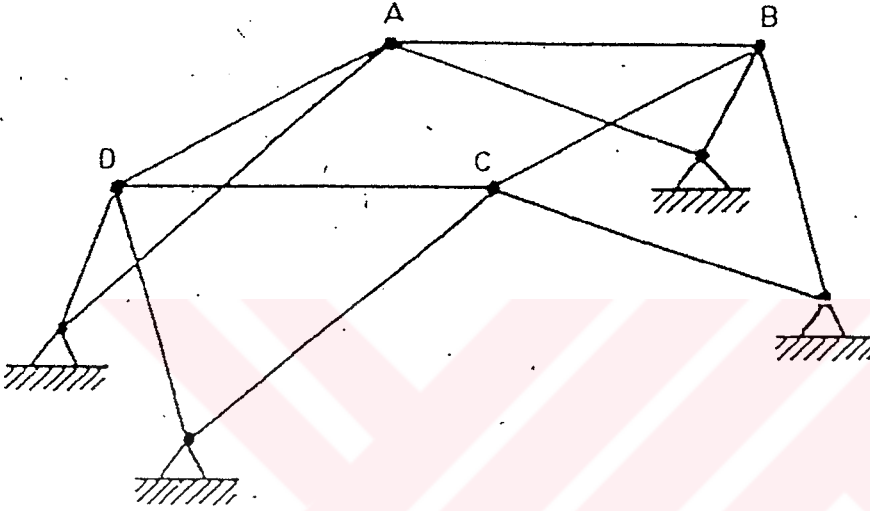


Şekil 2.1 - Şekil değiştirmez karmaşık taşıyıcı düzen.

Bununla birlikte, çokgenin kenarları çift sayıda ise kararsızdır. ve şekildeğiştirebilir. Örneğin, şekil (2.2) 'nin ABCD karesi, kolaylıkla paralelkenara dönüşebilir. Bu da gerekli koşulunun her zaman yeterli olmadığını kanıtlar. Genellikle uzay kafes taşıyıcı sistemlerin çubuk sayısı, izostatiklik koşulunun belirlendiği minimumdan çoktur ve

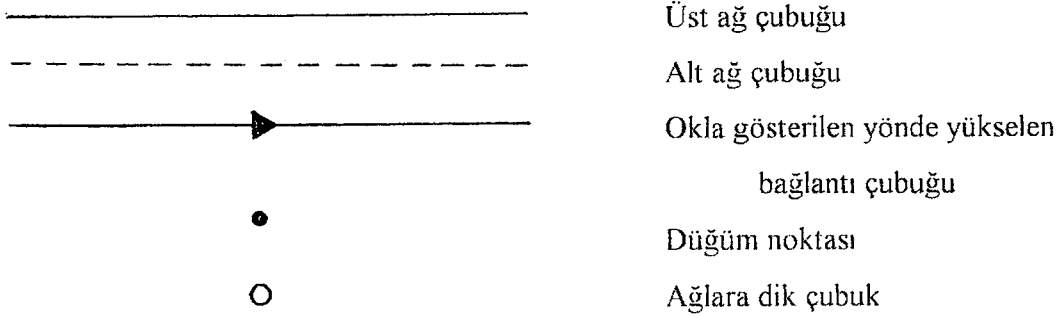
$$k = t + \zeta + 3d \quad (2.3)$$

bağıntılarıyla belirli hiperstatiklik derecesi belirlenir.



Şekil 2.2 - Şekil değiştirebilir karmaşık taşıyıcı düzen

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.

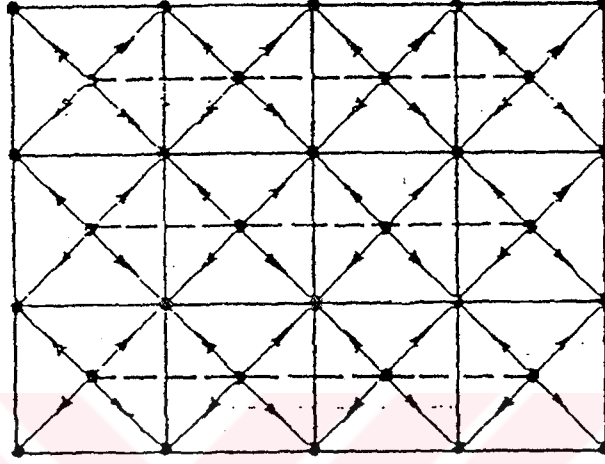


Şekil 2.3 - Gösterim simgeleri

Taşıyıcı sistem şemalarını anlaşılabilir duruma getirmek için Şekil (2.3) 'de gösterilen simgeler kullanılacaktır.

- Tek Doğrultulu Düzenleme (U türü)

Herbir eğik düzlemi, genellikle Warren türü bir düzlem kafes kirişten oluşan, başlıkları komşu düzlemlere ortak bir katlanmış yüzey söz konusudur. (Şekil (2.4)) Bu tür düzenler tek yönde taşıyıcıdırlar.



Şekil 2.4 - U 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 (2.5.a)) Bu düzen birbirine dik iki doğrultuda taşıyıcıdır. Boyun ene oranı 1.6 ile 1.65 olduğu yerde ekonomiktir.

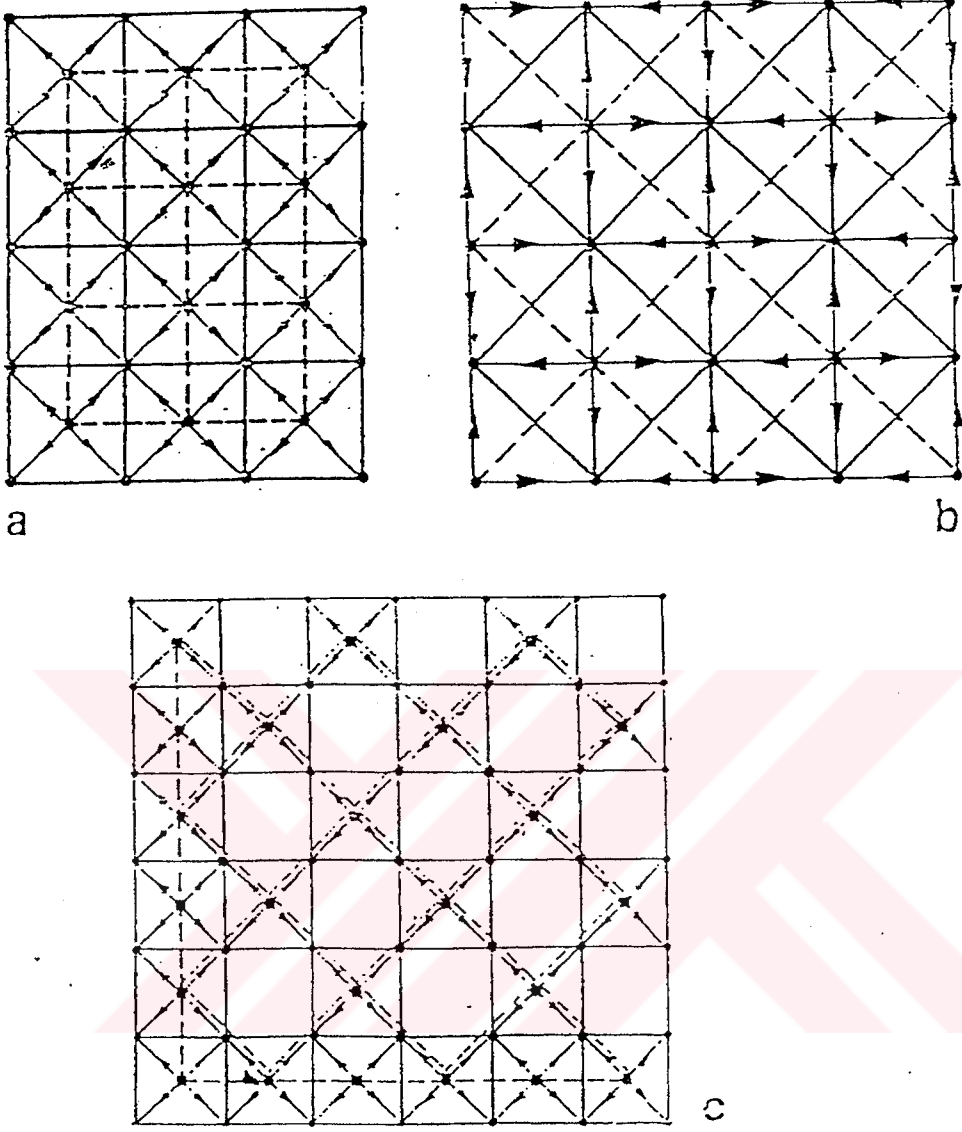
- İki Doğrultulu Eğik Düzenleme (B2 türü)

Bu tür, bir öncekinden, üst ve alt ağların çubuklarının çevre ile 45° lik açı yapmaları ile ayrılır. (Şekil (2.5.b))

Aynı yüzey ve aynı sıklıkta bir ağ için B2 türü B1 türünden daha rijittir. Çünkü çevreye göre, eğik ağın kirişleri değişik uzunluktadırlar. Köşedeki 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)

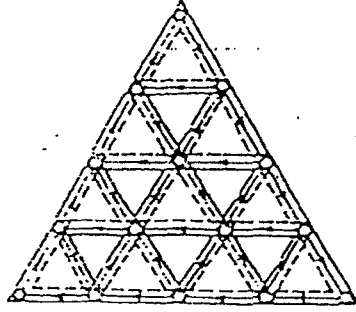
Alt ağı çubukları üst ağı çubukları ile 45° lik açı yaparlar (Şekil (2.5.c)) Bu düzenleme, bundan önceki ikisinin bir ara çözümüdür. Üstünlüğü, alt çubuklara, basınca çalışan üst çubuklardan daha geniş bir ağ sağlamasında olup uzunluklar oranı $\sqrt{2}$ 'ye eşittir.



Şekil 2.5 - B1(a) , B2(b) , B3(c) türü taşıyıcı düzen.

- Düz Üç Doğrultulu Düzenleme (T1 türü)

Her iki ağda aynı olup eşkenar üçgenlerden kuruludur. (Şkil (2.6)) 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. Herşeye rağmen, gerek birleşimleri ve yapımının teknolojisi ve gerekse hesabı yönlerinden diğer türlerle gösterdiği benzerlik ona bu arada yer verir.



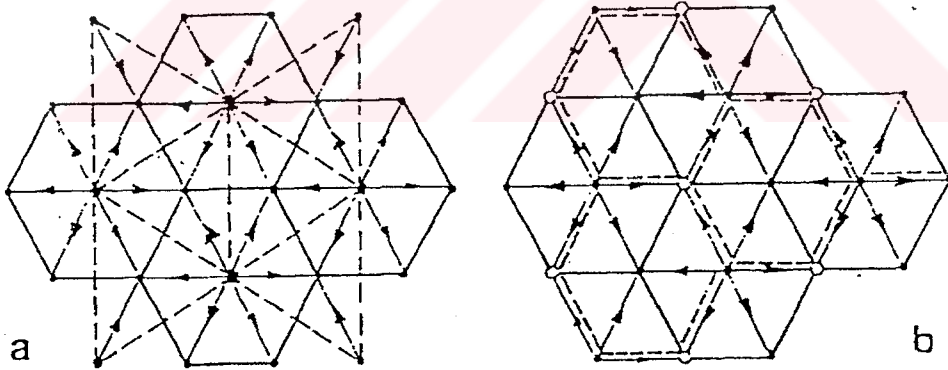
Şekil 2.6 - T1 türü taşıyıcı düzen.

- Basit Altıgen Düzenleme (H1 türü)

Ağlardan biri piramitlere taban oluşturan yanyana konmuş altıgenlerden, diğeri bu altıgen piramitlerin tepelerini birleştiren üçgenlerden kuruludur (Şekil (2.7.a))

- Çift Altıgen Düzenleme (H2 türü)

Her iki ağ da altıgenlerden örülü olup bir ağın düğüm noktasına diğeri ağın boşluğu gelecek şekilde şaşırtma vardır. (Şekil (2.7.b)) Aynı bir düşey üzerindeki düğüm noktaları bir çubuk ile bağlanırlar. Köşegenlerin konumu o şekildedir ki bir ağdaki düğüm noktaları ile diğeri ağdakiler değişiktir.



Şekil 2.7 - H1 (a), H2 (b) türü taşıyıcı düzen.

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

Genellikle, çevredeki bütün düğüm noktaları mesnetlendirilir ; ancak taşıyıcı düzenin şekil - değiştirmezliğinin korunması ve çubukların aşırı büyük kesitler gerektirmemesi koşulları altında mesnet sayısı büyük ölçüde azaltılabilir. Her durumda $t, 6$ 'dan az olmamalıdır.

Yukarıdaki tanımlanan taşıyıcı düzen türlerinin hiperstatiklik derecelerinin belirlenmesi kolaydır. Dikdörtgen bir düzenlemede, dik açı yapan iki kenarın üzerindeki düğümlerin sayısı x ve y ile, mesnet tepkilerinin bileşenlerinin sayısı t ile gösterilirse, hiperstatiklik derecesi aşağıdaki tablodan belirlenebilir.

Tablo 2.1

Tür	Şekil	Hiperstatiklik derecesi
U	2.4	$k = xy - 3x - 2y - 3 + t$
B1	2.5.a	$k = 2xy - 3x - 3y - 3 + t$
B2	2.5.b	$k = xy - 2x - 2y - 3 + t$
B3	2.5.c	$k = xy/2 - 1.5x - 1.5y - 5 + t$
T1	2.6	$k = 2x^2 - 3x - 5 + t$

Altıgen düzenlemelerde üsteki gibi çalışma yapılması sistemin karmaşıklığı nedeni ile imkansızdır.

Birbirine paralel iki çubuklar ağı arasındaki h yüksekliği, l açıklığın belirli bir kesirin altına inmemelidir. h / l oranının minimum değeri olarak :

- Dikdörtgen ağlarda $1 / 20$
- Eğik ağlarda $1 / 30$

kabul edilir. Bununla birlikte h / l ya belirtilen bu alt sınırların üstünde değerler vermek avantajlı olabilir.

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

Silindir veya koni biçimindeki taşıyıcı sistemler, bu tür yüzeylerin açılımları yapılabilirdiğinden, yukarıda açıklanan kafes türleri ile kurulabilir. Değişiklik bazı alt ağ çubuklarının boylarının üst ağ çubuklarına göre kısa olması şeklinde ortaya çıkar.

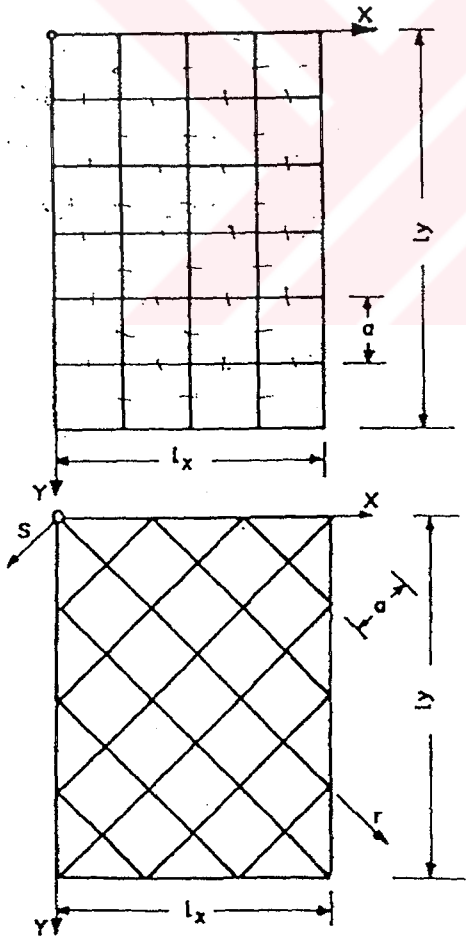
Uzay kafes sistemin küresel kubbelere uyarlanması bu kadar basit değildir ve ağ biçiminde değişiklik gerektirir. Genellikle altıgen bir düzenleme kullanılır ve özellikle eğrilik önemli ise, ağ açılarının küçülmesini önlemek için araya bazı beşgenler katılır.

Jeodezik kubbe olarak adlandırılan böyle bir düzenleme, R. Buckminster Fuller tarafından büyük ölçüde kullanılmıştır. (ARDA , T.S. , 1995)

BÖLÜM 3

UZAY KAFES SİSTEMLERİN HESAP YÖNTEMLERİ

Yüzeysel taşıyıcılar olarak uzay kafes sistemler , çubukları gerçek birer sonlu eleman olduğu için sonlu elemanlar yönteminin ideal örneklerini oluştururlar. Bu sistemlerin çözümü için geliştirilmiş bilgisayar programları mevcuttur. Bu programlar yardımıyla bütün çubuk kuvvetleri hesaplanabilir. Ancak, ön boyutlandırma evresinde bütün çubuk kuvvetlerinin bilinmesine gerek yoktur, sistemin belirli yerlerindeki maksimum çubuk kuvvetlerinin bilinmesi genelde yeterli olmaktadır. Taşıyıcı sistemin belirli noktalarındaki çubuk kuvvetleri, sistem, plak veya kabuk teorisine göre çözümlenerek elde edilir. Sonlu elemanlar yönteminin tersine , sistem burada sürekli bir sisteme dönüştürülerek çözülmektedir. Çubuk ağları A;B;C olmak üzere üç tipe ayrılmaktadır.



Tip A İki doğrultuda çubuklu ortogonal sistem ; çubuklar kenarlara paralel.

$$l_x = i_x a \quad (i_x = x \text{ yönünde göz sayısı}) \quad (3.1)$$

$$l_y = i_y a \quad (i_y = y \text{ yönünde göz sayısı}) \quad (3.2)$$

$$S_{0A} = 2 i_x i_y a \quad (3.3)$$

$$S_A = 2 (i_x + 1) (i_y + 1) a \quad (3.4)$$

Tip B İki doğrultuda çubuklu ortogonal sistem ; çubuklar diyagonal doğrultuda birbirine paralel. (45 °)

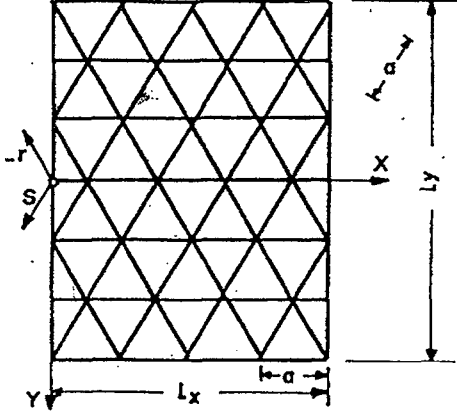
$$l_x = \sqrt{2} i_x a \quad (3.5)$$

$$l_y = \sqrt{2} i_y a \quad (3.6)$$

$$S_{0B} = 4 i_x i_y a \quad (3.7)$$

$$S_B = 4 [i_x i_y + \sqrt{2} (i_x + i_y)] a \quad (3.8)$$

Şekil 3.1 - Başlıca çubuk ağları sistemleri.



Tip C Üç doğrultuda çubuklu
sistem (60 °)

$$l_x = i_x a \quad (3.9)$$

$$l_y = \sqrt{3} i_x a / 2 \quad (3.10)$$

$$S_{oC} = 3 i_x i_y a \quad (3.11)$$

$$S_C = (3i_x i_y + i_x + \sqrt{3} i_y) a \quad (3.12)$$

Şekil 3.2 - Tip C üç doğrultulu çubuk ağı sistemi

Her bir ağ için x ,y koordinat takımı seçilmiş, toplam çubuk uzunluğunun hesabı için formüller verilmiştir. Bu formüllerde S_o sisteme ait çubukların toplam uzunluğunu (şekillerde koyu renkli çubuklar) , S sisteme ait çubuklar ile sisteme ait olmayan kenar çubukların toplam uzunluğunu göstermektedir.

" A " ve " B " ağları düzlemlerinde stabil değildir .Bu ağların stabilitesi kenarlarda yapılacak uygun stabilite bağlantıları ile sağlanabilir. İki katlı sistemlerde, üst ve alt tabakaların birbirine göre şaşırtmalı olması halinde, " A " ve " B " ağlarının stabilitesi tabakalar arasındaki diyagonaller üçgenler oluşturacak şekilde düzenlenerek sağlanır.

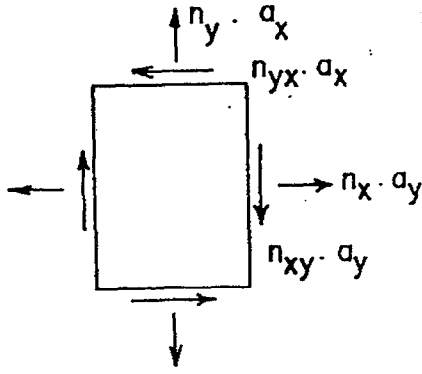
3.1) Mambran Analojisi

Şekil (3.1) ve Şekil (3.2) deki çubuk ağı sistemleri rijitlikleri,

$$D_i = E_i \cdot t_i \quad (Uzama rijitliği) \quad (3.13)$$

$$S_i = G_i \cdot t_s \quad (Kayma rijitliği) \quad (3.14)$$

enine genişleme sayısı μ olan mambranlar olarak tanımlanabilir. Mambranın ideal kalınlığı $t = A/a$ 'dır. Burada A çubuk enkesit alanını, a çubuk boyunu göstermektedir. Mambranda A ve a'nın sabit olduğu kabul edilmektedir. Mambran kuvvetleri Şekil (3.3) 'de görülmektedir.



$$N_x = n_x a_y \quad (3.15)$$

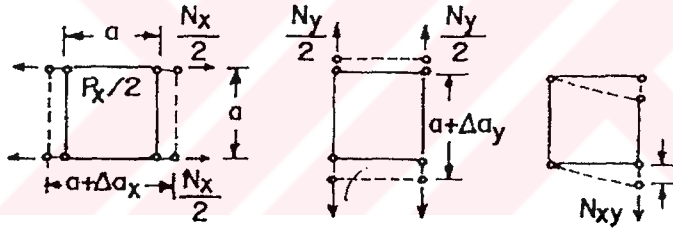
$$N_y = n_y a_x \quad (3.16)$$

$$N_{xy} = n_{xy} a_y \quad (3.17)$$

$$N_{yx} a_x = n_{yx} a_y \quad (3.18)$$

Şekil 3.3 - Mambran Kuvvetleri

Üç tip çubuk ağı sistemi için rijitlikler ve çubuk kuvvetleri aşağıda verilmiştir. Şekil (3.4) ve Şekil (3.5)



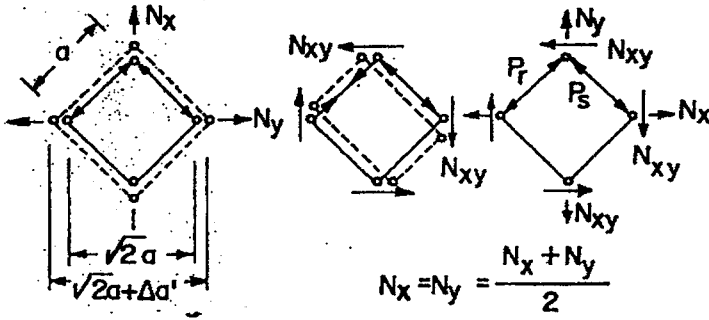
Şekil 3.4 - "A" tipi çubuk ağı birim elemanı

$$D_A = EA/a \quad , \quad S_A = 0 \quad , \quad \mu_A = 0 \quad (3.19)$$

$$N_x = n_x a \quad , \quad N_y = n_y a \quad , \quad N_{xy} = N_{yx} = 0 \quad (3.20)$$

$$P_x = N_x \quad , \quad P_y = N_y \quad (3.21.a)$$

$$P_x = n_x a \quad , \quad P_y = n_y a \quad (3.21.b)$$



Şekil 3.5 - "B" tipi çubuk ağı birim elemanı

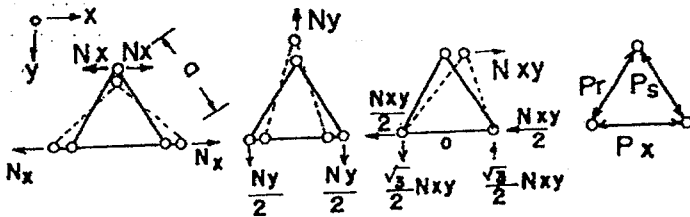
$$\epsilon_x = \frac{\Delta a'}{\sqrt{2} a} = \frac{\sqrt{2} a}{E A} \quad , \quad \sigma_x = \frac{1}{\sqrt{2} a} \quad (3.22.a)$$

$$D_B = \frac{E A}{\sqrt{2} a} \quad , \quad S_B = \frac{E A}{2 a} \quad , \quad \mu_B = 0 \quad (3.22.b)$$

$$N_x = n_x \sqrt{2} a \quad , \quad N_y = n_y \sqrt{2} a \quad , \quad N_{xy} = N_{yx} = n_{xy} \sqrt{2} a \quad (3.22.c)$$

$$P_r = \frac{2(n_x + n_y - n_{yx}) a}{2} \quad (3.23.a)$$

$$P_s = \frac{2(n_x + n_y + n_{yx}) a}{2} \quad (3.23.b)$$



Şekil 3.6 - "C" tipi çubuk ağı birim elemanı

$$N_x = \frac{\sqrt{3} n_x a}{2}, N_y = n_y a, N_{xy} = N_{yx} = n_{xy} a \quad (3.24.a)$$

$$\epsilon_x = \frac{1 \sqrt{3} a}{a^2 EA}, \epsilon_y = \frac{2 \sqrt{3} a}{\sqrt{3} a^2 4EA}, \gamma_{xy} = \frac{2 a}{\sqrt{3} a EA} \quad (3.24.b)$$

$$\epsilon_y = \frac{2 \sqrt{3} a}{\sqrt{3} a^2 4EA}, \epsilon_x = \frac{1 a}{a^2 \sqrt{3} EA} \quad (3.24.c)$$

$$\epsilon_x = \epsilon_y, \mu = 1/3, D_c = \frac{1}{1-\mu^2} \frac{EA}{\sqrt{3} a}, S_c = 1/3 D_c \quad (3.24.d)$$

$$P_r = \sqrt{3} (n_y/3 - n_{xy}/\sqrt{3}) a \quad (3.25.a)$$

$$P_s = \sqrt{3} (n_y/3 - n_{xy}/\sqrt{3}) a \quad (3.25.b)$$

$$P_x = \sqrt{3} (n_y/2 - n_{xy}/6) a \quad (3.25.c)$$

yukarıdaki denklemler birim kuvvetlere karşı gelen deformasyonlardır.

"A" ve "B" tipi çubuk ağları anizotrop olup, bu ağlar için,

$$f_1 \frac{\delta^4 F}{\delta x^4} + f_2 \frac{\delta^4 F}{\delta x^3 \delta y} + f_3 \frac{\delta^4 F}{\delta x^2 \delta y^2} + f_4 \frac{\delta^4 F}{\delta x \delta y^3} + f_5 \frac{\delta^4 F}{\delta y^4} = 0 \quad (3.26)$$

differansiyel denklemini geçerlidir. İzotrop nazarıyla bakabilen "C" tipi çubuk ağları için levha denklemini

$$\frac{\delta F^4}{\delta x^4} + 2 \frac{\delta F^4}{\delta x^2 \delta y^2} + \frac{\delta F^4}{\delta y^4} = 0 \quad (3.27)$$

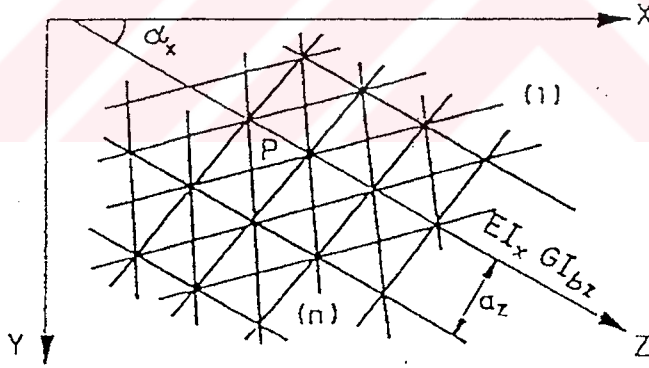
haline gelir.

$\mu = 1/3$ enine genleşme sayısı malzemeye ilişkin olmayıp, yukarıda gösterilmiş olduğu gibi sisteme ilişkindir. Mambran taşıyıcı sistemlerde pratik olarak yalnız " C " tipi uygulanır. (ODABAŞI, Y. ve diğerleri , 1987)

3.2) Plak Analojisi

3.2.1) Eşdeğer Plakın Karakteristikleri

Gelişi güzel doğrultularda yerleştirilmiş kiriş ailelerinden birleşik en genel bir kafes durumu ele alınsın (Şekil (3.7)) ve z bu kirişlerden biri olsun. Plaklarda genellikle kullanılan X, Y, genel eksen takımı seçilsin. α_x ile, z kirişi doğrultusunun OX ana eksen takımı ile yaptığı açı; a_z ile, z kirişi ile aynı aileden komşu kirişler arasındaki aralık;



Şekil 3.7 - En genel kirişler ağı durumu.

EI_x ile bu kirişin eğilme rijitliği; GI_{bz} ile aynı kirişin burulma rijitliği gösterilsin. Ayrıca : $a_z M_x$ ve $a_z M_{xy}$, z doğrultulu kirişin bir p noktasındaki eğilme ve burulma momentleri ; M_x , M_x , M_{xy} ve M_{yx} , eşdeğer plakta aynı noktada, birim genişlikteki momentler ; v bu P noktasının düşey yerdeğiştirmesi olsun. Bilindiği gibi ,

$$M_x = - \frac{EI_x}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} \quad (3.28)$$

$$M_{xy} = - \frac{G I_{bz}}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z \delta y} \quad (3.29)$$

yazılabilir. Öte yandan plağın OX ve OY eksenlerine göre birim genişlik için momentleri, M_X ve M_{XY} türünden bağıntılarla hesaplanabilir. Bunun için önce Şekil (3.8.a) 'daki dengeden

$$M_X = M_x \cos^2 \alpha_x - M_{xy} \sin \alpha_x \cos \alpha_x \quad (3.30)$$

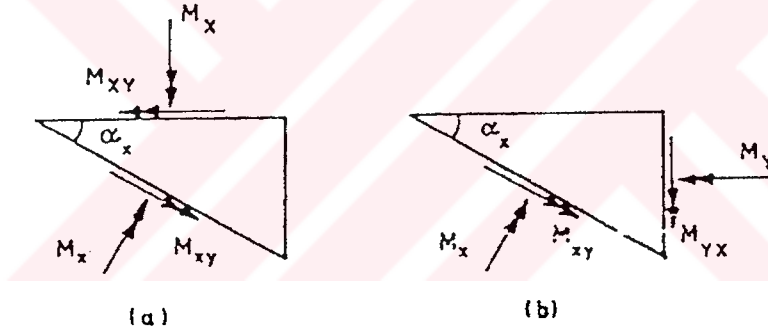
$$M_{XY} = M_x \sin \alpha_x \cos \alpha_x + M_{xy} \cos^2 \alpha_x \quad (3.31)$$

ve sonra Şekil (3.8.b) 'deki dengeden

$$M_Y = M_x \sin^2 \alpha_x + M_{xy} \sin \alpha_x \cos \alpha_x \quad (3.32)$$

$$M_{YX} = M_x \sin \alpha_x \cos \alpha_x - M_{xy} \sin^2 \alpha_x \quad (3.33)$$

yazılır. Burada M_X ve M_Y simgelerinin, plakta X ve Y doğrultularında uzanan birim genişlikteki şeritlerin eğilme momentlerini, M_{XY} ve M_{YX} simgelerinin ise aynı şeritlerdeki burulma momentlerini gösterdiği unutulmamalıdır.



Şekil 3.8 - Momentler Arası İlişkiler

İlk bağıntılar (3.28) ve (3.29) göz önüne alınarak (3.30) ve (3.31) bağıntıları

$$M_X = - \frac{E I_x}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} \cos^2 \alpha_x + \frac{G I_{bz}}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z \delta y} \sin \alpha_x \cos \alpha_x \quad (3.34)$$

$$M_Y = - \frac{E I_x}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} \sin^2 \alpha_x - \frac{G I_{bz}}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z \delta y} \sin \alpha_x \cos \alpha_x \quad (3.35)$$

$$M_{XY} = - \frac{E I_x}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} \sin \alpha_x \cos \alpha_x - \frac{G I_{bz}}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z \delta y} \cos^2 \alpha_x \quad (3.36)$$

$$M_{YX} = - \frac{E I_x}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z^2} \sin \alpha_x \cos \alpha_x + \frac{G I_{bz}}{a_z} \frac{\delta^2 v}{\delta z \delta y} \sin^2 \alpha_x \quad (3.37)$$

şeklinde yazılabilir.

$$v' = \frac{\delta v}{\delta X} \quad (3.38)$$

ve

$$v'' = \frac{\delta v}{\delta Y} \quad (3.39)$$

olarak tanımlanırsa

$$\frac{\delta v}{\delta Z} = \frac{\delta v}{\delta X} \frac{\delta X}{\delta Z} + \frac{\delta v}{\delta Y} \frac{\delta Y}{\delta Z} \quad (3.40)$$

bilindiğinden

$$\frac{\delta^2 v}{\delta Z^2} = v'' \cos^2 \alpha_X + 2 v' \sin \alpha_X \cos \alpha_X + v'' \sin^2 \alpha_X \quad (3.41)$$

$$\frac{\delta^2 v}{\delta Z \delta Y} = -v'' \sin \alpha_X \cos \alpha_X - v'' (\sin^2 \alpha_X - \cos^2 \alpha_X) + v'' \sin \alpha_X \cos \alpha_X \quad (3.42)$$

elde edilir. (3.41) ve (3.42) bağıntılarıyla belirli değerler (3.34) ile (3.37) arasındaki denklemlerde yerine konularak M_X M_Y M_{XY} ve M_{YX} ifadeleri v nin X ve Y ye göre türevleri türünden yazılırlar.

Buraya kadar yalnız z doğrultulu kirişler ailesi incelenmiştir. Bütün kafes taşıyıcıya eşdeğer plağın elde edilebilmesi için, z 'yi 1 ' den n 'ye kadar değiştirerek bütün kiriş ailelerinin etkileri olaya katılmalıdır. Böylece

$$M_X = - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{E I_x}{a_z} [v'' \cos^4 \alpha_X + 2 v' \sin \alpha_X \cos^3 \alpha_X + v'' \sin^2 \alpha_X \cos^2 \alpha_X] - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{G I_{bz}}{a_z} [v'' \sin^2 \alpha_X \cos^2 \alpha_X + v'' (\sin^2 \alpha_X - \cos^2 \alpha_X) \sin \alpha_X \cos \alpha_X - v'' \sin^2 \alpha_X \cos^2 \alpha_X] \quad (3.43)$$

$$M_Y = - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{E I_x}{a_z} [v'' \sin^2 \alpha_X \cos^2 \alpha_X + 2 v' \sin^3 \alpha_X \cos \alpha_X + v'' \sin^4 \alpha_X]$$

$$\begin{aligned}
& z=n \\
& - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{G I_{bz}}{a_z} [- v'' \sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x + v'' (\sin^2 \alpha_x - \cos^2 \alpha_x) \sin \alpha_x \cos \alpha_x \\
& \qquad \qquad \qquad + v'' \sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x] \qquad \qquad \qquad (3.44)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{XY} = - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{E I_x}{a_z} [v'' \sin \alpha_x \cos^3 \alpha_x + 2 v'' \sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x + v'' \sin^3 \alpha_x \cos \alpha_x]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& z=n \\
& - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{G I_{bz}}{a_z} [- v'' \sin \alpha_x \cos^3 \alpha_x - v'' (\sin^2 \alpha_x - \cos^2 \alpha_x) \cos^2 \alpha_x \\
& \qquad \qquad \qquad + v'' \sin \alpha_x \cos^3 \alpha_x] \qquad \qquad \qquad (3.45)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{YX} = - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{E I_x}{a_z} [v'' \sin \alpha_x \cos^3 \alpha_x + 2 v'' \sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x + v'' \sin^3 \alpha_x \cos \alpha_x]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& z=n \\
& - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{G I_{bz}}{a_z} [v'' \sin^3 \alpha_x \cos \alpha_x + v'' (\sin^2 \alpha_x - \cos^2 \alpha_x) \sin^2 \alpha_x \\
& \qquad \qquad \qquad - v'' \sin^3 \alpha_x \cos \alpha_x] \qquad \qquad \qquad (3.46)
\end{aligned}$$

bulunur.

3.2.2) Yerdeğişimlerin Diferansiyel Denklemi

(3.45) ve (3.46) bağıntıları ile belirli moment değerleri, p sistemin birim alanına düşen yükü göstermek üzere, plakların

$$\frac{\delta^2 M_X}{\delta X^2} - \frac{\delta^2 M_{XY}}{\delta X \delta Y} - \frac{\delta^2 M_{YX}}{\delta X \delta Y} - \frac{\delta^2 M_Y}{\delta Y^2} = - p \qquad (3.47)$$

genel denge dekleminde yerine konulursa

$$v'''' [\sum_{z=1}^{z=n} \frac{E I_x}{a_z} \cos^4 \alpha_x + \sum_{z=1}^{z=n} \frac{G I_{bz}}{a_z} \sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x]$$

$$\begin{aligned}
& + v'''' [\sum_{z=1}^{z=n} \frac{4E I_x}{a_z} \sin \alpha_x \cos^3 \alpha_x - \sum_{z=1}^{z=n} \frac{2 G I_{bz}}{a_z} (\sin^2 \alpha_x - \cos^2 \alpha_x) \sin \alpha_x \cos \alpha_x] \\
& + v'''' [\sum_{z=1}^{z=n} \frac{6E I_x}{a_z} \sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x + \sum_{z=1}^{z=n} \frac{G I_{bz}}{a_z} (1 - 6 \sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x)] \\
& + v'''' [\sum_{z=1}^{z=n} \frac{4E I_x}{a_z} \sin^3 \alpha_x \cos \alpha_x + \sum_{z=1}^{z=n} \frac{2 G I_{bz}}{a_z} (\cos^2 \alpha_x - \sin^2 \alpha_x) \sin \alpha_x \cos \alpha_x] \\
& + v'''' [\sum_{z=1}^{z=n} \frac{E I_x}{a_z} \sin^4 \alpha_x + \sum_{z=1}^{z=n} \frac{G I_{bz}}{a_z} (\sin^2 \alpha_x \cos^2 \alpha_x)] = p \quad (3.48)
\end{aligned}$$

elde edilir.

3.2.3.) Diferansiyel Denklemin Özel Biçimleri

3.2.3.1.) İki Doğrultulu Kafes Taşıyıcı

Bu durumda kiriş ağının dik olduğu ve OX ve OY eksenlerine paralel konumda bulunduğu kabul edilirse (3.48) bağıntısında

$$\alpha_1 = \alpha_x = 0 \quad ; \quad \alpha_2 = \alpha_y = \pi / 2 \quad (3.49)$$

olur ve denklem

$$\frac{E I_x}{a_x} v'''' + \left(\frac{G I_{bx}}{a_x} + \frac{G I_{by}}{a_y} \right) v'''' + \frac{E I_y}{a_y} v'''' = p \quad (3.50)$$

biçimine girer.

3.2.3.2.) Üç Doğrultulu Kafes Taşıyıcı

Bu durumda kiriş ağı eşkenar üçgenlerden bileşiktir. Her üç kiriş ailesinin eşdeğer oldukları kabul edilirse, a , EI , ve GI_b terimlerinin herbiri için tek bir değer söz konusudur. (3.48) bağıntısında

$$\alpha_1 = 0^\circ \quad ; \quad \alpha_2 = 60^\circ \quad ; \quad \alpha_3 = 120^\circ$$

konulursa

$$\cos^4 \alpha_1 = 1 \quad ; \quad \sin^2 \alpha_2 = 3/4 \quad ; \quad \sin^2 \alpha_3 = 3/4$$

$$\sin^4 \alpha_1 = 0 \quad ; \quad \cos^2 \alpha_2 = 1/4 \quad ; \quad \cos^2 \alpha_3 = 1/4$$

olur ve buradan

$$v''''(18EI + 6GI_b) + v''''(36EI + 12GI_b) + v''(18EI + 6GI_b) = p \quad (3.51)$$

$$16a \quad 16a \quad 16a \quad 16a \quad 16a \quad 16a$$

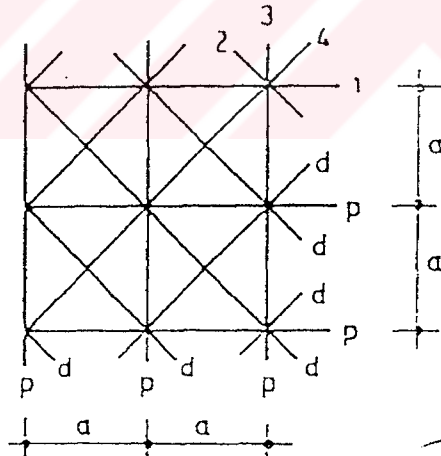
yada sonuç olarak

$$v'''' + 2v'''' + v'' = 8ap / (9EI - 3GI_b) \quad (3.52)$$

bulunur. Dolayısı ile plak izotropdur.

3.2.3.3.) Dört Doğrultulu Kafes Taşıyıcı

Boşluklar kare kabul edilmiştir. (Şekil (3.9)) ; EI_p ve GI_{bp} eksenlere paralel kirişlerle ilgili değerleri ; EI_d ve GI_{bd} eksenleriyle 45° açı yapan kirişlere ilişkin değerleri göstermektedir. Bu durumda



Şekil 3.9 - Dört doğrultulu kafes taşıyıcı.

$$\alpha_1 = 0^\circ \quad ; \quad \alpha_2 = \pi/4 \quad ; \quad \alpha_3 = \pi/2 \quad ; \quad \alpha_4 = 3\pi/4$$

olur. Dolayısı ile (3.48) denklemi

$$[EI_p + \sqrt{2} (EI_d + GI_{bd}) / 2] (v'''' + v'''') + 3\sqrt{2} EI_d - 2 GI_{bp} - \sqrt{2} GI_{bd}) v'''' = p a \quad (3.53)$$

biçimini alır. Burada, v^{****} 'nin katsayısı diğer türevlerin katsayılarını iki katı ise plak izotrop tur. Bu da

$$EI_p - GI_{bP} = \sqrt{2} (EI_d - GI_{bd}) \quad (3.54)$$

koşulunu verir.

3.2.3.4.) Diferansiyel Denklemin Çözümü

İncelenen özel durumlar (3.48) yerdeğiştirmeler diferansiyel denkleminin

$$A \frac{\delta^4 v}{\delta X^4} + B \frac{\delta^4 v}{\delta X^2 \delta Y^2} + C \frac{\delta^4 v}{\delta Y^4} = p \quad (3.55)$$

şeklinde olduğunu gösterir. Çözüm ya Navier yöntemi ile yada sonlu farklar yardımı ile yapılabilir.

3.2.3.4.1) Navier Yöntemi ile Çözüm

Eğer plak dikdörtgen ve dört kenarından da mesnetlenmiş ise

$$v = \sum_1^{\infty} m \sum_1^{\infty} n v_{mn} \sin \frac{m\pi X}{l_1} \sin \frac{n\pi Y}{l_2} \quad (3.56.a)$$

çift Fourier serisi sınır şartlarını sağlar; l_1 ve l_2 plağın boyutlarıdır. v_{mn} sabitleri (3.56.a) ifadesi (3.55) denklemini sağlayacak şekilde belirlenir. Bunun için p yükü çift Fourier serisine açılır.

$$p = \sum_1^{\infty} m \sum_1^{\infty} n p_{mn} \sin \frac{m\pi X}{l_1} \sin \frac{n\pi Y}{l_2} \quad (3.56.b)$$

ve (3.55) denkleminin her iki tarafı eşitlenir.

3.2.3.4.2) Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözüm

Bu çözümde plak yeniden, aralıklarının a ve b boyutları keyfi olarak seçilen, çift doğrultulu süreksiz bir sisteme dönüştürülür. Aralıklar ne kadar küçükse sonuçlar o kadar kesin olur.

$$X = a X_1 \quad Y = b Y_1 \quad (3.57)$$

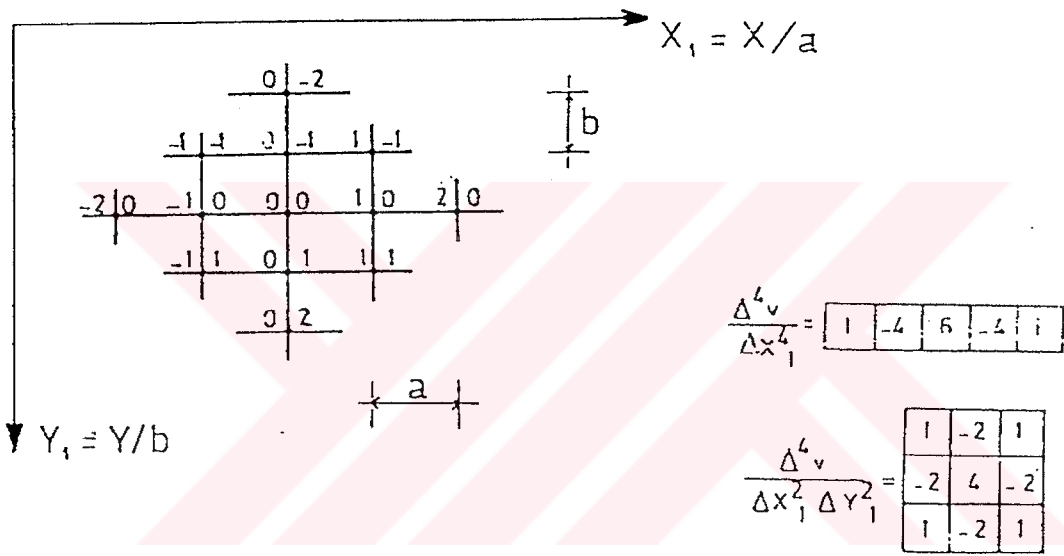
$$A = a^4 A_1 \quad B = a^2 b^2 B_1 \quad C = b^4 C_1$$

konulursa (3.55) denklemini

$$A_1 \frac{\Delta^4 v}{\Delta X_1^4} + B_1 \frac{\Delta^4 v}{\Delta X_1^2 \Delta Y_1^2} + C_1 \frac{\Delta^4 v}{\Delta Y_1^4} = p \quad (3.58)$$

biçimine dönüşür.

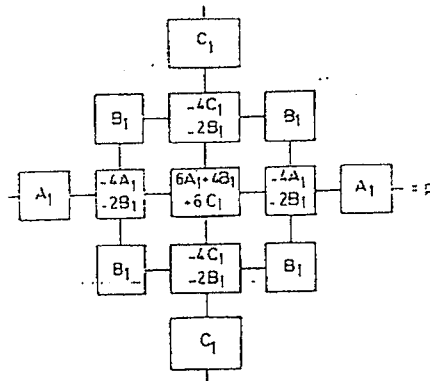
Komşu düğüm noktalarının incelenen p noktasına uzaklıkları, X_1 ve Y_1 rölatif koordinatları türünden (Şekil (3.10))' da gösterilmiştir. (3.58) denkleminde işe karışan sonlu farklar izleyen operatörlerle gösterilebilirler.



Şekil 3.10 - Komşu düğüm noktalarının rölatif koordinatları.

Dolayısıyla (3.58) denklemini

Tablo 3.1 - Denklemin katsayılarının değerleri



işlevsel halini alır.

Bu operatörü herbir düğüm noktasına uygulayarak n bilinmeyenli n adet lineer denklemler bir takım elde edilir. n düğüm noktalarının toplam sayısıdır. ve bilinmeyenler bu düğüm noktalarının p yüklerinden ileri gelen yerdeğiştirmeleridir.

Plağın ankastre kenarlarında, ağ sistemi dışı doğru uzatılır ve kenara göre simetrik v lere eşit değerler verilir; mafsallı olarak mesnetlenmiş kenarlarda ise yine uzatma ile elde edilen simetrik v lere zıt değerler verilmelidir.

3.2.3.5.) Çubuklardaki Kuvvetlerin Bulunması

Plağın eğilme ve burulma momentleri, birbirine paralel iki başlık ağının çubukları tarafından, kesme kuvvetleri ise bu iki ağı bağlayan eğik çubuklar tarafından alınır.

3.2.3.5.1.) Başlık Ağı Çubukları

Birbirine paralel başlık ağlarındaki normal kuvvetler ve makaslama kuvvetleri (3.43) ile (3.46) arasındaki bağıntılar ile verilen momentlerden hareketle hesaplanırlar. Eğer h konstrüksiyon kalınlığını, yani iki başlık ağının aralığını gösteriyorsa

$$N_X = \pm M_X / h \quad (3.59)$$

$$N_Y = \pm M_Y / h \quad (3.60)$$

$$N_{XY} = \pm M_{XY} / h \quad (3.61)$$

$$N_{YX} = \pm M_{YX} / h \quad (3.62)$$

elde edilir.

3.2.3.5.1.1.) Düğüm Noktaları Mafsallı , İki Doğrultulu Başlık Ağı

Bu durumda makaslama kuvvetleri alınmayacağından, burulma momentleri sıfır olmalıdır. OX eksenine paralel herhangi bir çubuktaki kuvvet, çubuğun uçlarına etkiyen N_X kuvvetlerinin ortalamasını bu çubuk ailesinin a_X aralığı ile çarpılarak bulunur.

$$T_X = \frac{\delta M_X}{\delta X} + \frac{\delta M_{YX}}{\delta Y} \quad (3.63)$$

$$T_Y = \frac{\delta M_Y}{\delta Y} + \frac{\delta M_{XY}}{\delta X} \quad (3.64)$$

Başvurma eksenlerinden birine dik bir düzlemce kesilmiş aynı bir motifin bütün eğik çubuklarının, bu kesitte motif genişliğince etkiyen kesme kuvvetinden eşit pay aldıkları kabul edilir. Bu durumda bir düşey izdüşüm denklemi bu düzlemce kesilen eğik çubuklardaki kuvvetleri verir.

Bir çubuktaki toplam kuvvet, OX 'e dik bir kesitten elde edilen kuvvetle OY ' ye dik bir kesitin elde edilen kuvvetin cebirsel toplamına eşittir. (ARDA , T.S. , 1995)

3.3) Matris Deplasman Metodu

Yapı sistemlerinin hesabının amacı, statik ve dinamik dış etkiler altında, sistemlerde meydana gelen iç kuvvetlerin deformasyonların ve deplasmanların tayin edilmesidir. Bir çubuk, bir çubuklar sistemi veya bir sürekli ortam parçası olabilen her elemanda dış etkilerden meydana gelen iç etkilerin tayin edilebileceği kabul edilebilmektedir. Bundan dolayı, matris metodlarının amacı, sistemde dış etkilerden meydana gelen uç kuvvetlerin ve uç deplasmanlarının tespit edilmesi olmaktadır. (Çakıroğlu, A., 1970)

Uç kuvvetlerin ve uç deplasmanların sağlanması gereken üç şart vardır.

1- Denge Şartları;

a-Düğüm noktalarının denge denklemleri

b-Elemanların denge denklemleri.

2- Geometrik Uygunluk Şartları;

a-Elemanın düğüm noktası uç deplasmanları birbirine eşittir.

b-Mesnet koşulları.

3- Gerilme Deformasyon Bağlılıkları (Bünye Koşulları)

Matris deplasman metodlarında, önce sistemin uç deplasman durumu geometrik uygunluk şartları sağlayan birbirlerinden lineer olarak bağımsız uç deplasman durumlarının lineer kombinezonu olarak ifade edilir. Sistemin geometrik serbestlik derecesine eşit sayıdaki katsayılar, denge şartları ve deformasyon-iç kuvvet bağıntıları kullanılarak bulunurlar. Böylece sistemin uç deplasman durumu tespit edildikten sonra denge şartları ve deformasyon-iç kuvvet bağıntılar yardımı ile uç kuvvetler bulunacaktır.

Sistemin serbestlik derecesi, düğüm noktalarının deplasman bileşenleri sayısına eşit olur ve geometrik uygunluk şartlarını sağlayan birbirinden lineer bağımsız uç deplasman durumlarının herbiri için, düğüm noktalarının deplasman bileşenlerinden bir tanesi bir, diğer tüm değerleri sıfır olan durum alınabilir. Bundan dolayı lineer kombinezyonda bulunan bilinmeyen katsayılar düğüm noktalarının deplasman bileşenleri sırası ile eşit alınmış olur.

Bir i düğüm noktasında birleşen elemanlar için i_x indisi ile belirtilen ortak bir koordinat sistemi alınacaktır. Bir düğüm noktasında birleşen elemanların ortak koordinat sistemine ait karşılıklı uç deplasman bileşenleri, geometrik uygunluk şartları uyarınca birbirlerine ve dolayısı ile düğüm noktası bileşenlerine eşit olurlar. Bir i düğüm noktasında birleşen elemanların ortak koordinat sistemine ait uç deplasman bileşenlerinden oluşan kolon matrislerin herbiri, düğüm noktasının deplasman bileşenlerinden oluşan $[d]$ kolon matrisine eşit olur. O halde, düğüm noktası sayısı n ile gösterildiğine göre, bilinmeyen kolon matrisi;

$$[d] = \begin{bmatrix} [d]_{1x} \\ [d]_{2x} \\ \vdots \\ \vdots \\ [d]_{nx} \end{bmatrix} \text{ olur.} \quad (3.65)$$

Dış etkilerin ve düğüm noktalarındaki ortak koordinat sistemlerine ait uç deplasmanların elemanın bir i düğüm noktasında doğurduğu uç kuvvet bileşenlerinden oluşan kolon matris $[p]$ ile gösterilmektedir. Bir elemanın bütün düğüm noktalarındaki deplasman bileşenleri sıfırken, yalnız dış etkilerden i düğüm noktasında doğurduğu uç kuvvet

bileşenlerinden oluşan kolon matrisin $[p_o]$ ile gösterildiği ve yükleme matrisi diye adlandırıldığı bilinmektedir. (ÇAKIROĞLU, A. 1970 - 1984)

Herhangi bir ij çubuk elemanın, eleman koordinat sistemine ait $[p]$, $[p]$ uç kuvvetleri ile $[d]$, $[d]$ uç deplasmanları arasında

$$[p]_{ij} = [k]_{ij} [d]_{ij} + [p_o]_{ij} \quad \text{elde edilir.} \quad (3.66)$$

Ortak koordinat sistemine göre ise;

$$[p]_{xij} = [k]_{xij} [d]_{xij} + [p_o]_{xij} \quad \text{elde edilir.} \quad (3.67)$$

3.3.1.) Martis Deplasman Metodunun Özellikleri

1- Bilinmeyen Sayısı

Deplasman metodunda, düğüm noktalarında ne kadar çok eleman birleşirse bilinmeyen sayısı o kadar az olur.

2- Denklem Takımının Kuruluşu

Deplasman metodunda, homojen çözümlerin tayininin kolay ve sistematik oluşuna karşılık bunların seçiminde serbestlik azdır. Denklemin kuruluşu kolay ve sistematiktir.

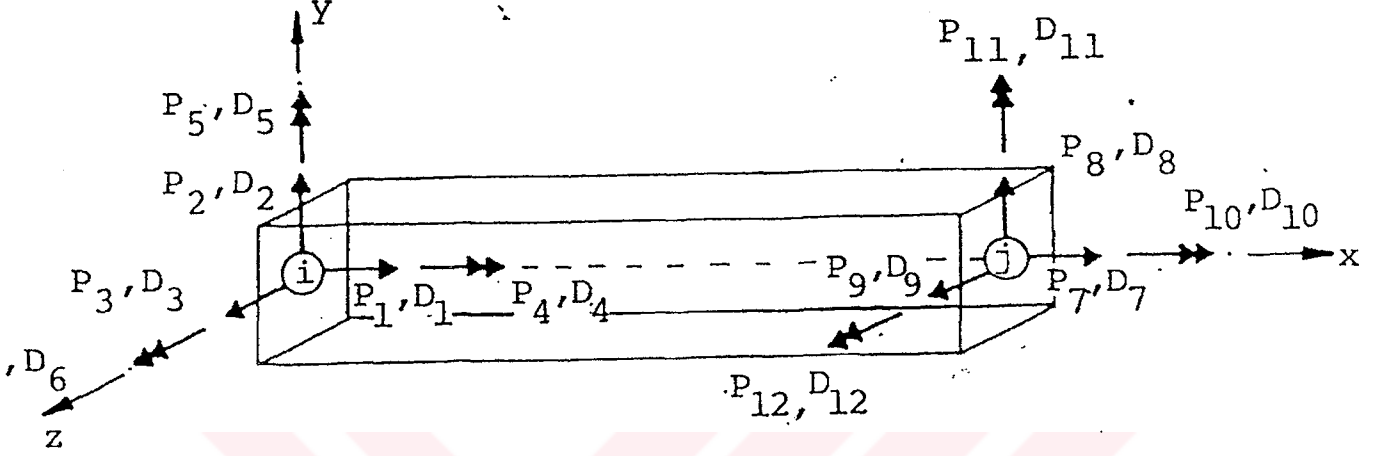
3- Denklem Takımının Çözümü

Deplasman metodunda, genellikle çözümü kolay olan denklem takımları elde edilebilmektedir.

4- Denklem Takımının Stabilitesi

Deplasman metodunda, bazı hallerde stabilitesi iyi denklem takımı elde edilmektedir. Böyle olmayan hallerde, bilinmeyen seçilmesinde klasik hesapta serbestlik çok az olduğundan, düzeltme imkanı da az olmaktadır. (ÇAKIROĞLU, A. 1970)

3.3.2.) Uzay Çerçevesi.



Şekil 3.12 - Çubuğun i ucuna ait uç kuvvetleri

$$[p]_i = [p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6] \quad \text{Çubuk eksenelerine göre .} \quad (3.68)$$

Çubuğun i ucuna ait uç kuvvetleri

$$[p]_j = [p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}] \quad \text{Çubuk eksenelerine göre .} \quad (3.69)$$

$$[p] = [p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}] \quad (3.70)$$

$[p]$ = Uç kuvvetler matrisi

p_1, p_7 : i ve j de, ij doğrultusundaki uç kuvvetleridir. ij'yi uzatan yön pozitif olarak kabul edilirler. Doğru eksenli çubuk halinde, bu kuvvetler i ve j uçlarındaki normal kuvvetleri göstermektedir.

p_2, p_3, p_8, p_9 : i ve j de, ij 'ye dik doğrultudaki uç kuvvetleridir. Çubuğu saat akrebi yönünde çevirince pozitif kabul edilirler. Doğru eksenli çubuk halinde, bu kuvvetler j ve i uçlarında kesme kuvvetlerini göstermektedirler.

$p_4, p_5, p_6, p_{10}, p_{11}, p_{12}$: i ve j deki uç momentleridir. Çubuğu saat akrebinin zıt yönünde çevirince positif kabul edilirler.

Çubuğun i ucuna ait deplasmanları (yer değiştirmeleri)

$$[d]_i = [d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6] \text{ Çubuk eksenlerine göre.} \quad (3.71)$$

Çubuğun i ucuna ait deplasmanları (yer değiştirmeleri)

$$[d]_j = [d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}] \text{ Çubuk eksenlerine göre.} \quad (3.72)$$

$$[d] = [d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}] \quad (3.73)$$

Uç deplasmanları, çubuğa etkiyen uç kuvvetleri ile aynı doğrultu ve yönde seçilmiştir.

Uç Deplasmanları	Birim Deplasman Sabitleri
$d_1=1, d_2=0, d_3=0, d_4=0, d_5=0, d_6=0$	$k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{41}, k_{51}, k_{61}$
$d_1=0, d_2=1, d_3=0, d_4=0, d_5=0, d_6=0$	$k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{42}, k_{52}, k_{62}$
$d_1=0, d_2=0, d_3=1, d_4=0, d_5=0, d_6=0$	$k_{13}, k_{23}, k_{33}, k_{43}, k_{53}, k_{63}$
$d_1=0, d_2=0, d_3=0, d_4=1, d_5=0, d_6=0$	$k_{14}, k_{24}, k_{34}, k_{44}, k_{54}, k_{64}$
$d_1=0, d_2=0, d_3=0, d_4=0, d_5=1, d_6=0$	$k_{15}, k_{25}, k_{35}, k_{45}, k_{55}, k_{65}$
$d_1=0, d_2=0, d_3=0, d_4=0, d_5=0, d_6=1$	$k_{16}, k_{26}, k_{36}, k_{46}, k_{56}, k_{66}$

Birim deplasman sabitleri denilen k_{ij} lerin ilk indisi yeri, ikinci indisi de sebebi göstermektedir.

Eleman Rijitlik Matrisi

[k]_{ii} =k₁₁,k₁₂,k₁₃,k₁₄,k₁₅,k₁₆k₂₁,k₂₂,k₂₃,k₂₄,k₂₅,k₂₆k₃₁,k₃₂,k₃₃,k₃₄,k₃₅,k₃₆k₄₁,k₄₂,k₄₃,k₄₄,k₄₅,k₄₆k₅₁,k₅₂,k₅₃,k₅₄,k₅₅,k₅₆k₆₁,k₆₂,k₆₃,k₆₄,k₆₅,k₆₆d₁=1,d₂=0,d₃=0,d₄=0,d₅=0,d₆=0k₇₁,k₈₁,k₉₁,k₁₀₁,k₁₁₁,k₁₂₁d₁=0,d₂=1,d₃=0,d₄=0,d₅=0,d₆=0k₇₂,k₈₂,k₉₂,k₁₀₂,k₁₁₂,k₁₂₂d₁=0,d₂=0,d₃=1,d₄=0,d₅=0,d₆=0k₇₃,k₈₃,k₉₃,k₁₀₃,k₁₁₃,k₁₂₃d₁=0,d₂=0,d₃=0,d₄=1,d₅=0,d₆=0k₇₄,k₈₄,k₉₄,k₁₀₄,k₁₁₄,k₁₂₄d₁=0,d₂=0,d₃=0,d₄=0,d₅=1,d₆=0k₇₅,k₈₅,k₉₅,k₁₀₅,k₁₁₅,k₁₂₅d₁=0,d₂=0,d₃=0,d₄=0,d₅=0,d₆=1k₇₆,k₈₆,k₉₆,k₁₀₆,k₁₁₆,k₁₂₆[k]_{ji} =k₇₁,k₇₂,k₇₃,k₇₄,k₇₅,k₇₆k₈₁,k₈₂,k₈₃,k₈₄,k₈₅,k₈₆k₉₁,k₉₂,k₉₃,k₉₄,k₉₅,k₉₆k₁₀₁,k₁₀₂,k₁₀₃,k₁₀₄,k₁₀₅,k₁₀₆k₁₁₁,k₁₁₂,k₁₁₃,k₁₁₄,k₁₁₅,k₁₁₆k₁₂₁,k₁₂₂,k₁₂₃,k₁₂₄,k₁₂₅,k₁₂₆

Köşegenin altında kalan relatif deplasmanlar ikiye ikiye karşılaştırılır ve Betti karşılık teoremi uygulanırsa

$$k_{ij}=k_{ji} \quad (3.74)$$

olduğu, $[k]$ matrisinin esas köşegenine göre simetrik olduğu görülür.

$$[k] = [k]^T \quad (3.75)$$

Dış kuvvetlerin sıfır olması halinde;

$$p_1 = k_{11} \cdot d_1 + k_{12} \cdot d_2 + k_{13} \cdot d_3 + k_{14} \cdot d_4 + k_{15} \cdot d_5 + k_{16} \cdot d_6$$

$$p_2 = k_{21} \cdot d_1 + k_{22} \cdot d_2 + k_{23} \cdot d_3 + k_{24} \cdot d_4 + k_{25} \cdot d_5 + k_{26} \cdot d_6$$

$$p_3 = k_{31} \cdot d_1 + k_{32} \cdot d_2 + k_{33} \cdot d_3 + k_{34} \cdot d_4 + k_{35} \cdot d_5 + k_{36} \cdot d_6$$

$$p_4 = k_{41} \cdot d_1 + k_{42} \cdot d_2 + k_{43} \cdot d_3 + k_{44} \cdot d_4 + k_{45} \cdot d_5 + k_{46} \cdot d_6$$

$$p_5 = k_{51} \cdot d_1 + k_{52} \cdot d_2 + k_{53} \cdot d_3 + k_{54} \cdot d_4 + k_{55} \cdot d_5 + k_{56} \cdot d_6$$

$$p_6 = k_{61} \cdot d_1 + k_{62} \cdot d_2 + k_{63} \cdot d_3 + k_{64} \cdot d_4 + k_{65} \cdot d_5 + k_{66} \cdot d_6$$

$$[p]_n = [k]_{ni} \cdot [d]_{ji} \quad (3.76)$$

Yükler ve $[d]_j = 0$ iken

$$[p]_{ji} = [k]_{ji} \cdot [d]_{ji} \quad (3.77)$$

$$[p]_{jj} = [k]_{jj} \cdot [d]_{jj} \quad (3.78)$$

Yükler ve $[d]_{ji} = 0$ iken

Uç deplasmanları

Birim Deplasman Sabitleri

$$d_7=1, d_8=0, d_9=0, d_{10}=0, d_{11}=0, d_{12}=0$$

$$k_{77}, k_{87}, k_{97}, k_{107}, k_{117}, k_{127}$$

$$d_7=0, d_8=1, d_9=0, d_{10}=0, d_{11}=0, d_{12}=0$$

$$k_{78}, k_{88}, k_{98}, k_{108}, k_{118}, k_{128}$$

$$d_7=0, d_8=0, d_9=1, d_{10}=0, d_{11}=0, d_{12}=0$$

$$k_{79}, k_{89}, k_{99}, k_{109}, k_{119}, k_{129}$$

$$d7=0, d8=0, d9=0, d10=1, d11=0, d12=0 \quad k_{710}, k_{810}, k_{910}, k_{1010}, k_{1110}, k_{1210}$$

$$d7=0, d8=0, d9=0, d10=0, d11=1, d12=0 \quad k_{711}, k_{811}, k_{911}, k_{1011}, k_{1111}, k_{1211}$$

$$d7=0, d8=0, d9=0, d10=0, d11=0, d12=1 \quad k_{712}, k_{812}, k_{912}, k_{1012}, k_{1112}, k_{1212}$$

Birim deplasman sabitleri denilen k_{ij} lerin ilk indisleri yeri, ikinci indisleri de sebebi göstermektedir. (ÇAKIROĞLU, 1970)

$$[k]_{jj} = \begin{array}{|c|} \hline k_{77} \quad k_{78} \quad k_{79} \quad k_{710} \quad k_{711} \quad k_{712} \\ \hline k_{87} \quad k_{88} \quad k_{89} \quad k_{810} \quad k_{811} \quad k_{812} \\ \hline k_{97} \quad k_{98} \quad k_{99} \quad k_{910} \quad k_{911} \quad k_{912} \\ \hline k_{107} \quad k_{108} \quad k_{109} \quad k_{1010} \quad k_{1011} \quad k_{1012} \\ \hline k_{117} \quad k_{118} \quad k_{119} \quad k_{1110} \quad k_{1111} \quad k_{1112} \\ \hline k_{127} \quad k_{128} \quad k_{129} \quad k_{1210} \quad k_{1211} \quad k_{1212} \\ \hline \end{array}$$

$$[k]_{ij} = \begin{array}{|c|} \hline k_{17} \quad k_{18} \quad k_{19} \quad k_{110} \quad k_{111} \quad k_{112} \\ \hline k_{27} \quad k_{28} \quad k_{29} \quad k_{210} \quad k_{211} \quad k_{212} \\ \hline k_{37} \quad k_{38} \quad k_{39} \quad k_{310} \quad k_{311} \quad k_{312} \\ \hline k_{47} \quad k_{48} \quad k_{49} \quad k_{410} \quad k_{411} \quad k_{412} \\ \hline k_{57} \quad k_{58} \quad k_{59} \quad k_{510} \quad k_{511} \quad k_{512} \\ \hline k_{67} \quad k_{68} \quad k_{69} \quad k_{610} \quad k_{611} \quad k_{612} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{ELEMEN RİİTLİK} \\ \text{MATRİSİ} \end{array}$$

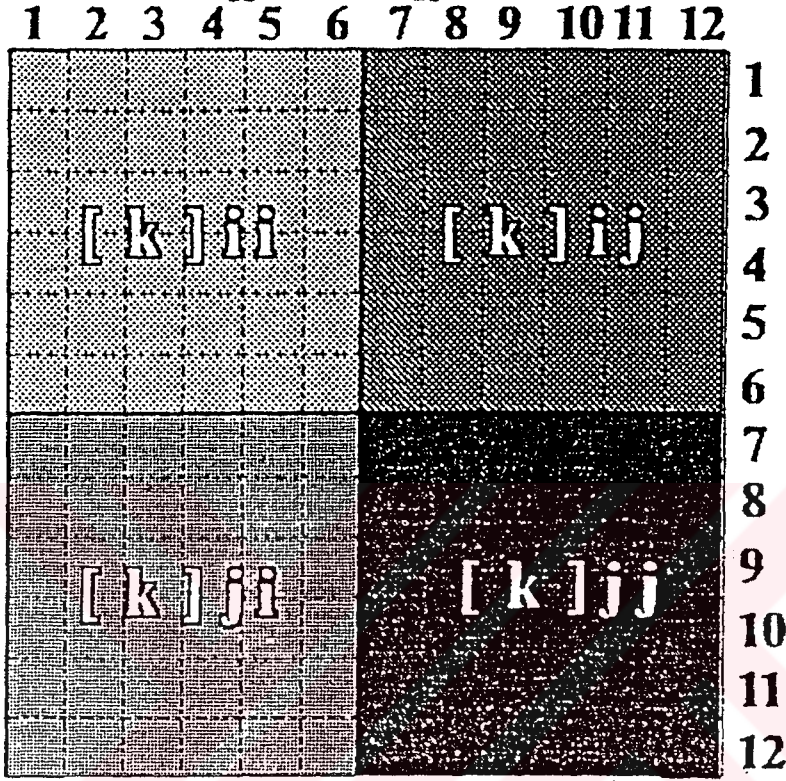
$$[p]_i = [k]_{ij} * [d]_j \quad (3.79)$$

$$[p]_j = [k]_{ij} * [d]_i \quad (3.80)$$

Tarif edilen dört tane birim deplasman matrisinin ikisi Betti karşılık teoremi dolayısıyla esas köşegene göre simetriktir.

$$[k]_{ii} = [k]_{ii}^T \quad (3.81)$$

$$[k]_{jj} = [k]_{jj}^T \quad (3.82)$$



Şekil 3.13 - Sistem Rijitlik Matrisi

Yükler sıfır iken $[d]_i$ ve $[d]_j$ uç deplasmanlarından meydana gelen $[p]_i$ ve $[p]_j$ uç kuvvetleri

$$[p]_i = [k]_{ii} * [d]_i + [k]_{ij} * [d]_j \quad (3.83)$$

$$[p]_j = [k]_{ji} * [d]_i + [k]_{jj} * [d]_j \quad (3.84)$$

$$\begin{bmatrix} [p]_i \\ [p]_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [k]_{ii} & [k]_{ij} \\ [k]_{ji} & [k]_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [d]_i \\ [d]_j \end{bmatrix} \quad (3.85)$$

$$[p] = [K] * [d] \quad (3.86)$$

[K] matrisi mertebesi 12 *12 dir.

Betti karşılık teoremine göre [K] matrisi esas köşegenine göre simetrik olacağından;

$$[K] = [K]^T \text{ ve } [K]_{ij} = [K]_{ji}$$

[K] matrisi 144 tane olan elemanı arasında bu simetri bağıntılarından başka, denge denklemlerinin verdiği aşağıdaki bağıntılarda vardır.

Denge durumunda ve yükler sıfır iken ;

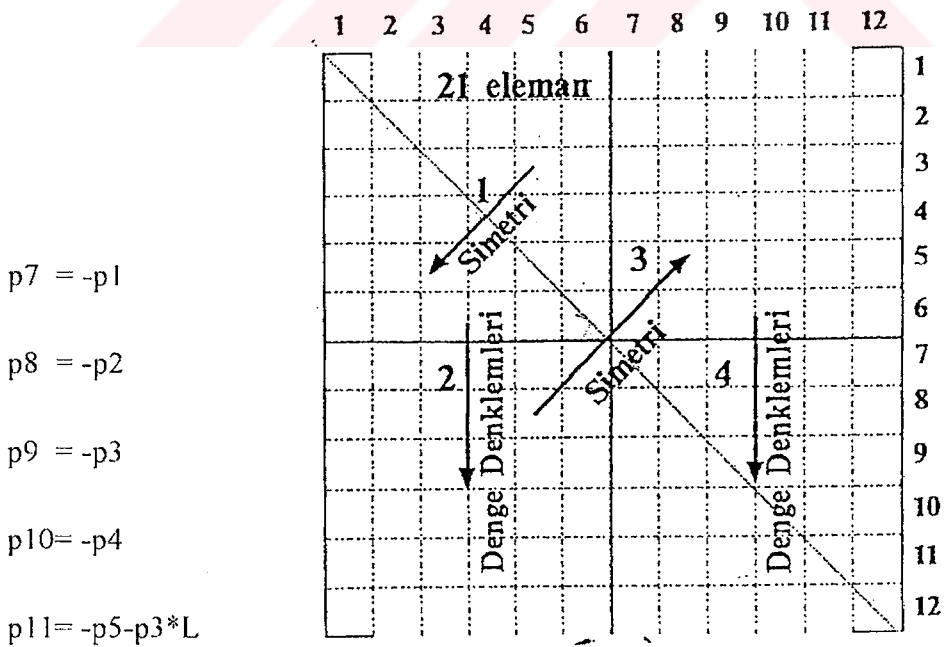
21 Elemanın bilinmesi ile diğer elemanlar kolaylıkla bulunabilecektir.

1- [k]_{ji} nin alt üçgeni simetri özelliği ile üst üçgene bağlı olarak.

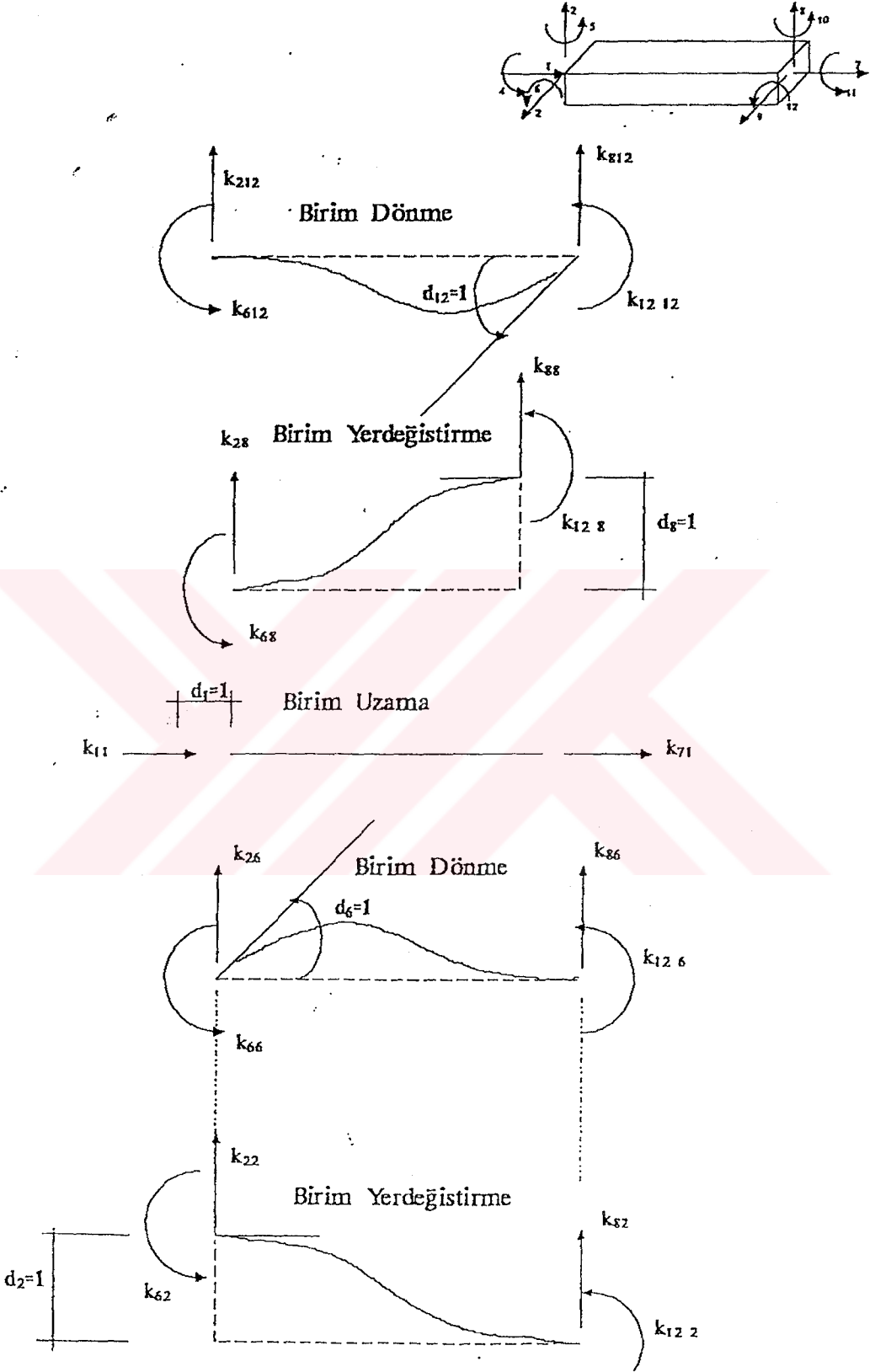
2- [k]_{ji} denge denklemlerinden elde edilen satırlar arasındaki bağıntılarla, [k]_{ji} ye bağlı olarak .

3- [k]_{ij} , [k] matrisinin simetri özelliğinden dolayı [k]_{ji} ye bağlı olarak.

4- [k]_{ij} satırlar arasındaki bağıntılarla [k]_{ij} ye bağlı olarak tayin edilmiştir.



Şekil 3.14 - Sistem rijilik matrisinin elemanları arasındaki bağıntılar.



Şekil 3.15 Rijitlik matrisi elemanlarının çıkarılması.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EA_x/L						$-EI_x/L$					
	$12EI_z/L^3$				$6EI_z/L^2$		$-12EI_x/L^3$				$6EI_z/L^2$
		$12EI_y/L^3$		$-6EI_y/L^2$				$-12EI_y/L^3$		$-6EI_y/L^2$	
			GI_x/L						$-GI_x/L$		
		$-6EI_y/L^2$		$4EI_y/L$				$6EI_y/L^2$		$2EI_y/L$	
	$6EI_z/L^2$				$4EI_z/L$		$-6EI_x/L^2$				$2EI_z/L$
$-EA_x/L$						EI_x/L					
	$-12EI_z/L^3$				$-6EI_z/L^2$		$12EI_x/L^3$				$-6EI_z/L^2$
		$-12EI_y/L^3$		$6EI_y/L^2$				$12EI_y/L^3$		$6EI_y/L^2$	
			$-GI_x/L$						GI_x/L		
		$-6EI_y/L^2$		$2EI_y/L$				$6EI_y/L^2$		$4EI_y/L$	
	$6EI_z/L^2$				$2EI_z/L$			$-6EI_x/L^2$			$4EI_z/L$

Şekil 3.16 - Uzay Çubukların Rijitlik Matrisi.

Ax : Kesit alanı

Iz : z-z kesiti atalet momentı

G : Kayma rijitliği

Iy : y-y kesiti atalet momentı E : Elastisite modülü

L : Çubuk boyu

Ix : Burulma rijitliği (DÜNDAR, C ve diğerleri , 1986)

3.3.3.)Yükleme Matrisleri

Bütün d uç deplasmanları sıfır iken yani $[d]_i = [d]_j = 0$ olduğu durumda yalnız yüklrden meydana gelen uç kuvvetleri sıra ile p10,p20,p30,p40,p50,p60,p70,p80,p90,p100,p110,p120 ile gösterilen iki ucu ankastre bir çubukta yüklerden meydana gelen uç kuvvetleridir. Burada ilk indis meydana gelen kuvveti ikinci indis ise sebebi göstermektedir.

$$[d] = 0 \text{ iken} \quad \begin{array}{c} [p_{10}] \\ [p_{20}] \\ [p_{30}] \\ [p_{40}] \\ [p_{50}] \\ [p_{60}] \end{array} \quad [p_0]_j = \quad \begin{array}{c} [p_{70}] \\ [p_{80}] \\ [p_{90}] \\ [p_{100}] \\ [p_{110}] \\ [p_{120}] \end{array}$$

Çubuk yüksüz iken denkleminiz $[p] = [k][d]$ (3.87)

$$\text{Çubuk yüklü iken} \quad [d] = 0 \quad [p] = [p_0] \quad (3.88)$$

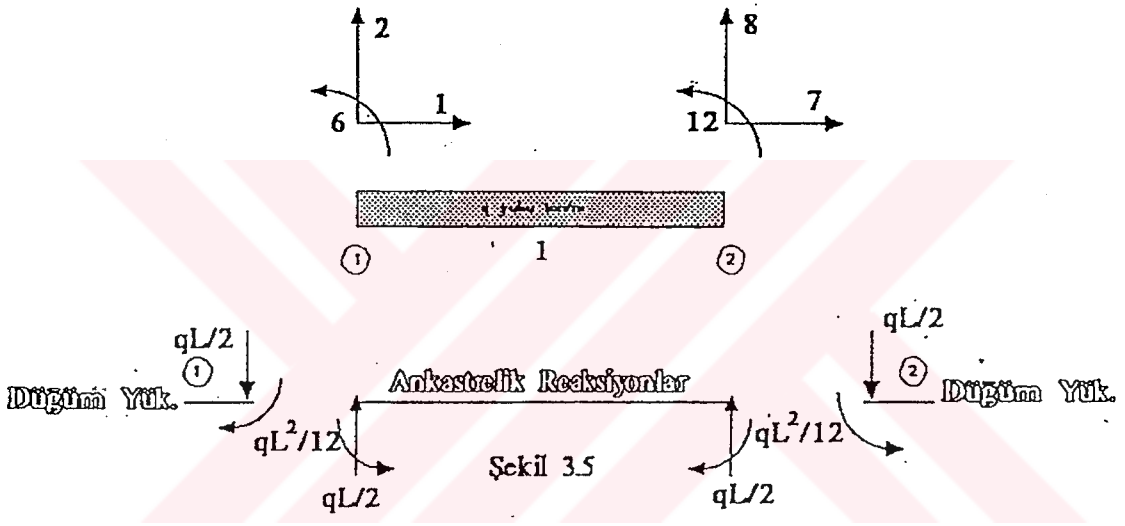
$$[p] = [k][d] + [p_0] \quad (3.89)$$

Bir taşıyıcı sistemin üzerine etkiyen dış yükler, tesir ettikleri yer açısından ikiye ayrılabilir. Birincisi direk dış yüklerdir ve sistemin doğrudan doğruya sistemin düğüm noktalarına tesir edenler bu sınıfa girerler. İkinci kısma ise endirek dış yükler diyebiliriz ve bu yükler çubukların eksenleri boyunca tesir ederler. (TEZCAN, H.B. ,1973)

Sistemin rijitlik denklem takımının sağ tarafında bulunan p kolon vektörü sistemin direk yükleridir. sistemin düğüm noktası deformasyonları hangi eksen takımında seçilmiş ise p lerde aynı doğrultuda verilmiş olmalıdır. Direk düğüm noktası yükleri doğrudan doğruya denklem takımının sağ tarafındaki sabitler vektörünü teşkil ederler. Çubuklar üzerine etkiyen tekil veya yayılı yükler önce çubuk uçlarına indirgenmek ondan sonra düğüm noktalarına gelen eşdeğer yükleri hesaplamak gerekir. Bunun için sistem düğüm noktalarında ankastre kabul edilir. Bu reaksiyonların ters işaretleri düğüm noktalarına

doğrudan doğruya tesir eden dış yükler olarak alınır. Çubukların üzerine tesir eden dış yükleri, düğüm noktalarına tesir eden eşdeğer yükler haline çevirmek için aşağıdaki yol izlenecektir.

Taşıyıcı sistemin bütün çubukları uçlarından ankastre farz edilir ve çubuklar üzerindeki yüklerin ankastre uçlarında meydana getirdikleri ankastrelilik reaksiyonları [p], bilinen formülleriyle hesap edilir. Bu reaksiyonların ters işaretlileri düğüm noktalarına doğrudan doğruya tesir eden dış yükler olarak alınır. (TEZCAN, H.B. ,1973)



Şekil 3.17 - Çubukların uçlarındaki ankastrelilik reaksiyonları.

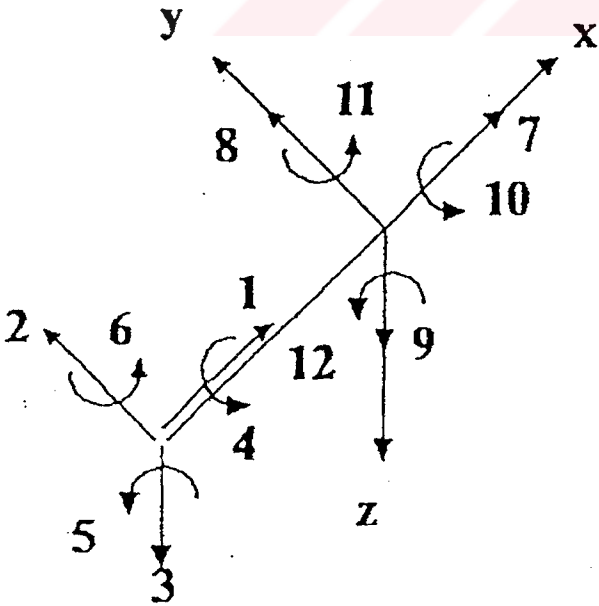
Örnek olmak üzere, üzerindeki tam yayılı bir q yükü bulunan L açıklığındaki bir uzay çerçeve çubuğunun ankastrelilik reaksiyonları ile bu q yükünden düğümlere gelen tesirler şekilde gösterilmiştir.

Çubuk uçlarındaki ankastrelilik reaksiyonlarından sistematik bir şekilde düğüm yüklerine geçmek için kod numaralarından istifade edilebilir. Bunun için, çubuğun müşterek eksenlere göre hesaplanmış ankastrelilik reaksiyon kolon vektörünün yanına o çubuğun kod numarası yazılır. Bir kod numarasının karşısına gelen ankastrelilik reaksiyonunun değerinin ters işaretlisi, kod numarasının gösterdiği numaradaki düğüm yükünü teşkil eder. Ayrıca, bir doğrultuda birden fazla sayıda çubuk yük gönderebilir.

Taşıyıcı sistem, düğüm noktalarına direk olarak tesir eden bu dış yükler altında analiz edilir. Artık, çubuk üzerinde etki eden q yayılı yükü kesinlikle düşünülmez. Analiz bitip, uç kuvvetleri bulunduktan sonra q yayılı yükü olan çubuğun dengesini düşünürken veya kesit tesir diyagramlarını çizerken, q yükünün varlığını yeniden göz önüne almamız gerekmektedir. (4)

$$\begin{array}{|c|} \hline [p1] \\ \hline [p2] \\ \hline [p3] \\ \hline [p4] \\ \hline [p5] \\ \hline [p6] \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline q*L/2 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline q*L^2/12 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline [p7] \\ \hline [p8] \\ \hline [p9] \\ \hline [p10] \\ \hline [p11] \\ \hline [p12] \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline q*L/2 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline -q*L^2/12 \\ \hline \end{array}$$

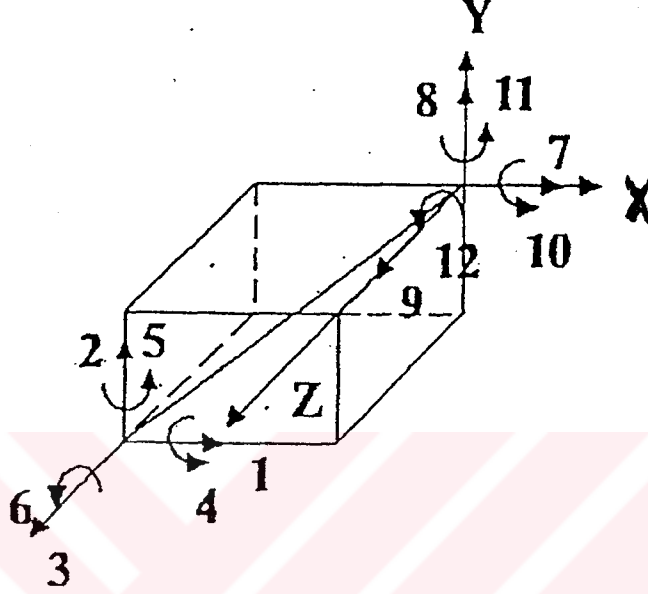
3.3.4) Eksen Takımları



Şekil 3.18 - Çubuk Eksenleri

Çubuk Eksenleri : Çubuğun kendi boyuna eksenini ile bu eksen dik enkesitteki asal atalet momenti eksenini veya eksenlerinden meydana gelen ve sağ el kuralına uyan xy ve xyz kartezyen koordinat takımına çubuk eksen takımı denir. Burada yapılan tanımda xy eksenleri kağıt düzlemi ile aynı düzlem kabul edilmiştir. z eksenini ise kağıt düzlemine dik olan eksen olarak kabul edilmiştir.

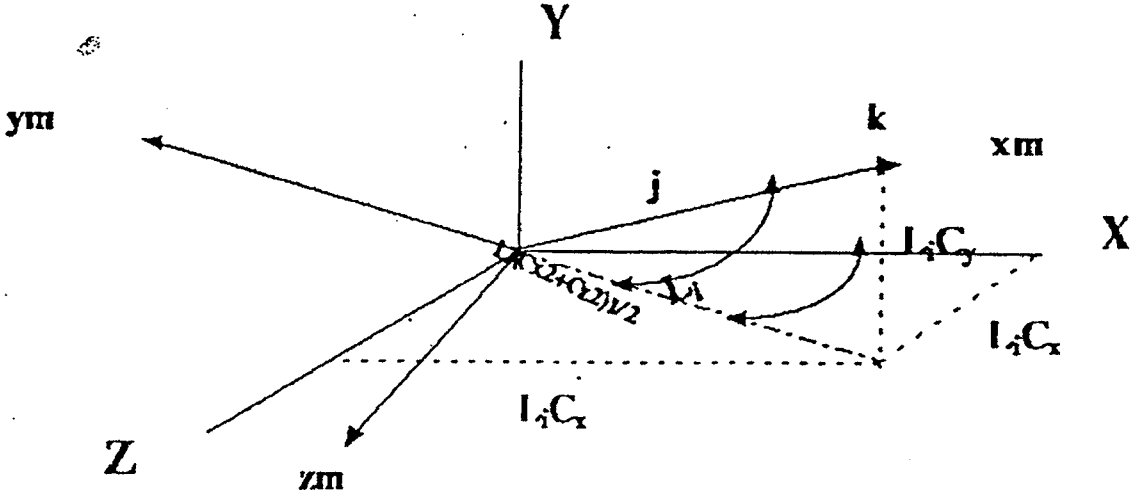
Müşterek Eksen Takımı : Düzlem veya uzayda çubuk herhangi bir konumda olabilir ve bir düğüm noktasına birleşen çubukların uç kuvvet ve deplasmanlarını tek bir koordinat takımına dönderebilmek amacı ile sağ el kuralına uygun olarak seçilen birbirine dik XY ve XYZ eksenlerine müşterek eksen takımı denir. (TEZCAN, H.B. ,1973)



Şekil 3.19 - Müşterek Eksen Takımı.

3.3.5.) Koordinat Sisteminin Dönüştürülmesi

Bir düğüm noktasında birleşen çubukların rijitlik matrisi terimlerini cebrik olarak toplayabilmek için, o çubukların rijitlik matrislerinin müşterek bir eksen takımına göre yazılmış olması gerekmektedir. Daha önce anlatılan rijitlik matrisi çubuk eksenlerine göredir ve bir sistem içinde farklı çubuk eksenleri olan çubuklar vardır. Buna göre çubuk uçlarında farklı doğrultularda olan deformasyon ve kuvvet vektörlerini müşterek bir eksen takımına dönüştürmek gerekmektedir. Burada dönüşümü gerekli olan rijitlik matrisleridir. Böylece çubuk eksen takımına göre bilinen rijitlik matrisi müşterek bir eksen takımına dönüştürülmüş olacaktır. (TEZCAN, H.B. ,1973)



Şekil 3.20 - Çubuk eksenlerinin müşterek eksen takımına dönüştürülmesi.

Bir O noktasından geçen ve müşterek X , Y , Z eksenleri doğrultularında V_x, V_y, V_z gibi üç ayrı bileşeni bulunan bir V_o kuvveti aynı noktadan geçen birbirine dik diğer bir x, y, z eksen takımı doğrultularında v_x, v_y, v_z gibi eşdeğer bileşenlere ayrılabilir. Bileşke V_o her iki halde de aynıdır. Sadece, bileşenlerin şiddet, doğrultu ve yönleri farklıdır. Bu durumda eğer iki eksen takımı arasındaki açılar biliniyorsa bir eksen takımına göre verilmiş bileşenleri, diğer eksen takımına göre verilmiş bileşenler cinsinden yazmak mümkündür.

3.3.6.) Döndürme Matrisi

Taşıyıcı sistemin bütününcü incelemek için, yerel x, y, z eksen takımlarından genel X, Y, Z eksen takımına geçmek gerekir.

α_{ij} çubuğun yerel eksen takımının j eksenini ($j= x,y,z$) ile genel eksen takımının J eksenini ($J= X,Y,Z$) arasındaki açının kosinüsü olsun. α_{ij} lerin 3×3 lük matrisini α_{ij} ile gösterelim.

$$|\alpha_{ij}| = \begin{vmatrix} \alpha_{zZ} & \alpha_{zX} & \alpha_{zY} \\ \alpha_{xZ} & \alpha_{xX} & \alpha_{xY} \\ \alpha_{yZ} & \alpha_{yX} & \alpha_{yY} \end{vmatrix} \quad (3.90)$$

α_{IJ} terimleri o şekildedir ki

$$[\alpha_{ij}]^T = [\alpha_{ij}]^{-1} \quad (3.91)$$

yukarıda tanımlanan yerdeğiştirmelerin ve kesit zorlarının, bu kere genel eksen takımına göre hesaplanmış 12 terimli vektörleri (d_{IJ}) ve (P_{IJ}) olsunlar. α_{ij} ile

$$|\alpha_{4ij}| = \begin{vmatrix} \alpha_{ij} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{ij} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{ij} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{ij} \end{vmatrix} \quad (3.92)$$

kare matrisi gösterilsin. Buradan

$$|d_{ij}| = |\alpha_{4ij}| |d_{IJ}| \quad (3.93)$$

ve

$$|P_{ij}| = |\alpha_{4ij}| |P_{IJ}| \quad (3.94)$$

bağıntıları yazılır.

Daha önce çıkarılmış olan $[p] = [k][d]$ formülünde üsteki formüller yerine konursa

$$[\alpha_{4ij}][P_{IJ}] = [k_{ij}][\alpha_{4ij}][d_{IJ}] \quad (3.95)$$

şekline dönüşür. Bu bağıntının her iki yanını (α_{4ij}^T) ile çarpıp $[\alpha_{ij}]^T = [\alpha_{ij}]^{-1}$ göz önüne alınırsa

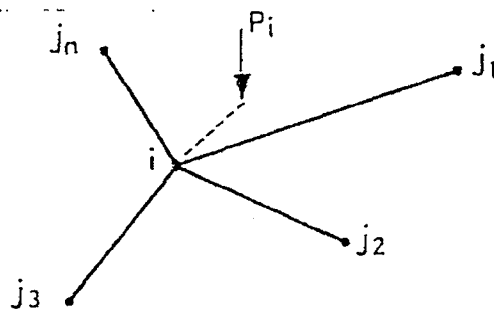
$$[P_{IJ}] = [\alpha_{4ij}]^T [k_{ij}] [\alpha_{4ij}] [d_{IJ}] \quad (3.96)$$

elde edilecektir. (ARDA, T.S. .1995)

Bu bağıntı genel eksen takımında, i-j çubuğunun uçlarına etkiyen kesit zorlarının bileşenlerini, çubuğun yerel eksen takımında tanımlanmış bir rijitlik matrisi ve α_{ij} döndürme matrisi aracılığıyla, bu uçlardaki yerdeğiştirmelerin fonksiyonu olarak verir.

3.3.7.)Düğüm Noktalarının Dengesi

Merkezsiz yada dışmerkez P_i dış yükünün üzerine etki ettiği i düğüm noktası kendisinde bileşen çubukların her birinin uyguladığı - P_{ij} uç zorlarının varlığı dolayısıyla dengededir.



Şekil 3.21 - 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

$$P_i = \sum_j P_{ijüst} \quad (3.97)$$

bağıntısı ile yazılır. Toplam, i noktasında birleşen bütün çubukları kapsar. Yine bu bağıntıda $P_{ijüst}$, $[P_{IJ}] = [\alpha_{4ij}]^T [k_{ij}] [\alpha_{4ij}] [d_{IJ}]$ bağıntısıyla verilen P_{IJ} matrisinin üst yarısını gösterir. Aynı matrisin alt yarısı j numaralı düğüm noktasının dengesinde kullanılır. (3.97) bağıntılarını kafes taşıyıcılarının bütün düğüm noktaları için yazarak, düğüm noktalarının sayısı n olmak üzere, $6n$ 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 sağlarlar.

Bu denklemlerin bilgisayar yardımı ile çözümünü, her düğüm noktası için yerdeğiştirmenin 6 bileşenini verir. Daha sonra $[P_{IJ}] = [\alpha_{4ij}]^T [k_{ij}] [\alpha_{4ij}] [d_{IJ}]$ ve $|P_{ij}| = |\alpha_{4ij}| |P_{IJ}|$ bağıntılarından her çubuğun uç kesit kuvvetleri hesaplanır; geriye bunlardan yararlanarak çubuklarda gerilme kontrolü yapmak kalır.

3.3.8.) Dügüm Noktası Mafsallı Sistemler

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

$$[d_{ij}] = \begin{vmatrix} \delta_{zi} \\ \delta_{zj} \end{vmatrix} \quad (3.98)$$

$$[P_{ij}] = \begin{vmatrix} N_i \\ N_j \end{vmatrix} \quad (3.99)$$

$$[k_{ij}] = \frac{EA}{L} \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.100)$$

$$[\alpha_{ij}] = [\alpha_{Z}^{ij} \quad \alpha_{X}^{ij} \quad \alpha_{Y}^{ij}] \quad (3.101)$$

biçimlerinde dönüşürler. Tek indisli α terimleri çubuk ekseninin Z, Y, X ile yaptığı açıların kosinüslerini gösterir.

$$[\alpha_{2ij}] = \begin{vmatrix} \alpha_{Z}^{ij} & \alpha_{X}^{ij} & \alpha_{Y}^{ij} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{Z}^{ij} & \alpha_{X}^{ij} & \alpha_{Y}^{ij} \end{vmatrix} \quad (3.102)$$

olmak üzere

$$[d_{ij}] = [\alpha_{2ij}] [d_{IJ}] \quad (3.103)$$

$$[P_{ij}] = [\alpha_{2ij}] [P_{IJ}] \quad (3.104)$$

konulursa (3.96) bağıntısı

$$[P_{IJ}] = \frac{EA}{L} \begin{vmatrix} g & -g \\ -g & g \end{vmatrix} [d_{IJ}] \quad (3.105)$$

biçimini alır. Burada g değeri

$$g = \begin{vmatrix} \ddot{u}_{Z^2} & \ddot{u}_{Z\alpha_X} & \ddot{u}_{Z\alpha_Y} \\ \ddot{u}_{\alpha_X\alpha_Z} & \ddot{u}_{\alpha_X^2} & \ddot{u}_{\alpha_X\alpha_Y} \\ \ddot{u}_{\alpha_Y\alpha_Z} & \ddot{u}_{\alpha_Y\alpha_X} & \ddot{u}_{\alpha_Y^2} \end{vmatrix} \quad (3.106)$$

ile verilmektedir. Dügüm noktalarının öteleme denge denklemleri $P_I = \sum_i P_{Ijüst}$ biçimini korurlar; ancak P_i dış yükünün merkezsel olması zorunlu olduğundan P_I 3 terimli bir vektördür. $P_{Iüst}$ burada (3.105) ile verilen P_{IJ} matrisinin üst yarısını gösterir. Böylece $3n$ bilinmeyenli $3n$ sayıda bir lineer denklem takımı elde edilir. Bazı düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri çevre koşullarından biliniyorsa, denklemler mesnet tepkilerinin bileşenlerini verirler.

$$[P_{IJ}] = \frac{EA}{L} \begin{vmatrix} g & -g \\ -g & g \end{vmatrix} [d_{IJ}]$$

ve $[P_{ij}] = [\alpha_{2ij}] [P_{IJ}]$ bağıntıları her çubuktaki normal kuvvetin hesaplanmasına olarak tanırlar. (ARDA, T.S. 1995)

BÖLÜM 4

TEKNOLOJİK DETAYLAR

4.1.)Çubuklar

Bir uzay kafes taşıyıcı düzen kurmak için sabit enkesitli herhangi bir çubuk seçilebilir. Bununla birlikte yapımcılar genellikle boruların kullanılmasını aşağıda sıralanan sebeplerle tercih etmektedirler :

- En kesitin her doğrultuda sahip olduğu, büyük eylemsizlik yarıçapı nedeni ile burkulmaya karşı büyük mukavemetler,
- Kapalı enkesitlerinden dolayı burulmaya, büyük mukavemetleri,
- Silindirik biçimlerinin zayıf bir süreklenme katsayısına sahip olmasından dolayı, rüzgâr kuvvetlerindeki azalma,
- Yanal yüzeylerinin küçüklüğü ve içeri giren açların olmamasından ileri gelen bakım ve boya kolaylığı,
- Çoğu zaman görünür bırakılan kafes taşıyıcının güzel görünümü.

Katlanmış ince saç kesitler , ara aşık gibi bazı tali elemanlarla örtünün çizgisel değil, yüzeysel mesnetlenmelerine olanak vermek için, üst-başlık ağı çubuklarında, eğilme mukavemetlerini de arttırıcı kutu kesitlerde kullanılabilirler. Bazı düzenler bütünü ile kutu enkesitli çubuklardan kurulabilir. Böyle bir çözümün bir üstünlüğü de, birleşimlerinin imalatında kolay düzlem kesimler ile yetinilmesidir.

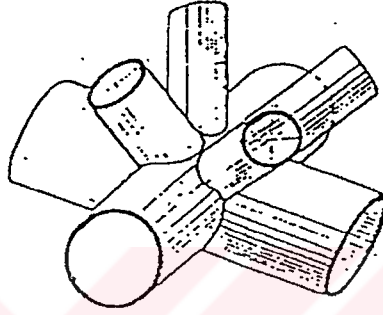
Özellikle çekmeye çalışılan çubuklarda, dolu enkesitli yuvarlak çubuklarında kullanıldığı olur. Bu kullanım , basınç çubuklarından burkulma nedeni ile zorluklar yaratır. Bu konuda, H. Castillo (Meksika) tarafından Tridilosa sistemi adı altında geliştirilen çözümden söz edilebilir. Bu sistem , bütünü ile birbirlerine kaynak ile bağlanmış yuvarlak dolu enkesitli çubuklardan bileşik iki doğrultulu bir uzay kafestir. Basınca çalışılan üst başlık ağı, çubuklara asılan hafif betondan hazır kare panoların üzerlerine yerinde dökülen bir beton plakla pekiştirilmektedir.

Taşıyıcı düzenin büyük şekil değiştirmeler yapması kabul edilebiliyorsa, çekme çubuklarının yüksek mukavemetli çelik kablolardan oluşturmakta mümkündür. Böyle bir taşıyıcı sistem genellikle, kablolardaki kuvvetlerin işaret değiştirmesini engelleyici öngerilmelerinde verilmesini sağlamak için , hipersatetik olmalıdır. Bu tür bir düzenleme ile büyük direklerin yapımında kullanılan, Occen (A.B. D.) sisteminde karşılaşılır. Occen sistemi, tepeleri öngerilmeli altı düşey kablo ile birleştirilen üst üste konulmuş sekizyüzlülerden bileşiktir.

4.2.)Düğüm Noktaları

Bir uzay kafes taşıyıcının imalatında, en zor ve hassas bölüm düğüm noktalarıdır. Gerçektende bunlar, montajda kolaylık ve sistemin maliyeti üzerinde, büyük etkinliğe sahiptirler.

Şekil (4.1) , kavranması kolay kaynaklı bir düğüm noktası göstermektedir. Ancak gerek çizim ve gerekse çubukların uç kesimlerindeki büyük zorluklar nedeni ile , böyle bir düğüm noktası ender olarak kullanılır.



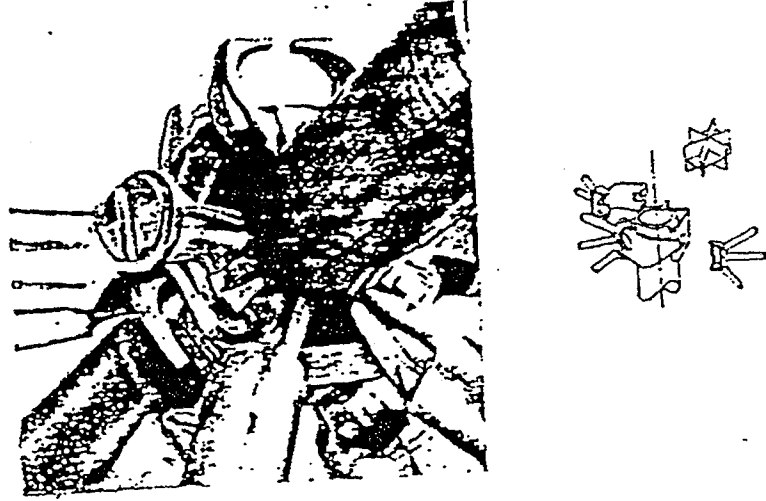
Şekil 4.1 - Boru enkesitli çubuklarının uçları özel kesimli kaynaklı düğüm noktası

İmalat zorluklarını yenebilmek amacı ile, şaşırtacak sayıda birleşim detayları geliştirilmiş ve pek çoğunun uygunluğu kabul görmüştür. Aşağıda bunlardan özellik gösteren ve yaygın olan bir kaçını açıklanacaktır.

4.2.1.) Wachsmann Sistemi (Şekil 4.2)

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

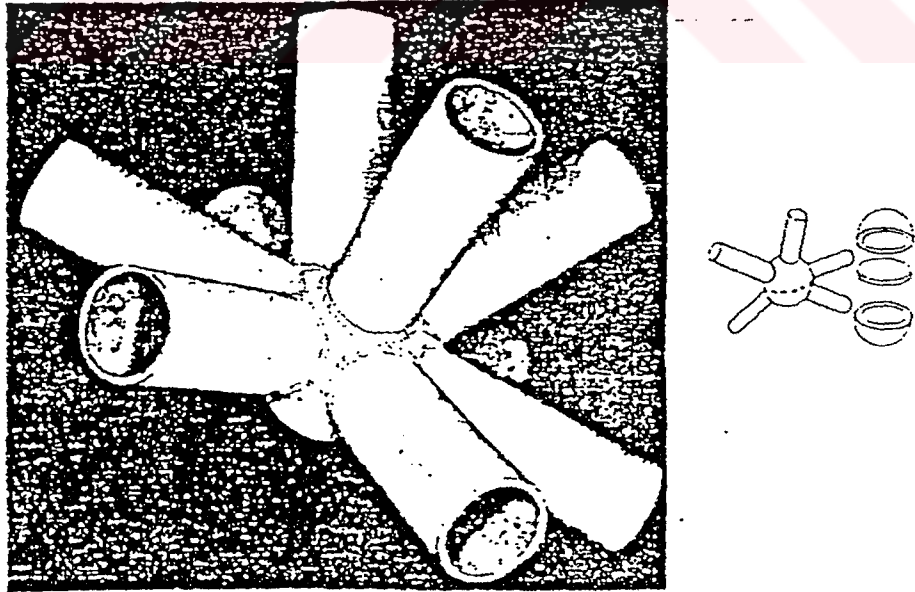
Köşegenlerin tırnaklar yardımı ile, birleşimini sağlayan çeneler, elemanların üzerine bağlanmıştır. Sistem 1946 tarihlidir ve özellikle uçak hangarlarının örtülmesinde kullanılmıştır. Günümüzde karmaşıklığı dolayısı ile çağdaş bulunmamaktadır. Bununla birlikte , düğüm noktaları gerçekten mafsallı olan tek örneği oluşturmaktadır.



Şekil 4.2 - Washmann Mafsallı Dügüm Noktası

4.2.2.) Oktaplatte Dügüm Noktası (Şekil 4.3)

Dügüm noktaları iki yarım kürenin bir ara rondela üzerine kaynaklanması ile elde edilen çelik kürelerden oluşur. Birleşimler boru kesitli çubukların bu kürelere basit olarak kaynaklanması ile gerçekleştirilebilir.



Şekil 4.3 - Oktaplatte Dügüm Noktası

Üstünlükleri :

- Basit kuruluş
- Boruların uçlarında özel kesim gerekmemesi
- Kolaylıkla gerçekleştirilen kaynaklar.
- Güzel görünüm.
- Büyük rijitlik
- Eğri yüzeylerin kurulabilmesi olanağı (Açıları değiştirerek)

Sakıncaları :

- Boruların uzunluklarını çok kesin belirlenmesi zorunluluğu
- Kaynaklar borular kadar yük taşımaması (Çekme çubuklarında)
- Montaj zorluğu
- Sökülme olanaksızlığı
- Düğüm noktalarının kuruluş özelliğinin çok büyük açıklıkların aşılmasına engel olması

4.2.3.) S .D. C. Düğüm Noktası (Şekil 4.4)

Düğüm noktaları , eşdüzlemli ve bir noktada kesişen altı boru enkesitli çubuğun birleşimine olanak veren, hafifçe bombeli iki yarım kabuktan meydana gelir. İki yarım kabuk kaynak yardımı ile 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.

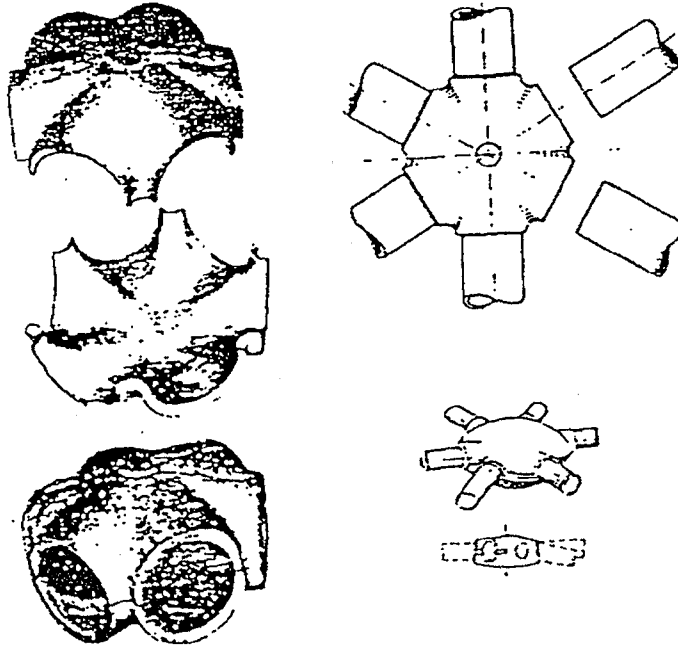
Üstünlükler:

- Çubuk boylarının ayarlanabilme kolaylığı
- Çubukların düğümlerde oynatılabilirliğinden dolayı küçük açı değişimleri olanağı : eğri yüzeylerin kurulabilmesine imkan verir,
- Yapılması kolay kaynak işlemleri,
- Düzgün, küçük, güzel görünümlü düğümler,
- Büyük rijitlik.

Sakıncaları :

- Yalnız üç doğrultulu düzenlemelere uygunluğu,
- Sökülmesinin imkansız oluşu.

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



Şekil 4.4 - S. D. C. Düğüm Noktası

4.2.4.) Triodetic Düğüm Noktası (Şekil 4.5)

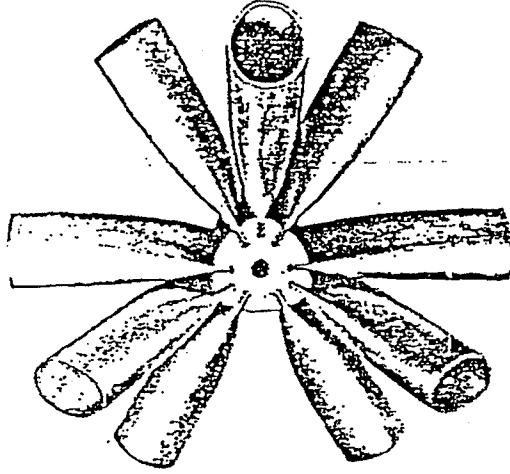
Boru enkesitli çubukların birleşimi , değişik sayıda dişli radyal yarıkları olan çelik yada aliminyum diskler yardımı ile gerçekleşir. Boruların uçları tek bir işlemle ve 0.2 mm mertebesinde hassaslıkla uygun açıda kesilir ve soğukta yassılaştırılır. Montaj sırasında çubukların uçları, disklerdeki yarıklara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

Üstünlükleri :

- Bulon ve kaynak gerektirmeyen basit birleşimler,
- Boruların mukavemetinin, 9/10 una erişen yüksek mukavemetli düğüm noktaları,
- Ön yapım olanağı ,
- Sökme olanağı.

Sakıncaları :

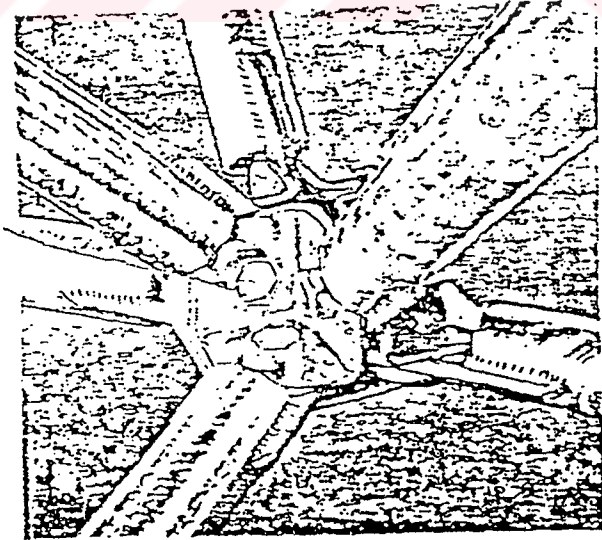
- Montaj sırasında ayarlama imkansızlığı ve sonuç olarak büyük hassaslık zorunluluğu
- Triodetic düğüm noktalı düzenler ,büyük yüzeylerin aliminyum yada çelikle aşılmasında kullanılmıştır.



Şekil 4.5 - Triodetic Düğüm Noktası

4.2.5.) Varitec Düğüm Noktası (Şekil 4.6)

Düğüm noktaları bir birleşim plağı ve birbirine dik üç yüzü bulunan parçalardan oluşmuştur. Dört köşeli böyle bir düğüm noktası sekiz çubuğun birleştirilmesini sağlar. Birleşimler bulonlar ile yapılır. Üst başlık ağının çubukları bazı kereler kutu kesitli , yada örtüyü taşımaya uygun profillidirler. Bir düğüm noktası genellikle iki doğrultulu taşıyıcılarda kullanılır ; ancak üç doğrultuluara da kolaylık ile uygulanması mümkündür.



Şekil 4.6 - Varitec Düğüm Noktası

Üstünlükleri :

- Çok basit kuruluş,
- Ekonomik imalat,
- Montaj ve sökme kolaylığı,
- İleri ölçüde ön yapım olanağı,
- Köşegenlerin bağlantı eksenleri çevresinde açısal değişim olanağı.

Sakıncaları :

- Hiçbir boy ayarlama olanağı olmayışı,
- Birleşimlerin mukavemetinin bulonlara bağlı olması,

4.2.6.) Unistrut Düğüm Noktası Sistemi (Şekil 4.7)

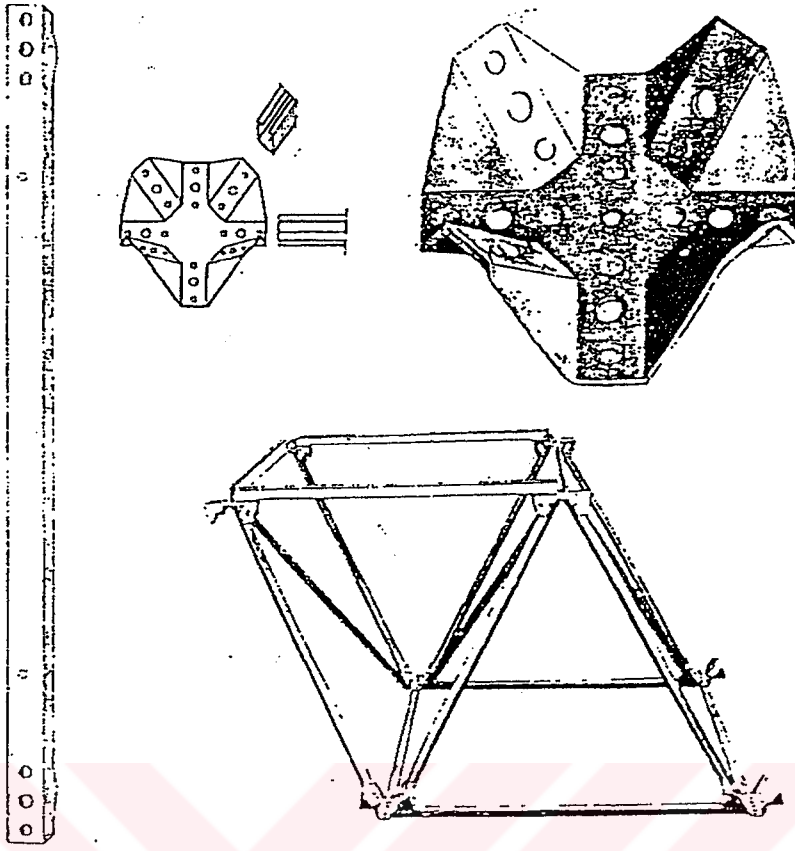
Önceden görülen kafes taşıyıcıların tersine, burada çubuklar soğukta işlenmiş sacdan oluşturulur. Düğüm noktasındaki birleşim preste şekillendirilmiş 6 mm kalınlığındaki yumşak çelikten olur. Levhannın katlanmış yüzlerinin sekizinde birer delik ve tutunmayı sağlayan ikişer tırnak bulunur. Bütün çubukların enkesitleri aynı değerdedir ; bu düzenin adını açıklar. Her çubuğun ucu yüksek mukavemetli tek bir bulon ile birleştirilir. Birleşimin pekiştirilmesi, bir düğüm noktasındaki aynı doğrultulu iki çubuğu birbirine bağlayan maşalar ile mümkündür.

Üstünlükleri :

- Montaj ve sökme kolaylığı,
- Taşıyıcı düzende hazır modüller kullanma olanağı,
- Montajın bitmesinden sonra da takviye imkanı.

Sakıncaları .

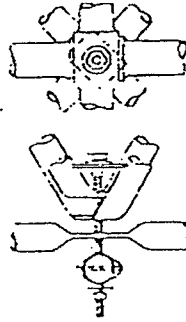
- Düğüm noktalarının zayıf mukavemeti,
- Çubuk boylarının ayarlanamaması,
- Pek iyi olmayan görünüş,
- Yalnız çift doğrultulu taşıyıcılara uyması .



Şekil 4.7 - Unistrut Düğüm Noktası (Kuruluşu ve çubuğu)

4.2.7.) Gero Düğüm Noktası (Şekil 4.8)

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



Şekil 4.8 - Gero Düğüm Noktası

Üstünlükleri :

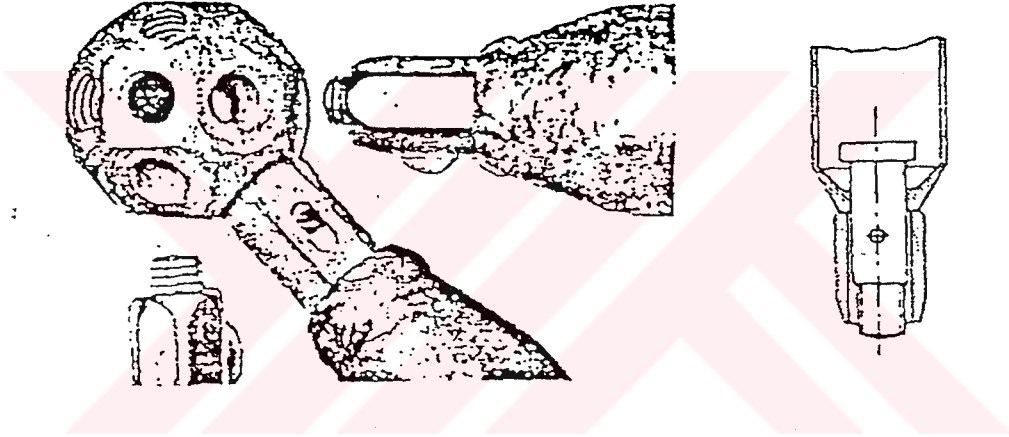
- Düğüm noktalarında hiçbir özel parça olmaması,
- Sökme kolaylığı.

Sakıncalar :

- Çubukların biçimlendirilmesindeki zorluk ; montaj zorlukları
- Birleşimlerin zayıf mukavemeti,
- Çubuk eksenlerindeki dışmerkezlilikler.

4.2.8.) Mero Düğüm Noktası (M. Meninghausen, Almanya) (Şekil 4.9)

Düğüm noktaları, eksenleri birbirine dik üç doğrultuda ve bunların uzay açıortaylarında olan diş açılmış 18 deliğe sahip masif kürelerden oluşur. Boru enkesitli çubukların uçlarında hareketli bir bulon ve bunun üzerine bağlı bir somun-mañşon bulunur. Mañşon döndürülerek bulonun ucu düğüm noktasındaki küreye giriş uzunluğu kadar dışarı çıkartılır. Sonra mañşon ve bulon birlikte döndürülerek düğüm noktasına vidalanırlar. İşlem mañşonun borunun ucuna sıkıştırılması ile son bulur.



Şekil 4.9 - Mero Düğüm Noktası

Üstünlükleri :

- Tam prefabrikasyon ve çok kolay montaj,
- Sökme kolaylığı,
- Küçük ve düzgün düğümler ; güzel görünüm,
- Tek bir düğüm tipi ile yüksek sayıda değişik birleşimler yapma olanağı,

Sakıncaları :

- Birleşimlerin zayıf mukavemeti,
- Parçaların çok işlem görmelerinden kaynaklanan pahalı maliyetleri.

Mero sistemi 30 m 'yi aşmayan açıklıklarda uygun sonuçlar vermiştir.

4.2.9.) Nodus Dügüm Noktası (Şekil 4.10)

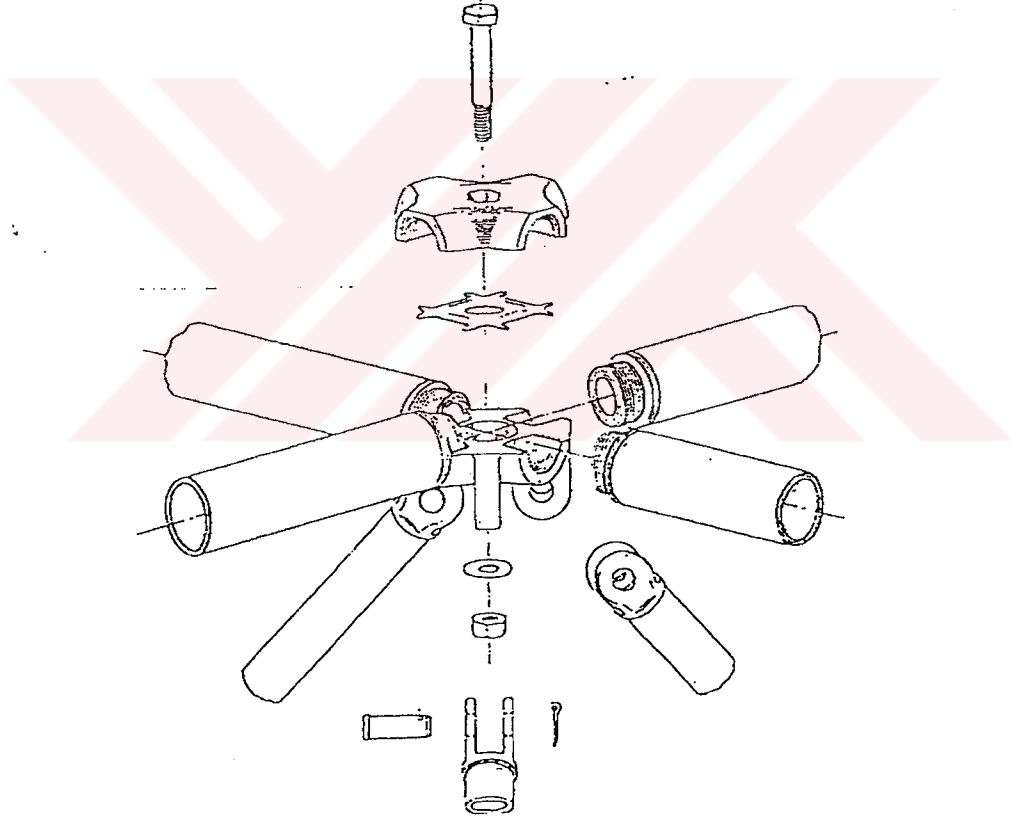
Dügüm noktaları dökme çelikten olup, çubuklar boru yada kutu enkesitlidir. Çubuk uçları düğüm noktalarına, kendilerine kaynaklanan özel parçalar ile bağlanmaktadır. İki doğrultulu ağ çubukları bulunan , kare tabanlı piramitlerden oluşan düzenlemeler için uygundur.

Üstünlükleri :

- Kolay montaj , tam prefabrikasyon,
- Sökme kolaylığı,
- Örgü çubukları açılarını ayarlanabilmesi olanağı,
- Güzel görünüm.

Sakıncaları :

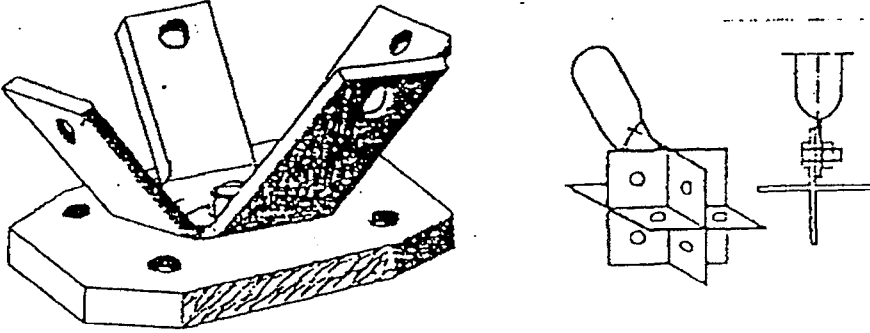
- Çubuk boylarının ayarlanamaması,
- Uzun atölye kaynağı işlemleri gerektirmesi.



Şekil 4.10 - Nodus Dügüm Noktası

4.2.10.) Bulonla Gerçekleştirilebilecek Bazı Basit Düğüm Noktası Örnekleri

İki , üç ve dört doğrultulu ağ dokuları için çubukların bulonlarla bağlanabilecekleri , oldukça basit düğüm noktaları üretmek mümkündür. Şekil 4.11 ' de iki doğrultulu uzay taşıyıcılar için tasarlanmış böyle basit iki düğüm noktası örneği görülmektedir. Aynı örnekleri üç ve dört doğrultulu ağ dokularına uyarlanabilmesi de mümkündür.



Şekil 4.11 - Bulonla Gerçekleştirilebilen Basit Düğüm Noktası Örnekleri

4.3.) Hazır Birleşik Elemanlar.

Montaj sürecini kısaltmak için bir çok çubuğun atölyede önceden birleştirilmesi ile ortaya çıkan bileşik elemanlar geliştirilmiştir. Bu şekilde şantiyede birleştirilmesi gereken düğüm noktalarının sayısı azaltılmış olur. Hazır bileşik elemanların : basitlik , hafiflik , istiflenebilme ve nakliyesi kolay olma özelliklerini sağlamaları gerekir.

Ortaya çıkarılan hazır elemanların : piramitler , düzlem kafes kiriş parçaları, uzay kafes kiriş parçaları şeklinde gruplara ayırmak mümkündür.

4.3.1.) Piramit Biçimli Hazır Elemanlar

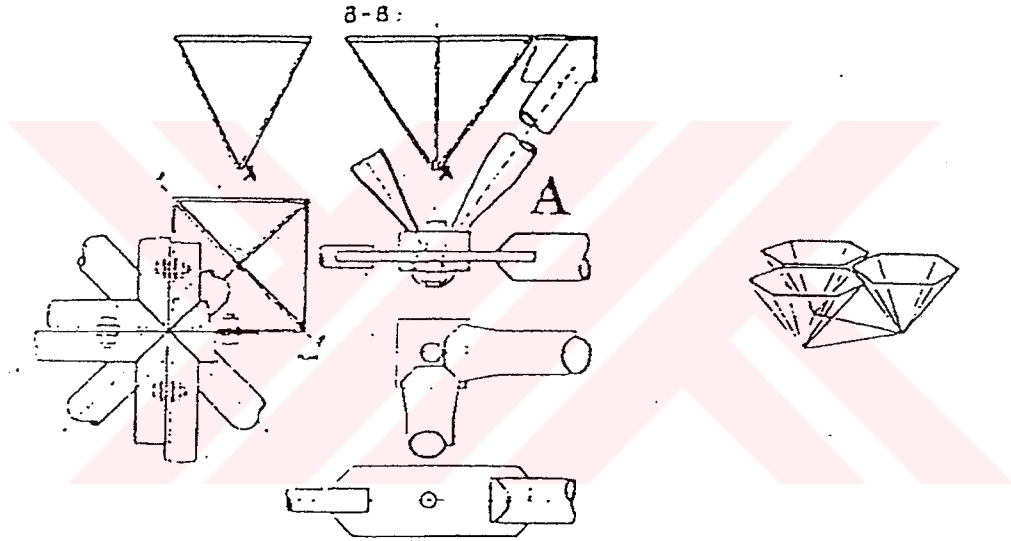
Hazır elemanı üçgen , kare yada atlıgen tabanlı piramit olan bu grupta birbirlerinden az çok fark eden , bir kaç sistemden söz edilebilir.

4.3.1.1.) Pyramitec Sistemi (Şekil 4.12)

Hazır elemanlar , iki doğrultulu taşıyıcılar için kare tabanlı , üç doğrultulu taşıyıcılar için üçgen yada altıgen tabanlı piramitlerdir. Piramitin tabanını oluşturan çerçeve

kaynaklanmış, tek köşebentten , tabanı tepeye birleştiren örgü çubukları , borulardan oluşur. Piramidin tepesinde küçük bir yatay levha bulunur.

Elemanlar şantiyede taban çerçeveler üst başlığında , yan yana yerine konulduktan sonra, tabanı oluşturan köşübentlerin , düşeydeki kollarının bulonlanması ile birleştirilirler. Alt başlık ağı, tersine konmuş piramitlerin tepelerine bağlanmayı sağlayacak şekilde, delinmiş levhalara her modül uzunluğunda kaynaklanmış büyük uzunlukta borular yada dolu dairesel kesitli çubuklardan teşkil edilir. Birleşimde kullanılan bulon yüksek mukavemetlidir.



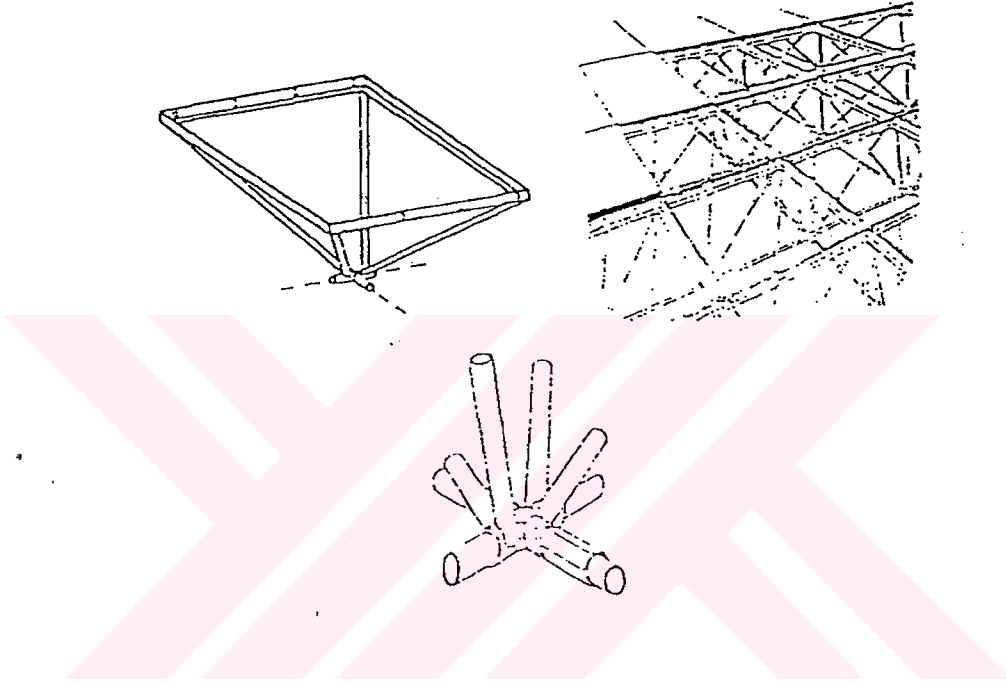
Şekil 4.12 - Pyramitec Sistemi

Alt çubukların kendi aralarındaki bağıntısı, manşon türü aksenal ayarlama vidaları ile yapılabilir ki , buda sisteme ters sehim yada eğrilik verme olanağını sağlar.

B1 , B3 ve H1 türü taşıyıcı düzenler, pramitec sistemi ile kolayca kurulabilir. Sistemin üstünlükleri : ileri ölçüde ön yapım olanağı ; stoklama ve nakliyesi sırasında malzemenin üst üste kolayca istiflenebilmesi ; montaj ve sökme kolaylığı ; üst başlık ağını oluşturan taban çerçevelerine takılan hazır panolar yardımı ile döşeme elde etme imkanı şeklinde sayılabilir.

4.3.1.2.) Space - Deck Sistemi

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 durumdaki kolları bulonlanarak birleştirilen ve üst başlık ağını oluşturan köşebentlerden bileşiktir. Piramitlerin tepe noktalarına, uçlarına içten ters dış açılmış haçvari konumlu borular bağlıdır.

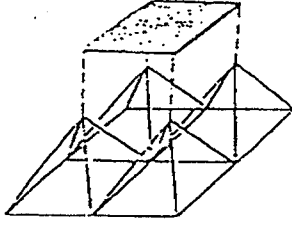


Şekil 4. 13 Space - Deck Sistemi

Ters konumlanmış piramitlerin tepe noktaları , uçları yuvarlak dolu enkesitli bir çubuğa kaynaklanmış borularla, yada doğrudan doğruya yüksek mukavemetli yuvarlak dolu enkesitli çubuklar ile 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.

4.3.1.3.) Space - Grid Sistemi

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 4.14 - Space- Grid Sistemi

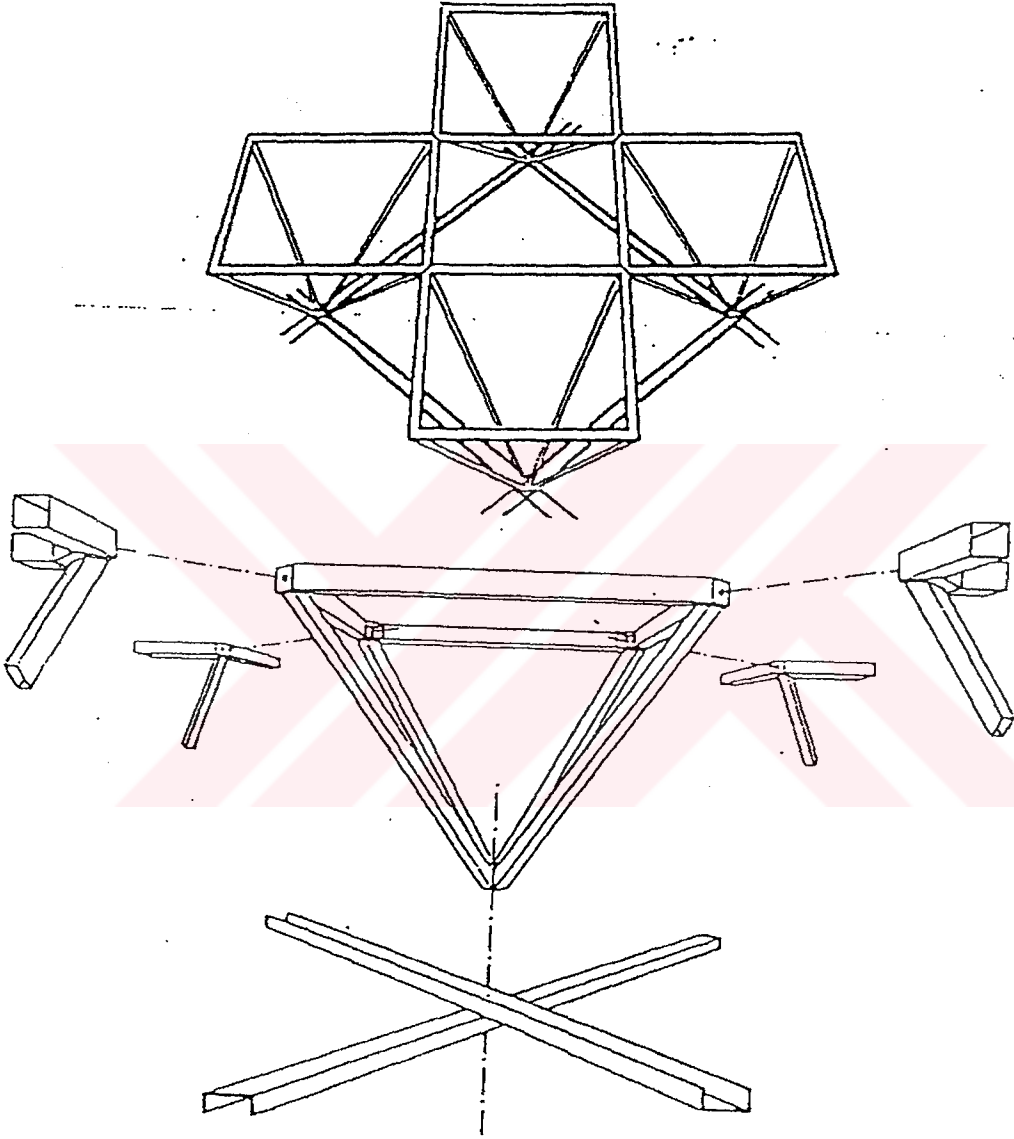
4.3.1.4.) Unibat Sistemi

Bu sistem de 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° lik açı yapan ve şantiyede monte edilen sürekli çubuklarla bağlanır. Hazır piramitler kutu kesitli çubuklardan yapılırlar. Şantiyede tepe noktasının birleşiminde kullanılan sürekli çubuklar ise U profilindedir.

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

4.3.1.5.) Maymont Sistemi

Son olarak, hazır piramit sistemlerle büyük bir benzeşim 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 bükme 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 kaldırılır. Bu tür bir düzenleme ve yalnız 1 metrelik bir konstrüksiyon yüksekliği ile 50 ye 50 m² lik alanların örtülmesi gerçekleştirilmiştir.

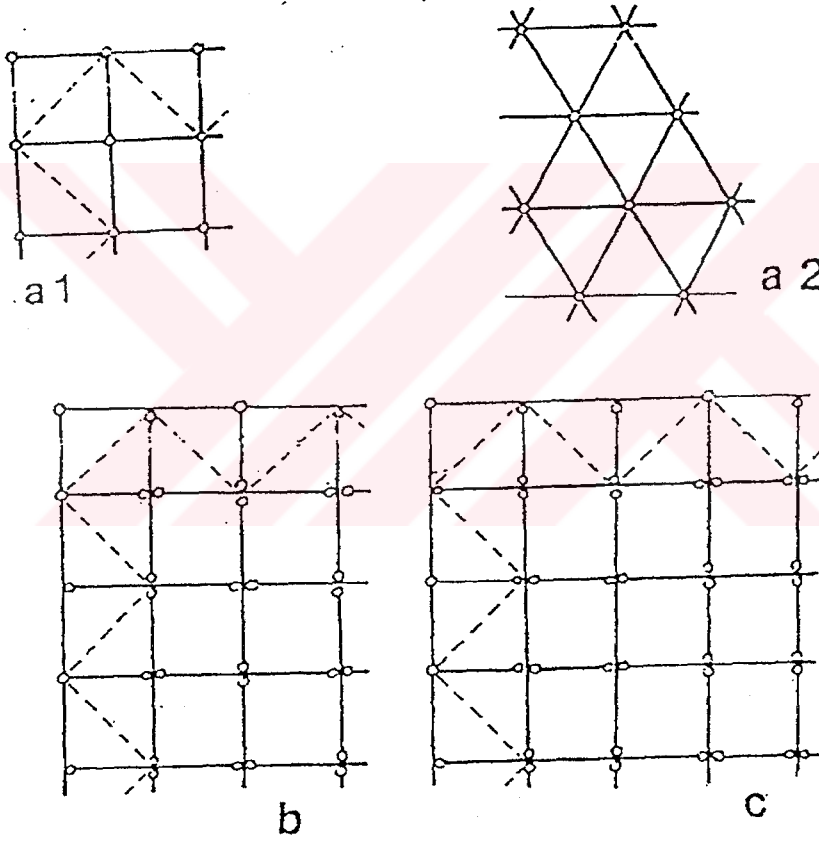


Şekil 4.15 - Unibat Sistemi

4.3.2.) Hazır Düzlem Kafes Elemanlı Sistemler

Hazır elemanları düzlem kafes kiriş parçaları olan sistemler daha çok iki yada üç doğrultulu kafes ızgaralardır ve bu elemanları , şantiyede birbirlerine bağlanması ile kurulurlar .Söz konusu düzlem kafes hazır elemanlar tek modüllü olarak kafes ızgaranın iki düğüm noktası arasında kalacak şekilde planlanabileceği gibi , iki modüllü ve üç modüllü olarak tasarlanabilirler. (Şekil 4.16) İki doğrultulu ızgaralarda rijitliğin sağlanması için genellikle üst başlık çubuklar ağına sonradan ,şekilde kesikli çizgilerle gösterilen köşegenlerde eklenebilir. Düzlem kafes hazır elemanlarından , sözü edilen ızgaralar dışında taşıyıcılar düzenlenebilmesi de mümkündür.

Yukarıda söz konusu olan düzlem kafes hazır elemanlara örnek olarak aşağıda bazı sistemlere ilişkin detaylar verilecek , bazı sistemler ise kısaca açıklanacaktır.

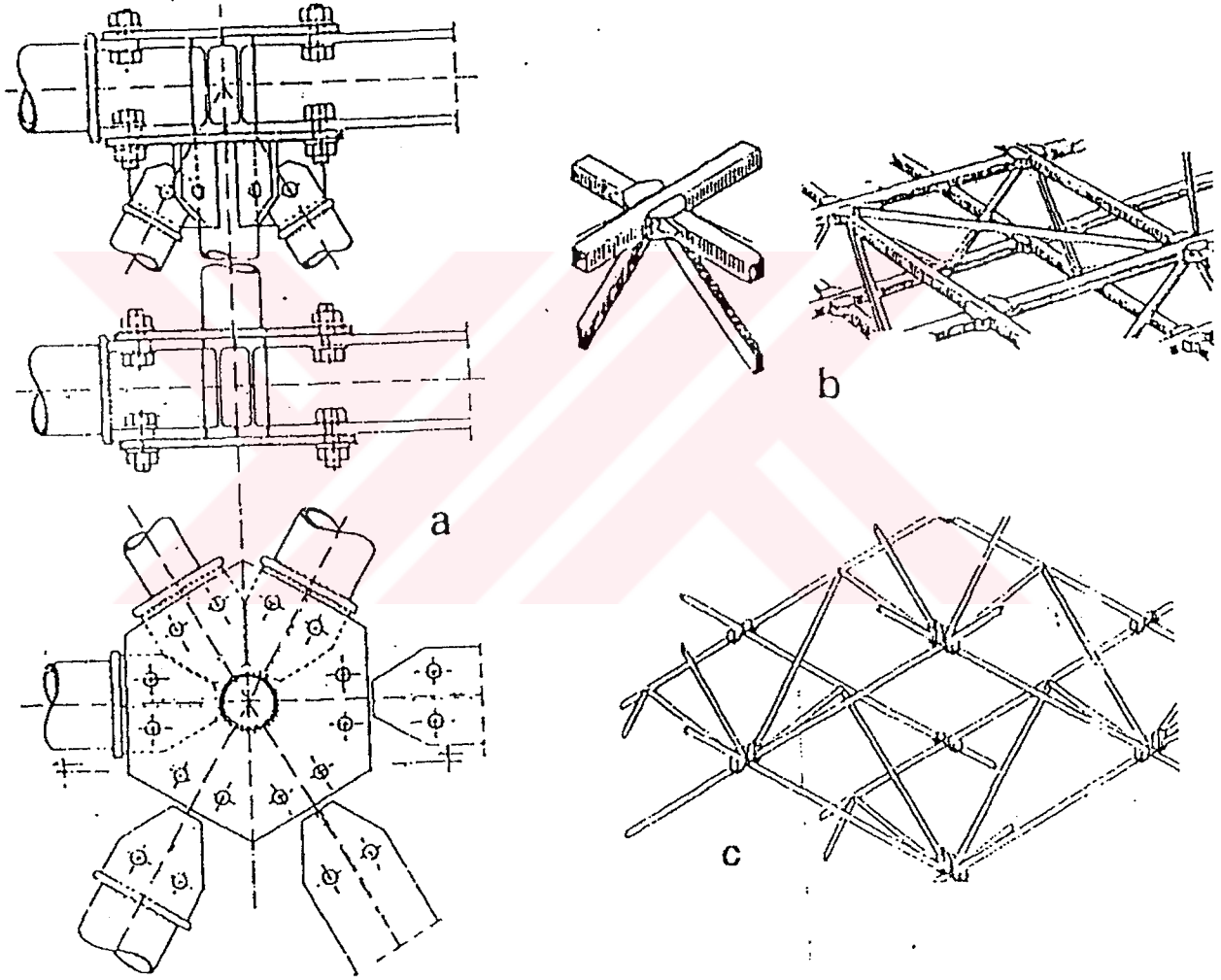


Şekil 4.16 - Kafes Izgara Sistemler

- 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

4.3.2.1.) Düzlem Kafes Hazır Elemanlı Izgara Sistemler Detayları

Bu tür ızgara sistemler, ulşatırma, montaj ve sökme kolaylıklarına karşılık, hassas ölçülendirme zorunluluğu ve ızgara kirişlerinin yanal ve burulma rijitliklerinin olmayışı gibi sakıncaları da ortak olarak gösterirler. İzleyen şekillerde örnek olarak, üç doğrultulu tek modül ile Tridimatec sistemi düğüm noktası detayı (Şekil 4.17 a), iki doğrultulu iki modüllü Cash sistemi (Şekil 4.17 b) ve Tesep sistemi (Şekil 4.17 c) verilmektedir.



Şekil 4.17 - a) Üç doğrultulu tek modüllü Tridimatec sistemi
 b) İki doğrultulu iki modüllü Cash sistemi
 c) İki doğrultulu iki modüllü Tesep sistemi

4.3.2.2.) Tubaccord Sistemi

Hazır elemanları yine düzlem kafes kiriş 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 kirişler görünümünde iken, diğer büyük bir bölümü ise yalnız bir başlığı ve buna bağlı örgü çubukları bulunan düzlem eleman biçimindedir.

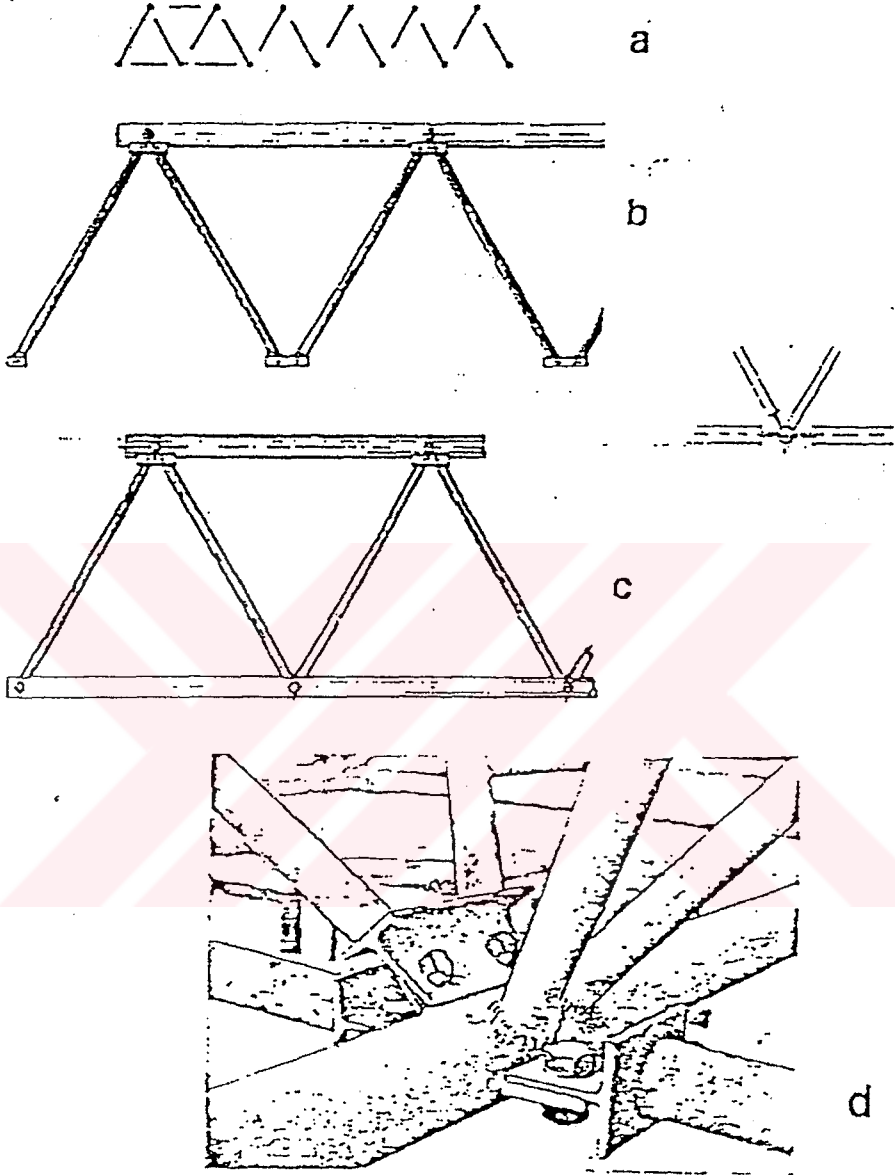
Montajda iki başlıklı eleman yapının bir kenarına eğik olarak yerleştirildikten sonra, tek başlıklı elemanlar bu birinci elemana sırayla bağlanırlar. İşlem yapının bir kenarından diğer kenarına kadar , tek başlıklı elemanların bir akerdeonu andıran şekilde dizilmesiyle sürer. (Şekil 4.18) Sistem adını bu yerleştirilişten almaktadırlar. Bu şekilde bir katlanmış plak görünümünde olan ana elemanlara, sonradan üçüncü boyuttaki çubukların eklenmesi ile 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 enkesitlidirler.

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

4.3.3.) Hazır Pirizmatik Kafes Elemanlı Sistemler

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

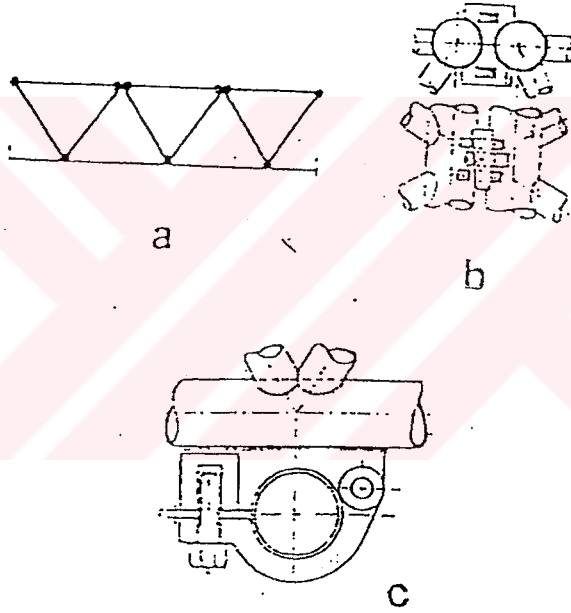


Şekil 4.18 - Tubaccord Sistemi

- a) Kuruluş düzeni
- b) Tek başlıklı eleman
- c) Çift başlıklı eleman
- d) Düğüm noktasında elemanların birleşimi

4.3.3.1.) Dziejowski Sistemi

Uzunlukları ulaşım olanakları ile sınırlı üçgen prizma kafes sandıklar atölyede hazırlanır. Aynı bir kirişin çeşitli parçaları şantiyede 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 yada bazen karesel kutu enkesitli seçilirler. Birbirine paralel olarak yan yana uzanan üst başlık çubuklarının birleşimi, ya kamalar yardımı ile (Şekil 4.19 b) , yada çubuklara kaynaklanmış düşey levhaların bulunlanması ile gerçekleştirilir. Hazır üçgen prizma elemanların alt başlık çubuklarına, üçüncü doğrultuda uzanan çubuklar için bağlantı bilezikleri kaynaklanır. Söz konusu bağ çubukları bu bilezikleri vida yada kamalarla sıkıştırılırlar. (Şekil 4.19 c) Genelde sistemin birleşim parçaları oldukça karmaşık ve pahalıdır.

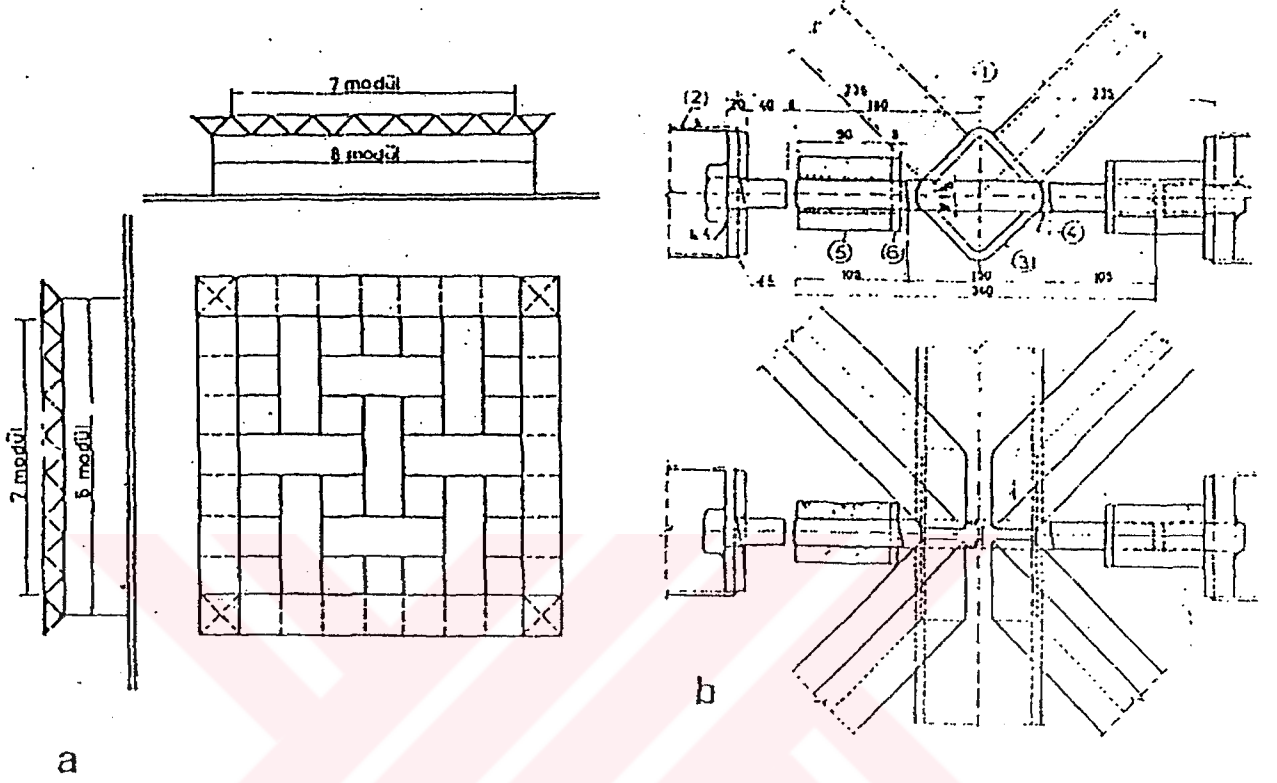


Şekil 4.19 - Dziejowski Sisteminde Kuruluş ve Birleşimler.

4.3.3.2.) Daniel Sistemi (Şekil 1.20 a)

Üç değişik modüllü üçgen prizma kirişler atkı 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.

(Şekil 1.20 b) (ARDA, T. S , 1995)



Şekil 4.20 - Daniel Sisteminde Kuruluş ve Birleşimler

PROGRAMIN AMACI VE DATA GİRİŞİ

5.1.) Programın Amacı:

Hazırlanan bilgisayar programının amacı, uzay kafes sistemlerin , düzlem kafes sistemlerin ve özellikle mero sistem olarak isimlendirilen bir tür uzay kafes sistemin çözümünün doğru ve en efektif şekilde yapılmasıdır.

Bu program yukarıda da belirtildiği gibi mero sistemlerin dadasının hazırlanmasını özellikle çok hızlandırmış ve kolaylaştırmıştır. Bu sistemdeki çubuk boyları birbirne eşit olarak dizayn edilmektedir. Bu programda mero sistemlerin düğüm noktaları ve çubukları kendiliğinden program tarafından üretilmektedir. Bu sayede, önemli mertebede zaman tasarrufu sağlanmıştır. Kullanıcıya kazandırılan bu zaman da programın hedefidir.

5.2.) Data Girişi :

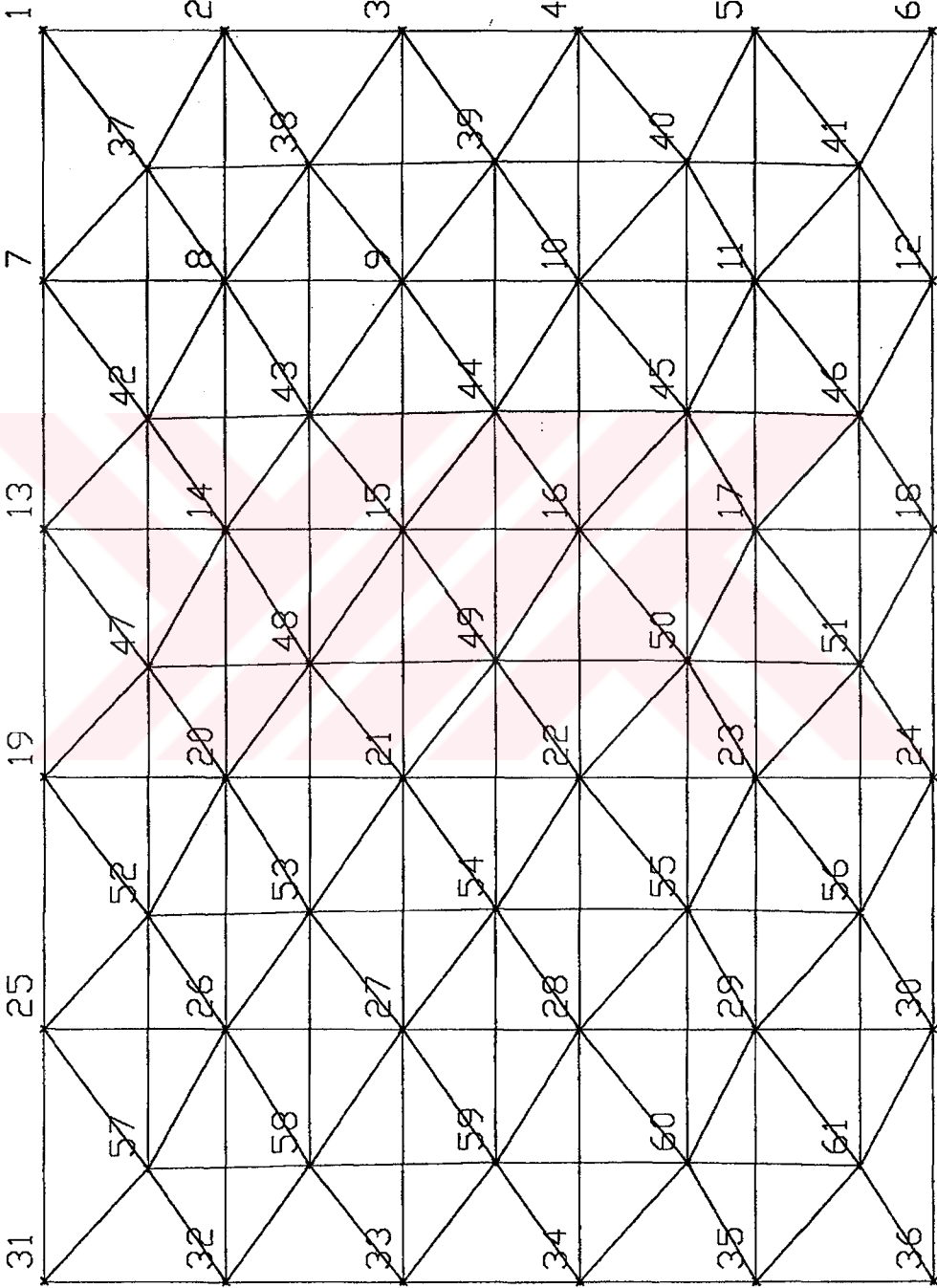
Programa data girişi daha önceden hazırlanan bir data dosyası sayesinde olmaktadır. Bu data dosyasının içeriği ve ana hatları için aşağıdaki akış düzenine uyulması gerekmektedir:

- 1) JJ , JJJ (Kafes no, Tip no (mero=1, düzlem kafes=2, Uzay kafes=3))
- 2) N, M (x yönündeki aralık sayısı , y yönündeki aralık sayısı)
- 3) A , H (Çubuk boyu , kafes yüksekliği)
- 4) AO, AU, AD (Üst düzlem çubuk kesit alanı , alt d. ç. k. a., diyagonal d.ç.k. a.)
- 5) IRS (Mesnetlenen düğüm noktası sayısı)
- 6) NDU, NRX, NRY, NRZ (Mesnetlenen düğüm nosu, x,y,z yönlerindeki engellemeler (varsa = 0 , yoksa = 1 alınacaktır.))
- 7) TR, ALPHA, E (Isı artımı katsayısı, ısı genleşme k. , elastisite modülü)
- 8) KK, LN (Yükleme nosu, yüklü düğüm noktası sayısı)
- 9) JN, XF, YF, ZF (Yüklü düğüm noktası nosu, x,y,z doğrultusundaki kuvvetler (aşağı yönde ise (-) , yukarı yönde ise (+) alınacaktır.))
- 10) -1.0 (Programın durdurulması için yazılmalıdır.)

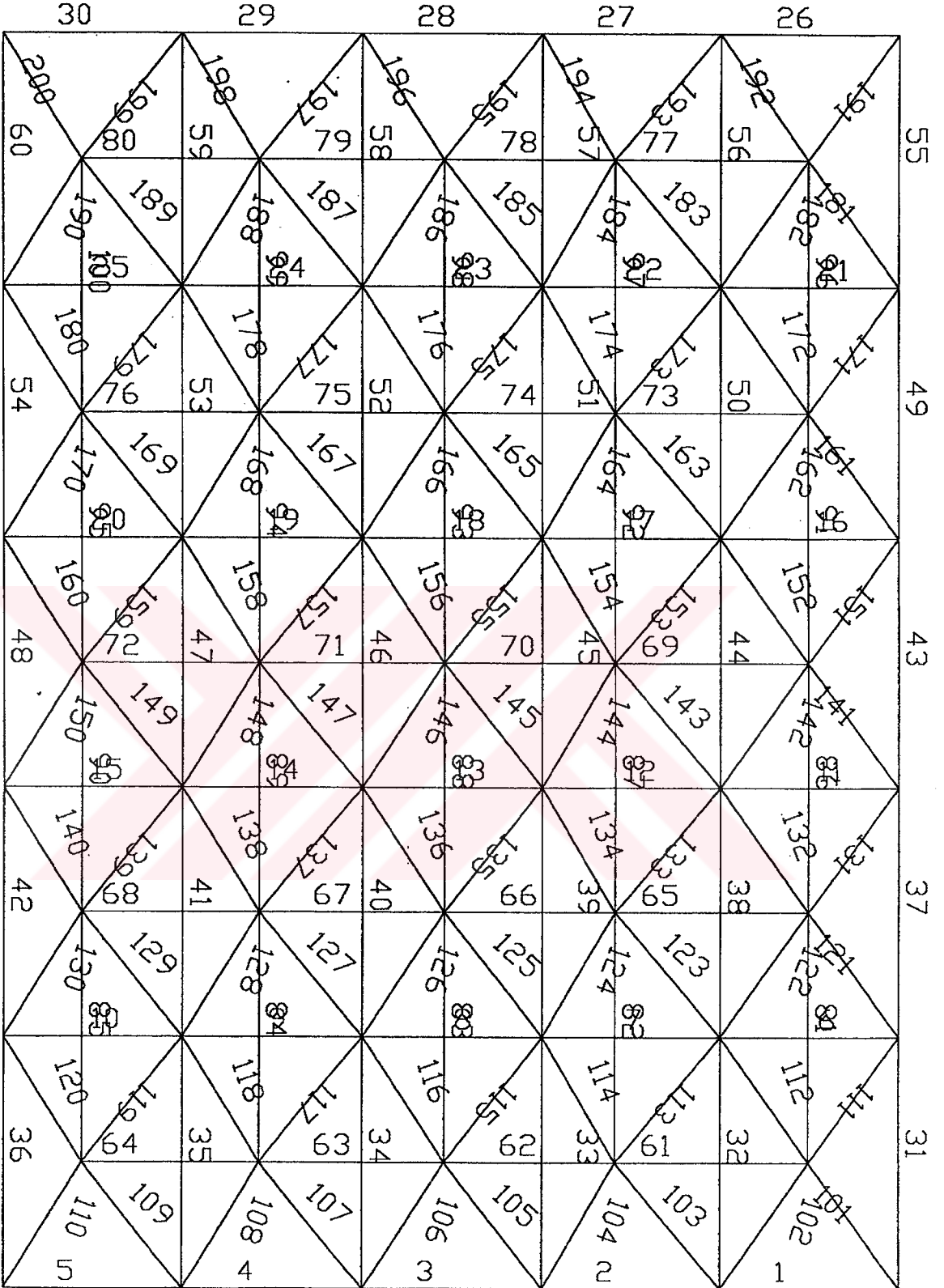
BÖLÜM 6

ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMÜ

Örnek olarak 5 x 5 lık aralıklı, yüksekliği 1.00 m olan çubuk boyları 4.00 m seçilmiş toplam 20x20 m² lik bir alanın örtülmesi için hem geliştirilen program ile hem de SAP 90 ile çözüm yapalım. Aşağıda çözümü istenen sistemin çizimi verilmiştir.



Şekil 6.1 - Düğüm Numaraları



Şekil 6.2 - Çubuk Numaraları

6.1. Geliştirilen Sistemin Data Girişleri:

1,1
5,5
4.,1.
.0024,.0024,.0024
16
37,0,0,0,
38,0,0,0,
39,0,0,0
40,0,0,0,
41,0,0,0,
42,0,0,0,
46,0,0,0,
47,0,0,0,
51,0,0,0,
52,0,0,0,
56,0,0,0,
57,0,0,0,
61,0,0,0,
58,0,0,0,
59,0,0,0,
60,0,0,0
0.,0.,0.
1,36
8,0.,0.,1.33,
9,0.,0.,1.33,
10,0.,0.,1.33,
11,0.,0.,1.33,
14,0.,0.,1.33,
15,0.,0.,1.33,
16,0.,0.,1.33,
17,0.,0.,1.33,
20,0.,0.,1.33,
21,0.,0.,1.33,
22,0.,0.,1.33,
23,0.,0.,1.33,
26,0.,0.,1.33,
27,0.,0.,1.33,
28,0.,0.,1.33,
29,0.,0.,1.33,
1,0.,0.,1.33,
2,0.,0.,1.33,
3,0.,0.,1.33,
4,0.,0.,1.33,
5,0.,0.,1.33,
6,0.,0.,1.33,
7,0.,0.,1.33,

13,0.,0.,1.33,
 19,0.,0.,1.33,
 25,0.,0.,1.33,
 12,0.,0.,1.33,
 18,0.,0.,1.33,
 24,0.,0.,1.33,
 30,0.,0.,1.33,
 31,0.,0.,1.33,
 32,0.,0.,1.33,
 33,0.,0.,1.33,
 34,0.,0.,1.33,
 35,0.,0.,1.33,
 36,0.,0.,1.33
 -1,0

6.2) Geliştirilen Programdan Elde Edilen Sonuçlar

JJ= 1 JJJ= 1
 N= 5 M= 5 A= 4.00 H= 1.00
 AO= .0024 AU= .0024 AD= .0024 IRS= 16
 x. doğrultusundaki aralık sayısı N= 5 y. doğrultusundaki aralık sayısı M= 5
 x. doğrultusundaki açıklık Lx= 20.00 y. doğrultusundaki açıklık Ly= 20.00

Çubuk boyu A= 4.00 Kafes yüksekliği H= 1.00
 JCT= 61 NM= 200
 KK= 1 LN= 36
 KK= -1 LN= 0
 KAFESİN LİNEER ELASTİK ANALİZİ NO : 1

ISI GENLEŞME KATSAYISI = 0.00001100

ISI ARTIMI = .00

DÜĞÜM DEFORMASYONLARI

1 NOLU YÜK SETİNDEN OLUŞAN DEFORMASYONLAR

DUG	X-DEFORM	Y-DEFORM.	Z-DEFORM.
1	-0.0003196	0.0003196	0.0019908
2	-0.0001085	0.0001989	0.0007541
3	-0.0000259	0.0000117	0.0003797
4	0.0000259	0.0000117	0.0003797
5	0.0001085	0.0001989	0.0007541
6	0.0003196	0.0003196	0.0019908
7	-0.0001989	0.0001085	0.0007541
8	0.0000122	-0.0000122	0.0003736
9	0.0000206	-0.0001994	0.0008433

10	-0.0000206	-0.0001994	0.0008433
11	-0.0000122	-0.0000122	0.0003736
12	0.0001989	0.0001085	0.0007541
13	-0.0000117	0.0000259	0.0003797
14	0.0001994	-0.0000206	0.0008433
15	0.0000948	-0.0000948	0.0022135
16	-0.0000948	-0.0000948	0.0022135
17	-0.0001994	-0.0000206	0.0008433
18	0.0000117	0.0000259	0.0003797
19	-0.0000117	-0.0000259	0.0003797
20	0.0001994	0.0000206	0.0008433
21	0.0000948	0.0000948	0.0022135
22	-0.0000948	0.0000948	0.0022135
23	-0.0001994	0.0000206	0.0008433
24	0.0000117	-0.0000259	0.0003797
25	-0.0001989	-0.0001085	0.0007541
26	0.0000122	0.0000122	0.0003736
27	0.0000206	0.0001994	0.0008433
28	-0.0000206	0.0001994	0.0008433
29	-0.0000122	0.0000122	0.0003736
30	0.0001989	-0.0001085	0.0007541
31	-0.0003196	-0.0003196	0.0019908
32	-0.0001085	-0.0001989	0.0007541
33	-0.0000259	-0.0000117	0.0003797
34	0.0000259	-0.0000117	0.0003797
35	0.0001085	-0.0001989	0.0007541
36	0.0003196	-0.0003196	0.0019908
37	0	0	0
38	0	0	0
39	0	0	0
40	0	0	0
41	0	0	0
42	0	0	0
43	-0.0000957	0.0000957	0.0011647
44	0	0.0001261	0.0017484
45	0.0000957	0.0000957	0.0011647
46	0	0	0
47	0	0	0
48	-0.0001261	0	0.0017484
49	0	0	0.0025927
50	0.0001261	0	0.0017484
51	0	0	0
52	0	0	0
53	-0.0000957	-0.0000957	0.0011647
54	0	-0.0001261	0.0017484
55	0.0000957	-0.0000957	0.0011647
56	0	0	0
57	0	0	0
58	0	0	0

59	0	0	0
60	0	0	0
61	0	0	0

CUBUKLARDA EKSENEL KUVVET

1 NOLU YUK SETINDEN OLUSAN GERILMELER

ELEMAN	KUVVET	GERILME
1	2.66000	1108.333
2	1.04017	433.404
3	0.65313	272.137
4	1.04017	433.404
5	2.66000	1108.333
6	2.66000	1108.333
7	0.10545	43.936
8	-0.51797	-215.819
9	0.10545	43.936
10	2.66000	1108.333
11	2.66000	1108.333
12	-1.31810	-549.208
13	-2.38870	-995.29
14	-1.31810	-549.21
15	2.66000	1108.333
16	2.66000	1108.333
17	-1.31810	-549.208
18	-2.38870	-995.29
19	-1.31810	-549.209
20	2.66000	1108.333
21	2.66000	1108.333
22	0.10545	43.936
23	-0.51797	-215.82
24	0.10545	43.936
25	2.66000	1108.333
26	2.66000	1108.333
27	1.04017	433.404
28	0.65313	272.137
29	1.04017	433.404
30	2.66000	1108.333
31	2.66000	1108.333
32	2.66000	1108.333
33	2.66000	1108.333
34	2.66000	1108.333
35	2.66000	1108.333
36	2.66000	1108.333
37	1.04017	433.404
38	0.10545	43.936
39	-1.31810	-549.208
40	-1.31810	-549.209

41	0.10545	43.936
42	1.04017	433.404
43	0.65313	272.137
44	-0.51797	-215.819
45	-2.38870	-995.29
46	-2.38870	-995.29
47	-0.51797	-215.819
48	0.65313	272.137
49	1.04017	433.404
50	0.10545	43.936
51	-1.31810	-549.209
52	-1.31810	-549.21
53	0.10545	43.936
54	1.04017	433.404
55	2.66000	1108.333
56	2.66000	1108.333
57	2.66000	1108.333
58	2.66000	1108.333
59	2.66000	1108.333
60	2.66000	1108.333
61	0.00000	0
62	0.00000	0
63	0.00000	0
64	0.00000	0
65	-1.20625	-502.603
66	1.20625	502.603
67	1.20625	502.603
68	-1.20625	-502.603
69	-1.58941	-662.253
70	1.58941	662.253
71	1.58941	662.253
72	-1.58941	-662.253
73	-1.20625	-502.603
74	1.20625	502.603
75	1.20625	502.603
76	-1.20625	-502.603
77	0.00000	0
78	0.00000	0
79	0.00000	0
80	0.00000	0
81	0.00000	0
82	-1.20625	-502.603
83	-1.58941	-662.253
84	-1.20625	-502.603
85	0.00000	0
86	0.00000	0
87	1.20625	502.603
88	1.58941	662.253
89	1.20625	502.603

90	0.00000	0
91	0.00000	0
92	1.20625	502.603
93	1.58941	662.253
94	1.20625	502.603
95	0.00000	0
96	0.00000	0
97	-1.20625	-502.603
98	-1.58941	-662.253
99	-1.20625	-502.603
100	0.00000	0
101	-3.99000	-1662.499
102	-3.20987	-1337.447
103	-0.78013	-325.052
104	-2.28528	-952.199
105	-1.70472	-710.3
106	-1.70472	-710.3
107	-2.28528	-952.199
108	-0.78013	-325.053
109	-3.20987	-1337.447
110	-3.99000	-1662.5
111	-3.20987	-1337.447
112	-1.81898	-757.908
113	-2.09193	-871.639
114	-2.25908	-941.283
115	-2.71949	-1133.123
116	-2.71950	-1133.123
117	-2.25908	-941.284
118	-2.09193	-871.64
119	-1.81898	-757.908
120	-3.20987	-1337.448
121	-0.78013	-325.053
122	-2.09193	-871.639
123	2.01285	838.686
124	-0.20348	-84.784
125	1.19205	496.689
126	1.19205	496.688
127	-0.20348	-84.783
128	2.01285	838.687
129	-2.09194	-871.64
130	-0.78013	-325.053
131	-2.28528	-952.2
132	-2.25908	-941.283
133	-0.20348	-84.784
134	-1.60589	-669.121
135	-1.19205	-496.689
136	-1.19205	-496.689
137	-1.60589	-669.121
138	-0.20348	-84.783

139	-2.25908	-941.283
140	-2.28528	-952.2
141	-1.70472	-710.3
142	-2.71949	-1133.122
143	1.19205	496.689
144	-1.19205	-496.69
145	0.00000	0.001
146	0.00000	0.001
147	-1.19205	-496.689
148	1.19206	496.69
149	-2.71950	-1133.123
150	-1.70472	-710.3
151	-1.70472	-710.3
152	-2.71949	-1133.122
153	1.19205	496.689
154	-1.19205	-496.69
155	0.00000	0.001
156	0.00000	0
157	-1.19206	-496.69
158	1.19206	496.69
159	-2.71950	-1133.123
160	-1.70472	-710.3
161	-2.28528	-952.2
162	-2.25908	-941.283
163	-0.20348	-84.783
164	-1.60589	-669.12
165	-1.19205	-496.688
166	-1.19205	-496.689
167	-1.60589	-669.121
168	-0.20348	-84.782
169	-2.25908	-941.284
170	-2.28528	-952.2
171	-0.78013	-325.053
172	-2.09193	-871.639
173	2.01285	838.687
174	-0.20348	-84.783
175	1.19206	496.691
176	1.19206	496.69
177	-0.20348	-84.783
178	2.01285	838.688
179	-2.09193	-871.639
180	-0.78013	-325.052
181	-3.20987	-1337.447
182	-1.81898	-757.908
183	-2.09193	-871.639
184	-2.25908	-941.283
185	-2.71950	-1133.124
186	-2.71950	-1133.123
187	-2.25908	-941.284

188	-2.09193	-871.639
189	-1.81898	-757.908
190	-3.20987	-1337.447
191	-3.99000	-1662.5
192	-3.20987	-1337.447
193	-0.78013	-325.052
194	-2.28528	-952.2
195	-1.70472	-710.3
196	-1.70472	-710.3
197	-2.28528	-952.2
198	-0.78013	-325.052
199	-3.20987	-1337.447
200	-3.99000	-1662.5

1 NOLU KAFESIN ANALIZI TAMAMLANDI.

6.3) SAP 90 Datasının Hazırlanması.

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

SYSTEM

L=1

:

JOINTS

1	X=0	Y=20	Z=1	
6	X=20	Y=20	Z=1	G=1,6,1,1
7	X=0	Y=16	Z=1	
12	X=20	Y=16	Z=1	G=7,12,1,1
13	X=0	Y=12	Z=1	
18	X=20	Y=12	Z=1	G=13,18,1,1
19	X=0	Y=8	Z=1	
24	X=20	Y=8	Z=1	G=19,24,1,1
25	X=0	Y=4	Z=1	
30	X=20	Y=4	Z=1	G=25,30,1,1
31	X=0	Y=0	Z=1	
36	X=20	Y=0	Z=1	G=31,36,1,1
37	X=2	Y=18	Z=0	
41	X=18	Y=18	Z=0	G=37,41,1,1
42	X=2	Y=14	Z=0	
46	X=18	Y=14	Z=0	G=42,46,1,1
47	X=2	Y=10	Z=0	
51	X=18	Y=10	Z=0	G=47,51,1,1
52	X=2	Y=6	Z=0	
56	X=18	Y=6	Z=0	G=52,56,1,1
57	X=2	Y=2	Z=0	
61	X=18	Y=2	Z=0	G=57,61,1,1

RESTRAINTS

37,41,1 R=1,1,1,1,1,1

42 R=1,1,1,1,1,1
 57,61,1 R=1,1,1,1,1,1
 46 R=1,1,1,1,1,1
 47 R=1,1,1,1,1,1
 51 R=1,1,1,1,1,1
 52 R=1,1,1,1,1,1
 56 R=1,1,1,1,1,1
 1,36,1 R=0,0,0,1,1,1
 43,45,1 R=0,0,0,1,1,1
 48,50,1 R=0,0,0,1,1,1
 53,55,1 R=0,0,0,1,1,1

FRAME

NM=1

1 A=1.0 E=2100000
 1,1,2 M=1 LP=1,0
 2,2,3 LP=1,0
 3,3,4 LP=1,0
 4,4,5 LP=1,0
 5,5,6 LP=1,0
 6,7,8 LP=1,0
 7,8,9 LP=1,0
 8,9,10 LP=1,0
 9,10,11 LP=1,0
 10,11,12 LP=1,0
 11,13,14 LP=1,0
 12,14,15 LP=1,0
 13,15,16 LP=1,0
 14,16,17 LP=1,0
 15,17,18 LP=1,0
 16,19,20 LP=1,0
 17,20,21 LP=1,0
 18,21,22 LP=1,0
 19,22,23 LP=1,0
 20,23,24 LP=1,0
 21,25,26 LP=1,0
 22,26,27 LP=1,0
 23,27,28 LP=1,0
 24,28,29 LP=1,0
 25,29,30 LP=1,0
 26,31,32 LP=1,0
 27,32,33 LP=1,0
 28,33,34 LP=1,0
 29,34,35 LP=1,0
 30,35,36 LP=1,0
 31,1,7 LP=1,0
 32,2,8 LP=1,0
 33,3,9 LP=1,0
 34,4,10 LP=1,0

35,5,11	LP=1,0
36,6,12	LP=1,0
37,7,13	LP=1,0
38,8,14	LP=1,0
39,9,15	LP=1,0
40,10,16	LP=1,0
41,11,17	LP=1,0
42,12,18	LP=1,0
43,13,19	LP=1,0
44,14,20	LP=1,0
45,15,21	LP=1,0
46,16,22	LP=1,0
47,17,23	LP=1,0
48,18,24	LP=1,0
49,19,25	LP=1,0
50,20,26	LP=1,0
51,21,27	LP=1,0
52,22,28	LP=1,0
53,23,29	LP=1,0
54,24,30	LP=1,0
55,25,31	LP=1,0
56,26,32	LP=1,0
57,27,33	LP=1,0
58,28,34	LP=1,0
59,29,35	LP=1,0
60,30,36	LP=1,0
61,37,38	LP=1,0
62,38,39	LP=1,0
63,39,40	LP=1,0
64,40,41	LP=1,0
65,42,43	LP=1,0
66,43,44	LP=1,0
67,44,45	LP=1,0
68,45,46	LP=1,0
69,47,48	LP=1,0
70,48,49	LP=1,0
71,49,50	LP=1,0
72,50,51	LP=1,0
73,52,53	LP=1,0
74,53,54	LP=1,0
75,54,55	LP=1,0
76,55,56	LP=1,0
77,57,58	LP=1,0
78,58,59	LP=1,0
79,59,60	LP=1,0
80,60,61	LP=1,0
81,37,42	LP=1,0
82,38,43	LP=1,0
83,39,44	LP=1,0

84,40,45	LP=1,0
85,41,46	LP=1,0
86,42,47	LP=1,0
87,43,48	LP=1,0
88,44,49	LP=1,0
89,45,50	LP=1,0
90,46,51	LP=1,0
91,47,52	LP=1,0
92,48,53	LP=1,0
93,49,54	LP=1,0
94,50,55	LP=1,0
95,51,56	LP=1,0
96,52,57	LP=1,0
97,53,58	LP=1,0
98,54,59	LP=1,0
99,55,60	LP=1,0
100,56,61	LP=1,0
101,1,37	LP=1,0
102,2,37	LP=1,0
103,2,38	LP=1,0
104,3,38	LP=1,0
105,3,39	LP=1,0
106,4,39	LP=1,0
107,4,40	LP=1,0
108,5,40	LP=1,0
109,5,41	LP=1,0
110,6,41	LP=1,0
111,7,37	LP=1,0
112,8,37	LP=1,0
113,8,38	LP=1,0
114,9,38	LP=1,0
115,9,39	LP=1,0
116,10,39	LP=1,0
117,10,40	LP=1,0
118,11,40	LP=1,0
119,11,41	LP=1,0
120,12,41	LP=1,0
121,7,42	LP=1,0
122,8,42	LP=1,0
123,8,43	LP=1,0
124,9,43	LP=1,0
125,9,44	LP=1,0
126,10,44	LP=1,0
127,10,45	LP=1,0
128,11,45	LP=1,0
129,11,46	LP=1,0
130,12,46	LP=1,0
132,14,42	LP=1,0
131,13,42	LP=1,0

133,14,43	LP=1,0
134,15,43	LP=1,0
135,15,44	LP=1,0
136,16,44	LP=1,0
137,16,45	LP=1,0
138,17,45	LP=1,0
139,17,46	LP=1,0
140,18,46	LP=1,0
141,13,47	LP=1,0
142,14,47	LP=1,0
143,14,48	LP=1,0
144,15,48	LP=1,0
145,15,49	LP=1,0
146,16,49	LP=1,0
147,16,50	LP=1,0
148,17,50	LP=1,0
149,17,51	LP=1,0
150,18,51	LP=1,0
151,19,47	LP=1,0
152,20,47	LP=1,0
153,20,48	LP=1,0
154,21,48	LP=1,0
155,21,49	LP=1,0
156,22,49	LP=1,0
157,22,50	LP=1,0
158,23,50	LP=1,0
159,23,51	LP=1,0
160,24,51	LP=1,0
161,19,52	LP=1,0
162,20,52	LP=1,0
163,20,53	LP=1,0
164,21,53	LP=1,0
165,21,54	LP=1,0
166,22,54	LP=1,0
167,22,55	LP=1,0
168,23,55	LP=1,0
169,23,56	LP=1,0
170,24,56	LP=1,0
171,25,52	LP=1,0
172,26,52	LP=1,0
173,26,53	LP=1,0
174,27,53	LP=1,0
175,27,54	LP=1,0
176,28,54	LP=1,0
177,28,55	LP=1,0
178,29,55	LP=1,0
179,29,56	LP=1,0
180,30,56	LP=1,0
181,25,57	LP=1,0

182,26,57	LP=1,0
183,26,58	LP=1,0
184,27,58	LP=1,0
185,27,59	LP=1,0
186,28,59	LP=1,0
187,28,60	LP=1,0
188,29,60	LP=1,0
189,29,61	LP=1,0
190,30,61	LP=1,0
191,31,57	LP=1,0
192,32,57	LP=1,0
193,32,58	LP=1,0
194,33,58	LP=1,0
195,33,59	LP=1,0
196,34,59	LP=1,0
197,34,60	LP=1,0
198,35,60	LP=1,0
199,35,61	LP=1,0
200,36,61	LP=1,0

:

LOADS

1,36,1 L=1 F=0,0,-1.33,0,0,0

6.4) SAP 90 Çubuk Kuvvetlerinin Çözümü

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION 5.04

Copyright (C) 1978-1988
 EDWARD L. WILSON
 All rights reserved

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED

PAGE 1

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT	LOAD	AXIAL	DIST	1-2 PLANE	1-3 PLANE
ID	COND	FORCE	ENDI	SHEAR	MOMENT
					SHEAR · MOMENT
1	-----				
1	2.66				
2	-----				
1	1.04				
3	-----				

1	.65
4	-----
1	1.04
5	-----
1	2.66
6	-----
1	2.66
7	-----
1	.11
8	-----
1	-.52
9	-----
1	.11
10	-----
1	2.66
11	-----
1	2.66
12	-----
1	-1.32
13	-----
1	-2.39
14	-----
1	-1.32

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
 PAGE 2

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
15	-----						
1	2.66						
16	-----						
1	2.66						
17	-----						
1	-1.32						
18	-----						
1	-2.39						
19	-----						
1	-1.32						
20	-----						
1	2.66						
21	-----						
1	2.66						
22	-----						
1	.11						
23	-----						

1	-52
24	-----
1	.11
25	-----
1	2.66
26	-----
1	2.66
27	-----
1	1.04
28	-----
1	.65
29	-----
1	1.04
30	-----
1	2.66
31	-----
1	2.66
32	-----
1	2.66
33	-----
1	2.66
34	-----
1	2.66

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 3

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
35	-----						
1	2.66						
36	-----						
1	2.66						
37	-----						
1	1.04						
38	-----						
1	.11						
39	-----						
1	-1.32						
40	-----						
1	-1.32						
41	-----						
1	.11						
42	-----						
1	1.04						
43	-----						

1	.65
44	-----
1	-.52
45	-----
1	-2.39
46	-----
1	-2.39
47	-----
1	-.52
48	-----
1	.65
49	-----
1	1.04
50	-----
1	.11
51	-----
1	-1.32
52	-----
1	-1.32
53	-----
1	.11
54	-----
1	1.04

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 4

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
55	-----						
1	2.66						
56	-----						
1	2.66						
57	-----						
1	2.66						
58	-----						
1	2.66						
59	-----						
1	2.66						
60	-----						
1	2.66						
61	-----						
1	.00						
62	-----						
1	.00						
63	-----						

1	.00
64	-----
1	.00
65	-----
1	-1.21
66	-----
1	1.21
67	-----
1	1.21
68	-----
1	-1.21
69	-----
1	-1.59
70	-----
1	1.59
71	-----
1	1.59
72	-----
1	-1.59
73	-----
1	-1.21
74	-----
1	1.21

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 5

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
75	-----						
1	1.21						
76	-----						
1	-1.21						
77	-----						
1	.00						
78	-----						
1	.00						
79	-----						
1	.00						
80	-----						
1	.00						
81	-----						
1	.00						
82	-----						
1	-1.21						
83	-----						

1	-1.59
84	-----
1	-1.21
85	-----
1	.00
86	-----
1	.00
87	-----
1	1.21
88	-----
1	1.59
89	-----
1	1.21
90	-----
1	.00
91	-----
1	.00
92	-----
1	1.21
93	-----
1	1.59
94	-----
1	1.21

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 6

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
95	-----						
1	.00						
96	-----						
1	.00						
97	-----						
1	-1.21						
98	-----						
1	-1.59						
99	-----						
1	-1.21						
100	-----						
1	.00						
101	-----						
1	-3.99						
102	-----						
1	-3.21						
103	-----						

1	-0.78
104	-----
1	-2.29
105	-----
1	-1.70
106	-----
1	-1.70
107	-----
1	-2.29
108	-----
1	-0.78
109	-----
1	-3.21
110	-----
1	-3.99
111	-----
1	-3.21
112	-----
1	-1.82
113	-----
1	-2.09
114	-----
1	-2.26

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 7

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
115	-----						
1	-2.72						
116	-----						
1	-2.72						
117	-----						
1	-2.26						
118	-----						
1	-2.09						
119	-----						
1	-1.82						
120	-----						
1	-3.21						
121	-----						
1	-0.78						
122	-----						
1	-2.09						
123	-----						

1	2.01
124	-----
1	-.20
125	-----
1	1.19
126	-----
1	1.19
127	-----
1	-.20
128	-----
1	2.01
129	-----
1	-2.09
130	-----
1	-.78
132	-----
1	-2.26
131	-----
1	-2.29
133	-----
1	-.20
134	-----
1	-1.61

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 8

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL DIST FORCE	1-2 PLANE ENDI SHEAR	1-3 PLANE MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	1-3 PLANE MOMENT
135	-----					
1		-1.19				
136	-----					
1		-1.19				
137	-----					
1		-1.61				
138	-----					
1		-.20				
139	-----					
1		-2.26				
140	-----					
1		-2.29				
141	-----					
1		-1.70				
142	-----					
1		-2.72				
143	-----					

1	1.19
144	-----
1	-1.19
145	-----
1	.00
146	-----
1	.00
147	-----
1	-1.19
148	-----
1	1.19
149	-----
1	-2.72
150	-----
1	-1.70
151	-----
1	-1.70
152	-----
1	-2.72
153	-----
1	1.19
154	-----
1	-1.19

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 9

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
155	-----						
1	.00						
156	-----						
1	.00						
157	-----						
1	-1.19						
158	-----						
1	1.19						
159	-----						
1	-2.72						
160	-----						
1	-1.70						
161	-----						
1	-2.29						
162	-----						
1	-2.26						
163	-----						

1	-20
164	-----
1	-1.61
165	-----
1	-1.19
166	-----
1	-1.19
167	-----
1	-1.61
168	-----
1	-20
169	-----
1	-2.26
170	-----
1	-2.29
171	-----
1	-.78
172	-----
1	-2.09
173	-----
1	2.01
174	-----
1	-.20

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 10

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
175	-----						
1	1.19						
176	-----						
1	1.19						
177	-----						
1	-.20						
178	-----						
1	2.01						
179	-----						
1	-2.09						
180	-----						
1	-.78						
181	-----						
1	-3.21						
182	-----						
1	-1.82						
183	-----						

1	-2.09
184	-----
1	-2.26
185	-----
1	-2.72
186	-----
1	-2.72
187	-----
1	-2.26
188	-----
1	-2.09
189	-----
1	-1.82
190	-----
1	-3.21
191	-----
1	-3.99
192	-----
1	-3.21
193	-----
1	-.78
194	-----
1	-2.29

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90, COMMERCIAL USE PROHIBITED
PAGE 11

PROGRAM:SAP90/FILE:SUR.F3F

MERO SİSTEM ÇÖZÜMÜ

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	AXIAL FORCE	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	1-3 PLANE SHEAR	MOMENT
195	-----						
1		-1.70					
196	-----						
1		-1.70					
197	-----						
1		-2.29					
198	-----						
1		-.78					
199	-----						
1		-3.21					
200	-----						
1		-3.99					

BÖLÜM7

SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizde ve dünyada büyük açıklıkların örtülmesinde, sıkça kullanılan uzay kafes ve düzlem kafes sistemlerin çözümünde sunulan program son derece hızlı ve kesin çözümler vermektedir. Programın mero sistemler için kullanılması durumunda, data girişi süresi son derece kısalmakta ve düğüm noktalarının ve çubukların kendi kendine üertilmesi sağlanmaktadır. Diğer sistemler için bu data girişi daha uzun süre almaktadır. Sonuç olarak, programın özellikle mero sistemler kullanılması daha efektif olmaktadır. Sonuçları kesinliğini incelemek için aynı kafes sistemi SAP 90 bilgisayar programı ve geliştirilen program ile çözümlenerek sonuçların çok ufak yuvarlatma farkları hariç çakıştığı görülmektedir. Bunun yanında , programın data girişinin özellikle mero sistemlerde çok daha basit ve hızlı olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- 1 - ÇAKIROĞLU, A. , ÖZMEN, E., ÖZDEN, E., Yapı Sistemlerinin Hesabı için Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Dizerkonca Matbaası, 1970, Cilt I, 1970, Cilt II
- 2 - ÇAKIROĞLU, A., Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metotları, İTÜ Yayını, 1984.
- 3 - DÜNDAR, C., KIRAL, E., MENĞİ, Y., Yapı Mekaniğinde Bilgisayar Programları, Teknik Yayınevi, 1986.
- 4 - TECZAN, H.B., Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makinaları İle Çözümü, İTÜ Yayını, 1973.
- 5 - ODABAŞI, Y., ÖZGEN, A., Çelik Yapılar Semineri ,1987. “ Uzay Kafes Kirişlerin Yaklaşık Statik Hesabı, Boyutlandırma Esasları ve Ekonomi Etüdü”
- 6 - ARDA, T.S., “ 1995 yılı Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler Ders Notları “ , 1995.

EK 1 - UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN PROGRAM

```

C   UZAY VE DUZLEM KAFES PROGRAMI (FTRUSS.FOR)
DIMENSION
CORD(100,3),JTYPE(100,3),AREA(340),MCON(340,2),OLEN(340)
COMMON DEFX(340,4),LSN(4),SR(340,4),A(340,340),CSAT(340)
COMMON NDU(10),NRX(10),NRY(10),NRZ(10)
C   MERO SISTEM ISE JJJ=1 ,DUZLEM KAFES SISTEM ISE JJJ=2 ,
C   UZAY KAFES SISTEM ISE JJJ=3 OLARAK GIRILECEKTIR
C   JJ=COZUM YAPILACAK KAFES KIRISIN NOSU
READ(5,*) JJ,JJJ
WRITE(6,2) JJ,JJJ
2  FORMAT(1X,'JJ=',I5,10X,'JJJ=',I5)
   IF(JJJ-1) 10,10,20
C   x dog.daki aralik sayisi=N ,y dog.daki aralik sayisi=M ,
C   cubuk boyu=A ,kafes kiris yuksekligi=H
C   ust duzlemdeki cubuk kesiti=AO ,alt duzlemdeki cubuk kesiti=
C   AU ,diyagonal cubuk kesiti=AD
C   Serbestligi engellenmis dugum noktasi sayisi=IRS
C   Serbestligi engellenmis dug.noktasi nosu=NDU ,x,y,z dog.da
C   engellenen serbestlikler NRx,NRy,NRz.Engelleme varsa -0-,yoksa-1-
10  READ(5,*) N,M
    JCT=(N+1)*(M+1)+N*M
    NM=8*N*M
    CALL MERO(N,M,JCT,NM,CORD,JTYPE,AREA,MCON,OLEN,L)
    GO TO 30
20  READ(5,*) JCT,NM
30  READ(5,*) TR,ALPHA,E
    IF(E) 40,40,50
40  E=21000000.0
    IF(JJJ-1) 102,102,50
50  READ(5,*) ((CORD(I,J),J=1,JJJ),I=1,JCT)
    READ(5,*) ((JTYPE(I,J),J=1,JJJ),I=1,JCT)
    READ(5,*) ((MCON(I,J),J=1,2),I=1,NM)
    READ(5,*) (AREA(I),I=1,NM)
75  L=0
    DO 80 I=1,JCT
    DO 80 J=1,JJJ
80  L=L+JTYPE(I,J)
    DO 100 I=1,NM
    J1=MCON(I,1)
    J2=MCON(I,2)
    X=CORD(J1,1)-CORD(J2,1)
    Y=CORD(J1,2)-CORD(J2,2)

```

```

      IF(JJJ-2) 96,95,96
95  OLEN(I)=SQRT(X*X+Y*Y)
      GO TO 100
96  Z=CORD(J1,3)-CORD(J2,3)
      OLEN(I)=SQRT(X*X+Y*Y+Z*Z)
100 CONTINUE
102 WRITE(6,103) JCT,NM
103 FORMAT(1X,'JCT=',I5,5X,'NM=',I5)
      IF(ALPHA) 109,108,109
108 ALPHA=.000011
109 ISW=1
110 NJ=0
      NK=0
      DO 90 I=1,L
      DO 90 J=1,NM
90  A(I,J)=0.
      DO 270 J=1,JCT
      DO 260 M=1,NM
      NA=NJ
      IF(J-MCON(M,1)) 130,120,130
120 JF=MCON(M,2)
      GO TO 150
130 IF(J-MCON(M,2)) 260,140,260
140 JF=MCON(M,1)
150 X=CORD(JF,1)-CORD(J,1)
      Y=CORD(JF,2)-CORD(J,2)
      IF(JJJ-2) 160,170,160
160 Z=CORD(JF,3)-CORD(J,3)
170 IF(JTYPE(J,1)) 190,190,180
180 NA=NA+1
      A(NA,M)=-X/OLEN(M)
190 IF(JTYPE(J,2)) 210,210,200
200 NA=NA+1
      A(NA,M)=-Y/OLEN(M)
210 IF(JJJ-2) 220,240,220
220 IF(JTYPE(J,3)) 240,240,230
230 NA=NA+1
      A(NA,M)=-Z/OLEN(M)
240 IF(NA-NK) 260,260,250
250 NK=NA
260 CONTINUE
      NJ=NK
270 CONTINUE
      IF(ISW) 890,890,280
280 IF(TR) 282,289,282
282 DO 283 I=1,NM
283 CSAT(I)=E*AREA(I)*ALPHA*TR
      DO 284 I=1,L
      DEFX(I,2)=0.

```

```

DO 284 J=1,NM
284 DEFX(I,2)=DEFX(I,2)+A(I,J)*CSAT(J)
289 DO 320 J=1,L
    DO 290 I=1,NM
290 CSAT(I)=E*AREA(I)*A(J,I)/OLEN(I)
    DO 310 I=J,L
        TEMP=0.
    DO 300 K=1,NM
300 TEMP=TEMP+A(I,K)*CSAT(K)
310 DEFX(I,1)=TEMP
    DO 320 I=1,L
320 A(J,I)=DEFX(I,1)
    DO 330 I=1,L
    DO 330 J=1,L
330 A(J,I)=A(I,J)
    LSC=L
340 READ(5,*) KK,LN
    WRITE(6,342) KK,LN
342 FORMAT(1X,'KK=',I5,5X,'LN=',I5)
    LSC=LSC+1
    IF(KK) 470,470,350
350 DO 360 I=1,L
360 A(I,LSC)=0.
    I=LSC-L
    LSN(I)=KK
    IF(JJJ.EQ.1) JJJ=3
    DO 460 I=1,LN
    IF(JJJ-2) 365,370,365
365 READ(5,*) JN,XF,YF,ZF
    GO TO 380
370 READ(5,*) JN,XF,YF
380 LL=0
    LJ=JN-1
    IF(LJ) 395,395,385
385 DO 390 J=1,LJ
    DO 390 K=1,JJJ
390 LL=LL+JTYPE(J,K)
395 IF(JTYPE(JN,1)) 410,410,400
400 LL=LL+1
    A(LL,LSC)=XF
410 IF(JTYPE(JN,2)) 430,430,420
420 LL=LL+1
    A(LL,LSC)=YF
430 IF(JJJ-2) 440,460,440
440 IF(JTYPE(JN,3)) 460,460,450
450 LL=LL+1
    A(LL,LSC)=ZF
460 CONTINUE
    GO TO 340

```

```

470 IF(TR) 480,500,480
480 LS=L+1
    DO 490 I=1,L
490 A(I,LS)=A(I,LS)+DEFX(I,2)
500 KJ=LSC-1
    NLS=KJ-L
    DO 680 I=1,L
    IP1=I+1
    TEMP=ABS(A(I,I))
    K=I
    DO 590 J=I,L
    IF(ABS(A(J,I))-TEMP) 590,590,585
585 K=J
    TEMP=ABS(A(J,I))
590 CONTINUE
    IF(K-I) 600,620,600
600 DO 610 J=I,KJ
    TEMP=A(I,J)
    A(I,J)=A(K,J)
610 A(K,J)=TEMP
620 IF(A(I,I)) 640,997,640
640 TEMP=1/A(I,I)
    DO 650 J=I,KJ
650 A(I,J)=A(I,J)*TEMP
    DO 680 J=1,L
    IF(I-J) 660,680,660
660 TEMP=A(J,I)
    DO 670 K=IP1,KJ
670 A(J,K)=A(J,K)-TEMP*A(I,K)
680 CONTINUE
    WRITE(6,700) JJ
700 FORMAT(5X,' KAFESIN LINEER ELASTIK ANALIZI NO: ',I5//)
    WRITE(6,730) ALPHA,TR
730 FORMAT(5X,' ISI GENLESME KATS.=',F11.8,5x,' ISI ARTIMI=',F7.2//)
    WRITE(6,740)
740 FORMAT(5X,' DUGUM DEFORMASYONLARI '//)
    DO 870 I=1,NLS
    KL=L+I
    WRITE(6,750) LSN(I)
750 FORMAT(I3,' NOLU YUK SETINDEN OLUSAN DEFORMASYONLAR' //)
    LL=0
    WRITE(6,771)
771 FORMAT(5X,'DUGUM X-DEFORM. Y-DEFORM. Z-DEFORM. ')
    DO 870 J=1,JCT
    IF(JTYPE(J,1)) 780,780,770
770 LL=LL+1
    AA=A(LL,KL)
    GO TO 790
780 AA=-0.

```

```

790 IF(JTYPE(J,2)) 810,810,800
800 LL=LL+1
    AB=A(LL,KL)
    GO TO 820
810 AB=-0.
820 IF(JJJ-2) 830,825,830
825 AC=0.
    GO TO 860
830 IF(JTYPE(J,3)) 850,850,840
840 LL=LL+1
    AC=A(LL,KL)
    GO TO 860
850 AC=-0.
860 WRITE(6,861) J,AA,AB,AC
861 FORMAT(I8,F14.7,2F13.7)
870 CONTINUE
    DO 880 I=1,L
    DO 880 J=1,NLS
    K=L+J
880 DEFX(I,J)=A(I,K)
    ISW=-1
    GO TO 110
890 DO 900 I=1,NM
    TEMP=E*AREA(I)/OLEN(I)
    DO 900 J=1,L
900 A(J,I)=A(J,I)*TEMP
    DO 920 I=1,NM
    DO 920 J=1,NLS
    SR(I,J)=0.
    DO 920 K=1,L
920 SR(I,J)=SR(I,J)+A(K,I)*DEFX(K,J)
    IF(TR) 930,950,930
930 DO 940 I=1,NM
940 SR(I,1)=SR(I,1)-E*AREA(I)*ALPHA*TR
950 WRITE(6,960)
960 FORMAT(5X,' CUBUKLARDA EKSENEL KUVVET '//)
    DO 990 I=1,NLS
    WRITE(6,970) LSN(I)
970 FORMAT(I3,' NOLU YUK SETINDEN OLUSAN GERILMELER '//)
    WRITE(6,971)
971 FORMAT(1X,' ELEMEN    KUVVET    GERILME ')
    DO 990 J=1,NM
    STRS=SR(J,I)/AREA(J)
990 WRITE(6,991) J,SR(J,I),STRS
991 FORMAT(I8,F14.5,F11.3)
    GO TO 999
997 WRITE(6,998)
998 FORMAT(5X,'DENKLEM COZUMUNDE SIFIRA BOLME')
999 WRITE(6,1000)JJ

```

```

1000 FORMAT(I5,' NOLU KAFESIN ANALIZI TAMAMLANDI'///)
      STOP
      END
      SUBROUTINE MERO(N,M,JCT,NM,CORD,JTYPE,AREA,MCON,OLEN,L)
      DIMENSION
      CORD(100,3),JTYPE(100,3),AREA(340),MCON(340,2),OLEN(340)
      COMMON NDU(10),NRX(10),NRY(10),NRZ(10)
      READ(5,*) A,H
      READ(5,*) AO,AU,AD
      READ(5,*) IRS
      READ(5,*) (NDU(I),NRX(I),NRY(I),NRZ(I),I=1,IRS)
      WRITE(6,1003) N,M,A,H
      WRITE(6,1004) AO,AU,AD,IRS
1003 FORMAT(1X,'N=',I3,5X,'M=',I3,5X,'A=',F5.2,5X,'H=',F5.2)
1004 FORMAT(1X,'AO=',F5.2,5X,'AU=',F5.2,5X,'AD=',F5.2,5X,'IRS=',I3)
      N1=N+1
      M1=M+1
      NM1=N1*M1
      NM2=N*M
      MAR=NM1+NM2
      ALX=N*A
      ALY=M*A
      WRITE(6,1010) N,M
      WRITE(6,1020) ALX,ALY
1010 FORMAT(1X,'x dog.daki aralik sayisi N=',I5,10X,'y dog.daki aralik
      *sayisi M=',I5)
1020 FORMAT(1X,'x dog.daki aciklik Lx=',F6.3,10x,'y dog.daki aciklik Ly
      *=',F6.3//)
      WRITE(6,1030) A,H
1030 FORMAT(1X,'cubuk boyu A=',f6.3,10x,'kafes yuksekligi H=',F6.3)
      SAY=0
      MI=N1
      NI=0
      K=1
1040 DO 1050 I=K,MI
      CORD(I,1)=ALX-(MI-I)*A
      CORD(I,2)=ALY-NI*A
1050 CORD(I,3)=0
      K=MI+1
      MI=MI+N1
      SAY=SAY+N1
      NI=NI+1
      IF(SAY-NM1) 1040,1060,1060
1060 MI=NM1
      KI=NM1+N
      NNI=0
      SAY=0
1070 DO 1080 I=MI+1,KI
      CORD(I,1)=(N-I)*A-(KI-I)*A+.5*A

```

```

      CORD(I,2)=ALY-.5*A-NNI*A
1080 CORD(I,3)=H
      MI=KI
      KI=KI+N
      SAY=SAY+N
      NNI=NNI+1
      IF(SAY-NM2) 1070,1090,1090
1090 NH=N*M1
      NV=M*N1
      NT=NH+NV
      SAY=0
      MI=N
      K=1
      L=0
1130 DO 1140 I=K,MI
      MCON(I,1)=I+L
1140 MCON(I,2)=I+L+1
      K=MI+1
      MI=MI+N
      SAY=SAY+N
      L=L+1
      IF(SAY-NH) 1130,1150,1150
1150 DO 1160 I=NH+1,NT
      K=I-NH
      MCON(I,1)=K
1160 MCON(I,2)=K+N1
      K=1
      MI=N-1
      NK=(N-1)*M+NT
      L=NM1
      SAY=NT
1166 DO 1168 I=K,MI
      I1=I+NT
      MCON(I1,1)=I+L
1168 MCON(I1,2)=I+L+1
      K=MI+1
      MI=MI+N-1
      SAY=SAY+N-1
      L=L+1
      IF(SAY-NK) 1166,1170,1170
1170 K=N*(M-1)
      DO 1180 I=1,K
      I1=NK+1
      I2=NM1+I
      MCON(I1,1)=I2
1180 MCON(I1,2)=I2+N
      NTS=NT+(N-1)*M+(M-1)*N
      TEL=TS+4*N*M
      IT=1

```

```

KC=1
MI=N
SAY=0
S=1
Y=0.
MAR=2.*N*M
1185 DO 1220 I=IT,MI
      K=2*I-1
      J=I
      IJ=I
      IF(I-KC*N) 1210,1210,1200
1200 IJ=I+S-N*Y
      J=I-N*S
1210 MCON(NTS+K,1)=IJ
1220 MCON(NTS+K,2)=J+NM1
      DO 1250 I=IT,MI
      L=2*I
      IJ=I
      J=I
      IF(I-KC*N) 1240,1240,1230
1230 IJ=I+S-N*Y
      J=I-N*S
1240 MCON(NTS+L,1)=IJ+1
1250 MCON(NTS+L,2)=J+NM1
      IF(I.EQ.N1) GO TO 1260
      KC=KC+1
1260 IT=MI+1
      MI=MI+N
      GOTO(1280,1280,1270,1280,1270,1280,1270,1280,1270),KC
1270 S=S+1
      IF(S.EQ.1) GO TO 1275
      NI=S*2*N
1275 IF(MI.EQ.NI) GO TO 1300
1280 IF(I.LT.N) GO TO 1290
      IF(I.LE.2*N) GO TO 1290
      Y=Y+1
      GO TO 1300
1290 Y=0
1300 SAY=SAY+2*N
      IF(SAY.LT.2*MAR) GO TO 1185
      DO 1310 I=1,JCT
      DO 1310 J=1,3
1310 JTYPE(I,J)=1
      DO 1320 I=1,IRS
      ID=NDU(I)
      JX=NRX(I)
      JY=NRX(I)
      JZ=NRZ(I)
      IF(JX.EQ.1) GO TO 1330

```

```
JTYPE(ID,1)=0
1330 IF(JY.EQ.1) GO TO 1340
      JTYPE(ID,2)=0
1340 IF(JZ.EQ.1) GO TO 1350
1320 JTYPE(ID,3)=0
1350 DO 1360 I=1,NT
1360 AREA(I)=AO
      DO 1370 I=NT+1,NTS
1370 AREA(I)=AU
      DO 1380 I=NTS+1,NM
1380 AREA(I)=AD
      L=0
      DO 1400 I=1,JCT
      DO 1400 J=1,3
1400 L=L+JTYPE(I,J)
      DO 1410 I=1,NM
      J1=MCON(I,1)
      J2=MCON(I,2)
      X=CORD(J1,1)-CORD(J2,1)
      Y=CORD(J1,2)-CORD(J2,2)
      Z=CORD(J1,3)-CORD(J2,3)
      OLEN(I)=SQRT(X*X+Y*Y+Z*Z)
1410 CONTINUE
      RETURN
      END
```