



**ÜÇ BOYUTLU ÇUBUK TAŞIYICI SİSTEMLERİN STATİK VE  
DİNAMİK ANALİZİNİ YAPAN BİR PAKET PROGRAM**

**Levent ÖZBERK**

**Kasım 2006  
DENİZLİ**



**ÜÇ BOYUTLU ÇUBUK TAŞIYICI SİSTEMLERİN STATİK VE  
DİNAMİK ANALİZİNİ YAPAN BİR PAKET PROGRAM**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

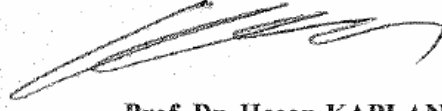
**Levent ÖZBERK**

**Danışman: Prof. Dr. Hasan KAPLAN**

**Kasım, 2006  
DENİZLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

Levent ÖZBERK tarafından Prof. Dr. Hasan KAPLAN yönetiminde hazırlanan “Üç Boyutlu Çubuk Taşıyıcı Sistemlerin Statik ve Dinamik Analizini Yapan Bir Paket Program“ başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



**Prof. Dr. Hasan KAPLAN**

(Yönetici)

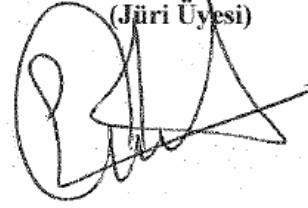
**Doç. Dr. İsmail DEMİR**

(Jüri Üyesi)



**Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim TAMA**

(Jüri Üyesi)



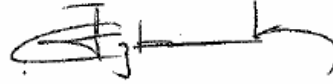
Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../.....tarih ve .....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL**

Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza



Öğrenci Adı Soyadı : Levent ÖZBERK

## TEŞEKKÜR

Öncelikle gerek konu seçimindeki teşviki gerekse tez çalışmam sırasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlarından ötürü danışmanım Prof. Dr. Hasan Kaplan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Her soruma büyük anlayışla yaklaşan ve kendi yoğun iş temposunda bana zaman ayıran Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat Şanel'e ve elektronik ortamda benden desteğini hiç bir zaman esirgemeyen Prof. Dr. Hikmet Hüseyin Çatal'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin başlangıcından sonuna kadar bana destek olan Derya Doğan'a, takıldığım her konuda bana yardımcı olan Onur Avcıoğlu ve Salih Yılmaz'a teşekkür ederim.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

Tez kapsamında sonlu elemanlar yöntemi ve modal analiz yöntemi kullanılarak farklı yükleme şekillerini göre 3 boyutlu çubuk taşıyıcı sistemlerin statik ve dinamik analizini yapabilen bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen program görsel programlama tekniği kullanılarak veri girişinin elektronik tablolar ve grafik ekran yoluyla girilebilmesi sağlanmıştır. Yine bu teknik sayesinde analiz sonrası elde edilen sonuçlar elektronik tablolarla ve grafik ekran üzerinde görüntülenebilmekte ve bir dosyaya yazılabilmektedir.

Hazırlanan paket program ile farklı tipte taşıyıcı sistemlerin statik ve dinamik analizi yapılarak düğüm deplasmaları ve uç kuvvetleri elde edilmiştir. Sap2000 Analiz Programı ile yapılan karşılaştırma sonucunda sonuçlar arasında %1 farklılık görülmüştür.

## ÖZET

### ÜÇ BOYUTLU ÇUBUK TAŞIYICI SİSTEMLERİN STATİK VE DİNAMİK ANALİZİNİ YAPAN BİR PAKET PROGRAM

Özberk, Levent  
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD  
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Hasan KAPLAN

Kasım 2006, 157 Sayfa

Analiz yöntemlerindeki ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler yapı mühendisliğindeki problemlerin üç boyutlu statik ve dinamik çözümüne olanak sağlamaktadır. Mühendisler bu sayede, hazırlanan paket programlarla yapı sistemlerini kısa sürede ve farklı şekillerde çözebilmektedirler.

Şüphesiz bu durumun olumlu ve olumsuz tarafları var. Olumlu tarafına örnek olarak, mühendisin analiz safhasında kazandığı zamanı yapının davranışına yöneltebileceğini gösterebiliriz. Olumsuz tarafına örnek olarak ise ülkemizde kullanılan paket programların mühendis için bir araç olmaktan çıkıp onlar yerine mühendislik yapmasıdır. Bunun en önemli sebebi ise günümüzde kullanılan paket programların her şeyi otomatik yapıp, kullanıcının müdahalesine izin vermemesidir.

Bu tezde amaç paket programların bu olumsuz yönlerini göz önünde bulundurarak açık kaynak kodlu 3 boyutlu statik ve dinamik analiz yapan bir programın hazırlanmasıdır. Hazırlanan paket program görsel bir yapıya sahip olup grafik ekranda taşıyıcı sistemin modellenmesi, malzeme tanımlanması, çubuklara kesit atanması, düğüm ve çubuklara farklı yükleme şekillerin uygulanması gibi birçok özelliğe sahiptir. Ayrıca analiz sonrası kullanıcı eleman rijitlik matrisi, sistem rijitlik matrisi gibi analizin ara safhalarını görüntüleyebilmektedir. Bu yolla mühendis ve mühendislik öğrencilerinin yöntemin teorisini anlaması ve çözüm safhalarının görebilmesine imkan sağlanmıştır.

Hazırlanan paket program statik analiz yöntemi olarak bir sonlu eleman yöntemi olan 3 boyutlu Rijitlik Matrisi yöntemini, dinamik analizde ise Modal Analiz yöntemini kullanmaktadır.

Visual Basic de geliştirilen paket programla farklı yapı sistemleri çözülmüş ve sonuçları Sap2000 yapısal analiz programıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu Elemanlar Yöntemi, Statik Analiz, Rijitlik Matrisi, Dinamik Analiz, Modal Analiz

Yrd. Doç. Dr. Yavuz Selim Tama  
Doç. Dr. İsmail Demir  
Prof. Dr. Hasan KAPLAN



**ABSTRACT****A PROGRAM FOR STATIC AND DYNAMIC CALCULATION OF THREE DIMENSIONAL FRAME SYSTEMS**

Özberk, Levent

M. Sc. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hasan KAPLAN

November 2006, 157 Pages

The developments in computer technology and analyse methods enable to solve static and dynamic of three dimensional problems in structural engineering. With this, engineers can solve structure systems in less time and in different ways.

Of course it has advantages and disadvantages. For example of advantages, engineer can orient the time which is gained in analysis stage to structure behaviour. For example of disadvantages, programs which are used in our country making engineering in stead of engineers. The most important reason for this is, this programs make everything automaticly and don't give permission to interfere.

The reason of this thesis is, preparing a program for three dimensional static and dynamic analyses with paying regard to these disadvantages. This program has a visual structure and can define structural system and material on graphic screen, can appoint section for rods, can appoint different loadings to joints and rods. In addition to that after analysis user can see analyse's interval stages such as element's rigid matrix, system rigid matrix. With this way it's aimed to the engineer and engineering students can understand theory of method and can see solution phases.

This program is using three dimensional rigid matrix method which is a finite element method for static analysis and modal analysis method for dynamic analysis.

With this program which is based on Visual Basic , different structure systems are solved and the results are compared with Sap2000 analysis program. With these comparisons its seen that the results are so similar.

**Keywords:** Finite Elements Method, Static Analysis, Stiffness Matrix, Dynamic Analysis, Modal Analysis

Asst. Prof. Dr. Yavuz Selim Tama

Assoc. Prof. Dr. İsmail Demir

Prof. Dr. Hasan KAPLAN

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
Yüksek lisans tezi onay formu.....	i
Bilimsel etik sayfası.....	ii
Teşekkür.....	iii
Önsöz.....	vi
Özet.....	v
Abstract.....	vi
İçindekiler.....	vii
Şekiller Dizini.....	xi
Tablolar Dizini.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. RİJİTLİK MATRİSİ YÖNTEMİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Rijitlik Kavramı ve Rijitlik Denklemi.....	5
2.3. Uzak Çerçeve Çubuğun Rijitlik Katsayıları.....	9
2.3.1. $d_2=1$ durumu.....	9
2.3.2. $d_3=1$ durumu.....	11
2.3.3. $d_5=1$ durumu.....	13
2.3.4. $d_6=1$ durumu.....	14
2.4. Uzak sistemler için koordinat dönüşümü.....	19
2.4.1. Lokal koordinatlar: Lokal eksen takımı.....	19
2.4.2. Sistem koordinatları: Global eksen takımı.....	20
2.4.3. Uzak çerçeve çubuğun transformasyon matrisi.....	20
2.5. Sistem Koordinatlarına Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilişi.....	23
2.6. Sistem Rijitlik Matrisinin Elde Edilişi ve Kotlama Tekniği.....	25
2.7. Taşıyıcı Sistemin Yük Vektörü.....	28
2.7.1. Direkt dış yükler.....	28
2.7.2. Endirekt dış yükler.....	28
2.7.2.1. Yayılı yükleme vektörü.....	28
2.7.2.2. Noktasal yükleme vektörü.....	29
2.7.2.3. Moment yükleme vektörü.....	30
2.7.2.4. Üçgen yükleme vektörü.....	31
2.7.2.5. Sıcaklık yükleme vektörü.....	32
2.7.2.5.1. Eşit ısınma.....	33
2.8. Yay Katsayıları – Elastik Mesnetler.....	34
2.9. Sistem Deplasman ve Eleman Uç Kuvvetlerinin Bulunması.....	35
2.10. Rijitlik Matrisi Yönteminde İşlem Sırası.....	36
3. DİNAMİK ANALİZ.....	38
3.1. Giriş.....	38
3.2. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler.....	39
3.2.1. Tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemi.....	39
3.2.2. Tek serbestlik dereceli sistemlerde serbest titreşim.....	41
3.2.3. Keyfi zorlama ve Duhamel integrali.....	42
3.3. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler.....	43
3.3.1. Çok serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemi.....	44

3.3.2. Çok serbestlik dereceli sistemlerde sönümsüz serbest titreşim.....	46
3.3.3. Çok serbestlik dereceli sistemlerde topaklanmış kütle ve yayılı kütle matrisleri.....	49
3.3.4. Dinamik Analizde Hesap İşlemleri Sırası .....	52
4. PROGRAMIN KULLANICI ARAYÜZÜ.....	55
4.1. Ekran Görünütüsü.....	55
4.1.1. Aşağı açılır menü.....	55
4.1.2. İkonlar.....	56
4.1.3. Kısayollar.....	56
4.2. Menü Fonksiyonları.....	56
4.2.1. Dosya menüsü.....	56
4.2.1.1. Yeni.....	56
4.2.1.2. Aç.....	57
4.2.1.3. Import.....	57
4.2.1.4. Kaydet.....	57
4.2.1.5. Export.....	57
4.2.1.5.1. Dxf & Dwg.....	57
4.2.1.5.2. Sap2000_7 (s2K).....	58
4.2.1.5.3. Matlab.....	58
4.2.1.6. Girdi tablolarını bas.....	58
4.2.1.7. Çıktı tablolarını bas.....	59
4.2.1.8. Çıkış.....	59
4.2.2. Düzen menüsü.....	60
4.2.3. Tanımla menüsü.....	60
4.2.3.1. Materyal.....	61
4.2.3.2. Kesit tanımla.....	61
4.2.3.3. Yükleme durumu.....	61
4.2.3.4. Talep spektrum fonksiyonu .....	62
4.2.3.5. Talep spektrum durumu .....	62
4.2.4. Çizim Menüsü.....	63
4.2.5. Uygula Menüsü.....	63
4.2.5.1. Düğüm.....	64
4.2.5.1.1. Serbestlikler.....	64
4.2.5.1.2. Yaylar.....	64
4.2.5.2. Çubuk.....	64
4.2.5.2.1. Kesit.....	64
4.2.5.3. Düğüm yüklemeleri .....	65
4.2.5.3.1. Kuvvetler.....	65
4.2.5.4. Çubuk yüklemeleri.....	66
4.2.5.4.1. Yayılı yük.....	66
4.2.5.4.2. Noktasal ve moment .....	67
4.2.5.4.3. Sıcaklık.....	67
4.2.6. Görünüm menüsü.....	68
4.2.6.1. Yeniden oluştur.....	68
4.2.6.2. Zoom (eş zamanlı).....	68
4.2.6.3. Zoom önceki.....	68
4.2.6.4. Zoom sınırlar.....	68
4.2.6.5. Zoom in.....	69
4.2.6.6. Zoom out.....	69
4.2.6.7. Zoom seçilen obje.....	69

4.2.6.8. Pan (Gerçek zamanlı).....	69
4.2.6.9. Pan nokta.....	69
4.2.6.10. 2B & 3B görüntü.....	69
4.2.6.10.1. Üst (Plan görünümü).....	69
4.2.6.10.2. Alt.....	69
4.2.6.10.3. Sol.....	70
4.2.6.10.4. Sağ.....	70
4.2.6.10.5. Ön.....	70
4.2.6.10.6. Arka.....	70
4.2.6.10.7. Güney-Batı.....	70
4.2.6.10.8. Güney-Doğu.....	70
4.2.6.10.9. Kuzey-Doğu.....	70
4.2.6.10.10. Kuzey-Batı.....	70
4.2.6.11. Büyüteç.....	71
4.2.6.12. Plan görüntüleyici.....	71
4.2.6.13. Görüntü ayarlama.....	71
4.2.7. Analiz menüsü.....	71
4.2.7.1. Analiz opsiyonları.....	72
4.2.8. Görüntüle menüsü.....	72
4.2.8.1. Veri ekranı.....	73
4.2.8.2. Deforme olmamış hali.....	74
4.2.8.3. Deforme olmuş hali.....	74
4.2.8.4. Düğüm ve eleman no.....	74
4.2.8.5. Yüklemeler.....	74
4.2.8.6. Eleman kuvvetleri.....	74
4.2.8.7. Eleman uç kuvvetleri.....	74
4.2.8.8. Deplasmanlar.....	74
4.2.8.9. Matrisler.....	75
4.2.8.9.1. Eleman rijitlik matrisi.....	75
4.2.8.9.2. Sistem rijitlik matrisi.....	75
4.2.8.9.3. Sistem kütle matrisi.....	75
4.2.8.9.4. Kodlama tablosu.....	75
4.2.8.10. Modal analiz.....	75
4.2.8.10.1. Öz değerler.....	75
4.2.8.10.2. Öz vektörler.....	76
4.2.8.10.3. Periyotlar.....	76
4.2.8.10.4. Mod şekilleri.....	76
4.2.9. Yardım.....	76
4.2.9.1. İçerik.....	76
4.2.9.2. İpucu.....	76
4.2.9.3. Hakkında.....	77
5. PROGRAM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	78
5.1. Uzak Çerçeve.....	79
5.1.1. Uzak çerçeve modeline ait bilgiler.....	79
5.1.1.1. Uzak çerçeve sisteme ait geometrik bilgiler.....	79
5.1.1.2. Uzak çerçeve sistem içerisindeki elemanlara ait bilgiler.....	79
5.1.1.3. Uzak çerçeve sisteme ait yükleme bilgileri.....	79
5.1.2. Uzak çerçeve sistemin Sap2000’de modellenmesi.....	79
5.1.3. Uzak çerçeve sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi....	84
5.1.4. Uzak çerçeve sistemin analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	85

5.1.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları.....	85
5.1.4.2. Hazırlanan paket programın deplasman sonuçları.....	87
5.2. Uzay Kafes Sistem.....	89
5.2.1. Uzay kafes sisteme ait bilgiler.....	89
5.2.1.1. Uzay kafes sisteme ait geometrik bilgiler.....	89
5.2.1.2. Uzay kafes sistem içerisinde elemanlara ait bilgiler.....	89
5.2.1.3. Uzay kafes sisteme ait yükleme bilgileri.....	90
5.2.2. Uzay kafes sistemin Sap2000’de modellenmesi.....	91
5.2.3. Uzay kafes sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi.....	95
5.2.4. Uzay kafes sistemin analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	96
5.2.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları.....	96
5.2.4.2. Hazırlanan paket programdaki deplasman sonuçları.....	98
5.3. Düzlem Çerçeve.....	99
5.3.1. Düzlem çerçeve sisteme ait bilgiler.....	99
5.3.1.1. Düzlem çerçeve sisteme ait geometrik bilgiler.....	99
5.3.1.2. Düzlem çerçeve sistem içerisinde elemanlara ait bilgiler.....	99
5.3.1.3. Düzlem çerçeve sisteme ait yükleme bilgileri.....	100
5.3.2. Düzlem çerçeve sistemin Sap2000’de modellenmesi.....	100
5.3.3. Düzlem çerçeve sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi.....	103
5.3.4. Düzlem çerçeve sistemin analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	104
5.3.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları.....	104
5.3.4.2. Hazırlanan paket programdaki deplasman sonuçları.....	105
5.4. Düzlem Kafes Sistem.....	106
5.4.1. Düzlem kafes sisteme ait bilgiler.....	106
5.4.1.1. Düzlem kafes sisteme ait geometrik bilgiler.....	106
5.4.1.2. Düzlem kafes sistem içerisinde elemanlara ait bilgiler.....	106
5.4.1.3. Düzlem kafes sisteme ait yükleme bilgileri.....	107
5.4.2. Düzlem kafes sistemin Sap2000’de modellenmesi.....	107
5.4.3. Düzlem kafes sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi.....	109
5.4.4. Düzlem kafes sistemin analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	111
5.4.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları.....	111
5.4.4.2. Hazırlanan paket programdaki deplasman sonuçları.....	111
6. SONUÇLAR.....	112
EK-1 PROGRAM LİSTESİ.....	113
KAYNAKLAR.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	157

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Uzay çerçeve elemana ait hareket serbestlikleri ve global malzeme eksenleri.....	3
Şekil 2.2 Sağ el vida kuralı.....	4
Şekil 2.3 Uzay çerçeve kirişin bir yük altındaki deformasyonu.....	5
Şekil 2.4 Yük- Deplasman eğrisi.....	5
Şekil 2.5 Düzlem kafes çubuğu.....	7
Şekil 2.6 $d_2=1$ durumu.....	9
Şekil 2.7 $d_3=1$ durumu .....	11
Şekil 2.8 $d_5=1$ durumu .....	13
Şekil 2.9 $d_6=1$ durumu .....	14
Şekil 2.10 Uzay çerçeve çubuğu için rijitlik katsayıları.....	17
Şekil 2.11 Uzay çerçeve çubuğu eksen takımları.....	19
Şekil 2.12 Uzay çerçeve çubuğu eksen takımları (Özel konum).....	21
Şekil 2.13 Bir uzay çerçevede eleman numaraları, düğüm numaraları ve düğüm deplasmanlarının kotlanmış hali.....	26
Şekil 2.14 Uzay çerçeve elemanı yayılı yükleme hali ve serbestlik dereceleri.....	29
Şekil 2.15 Yayılı yükleme vektörü.....	29
Şekil 2.16 Uzay çerçeve elemanı tekil yükleme hali ve serbestlik dereceleri.....	30
Şekil 2.17 Tekil yükleme vektörü.....	30
Şekil 2.18 Uzay çerçeve elemanı moment yükleme hali ve serbestlik dereceleri ...	31
Şekil 2.19 Moment yükleme vektörü.....	31
Şekil 2.20 Uzay çerçeve elemanı üçgen yükleme hali ve serbestlik dereceleri.....	32
Şekil 2.21 Üçgen yükleme vektörü.....	32
Şekil 2.22 Uzay çerçeve elemanın eşit ısınma hali ve serbestlik dereceleri.....	34
Şekil 2.23 Eşit ısınma yükleme vektörü.....	34
Şekil 3.1 Yayılı kütleli sistemden , çok kütleli ve tek kütleli sisteme geçiş.....	38
Şekil 3.2 Tek serbestlik dereceli sistemin matematik modeli.....	39
Şekil 3.3 Tek serbestlik dereceli sistemin yay kütle modeli ve kütleyle kuvvetler.....	40
Şekil 3.4 $f(\tau)$ yükünün zamana bağlı değişimi.....	42
Şekil 3.5 Çok serbestlik dereceli kayma çerçeve sistem örneği.....	43
Şekil 3.6 Diyagonal kütle matrisi.....	45
Şekil 3.7 Çok serbestlik dereceli sistemin band simetrik sönüm matrisi.....	45
Şekil 3.8 Çok serbestlik dereceli sistemin band simetrik yatay rijitlik .....	46
3.9 İki düğümlü prizmatik bar eleman için direk kütle toplanması.....	49
Şekil 3.10 Kütle matrisi.....	50
Şekil 3.11 3 boyutlu elamana ait yayılı (sürekli) kütle matrisi.....	51
Şekil 4.1 Açılış ekranı.....	55
Şekil 4.2 Aşağı açılır menü.....	55
Şekil.3 İkonlar.....	56
Şekil 4.4 Kısayol örneği.....	56
Şekil 4.5 Dosya menüsü.....	57
Şekil 4.6 Matlab export ekranı.....	58
Şekil 4.7 Girdi tablolarını bas.....	59
Şekil 4.8 Çıktı tablolarını bas.....	59

Şekil 4.9 Düzen menüsü.....	60
Şekil 4.10 Tanımla menüsü.....	60
Şekil 4.11 Materyal formu.....	61
Şekil 4.12 Çubuk özellikleri formu.....	61
Şekil 4.13 Yükleme durumu formu.....	62
Şekil 4.14 Talep spektrum fonksiyonu .....	62
Şekil 4.15 Talep spektrum durumu.....	63
Şekil 4.16 Çizim menüsü.....	63
Şekil 4.17 Uygula menüsü.....	64
Şekil 4.18 Düğüm serbestlikleri.....	64
Şekil 4.19 Düğüm noktasındaki yaylar .....	65
Şekil 4.20 Kesit ata.....	65
Şekil 4.21 Düğüm yükleri.....	66
Şekil 4.22 Yayılı yükleme.....	66
Şekil 4.23 Moment ve noktasal yükleme.....	67
Şekil 4.24 Çubuk sıcaklıkları yüklemesi.....	67
Şekil 4.25 Görünüm menüsü.....	68
Şekil 4.26 Önceki görünüş açısı ayarları.....	71
Şekil 4.27 Analiz menüsü.....	72
Şekil 4.28 Analiz opsiyonları.....	72
Şekil 4.29 Görüntüle opsiyonları.....	73
Şekil 4.30 Veri ekranı.....	73
Şekil 4.31 Yardım menüsü.....	76
Şekil 4.32 İpucu örneği.....	77
Şekil 4.33 Program hakkında.....	77
Şekil 5.1 Uzay çerçeve sistemin SAP2000 modeli.....	80
Şekil 5.2 Uzay çerçeve sistemin STATIKER modeli.....	84
Şekil 5.3 Uzay çerçeve sistemin veri ekranı.....	85
Şekil 5.4 Uzay çerçeve sistemin kolonlarının SAP2000'deki kesit ekranı.....	90
Şekil 5.5 Uzay çerçeve sistemin çerçeve elemanlarının SAP2000'deki kesit ekranı.....	90
Şekil 5.6 Uzay kafes sistemin SAP2000 modeli.....	91
Şekil 5.7 Uzay kafes sistemin STATIKER modeli.....	95
Şekil 5.8 Uzay kafes sistemin veri ekranı.....	96
Şekil 5.9 Düzlem çerçeve sistemin çubuklarının SAP2000'deki kesit ekranı.....	100
Şekil 5.10 Düzlem çerçeve sistemin SAP2000 modeli.....	102
Şekil 5.11 Düzlem çerçeve sistemin STATIKER modeli.....	103
Şekil 5.12 Düzlem çerçeve sistemin veri ekranı.....	103
Şekil 5.13 Düzlem kafes sistemin çubuk elemanlarının SAP2000'deki kesit ekranı.....	107
Şekil 5.14 Düzlem kafes sistemin SAP2000 modeli.....	107
Şekil 5.15 Düzlem kafes sistemin STATIKER modeli.....	110
Şekil 5.16 Düzlem kafes sistemin veri ekranı.....	110

## TABLOLAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 2.1</b> Taşıyıcı sistemin kodlama tablosu.....	27
<b>Tablo 2.2</b> Sistem rijitlik matrisi.....	27



## 1. GİRİŞ

Sonlu Elemanlar yöntemindeki gelişmeler yapı mühendisliğindeki karmaşık problemlerin çözümünü büyük oranda kolaylaştırmış ve daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmesini sağlamıştır. Sonlu Elemanlar Yönteminde genel yaklaşım bir bütünün sonlu elemanlara bölerek, elde edilen sonlu elemanları ayrı ayrı incelenip bu elemanların süperpozisyonuyla genel sistemin tarif edilmesi üzerine kuruludur.

Sonlu Elemanlar Yönteminin, klasik çözüm yöntemlerinden en üstün tarafı her türlü yapı tipinin bu yöntemle modellenip çözümlenebilmesidir. Diğer bir üstün tarafı ise yöntemde doğru şekil fonksiyonlarının seçiminden sonra formülasyonun matris formunda yazılabilesidir. Bu sayede formülasyon ve matrisler belli bir sırayla yazılarak yapı sistemleri çözülebilmektedir. Bu işlem sırası Rijitlik Matrisi Yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Yöntemin matris formunda yazılabilmesi onu programlamaya da elverişli kılmaktadır.

Sonlu Elemanlar yönteminin programlaya elverişli olması bu konuda birçok çalışmanın yapılmasına ve yöntemi esas alan paket programların hazırlanmasına vesile olmuştur. Yöntemin ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi sonucunda yapı sistemlerin üç boyutlu doğrusal ve de doğrusal olmayan statik ve dinamik analizi yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalara aşağıdaki örnekleri gösterebiliriz.

Kaplan, (1988), “Dış yük, Isı Değişimi ve Bilinen Deplasmanlar Olması Halinde Rijitlik Matrisi Yöntemi ile Düzlem Çerçeve Statik Analizi Yapan Bir Paket Programı” hazırlamıştır. Yine Şenel (1999) yılındaki Tez çalışmasında “Üç Boyutlu Sistemlerin Rijitlik Matrisi Yöntemi ile Çözümünü Yapan Bir Paket Program” hazırlamıştır. Bunlara ek olarak ülkemizde bu konuda ticari maksatla hazırlanan İdeCad, Sta4Cad ve ProBina programları yine bu yöntemi kullanarak geliştirilmiştir programlardır. Uluslararası alanda kabul görmüş bir analiz programıda, Wilson ve Habibullah tarafından, sonlu elemanlar yöntemi esas alınarak hazırlanan Sap80 (Structural Analysis Program) programı günümüzde geliştirilmeye devam edilmekte ve son olarak Sap2000 10 versiyonu çıkartılmıştır.

Bu tez çalışmasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak açık kaynak kodlu 3 boyutlu statik ve dinamik analiz yapan bir paket program geliştirilmiştir. Hazırlanan paket programda “Görsel Programlama” tekniği kullanılmıştır. “Görsel Programlama” tekniği sayesinde kullanıcı grafik ekranda model oluşturabilmekte ve bu görüntü üzerinde uzaklaştırma, yakınlaştırma, görüntüyü taşıma, modeli 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak farklı açılardan görüntüleme gibi özellikleri gerçekleştirebilmektedir. Grafik ekrandaki diğer önemli bir özellik ise malzeme tanımlama, kesit tanımlama, kesit atama, düğüm serbestliklerini değiştirebilme, düğüm ve çubuk elemanlara yük atayabilme gibi birçok özelliği barındırmasıdır. Grafik ekranın tasarımında Sap2000 programı örnek alınmıştır. Bu sayede kullanıcıların programın kullanımına adapte olmasının kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Ticari amaçla hazırlanan diğer paket programlardan farklı olarak ise rijitlik matrisi, dönüşüm matrisi, sistem rijitlik matrisi, kodlama tablosu ve sistem kütle matrisi gibi analiz sürecindeki işlemleri göstererek konuyla ilgili mühendis ve mühendislik öğrencilerine yöntemin teorisi ve uygulanışı konusunda bilgi vermektedir. Hazırlanan tezin diğer çalışmalardan önemli bir farkı da 3 Boyutlu Modal Analiz üzerine hazırlanan bölümüdür. 3 boyutlu Modal Analiz le ilgili fazla kaynağın olmayışından ötürü bu çalışma dahilinde hazırlanan programın kaynak kodunun sunulmasıyla konuyla ilgili literatüre küçük de olsa bir katkı sağlanmıştır.

Hazırlanan paket programla farklı yapı tipleri çözümlenerek Sap2000 programıyla karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında %1 lik bir fark gözlemlenmiştir.

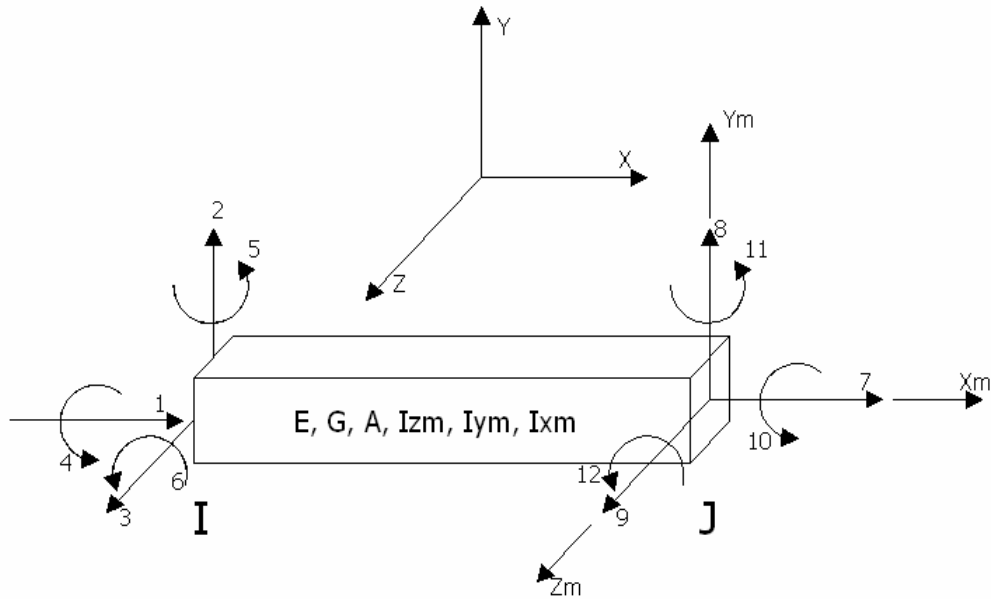
Yapılan tez çalışmasında sunulan açık kaynak kodla programın geliştirilmesinin sürdürülebilir olması ve Türkçe gelişmiş bir açık kodlu yapı analiz programının ilk adımlarının atılması hedeflenmiştir. Paket programın bu haliyle mühendis ve mühendislik öğrencilerine yöntemin teorisini kavramlarında ve yapacakları çalışmalarda onlara yardımcı olacağı umulmaktadır.

## 2. RİJİTLİK MATRİSİ YÖNTEMİ

### 2.1. Giriş

Yapı statüğinde, taşıyıcı sistemler beş ana grupta toplanmaktadır. Bunlar sırasıyla düzlem kafes kirişler, düzlem çerçeveler, düzlem ızgaralar, uzay kafes taşıyıcılar ve uzay çerçeve sistemlerdir. Bu ayrıştırma taşıyıcı sistemi teşkil eden düğüm noktalarının serbestlik derecesine ve uzayda işgal ettiği geometrik konuma bağlıdır. Gerçekte taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlar üç boyutludur ve uzay (üç boyutlu) çerçeve sistemlerle diğer guruplardaki taşıyıcı sistemlerin modellenmesi de mümkündür.

Hazırlanan tezin içeriği gereği bu bölümde sadece uzay çerçevelere ait rijitlik matrisi yöntemine ait bilgiler verilecektir. Şekil 2.1’de uzay çerçeve elemanına ait hareket serbestlik dereceleri ve eksen kabulleri sunulmuştur.



**Şekil 2.1** Uzay çerçeve elemanına ait hareket serbestlik dereceleri ve eksen kabulleri.

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere çubuk eleman I ve J düğümlere bağlanmakta ve her düğüm noktasında 3 ötelenme ve 3 de dönme olmak üzere toplam 6 adet serbestlik bulunmaktadır. Dolayısıyla bir uzay çubuk elemanında 12 serbestlik derecesi vardır. Bu serbestlikler “deplasman” olarak adlandırılacaktır.

Şekil 2.1 üzerindeki  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  global koordinatlar,  $X_m, Y_m$  ve  $Z_m$  lokal koordinat takımlarını ifade etmektedir. Çubuğa ait koordinat takımları ve lokal koordinat takımları arasındaki dönüşüm ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

Çubuğa ait malzeme özelliklerini ifade eden diğer simgelerin karşılığı ise şöyledir

$E$  = Elastisite Modülü

$G$  = Kayma Modülü

$\nu$  = Poison Oranı

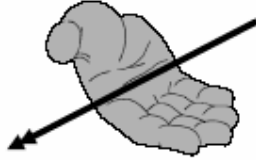
$A$  = Kesit Alanı

$I_{z_m} = Z_m$  yönündeki atalet momenti

$I_{y_m} = Y_m$  yönündeki atalet momenti

$I_{x_m} = X_m$  yönündeki burulma atalet momenti.

Ötelenme ve dönmelerin pozitif yönleri belirlenirken sağ el vida kuralı geçerli olacaktır (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2** Sağ el vida kuralı

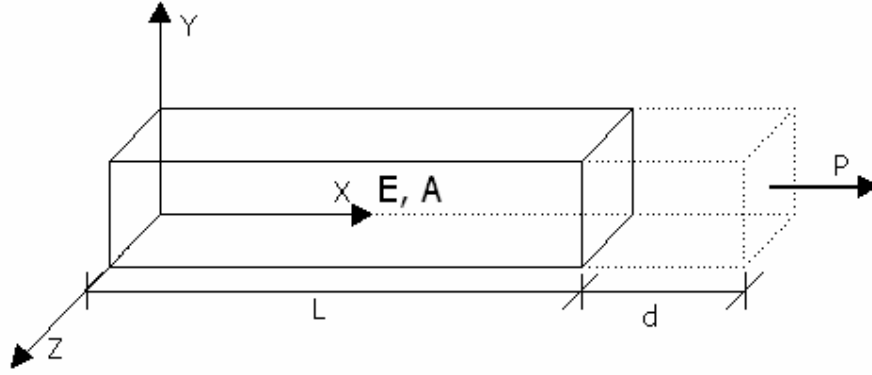
Rijitlik matrisi yöntemi, sonlu elemanlar yönteminin bir uygulamasıdır. Sonlu elemanlar yönteminde, eleman üzerinde gerçekte sonsuz sayıda düğüm noktası vardır ve bu düğüm noktalarının birleştirilmesiyle taşıyıcı sistem oluşturulur. Yüklerin değiştiği ya da eksenlerin değiştiği noktalar düğüm kabul edilerek sonsuz sayıdaki düğüm sonlu sayıya indirgenir. Sonlu sayıya indirgenen bu düğüm noktalarının dengede olabilmesi için, düğümlerde denge ve süreklilik (uygunluk) denklemlerinin sağlanması gerekir.

Düğümlerde denge: Düğümde birleşen çubukların uç kuvvetleri (düğüme aktardıkları kuvvetler) ile düğüme etkiyen dış yükler dengede olmalıdır.

Süreklilik (uygunluk şartı): Aynı düğümde birleşen çubukların, düğümdeki uçları, aynı ötelenme ve dönmeleri yapacaktır. Yani bir düğümdeki dönme ve ötelenmeler biliniyorsa, o düğüme bağlı olan çubukların uçlarındaki ötelenme ve dönmelerde biliyor olacaktır. Çünkü ilgili düğümdeki tüm çubuklar aynı ötelenme ve dönmelere maruz kalacaktır. Bu duruma süreklilik şartı denilmektedir (Kaplan 1999).

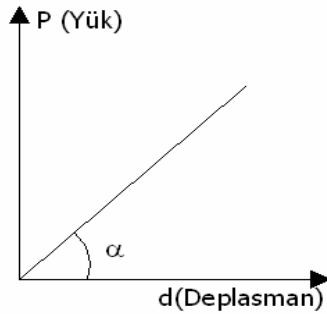
## 2.2. Rijitlik Kavramı ve Rijitlik Denklemi

Herhangi bir cisim üzerine etkililen yük karşısında malzeme özelliğine bağlı olarak deformasyon yapacaktır (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3** Uzay çerçeve kirişin bir yük altındaki deformasyonu

Burada elemanın etkililen yüke karşı gösterdiği direnç veya deformasyon yapabilme yeteneği “Rijitlik” olarak tanımlanır. Uygulanan yük ve deplasman arasında lineer elastik kabul edilen malzeme ve Hook yasasına göre doğrusal bir ilişki vardır (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4** Yük-Deplasman eğrisi

Yük- Deplasman eğrisinin eğiminden

$$\tan\alpha = P / d \text{ veya } K = P / d \longrightarrow P = K*d \quad (2.1)$$

yazılabilir. Burada K rijitlik, d deplasman ve P ise yük olmaktadır.

Cisim rijit ise deplasman sıfır olacağından K sonsuza gidecektir. Cismin rijitliği sıfır ise d sonsuza gidecektir.

$$\left. \begin{array}{l} K \rightarrow \infty \\ D \rightarrow 0 \end{array} \right\} \text{sonsuz rijit}$$

$$\left. \begin{array}{l} K \rightarrow 0 \\ D \rightarrow \infty \end{array} \right\} \text{çok yumuşak}$$

Rijitlik kavramı malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu tanıma göre Şekil 2.2.den;

$$d = (P*L) / (E*A) \quad (2.2)$$

şeklinde yazabiliriz. Buradan;

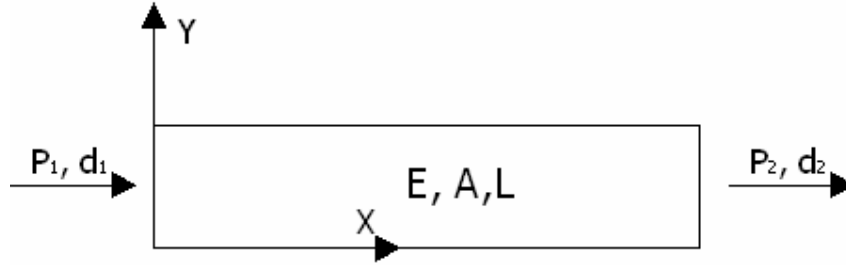
$$\left. \begin{array}{l} P = (E*A)/L * d \\ \end{array} \right\} K = E*A/L \quad (2.3)$$

$$P = K*d$$

olacaktır.

Rijitlik terimini  $K=P/d$  olarak ifade edilmişti. Uzay çerçeve çubuğu rijitlik katsayılarının bulunmasında K artık  $K_{ij}$  olarak tarif edilecektir. Bu gösterim rijitlik matrisi yönteminin akışında bize büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

$K_{ij}$  gösterimi rijitlik katsayısının eleman rijitlik matrisindeki yerinde tarif eder. Şöyleki  $K_{ij}$  terimindeki (i) satır, (j) ise matristeki sütun yerini tarif eder. Bu tarife göre düzlem kafes çubuğu Şekil 2.5 üzerinde rijitlik denklemini matris formunda yazalım.



Şekil 2.5 Düzlem kafes çubuğu

Şekil 2.5’de gösterilen düzlem kafes çubuğunda  $P_1$ ,  $P_2$  çubuk uç kuvvetlerini,  $d_1$ ,  $d_2$  ise çubuk uç deplasmanlarını ifade etmektedir. Düzlem kafes çubuk için rijitlik denklemini;

$$P_1 = k_{11} d_1 + k_{12} d_2 \quad (2.4)$$

$$P_2 = k_{21} d_1 + k_{22} d_2 \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem matris formunda;

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{Bmatrix}$$

(2.6)

şeklinde yazılabilir. Aynı ifadeyi kapalı formda

$$\{p\} = [k] \{d\} \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$\{p\}$ : uç kuvvetleri vektörü,

$\{d\}$ : deplasman vektörü,

$[k]$ : rijitlik matrisidir.

Görüldüğü gibi, rijitlik matrisi çubuğun uç deplasmanlarını, aynı doğrultusundaki uç kuvvetlerine bağlayan bir parametre rolündedir.

Burada kuvvetin tatbik edildiği yerdeki okun numarası (i) ile ve birim deplasmanın bulunduğu yerdeki okun numarası da (j) ile gösterirsek, bir taşıyıcı elamanın  $K_{ij}$  rijitlik katsayısını şu şekilde tarif edebiliriz (Tezcan 1970).

$K_{ij}$ : Taşıyıcı elemanın tarif edilmiş bütün serbestlik dereceleri doğrultusundaki deplasmanlar sıfır iken, yalnız “j” oku doğrultusunda birim deplasman meydana getirebilmek için gene “i” doğrultusunda elemana dıştan uygulanması gereken kuvvet.

$K_{ii}$ : Taşıyıcı elemanın tarif edilmiş bütün serbestlik dereceleri doğrultusundaki deplasmanlar sıfır iken, yalnız “i” oku doğrultusunda birim deplasman meydana getirebilmek için gene “i” doğrultusunda elemana dıştan uygulanması gereken kuvvet.

Taşıyıcı elemanın geometrisi ve elastik parametreleri ile bu  $K_{ij}$  değerlerine, birim deplasmanlarla ilgili olmalarından dolayı rijitlik katsayıları denmektedir. Bu katsayılar tamamen bağımsız değildirler. Aralarında statik denge denklemlerini sağladıkları gibi, Betti-Maxwell’in karşılıklı prensibi gereğince de  $k_{ij}=k_{ji}$  dir. Yani eleman rijitlik matrisi köşegen göre simetriktir (Şenel 1999).

Düzlem kafes çubuğu birinci serbestlik doğrultusu tutulur ve ikinci doğrultuda birim deplasman düşünülürse, denklem (2.5) te  $d=1$  yazılarak bu duruma karşılık gelen rijitlik katsayıları

$$k_{22}= E*A/L \text{ ve } k_{12} = -E*A/L \quad (2.8)$$

şeklinde bulunur. Aynı şekilde ikinci doğrultuda hareketten mahrum bırakılır ve çubuğa birinci doğrultuda birim bir deplasman verilirse, denklem (2.4) te  $d=1$  yazılarak bu duruma karşılık gelen rijitlik katsayıları

$$k_{11}= E*A/L \text{ ve } k_{21} = -E*A/L \quad (2.9)$$

olarak bulunur.



Denklem (2.8) ve (2.9) elde edilen ifadeler, denklem (2.6) da yerine konulduğunda düzlem kafese ait yerel koordinatlardaki rijitlik matrisi;

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} \\ \frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad \text{veya, } [k] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (2.10)$$

şeklinde elde edilir.

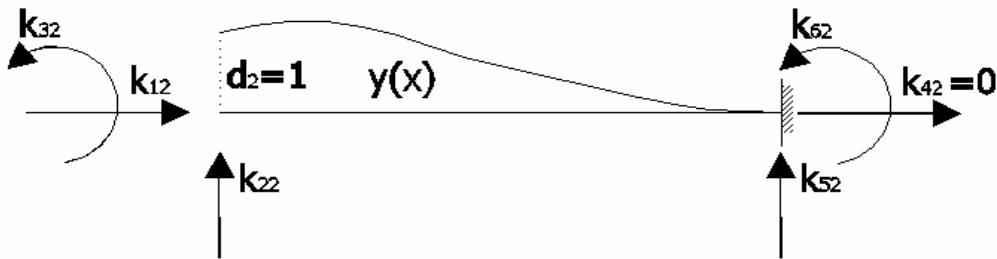
### 2.3. Uzak Çerçeve Çubuğun Rijitlik Katsayıları

Rijitlik katsayılarının tarifine göre  $K_{ij}$  terimi elde etmek için,  $j$  doğrultusunda birim bir deformasyon düşünülmesi ve diğer deformasyonların sıfır olduğu bu hale ait, elastik eğrinin şeklini muhafaza etmek için gereken kuvvetler hesaplanmalıdır. Yani, tarif edilmiş bütün deformasyon doğrultuları teker teker ele alınmalı ve her seferinde bunlara birim deformasyon vererek uç kuvvetleri hesaplanmalıdır. Bu işlemi yapmak için farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar;

- Enerji yöntemi, enerjinin minimasyonu
- Elastik eğrinin denklemi ile ilgili diferansiyel denklem
- Birim deplasman verilmesi
- Birim yükleme (Esneklik matrisi) ile

şeklinde. Burada örnek olması amacıyla dört farklı eğri üzerinde “Elastik eğrinin denklemi ile ilgili diferansiyel denklem yöntemi” kullanılarak rijitlik katsayılarının elde edilişi aşağıda sunulmuştur (Kaplan 2005).

#### 2.3.1. $d_2=1$ durumu



Şekil 2.6  $d_2=1$  durumu

Şekil 2.6'dan anlaşılacağı üzere eğri, üçüncü dereceden bir eğridir. Bu eğriye ait katsayıları belli olmayan bir denklem (Denklem 2.11) yazalım ve bu duruma ait sınır şartlarına göre çözümünü yapalım.

$$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (2.11)$$

$$\text{Sınır şartları} = y(0) = 1$$

$$y'(0) = 0$$

$$y(1) = 0$$

$$y'(1) = 0$$

$$y(0) = 1 \implies A \cdot 0^3 + B \cdot 0^2 + C \cdot 0 + D = 1 \implies D = 1$$

$$y'(0) = 0 \implies 3A \cdot 0^2 + 2B \cdot 0 + C = 0 \implies C = 0$$

$$y(1) = 0 \implies AL^3 + BL^2 + CL + D = 0$$

$$y'(1) = 0 \implies 3AL^2 + 2BL + C = 0$$

$$-3/L \quad / \quad AL^3 + BL^2 + 1 = 0$$

$$3AL^2 + 2BL = 0$$

$$\text{-----}$$

$$-3AL^2 - 3BL = 3/L$$

$$3AL + 2BL = 0$$

$$\text{-----}$$

$$-BL = 3/L \implies B = -3/L^2$$

$$AL^3 + (-3/L^2) \cdot L^2 + 1 = 0$$

$$AL^3 = 2 \implies A = 2/L^3$$

$$A = 2/L^3 \quad B = -3/L^2 \quad C = 0 \quad D = 1$$

$$y(x) = (2/L^3)x^3 + (-3/L^2)x^2 + 0 \cdot x + 1$$

$$y(x) = 2x^3/L^3 - 3x^2/L^2 + 1$$

$$N(x) = 2x^3/L^3 - 3x^2/L^2 + 1$$

$$M = -EI y''$$

$$V = -EI y'''$$

$$x=0 \implies k_{32} = -EI y''(0)$$

$$x=0 \implies k_{22} = EI y'''(0)$$

$$x=1 \implies \} \quad k_{62} = EI y''(0)$$

$$x=1 \implies \} \quad k_{52} = -EI y'''(0)$$

$$y'(x) = 6x^2/L^3 - 6x/L^2$$

$$y''(x) = 12x/L^3 - 6/L^2$$

$$y'''(x) = 12/L^3$$

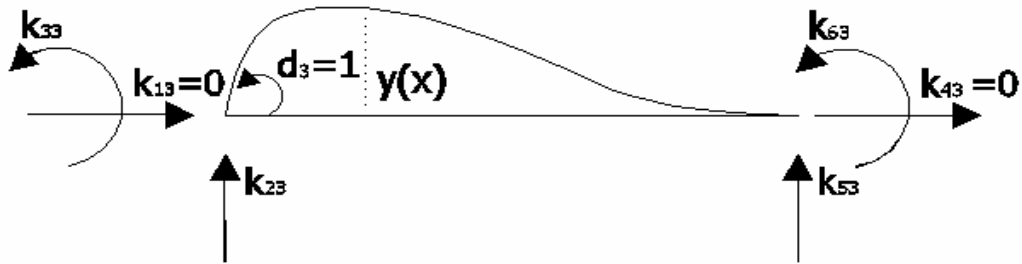
$$x = 0 \implies \} \quad k_{32} = -EI y''(0) = -EI (12 \cdot 0 / L^3 - 6 / L^2) = 6 EI / L^2 \quad (2.12)$$

$$x = 0 \implies \} \quad k_{22} = EI y'''(0) = EI (12 \cdot 0 / L^3) = 12 EI / L^3 \quad (2.13)$$

$$x = 1 \implies \} \quad k_{62} = EI y''(1) = EI (12L / L^3 - 6 / L^2) = 6 EI / L^2 \quad (2.14)$$

$$x = 1 \implies \} \quad k_{52} = -EI y'''(1) = -EI (12 / L^3) = -12 EI / L^3 \quad (2.15)$$

### 2.3.2. $d_3=1$ durumu



Şekil 2.7  $d_3=1$  durumu

$$y(x) = -Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (2.16)$$

$$\text{Sınır şartları } y(0) = 0$$

$$y'(0) = 1$$

$$y(1) = 0$$

$$y'(1) = 0$$

$$y(0) = 0 \implies \} \quad A \cdot 0^3 + B \cdot 0^2 + C \cdot 0 + D = 0 \implies \} \quad D = 0$$

$$y'(0) = 1 \implies \} \quad 3A \cdot 0^2 + 2B \cdot 0 + C = 1 \implies \} \quad C = 1$$

$$y(1) = 0 \implies \} \quad AL^3 + BL^2 + CL + D = 0$$

$$y'(1) = 0 \implies \} \quad 3AL^2 + 2BL + C = 0$$

$$\begin{array}{r}
 -3/L \quad / \quad AL^3 + BL^2 + 1 = 0 \\
 \quad \quad \quad 3AL^2 + 2BL + 1 = 0 \\
 \hline
 \quad \quad \quad -3AL^2 - 3BL = 3 \\
 \quad \quad \quad 3AL^2 + 2BL = -1 \\
 \hline
 \quad \quad \quad -BL = 2 \quad == \} \quad B = -2/L
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 AL^3 - 2/L \cdot L^2 + 1 = 0 \\
 AL^3 - 2L = 0 \quad == \} \quad A = 1/L^2 \\
 A = 1/L^2 \quad B = -2/L \quad C = 1 \quad D = 0 \\
 y(x) = (1/L^2)x^3 + (-2/L)x^2 + 1 \cdot x + 0 \\
 N_2(x) = x^3/L^2 - 2x^2/L + x
 \end{array}$$

$$M = -EI y''$$

$$V = -EI y'''$$

$$x=0 \quad == \} \quad k_{33} = -EI y''(0)$$

$$x=0 \quad == \} \quad k_{23} = EI y'''(0)$$

$$x=1 \quad == \} \quad k_{63} = EI y''(1)$$

$$x=1 \quad == \} \quad k_{53} = -EI y'''(1)$$

$$y'(x) = 3x^2/L^2 - 4x/L + 1$$

$$y''(x) = 6x/L^2 - 4/L$$

$$y'''(x) = 6/L^2$$

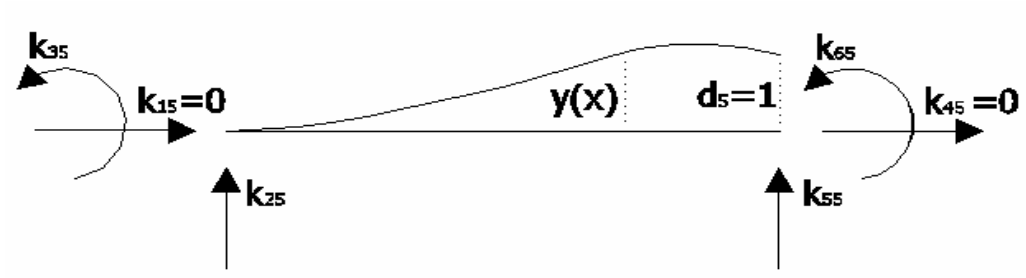
$$x = 0 \quad == \} \quad k_{33} = -EI (6 \cdot 0 / L^2 - 4/L) = 4 EI / L \quad (2.17)$$

$$x = 0 \quad == \} \quad k_{23} = EI (6/L^2) = 6 EI / L^2 \quad (2.18)$$

$$x = 1 \quad == \} \quad k_{63} = EI (6L/L^2 - 4/L) = 2 EI / L \quad (2.19)$$

$$x = 1 \quad == \} \quad k_{53} = -EI (6/L^2) = -6 EI / L^2 \quad (2.20)$$

### 2.3.3. $d_5=1$ durumu



Şekil 2.8  $d_5=1$  durumu

$$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (2.21)$$

$$\text{Sınır şartları } y(0) = 0$$

$$y'(0) = 1$$

$$y(1) = 0$$

$$y'(1) = 0$$

$$y(0) = 0 \implies \} A \cdot 0^3 + B \cdot 0^2 + C \cdot 0 + D = 0 \implies \} D = 0$$

$$y'(0) = 1 \implies \} 3A \cdot 0^2 + 2B \cdot 0 + C = 1 \implies \} C = 1$$

$$y(1) = 0 \implies \} AL^3 + BL^2 + CL + D = 0$$

$$y'(1) = 0 \implies \} 3AL^2 + 2BL + C = 0$$

$$-3/L \quad / \quad AL^3 + BL^2 = 1$$

$$3AL^2 + 2BL = 0$$

$$\text{-----}$$

$$-3AL^2 + 3BL = -3/L$$

$$3AL^2 + 2BL = 0$$

$$\text{-----}$$

$$-BL = -3/L \implies \} B = 3/L^2$$

$$AL^3 + 3/L^2 \cdot L^2 = 1$$

$$AL^3 = -2 \implies \} A = -2/L^3$$

$$A = -2/L^3 \quad B = 3/L^2 \quad C = 1 \quad D = 0$$

$$y(x) = (-2/L^3)x^3 + (3/L^2)x^2 + 0 \cdot x + 0$$

$$N_3 = 3x^2/L^2 - 2x^3/L^3$$

$$M = -EI y''$$

$$V = -EI y'''$$

$$x=0 \Rightarrow \} \quad k_{35} = -EI y''(0)$$

$$x=0 \Rightarrow \} \quad k_{25} = EI y'''(0)$$

$$x=1 \Rightarrow \} \quad k_{65} = EI y''(1)$$

$$x=1 \Rightarrow \} \quad k_{55} = -EI y'''(1)$$

$$y'(x) = 6x/L^2 - 6x^2/L^3$$

$$y''(x) = 6/L^2 - 12x/L^3$$

$$y'''(x) = -12/L^3$$

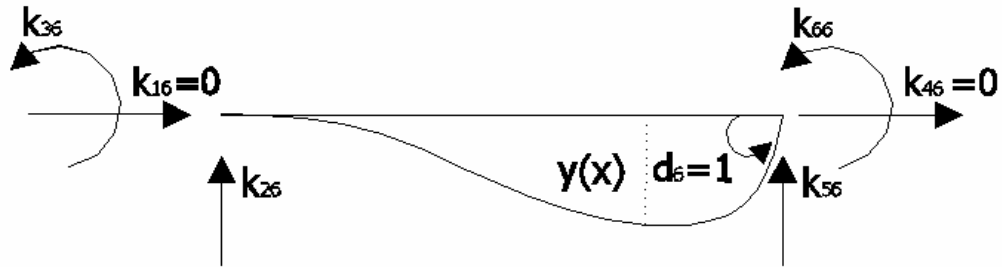
$$x = 0 \Rightarrow \} \quad k_{35} = -EI (6/L^2 - 6x^2/L^3) = -6EI/L^2 \quad (2.22)$$

$$x = 0 \Rightarrow \} \quad k_{25} = EI (-12/L^3) = -12EI/L^3 \quad (2.23)$$

$$x = 1 \Rightarrow \} \quad k_{65} = EI (6/L^2 - 12L/L^3) = -6EI/L^2 \quad (2.24)$$

$$x = 1 \Rightarrow \} \quad k_{55} = -EI (-12/L^3) = 12EI/L^3 \quad (2.25)$$

#### 2.3.4. $d_6=1$ durumu



Şekil 2.9  $d_6=1$  durumu

$$y(x) = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (2.26)$$

$$\text{Sınır şartları } y(0) = 0$$

$$y'(0) = 0$$

$$y(1) = 0$$

$$y'(1) = 1$$

$$y(0) = 0 \implies \{ A \cdot 0^3 + B \cdot 0^2 + C \cdot 0 + D = 0 \implies \} D = 0$$

$$y'(0) = 0 \implies \{ 3A \cdot 0^2 + 2B \cdot 0 + C = 0 \implies \} C = 0$$

$$y(1) = 0 \implies \{ AL^3 + BL^2 + CL + D = 0$$

$$y'(1) = 0 \implies \{ 3AL^2 + 2BL + C = 1$$

$$-3/L \quad / \quad AL^3 + BL^2 = 0$$

$$3AL^2 + 2BL = 1$$

$$\text{-----}$$

$$-3AL^2 + 3BL = 0$$

$$3AL^2 + 2BL = 1$$

$$\text{-----}$$

$$-BL = 1 \implies \} B = -1/L$$

$$AL^3 + L^2/L = 0$$

$$AL^3 = L \implies \} A = 1/L^2$$

$$A = 1/L^2 \quad B = -1/L \quad C = 0 \quad D = 0$$

$$y(x) = x^3/L^2 + x^2/L + 0 \cdot x + 0$$

$$N_4 = x^2/L^2 - x^2/L$$

$$M = -EI y''$$

$$V = -EI y'''$$

$$x=0 \implies \} k_{36} = -EI y''(0)$$

$$x=0 \implies \} k_{26} = -EI y'''(0)$$

$$x=1 \implies \} k_{66} = EI y''(1)$$

$$x=1 \implies \} k_{56} = -EI y'''(1)$$

$$y'(x) = 3x^2/L^2 - 2x/L$$

$$y''(x) = 6x/L^2 - 2/L$$

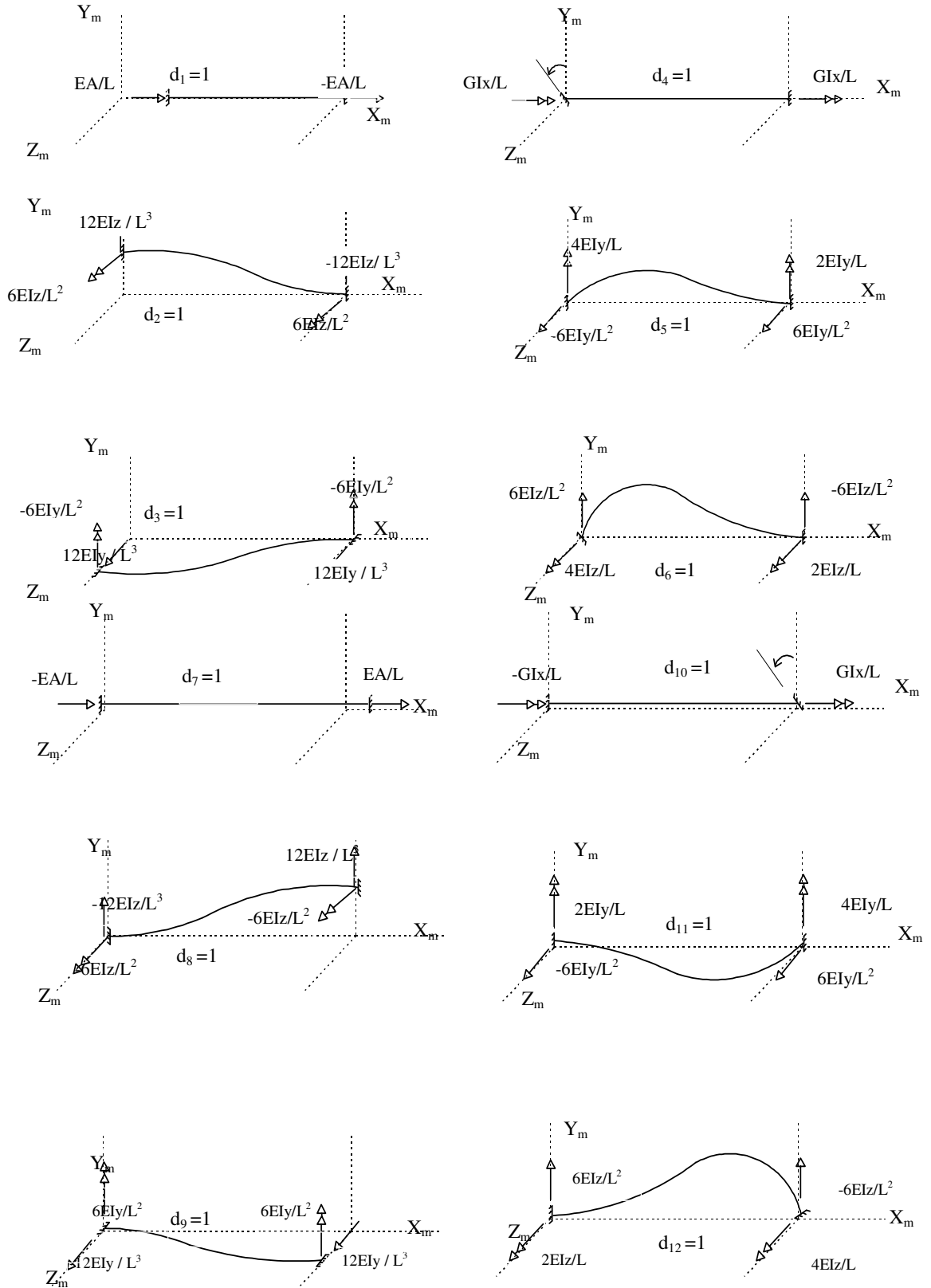
$$y'''(x) = 6/L^2$$

$$x = 0 \implies \} k_{36} = -EI (6 \cdot 0 / L^2 - 2/L) = 2EI / L \quad (2.27)$$

$$x = 0 \implies \} k_{26} = EI (6 / L^2) = 6EI / L^2 \quad (2.28)$$







Şekil 2.10 Uzak çerçeve çubuğu için rijitlik katsayıları.

Görüldüğü gibi rijitlik katsayıları, çubuğun uç deplasmanlarını, uçlardaki kesit tesirlerine bağlayan, malzemenin geometrisi ve elastik özellikleri ile ilgili katsayılardır. Denklem (2.31) de verilen rijitlik denklemi matris formunda;

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & k_{1\ 12} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ k_{12\ 1} & k_{122} & k_{123} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & k_{12\ 12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_{12} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_{12} \end{Bmatrix} \quad (2.32)$$

şeklinde yazılabilir. Kapalı formda;

$$\{p\}_{12 \times 1} = [k]_{12 \times 12} \{d\}_{12 \times 1} + \{f\}_{12 \times 1} \quad (2.33)$$

Burada  $\{P\}$ =uç kuvvetleri vektörü,  $\{d\}$ = uç deplasmanları vektörü,  $\{f\}$ =ankastrelik uç kuvvetleri vektörü,  $[k]$ = çubuk rijitlik matrisidir. Sisteme etki eden dış yükler (düğüm yükleri haricinde) biliniyor ise, bu tesirlerin düğümlere olan etkileri uygun formüllerle hesaplanarak,  $\{f\}$  ankastrelik uç kuvvetleri vektörü hesaplanır. Bunun yanında, uç deplasmanları,  $\{d\}$  bilinince,  $[k]$  rijitlik matrisi ile  $\{d\}$  vektörünün çarpımından, aranan  $\{p\}$  uç kuvvetleri vektörü hesaplanır. Çubuk uç kuvvetlerinin tam değerinin hesabı için elde edilen bu çarpıma  $\{f\}$  vektörü ilave edilmelidir.

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

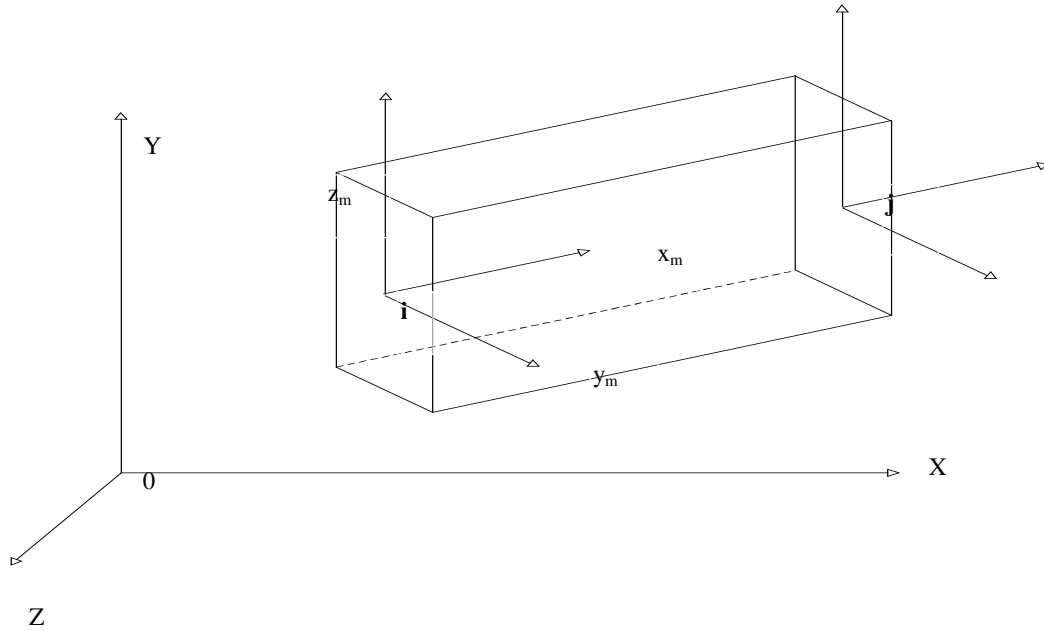
Denklem (2.34)

## 2.4. Uzak Sistemler İçin Koordinat Dönüşümü

Uzayda bir yer teşkil eden çerçeve çubuklarının birbirinden bağımsız eksen takımları vardır. Bu eksen takımlarının tanımında her hangi bir kaide olmadığından elemanlar için istenilen eksen takımı seçilebilir. Seçilen eksen takımına göre atalet momenti farklı değerler alacağından seçim yapıldıktan sonra yapılacak işlemlerde eksen takımı değiştirilemez. Benzer şekilde bir elemana ait rijitlik denklemi de bağlı olduğu eksen takımına göre değişir. Taşıyıcı sistemi meydana getiren çubuk elemanları, birbirinden bağımsız bir eksen takımına sahip olduklarından, sistemi ortak bir eksen takımına dönüştürerek çözüm yapmak gerekir. Burada çubuk elemana ait eksen takımına “Lokal eksen takımı”, çubuk eksen takımından bağımsız bütün sistemi kapsayan, sağ el vida kaidesine uygun olarak seçilen karşılıklı birbirine dik eksen takımına ise “Global eksen takımı” denir.

### 2.4.1. Lokal koordinatlar: Lokal eksen takımı

Çubuğun kendi eksenini ile bu eksene dik en kesitteki asal atalet momenti eksenlerinden oluşan ve sağ el vida kuralına uyan  $x_m$ ,  $y_m$ ,  $z_m$  koordinat takımına çubuk *lokal eksen takımı* denir. Çubuğu en kesitteki ağırlık merkezlerini birleştiren boyuna eksen  $x_m$ , büyük ve küçük atalet eksenleri de  $y_m$  ve  $z_m$  ile gösterilir ( Şekil 2.11 ).



Şekil 2.11 Uzay çerçeve çubuğu eksen takımları

Uzay bir çerçeve çubuğunda hangi atalet ekseninin  $Y_m$  veya  $Z_m$  olarak seçileceğine dair bir kaide yoktur. Fakat bir seçim yapıldıktan sonra takip eden işlemlerde de seçilen atalet eksenine tekabül eden atalet momenti değeri kullanılmalıdır.

Çubuk lokal eksenleri çubuğun ötelenmesi ile ötelenir ve çubuğun dönmesi ile dönerler. Sistemi oluşturan bir çubuğun eksen takımı ile diğer bir çubuğun eksen takımı arasında hiç bir beraberlik yoktur. Çubuklar sistem içinde farklı farklı konumlarda bulunabilirler.

#### 2.4.2. Sistem koordinatları: Global eksen takımı

Taşıyıcı sistemin denge denklemlerini yazabilmek ve bir düğüm noktasında birleşen çubukların uç kuvvet ve deplasmanlarını tek bir koordinat takımına döndürebilmek maksadı ile bütün sistemi kapsayan, sağ el vida kaidesine uygun olarak seçilen karşılıklı birbirine dik  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  eksenlerine *global eksen takımı* denir. Müşterek eksenlerin doğrultuları çubuk eksenlerinden tamamen bağımsızdır ve çubuğun konumu ile ilgisi yoktur. Daima, sabit bir doğrultuları vardır (Tezcan 1970).

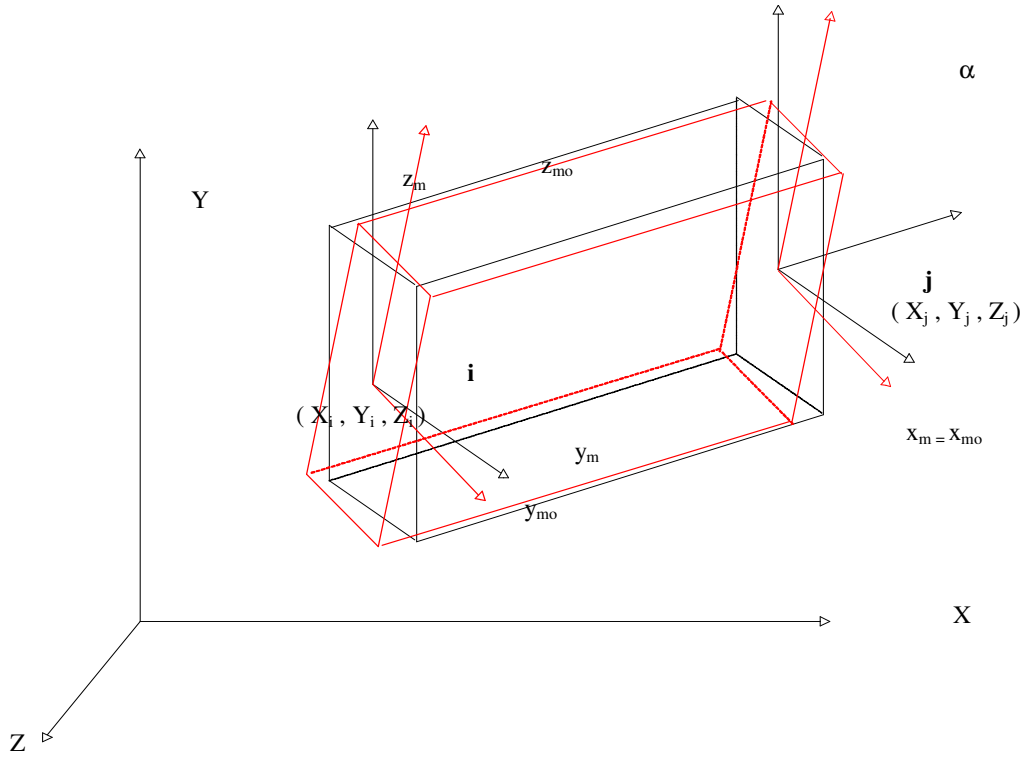
Bir çubuğun asal atalet eksenleri olan  $y_m$  ve  $z_m$  eksenlerinin en kesit düzlemi içindeki yerini belirleyebilmek için, en kesit içinde, dönmeden sabit duran yeni bir eksen takımına ihtiyaç vardır. Çünkü  $y_m$  ve  $z_m$  eksenleri en kesit düzlemi içinde, çubuk boy eksenini olan  $x_m$  etrafında  $360^\circ$  dönerek herhangi bir konumu işgal edebilirler. Bu özel konumu gösteren eksenler  $x_{m0}$ ,  $y_{m0}$  ve  $z_{m0}$  ile Şekil 2.12 'de gösterilmiştir.

Hangi eksen takımında çalışılırsa çalışılsın, koordinat eksenlerinin pozitif yönlerinde elde edilmiş olan uç kuvvetleri ve uç ötelenmeleri pozitif olur. Momentlerin ve dönmelerin işaretleri sağ el vida kuralına göre belirlenir.

#### 2.4.3. Uzay çerçeve çubuğun transformasyon matrisi

Uzay çerçeve çubuğunun her bir düğüm noktasında üç ötelenme ve üç dönme olmak üzere toplam altı serbestlik derecesi vardır. Dönme vektörleri ile ötelenme vektörleri

birbirleri ile ilgili değildir. Aynı şekilde kuvvet vektörleri de moment vektörlerinden bağımsızdır.



**Şekil 2.12** Uzak çerçeve çubuğu eksen takımları ( Özel konum )

Kuvvet vektörlerinin transformasyonu için;

$$\begin{Bmatrix} p_1' \\ p_2' \\ p_3' \end{Bmatrix} = [t] \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{Bmatrix} \quad (2.35)$$

ve momentlerin transformasyonu;

$$\begin{Bmatrix} P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{Bmatrix}_{X_m Y_m Z_m} = [t] \begin{Bmatrix} P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{Bmatrix}_{XYZ} \quad (2.36)$$

şeklinde yapılır. Bu iki transformasyon işlemi tek bir denklem takımı halinde yazılmak istenirse, köşegen dışı bloklar sıfır olmak üzere;

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{Bmatrix}_{x_m y_m z_m} = \begin{bmatrix} [t] & [0] \\ [0] & [t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{Bmatrix}_{XYZ} \quad (2.37)$$

ifadesi elde edilir. Bir uzay çerçeve çubuğunun uçlarındaki on iki adet hareket serbestisinin hepsinin birden, toplu halde transformasyonunu sağlayabilmek için

$$\{P\}_{x_m y_m z_m} = [T] \{P\}_{XYZ} \quad (2.38)$$

ifadesi kullanılır. Burada  $[T]$  'ye çubuk transformasyon matrisi denir. Transformasyon matrisi, köşegen boyunca,  $[t]$  dönüşüm alt matrislerini (doğrultu kosinüsleri matrislerini) içerir. Uzay çerçeve çubuğu için transformasyon matrisi  $[T]$ ;

$$[T] = \begin{bmatrix} [t] & [0] & [0] & [0] \\ [0] & [t] & [0] & [0] \\ [0] & [0] & [t] & [0] \\ [0] & [0] & [0] & [t] \end{bmatrix}_{12 \times 12} \quad (2.39)$$

şeklindedir.  $[t]$  dönüşüm alt matrisinin genel ifadesi, şekil 2.12 'de gösterilen ve  $x_m$  etrafında oluşan  $\alpha$  dönmesini de içerecek şekilde denklem 2.40' de verilmektedir.

$$[t] = \begin{bmatrix} Cx & Cy & Cz \\ \frac{-CxCy \cos \alpha - Cx \sin \alpha}{\sqrt{Cx^2 + Cz^2}} & \sqrt{Cx^2 + Cz^2} \cos \alpha & \frac{-CyCz \cos \alpha + Cx \sin \alpha}{\sqrt{Cx^2 + Cz^2}} \\ \frac{CxCy \sin \alpha - Cz \cos \alpha}{\sqrt{Cx^2 + Cz^2}} & -\sqrt{Cx^2 + Cz^2} \sin \alpha & \frac{CyCz \sin \alpha + Cx \cos \alpha}{\sqrt{Cx^2 + Cz^2}} \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

Burada L uzay çerçeve çubuğunun boyu olmak üzere, Cx, Cy ve Cz ifadeleri;

$$\begin{aligned} C_x &= \frac{X_j - X_i}{L} \\ C_y &= \frac{Y_j - Y_i}{L} \\ C_z &= \frac{Z_j - Z_i}{L} \end{aligned} \quad (2.41)$$

şeklindedir.

## 2.5. Sistem Koordinatlarında Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilişi

Bir düğüm noktasında birleşen çubukların rijitlik terimlerini toplayabilmek için, o çubukların rijitlik matrislerinin ortak bir eksen takımına göre yazılmış olması gerekir. Yani, çubuk rijitliklerini süperpoze edebilmek için, bütün rijitlik matrisleri hep aynı doğrultulardaki serbestlik derecelerine karşılık gelmelidir. Halbuki, Denklem 1. de elde edilen rijitlik matrisleri sadece çubuk eksenlerine göredir ve bir noktada birleşen çubukların çubuk eksenleri birbirilerinden farklı doğrultulardadır. O halde, çubuk uçlarında farklı doğrultularda olan deformasyon ve kuvvet vektörlerini, global eksen takımına transforma etmek lazımdır. Transforme edilecek şey, kuvvet veya deformasyonlar değil, rijitlik matrisleridir. Yani, problem şudur: çubuk eksen takımına göre rijitlik matrisi biliniyorsa, global eksen takımına göre rijitlik matrisi nasıl bulunur ?

Bu probleme cevap verecek formülü çıkarabilmek için, enerji prensibinden yararlanılacaktır. Bir çubuğun uç kuvvetlerine karşılık gelen deplasmanlar üzerinde yaptıkları harici işin toplamı sabittir, eksen takımı ne olursa olsun bu değer değişmez. Dolayısıyla global eksen takımında verilen çubuk kuvvetlerinin, kendi doğrultularındaki deplasmanlar üzerindeki yaptığı iş, çubuk eksenlerine göre verilmiş eşdeğer kuvvet takımına karşılık gelen deplasmanlar üzerinde yaptığı işe eşittir. Kuvvet ve deplasmanların her iki eksen takımına göre de dönüşüm ifadeleri daha önce elde edilmişti. Bu temel prensipten hareket edilerek eleman koordinatlarında verilen sistem denklemi, sistem koordinatlarına dönüştürebilir.

Eleman koordinatlarında eleman rijitlik denklemi;

$$[k]\{d\}+\{f\}=\{p\} \quad (2.42)$$

idi.

$$\begin{aligned} \{p\} &= [T] \cdot \{p\}' \\ \{f\} &= [T] \cdot \{f\}' \\ \{d\} &= [T] \cdot \{d\}' \end{aligned} \quad (2.43)$$

ifadeleri denklem 2.41'da yerine yazılırsa;

$$[k] [T] \{d\}' + [T] \{f\}' = [T] \{p\}' \quad (2.44)$$

elde edilir. 1.43'in her iki tarafı da soldan  $[T]^T$  ile çarpılırsa;

$$[T]^T [k] [T] \{d\}' + [T]^T [T] \{f\}' = [T]^T [T] \{p\}' \quad (2.45)$$

$[T]^T [T] = [I]$  olduğundan; sistem koordinatlarında eleman rijitlik denklemi;

$$[k]' \{d\}' + \{f\}' = \{p\}' \quad (2.46)$$

olarak elde edilir.

Burada, sistem koordinatlarında eleman rijitlik matrisi;

$$[k]' = [T]^T [k] [T] \quad (2.47)$$

dir.

Önce eleman koordinatlarında eleman denklemi elde edilir. Elemanlar için dönüşüm matrisleri hesaplanarak, eleman denklemi sistem koordinatlarında elde edilir. Sistem denklemi eleman denklemlerinin uygun şekilde birleşiminden elde edilir. Sistem denkleminde elde edilen sistem düğüm deplasmanlarından uygun olanlar alınarak, her



elemanın sistem koordinatlarındaki düğüm deplasmanları belirlenmiş olur. Bundan sonra istenilirse tekrar transformasyon yapılarak, uç deplasmanları eleman koordinatlarında elde edilir ve eleman uç kuvvetleri, eleman koordinatlarındaki eleman rijitlik denkleminde hesaplanır. Bunun yerine, eleman uç kuvvetleri, sistem koordinatlarına elde edildikten sonra eleman koordinatlarına da dönüştürülebilir. Görüldüğü gibi, bir elemanın sistem içinde hangi pozisyonda bulunduğu önem arz etmektedir. Bunun, elemanın tanımlanması esnasında belirlenmesi gerekmektedir.

## 2.6. Sistem Rijitlik Matrisinin Elde Edilişi ve Kodlama Tekniği

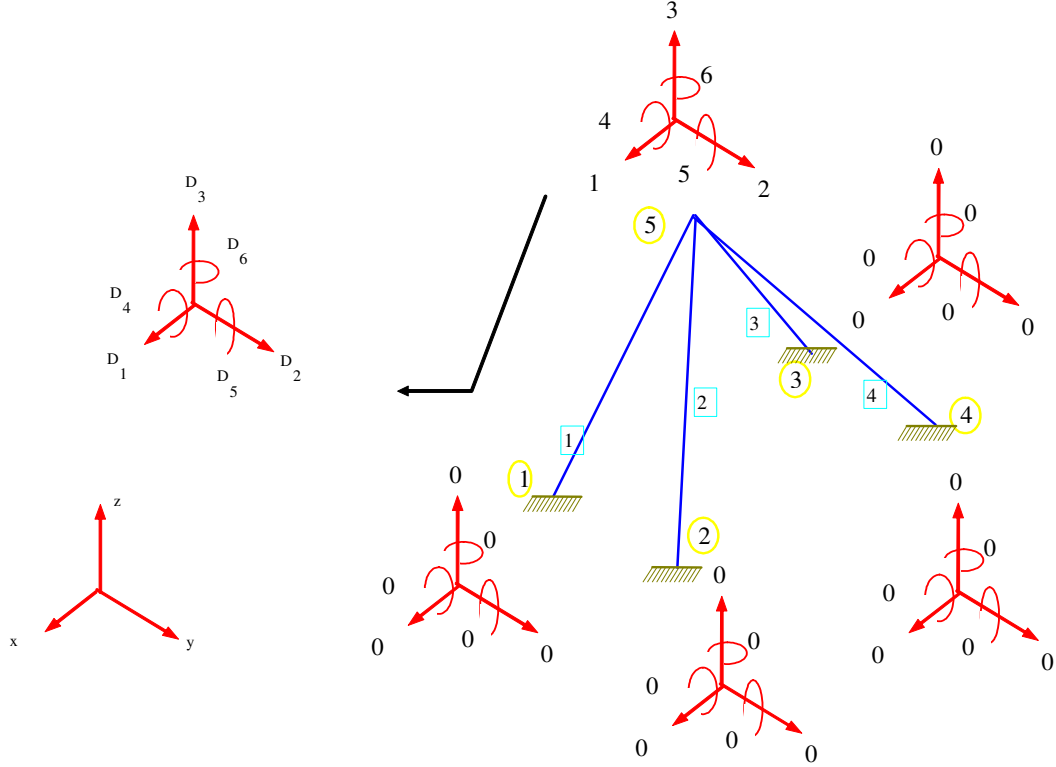
Uzay çerçeve elemanın global rijitlik matrisinin (i) inci satır, (j) inci sütündeki kij terimi, elemanın (j) inci serbestlik doğrultusundaki birim deplasmanı nedeni ile, elemanın (i) inci serbestlik doğrultusunda oluşan kuvveti göstermektedir. Bu durumda aynı serbestlik derecesi numarasına sahip eleman global rijitlik matrisindeki kij terimlerinin cebrik olarak toplanması ile uzay çerçeve sistemin global rijitlik matrisi elde edilir. Kodlama yöntemi olarak bilinen bu yöntem ile elde edilen global rijitlik matrisinin boyutu, serbestlik dereceleri kadar olup kare bir matristir ve pozitif tanımlıdır. Kodlama yöntemi programlamaya elverişli yapısı nedeniyle çok rağbet görmektedir (Çatal 2005).

Şekil 2.13' te bir uzay çerçevede, eleman numaraları, düğüm numaraları ve düğüm deplasmanlarının kotlanmış hali ve bu sisteme ait kotlama tablosu da tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Bu örnek üzerinden kodlama yönteminin aşamaları aşağıda sunulmuştur.

- Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlara sırasıyla birer numara verilir.
- Taşıyıcı sistemi oluşturan düğüm noktalarına sırasıyla birer numara verilir.
- Taşıyıcı sistemin elemanlarını oluşturan düğüm noktaları tarif edilir.
- Uzay çerçeve elemanda iki düğüm noktası ve her düğüm noktasında 6 adet serbestlik bulunduğundan, her uzay çerçeve eleman için 12 haneden oluşan bir kotlama tablosu oluşturulur.

Düğüm serbestlikleri yani deplasmanlar numaralandırılmaya başlanır. Numaralandırılma yapılırken, önce ötelenmeler sonra dönmelerin numaralandığı ve eksenlerde alfabetik sıraya uyulduğu kabul edilir. Tutulmuş olan serbestlik derecesi 0 ile numaralandırılır diğer düğüm noktalarındaki serbestlik derecelerine (deplasmanlara) ise artımsal olarak numara verilir.



**Şekil 2.13** Bir uzay çerçevesinde, eleman numaraları, düğüm numaraları ve düğüm deplasmanlarının kodlanmış hali

Şekil 2.13' te verilen örnekte yapı sisteminin de 6 adet serbestlik derecesi bulunduğundan global rijitlik matrisi  $6 \times 6$  boyutundadır. Bu örnekte elde edilecek global rijitlik matrisi tablo 2.2'de olduğu gibidir.  $k_{ij}$  terimlerinde  $i$  ilgili elemana ait matristeki satır numarasını,  $j$  sütun numarasını, üst indis ise hangi elemana ait olduğunu göstermektedir. Simetrik matris olduğundan üst üçgen ayrıca gösterilmemiştir (Kaplan 1999).

**Tablo 2.1** Taşıyıcı sistemin kotlama tablosu

Çubuk	Tarifi	Kod Numaraları													
		No	i-j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1-5			0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6
2	2-5			0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6
3	3-5			0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6
4	4-5			0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6

**Tablo 2.2** Sistem Rijitlik Matrisi

	1	2	3	4	5	6
1	$(k_{77})^1 + (k_{77})^2 + (k_{77})^3 + (k_{77})^4$					
2	$(k_{87})^1 + (k_{87})^2 + (k_{87})^3 + (k_{87})^4$	$(k_{88})^1 + (k_{88})^2 + (k_{88})^3 + (k_{88})^4$				
3	$(k_{97})^1 + (k_{97})^2 + (k_{97})^3 + (k_{97})^4$	$(k_{98})^1 + (k_{98})^2 + (k_{98})^3 + (k_{98})^4$	$(k_{99})^1 + (k_{99})^2 + (k_{99})^3 + (k_{99})^4$			
4	$(k_{107})^1 + (k_{107})^2 + (k_{107})^3 + (k_{107})^4$	$(k_{108})^1 + (k_{108})^2 + (k_{108})^3 + (k_{108})^4$	$(k_{109})^1 + (k_{109})^2 + (k_{109})^3 + (k_{109})^4$	$(k_{1010})^1 + (k_{1010})^2 + (k_{1010})^3 + (k_{1010})^4$		
5	$(k_{117})^1 + (k_{117})^2 + (k_{117})^3 + (k_{117})^4$	$(k_{118})^1 + (k_{118})^2 + (k_{118})^3 + (k_{118})^4$	$(k_{119})^1 + (k_{119})^2 + (k_{119})^3 + (k_{119})^4$	$(k_{1110})^1 + (k_{1110})^2 + (k_{1110})^3 + (k_{1110})^4$	$(k_{1111})^1 + (k_{1111})^2 + (k_{1111})^3 + (k_{1111})^4$	
6	$(k_{127})^1 + (k_{127})^2 + (k_{127})^3 + (k_{127})^4$	$(k_{128})^1 + (k_{128})^2 + (k_{128})^3 + (k_{128})^4$	$(k_{129})^1 + (k_{129})^2 + (k_{129})^3 + (k_{129})^4$	$(k_{1210})^1 + (k_{1210})^2 + (k_{1210})^3 + (k_{1210})^4$	$(k_{1211})^1 + (k_{1211})^2 + (k_{1211})^3 + (k_{1211})^4$	$(k_{1212})^1 + (k_{1212})^2 + (k_{1212})^3 + (k_{1212})^4$

## 2.7. Taşıyıcı Sistemin Yük Vektörü

Taşıyıcı sisteme etki eden yükler etki ediş yerlerine göre iki farklı tiptedir. Yük düğüm noktasına direk etkiyorsa bu tip yükler “direkt dış yükler” , çubuk eksenini boyunca etkiyor ise “endirek dış yükler” denir (Kaplan 1988).

### 2.7.1 Direkt dış yükler

Taşıyıcı sisteme etki eden direk yükler, düğüm noktasındaki 3 adet ötelenme ve 3 adet dönme olmak üzere toplam 6 serbestlik derecesine yükün tipine göre etkiyebilir. Bu tip yüklemelerde, yükler sistem rijitlik denklemindeki sistem yük vektörünü teşkil eder.

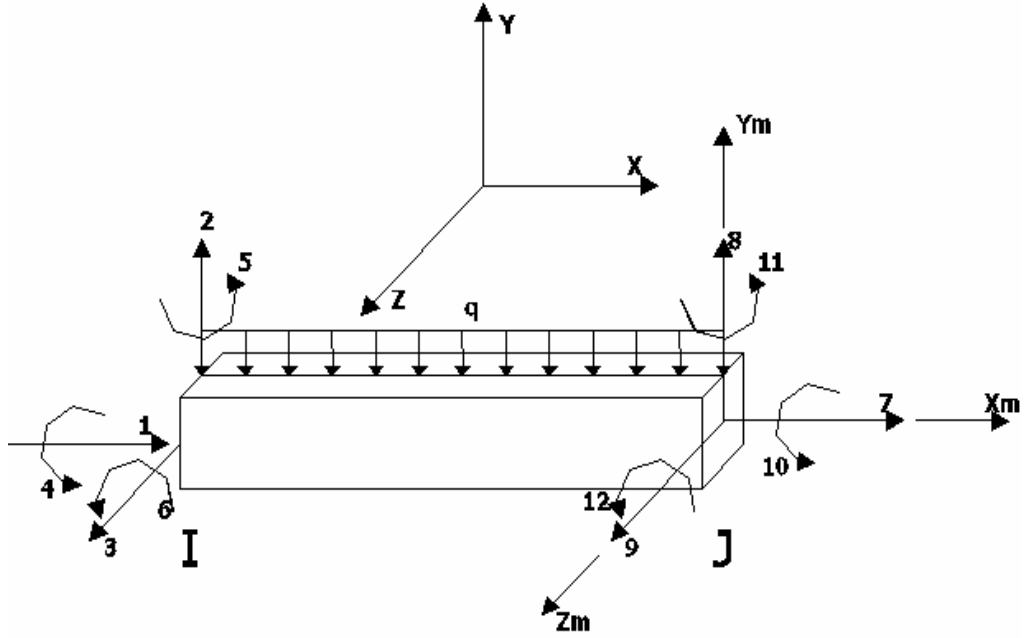
### 2.7.2 Endirekt dış yükler

Taşıyıcı sisteme etki eden yük çubuk üzerinde bir noktaya veya çubuk üzerine yayılı bir şekilde etki ediyorsa yani endirekt dış yük ise etkiyen bu yükün düğüm noktalarına gelen eşdeğer yüklerinin hesaplanması gerekir. Bu işlemin yapılması için yükün etkidiği çubuk her iki ucunda ankastre kabul edilir ve çubuk üzerindeki yükün ankastre uçlarda meydana getirdiği reaksiyonlar bilinen formüllerle hesap edilir. Hesap edilen en direk dış yük vektörü sistem rijitlik denkleminde yük vektörüne eklenir.

Yukarıdaki tanıma göre üç boyutlu eleman için bazı en direk dış yükleme tiplerine ait yükleme vektörleri hesaplanmış ve aşağıda sunulmuştur.

#### 2.7.2.1. Yayılı yükleme vektörü

Şekil 2.13’te üç boyutlu çerçeve giriş elemana ait serbestlik dereceleri ve bir yayılı yükün ( $q$ ) etkimesi gösterilmiştir. Yayılı yükün çubuğun ankastre uçlarında meydana getirdiği reaksiyonlar hesaplanarak Şekil 2.14’te sunulmuştur (Aköz 2005). Bu reaksiyonların ters işaretlileri sistem yük vektörüne endirek yük olarak ilave edilir.



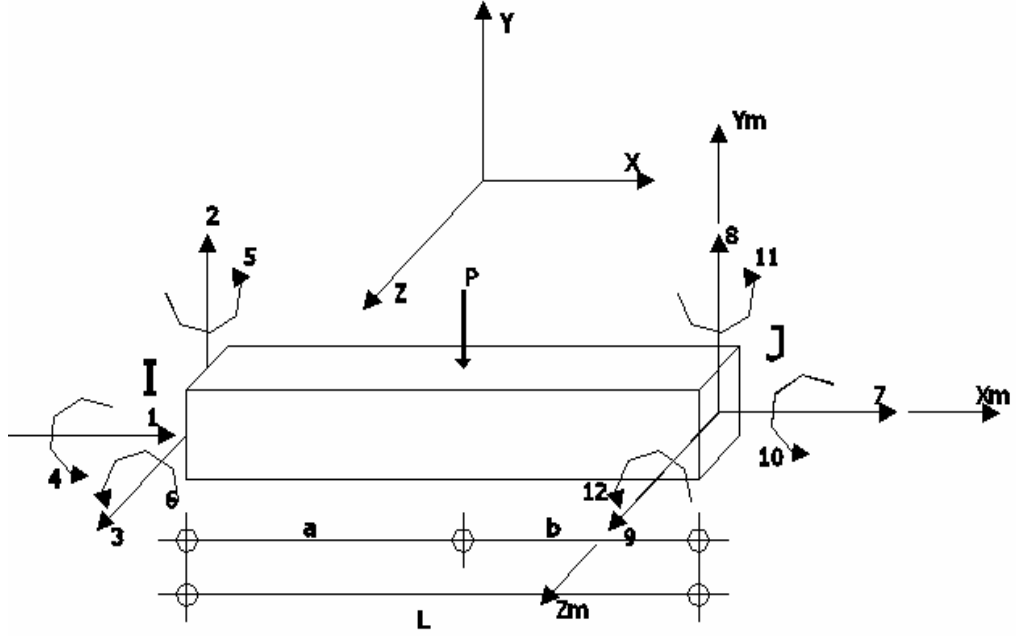
Şekil 2.14 Uzay çerçeve elemanı yayılı yükleme hali ve serbestlik dereceleri

$$f_{ij} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ q \cdot L / 2 \\ 0 \\ -q \cdot L^2 / 12 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ q \cdot L / 2 \\ 0 \\ q \cdot L^2 / 12 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Şekil 2.15 Yayılı yükleme vektörü

### 2.7.2.2. Noktasal yükleme vektörü

Şekil 2.15'te üç boyutlu çerçeve kiriş elemana ait serbestlik dereceleri ve bir tekil yükün (p) etkimesi gösterilmiştir. Tekil yükün çubuğun ankastre uçlarında meydana getirdiği reaksiyonlar hesaplanarak şekil 2.16 te sunulmuştur.



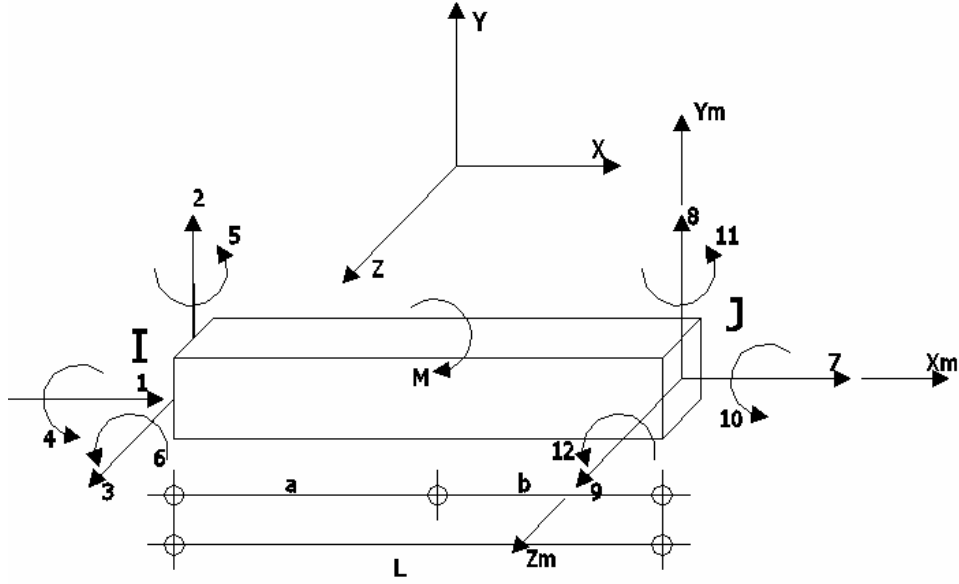
Şekil 2.16 Uzay çerçeve elemanı tekil yükleme hali ve serbestlik dereceleri

$$f_{ij} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ p*b/L \\ 0 \\ -p*a*b^2/L \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ p*b/L \\ 0 \\ p*a*b^2/L \\ 0 \end{pmatrix}$$

Şekil 2.17 Tekil yükleme vektörü

### 2.7.2.3. Moment yükleme vektörü

Şekil 2.17’te üç boyutlu çerçeve kiriş elemana ait serbestlik dereceleri ve bir moment yükün (M) etkimesi gösterilmiştir. Moment yükün çubuğun ankastre uçlarında meydana getirdiği reaksiyonlar hesaplanarak Şekil 2.17’te sunulmuştur.



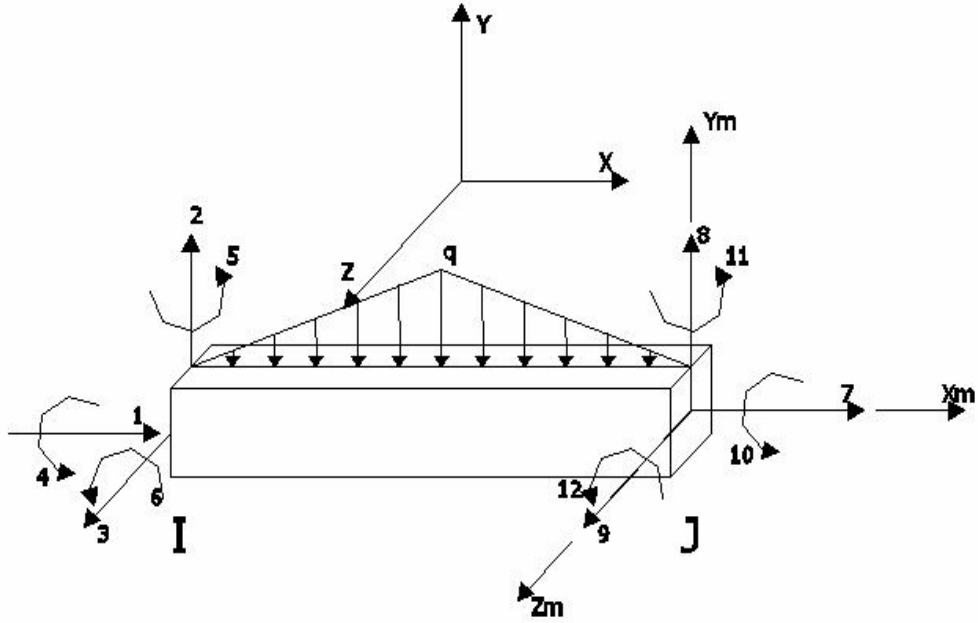
Şekil 2.18 Uzay çerçeve elemanı moment yükleme hali ve serbestlik dereceleri

$$f_{ij} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{6Mab}{L^3} \\ 0 \\ -\frac{Mb}{L} \left( \frac{3b}{L} - 2 \right) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{6Mab}{L^3} \\ 0 \\ \frac{Mb}{L} \left( \frac{3b}{L} - 2 \right) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Şekil 2.19 Moment yükleme vektörü

#### 2.7.2.4. Üçgen yükleme vektörü

Şekil 2.19'te üç boyutlu çerçeve kiriş elemana ait serbestlik dereceleri ve bir üçgen yayılı yükün ( $q$ ) etkimesi gösterilmiştir. Üçgen yayılı yükün çubuğun ankastre uçlarında meydana getirdiği reaksiyonlar hesaplanarak Şekil 2.20'te sunulmuştur.



Şekil 2.20 Uzay çerçeve elemanı üçgen yükleme hali ve serbestlik dereceleri

$$f_{ij} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ q \cdot L / 4 \\ 0 \\ 5 \cdot -q \cdot L^2 / 96 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ q \cdot L / 4 \\ 0 \\ 5 \cdot q \cdot L^2 / 96 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Şekil 2.21 Üçgen yükleme vektörü

### 2.7.2.5. Sıcaklık yükleme vektörü

Yapı sistemini meydana getiren taşıyıcı sistem elemanlarının maruz kalacağı ısı farklılıkları yapı elemanlarında bir takım kesit tesirleri doğurabilir. Bu kesit tesirlerini rijitlik matrisinde bir endirek yükleme vektörü olarak eklememiz mümkündür.



Isı değişimine maruz kalan bir taşıyıcı eleman, yine diğer endirek yük vektörlerinin hesaplanmasında izlenen yol gibi iki ucundan ankastre kabul edilir ve sonra ısı değişiminden meydana gelen ankastrelik uç kuvvetleri hesaplanır.

Bir taşıyıcı sistem, aşağıda belirtilen üç şekilde ısı değişimine maruz kalabilir:

- 1- Eşit ısınma: Tüm elemanların üniform ısı değişimine maruz kaldığı farz edilir.
- 2- Farklı ısınma: Eleman yüzeyleri farklı ısı değişimine maruz kalır.
- 3- Yerel ısınma: Sistemi meydana getiren elemanlardan bazılarının 1. ve 2. gruptan herhangi birinde, ısı değişimine uğramaları.

Burada, bu farklı üç ısı değişiminden sadece *eşit ısınma* haline değinilecektir.

#### 2.7.2.5.1. Eşit ısınma

Uzay bir çerçeve çubuk elemanda, her noktasına sabit bir ısınma halinde eleman boyunda bir uzama meydana gelecektir (Şekil 2.21). Bu uzamayı fizikten řu şekilde formüle edebiliriz;

$$DL = \alpha L (DT) \quad (2.48)$$

Burada,  $\alpha$ : malzemenin ısıl genleşme katsayısı,  $L$ = Eleman boyu ve  $DT$ : ortalama ısı artımıdır.

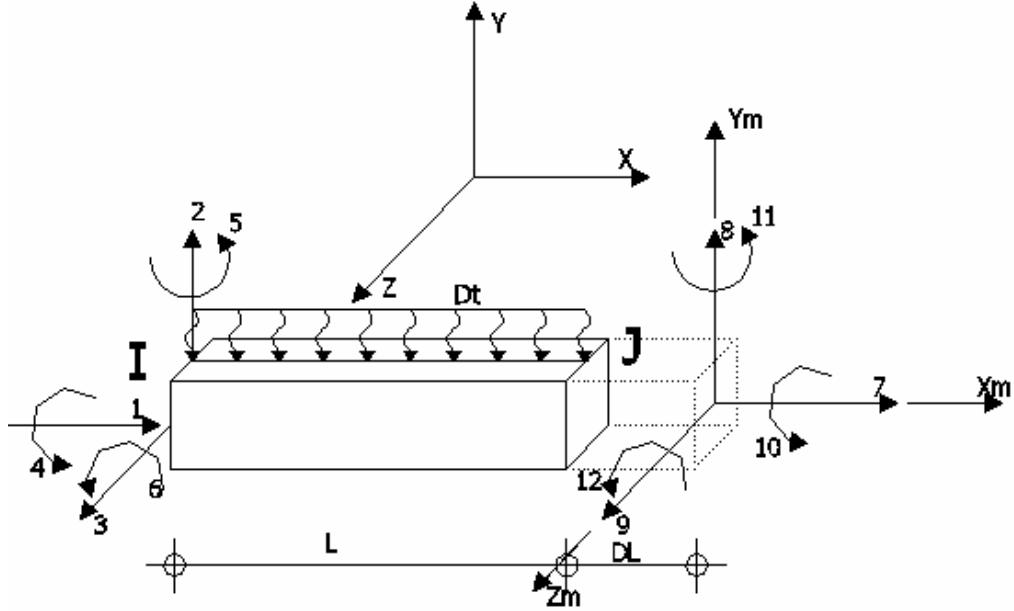
İki ucundan ankastre bir çubuk,  $Dt$  ısı değişimine maruz kalırsa, uçlarında meydana gelen aksenal kuvvet;

$$DL = PL/AE \quad (2.49)$$

den;

$$P = A E \alpha (Dt) \quad (2.50)$$

olarak bulunur. Eleman eksenli doğrultusunda meydana gelen bu aksel kuvvetten başka herhangi bir tesir doğmaz. Bu tarife göre, elemanın ankastrelik uç kuvvet vektörü Şekil 2.22’de verilmiştir ;



Şekil 2.22 Uzay çerçeve elemanı eşit ısınma yüklenme hali ve serbestlik dereceleri

$$f_{ij} = \begin{pmatrix} -A E \alpha (Dt) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ A E \alpha (Dt) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Şekil 2.23 Eşit ısınma yüklenme vektörü

## 2.8 Yay Katsayıları - Elastik Mesnetler

Bir taşıyıcı sistemin düğüm noktalarındaki serbestliklerine yay tanımlamak mümkündür. Bilindiği üzere uzay elemana ait bir düğüm noktasında 3 adet ötelenme ve

üç adet dönme vardır. Bu serbestliklerden, ötelenme doğrultularında düğüm noktasına koyulan yaylar, doğrusal yay olarak tanımlanır ve (kuvvet/mesafe) birimindedir, dönme doğrultularında düğüm noktasına koyulan yaylar ise dönel yaylar olarak tanımlanır ve (moment/radyan) birimindedirler. Yayın sistem içerisinde tanımlanma sebebi çubuk olarak sistemde gösterilemeyen ancak sisteme rijitlik veren öğeleri tanımlamak içindir. Örneğin bu yolla zeminle temasta olan düğüm noktalarında, zeminin rijitliğinin yerine geçmek üzere, gereken serbestlik derecesi doğrultusunda, sistemin düğüm noktalarına elastik yaylar koyularak yapı zemin etkileşimli çözüm yapılabilir veya yine taşıyıcı sistemin zeminle temasta olduğu düğüm noktalarına, gereken serbestlik derecelerine elastik yaylar tanımlanarak taban izolatörleri tanımlanabilir. Elastik mesnetleri kullanarak betonarme bir çerçeve üzerine çelik bir kafes sistem yerleştirmekte mümkündür.

Düğümelerde yer alan serbestlik derecelerindeki her yayın bir yay katsayısı vardır ve  $K_n$  harfi ile gösterilirler. Burada,  $K$  yay katsayısını,  $n$  serbestlik numarasını gösterir. Bir yay katsayısı, rijitlik temin ettiği serbestlik derecesi numarasını, satır ve sütun numarası olarak kabul eden köşegen terimin üzerine artı işaretle eklenir (Tezcan 1970).

## 2.9. Sistem Deplasman ve Eleman Uç Kuvvetlerinin Bulunması

Sistem yani global rijitlik matrisi ve yükleme vektörü oluşturulduktan sonra sistem deplasmanlarının bulunması için farklı yollar izlenebilir. Bilindiği üzere lineer sistem takımını denklemleri, denklem 2.51' deki gibidir.

$$[K]_{n \times n} \{D\}_{n \times 1} = \{Q\}_{n \times 1} \quad (2.51)$$

Bu lineer sistem takımı gauss eliminasyon yöntemi gibi herhangi bir lineer denklem sistem takımını çözümüyle yada sistem matrisinin ( $[K]_{n \times n}$ ) tersi alınarak deplasman vektörüyle ( $\{Q\}_{n \times 1}$ ) çarpımından elde edilebilir.

Taşıyıcı sistemin düğüm deplasmanlarından uygun bileşenler alınarak eleman uç deplasman vektörleri elde edilir. Sistem koordinatlarında eleman uç kuvvetleri denklem

2.46'dan hesap edilir. Denklem 2.43' deki  $\{p\}=[T]\{p\}'$  ifadesi kullanılarak eleman koordinatlarında eleman uç kuvvetleri elde edilir.

## 2.10. Rijitlik Matrisi Yönteminde İşlem Sırası

Her taşıyıcı sistem düğümlerde birleşen elemanlardan meydana gelmektedir. Sistemin düğüm bilgileri ve eleman bilgileri uygun şekilde tanımlanarak, düğümlerde ve elemanlarda oluşan etkiler (deplasman, kesit tesiri) rijitlik matrisi yöntemi ile kolayca hesaplanabilir. Aşağıda rijitlik matrisi ile çözümde takip edilecek olan işlem sırası maddeler halinde verilmiştir (Kaplan 1999).

- Düğümlere sıra ile numara verilir.
- Elemanlar numaralanır.
- Düğüm serbestlik dereceleri ve mesnet şartları dikkate alınarak sistemin serbestlik derecesi belirlenir. Bunun için her deplasmana sıra ile bir numara verilir. Tutulmuş olan doğrultulara sıfır yazılır.
- Elemanların hangi düğüme bağlandıkları ve sistem içinde hangi deplasmanları yapmakta olduğu belirlenir.
- Eleman rijitlik matrisleri  $[k]$ , eleman koordinatlarında elde edilir
- $[k]'=[T]^T[k] [T]$  dönüşümü yapılarak eleman rijitlik matrisleri sistem koordinatlarında elde edilir.
- Üzerinde ara yük bulunan elemanlar için  $\{f\}$  ankastrelik uç kuvvetleri vektörleri eleman koordinatlarında elde edilir.
- $\{f\}'=[T]^T\{f\}$  dönüşümü yapılarak, eleman ankastrelik uç kuvvetlerinin sistem koordinatlarındaki karşılığı elde edilir.
- Sistem rijitlik matrisi  $[K]$ , eleman rijitlik matrislerinin birleştirilmesi ile elde edilir. Bunun için düğümlerde uygunluk ve süreklilik şartlarına dayalı ifadeler kullanılabilir. En yaygın olarak kotlama tekniği kullanılmaktadır.
- Eleman ankastrelik uç kuvvetlerinin ters işaretlileri ilgili düğümlere etkililerek, doğrudan düğüme etkiyen direk yükler de dikkate alınarak sistem yük vektörü  $\{Q\}$  hesaplanır. Sistemde, sıcaklık değişimi ve mesnet çökmeleri söz konusu ise, bu

etkilerden dolayı oluşan ankastrelik uç kuvvetleri hesaplanarak eş değer düğüm yükleri elde edilebilir.

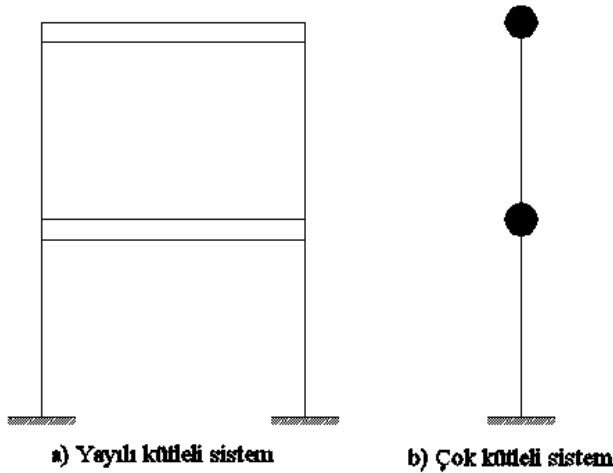
- Sistem denklemi  $[K]\{D\}=\{Q\}$  çözülerek bilinmeyen düğüm deplasmanları elde edilir. Bu lineer denklem sisteminin çözümünde, gauss eliminasyon yöntemi kullanılabilir.
- Hesaplanan düğüm deplasmanlarından ilgili bileşenler alınarak, her eleman için sistem koordinatlarındaki düğüm deplasmanlarını içeren  $\{d\}$ ' vektörleri belirlenir.
- Eleman denklemi  $[k]'\{d\}'+\{f\}'=\{p\}'$  çözülerek, sistem koordinatlarında eleman uç kuvvetleri hesaplanır.
- $\{p\}=[T]\{p\}'$  ifadesi ile, eleman koordinatlarında eleman uç kuvvetleri hesaplanır.
- Ara yükler de dikkate alınarak elemanlar için kesit tesirleri diyagramları çizilir.

### 3. DİNAMİK ANALİZ

#### 3.1. Giriş

Taşıyıcı sisteme etkiyen; deprem, rüzgar, makine titreşimi, trafik akışından meydana gelen titreşimler ve infilak gibi birim zaman aralıklarında kendi değeri ve yönünü değiştiren yükler dinamik yük olarak adlandırılırlar. Her ne kadar dinamik yük altında taşıyıcı sistemlerin çözümü yapı statüğindeki yöntemlerin genelleştirilmesi olsada dinamik analiz, statik analizden farklı olarak tek bir çözümü olmayıp, zamana bağımlı bir analiz yöntemidir (Celep ve Kumbasar 1996).

Dinamik analizde en önemli üç kavram kütle ( $m$ ), rijitlik ( $k$ ) ve sönüm ( $c$ ) dir. Gerçekte, eleman üzerinde kütle yayılı bir şekilde bulunmaktadır. Dolayısıyla bir taşıyıcı sisteme ait kütle, sistemi oluşturan elemanlar üzerinde yayılı bir şekilde bulunacaktır ancak dinamik analizde taşıyıcı sistemde kütle birden fazla nokta veya sadece bir noktada topraklandığı varsayılarak idealize edilebilir (Şekil 3.1).



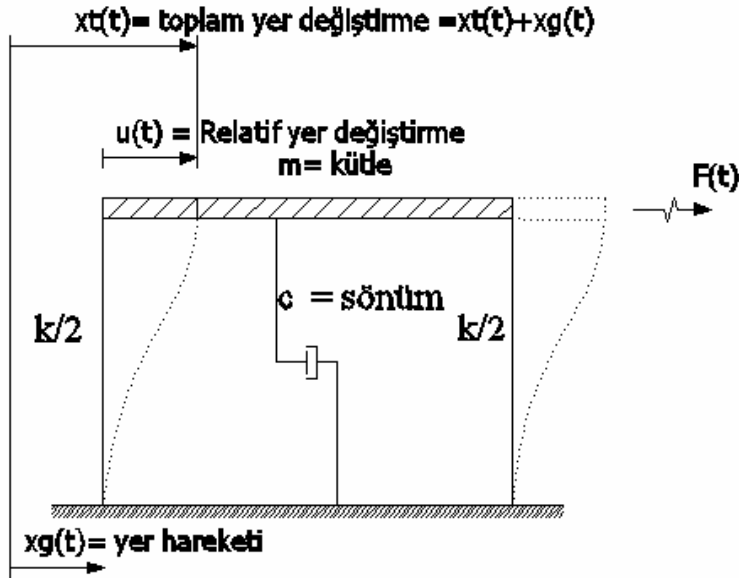
Şekil 3.1 Yayılı kütleli sistemden , çok kütleli ve tek kütleli sisteme geçiş

Yayılı kütleli sistemler idealize edilerek çözüm yöntemi basitleştirilerek, analiz safhası kısaltılabilir. Bu sistem geçişlerinde, yayılı kütle sistemlerinden kat seviyelerinde kütlelerinin toplaklandığı varsayılarak çok kütleli sistemi başka bir deyişle *çok serbestlik dereceli sistemler* i meydana getirir. Keza, su deposu gibi bazı taşıyıcı

sistemlerde kütlelerin belirli bir noktada topraklandığı varsayılarak *tek serbestlik dereceli sistemler* meydana getirilir. Tanımlardan da anlaşılacağı üzere bir sistemin serbestlik derecesi sistemde bulunan kütle sayısına bağlıdır.

### 3.2. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Dinamik sistemin temel bileşenleri olan kütle, rijitlik ve sönümün tek bir fiziksel elemanda topraklandığını varsayılan sistemlere tek serbestlik dereceli sistemler denir (Şekil 3.2).

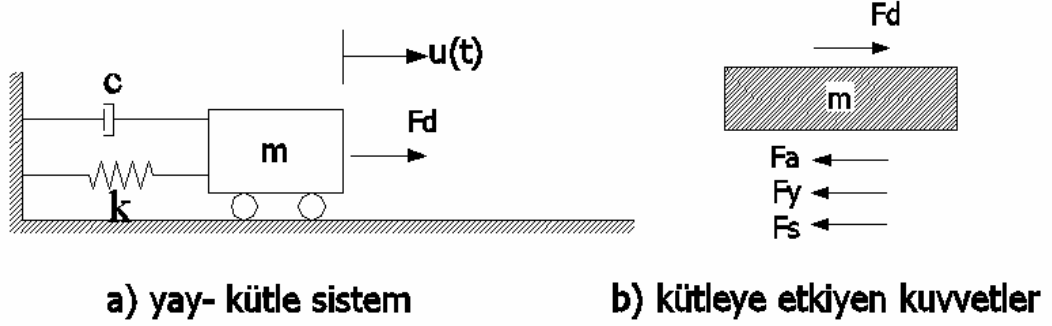


Şekil 3.2 Tek serbestlik dereceli sistemin matematik modeli

Şekil 3.2' de sistemde kütle yayılı olmasına rağmen, tümü aynı bir yer değiştirmesi yaptığı kabul edildiğinde, sistem tek serbestlik derecelidir.

#### 3.2.1. Tek serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri

Şekil 3.2 tek serbestlik dereceli sistemin matematik modelidir aynı model şekil 3.3.a' da olduğu gibi bir yay kütle sistemi olarakta gösterilebilir.



**Şekil 3.3** Tek serbestlik dereceli sistemin yay kütle modeli ve kütleye etkiyen kuvvetler

Şekil 3.3.b için;

$F_d$ = Dış kuvvet

$F_a$ = Atalet kuvveti

$F_y$ = Elastik yay kuvveti

$F_s$ = Sönüm kuvveti ni temsil etmektedir

Şekil 3.3.a'da ise  $m$  kütle,  $k$  rijitliği,  $c$  sönümü ifade etmektedir. Sisteme  $F_d$  gibi bir dış yük etkilendiğinde sistem  $u(t)$  kadar hareket etmektedir.  $F_d$  dış yükü altında sistem  $u(t)$  kadar deplasman yapacağından yay da ( $k$ ),  $u(t)$  kadar uzayacak ve

$$F_d = k u(t) \quad (3.1)$$

bir iç kuvvet oluşacaktır. Sönüm etkisi varsa, hareketi engelleyici yönde

$$F_s = c u'(t) \quad (3.2)$$

kuvveti oluşur. Newton'un 2. kanuna göre: “*Bir maddesel noktaya etkiyen bileşke kuvvet sıfır değilse, maddesel nokta, bileşke kuvvetin şiddeti ile orantılı ve bileşke kuvvetin doğrultusunda bir ivme kazanır.*”. Bu tanıma göre denge şekil 3.2.b üzerinde denge denklemi yazıldığında

$$F_a(t) + F_s(t) + F_y(t) = F_d(t) \quad (3.3)$$

denklemini elde edilir.



D'Alembert ilkesine göre kütle ivmeyle orantılı ve ters yönde atalet kuvveti geliştirir (Şekil 3.2.b'de gösterilen  $F_a(t) = m \ddot{u}(t)$ ). Denklem (3.3)'de bu ifadeleri yerine yazdığımızda tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi

$$m \ddot{u}(t) + c \dot{u}(t) + k u(t) = -m x_g(t) \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilir.

### 3.2.2. Tek serbestlik dereceli sistemlerde serbest titreşim

Üzerine herhangi bir dış yük etkimeyen sistemlerin yaptığı salınımına serbest titreşim denir. Sistem üzerinde herhangi bir yük olmadığı için hareket denklemi

$$F_a(t) + F_s(t) + F_y(t) = 0 \quad (3.5)$$

şeklinde olur.

Denklem (3.7)'deki ifadelere karşılık gelen değerleri denklem (3.6)'da olduğu gibi yerine koyar ve her iki tarafı kütle ( $m$ ) ile bölersek denklem

$$\ddot{u} + 2 \xi \omega \dot{u} + \omega^2 u = 0 \quad (3.6)$$

halini alır. Burada,  $\omega^2 = k/m$  : sönümsüz doğal açısal frekans,  $\xi = c/c_{cr}$  : sönüm oranı,  $c_{cr} = 2m\omega$  : kritik sönüm katsayısı olarak tanımlanır. Serbest titreşimde sönümün olmadığı varsayılırsa teoride hareket sonsuza kadar devam eder ancak gerçekte hareketi tersi yönünde sönümleyici bir kuvvet mevcuttur.

Denklem (3.8)'in çözümünden

$$u = e^{-\xi\omega t} (A \cos \omega_s t + B \sin \omega_s t) \quad (3.7)$$

elde edilir. Burada

$$\omega_s = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad (3.8)$$

$$\xi = n / \omega \quad (3.9)$$

olarak tanımlanmıştır. A ve B sabitleri başlangıç koşulları ile belirlenebilir. Örneğin  $t=0$  için  $u=0$  ve  $u' = u'_0$  ise  $A=0$ ,  $B = u'_0 / \omega_s$  olur ve çözüm

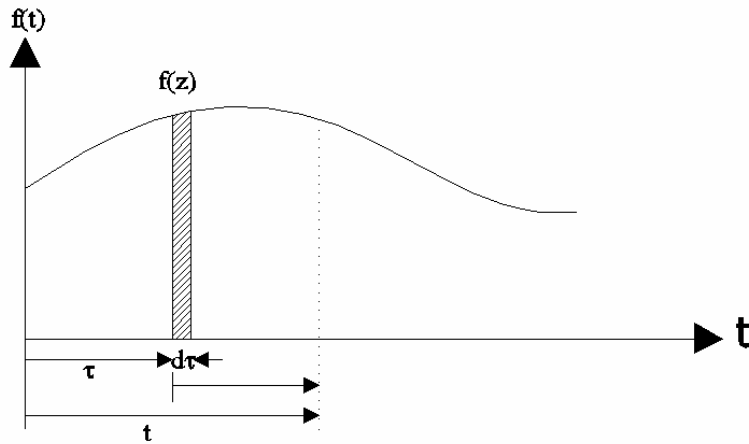
$$u = e^{-\xi \omega t} (u'_0 / \omega_s) \sin \omega_s t \quad (3.10)$$

halini alır.

### 3.2.3. Keyfi zorlama ve Duhamel integrali

Sisteme gelen dış kuvvetin zamanla değişimi keyfi olursa, Şekil 3.4,  $t=0$  anında sisteme  $f(\tau)d\tau$  impulsunun etkidiği düşünelim. Bu impuls  $m v$  gibi bir momentum değişimi yapacaktır. Yani bu anda sistemin hızı

$$v = f(\tau)d\tau / m \quad (3.11)$$



Şekil 3.4  $f(\tau)$  yükünün zamana bağlı değişimi

kadar artım gösterecektir. Herhangi bir  $t$  anında genliğin aldığı değer denklem (3.10)' de  $t$  yerine  $t - \tau$  konarak bulunabilir. Çünkü zaman başlangıcını darbenin etkidiği  $\tau$  anı

olarak alırsak, başlangıçından t kadar sonraki zaman, darbeden  $(t - \tau)$  kadar sonraya rastlar. Bütün bu kuvvet etkileri integrale (Aköz 2005)

$$u = \int_0^t \frac{f(\tau)}{m \omega_s} e^{-\xi \omega_s t} \sin(\omega_s(t - \tau)) d\tau \quad (3.12)$$

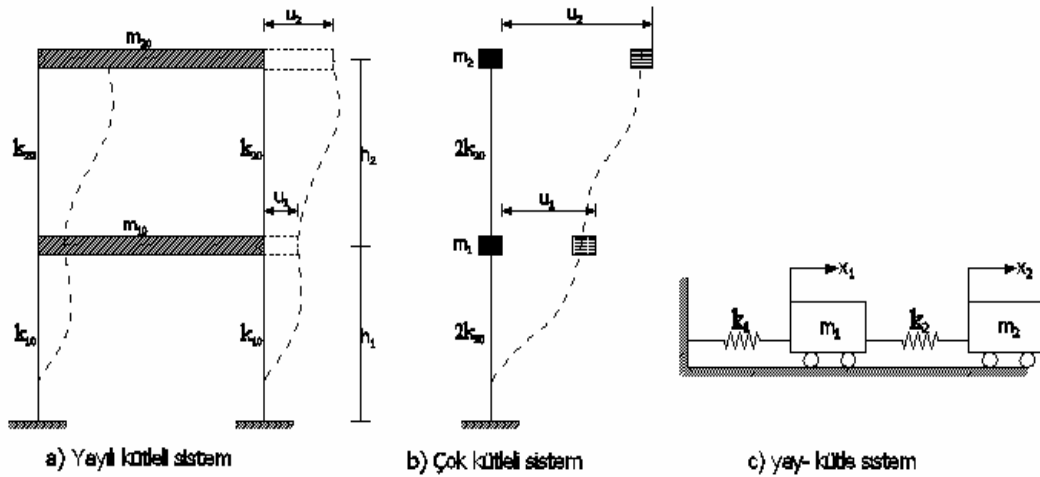
elde edilir.

### 3.3. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

Dinamik sistemin temel bileşenleri olan kütle, rijitlik ve sönümün birden fazla fiziksel elemanda topaklandığını varsayılan sistemlere çok serbestlik dereceli sistemler denir.

Şekil 3.5.a'daki sürekli kütleli sistemi, çok kütleli sisteme örnek verebilir. Bu sistemi şekil 3.5.b'deki gibi iki serbestlik dereceli sistem ve şekil 3.5.c'deki gibi iki serbestlik dereceli yay kütle sistemi olarak göstermekte mümkündür.

Bu tip çerçeve sistemlerde yatay taşıyıcı elemaların rijitliği, kolon elemanların rijitliği yanında sonsuz kabul edilir.



Şekil 3.5 Çok serbestlik dereceli kayma çerçeve sistem örneği

### 3.3.1. Çok serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemi

Şekil 3.5.c' deki çok serbestlik dereceli yay kütle sistemi, iki adet kütleyle sahip olduğu için iki adet hareket denklemi olacaktır. Bu hareket denklemleri (Çatal 2006)

$$m_1 u_1''(t) + (c_1 + c_2) u_1'(t) - c_2 u_2'(t) + (k_1 + k_2) u_1(t) - k_2 u_2(t) = F_1(t) \quad (3.13)$$

$$m_2 u_2''(t) - c_2 u_1'(t) + c_2 u_2'(t) - k_2 u_1(t) + k_2 u_2(t) = F_2(t)$$

Denklem (3.13) de yer alan bağıntılardan hareketle (n) serbestlik dereceli kayma çerçevesinin kat seviyelerinde F(t) kuvveti etkimesi halinde hareket denklemi matris formda aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[M](u'') + [c](u') + [k](u) = (F_i(t)) \quad (3.14)$$

Çok serbestlik dereceli sistemin kat seviyelerine  $F_i(t)$  yatay kuvvetleri yerine, sükunette olan sisteme,  $u''g$  zemin ivmesi etkimesi halinde ise her bir kütleyle kat seviyelerinde yatay yönde ( $m u''g$ ) kuvvetleri etkiyeektir. Bu durumda denklem (3.13) numaralı hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$m_1 u_1''(t) + (c_1 + c_2) u_1'(t) - c_2 u_2'(t) + (k_1 + k_2) u_1(t) - k_2 u_2(t) = -m_1 u_g''(t) \quad (3.15)$$

$$m_2 u_2''(t) - c_2 u_1'(t) + c_2 u_2'(t) - k_2 u_1(t) + k_2 u_2(t) = -m_2 u_g''(t)$$

Denklem (3.15)' deki bağıntılardan hareketle (n) serbestlik dereceli kayma çerçevesine  $u_g''$  zemin ivmesi etkimesi halinde hareket denklemleri matris formda aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[M](u'') + [c](u') + [k](u) = -[M](I) u_g'' \quad (3.16)$$

Burada,

[M]: Diyagonal kütle matrisi (Şekil 3.6)

$$[M]=\begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{n-2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_n \end{pmatrix}$$

**Şekil 3.6** Diyagonal kütle matrisi

( $u''$ ): Kat seviyelerinde topraklanmış kütlelerin yatay deplasmanlarından ötürü oluşan ivme vektörünü

[C]: Çok serbestlik dereceli sistemin band simetrik sönüm matrisi (Şekil 3.7)

$$[C]=\begin{pmatrix} C_1+C_2 & -C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -C_2 & C_2+C_3 & -C_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -C_3 & C_3+C_4 & -C_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -C_{n-1} & C_{n-1}+C_n & -C_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -C_n & C_n \end{pmatrix}$$

**Şekil 3.7** Çok serbestlik dereceli sistemin band simetrik sönüm matrisi

(u'): Kat seviyelerinde topaklanmış kütlelerin yatay deplasmanlarından ötürü hız vektörünü

[K]: Çok serbestlik dereceli sistemin, band simetrik yatay rijitlik matrisini (Şekil 3.8)

$$[K]= \begin{pmatrix} K_1+K_2 & -K_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -K_2 & K_2+K_3 & -K_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -K_3 & K_3+K_4 & -K_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -K_{n-1} & K_{n-1}+K_n & -K_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -K_n & K_n \end{pmatrix}$$

Şekil 3.8 Çok serbestlik dereceli sistemin band simetrik yatay rijitlik matrisi

(u) : Kat seviyelerinde topaklanmış kütlelerin yatay deplasmanlar vektörünü

(I): Birim vektörü göstermektedir.

### 3.3.2. Çok serbestlik dereceli sistemlerde sönümsüz serbest titreşim

Üzerinde herhangi bir dış yük olmayan çok serbestlik dereceli sistemlerde eğer sönüm yoksa hareket denklemi (Çatal 2006)

$$[M](u'') + [K] (u) = 0 \quad (3.17)$$

şeklinde olur. Çok serbestlik dereceli sönümsüz serbest titreşim hareketi sinüzoidal bir harekettir. Bu tanıma göre serbest hareket denklemlerinin homejen çözümü neticesinde (i) inci katın deplasman, hız ve ivme fonksiyonları aşağıdaki gibi yazılır.

$$u_i = a_i \sin(\omega t + \theta) \quad (3.18)$$

$$\dot{u}_i = \omega a_i \cos(\omega t + \theta) \quad (3.19)$$

$$\ddot{u}_i = -\omega^2 a_i \sin(\omega t + \theta) \quad (3.20)$$

Burada,

$a_i$  = (i) inci katın genliğini

$\theta$  = Faz açısını

$\omega$  = Açısal frekansı

göstermektedir.

Denklem (3.17)'de bu değerler yerine koyulur ve denklemin her iki tarafı  $\sin(\omega t + \theta)$  ile bölünürse, çok serbestlik dereceli sistemin genlik değerine bağlı hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$-\omega^2 [M](a) + [K](a) = (0) \quad (3.21)$$

Denklem (3.21) düzenlenir ise aşağıdaki matris bağıntı elde edilir.

$$[ [K] - \omega^2 [M] ] (a) = (0) \quad (3.22)$$

Böylece çok serbestlik dereceli çerçevenin sönümsüz, serbest titreşim hareket denklemi, denklem (3.22) numaralı matris bağıntı ile öz değer- öz vektör problemine indirgenmiş olur.

Denklem (3.22) numaralı bağıntıda eşitliğin her iki tarafı yatay rijitlik matris,  $[K]$ 'nin tersi ile çarpılır ise aşağıdaki matris bağıntı elde edilir.

$$[K]^{-1} [K](a) - \omega^2 [K]^{-1} [M](a) = (0) \quad (3.23)$$

Rijitlik matrisinin tersi  $[F]$  fleksibilite matrisi olup denklem (3.23)'teki matris bağıntısı ile aşağıdaki gibi yazılır.

$$[I](a) - \omega^2 [F] [M](a) = (0) \quad (3.24)$$

Denklem (3.24)' teki matris bağıntısının her iki tarafı  $(1/\omega^2)$  terimi ile çarpılıp düzenlenir ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$[D](a) - (1/\omega^2)[I](a) = (0) \quad (3.25)$$

Burada,

$$[D] = [K]^{-1} [M] = [F] [M] \quad (3.26)$$

olup dinamik matris adını almaktadır.

Denklem (3.26)'daki matrisi bağıntısı düzenlenir ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$[ [D] - (1/\omega^2)[I] ] (a) = (0) \quad (3.27)$$

Denklem (3.27)'nin aşıkâr olmayan çözümünün bulunabilmesi için  $(a) \neq 0$  olup, aşağıdaki determinat elde edilir. Burada  $[I]$ , birim matrisi göstermektedir.

$$[ [D] - (1/\omega^2)[I] ] = (0) \quad (3.28)$$

Denklem (3.28)'deki determinantın açılımından elde edilen ve açısal frekansın fonksiyonu olan denkleme, frekans denklemi denilmektedir. Frekans denkleminin mertebesi, taşıyıcı sistemin serbestlik derecesi olan  $(n)$  inci mertebeden olup, bu denklemin çözümünden  $(n)$  adet  $w_i$  açısal frekansı hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu açısal frekanslar sayısal olarak en küçük değerden en büyük değere kadar sıralandığında (1.) moddan  $(n.)$  inci moda kadar, açısal frekanslar hesaplanır.  $i.$ inci moda ait olan açısal frekansın  $w_i$  olması halinde bu moda ait periyot aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_i = 2\pi / w_i \quad (3.29)$$

Serbestlik derecesi adedi kadar  $w_i$ , açısal frekanslar hesaplandıktan sonra her bir modun açısal frekansı Denklem (3.27)'de yerine konularak, bu açısal frekanslar için, serbestlik derecesi adedi kadar genlik vektörü yada mod vektörü adı verilen vektörler

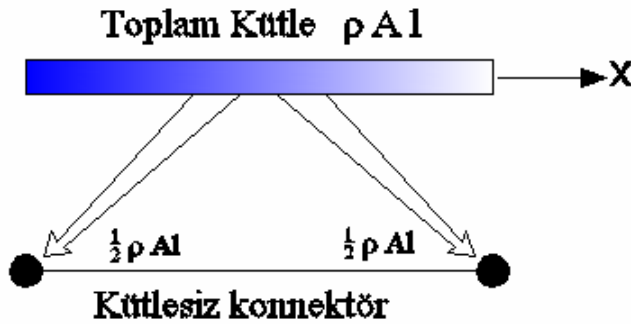


hesaplanır. Mod vektörleri hesaplanırken her moda ait (1.) inci serbestlik derecesindeki genlik değerleri (1) kabul edilerek o moda ait diğer genlik değerleri hesaplanır. Bu işleme mod şekillerinin birinci birleşene göre normalleştirilmesi denir.

### 3.3.3. Çok serbestlik dereceli sistemlerde topaklanmış kütle ve yaylı kütle matrisleri

Şekil 3.6'de kütlelerin kat seviyesinde topaklandığı varsayılan sistemlere ait diyagonal kütle matrisi sunulmuştur. Hazırlanan paket programda kütleler elamların uç noktasında topaklandığı varsayılarak analiz yapılmaktadır. Bu sayede yapılar daha gerçekçi modellenmektedir.

Kütlelerin düğümlerde topaklandığı sistemlere örnek olarak sadece x aksı doğrultusunda hareket edebilen iki düğümlü prizmatik bir bar elemanı (Şekil 3.9) ele alalım.



Şekil 3.9 İki düğümlü prizmatik bar eleman için direk kütle topaklanması

Burada, eleman boyu  $l$ , kesit alanı  $A$  ve  $\rho$  kütle yoğunluğudur. Bu elemana ait toplam kütle  $M = \rho A l$  'dir. Sistem sadece iki serbestlik derecesine sahip olduğu ve iki düğüm noktasına indirgeneceği için kütle ikiye bölünerek düğümlere paylaşılır. Böylece elde edilecek kütle matrisi denklem (3.30)'da ki hali alacaktır (Carlos 2004).

$$M_L = \frac{1}{2} \rho A l \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Dinamik analizde, taşıyıcı sistemin kütlesi atalet kuvvetlerinin hesabında kullanılır. Normalde, kütle elemanın materyalin kütle yoğunluğundan ve elemanın hacminden elde edilir. Bu otomatik olarak düğümlerde toplanmış kütleleri üretir. Eleman kütle değeri her üç ötelenme serbestlik derecesi için eşittir. Dönme serbestlik dereceleri için kütle atalet momenti üretilmez. Bu yaklaşım çoğu analiz için yeterlidir.

Düğümlerde ek toplanmış kütle ve/veya kütle atalet momentleri için yere ihtiyaç vardır. Buda yapıdaki düğüm noktalarından her hangi birinin herhangi 6 serbestlik derecesine uygulanabilir.

Düğümler arasındaki serbestlik derecelerinde ve farklı düğümler arasında kütle yoktur. Bu birleştirilmemiş kütleler her düğümde lokal koordinatlardaki sistemi kapsar. Kütle değerleri kısıtlanmış serbestlik derecelerinde (ankastre mesnet) ihmal edilir.

Düğümlere etkiyen atalet kuvvetleri 6\*6 lık kütle değer matrisine ait düğümlerdeki ivmelerle ilişkilidir. Bu kuvvetler ivmelere karşı çıkmaya yönlendirir. Lokal koordinat sistemlerdeki düğümlerde, atalet kuvvetleri ve momentler, F1, F2, F3, M1, M2, M3 düğümlerde şekil 3.11'deki gibi verilmiştir.

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & u_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & u_3 & 0 & 0 & 0 \\ & & & r_1 & 0 & 0 \\ & \text{sym} & & & r_2 & 0 \\ & & & & & r_3 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} u''_1 \\ u''_2 \\ u''_3 \\ r''_1 \\ r''_2 \\ r''_3 \end{Bmatrix}$$

**Şekil 3.10** Kütle matrisi

Düğümlerdeki  $u_1, u_2, u_3, r_1, r_2, r_3$  ötelenme ve dönme ivmeleridir ve  $u_1, u_2, u_3, r_1, r_2, r_3$  terimleri ise kütle değerleridir (Computer and Structures Inc. 1996).

Taşıyıcı sistemlerin titreşim hesaplarındaki doğruluk derecesi, idealleştirmedeki kütle sayısı ile çok yakından ilgilidir. Aslında devamlı olarak yayılı bir kütleye sahip



işlemleri artırır ayrıca düğümlerde topaklanmış kütleli sistemlerde dönme serbestlikleri elimine edilebilir. Böylece matris çözümü yayılı kütle matrislerine oranla yarı yarıya indirgenmiş olur.

Bununla birlikte, yayılı (sürekli) kütle formülasyonunun iki avantajı vardır. Birincisi, sonuçlarda büyük bir doğruluğa götürür ve sonlu elemanlarının sayısının artmasıyla doğru sonuçları hızlıca bir noktada birleştirir, fakat pratikte gelişmeler çoğunlukla yalnızca küçümsenir, çünkü düğüm dönmesiyle birleştirilen atalet kuvvetlerinin çoğu yapısal deprem mühendisliği problemleri için genellikle önemli değildir, ikincisi, sürelik kütle yaklaşımı ile, potansiyel enerji ve kinetik enerji değerleri sürekli bir davranış biçiminde değerlendirilebilir ve böylece kesin değerleri kapsayan doğal frekans değerlerinin nasıl hesaplanabileceğini biliriz.

İkinci avantaj, hesaplardaki ek efor gerektiren, doğruluktaki küçük bir artışı elde etmek nadiren daha önemli olmaktadır. Bu yüzden çoğunlukla kütlelerin düğümlerde topaklandığı yaklaşımı kullanılır (Chopra 2000).

### 3.4. Dinamik Analizde Hesap İşlemleri Sırası

- Taşıyıcı sistemin sürekli bir şekilde yayılı olan kütlesi, arzu edildiği sıklıkta, düğüm noktalarına konsantre olmuş nokta-kütleler ile yer değiştirilir. Sistemin titreşim yapan ve yapmayan serbestlik dereceleri işaretlenir. Her serbestlik derecesinde bir kütle olması şart değildir. Sadece titreşim yapan doğrultularda birer kütle bulunmalıdır. Bu kütle farklı iki serbestlik derecesinde titreşim yapıyorsa, o iki serbestlik derecesinde herbirinde aynı kütle var farzedilir. Genellikle, dönme rijitliği doğrultularında kütle konulmaz. Çünkü, nokta kütlelerin dönel kütle atalet momentleri ihmal edilir. Bu bilgiler ışığında sisteme ait kütle matrisi oluşturulur.
- Taşıyıcı sistemin sistem rijitlik matrisi kurulur ve titreşim yapmayan serbestlik derecelerine karşılık gelen satır ve sütunlar elimine edilerek, yalnız titreşim yapan doğrultuları ihtiva eden indirgenmiş sistem rijitlik matrisi bulunur.
- Elde edilen kütle matrisi ve indirgenmiş sistem rijitlik matrisi bir işleme tabi tutularak dinamik matris (denklem 3.26) elde edilir. Numerik metotlardan biri

yardımları ile elde dinamik matrisin, özdeğer ve özvektörleri hesaplanır. Gözönüne alınan ilk n sayıdaki mod için, bu değerler şöyle sıralayabiliriz:

Peryot:  $T_1 \quad T_2 \quad T_3 \quad \dots \quad T_n$

Özvektör :

$$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \cdot \\ D_i \\ \cdot \\ D_M \end{pmatrix}_1 \quad \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \cdot \\ D_i \\ \cdot \\ D_M \end{pmatrix}_2 \quad \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \cdot \\ D_i \\ \cdot \\ D_M \end{pmatrix}_3 \quad \begin{pmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \cdot \\ D_i \\ \cdot \\ D_M \end{pmatrix}_n$$

Burada M= kütle sayısı, n= mod sayısı,  $D_{ij} = i'$  nci kütle için,  $j'$  inci deplasman modudur. Genellikle deplasman vektörlerinin içindeki en büyük deplasman birim olacak şekilde diğer deplasmanlar bu faktörle küçültülür. Bunlara normalize edilmiş modlar denilir ve en büyük periyot en başa gelecek şekilde sıralanır.

- Her mod için o moddaki deplasmanların katılım miktarını karakterize eden bir katılı oranı hesaplanır.

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^M m_i * D_{ij}}{\sum_{i=1}^M m_i * D^2_{ij}} \quad 3.32$$

- Her modun özel periyot değeri ve kabul edilen söndürme yüzdesi için, zemin ivme spektrumu eğrilerinden  $S_a$  ivme spektrumu değeri okunur.
- Herhangi bir m kütleli j modda gelen deprem kuvveti,

$$F_{ij} = m_i \alpha_j D_{ij} S_{aj} \quad 3.33$$

Formülünden hesaplanır ve bunlar yukarıdan aşağı doğru her kat hizasında cebirsel toplanmasından her mod için ayrı olmak üzere kat kesme kuvvetleri bulunur. Bu kata gelen kesme kuvveti her moddaki değerlerin uygun bir süperpozisyonu ile bulunur. Her modda meydana gelen kesme kuvvetlerinin mutlak değerlerinin toplamı, depremin doğurabileceği mutlak maksimum kesme kuvvetini, yani üst sınırı verir ise de bunu hesaplarda kullanmak doğru olmaz. Çünkü her modun maksimum kesme kuvveti bir katta aynı anda doğmayacağı gibi aynı yönde etkimez. Bu sebepten, kesme kuvvetlerinin maksimumlarının

mutlak değerleri almak yerine ihtimaller hesabına dayanan, kareler ortalamasını kullanmak daha doğru olur. Deprem hesabında kullanılmak üzere bir kattaki kesme kuvvetini bulmak için her modda o kattaki kesme kuvvetinin karelerinin toplamının karekökü alınır. Demek ki, tipik bir kat için, maksimum muhtemel kesme kuvveti

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}$$

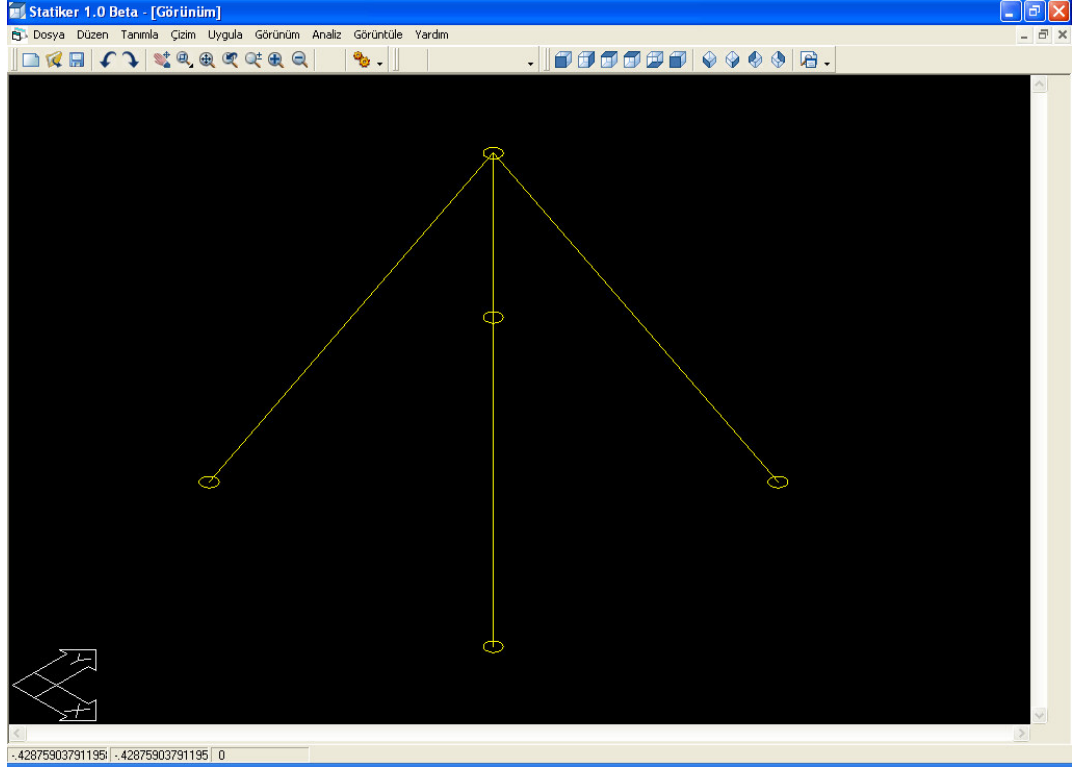
3.34

şeklinde hesaplanır. Kesme kuvvetleri için kareler ortalaması işlemi, istenilen herhangi diğer kesit tesirine mesela, eğilme momentlerine, gerilmelere, v.b. de uygulanmalıdır. Genellikle taşıyıcı sistemin atalet kuvvetleri, en büyük periyot olan esas periyottan başlamak üzere ilk bir kaç periyota karşılık gelen modlardan meydana gelir. Yüksek modların katılım oranı çok düşüktür. Bu sebepten pratikte büyük modlar yerine çoğu zaman ilk %20 ila %40 sayıda modun süperpozisyonu yeterli olur. Dięerleri ihmal edilirler. Çok yüksek dereceli sistemlerde doğal olarak daha fazla sayıda modları hesaba katmak da gerekebilir.

## 4. GELİŞTİRLEN YAZILIMIN KULANIMI

### 4.1. Ekran Görünütüsü

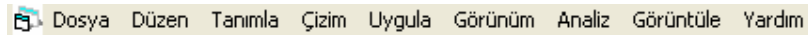
Programı çalıştırdıktan sonra ekrana yeni bir pencere gelir (Şekil 4.1). Aşağıda bu ekrana ait bölümler tanımlanacaktır.



Şekil 4.1 Açılış ekranı

#### 4.1.1. Aşağı açılır menü

Açılan pencerenin en üzerinde Aşağı Açılır Menüler bulunmaktadır (Şekil 4.2). Bu menüler komutların amacına göre sınıflandırılmıştır ve birbirinden ayrılmıştır. Mouse la menünün üzerine gelindiğinde aktif hale gelirler. Bir kere tıklayarak menünün aşağı doğru açılıp komutların görüntülenmesi sağlanır.



Şekil 4.2 Aşağı açılır menü





Dosya	Düzen	Tanımla	Çizim	Uygula
Yeni			Ctrl+N	
Aç			Ctrl+O	
Import				▶
Kaydet			Ctrl+S	
Export				▶
Girdi Tablolarını Bas				
Çıktı Tablolarını Bas				
Çıkış			Shift+F4	

**Şekil 4.5** Dosya menüsü

#### 4.2.1.2. Aç

Aç komutuyla daha önce txt dosyası olarak hazırlanmış veri dosyasının açılarak okunması sağlanır ve program içerisindeki gridlere atanması sağlanır. Bu veri dosyasına ait yapı ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

#### 4.2.1.3. Import

Bu komut aracılığıyla kullanıcı AutoCad veya benzeri Cad programlarla hazırladığı dxf veya dwg formatındaki çubuk taşıyıcı sistemleri program içerisine aktarıp analizini yapabilir.

#### 4.2.1.4. Kaydet

Veri Giriş Ekranında kullanıcının girdiği değerleri txt dosyası olarak kaydeder.

#### 4.2.1.5. Export

##### 4.2.1.5.1. Dxf & Dwg

Ekranında yer alan çizimi kullanıcının seçimine göre Dxf veya Dwg olarak kaydetmeyi sağlar.

#### 4.2.1.5.2. Sap2000\_7 (s2K)

Modellenen taşıyıcı sisteme ait bilgileri Sap2000\_7 versiyonu s2K dosya formatında kaydetmeyi sağlar.

#### 4.2.1.5.3. Matlab

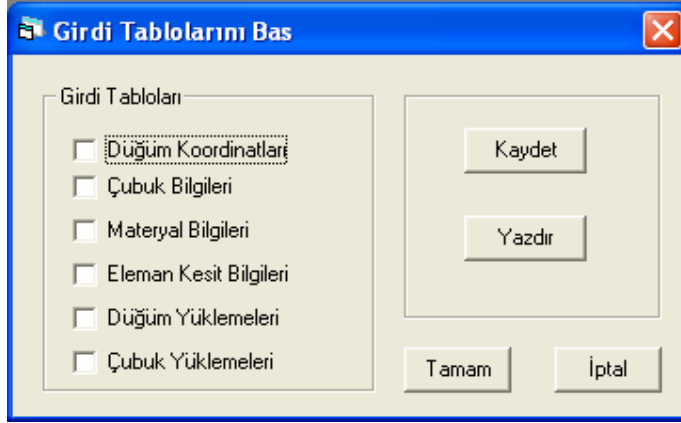
Analiz safhasında sistem rijitlik matrisi, dinamik matris gibi elde edilen matrisleri Matlab ortamında görüntülenip, işlem yapılabilmesini sağlayacak formatta kaydedilmesini sağlar . Böylece ara işlemler Matlab programıyla yapıp sonuçların doğruluğu test edilebilmektedir.



Şekil 4.6 Matlab Export Ekranı

#### 4.2.1.6. Girdi tablolarını bas

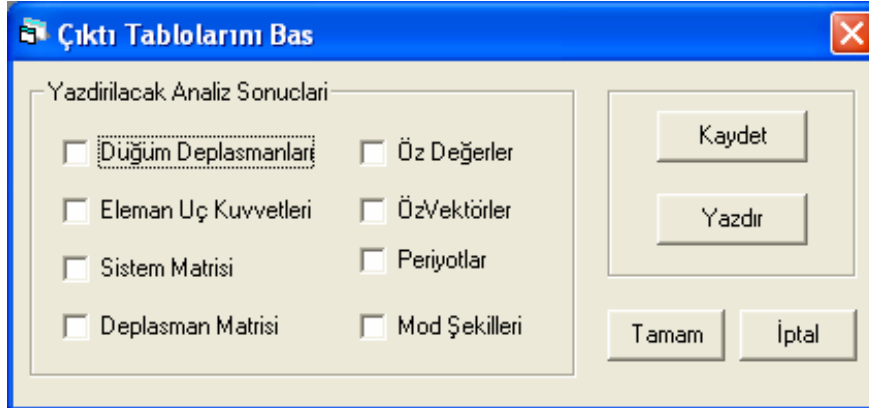
Kullanıcının yapı modellemesinde girdiği Düğüm Koordinatları, Çubuk Bilgileri, Materyal Bilgileri, Eleman Kesit Bilgileri, Düğüm Yüklemeleri, Çubuk Yükleme bilgilerinin (Şekil 4.7) hepsini yada bunların arasından kullanıcının belirlediklerini txt formatında kaydetmeyi veya yazıcıdan çıktı alınmasını sağlar.



Şekil 4.7 Girdi tablolarını bas

#### 4.2.1.7. Çıktı tablolarını bas

Analiz sonucunda elde edilen Düğüm Deplasmanları, Eleman Uç Kuvvetleri, Sistem Matrisi, Deplasman Matrisi, Öz Değerler, Öz Vektörler, Periyotlar ve Mod Şekillerinin (Şekil 4.8) hepsini ya da bunların arasından kullanıcının belirlediklerini txt formatında kaydetmeyi veya yazıcıdan çıktı alınmasını sağlar.



Şekil 4.8 Çıktı tablolarını bas

#### 4.2.1.8. Çıkış

Programı sonlandırır.

### 4.2.2. Düzen menüsü

Düzen menüsü (Şekil 4.9) altında kullanıcı grafik ekranda çubuk sistemi modellerken kullanacağı çizim yardımcıları vardır. Örneğin bu menü altındaki komutlarla çizilen çubuk elemanı kopyalama, taşıma,döndürme, uzatma gibi bir çok işlemi gerçekleştirebilir.



Şekil 4.9 Düzen menüsü

### 4.2.3. Tanımla menüsü

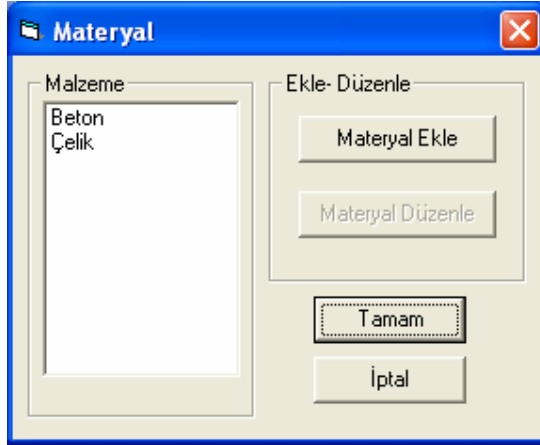
Tanımla menüsünde (Şekil 4.10) yeni materyal, kesit, yükleme durumu, talep spektrum fonksiyonu, talep spektrum durumu özelliklerinin tanımlanabileceği veya var olanların düzenlenmesini sağlayacak ekranlara ulaşılır.



Şekil 4.10 Tanımla menüsü

#### 4.2.3.1. Materyal

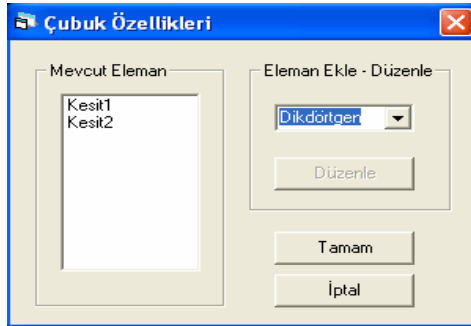
Bu komutun çalıştırılmasıyla ekrana gelecek form (Şekil 4.11) sayesinde yeni bir materyal tanımlanabilir veya daha önceden tanımlanan bir materyal düzenlenebilir.



Şekil 4.11 Materyal formu

#### 4.2.3.2. Kesit Tanımla

Bu komutun çalıştırılmasıyla ekrana gelecek form (Şekil 4.12) sayesinde yeni bir kesit tanımlanabilir veya daha önceden tanımlana bir kesit düzenlenebilir.



Şekil 4.12 Çubuk özellikleri formu

#### 4.2.3.3. Yükleme durumu

Bu komutun çalıştırılmasıyla ekrana gelecek form (Şekil 4.13) sayesinde yeni bir yükleme durumu tanımlanabilir veya daha önceden tanımlana bir durum düzenlenebilir.

Şekil 4.13 Yükleme durumu formu

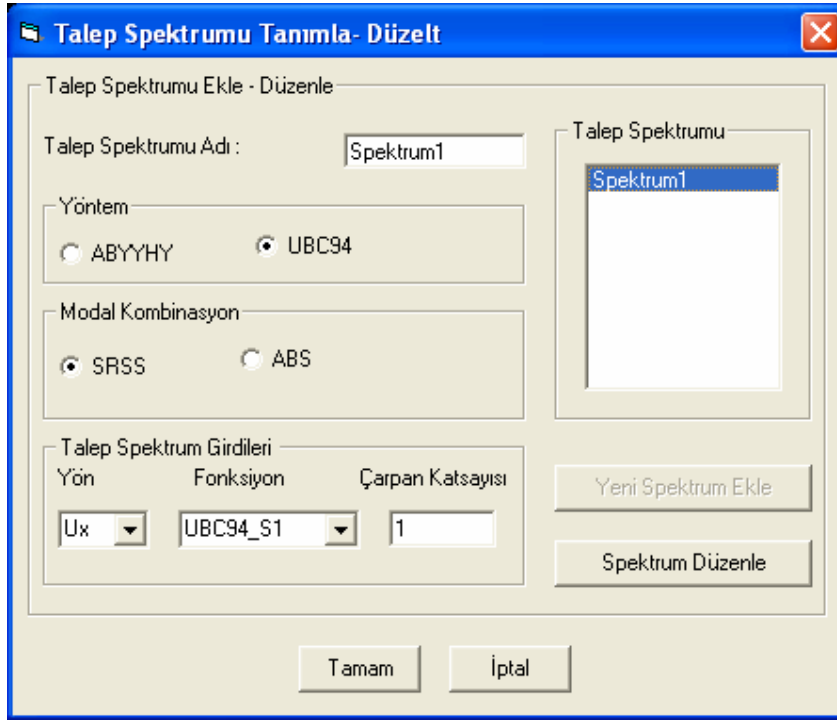
#### 4.2.3.4. Talep spektrum fonksiyonu

Bu komutun çalıştırılmasıyla ekrana gelecek form (Şekil 4.14) sayesinde yeni bir talep spektrum fonksiyonu tanımlanabilir yada var olan fonksiyonlar düzenlenebilir.

Şekil 4.14 Talep spektrum fonksiyonu

#### 4.2.3.5. Talep spektrum durumu

Bu komutun çalıştırılmasıyla ekrana gelecek form (Şekil 4.15) sayesinde dinamik analizde kullanılacak spektrum durumları tanımlanabilir veya mevcut olanlar düzenlenebilir.



Şekil 4.15 Talep spektrum durumu

#### 4.2.4. Çizim menüsü

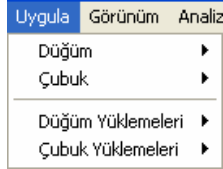
Çizim menüsünde yer alan komutlarla grafik ekranda çubuk taşıyıcı sistem modellenebilir ve analiz moduna aktarılabilir.



Şekil 4.16 Çizim menüsü

#### 4.2.5. Uygula menüsü

Uygula menüsünde yer alan komutlarla noktaların serbestlikleri tanımlanabilir ve noktalara global yönde yük atanabilir, çubuk elemanlara kesit tanımlanabilir ve yayılı, noktasal ara yük ve moment ve de sıcaklık yüklemesi yapılabilir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Uygula menüsü

#### 4.2.5.1 Düğüm

##### 4.2.5.1.1. Serbestlikler

Serbestlikler ekranı seçilen düğüm noktasının serbestlik derecelerinin belirlenmesini sağlar (Şekil 4.18)



Şekil 4.18 Düğüm serbestlikleri

##### 4.2.5.1.2. Yaylar

Yaylar ekranı vasıtasıyla, kullanıcı belirlediği serbestlik derecesi doğrultusunda yay rijitliği tanımlayabilir (Şekil 4.19).

#### 4.2.5.2. Çubuk

##### 4.2.5.2.1. Kesit

Seçilen çubuğa veya çubukların hepsine daha önceden tanımlanan kesit tipinin atanmasını sağlar (Şekil 4.20).



### 4.2.5.3. Dügüm yüklemeleri

#### 4.2.5.3.1. Kuvvetler

Seçilen düğüm noktasına kullanıcının belirttiği global koordinatlarda kuvvet etkitir (Şekil 4.20).

Şekil 4.19 Dügüm noktasındaki yaylar

Şekil 4.20 Kesit Ata

**Düğüm Yükleri**

Yükün Uygulanacağı Düğüm No : 2

Yükleme Durumunu Seçin :  
Yükleme2

Düğüm Yükleri :

Global Fx : 0  
Global Fy : 0  
Global Fz : 0  
Global Mxx : 0  
Global Myy : 0  
Global Mzz : 0

Seçenekler  
Var Olan Yüke Ekle  
Var Olan Yükle Değiştir  
Varolan Tüm Yükleri Sil

Tamam  
İptal

Atanmış Yüklemeler

Yükleme Durumu	Düğüm No	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Yükleme1	2	0	0	0	0	0	0
Yükleme2	2	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.21 Düğüm yükleri

#### 4.2.5.4.Çubuk yüklemeleri

Seçilen çubuğa farklı yükleme şekillerinin etkiltilmesi sağlanır.

##### 4.2.5.4.1. Yayılı yük

Seçilen çubuğa kullanıcının büyüklüğünü tanımladığı yayılı yük eklenmesini sağlar (Şekil 4.22).

**Yayılı Yükleme**

Eleman No : 4

Yükleme Durumunu Seçin :  
Yükleme1

Yayılı Yük : 100

Seçenekler  
Var Olan Yüke Ekle  
Var Olan Yükle Değiştir  
Var Olan Yükleri Sil

Tamam  
İptal

Etkitilmiş Yayılı Yükler :

Şekil 4.22 Yayılı yükleme

#### 4.2.5.4.2. Noktasal ve moment ...

Seçilen çubuk üzerinde kullanıcının belirlediği noktaya, noktasal yük veya moment eklenmesini sağlar (Şekil 4.23).

**Moment ve Noktasal Yükleme**

Eleman No:

Yükleme Durumunu Seçin:

Yükleme Tanımı  
Eleman Boyu:

Yükleme Türünü Seçin  
 Noktasal  Moment

Seçenekler  
 Var Olan Yükle Ekle  
 Var Olan Yükle Değiştir  
 Var Olan Yükleri Sil

P:  a:

Tamam İptal

Şekil 4.23 Moment ve noktasal yükleme

#### 4.2.5.4.3. Sıcaklık

Seçilen çubuğa kullanıcının büyüklüğünü tanımladığı sıcaklık göre yük eklenmesini sağlar (Şekil 4.24).

**Çubuk Sıcaklık Yükleme**

Eleman No:

Yükleme Durumunu Seçin:

Sıcaklık  
Eleman Sıcaklığı:

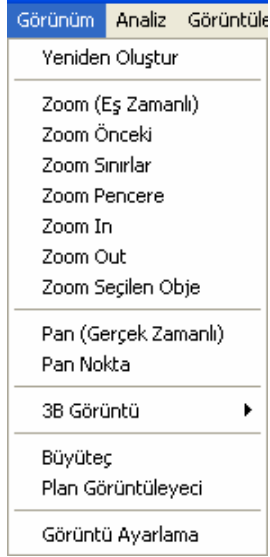
Seçenekler  
 Var Olan Yükle Ekle  
 Var Olan Yükle Değiştir  
 Var Olan Yükleri Sil

Tamam İptal

Şekil 4.24 Çubuk sıcaklıkları yüklemesi

#### 4.2.6. Görünüm menüsü

Görünüm menüsü sayesinde kullanıcılar görüntü üzerinde görüntünün yakınlaştırılması uzaklaştırılması gibi birçok fonksiyonu yerine getirebilir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25 Görünüm menüsü

##### 4.2.6.1. Yeniden oluştur

Çizimi son değerlere göre tekrar oluşturur.

##### 4.2.6.2. Zoom (Eş zamanlı)

Görüntü üzerinde eş zamanlı zoom yapmayı sağlar.

##### 4.2.6.3. Zoom önceki

Bir önceki zoom seçeneğini aktif eder.

##### 4.2.6.4. Zoom sınırlar

Çizimin bulunduğu alanı ekrana kaplar.

**4.2.6.5. Zoom in**

Görüntüyü yakınlaştırır.

**4.2.6.6. Zoom out**

Görüntüyü uzaklaştırır.

**4.2.6.7. Zoom seçilen obje**

Seçilen objeye zoom yapar.

**4.2.6.8 Pan (Gerçek zamanlı)**

Görüntüyü eş zamanlı kaydırmayı sağlar.

**4.2.6.9. Pan nokta**

Görüntüyü kullanıcının belirlediği bir noktadan diğer noktaya kaydırır.

**4.2.6.10. 2B & 3B görüntü**

Çizimi iki farklı açılarından iki boyutlu ve üç boyutlu görüntülenmesini sağlar.

**4.2.6.10.1. Üst (Plan görünümü)**

Çizimi plan olarak üstten gösterir.

**4.2.6.10.2. Alt**

Çizimi plan olarak alttan gösterir.

**4.2.6.10.3. Sol**

Çizimi plan olarak soldan gösterir.

**4.2.6.10.4. Sağ**

Çizimi plan olarak sağdan gösterir.

**4.2.6.10.5. Ön**

Çizimi plan olarak önden gösterir.

**4.2.6.10.6. Arka**

Çizimi plan olarak arkadan gösterir.

**4.2.6.10.7. Güney-Batı**

Çizimi üç boyutlu güney-batı cephesinden gösterir.

**4.2.6.10.8. Güney-Doğu**

Çizimi üç boyutlu güney-doğu cephesinden gösterir.

**4.2.6.10.9. Kuzey-Doğu**

Çizimi üç boyutlu kuzey-doğu cephesinden gösterir.

**4.2.6.10.10. Kuzey-Batı**

Çizimi üç boyutlu kuzey-batı cephesinden gösterir.

#### 4.2.6.11. Büyüteç

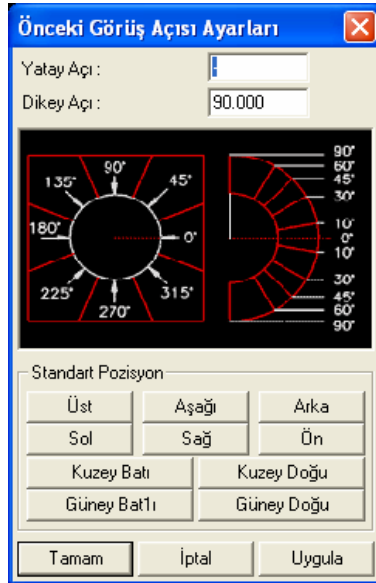
Görüntü üzerinde Mouse'un dolaştığı belirli bir alanı ekranın sağ alt köşesinde büyüterek gösterir.

#### 4.2.6.12. Plan görüntüleyeci

Görüntü ekranına ek olarak açılan bu küçük pencere sayesinde çizim bir bütün olarak görüntülenebilir ve buradaki seçime göre görüntü hareket edebilir.

#### 4.2.6.13. Görüntü ayarlama

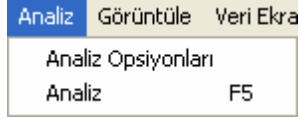
Görüntü Ayarlama formu sayesinde kullanıcı görüntüyü istediği açı da görüntüleyebilir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Önceki görünüş açısı ayarları

#### 4.2.7. Analiz menüsü

Modellenen Sistemin Analizini yapar (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Analiz menüsü

#### 4.2.7.1. Analiz opsiyonları

Kullanıcının analiz türünü belirlediği formdur. Burada kullanıcı modellediği sistemin serbestlik derecelerine müdahale ederek taşıyıcı sistemi uzay çerçeve, düzlem çerçeve, ızgara sistem, uzay kafes veya düzlem kafes şeklinde analiz edebilir. Dinamik analizin yapıp yapılmayacağı yine burada belirtilmelidir.(Şekil 4.28).

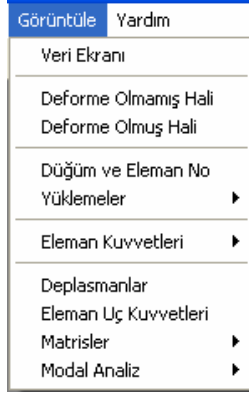


Şekil 4.28 Analiz opsiyonları

#### 4.2.8. Görüntüle menüsü

Görüntüle menüsü sayesinde analiz neticesinde elde edilen sonuçların ekranda görüntülenmesi sağlanır (Şekil 4.29).

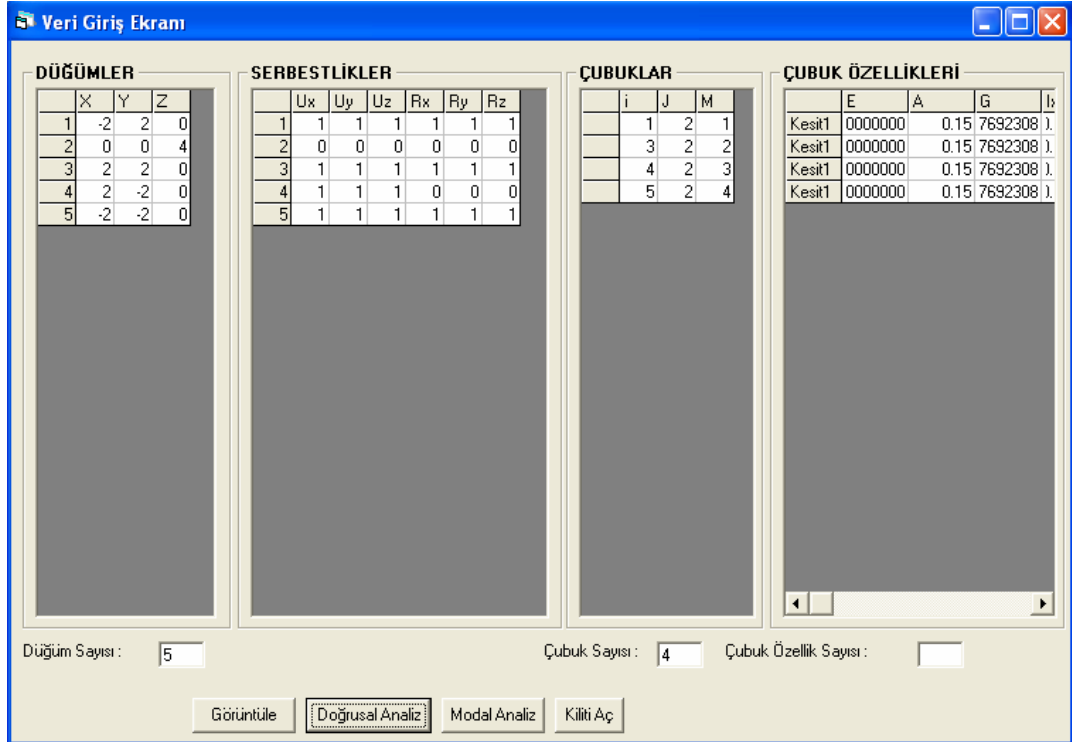




Şekil 4.29 Görüntüle menüsü

#### 4.2.8.1. Veri ekranı

Kullanıcının bu ekran sayesinde düğüm koordinatlarını, çerçeve bilgilerini, düğüm serbestliklerini, malzeme ve çubuk elemana ait kesit bilgilerini görebilir ve bu ekran üzerinde düzenleyebilir.(Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Veri Ekranı

#### **4.2.8.2. Deforme olmamış hali**

Taşıyıcı sistemin deforme olmamış halini gösterir.

#### **4.2.8.3. Deforme Olmuş Hali**

Analiz sonrası seçilen statik ve dinamik yükleme durumuna göre taşıyıcı sistemin deforme olmuş halini görüntüler.

#### **4.2.8.4. Düğüm ve eleman no**

Grafik ekran üzerinde taşıyıcı sistemin düğüm ve çubuk no larını gösterir.

#### **4.2.8.5. Yüklemeleler**

Grafik ekran üzerinde taşıyıcı sistemin düğüm ve çubuklarını etkilenen yükleri gösterir.

#### **4.2.8.6. Eleman Kuvvetleri**

Analiz sonrası grafik ekran üzerinde taşıyıcı sistemin düğüm reaksiyonlarını ve çubuk kuvvet diyagramlarını gösterir.

#### **4.2.8.7. Eleman uç kuvvetleri**

Analiz neticesinde eleman uç noktaların oluşan kuvvetleri görüntüler.

#### **4.2.8.8. Deplasmanlar**

Analiz neticesinde kullanıcının belirlediği statik ve dinamik yükleme durumda oluşan düğüm deplasmanlarını görüntüler.

#### **4.2.8.9. Matrisler**

Analiz neticesinde elde edilen matrisler görüntülenir.

##### **4.2.8.9.1. Eleman rijitlik matrisi**

Analiz neticesinde elde edilen global ve lokal eleman rijitlik matrisleri, dönüşüm matrisler ve dönüşüm matrisinin tersi görüntülenebilir.

##### **4.2.8.9.2. Sistem Rijitlik Matrisi**

Analiz neticesinde elde edilen Sistem Rijitlik, Deplasman ve Yük Vektörü görüntülenir .

##### **4.2.8.9.3. Sistem kütle matrisi**

Analiz neticesinde elde edilen Sistem Kütle Matrisi görüntülenir.

##### **4.2.8.9.4. Kodlama tablosu**

Analiz safhasında elde edilen Kodlama Tablosu görüntülenir.

#### **4.2.8.10. Modal Analiz**

Dinamik analiz neticesinde elde edilen Öz Değer, Öz Vektör, Periyot ve Mod Şekillerine ait değerler görüntülenebilir.

##### **4.2.8.10.1. Öz değerler**

Dinamik analiz neticesinde elde edilen Öz Değerler görüntülenir.

#### 4.2.8.10.2. Öz vektörler

Dinamik analiz neticesinde elde edilen Öz Vektörler görüntülenir.

#### 4.2.8.10.3. Periyotlar

Dinamik analiz neticesinde elde edilen Periyotlar görüntülenir.

#### 4.2.8.10.4. Mod şekilleri

Dinamik analiz neticesinde elde edilen Mod Şekilleri görüntülenir.

#### 4.2.9. Yardım menüsü

Yardım menüsünden kullanıcılar programın kullanımına ilişkin bilgi, ipucu ve program tanımı hakkında bilgi edinebilirler (Şekil 4.31)



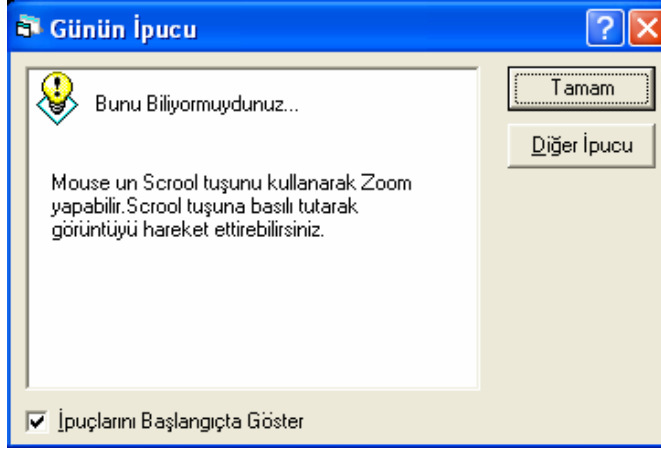
Şekil 4.31 Yardım menüsü

#### 4.2.9.1. İçerik

Programın kullanımı hakkında bilgileri gösteren formdur.

#### 4.2.9.2. İpucu

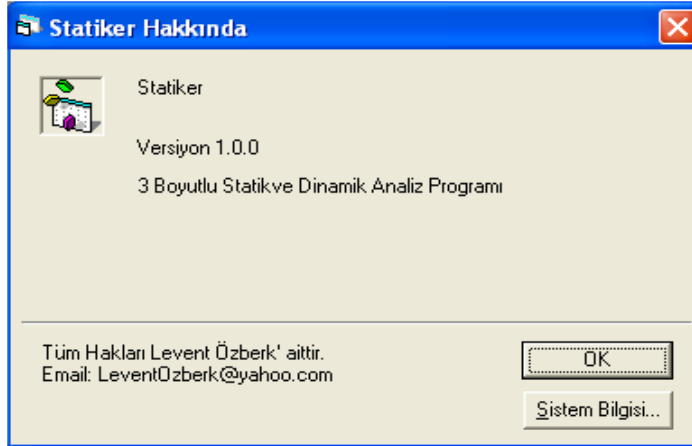
Programın kullanımı hakkında ipuçlarını gösteren formdur (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 İpucu örneği

#### 4.2.9.3. Hakkında

Programın tanımı, versiyonu ve yazarı hakkında bilgi içeren ekrandır (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 Program hakkında

## 5. HAZIRLANAN PROGRAM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde farklı tipteki yapılara ait modeller hazırlanan Program ve Sap2000 Educational Version 7.0 ile analizi yapılacak ve daha sonra her iki programla elde edilen deplasman sonuçlarının karşılaştırılması yapılacaktır (Wilson ve Habibullah 1995)

Hazırlanan paket programın kontrolünde sadece Sap2000 paket programıyla karşılaştırılma yapılmamıştır. Buna ek olarak programın yazım safhasında; lineer sistem takımlarının çözümü, özdeğer- özvektör problemlerinin çözümü, global eleman rijitlik matrisinin elde edilişi gibi ara işlemler excel ve matlab gibi sayısal çözümlere yapan paket programlarda çözülen örneklerle karşılaştırılmıştır. (Özmen 2002, Arifoğlu ve Kubat 2003).

Programın yazılımda ve numerik analiz sonuçlarını kontrolünde ek olarak bu konuyla ilgili yayınlardan yararlanılmış ve sonuçlar bu kitaplardaki örneklerle de karşılaştırılmıştır ( Kumbasar vd 1992, Uysal ve Uysal 2004, Uzun 2004, Wilson 2002).

Paket program Visual Basic görsel programlama diliyle yazılmıştır. Bu sayede analiz sonrası kullanıcı sonuçlara grafik ekranda kolaylıkla ulaşabilmekte ve sonuçların karşılaştırılmasında zorluk çekmemektedir (Hocaoğlu 2001, Karagülle ve Pala 2001).

Karşılaştırma sonuçlarının daha sağlıklı olması amacıyla farklı tipte 3 boyutlu ve 2 boyutlu sistemler çözüm yapılacaktır. Karşılaştırma için çözülecek yapı modelleri aşağıdaki gibidir.

- Uzay Çerçeve
- Uzay Kafes
- Düzlem Çerçeve
- Düzlem Kafes

Yapı sistemleri her iki programda modellendikten sonra analizi yapılmış ve deplasman sonuçları kaydedilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aşağıda bu yapı sistemlerine ait bilgiler sunulmuştur.

## **5.1. Uzay Çerçeve**

### **5.1.1. Uzay çerçeve modeline ait bilgiler**

#### **5.1.1.1. Uzay erçeve sisteme ait geometrik bilgiler**

Bu modelde X ve Y yönünde iki açıklıklı, 2 kat a sahip bir 3 Boyutlu bir Betonarme Çerçeve Sistem modellenmiştir. X ve Y yönündeki açıklık mesafeleri eşit ve 6 şar mt. dir. Kat yükseklikleri sabit ve 3 er mt. dir.

#### **5.1.1.2 Uzay çerçeve sistem içerisindeki elemanlara ait bilgiler**

Elastisite Modülü : 24821130

Poison Oranı : 0.2

Kayma Modülü :10342138 (Kayma modülü programlar tarafından otomatik hesaplanmaktadır)

Kolon Ebatları :0.5\*0.5 m

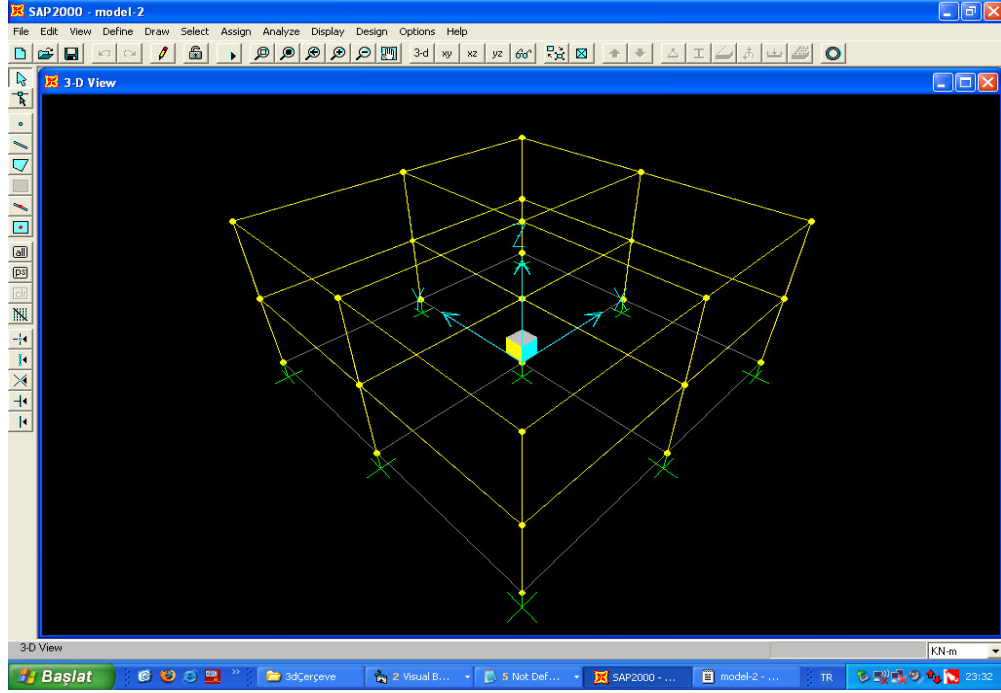
Kiriş Ebatları : 0.25\*0.50 m

#### **5.1.1.3. Uzay çerçeve sisteme ait yükleme bilgileri**

Sisteme 3, 6, 9 numaralı düğüm noktalarından Global Fx yönünde 200 kN luk bir noktasal yükleme ve 20, 22, 28, 30 numaralı çubuk elemanlara is 100 kN luk yayılı yükleme yapılmıştır.

### **5.1.2. Uzay çerçeve sistemin Sap2000'de modellenmesi**

Bu bilgiler ışığında oluşturulan modelin Sap 2000 görüntüsü (Şekil 6.1) aşağıdaki gibidir.



**Şekil 6.1** Uzay çerçeve sistemin SAP2000 modeli

Bu modele ait Sap2000 s2K dosya içeriği aşağıdaki gibidir.

#### SYSTEM

DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

#### JOINT

- 1 X=-6 Y=-6 Z=0
- 2 X=-6 Y=-6 Z=3
- 3 X=-6 Y=-6 Z=6
- 4 X=-6 Y=0 Z=0
- 5 X=-6 Y=0 Z=3
- 6 X=-6 Y=0 Z=6
- 7 X=-6 Y=6 Z=0
- 8 X=-6 Y=6 Z=3
- 9 X=-6 Y=6 Z=6
- 10 X=0 Y=-6 Z=0
- 11 X=0 Y=-6 Z=3
- 12 X=0 Y=-6 Z=6



13 X=0 Y=0 Z=0  
14 X=0 Y=0 Z=3  
15 X=0 Y=0 Z=6  
16 X=0 Y=6 Z=0  
17 X=0 Y=6 Z=3  
18 X=0 Y=6 Z=6  
19 X=6 Y=-6 Z=0  
20 X=6 Y=-6 Z=3  
21 X=6 Y=-6 Z=6  
22 X=6 Y=0 Z=0  
23 X=6 Y=0 Z=3  
24 X=6 Y=0 Z=6  
25 X=6 Y=6 Z=0  
26 X=6 Y=6 Z=3  
27 X=6 Y=6 Z=6

#### RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=4 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=7 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=10 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=13 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=16 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=19 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=22 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=25 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3

#### PATTERN

NAME=DEFAULT

#### MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955  
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3  
NAME=CONC IDES=C M=2.40068 W=23.56161

T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099  
 NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161

T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099  
 NAME=MAT1 IDES=N M=1 W=1

T=0 E=1 U=.1 A=0

#### FRAME SECTION

NAME=FSEC1 MAT=STEEL SH=R T=.5,.3 A=.15 J=2.817371E-03  
 I=.003125,.001125 AS=.125,.125

NAME=KESIT MAT=MAT1 A=1 J=1 I=1,1 AS=1,1 S=1,1 Z=1,1 R=1,1 T=1,1

NAME=FSEC2 MAT=MAT1 SH=R T=.25,.25 A=.0625 J=5.501302E-04  
 I=3.255208E-04,3.255208E-04 AS=5.208333E-02,5.208333E-02

NAME=KOLON MAT=CONC SH=R T=.5,.5 A=.25 J=8.802083E-03 I=5.208333E-03,  
 5.208333E-03 AS=.2083333,.2083333

NAME=KIRIS MAT=CONC SH=R T=.25,.5 A=.125 J=1.788127E-03 I=6.510417E-04,  
 2.604167E-03 AS=.1041667,.1041667

#### FRAME

1 J=1,2 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 2 J=2,3 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 3 J=4,5 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 4 J=5,6 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 5 J=7,8 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 6 J=8,9 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 7 J=10,11 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 8 J=11,12 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 9 J=13,14 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 10 J=14,15 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 11 J=16,17 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 12 J=17,18 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 13 J=19,20 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 14 J=20,21 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
 15 J=22,23 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0

16 J=23,24 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
17 J=25,26 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
18 J=26,27 SEC=KOLON NSEG=2 ANG=0  
19 J=2,11 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
20 J=3,12 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
21 J=11,20 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
22 J=12,21 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
23 J=5,14 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
24 J=6,15 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
25 J=14,23 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
26 J=15,24 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
27 J=8,17 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
28 J=9,18 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
29 J=17,26 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
30 J=18,27 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
31 J=2,5 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
32 J=3,6 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
33 J=5,8 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
34 J=6,9 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
35 J=11,14 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
36 J=12,15 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
37 J=14,17 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
38 J=15,18 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
39 J=20,23 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
40 J=21,24 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
41 J=23,26 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0  
42 J=24,27 SEC=KIRIS NSEG=4 ANG=0

#### LOAD

NAME=LOAD1 CSYS=0

TYPE=FORCE

ADD=3 UX=200

ADD=6 UX=200

ADD=9 UX=200

TYPE=DISTRIBUTED SPAN

ADD=20 RD=0,1 UZ=-100,-100

ADD=22 RD=0,1 UZ=-100,-100

ADD=28 RD=0,1 UZ=-100,-100

ADD=30 RD=0,1 UZ=-100,-100

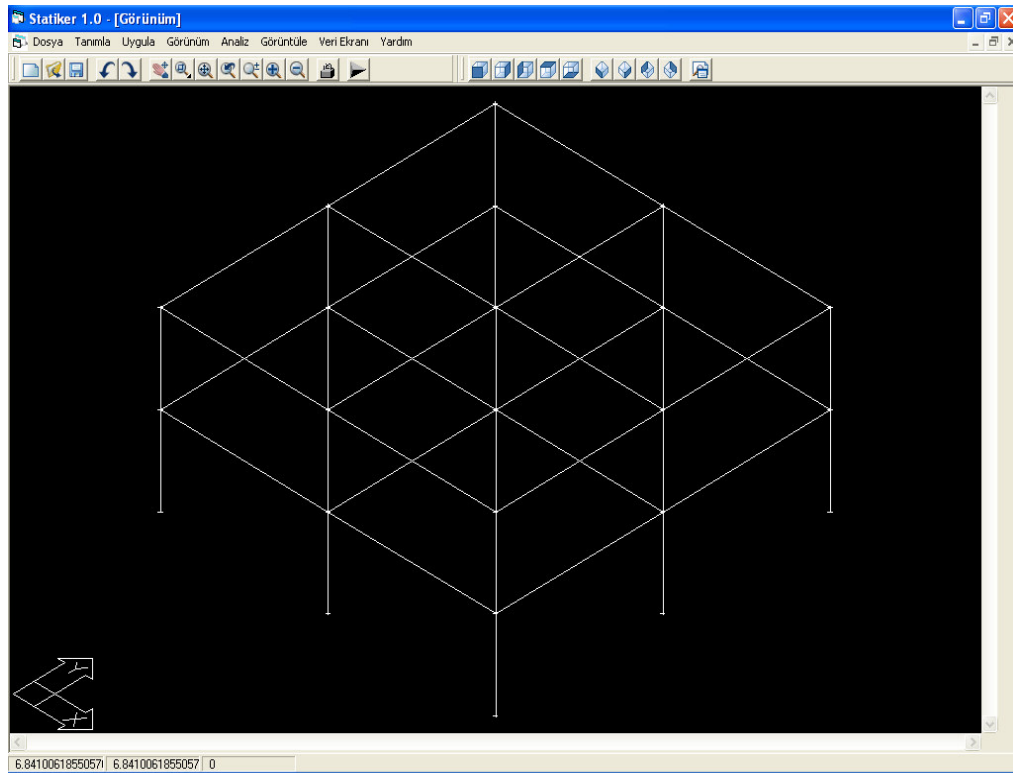
OUTPUT

; No Output Requested

END

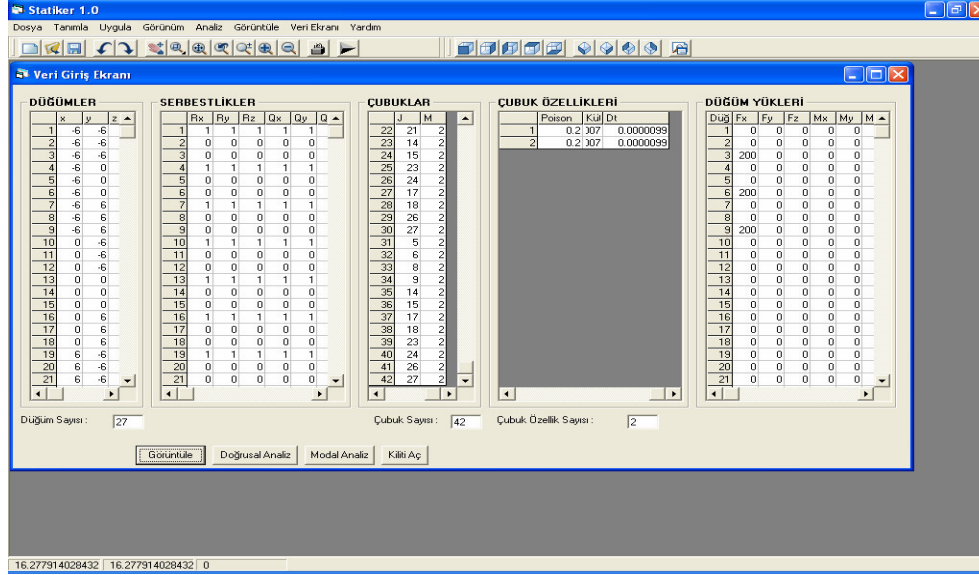
### 5.1.3. Uzak çerçeve sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi

Bu modelin hazırlanan programdaki görüntüsü (Şekil 6.2) aşağıdaki gibidir.



**Şekil 6.2** Uzak Çerçeve Sistemin STATIKER Modeli

Hazırlanan programa ait Veri Ekranının görüntüsü (Şekil 6.3) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.3 Uzak çerçeve sistemin veri ekranı

### 5.1.4. Uzak çerçeve sistemin analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Modellenen uzak çerçeve sistemin statik analizi neticesinde elde edilen deplasmanlar ve dinamik analizi neticesinde elde edilen modlara karşılık gelen periyotları sunulmuştur. Modal analizde 25 mod göz önüne alınmıştır.

#### 5.1.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları

##### JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2 LOAD1	6.107E-03	0.0000	-1.242E-04	0.0000	3.040E-03	-1.408E-05
3 LOAD1	0.0189	0.0000	-2.567E-04	5.210E-06	6.128E-03	1.462E-05
4 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5 LOAD1	6.343E-03	0.0000	1.841E-05	0.0000	3.437E-03	0.0000
6 LOAD1	0.0187	0.0000	2.818E-05	0.0000	4.125E-03	0.0000
7 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8 LOAD1	6.107E-03	0.0000	-1.242E-04	0.0000	3.040E-03	1.408E-05

9	LOAD1	0.0189	0.0000	-2.567E-04	-5.210E-06	6.128E-03	-1.462E-05
10	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	LOAD1	6.364E-03	0.0000	-2.939E-04	0.0000	3.333E-03	0.0000
12	LOAD1	0.0184	0.0000	-5.891E-04	9.413E-06	3.604E-03	0.0000
13	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	LOAD1	6.364E-03	0.0000	-1.166E-06	0.0000	3.333E-03	0.0000
15	LOAD1	0.0184	0.0000	-2.074E-06	0.0000	3.604E-03	0.0000
16	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	LOAD1	6.364E-03	0.0000	-2.939E-04	0.0000	3.333E-03	0.0000
18	LOAD1	0.0184	0.0000	-5.891E-04	-9.413E-06	3.604E-03	0.0000
19	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	LOAD1	6.591E-03	0.0000	-1.613E-04	0.0000	3.828E-03	1.408E-05
21	LOAD1	0.0181	0.0000	-3.133E-04	5.210E-06	1.793E-03	-1.462E-05
22	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	LOAD1	6.355E-03	0.0000	-1.869E-05	0.0000	3.432E-03	0.0000
24	LOAD1	0.0183	0.0000	-2.850E-05	0.0000	3.796E-03	0.0000
25	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	LOAD1	6.591E-03	0.0000	-1.613E-04	0.0000	3.828E-03	-1.408E-05
27	LOAD1	0.0181	0.0000	-3.133E-04	-5.210E-06	1.793E-03	1.462E-05

MODE PERIOD

1	0.205210
2	0.205210
3	0.182813
4	0.135696
5	0.110422
6	0.110422
7	0.047313
8	0.047313
9	0.043432
10	0.042823
11	0.042453
12	0.042453

13	0.017508
14	0.017452
15	0.016263
16	0.016213
17	0.015657
18	0.015657
19	0.015655
20	0.015628
21	0.015381
22	0.014143
23	0.014143
24	0.014142
25	0.014116

#### 5.1.4.2. Hazırlanan paket programın deplasman sonuçları

##### DÜĞÜM DEPLASMANLARI

Düğüm No	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	0.	0.	0.	0.	0.	
2	0.00601	0.000001	-0.000124	0.000004	0.003022	-0.00001
3	0.018716	-0.000001	-0.000257	0.000003	0.006061	0.000011
4	0.	0.	0.	0.	0.	
5	0.006203	0.	0.000018	0.	0.003408	0.
6	0.018378	0.	0.000028	0.	0.004087	0.
7	0.	0.	0.	0.	0.	
8	0.00601	-0.000001	-0.000124	-0.000004	0.003022	0.00001
9	0.018716	0.000001	-0.000257	-0.000003	0.006061	-0.000011
10	0.	0.	0.	0.	0.	
11	0.006276	0.000002	-0.000293	0.000001	0.003339	-0.000006
12	0.018228	-0.000002	-0.000588	0.000017	0.003609	-0.00001
13	0.	0.	0.	0.	0.	
14	0.006223	0.	-0.000002	0.	0.003314	0.
15	0.018093	0.	-0.000003	0.	0.003586	0.

16	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
17	0.006276	-0.000002	-0.000293	-0.000001	0.003339	0.000006		
18	0.018228	0.000002	-0.000588	-0.000017	0.003609	0.00001		
19	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
20	0.006511	0.000002	-0.000161	-0.000003	0.00384	0.000009		
21	0.017909	-0.000002	-0.000313	0.000013	0.001841	-0.000009		
22	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
23	0.006214	0.	-0.000019	0.	0.003403	0.		
24	0.017979	0.	-0.000029	0.	0.003765	0.		
25	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
26	0.006511	-0.000002	-0.000161	0.000003	0.00384	-0.000009		
27	0.017909	0.000002	-0.000313	-0.000013	0.001841	0.000009		

Mod No      Periyot

1	0.204056
2	0.182733
3	0.167823
4	0.134354
5	0.12453
6	0.106916
7	0.046413
8	0.044109
9	0.04221
10	0.041859
11	0.039818
12	0.040393
13	0.017472
14	0.017408
15	0.016248
16	0.016169
17	0.015623
18	0.015617
19	0.015571



20	0.015587
21	0.015358
22	0.014071
23	0.014109
24	0.014137
25	0.014136

Analiz sonrası sonuçların karşılaştırılmasında, sonuçlarda ortalama % 1 oranında bir farklılık gözlemlenmiştir.

## **5.2. Uzay Kafes Sistem**

### **5.2.1. Uzay kafes sisteme ait bilgiler**

#### **5.2.1.1. Uzay kafes sisteme ait geometrik bilgiler**

Bu modelde X ve Y yönünde tek açıklıklı, 3 Boyutlu bir Çelik Uzay Çerçeve Sistem modellenmiştir. X ve Y yönündeki açıklık mesafesi 6 mt. dir.

#### **5.2.1.2. Uzay kafes sistem içerisinde elemanlara ait bilgiler**

Uzay Çerçeve Sistemde Kullanılan Malzeme Bilgileri:

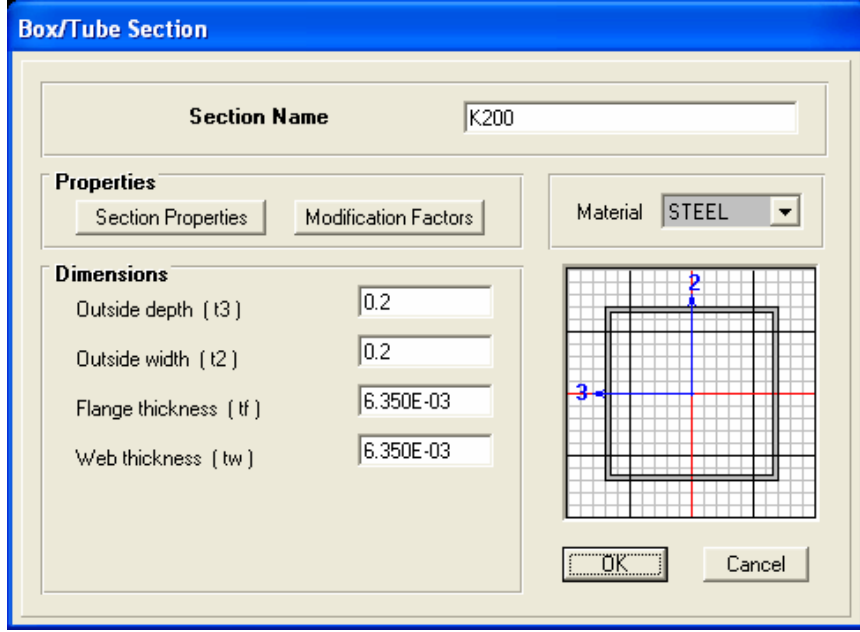
Elastisite Modülü : 2.1+E8

Poison Oranı : 0.3

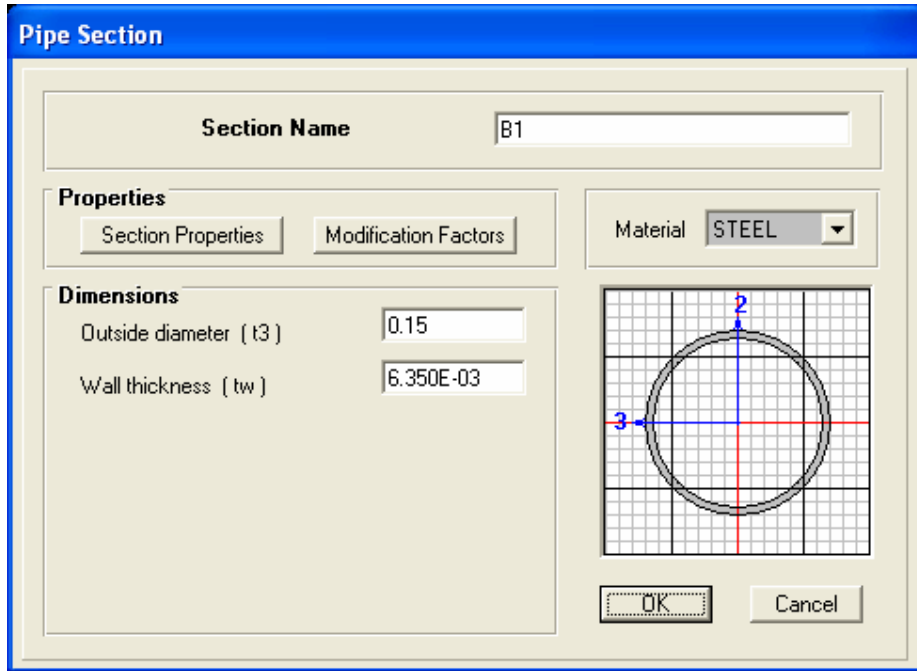
Kayma Modülü :80769231 (Kayma modülü programlar tarafından otomatik hesaplanmaktadır)

Uzay Çerçeve Kolon Bilgileri: Kolon eleman olarak Kutu-Tüp kesit kullanılmıştır. Kesite ait bilgileri gösteren Sap2000 ekran görüntüsü Şekil 6.4'daki gibidir.

Uzay Çerçeve Eleman Bilgileri: Uzay çerçeve elemanları olarak içi boş bir boru kesit kullanılmıştır. Kesite ilişkin bilgileri gösteren Sap2000 ekran görüntüsü (Şekil 6.5) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.4 Uzay çerçeve sistemin kolonlarının SAP2000'deki kesit ekranı



Şekil 6.5 Uzay çerçeve sistemin çerçeve elemanlarının SAP2000'deki kesit ekranı

### 5.2.1.3. Uzay kafes sisteme ait yükleme bilgileri

Sisteme 4 noktadan (5,8,11,14,16,18 nolu düğüm noktaları) Global Fz yönünde -100 kN luk bir yükleme yapılmıştır.

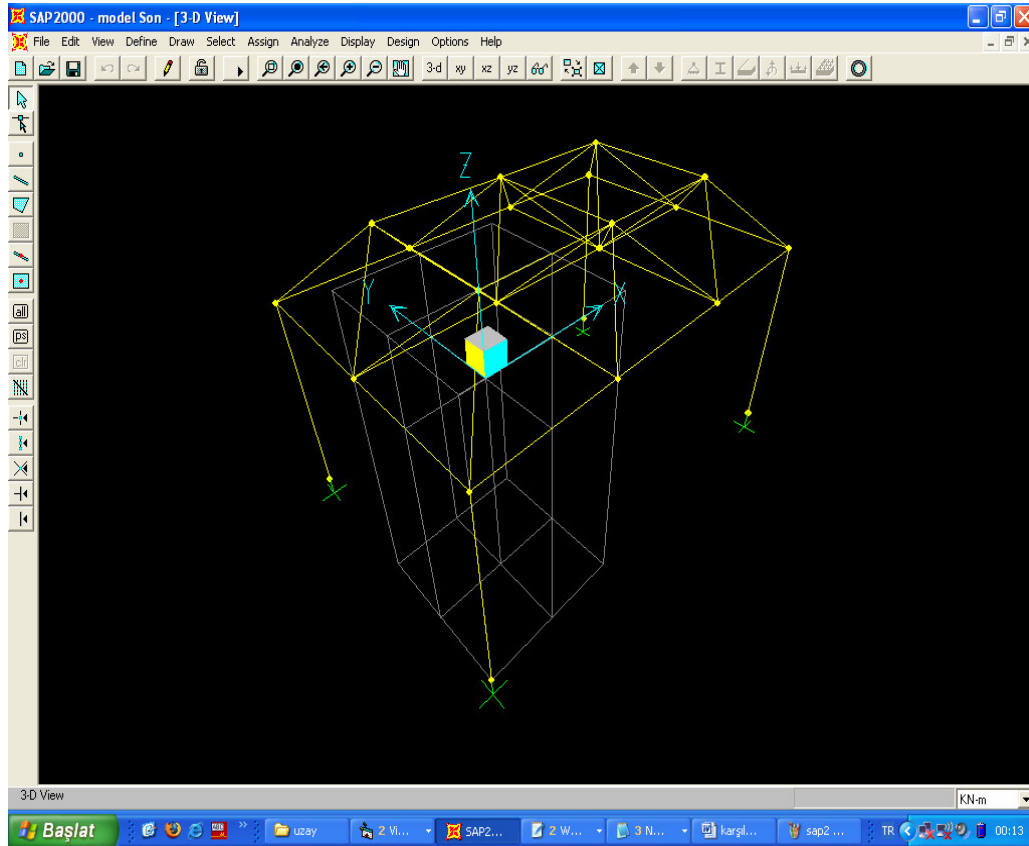
### 5.2.2. Uzay kafes sistemin Sap2000'de modellenmesi

Bu bilgiler ışığında oluşturulan modelin Sap2000 görüntüsü (Şekil 6.6) aşağıdaki gibidir.

Sap2000 de modellenen sistemin s2K dosya içeriği aşağıdaki gibidir.

SYSTEM

DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS



Şekil 6.6 Uzay kafes sistemin SAP2000 modeli

JOINT

- 1 X=-1 Y=1 Z=0
- 2 X=-1 Y=-1 Z=0
- 3 X=1 Y=-1 Z=0
- 4 X=1 Y=1 Z=0
- 5 X=0 Y=0 Z=1

6 X=3 Y=-1 Z=0  
7 X=3 Y=1 Z=0  
8 X=2 Y=0 Z=1  
9 X=5 Y=-1 Z=0  
10 X=5 Y=1 Z=0  
11 X=4 Y=0 Z=1  
12 X=-1 Y=3 Z=0  
13 X=1 Y=3 Z=0  
14 X=0 Y=2 Z=1  
15 X=3 Y=3 Z=0  
16 X=2 Y=2 Z=1  
17 X=5 Y=3 Z=0  
18 X=4 Y=2 Z=1  
19 X=-1 Y=-1 Z=-3  
20 X=-1 Y=3 Z=-3  
21 X=5 Y=-1 Z=-3  
22 X=5 Y=3 Z=-3

#### RESTRAINT

ADD=19 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=20 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=21 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=22 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3

#### PATTERN

NAME=DEFAULT

#### MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.8195  
T=0 E=2.1E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3  
NAME=CONC IDES=C M=2.40068 W=23.56161  
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099  
NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161

T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

#### FRAME SECTION

NAME=FSEC1 MAT=STEEL SH=R T=.5,.3 A=.15 J=2.817371E-03  
I=.003125,.001125 AS=.125,.125

NAME=B1 MAT=STEEL SH=P T=.15,.00635 A=2.86569E-03 J=1.48125E-05  
I=7.406249E-06,7.406249E-06 AS=1.529896E-03,1.529896E-03

NAME=K200 MAT=STEEL SH=B T=.2,.2,.00635,.00635 A=4.91871E-03  
J=4.61133E-05 I=3.077526E-05,3.077526E-05 AS=.00254,.00254

#### FRAME

1 J=1,2 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
2 J=2,3 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
3 J=3,4 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
4 J=4,1 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
5 J=1,5 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
6 J=2,5 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
7 J=3,5 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
8 J=4,5 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
9 J=3,6 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
10 J=6,7 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
11 J=7,4 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
12 J=4,8 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
13 J=3,8 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
14 J=6,8 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
15 J=7,8 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
16 J=6,9 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
17 J=9,10 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
18 J=10,7 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
19 J=7,11 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
20 J=6,11 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
21 J=9,11 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
22 J=10,11 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0

23 J=12,1 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
24 J=4,13 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
25 J=13,12 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
26 J=12,14 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
27 J=1,14 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
28 J=4,14 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
29 J=13,14 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
30 J=7,15 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
31 J=15,13 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
32 J=13,16 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
33 J=4,16 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
34 J=7,16 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
35 J=15,16 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
36 J=10,17 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
37 J=17,15 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
38 J=15,18 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
39 J=7,18 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
40 J=10,18 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
41 J=17,18 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
42 J=14,5 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
43 J=16,8 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
44 J=18,11 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
45 J=14,16 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
46 J=16,18 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
47 J=5,8 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
48 J=8,11 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
49 J=19,2 SEC=K200 NSEG=2 ANG=0  
50 J=20,12 SEC=K200 NSEG=2 ANG=0  
51 J=21,9 SEC=K200 NSEG=2 ANG=0  
52 J=22,17 SEC=K200 NSEG=2 ANG=0

LOAD

NAME=LOAD1 CSYS=0

TYPE=FORCE

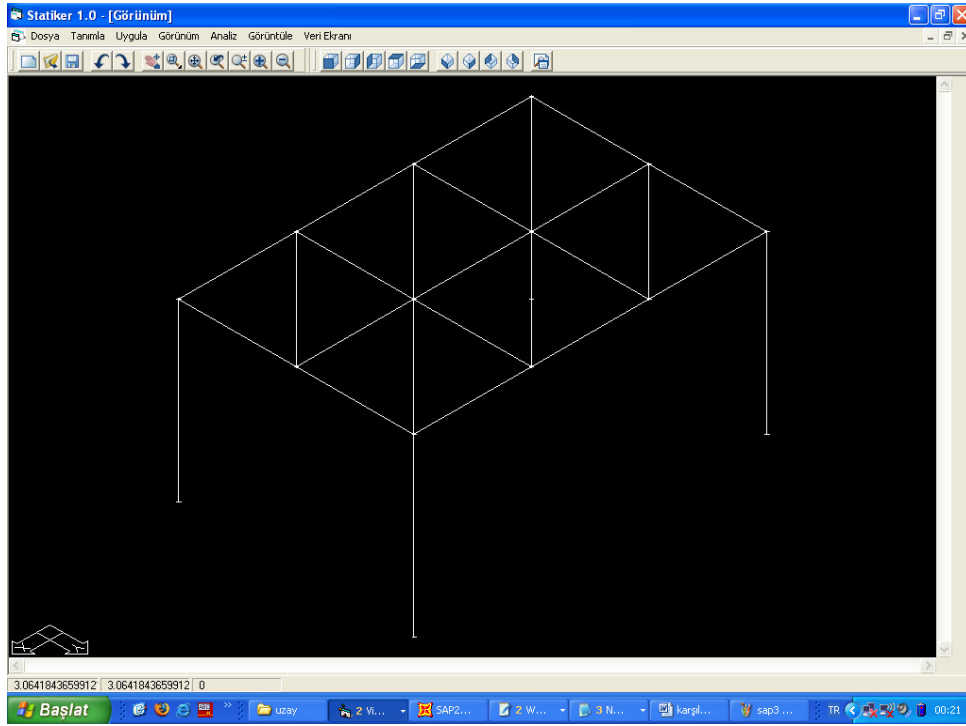
```

ADD=5 UZ=-100
ADD=8 UZ=-100
ADD=11 UZ=-100
ADD=14 UZ=-100
ADD=16 UZ=-100
ADD=18 UZ=-100
END

```

### 5.2.3. Uzay kafes sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi

Aynı modelin hazırlanan programdaki görüntüsü (Şekil 6.7) aşağıdaki gibidir.



**Şekil 6.7** Uzay kafes sistemin STATIKER modeli

Bu modele ilişkin hazırlanan programdaki veri ekran görüntüsü (Şekil 6.8) aşağıdaki gibidir.

### 5.2.4. Uzay kafes sistemin analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Modellenen uzay kafes sistemin statik analizi neticesinde elde edilen deplasmanlar ve dinamik analizi neticesinde elde edilen modlara karşılık gelen periyotları aşağıda sunulmuştur. Modal analizde 25 mod göz önüne alınmıştır.

x	y	z	Rx	Ry	Rz	Qx	Qy	Qz	i	J	M	E	A	G	Ix	Iy	Iz	Düğ	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	-1	1	5	0	0	0	0	0	24	4	13	1	3000	3286	3231	3148	3074	3074	1	0	0	0	0	0
2	-1	-1	6	0	0	0	0	0	25	13	12	2	3000	3491	3231	3461	3307	3307	2	0	0	0	0	0
3	1	-1	7	0	0	0	0	0	26	12	14							3	0	0	0	0	0	
4	1	1	8	0	0	0	0	0	27	1	14							4	0	0	0	0	0	
5	0	0	9	0	0	0	0	0	28	4	14							5	0	0	-100	0	0	
6	3	-1	10	0	0	0	0	0	29	13	14							6	0	0	0	0	0	
7	3	1	11	0	0	0	0	0	30	7	15							7	0	0	0	0	0	
8	2	0	12	0	0	0	0	0	31	15	13							8	0	0	-100	0	0	
9	5	-1	13	0	0	0	0	0	32	13	16							9	0	0	0	0	0	
10	5	1	14	0	0	0	0	0	33	4	16							10	0	0	0	0	0	
11	4	0	15	0	0	0	0	0	34	7	16							11	0	0	-100	0	0	
12	-1	3	16	0	0	0	0	0	35	15	16							12	0	0	0	0	0	
13	1	3	17	0	0	0	0	0	36	10	17							13	0	0	0	0	0	
14	0	2	18	0	0	0	0	0	37	17	15							14	0	0	-100	0	0	
15	3	3	19	1	1	1	1	1	38	15	18							15	0	0	0	0	0	
16	2	2	20	1	1	1	1	1	39	7	18							16	0	0	-100	0	0	
17	5	3	21	1	1	1	1	1	40	10	18							17	0	0	0	0	0	
18	4	2	22	1	1	1	1	1	41	17	18							18	0	0	-100	0	0	
19																			19	0	0	0	0	0

Şekil 6.8 Uzay kafes sistemin veri ekranı

#### 5.2.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları

Uzay Kafes Sistemin Sap2000 programıyla çözümü neticesinde elde edilen deplasmanlar aşağıda sunulmuştur.

#### JOINT DISPLACEMENTS

JOINT	LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
-------	------	----	----	----	----	----	----



1	LOAD1	-2.042E-04	0.0000	-2.963E-03	0.0000	8.419E-04	0.0000
2	LOAD1	-7.298E-04	-4.338E-04	-4.357E-04	-5.843E-04	7.076E-04	-1.011E-04
3	LOAD1	-3.026E-04	-2.131E-05	-4.501E-03	-1.586E-04	1.237E-03	1.681E-04
4	LOAD1	-1.642E-04	0.0000	-4.782E-03	0.0000	6.054E-04	0.0000
5	LOAD1	6.161E-04	2.127E-04	-3.609E-03	-5.860E-04	1.271E-03	-5.764E-05
6	LOAD1	3.026E-04	-2.131E-05	-4.501E-03	-1.586E-04	-1.237E-03	-1.681E-04
7	LOAD1	1.642E-04	0.0000	-4.782E-03	0.0000	-6.054E-04	0.0000
8	LOAD1	0.0000	2.759E-05	-5.103E-03	-3.012E-05	0.0000	0.0000
9	LOAD1	7.298E-04	-4.338E-04	-4.357E-04	-5.843E-04	-7.076E-04	1.011E-04
10	LOAD1	2.042E-04	0.0000	-2.963E-03	0.0000	-8.419E-04	0.0000
11	LOAD	-6.161E-04	2.127E-04	-3.609E-03	-5.860E-04	-1.271E-03	5.764E-05
12	LOAD1	-7.298E-04	4.338E-04	-4.357E-04	5.843E-04	7.076E-04	1.011E-04
13	LOAD1	-3.026E-04	2.131E-05	-4.501E-03	1.586E-04	1.237E-03	-1.681E-04
14	LOAD1	6.161E-04	-2.127E-04	-3.609E-03	5.860E-04	1.271E-03	5.764E-05
15	LOAD1	3.026E-04	2.131E-05	-4.501E-03	1.586E-04	-1.237E-03	1.681E-04
16	LOAD1	0.0000	-2.759E-05	-5.103E-03	3.012E-05	0.0000	0.0000
17	LOAD1	7.298E-04	4.338E-04	-4.357E-04	5.843E-04	-7.076E-04	-1.011E-04
18	LOAD1	-6.161E-04	-2.127E-04	-3.609E-03	5.860E-04	-1.271E-03	-5.764E-05
19	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

MODE PERIOD

1	0.121570
2	0.121081
3	0.081127
4	0.023382
5	0.023297
6	0.013483
7	0.010851
8	0.008956
9	0.007690

10	0.007066
11	0.006924
12	0.006180
13	0.005361
14	0.004934
15	0.004880
16	0.004680
17	0.004456
18	0.004330
19	0.004195
20	0.003840
21	0.003838
22	0.003829
23	0.003746
24	0.003739
25	0.003696

#### 5.2.4.2. Hazırlanan paket programdaki deplasman sonuçları

Modelin hazırlanan programla analizi sonucu elde edilen deplasmanlar.

#### DÜĞÜM DEPLASMANLARI

Düğüm No	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	-0.000206	0.	-0.002955	0.	0.000843	0.
2	-0.000728	-0.000432	-0.000436	-0.000588	0.000707	-0.000104
3	-0.000302	-0.000022	-0.004496	-0.000158	0.00125	0.000175
4	-0.000165	0.	-0.004779	0.	0.000604	0.
5	0.000616	0.000212	-0.003605	-0.000596	0.001279	-0.000058
6	0.000302	-0.000022	-0.004496	-0.000158	-0.00125	-0.000175
7	0.000165	0.	-0.004779	0.	-0.000604	0.
8	0.	0.000028	-0.0051	-0.000026	0.	0.
9	0.000728	-0.000432	-0.000436	-0.000588	-0.000707	0.000104

10	0.000206	0.	-0.002955	0.	-0.000843	0.
11	-0.000616	0.000212	-0.003605	-0.000596	-0.001279	0.000058
12	-0.000728	0.000432	-0.000436	0.000588	0.000707	0.000104
13	-0.000302	0.000022	-0.004496	0.000158	0.00125	-0.000175
14	0.000616	-0.000212	-0.003605	0.000596	0.001279	0.000058
15	0.000302	0.000022	-0.004496	0.000158	-0.00125	0.000175
16	0.	-0.000028	-0.0051	0.000026	0.	0.
17	0.000728	0.000432	-0.000436	0.000588	-0.000707	-0.000104
18	-0.000616	-0.000212	-0.003605	0.000596	-0.001279	-0.000058
19	0.	0.	0.	0.	0.	0.
20	0.	0.	0.	0.	0.	0.
21	0.	0.	0.	0.	0.	0.
22	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Analiz sonrası sonuçların karşılaştırılmasında, sonuçlarda ortalama % 1 oranında bir farklılık gözlemlenmiştir.

### 5.3. Düzlem Çerçeve

#### 5.3.1. Düzlem çerçeve sisteme ait bilgiler

##### 5.3.1.1. Düzlem çerçeve sisteme ait geometrik bilgiler

Bu modelde X yönünde 2 açıklıklı, 2 Boyutlu bir düzlem çerçeve sistem modellenmiştir. X yönündeki açıklık mesafeleri eşit ve 6 er mt. dir. Kat yükseklikleri ise 3 er mt. dir.

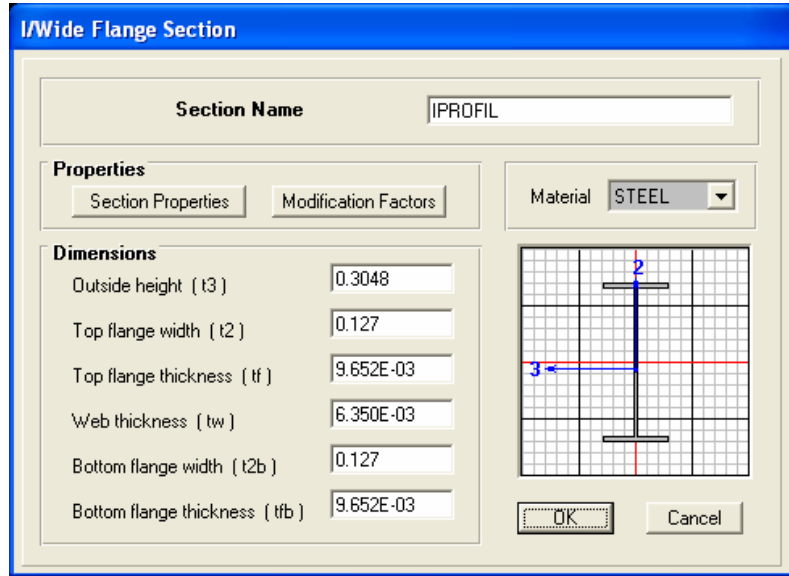
##### 5.3.1.2. Düzlem çerçeve sistem içerisinde elemanlara ait bilgiler

Elastisite Modülü : 1.999 E+08

Poison Oranı : 0.3

Kayma Modülü :1.170E-05 (Kayma modülü programlar tarafından otomatik hesaplanmaktadır)

Çubuk elemanlarda kullanılan kesit bilgilerini gösteren Sap2000 ekranı (Şekil 6.9) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.9 Düzlem çerçeve sistemin çubuklarının SAP2000'deki kesit ekranı

### 5.3.1.3. Düzlem çerçeve sisteme ait yükleme bilgileri

Sistemde 8 ve 10 numaralı çubuk elemanlara 75 kN luk yayılı yükleme yapılmıştır.

### 5.3.2. Düzlem çerçeve sistemin Sap2000'de modellenmesi

Bu bilgiler ışığında oluşturulan modelin Sap 2000 görüntüsü (Şekil 6.10) aşağıdaki gibidir.

Bu modele ait Sap2000 s2K dosya içeriği aşağıdaki gibidir.

SYSTEM

DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

JOINT

1 X=-6 Y=0 Z=0

2 X=-6 Y=0 Z=3  
3 X=-6 Y=0 Z=6  
4 X=0 Y=0 Z=0  
5 X=0 Y=0 Z=3  
6 X=0 Y=0 Z=6  
7 X=6 Y=0 Z=0  
8 X=6 Y=0 Z=3  
9 X=6 Y=0 Z=6

#### RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=4 DOF=U1,U2,U3,R1,R2,R3  
ADD=7 DOF=U1,U2,U3

#### PATTERN

NAME=DEFAULT

#### MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955  
T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3  
NAME=CONC IDES=C M=2.40068 W=23.56161  
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099  
NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161  
T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

#### FRAME SECTION

NAME=FSEC1 MAT=STEEL SH=R T=.5,.3 A=.15 J=2.817371E-03  
I=.003125,.001125 AS=.125,.125  
NAME=IPROFIL MAT=STEEL SH=I T=.3048,.127,.009652,.00635,.127,.009652  
A=4.264507E-03 J=9.651177E-08 I=6.572418E-05,3.301257E-06 AS=1.93548E-  
03,2.043007E-03

#### FRAME

1 J=1,2 SEC=IPROFIL NSEG=2 ANG=0

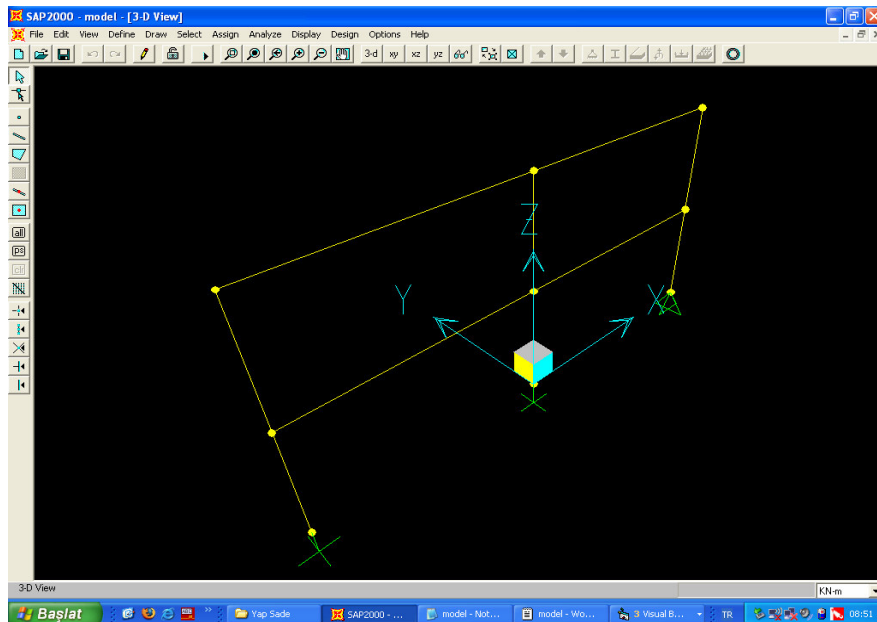
2 J=2,3 SEC=IPROFIL NSEG=2 ANG=0  
 3 J=4,5 SEC=IPROFIL NSEG=2 ANG=0  
 4 J=5,6 SEC=IPROFIL NSEG=2 ANG=0  
 5 J=7,8 SEC=IPROFIL NSEG=2 ANG=0  
 6 J=8,9 SEC=IPROFIL NSEG=2 ANG=0  
 7 J=2,5 SEC=IPROFIL NSEG=4 ANG=0  
 8 J=3,6 SEC=IPROFIL NSEG=4 ANG=0  
 9 J=5,8 SEC=IPROFIL NSEG=4 ANG=0  
 10 J=6,9 SEC=IPROFIL NSEG=4 ANG=0

### LOAD

NAME=LOAD1 CSYS=0  
 TYPE=DISTRIBUTED SPAN  
 ADD=8 RD=0,1 UZ=-75,-75  
 ADD=10 RD=0,1 UZ=-75,-75

### OUTPUT

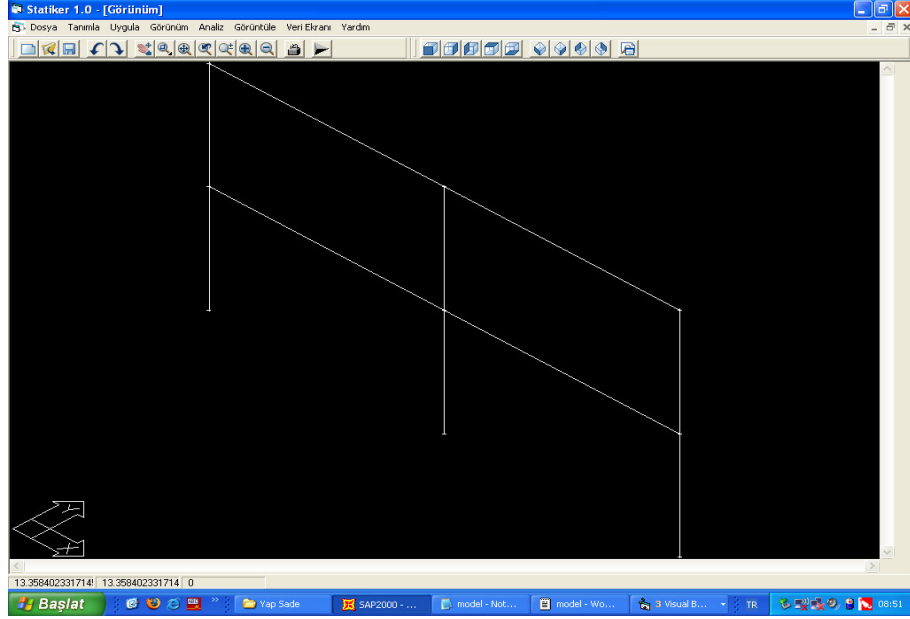
; No Output Requested  
 END



Şekil 6.10 Düzlem çerçeve sistemin SAP2000 modeli

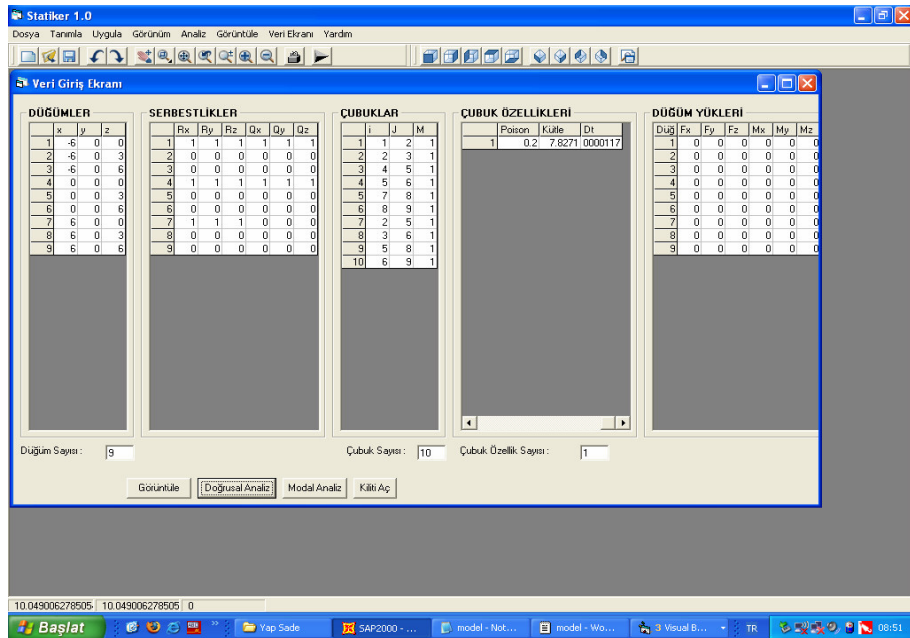
### 5.3.3. Düzlem çerçeve sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi

Bu modelin hazırlanan programdaki görüntüsü (Şekil 6.11) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.11 Düzlem çerçeve sistemin STATIKER modeli

Hazırlanan programa ait Veri Ekranının görüntüsü (Şekil 6.12) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.12 Düzlem çerçeve sistemin veri ekranı

### 5.3.4. Düzlem Çerçeve Sistemin Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Modellenen düzlem çerçeve sistemin statik analizi neticesinde elde edilen deplasmanlar ve dinamik analizi neticesinde elde edilen modlara karşılık gelen periyotları aşağıda sunulmuştur. Modal analizde 18 mod göz önüne alınmıştır.

#### 5.3.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları

##### JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2 LOAD1	-9.353E-04	0.0000	-7.374E-04	0.0000	-1.779E-03	0.0000
3 LOAD1	-9.902E-05	0.0000	-1.459E-03	0.0000	0.0101	0.0000
4 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5 LOAD1	-4.450E-04	0.0000	-1.693E-03	0.0000	-8.077E-05	0.0000
6 LOAD1	-5.255E-04	0.0000	-3.418E-03	0.0000	3.441E-06	0.0000
7 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-7.808E-04	0.0000
8 LOAD1	3.200E-05	0.0000	-7.357E-04	0.0000	1.742E-03	0.0000
9 LOAD1	-9.507E-04	0.0000	-1.457E-03	0.0000	-0.0101	0.0000

##### MODE PERIOD

1	2.333970
2	0.910200
3	0.490253
4	0.198834
5	0.173129
6	0.143209
7	0.101594
8	0.031268
9	0.009758
10	0.007721
11	0.007717
12	0.007312



13	0.006412
14	0.004845
15	0.004346
16	0.003881
17	0.003113
18	0.003113

### 5.3.4.2. Hazırlanan Paket Programdaki Deplasman Sonuçları

Modelin hazırlanan programla analizi sonucu elde edilen deplasmanlar.

#### DÜĞÜM DEPLASMANLARI

Düğüm No	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	0.	0.	0.	0.	0.	
2	-0.00106	0.	-0.00074	0.	-0.001912	0.
3	-0.000199	0.	-0.001463	0.	0.009648	0.
4	0.	0.	0.	0.	0.	
5	-0.000544	0.	-0.001688	0.	-0.000106	0.
6	-0.000641	0.	-0.003411	0.	0.000008	0.
7	0.	0.	0.	0.	-0.000963	0.
8	-0.000047	0.	-0.000738	0.	0.001879	0.
9	-0.00108	0.	-0.00146	0.	-0.009698	0.

#### Mod No Periyot

1	2.378595
2	0.913616
3	0.493162
4	0.098381
5	0.199033
6	0.17324
7	0.143161
8	0.02998
9	0.009757

10	0.007721
11	0.007717
12	0.007302
13	0.00641
14	0.004842
15	0.004346
16	0.003881
17	0.003113
18	0.003114

Analiz sonrası sonuçların karşılaştırılmasında, sonuçlarda ortalama % 1 oranında bir farklılık gözlemlenmiştir.

#### **5.4. Düzlem Kafes**

##### **5.4.1. Düzlem kafes modeline ait bilgiler**

###### **5.4.1.1. Düzlem kafes sisteme ait geometrik bilgiler**

Bu modelde X yönünde 3 açıklıklı, 2 Boyutlu bir Kafes Sistem modellenmiştir. X yönündeki açıklık mesafeleri eşit ve 4 er mt. dir. Yüksekliği ise 3 mt. dir.

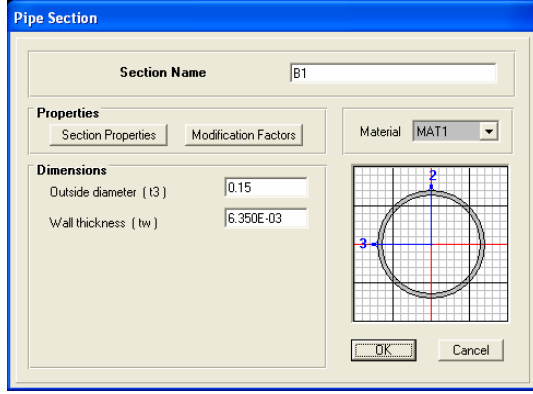
###### **5.4.1.2. Sistem içerisinde elemanlara ait bilgiler**

Elastisite Modülü : 1

Poison Oranı : 0.1

Kayma Modülü :0.4545 (Kayma modülü programlar tarafından otomatik hesaplanmaktadır)

Çubuk elemanlarda kullanılan kesit bilgilerini gösteren Sap2000 ekranı (Şekil 6.13) aşağıdaki gibidir.



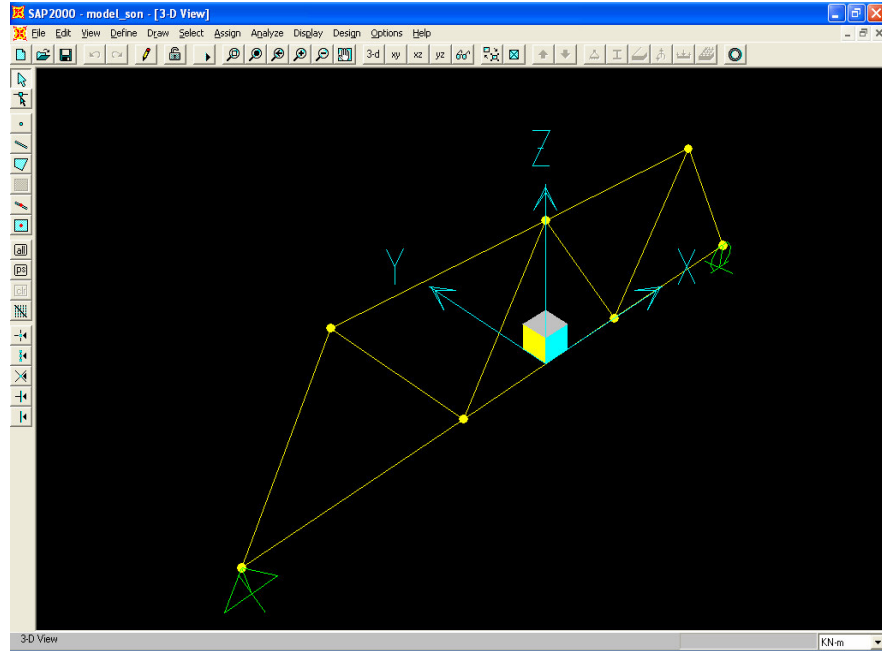
Şekil 6.13 Düzlem kafes sistemin çubuk elemanlarının SAP2000'deki kesit ekranı

#### 5.4.1.3. Sisteme ait yükleme bilgileri

Sistemde 4 ve 5 numaralı çubuk elemanlara  $10^{\circ}\text{C}$  sıcaklık yüklemesi ve 5 numaralı çubuk elemanın ortansa 100 kN luk bir tekil yükleme yapılmıştır.

#### 5.4.2. Sistemin Sap2000'de modellenmesi

Bu bilgiler ışığında oluşturulan modelin Sap 2000 görüntüsü (Şekil 6.14) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.14 Düzlem kafes sistemin SAP2000 modeli

Bu modele ait Sap2000 s2K dosya içeriği aşağıdaki gibidir.

#### SYSTEM

DOF=UX,UY,UZ,RX,RY,RZ LENGTH=m FORCE=KN PAGE=SECTIONS

#### JOINT

1 X=-6 Y=0 Z=0

2 X=-2 Y=0 Z=0

3 X=2 Y=0 Z=0

4 X=6 Y=0 Z=0

5 X=-4 Y=0 Z=3

6 X=0 Y=0 Z=3

7 X=4 Y=0 Z=3

#### RESTRAINT

ADD=1 DOF=U1,U2,U3,R1,R3

ADD=4 DOF=U2,U3,R1,R3

#### PATTERN

NAME=DEFAULT

#### MATERIAL

NAME=STEEL IDES=S M=7.8271 W=76.81955

T=0 E=1.99948E+08 U=.3 A=.0000117 FY=248211.3

NAME=CONC IDES=C M=2.40068 W=23.56161

T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

NAME=OTHER IDES=N M=2.40068 W=23.56161

T=0 E=2.482113E+07 U=.2 A=.0000099

NAME=MAT1 IDES=N M=1 W=1

T=0 E=1 U=.1 A=1

#### FRAME SECTION

NAME=FSEC1 MAT=STEEL SH=R T=.5,.3 A=.15 J=2.817371E-03

I=.003125,.001125 AS=.125,.125

```
NAME=B1 MAT=MAT1 SH=P T=.15,.00635 A=2.86569E-03 J=1.48125E-05  
I=7.406249E-06,7.406249E-06 AS=1.529896E-03,1.529896E-03
```

#### FRAME

```
1 J=1,2 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
2 J=2,3 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
3 J=3,4 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
4 J=5,6 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
5 J=6,7 SEC=B1 NSEG=4 ANG=0  
6 J=1,5 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
7 J=2,6 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
8 J=3,7 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
9 J=2,5 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
10 J=3,6 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0  
11 J=4,7 SEC=B1 NSEG=2 ANG=0
```

#### LOAD

```
NAME=LOAD1 CSYS=0  
TYPE=CONCENTRATED SPAN  
ADD=5 RD=.5 UZ=-100  
TYPE=TEMPERATURE ELEM=FRAME  
ADD=4 T=10  
ADD=5 T=10
```

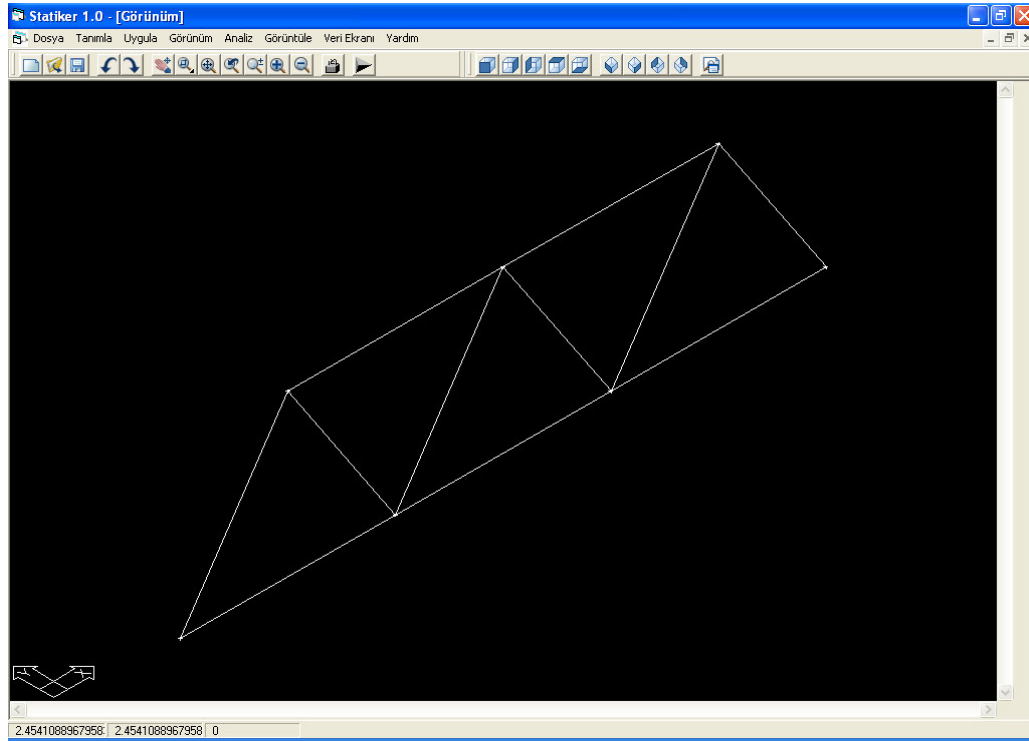
#### OUTPUT

```
; No Output Requested
```

#### END

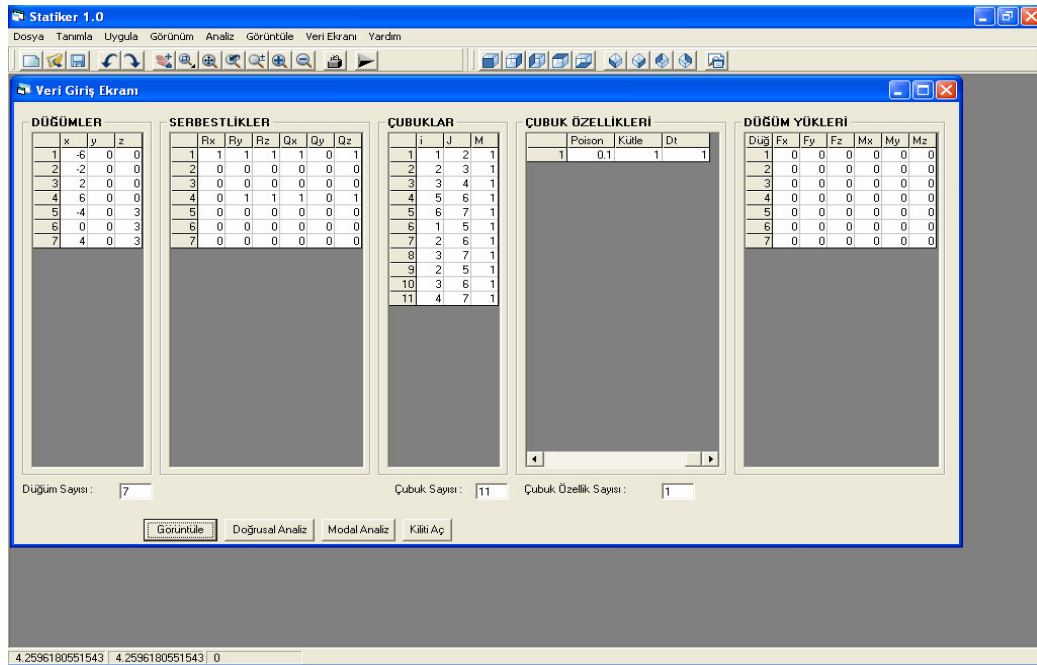
### 5.4.3. Sistemin hazırlanan paket programda modellenmesi

Bu modelin hazırlanan programdaki görüntüsü (Şekil 6.15) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.15 Düzlem Kafes Sistemin STATIKER Modeli

Hazırlanan programa ait Veri Ekranının görüntüsü (Şekil 6.16) aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.16 Düzlem kafes sistemin veri ekranı

#### 5.4.4. Düzlem kafes sistemin analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Modellenen Düzlem Kafes Sistemin çözümü neticesinde elde edilen deplasmanlar

##### 5.4.4.1. Sap2000 programı deplasman sonuçları

###### JOINT DISPLACEMENTS

JOINT LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1 LOAD1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	206917.9375	0.0000
2 LOAD1	29884.6191	0.0000	-321677.16	0.0000	-183160.391	0.0000
3 LOAD1	136150.7813	0.0000	-390661.69	0.0000	-17231.3105	0.0000
4 LOAD1	207019.0313	0.0000	0.0000	0.0000	544082.9375	0.0000
5 LOAD1	161899.5313	0.0000	-167355.531	0.0000	-218452.016	0.0000
6 LOAD1	100106.3516	0.0000	-441966.47	0.0000	1985231.875	0.0000
7 LOAD1	-18.3727	0.0000	-261986.469	0.0000	-2601582.00	0.0000

##### 5.4.4.2. Hazırlanan paket programdaki deplasman sonuçları

Modelin hazırlanan programla analizi sonucu elde edilen deplasmanlar.

###### DÜĞÜM DEPLASMANLARI

Düğüm No	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	0.	0.	0.	0.	207940.441265	0.
2	29878.618537	0.	-321670.953967	0.	-183751.729963	0.
3	136140.201161	0.	-390703.339172	0.	-17479.470831	0.
4	207000.602003	0.	0.	0.	545825.975746	0.
5	161910.741353	0.	-167352.646405	0.	-218324.828704	0.
6	100112.42946	0.	-441981.891156	0.	1975092.478147	0.
7	-90.354821	0.	-261983.444505	0.	-2588315.462304	0.

Analiz sonrası sonuçların karşılaştırılmasında, sonuçlarda ortalama % 1 oranında bir farklılık gözlemlenmiştir.

## 6. SONUÇLAR

Hazırlanan paket programla analizi yapılan taşıyıcı sistemlerin deplasman sonuçlarının Sap2000 programıyla karşılaştırılmasında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Hazırlanan paket programın yaygın kullanılan dwg ve dxf formatlarını okuyabilmesi sayesinde kullanıcıların AutoCad veya benzeri bir Cad program ile 3 boyutlu yada 2 boyutlu çubuk taşıyıcı sistemi modelleyip programa aktarmasına olanak sağlamaktadır. Keza program kullanıcıya grafik ekranda yapı modellemesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede kullanıcı programda yer alan çizim yardımcılarıyla görsel olarak çubuk taşıyıcı sistemi modelleyip düğüm noktalarına ve çubuk elemanlara özellik atayarak analizi gerçekleştirebilmektedir.

Kullanıcı hazırlanan paket programda taşıyıcı sistemin serbestlik derecelerine müdahale ederek, taşıyıcı sistemin farklı boyutlarda analizini gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca kullanıcıların farklı yükleme durumlarını tanımlamasına olanak vererek tanımlanan yükleme durumlarına göre ayrı ayrı analiz yapılabilmekte bu sayede kullanıcıların farklı yükleme durumları arasından en olumsuzunu hızlı bir şekilde tespit edebilmesini sağlamaktadır.

3 boyutlu çubuk sistemlerin statik ve dinamik analizini yapabilen paket programın analiz modüllerinin açık kaynak kodlu olması sayesinde bu alanda yapılan çalışmalara katkı sağlamayı hedeflemiş ve farklı kişiler tarafından geliştirilmesine olanak sağlamıştır.



## Ek-1 PROGRAM LİSTESİ

Hazırlanan paket programın yazımında görsel bir programlama dili olan Visul Basic kullanılmıştır. Visual Basic programlama dili, programcıya fonksiyon ve prodesür tanımlayabilmesini sağlayacak özelliğe sahiptir. Bu sayede programcı hazırladığı kodu bir fonksiyon haline getirerek her seferinde aynı kodu bir daha yazmak zorunda kalmamaktadır. Hazırlanan paket programda bu özellik kullanılarak programın analizi gerçekleştiren kısmı modüller içerisine koyularak birer global prodesür haline getirilmiştir. Kullanıcı bir analiz yapmak istediğinde ilgili prodesür çağırılarak gerekli işlem yapılmaktadır.

Programda analizleri gerçekleştiren üç ana prodesür yazılmıştır. Buna ek olarak doğrusal sistem takımlarının çözümü gibi nümerik analiz işlemleri gerçekleştiren prodesürlerde yazılmıştır. Temel analiz prodesürlerinden birisi sistem rijitlik matrisini hesaplamaktadır. Bu prodesürden elde edilen sonuçlar hem statik analizde hemde dinamik analizde kullanılmaktadır. Bir diğer prodesür olan doğrusal analiz prodesürüyle taşıyıcı sistemin statik analiz yapılabilir ancak taşıyıcı sistemin statik analizinin yapılabilmesi için öncelikle sistem matrisini hesaplayan prodesürün çalıştırılması gerekmektedir. Son prodesür olan dinamik analiz prodesüründe çalıştırılmasında statik analizde olduğu gibi sistem matrisini hesaplayan prodesürün çalıştırılması gerekmektedir.

Paket programda grafik ekran için KolbaSoft' a ait bir ocx kullanılmıştır. Bu sayede kullanıcı grafik ekran üzerinde taşıyıcı sistemi görüntüleyebilmekte ve müdahale edebilmektedir. Analiz dışındaki programa ait diğer özelliklerde o özelliğe ait form içerisine yazılmıştır.

Taşıyıcı sistemin analizin yapan temel ve yardımcı prodesürler aşağıda sunulmuştur. Program yazımında mümkün mertebe açıklamalar kullanılarak kodun anlaşılması kolaylaştırılmaya çalışılmıştır.

Sistem matrisini hesaplayan prodesür,

Public Sub sistem\_matrisi\_hesapla()

'Eleman Elastisite, Alan, Kayma ve Ataletleri Ix, Iy, Iz değerleri okunuyor

```

For i = 1 To elemanlar
    elastisite(i) = Form1.Grid4.TextMatrix(eo(i), 1)
    Alan(i) = Form1.Grid4.TextMatrix(eo(i), 2)
    kayma(i) = Form1.Grid4.TextMatrix(eo(i), 3)
    ix(i) = Form1.Grid4.TextMatrix(eo(i), 4)
    iy(i) = Form1.Grid4.TextMatrix(eo(i), 5)
    iz(i) = Form1.Grid4.TextMatrix(eo(i), 6)
Next i

```

'Eleman Boyları Hesaplanıyor

```

For i = 1 To elemanlar
    Boy(i) = Sqr((X(nokta2(i)) - X(nokta1(i))) ^ 2 + (Y(nokta2(i)) - Y(nokta1(i))) ^ 2 +
    (Z(nokta2(i)) - Z(nokta1(i))) ^ 2)
Next i

```

'Elemanların ((x-x),(y-y),(z-z)) değerleri bulunuyor

```

For i = 1 To elemanlar
    XX(i) = (X(nokta2(i)) - X(nokta1(i)))
    YY(i) = (Y(nokta2(i)) - Y(nokta1(i)))
    zz(i) = (Z(nokta2(i)) - Z(nokta1(i)))
Next i

```

'Koordinat Dönüşüm Matrisi Kuruluyor

alfa = 0

```

For i = 1 To elemanlar
    cx(i) = XX(i) / Boy(i)

```

cy(i) = YY(i) / Boy(i)

cz(i) = zz(i) / Boy(i)

'cx(i) ve cz(i) değerleri 0 olursa değişkenlere küçük bir değer ata

If cx(i) = 0 And cz(i) = 0 Then cx(i) = 0.000000000001: cz(i) = 0.000000000001

Cx2(i) = (-cx(i) \* cy(i) \* Cos(alfa) - cz(i) \* Sin(alfa)) / Sqr(cx(i) ^ 2 + cz(i) ^ 2)

cy2(i) = Sqr(cx(i) ^ 2 + cz(i) ^ 2) \* Cos(alfa)

cz2(i) = (-cz(i) \* cy(i) \* Cos(alfa) + cx(i) \* Sin(alfa)) / Sqr(cx(i) ^ 2 + cz(i) ^ 2)

Cx3(i) = (cx(i) \* cy(i) \* Sin(alfa) - cz(i) \* Cos(alfa)) / Sqr(cx(i) ^ 2 + cz(i) ^ 2)

cy3(i) = -Sqr(cx(i) ^ 2 + cz(i) ^ 2) \* Sin(alfa)

cz3(i) = (cz(i) \* cy(i) \* Sin(alfa) + cx(i) \* Cos(alfa)) / Sqr(cx(i) ^ 2 + cz(i) ^ 2)

Next i

ReDim donusum\_mat(1 To elemanlar, 12, 12)

For K = 1 To elemanlar

For i = 1 To 12

For j = 1 To 12

donusum\_mat(K, i, j) = 0

Next j

Next i

Next K

For K = 1 To elemanlar

For i = 1 To 3

For j = 1 To 3

donusum\_mat(K, 1, 1) = cx(K)

donusum\_mat(K, 1, 2) = cy(K)

donusum\_mat(K, 1, 3) = cz(K)

donusum\_mat(K, 2, 1) = Cx2(K)

donusum\_mat(K, 2, 2) = cy2(K)

donusum\_mat(K, 2, 3) = cz2(K)

donusum\_mat(K, 3, 1) = Cx3(K)

```
donusum_mat(K, 3, 2) = cy3(K)
```

```
donusum_mat(K, 3, 3) = cz3(K)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
Next K
```

```
For K = 1 To elemanlar
```

```
For i = 4 To 6
```

```
For j = 4 To 6
```

```
donusum_mat(K, i, j) = donusum_mat(K, i - 3, j - 3)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
Next K
```

```
For K = 1 To elemanlar
```

```
For i = 7 To 9
```

```
For j = 7 To 9
```

```
donusum_mat(K, i, j) = donusum_mat(K, i - 6, j - 6)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
Next K
```

```
For K = 1 To elemanlar
```

```
For i = 10 To 12
```

```
For j = 10 To 12
```

```
donusum_mat(K, i, j) = donusum_mat(K, i - 9, j - 9)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
Next K
```

'Dönüşüm Matrisinin Transpozu Oluşturuluyor (T^T)

```
ReDim t_donusum_mat(elemanlar, 12, 12)
```

```

For K = 1 To elemanlar
For i = 1 To 12
For j = 1 To 12
t_donusum_mat(K, i, j) = donusum_mat(K, j, i)
Next j
Next i
Next K

```

'Local Koordinatlarda Eleman Matrisi Oluşturuluyor

```

ReDim l_el_mat(1 To elemanlar, 12, 12)

```

```

For i = 1 To elemanlar
l_el_mat(i, 1, 1) = elastisite(i) * Alan(i) / Boy(i)
l_el_mat(i, 2, 2) = 12 * elastisite(i) * iz(i) / Boy(i) ^ 3
l_el_mat(i, 3, 3) = 12 * elastisite(i) * iy(i) / Boy(i) ^ 3
l_el_mat(i, 4, 4) = kayma(i) * ix(i) / Boy(i)
l_el_mat(i, 5, 5) = 4 * elastisite(i) * iy(i) / Boy(i)
l_el_mat(i, 6, 6) = 4 * elastisite(i) * iz(i) / Boy(i)
l_el_mat(i, 5, 3) = -6 * elastisite(i) * iy(i) / Boy(i) ^ 2
l_el_mat(i, 6, 2) = 6 * elastisite(i) * iz(i) / Boy(i) ^ 2

l_el_mat(i, 7, 1) = -1 * l_el_mat(i, 1, 1)
l_el_mat(i, 8, 2) = -1 * l_el_mat(i, 2, 2)
l_el_mat(i, 9, 3) = -1 * l_el_mat(i, 3, 3)
l_el_mat(i, 10, 4) = -1 * l_el_mat(i, 4, 4)
l_el_mat(i, 11, 5) = 0.5 * l_el_mat(i, 5, 5)
l_el_mat(i, 12, 6) = 0.5 * l_el_mat(i, 6, 6)
l_el_mat(i, 11, 3) = l_el_mat(i, 5, 3)
l_el_mat(i, 12, 2) = l_el_mat(i, 6, 2)
l_el_mat(i, 9, 5) = -1 * l_el_mat(i, 5, 3)
l_el_mat(i, 8, 6) = -1 * l_el_mat(i, 6, 2)

```

```

l_el_mat(i, 7, 7) = l_el_mat(i, 1, 1)
l_el_mat(i, 8, 8) = l_el_mat(i, 2, 2)
l_el_mat(i, 9, 9) = l_el_mat(i, 3, 3)
l_el_mat(i, 10, 10) = l_el_mat(i, 4, 4)
l_el_mat(i, 11, 11) = l_el_mat(i, 5, 5)
l_el_mat(i, 12, 12) = l_el_mat(i, 6, 6)
l_el_mat(i, 11, 9) = -1 * l_el_mat(i, 5, 3)
l_el_mat(i, 12, 8) = -1 * l_el_mat(i, 6, 2)

```

```

For K = 1 To 12
For j = 1 To 12
l_el_mat(i, K, j) = l_el_mat(i, j, K)
Next j
Next K
Next i

```

'Global Koordinatlarda Eleman Matrisi Oluşturuluyor (Matris Çarpımı)

```

ReDim ara_g_el_mat(elemanlar, 12, 12) As Double
ReDim g_el_mat(elemanlar, 12, 12)

For L = 1 To elemanlar
For i = 1 To 12
For j = 1 To 12
carp = 0
For K = 1 To 12
carp = carp + t_donusum_mat(L, i, K) * l_el_mat(L, K, j)
Next K
ara_g_el_mat(L, i, j) = carp
Next j
Next i
Next L

```

```

For L = 1 To elemanlar
For i = 1 To 12
For j = 1 To 12
carp1 = 0
For K = 1 To 12
carp1 = carp1 + ara_g_el_mat(L, i, K) * donusum_mat(L, K, j)
Next K
g_el_mat(L, i, j) = carp1
Next j
Next i
Next L

```

'Matrisin Simetrisi eşitleniyor.Global Eleman Matrisinde 0,00001 den küçük sayılar 0 eşitleniyor

```

For K = 1 To elemanlar
For i = 12 To 1 Step -1
For j = 12 To 1 Step -1
el_mat(K, i, j) = el_mat(K, j, i)
If el_mat(K, i, j) < 0.00000001 And el_mat(K, i, j) > -0.00000001 Then el_mat(K, i, j)
= 0
Next j
Next i
Next K

```

'Kodlama Tablosu Hazırlanıyor

```

ReDim kod(dugumler, 6)
ReDim kod1(dugumler, 6)
ReDim kod2(elemanlar, 12)

```

```

For i = 1 To dugumler
For j = 1 To 6
kod(i, j) = Form1.Grid3.TextMatrix(i, j)
Next j

```

```

Next i
Dim soni, sonj As Integer
soni = 1
sonj = 0
For i = 1 To dugumler
For j = 1 To 6
Select Case kod(i, j)
Case Is = 0: kod1(i, j) = kod1(soni, sonj) + 1
soni = i
sonj = j
Case Is = 1: kod1(i, j) = 0
End Select
Next j
Next i

```

```

For i = 1 To elemanlar
For j = 1 To 6
kod2(i, j) = kod1(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 1), j)
Next j
Next i

```

```

For i = 1 To elemanlar
For j = 1 To 6
kod2(i, j + 6) = kod1(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 2), j)
Next j
Next i

```

'Kodlama Tablosundaki Maksimum Değer Bulunuyor

```

For i = 1 To 12
For j = 1 To elemanlar
    iValue = CLng(kod2(j, i))
    If iValue > Imax Then Imax = iValue
Next j

```



Next i

'SİSTEM MATRİSİ ELDE EDİLİYOR

ReDim yukleme(Imax)

ReDim sistem\_mat(Imax, Imax)

For M = 1 To elemanlar

For i = 1 To 12

K = kod2(M, i)

If K > 0 Then

For j = 1 To 12

N = kod2(M, j)

If N > 0 Then

sistem\_mat(K, N) = sistem\_mat(K, N) + g\_el\_mat(M, i, j)

End If

Next j

End If

Next i

Next M

'Sistem Matrisine Düğüm Notasına Eklenen Yay Rijitlikleri Ekleniyor

For M = 1 To dugumler

For i = 1 To 6

K = kod1(M, i)

If K > 0 Then

For j = 1 To 6

N = kod1(M, j)

If N = K Then

sistem\_mat(K, N) = sistem\_mat(K, N) + yaylar(M, j)

End If

Next j

End If

```

Next i
Next M
End Sub

```

Doğrusal analiz yapan prodesür,

```

Public Sub dogrusal_analiz()
'Yük vektörü kodlama tekniğine göre oluşturuluyor
If Val(dugumler) > Val(elemanlar) Then maxyuk = Val(dugumler) Else: maxyuk =
Val(elemanlar)
ReDim yukler(maxyuk, 6)
ReDim yukler2(elemanlar, 12)
'Yukler Gridlerden okunarak dizine atanıyor

For i = 1 To elemanlar
For j = 1 To 6
yukler(i, j) = 0
Next j
Next i

For i = 1 To dugumler
For j = 1 To 6
yukler(i, j) = Form1.Grid5.TextMatrix(i, j)
Next j
Next i

'Düğüm noktasına etkitilen yük o düğümün birleştiği her noktaya eklendiği için
'birleşen düğüm nokta sayısı belirlenip yük elde edilen bölüm sonucuna bölünüyor

Dim bolum() As Long
ReDim bolum(dugumler)
For i = 1 To dugumler
bolum(i) = 0

```

Next i

For i = 1 To elemanlar

bolum(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 1)) = bolum(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 1)) + 1

Next i

For i = 1 To elemanlar

bolum(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 2)) = bolum(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 2)) + 1

Next i

For i = 1 To dugumler

If bolum(i) = 0 Then bolum(i) = 1

Next i

For i = 1 To dugumler

For j = 1 To 6

yukler(i, j) = yukler(i, j) / bolum(i)

Next j

Next i

'Elemanlara Ait Yük Vektörleri Oluşturuluyor

For i = 1 To elemanlar

For j = 1 To 6

yukler2(i, j) = yukler(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 1), j)

Next j

Next i

For i = 1 To elemanlar

For j = 1 To 6

yukler2(i, j + 6) = yukler(Form1.Grid2.TextMatrix(i, 2), j)

Next j

Next i

'Elemanlara Ait Yayılı Yük Vektörüne Isıl Yük Vektörü, Düğüm Yük Vektörüne Ekleniyor

```

For i = 1 To elemanlar
For j = 1 To 12
yukler2(i, j) = yukler2(i, j) - yayili_yukleme(i, j) + isil_yukleme(i, j) -
noktasal_yukleme(i, j)
Next j
Next i

```

'Kod numarasına göre sistemin lokal koordinatlarda yük vektörü oluşturuluyor

```

For i = 1 To elemanlar
For j = 1 To Imax
For K = 1 To 12
If Abs(kod2(i, K)) <> j Then GoTo atla:
sayn1 = 1
If kod2(i, K) < 0 Then sayn1 = -1
yukleme(j) = yukleme(j) + yukler2(i, K) * sayn1
atla: Next K
Next j
Next i

```

'Linear Sistem Takımı Oluşturulup Çözülüyor

```

ReDim yukleme_son(Imax - 1)

For i = 0 To Imax - 1
yukleme_son(i) = yukleme(i + 1)
Next i

```

'Linear Sistem Takımı Çözdürülüyor

```
Dim A() As Double
ReDim A(Imax, Imax)
```

```
ReDim b(Imax)
Dim Index() As Integer
'Dim X() As Double
'ReDim X(Imax)
ReDim Index(Imax)
```

```
For i = 1 To Imax
    b(i) = yukleme_son(i - 1)
Next i
```

```
For i = 1 To Imax
    For j = 1 To Imax
        A(i, j) = sistem_mat(i, j)
    Next j
Next i
```

```
Call Matsol(A(), b(), Imax) 'Lineer Sistemi çöz (Sonuç B() vektörüne kaydediliyor)
```

```
'Deplasmanlar kod numaralarına göre belirleniyor (Elemanlara Göre)
ReDim deplasmanlar(elemanlar, 12)
For i = 1 To elemanlar
    For K = 1 To 12
        For j = 1 To Imax
            If Abs(kod2(i, K)) <> j Then GoTo ab1:
            deplasmanlar(i, K) = b(j)
        ab1: Next j
        Next K
    Next i
```

```
'Deplasmanlar kod numaralarına göre belirleniyor (Elemanlara Göre)
```

```

ReDim dugum_deplasmanlar(dugumler, 6)
For i = 1 To dugumler
  For K = 1 To 6
    For j = 1 To Imax
      If Abs(kod1(i, K)) <> j Then GoTo ab2:
      dugum_deplasmanlar(i, K) = b(j)
    ab2: Next j
      Next K
    Next i

```

'Sistem Koordinatlarında Eleman Uç Kuvvetleri

```

ReDim uc_kuvvetler(elemanlar, 12)
For L = 1 To elemanlar
  For i = 1 To 12
    carp = 0
    For K = 1 To 12
      carp = carp + g_el_mat(L, i, K) * deplasmanlar(L, K)
    Next K
    uc_kuvvetler(L, i) = carp
  Next i
Next L

```

'Sonuçları Görüntüle

```
MsgBox "Analiz Tamamlandı"
```

```
End Sub
```

Dinamik analiz yapan prodesür,

```
Public Sub modal_analiz()
```

```
Call sistem_matrisi_hesapla
```

```
ReDim kutle_matrisi(elemanlar, 12, 12)
```

'Nodal kütle matrisi oluşturuluyor

```

For i = 1 To elemanlar
For j = 1 To 12
For Z1 = 1 To 12
kutle_matrisi(i, j, Z1) = 0
Next Z1
Next j
Next i

```

```

Dim kutle() As Double
ReDim kutle(elemanlar)
For i = 1 To elemanlar
'kutle(i) = Grid4.TextMatrix(i, 8)
kutle(i) = Form1.Grid4.TextMatrix(eo(i), 8)
Next i

```

```

For i = 1 To elemanlar
kutle_matrisi(i, 1, 1) = (1 / 2) * kutle(i) * Alan(i) * Boy(i)
kutle_matrisi(i, 2, 2) = (1 / 2) * kutle(i) * Alan(i) * Boy(i)
kutle_matrisi(i, 3, 3) = (1 / 2) * kutle(i) * Alan(i) * Boy(i)
kutle_matrisi(i, 4, 4) = 0.00000000001
kutle_matrisi(i, 5, 5) = 0.00000000001
kutle_matrisi(i, 6, 6) = 0.00000000001
kutle_matrisi(i, 7, 7) = (1 / 2) * kutle(i) * Alan(i) * Boy(i)
kutle_matrisi(i, 8, 8) = (1 / 2) * kutle(i) * Alan(i) * Boy(i)
kutle_matrisi(i, 9, 9) = (1 / 2) * kutle(i) * Alan(i) * Boy(i)
kutle_matrisi(i, 10, 10) = 0.00000000001
kutle_matrisi(i, 11, 11) = 0.00000000001
kutle_matrisi(i, 12, 12) = 0.00000000001
Next i

```

'Global koordinatlarda eleman kütle matrisleri elde ediliyor sistem kütle matrisi elde ediliyor

```

ReDim sistem_kutle_matrisi(Imax, Imax)

```

```

For M = 1 To elemanlar
  For i = 1 To 12
    K = kod2(M, i)
    If K > 0 Then
      For j = 1 To 12
        N = kod2(M, j)
        If N > 0 Then
          sistem_kutle_matrisi(K, N) = sistem_kutle_matrisi(K, N) + kutle_matrisi(M, i, j)
        End If
      Next j
    End If
  Next i
Next M

```

```

ReDim C(Imax, Imax)
ReDim A(Imax - 1, Imax - 1)
For i = 0 To Imax - 1
  For j = 0 To Imax - 1
    A(i, j) = sistem_mat(i + 1, j + 1)
  Next j
Next i

```

'Sistem Rijitlik Matrisinin Tersi alınarak Fleksibilite Matrisi Oluşturuluyor

```

C = Mat.Inv(A)
Dim C1() As Double
ReDim C1(Imax, Imax)

For i = 1 To Imax
  For j = 1 To Imax
    C1(i, j) = C(i - 1, j - 1)
  Next j
Next i

```



```
Dim Dinamik() As Double
```

```
ReDim Dinamik(Imax, Imax)
```

```
'Dinamik Matris Oluşturuluyor (Sistem_kutle_matrisi()*Sistem_rijitlik_matrisi()*(-1))
```

```
For i = 1 To Imax
```

```
For j = 1 To Imax
```

```
carp = 0
```

```
For K = 1 To Imax
```

```
carp = carp + sistem_kutle_matrisi(i, K) * C1(K, j)
```

```
Next K
```

```
Dinamik(i, j) = carp
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
'ÖZDEĞER ,ÖZVEKTÖR Hesaplanıyor
```

```
ReDim OzVektor(Imax, Imax)
```

```
ReDim OzDeger(Imax)
```

```
ReDim Acisal_Frekans(Imax)
```

```
ReDim Mod_Periyot(Imax)
```

```
ReDim mod_sekilleri(Imax, Imax)
```

```
N = Imax
```

```
ReDim Ar(N, N) As Double, Ai(N, N) As Double, Wr(N) As Double, Wi(N) As Double
```

```
ReDim Zr(N, N) As Double, Zi(N, N) As Double
```

```
Dim Result As Complex
```

```
For i = 1 To Imax
```

```
For j = 1 To Imax
```

```
Ar(i, j) = Dinamik(i, j)
```

```
Next j
```

```
Next i
```

```
Dim err As Integer
```

Eigen Ar(), Ai(), Wr(), Wi(), Zr(), Zi(), Imax, Imax, 1, err%

For i = 1 To Imax

For j = 1 To Imax

OzVektor(i, j) = Zr(i, j)

Next j

Next i

For i = 1 To Imax

OzDeger(i) = Wr(i)

Next i

'Açısal Frekanslar Hesaplanıyor

For i = 1 To Imax

Acisal\_Frekans(i) = 1 / Sqr(OzDeger(i))

Next i

'Modların Periyotları Hesaplanıyor

For i = 1 To Imax

Mod\_Periyot(i) = 2 \* 3.14159 / Acisal\_Frekans(i)

Next i

'Mod Vektörleri Normalleştirilerek Mod Şekilleri Elde Ediliyor

Dim bolum() As Double

ReDim bolum(Imax)

For i = 1 To Imax

bolum(i) = OzVektor(1, i)

Next i

For i = 1 To Imax

For j = 1 To Imax

mod\_sekilleri(i, j) = OzVektor(i, j) / bolum(j)

```

    Next j
Next i

```

'Kütle ve rijitlik matrisleri tek değere indirgeniyor

```

Dim Mind() As Double
Dim Kind() As Double
ReDim Mind(Imax)
ReDim Kind(Imax)

```

'indirgeme için özvektörlerin transpozu elde ediliyor

```

Dim t_OzVektor()
ReDim t_OzVektor(Imax, Imax)

```

```

For i = 1 To 12
For j = 1 To 12
t_OzVektor(i, j) = OzVektor(j, i)
Next j
Next i

```

'kütle matrisi indirgeniyor (Not: vektor tek değere indirgeniyor)

```

For i = 1 To 12
For j = 1 To 12
carp = 0
For K = 1 To 12
'carp = carp + t_OzVektor(i, K) * kutle_matrisi(K, j)
Next K
'ara_g_kutle_matrisi(i, j) = carp
Next j
Next i

```

```

'Grid6.Cols = Imax + 1
'Grid6.Rows = Imax + 1

```

```

For i = 1 To Imax
  For j = 1 To Imax
    'Grid6.TextMatrix(i, j) = Format(mod_sekilleri(i, j), "0.####")
  Next j
Next i

```

```

For i = 1 To Imax
  'Grid6.TextMatrix(i, 1) = Format(Mod_Periyyot(i), "0.####")
Next i

```

```

For i = 1 To Imax
  'Grid6.TextMatrix(i, 2) = Format(OzDeger(i), "0.####")
Next i

```

MsgBox "Dinamik Analiz Tamamlandı"

End Sub

Doğrusal sistem takımını çözen prodesürler,

```

Public Sub Matsol(A() As Double, B() As Double, N%)

```

```

  Dim D#
  ReDim index%(N)
  Call Matlud(A(), N, index%(), D)
  Call Matlub(A(), N, index%(), B())
End Sub

```

```

Public Sub Matlub(A() As Double, ByVal N&, index() As Integer, B() As Double)

```

```

  Dim Ii&, j&, L1&, i&, Accum#
  Ii& = 0
  For i& = 1 To N&
    L1& = index(i&): Accum = B(L1&): B(L1&) = B(i&)
  If Ii& <> 0 Then

```

```

    For j& = i& To i& - 1: Accum = Accum - A(i&, j&) * B(j&): Next j&
ElseIf Accum <> 0# Then
    i& = i&
End If
B(i&) = Accum
Next i&
For i& = N& To 1 Step -1
    Accum = B(i&)
    If i& < N& Then
        For j& = i& + 1 To N&: Accum = Accum - A(i&, j&) * B(j&): Next j&
    End If
    If A(i&, i&) = 0 Then
        SetPMerror (518)
        Exit Sub
    End If
    B(i&) = Accum / A(i&, i&)
Next i&
End Sub

```

```

Public Sub Matlud(A() As Double, ByVal N&, index() As Integer, D#)
Dim tiny#, Aamax#, i&, j&, K&, Accum#, Dum#, Imax%
    tiny = 1E-20
    ReDim Vv(N&)
    D = 1#
    For i& = 1 To N&
        Aamax = 0#
        For j& = 1 To N&: If (Abs(A(i&, j&))) > Aamax Then Aamax = Abs(A(i&, j&))
        Next j&
        If (Aamax = 0#) Then
            'MsgBox ("MatLud: Tekil Matris." Bir satırı sıfır)
            SetPMerror (503)
            Exit Sub
        End If
    Next i&
End Sub

```

```

    Vv(i&) = 1# / Aamax
Next i&
For j& = 1 To N&
  If (j& > 1) Then
    For i& = 1 To j& - 1
      Accum = A(i&, j&)
      If (i& > 1) Then
        For K& = 1 To i& - 1: Accum = Accum - A(i&, K&) * A(K&, j&): Next K&
        A(i&, j&) = Accum
      End If
    Next i&
  End If
  Aamax = 0#
  For i& = j& To N&
    Accum = A(i&, j&)
    If (j& > 1) Then
      For K& = 1 To j& - 1: Accum = Accum - A(i&, K&) * A(K&, j&): Next K&
      A(i&, j&) = Accum
    End If
    Dum = Vv(i&) * Abs(Accum)
    If Dum >= Aamax Then Imax = i&: Aamax = Dum
  Next i&
  If j& <> Imax Then
    For K& = 1 To N&: Dum = A(Imax, K&): A(Imax, K&) = A(j&, K&): A(j&,
K&) = Dum: Next K&
    D = -D
    Vv(Imax) = Vv(j&)
  End If
  index(j&) = Imax
  If (j& <> N&) Then
    If (A(j&, j&) = 0#) Then
      SetPError (519)
      A(j&, j&) = tiny
    End If
  End If
Next j&

```

```

End If
Dum = 1# / A(j&, j&)
For i& = j& + 1 To N&: A(i&, j&) = A(i&, j&) * Dum: Next i&
End If
Next j&
If A(N&, N&) = 0# Then
A(N&, N&) = tiny
SetPMerror (519)
End If
End Sub

```

Matrisin tersini hesaplayan prodesür,

```

Public Function Inv(Mat() As Double) As Double()
Dim sol() As Double
Dim Ai() As Double, AIN As Double, AF As Double, _
Mat1() As Double
Dim L1 As Integer, LLM As Integer, L1 As Integer, _
L2 As Integer, LC As Integer, LCA As Integer, _
LCB As Integer, i As Integer, j As Integer

On Error GoTo Error_Handler

Mat1 = Find_R_C(Mat)
'If Mat1(0, 0) <> Mat1(0, 1) Then GoTo Error_Dimension

'If Det(Mat1) = 0 Then GoTo Error_Zero
ReDim sol(Mat1(0, 0) - 1, Mat1(0, 0) - 1)

L1 = Mat1(0, 0)
LLM = Mat1(0, 1)
ReDim Ai(L1, L1)
For L2 = 1 To L1

```

For L1 = 1 To L1

  Ai(L1, L2) = 0

Next

  Ai(L2, L2) = 1

Next

For LC = 1 To L1

  If Abs(Mat1(LC, LC)) < 0.0000000001 Then

    For LCA = LC + 1 To L1

      If LCA = LC Then GoTo 1090

      If Abs(Mat1(LC, LCA)) > 0.0000000001 Then

        For LCB = 1 To L1

          Mat1(LCB, LC) = Mat1(LCB, LC) + Mat1(LCB, LCA)

          Ai(LCB, LC) = Ai(LCB, LC) + Ai(LCB, LCA)

        Next

      GoTo 1100

    End If

  1090 Next

  End If

1100

  AIN = 1 / Mat1(LC, LC)

  For LCA = 1 To L1

    Mat1(LCA, LC) = AIN \* Mat1(LCA, LC)

    Ai(LCA, LC) = AIN \* Ai(LCA, LC)

  Next

For LCA = 1 To L1

  If LCA = LC Then GoTo 1150

  AF = Mat1(LC, LCA)

  For LCB = 1 To L1

    Mat1(LCB, LCA) = Mat1(LCB, LCA) - AF \* Mat1(LCB, LC)

    Ai(LCB, LCA) = Ai(LCB, LCA) - AF \* Ai(LCB, LC)



```
Next
1150 Next

Next

For i = 1 To Ll
  For j = 1 To Ll
    sol(i - 1, j - 1) = Ai(i, j)
  Next j
Next i

Inv = sol
Erase sol

Exit Function

Error_Zero:
err.Raise "5012", , "Sistem Matrisinin Determinantı Sıfıra Eşit, matrisin tersi bulunamıyor !"

Error_Dimension:
err.Raise "5014", , "Matrix should be a square matrix !"

Error_Handler:
If err.Number = 5012 Then
  err.Raise "5012", , "Sistem Matrisinin Determinantı Sıfıra Eşit, matrisin tersi bulunamıyor !"
ElseIf err.Number = 5014 Then
  err.Raise "5014", , "Sistem Matrisi Kare Matris Olmalı !"
End If

End Function
```

Özdeğer, özvektör hesabı yapan prodesürler,

```
Public Sub Eigen(Ar() As Double, Ai() As Double, Wr() As Double, Wi() As Double,
Zr() _
```

```
    As Double, Zi() As Double, N%, Nm%, Iflag%, Ierr%)
```

```
    Dim low%, Igh%, i%, j%, ACr#(), ACi#()
```

```
    ReDim Ortr#(128), Orti#(128), scales#(128), ACr#(Nm%, Nm%), ACi#(Nm%,
Nm%)
```

```
    For i% = 0 To Nm%
```

```
        For j% = 0 To Nm%
```

```
            ACr#(i%, j%) = Ar#(i%, j%)
```

```
            ACi#(i%, j%) = Ai#(i%, j%)
```

```
        Next j%
```

```
    Next i%
```

```
    Call Cbal(Nm%, N%, ACr#(), ACi#(), low, Igh, scales())
```

```
    Call Corth(Nm, N, low, Igh, ACr#(), ACi#(), Ortr(), Orti())
```

```
    If (Iflag = 0) Then
```

```
'Eğer özvektörler uygun değilse,
```

```
    For i = low To Igh
```

```
        Ortr(i) = 0#
```

```
        Orti(i) = 0#
```

```
    Next i
```

```
    End If
```

```
    Call Comqr2(Nm, N, low, Igh, Ortr(), Orti(), ACr#(), ACi#(), Wr(), Wi(), Zr(), Zi(),
Ierr)
```

```
    If Iflag <> 0 Then Call Cbabb2(Nm, N, low, Igh, scales(), N, Zr(), Zi())
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Cbal(Nm%, N%, Ar() As Double, Ai() As Double, low%, Igh%, scales() As
Double)
```

```
    Dim Falsetmp%, trueTmp%, Radix%, K%, L%, B2%, M%, Iexc%, Jj%, Noconv%
```

```
    Dim C#, R#, G#, ef#, S#, j%, i%
```

```
    Falsetmp% = 0: trueTmp% = 1
```

```

Radix = 16
B2 = Radix * Radix
K = 1
L = N
GoTo 101
20  scales(M) = j
    If j = M Then GoTo 50
    For i = 1 To L
        Swap Ar(i, j), Ar(i, M)
        Swap Ai(i, j), Ai(i, M)
    Next i
    For i = K To N
        Swap Ar(j, i), Ar(M, i)
        Swap Ai(j, i), Ai(M, i)
    Next i
50  If Iexc = 1 Then
        GoTo 80
    ElseIf Iexc = 2 Then
        GoTo 131
    End If

80  If L = 1 Then GoTo 280
    L = L - 1
    ' ..... For J=1 Step -1 Until 1 Do -- .....
101 For Jj = 1 To L
        j = L + 1 - Jj
        For i = 1 To L
            If i = j Then GoTo 111
            If Ar(j, i) <> 0# Or Ai(j, i) <> 0# Then GoTo 121
111  Next i
        M = L
        Iexc = 1
        GoTo 20

```

```
121 Next Jj
    GoTo 140
131 K = K + 1
140 For j = K To L
    For i = K To L
        If i = j Then GoTo 150
        If Ar(i, j) <> 0# Or Ai(i, j) <> 0# Then GoTo 170
150 Next i
    M = K
    Iexc = 2
    GoTo 20
170 Next j

    For i = K To L
        scales(i) = 1#
180 Next i

190 Noconv = Falsetmp%
    For i = K To L
        C = 0#
        R = 0#
        For j = K To L
            If j = i Then GoTo 201
            C = C + Abs(Ar(j, i)) + Abs(Ai(j, i))
            R = R + Abs(Ar(i, j)) + Abs(Ai(i, j))
201 Next j

    If C = 0# Or R = 0# Then GoTo 270
    G = R / Radix
    ef = 1#
    S = C + R
210 If C >= G Then GoTo 220
    ef = ef * Radix
```

```

    C = C * B2
    GoTo 210
220  G = R * Radix
230  If C < G Then GoTo 240
    ef = ef / Radix
    C = C / B2
    GoTo 230

240  If ((C + R) / ef) >= 0.95 * S Then GoTo 270
    G = 1# / ef
    scales(i) = scales(i) * ef
    Noconv = trueTmp%
    For j = K To N
        Ar(i, j) = Ar(i, j) * G
        Ai(i, j) = Ai(i, j) * G
250  Next j
    For j = 1 To L
        Ar(j, i) = Ar(j, i) * ef
        Ai(j, i) = Ai(j, i) * ef
260  Next j
270 Next i
    If Noconv = 1 Then GoTo 190
280 low = K
    Igh = L
End Sub

Private Sub Corth(Nm%, N%, low%, Igh%, Ar() As Double, Ai() As Double, Ortr() As
Double, Orti() As Double)
    Dim La%, Kp1%, M%, M1%, H#, scales#, i%, MP%, Ii%, G#, Ff1#, Ff2#, Fff#
    Dim Fr#, Fi#, Jj%, j%
    La = Igh - 1
    Kp1 = low + 1
    If La < Kp1 Then GoTo 2200

```

```

For M = Kp1 To La
  M1 = M - 1
  H = 0#
  Ortr(M) = 0#
  Orti(M) = 0#
  scales = 0#
' ..... Scale Column (Algol Tol Then Not Needed) .....
  For i = M To Igh
    scales = scales + Abs(Ar(i, M1)) + Abs(Ai(i, M1))
  Next i
  If scales = 0# Then GoTo 2180
  MP = M + Igh
' ..... For I=igh Step -1 Until M Do -- .....
  For Ii = M To Igh
    i = MP - Ii
    Ortr(i) = Ar(i, M1) / scales
    Orti(i) = Ai(i, M1) / scales
    H = H + Ortr(i) * Ortr(i) + Orti(i) * Orti(i)
99  Next Ii
  G = Sqr(H)
  Ff1 = Ortr(M): Ff2 = Orti(M)
  Fff = Sqr(Ff1 * Ff1 + Ff2 * Ff2)
  If Fff = 0# Then GoTo 2103
  H = H + Fff * G
  G = G / Fff
  Ortr(M) = (1# + G) * Ortr(M)
  Orti(M) = (1# + G) * Orti(M)
  GoTo 2105
2103 Ortr(M) = G
     Ar(M, M1) = scales
' ..... Form (I-(U*ut)/h) * A .....
2105 For j = M To N
     Fr = 0#

```

```

      Fi = 0#
' ..... For I=igh Step -1 Until M Do -- .....
      For Ii = M To Igh
          i = MP - Ii
          Fr = Fr + Ortr(i) * Ar(i, j) + Orti(i) * Ai(i, j)
          Fi = Fi + Ortr(i) * Ai(i, j) - Orti(i) * Ar(i, j)
2110      Next Ii
          Fr = Fr / H
          Fi = Fi / H
          For i = M To Igh
              Ar(i, j) = Ar(i, j) - Fr * Ortr(i) + Fi * Orti(i)
              Ai(i, j) = Ai(i, j) - Fr * Orti(i) - Fi * Ortr(i)
2120      Next i
2130      Next j
' ..... Form (I-(U*ut)/h)*a*(I-(U*ut)/h) .....
      For i = 1 To Igh
          Fr = 0#
          Fi = 0#
' ..... For J=igh Step -1 Until M Do -- .....
      For Jj = M To Igh
          j = MP - Jj
          Fr = Fr + Ortr(j) * Ar(i, j) - Orti(j) * Ai(i, j)
          Fi = Fi + Ortr(j) * Ai(i, j) + Orti(j) * Ar(i, j)
2140      Next Jj
          Fr = Fr / H
          Fi = Fi / H
          For j = M To Igh
              Ar(i, j) = Ar(i, j) - Fr * Ortr(j) - Fi * Orti(j)
              Ai(i, j) = Ai(i, j) + Fr * Orti(j) - Fi * Ortr(j)
2150      Next j
2160      Next i
          Ortr(M) = scales * Ortr(M)
          Orti(M) = scales * Orti(M)

```

```

M1 = M - 1
Ar(M, M1) = -G * Ar(M, M1)
Ai(M, M1) = -G * Ai(M, M1)
2180 Next M
2200 'Return
End Sub

Private Sub Comqr2(Nm%, N%, low%, Igh%, Ortr() As Double, Orti() As Double, Hr()
As Double, Hi() As Double, Wr() As Double, Wi() As Double, Zr() As Double, Zi() As
Double, Ierr%)
    Dim Iend%, Ii%, Ii%, H1#, H2#, Norm#, Ip1%, K%, Sr#, Si#, Z1#, Z2#, L%
    Dim L1%, Yr#, Yi#, En%, Tr#, Ti#, Itn%, Its%, Enm1%, L1%, S1#, S2#
    Dim Xr#, Xi#, ZZr#, ZZi#, LP1%, I1%, J1%, Nn%, Jj%, M%, i%, j%
    Ierr = 0
    For i = 1 To N
        For j = 1 To N
            Zr(i, j) = 0#
            Zi(i, j) = 0#
        Next j
        Zr(i, i) = 1#
    Next i
100 Next i
    Iend = Igh - low - 1
    If Iend < 0 Then
        GoTo 183
    ElseIf Iend = 0 Then
        GoTo 153
    End If
105 For Ii = 1 To Iend
    i = Igh - Ii: Ii = i - 1
    H1 = Hr(i, Ii): H2 = Hi(i, Ii)
    If Ortr(i) = 0# And Orti(i) = 0# Then GoTo 143
    If H1 = 0# And H2 = 0# Then GoTo 143
    Norm# = H1 * Ortr(i) + H2 * Orti(i)

```



```

Ip1 = i + 1
For K = Ip1 To Igh
    Ortr(K) = Hr(K, Il)
    Orti(K) = Hi(K, Il)
110 Next K
For j = i To Igh
    Sr = 0#
    Si = 0#
    For K = i To Igh
        Z1 = Zr(K, j): Z2 = Zi(K, j)
        Sr = Sr + Ortr(K) * Z1 + Orti(K) * Z2
        Si = Si + Ortr(K) * Z2 - Orti(K) * Z1
115 Next K
    Sr = Sr / Norm#
    Si = Si / Norm#
    For K = i To Igh
        Zr(K, j) = Zr(K, j) + Sr * Ortr(K) - Si * Orti(K)
        Zi(K, j) = Zi(K, j) + Sr * Orti(K) + Si * Ortr(K)
120 Next K
130 Next j
143 Next Ii
153 L = low + 1
    For i = L To Igh
        Il = i - 1
        H1 = Hr(i, Il): H2 = Hi(i, Il)
        If i + 1 < Igh Then Ll = i + 1 Else Ll = Igh
        If H2 = 0# Then GoTo 173
        Norm# = Sqr(H1 * H1 + H2 * H2)
        Yr = H1 / Norm#
        Yi = H2 / Norm#
        Hr(i, Il) = Norm#
        Hi(i, Il) = 0#
        For j = i To N

```

```

    H1 = Hr(i, j): H2 = Hi(i, j)
    Hi(i, j) = Yr * H2 - Yi * H1
    Hr(i, j) = Yr * H1 + Yi * H2
155 Next j
    For j = 1 To L1
        H1 = Hr(j, i): H2 = Hi(j, i)
        Hi(j, i) = Yr * H2 + Yi * H1
        Hr(j, i) = Yr * H1 - Yi * H2
160 Next j
    For j = low To Igh
        Z1 = Zr(j, i): Z2 = Zi(j, i)
        Zi(j, i) = Yr * Z2 + Yi * Z1
        Zr(j, i) = Yr * Z1 - Yi * Z2
165 Next j
173 Next i
183 For i = 1 To N
    If i >= low And i <= Igh Then GoTo 200
    Wr(i) = Hr(i, i)
    Wi(i) = Hi(i, i)
200 Next i
    En% = Igh
    Tr = 0#
    Ti = 0#
    Itn = 30 * N
223 If En% < low Then GoTo 680
    Its = 0
    Enm1% = En% - 1
243 For L1 = low To En%
    L = En% + low - L1
    L1 = L - 1
    If L = low Then GoTo 300
    S1 = Abs(Hr(L1, L1)) + Abs(Hi(L1, L1)) + Abs(Hr(L, L)) + Abs(Hi(L, L))
    S2 = S1 + Abs(Hr(L, L1))

```

```

    If S2 = S1 Then GoTo 300
Next Ll
300 If L = En% Then GoTo 660
    If Itn = 0 Then GoTo 1000
    If Its = 10 Or Its = 20 Then GoTo 320
    Sr = Hr(En%, En%)
    Si = Hi(En%, En%)
    Xr = Hr(Enm1%, En%) * Hr(En%, Enm1%)
    Xi = Hi(Enm1%, En%) * Hr(En%, Enm1%)
    If Xr = 0# And Xi = 0# Then GoTo 340
    Yr = (Hr(Enm1%, Enm1%) - Sr) / 2#
    Yi = (Hi(Enm1%, Enm1%) - Si) / 2#
    Call Csqrt(Yr * Yr - Yi * Yi + Xr, 2# * Yr * Yi + Xi, ZZr, ZZi)
    If Yr * ZZr + Yi * ZZi >= 0# Then GoTo 310
    ZZr = -ZZr
    ZZi = -ZZi
310 Call Ccddiv(Xr, Xi, Yr + ZZr, Yi + ZZi, Xr, Xi)
    Sr = Sr - Xr
    Si = Si - Xi
    GoTo 340
320 Sr = Abs(Hr(En%, Enm1%)) + Abs(Hr(Enm1%, En% - 2))
    Si = 0#
    ,
340 For i = low To En%
    Hr(i, i) = Hr(i, i) - Sr
    Hi(i, i) = Hi(i, i) - Si
360 Next i
    Tr = Tr + Sr
    Ti = Ti + Si
    Its = Its + 1
    Itn = Itn - 1
    LP1 = L + 1
    For i = LP1 To En%

```

```

I1 = i - 1
Sr = Hr(i, I1)
Hr(i, I1) = 0#
H1 = Hr(I1, I1): H2 = Hi(I1, I1)
Norm# = Sqr(H1 * H1 + H2 * H2 + Sr * Sr)
Xr = H1 / Norm#
Wr(I1) = Xr
Xi = H2 / Norm#
Wi(I1) = Xi
Hr(I1, I1) = Norm#
Hi(I1, I1) = 0#
Hi(i, I1) = Sr / Norm#
For j = i To N
  Yr = Hr(I1, j)
  Yi = Hi(I1, j)
  ZZr = Hr(i, j)
  ZZi = Hi(i, j)
  Hr(I1, j) = Xr * Yr + Xi * Yi + Hi(i, I1) * ZZr
  Hi(I1, j) = Xr * Yi - Xi * Yr + Hi(i, I1) * ZZi
  Hr(i, j) = Xr * ZZr - Xi * ZZi - Hi(i, I1) * Yr
  Hi(i, j) = Xr * ZZi + Xi * ZZr - Hi(i, I1) * Yi
490 Next j
500 Next i
Sr = Hr(En%, En%): Si = Hi(En%, En%)
If Si = 0# Then GoTo 540
Norm# = Sqr(Sr * Sr + Si * Si)
Sr = Sr / Norm#
Si = Si / Norm#
Hr(En%, En%) = Norm#
Hi(En%, En%) = 0#
If En% = N Then GoTo 540
Ip1 = En% + 1
For j = Ip1 To N

```

$$Y_r = H_r(\text{En}\%, j)$$

$$Y_i = H_i(\text{En}\%, j)$$

$$H_r(\text{En}\%, j) = S_r * Y_r + S_i * Y_i$$

$$H_i(\text{En}\%, j) = S_r * Y_i - S_i * Y_r$$

520 Next j

540 For j = LP1 To En%

$$J1 = j - 1$$

$$X_r = W_r(J1)$$

$$X_i = W_i(J1)$$

For i = 1 To j

$$Y_r = H_r(i, J1)$$

$$Y_i = 0\#$$

$$ZZ_r = H_r(i, j)$$

$$ZZ_i = H_i(i, j)$$

If i = j Then GoTo 560

$$Y_i = H_i(i, J1)$$

$$H2 = H_i(j, J1)$$

$$H_i(i, J1) = X_r * Y_i + X_i * Y_r + H2 * ZZ_i$$

560  $H_r(i, J1) = X_r * Y_r - X_i * Y_i + H2 * ZZ_r$

$$H_r(i, j) = X_r * ZZ_r + X_i * ZZ_i - H2 * Y_r$$

$$H_i(i, j) = X_r * ZZ_i - X_i * ZZ_r - H2 * Y_i$$

580 Next i

For i = low To Igh

$$Y_r = Z_r(i, J1)$$

$$Y_i = Z_i(i, J1)$$

$$ZZ_r = Z_r(i, j)$$

$$ZZ_i = Z_i(i, j)$$

$$H2 = H_i(j, J1)$$

$$Z_r(i, J1) = X_r * Y_r - X_i * Y_i + H2 * ZZ_r$$

$$Z_i(i, J1) = X_r * Y_i + X_i * Y_r + H2 * ZZ_i$$

$$Z_r(i, j) = X_r * ZZ_r + X_i * ZZ_i - H2 * Y_r$$

$$Z_i(i, j) = X_r * ZZ_i - X_i * ZZ_r - H2 * Y_i$$

590 Next i

```

600 Next j
    If Si = 0# Then GoTo 243
    For i = 1 To En%
        Yr = Hr(i, En%)
        Yi = Hi(i, En%)
        Hr(i, En%) = Sr * Yr - Si * Yi
        Hi(i, En%) = Sr * Yi + Si * Yr
630 Next i
    For i = low To Igh
        Yr = Zr(i, En%)
        Yi = Zi(i, En%)
        Zr(i, En%) = Sr * Yr - Si * Yi
        Zi(i, En%) = Sr * Yi + Si * Yr
640 Next i
    GoTo 243
660 Hr(En%, En%) = Hr(En%, En%) + Tr
    Wr(En%) = Hr(En%, En%)
    Hi(En%, En%) = Hi(En%, En%) + Ti
    Wi(En%) = Hi(En%, En%)
    En% = Enm1%
    GoTo 223
680 Norm# = 0#
    For i = 1 To N
        For j = i To N
            Norm# = Norm# + Abs(Hr(i, j)) + Abs(Hi(i, j))
        Next j
720 Next i
    If N = 1 Or Norm# = 0# Then GoTo 1001
    ' ..... For En%=n Step -1 Until 2 Do -- .....
    For Nn = 2 To N
        En% = N + 2 - Nn
        Xr = Wr(En%)
        Xi = Wi(En%)

```

```

      Enm1% = En% - 1
' ..... For I=en%-1 Step -1 Until 1 Do -- .....
      For Ii = 1 To Enm1%
          i = En% - Ii
          ZZr = Hr(i, En%)
          ZZi = Hi(i, En%)
          If i = Enm1% Then GoTo 760
          Ip1 = i + 1
          For j = Ip1 To Enm1%
              ZZr = ZZr + Hr(i, j) * Hr(j, En%) - Hi(i, j) * Hi(j, En%)
              ZZi = ZZi + Hr(i, j) * Hi(j, En%) + Hi(i, j) * Hr(j, En%)
740      Next j
760      Yr = Xr - Wr(i)
          Yi = Xi - Wi(i)
          If (Yr <> 0#) Or (Yi <> 0#) Then GoTo 775
          Yr = Norm#
770      Yr = 0.5 * Yr
          If Norm# + Yr > Norm# Then GoTo 770
          Yr = 2# * Yr
775      Call Ccdiv(ZZr, ZZi, Yr, Yi, Hr(i, En%), Hi(i, En%))
780      Next Ii
'
800 Next Nn
      Enm1% = N - 1
      For i = 1 To Enm1%
          If (i >= low) And (i <= Igh) Then GoTo 840
          Ip1 = i + 1
'
          For j = Ip1 To N
              Zr(i, j) = Hr(i, j)
              Zi(i, j) = Hi(i, j)
820      Next j
840 Next i

```

```

For Jj = low To Enm1 %
  j = N + low - Jj
  If j - 1 < Igh Then M = j - 1 Else M = Igh
  For i = low To Igh
    ZZr = Zr(i, j)
    ZZi = Zi(i, j)
    For K = low To M
      ZZr = ZZr + Zr(i, K) * Hr(K, j) - Zi(i, K) * Hi(K, j)
      ZZi = ZZi + Zr(i, K) * Hi(K, j) + Zi(i, K) * Hr(K, j)
860   Next K
      Zr(i, j) = ZZr
      Zi(i, j) = ZZi
880   Next i
    Next Jj
    GoTo 1001
1000 Ierr = En%
1001 '
End Sub

Private Sub Cbak2(Nm%, N%, low%, Igh%, scales() As Double, M%, Zr() As
Double, Zi() As Double)
  Dim S%, Ii%, K%, i%, j%
  If M = 0 Then Exit Sub
  If Igh = low Then GoTo 123
  For i = low To Igh
    S = scales(i)
    For j = 1 To M
      Zr(i, j) = Zr(i, j) * S
      Zi(i, j) = Zi(i, j) * S
    Next j
  Next i
123 For Ii = 1 To N
  i = Ii

```



```

    If i >= low And i <= Igh Then GoTo 141
    If i < low Then i = low - Ii
    K = scales(i)
    If K = i Then GoTo 141
    For j = 1 To M
        Swap Zr(i, j), Zr(K, j)
        Swap Zi(i, j), Zi(K, j)
    Next j
141 Next Ii
End Sub

```

```

Public Sub Swap(A#, B#)
    Dim temp#
    temp = A
    A = B
    B = temp
End Sub

```

```

Private Sub Csqrt(Xr#, Xi#, Yr#, Yi#)
' (Yr,yi) = Complex Sqrt(Xr,xi)
' Branch Chosen So That Yr .ge. 0.0 And Sign(Yi) = Sign(Xi)
Dim Tr#, Ti#, S#
    Tr = Xr
    Ti = Xi
    S = 0.5 * (Sqr(Tr * Tr + Ti * Ti) + Abs(Tr)): S = Sqr(S)
    If Tr >= 0# Then Yr = S
    If Ti < 0# Then S = -S
    If Tr <= 0# Then Yi = S
    If Tr < 0# Then Yr = 0.5 * Ti / Yi
    If Tr > 0# Then Yi = 0.5 * Ti / Yr
End Sub

```

Private Sub Ccdiv(Ar#, Ai#, Br#, Bi#, Cr#, Ci#)

' Complex Division,  $(Cr,ci) = (Ar,ai)/(Br,bi)$

Dim S#, Ars#, Ais#, Brs#, Bis#

S = Abs(Br) + Abs(Bi)

Ars = Ar / S

Ais = Ai / S

Brs = Br / S

Bis = Bi / S

S = Brs \* Brs + Bis \* Bis

Cr = (Ars \* Brs + Ais \* Bis) / S

Ci = (Ais \* Brs - Ars \* Bis) / S

End Sub

**KAYNAKLAR**

- Aköz, A. Y. (2005), Enerji Yöntemleri ve Yapı Sistemleri , **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 362 s.
- Arifoğlu, U. ve Kubat, C.,(2003), Matlab ve Mühendislik Uygulamaları , ISBN: 975-297-380-9, **Alfa yayımları**, İstanbul, 702s.
- Çatal, H.H. (2005), Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler , **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi**, İzmir, 434s.
- Carlos A. F., (2004), “Lumped and Consistent Mass Matrices”,  
<http://www.colorado.edu/engineering/CAS/courses.d/IFEM.d/IFEM.Ch30.d/IFEM.Ch30.pdf>, Department of Aerospace Engineering Sciences and Center for Aerospace Structures University of Colorado Boulder, Colorado 80309-0429, USA, 23 pages.
- Celep, Zekai ve Kumbasar, Nahit (1996), Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, **Sema Matbaacılık**, İstanbul, 422s.
- Choprra A. K. (2000), “Dynamics Of Structures: Theory ans Applications to Earthquake Engineering”, **Prentice-Hall, Inc.**, 844 pages
- Clark, J. V. , Zhou, N., Bindel, D., Schenato, L. , Wu, W., Demmel, J., Pister, K. S. J. (2000),“3D MEMS Simulation Modeling Using Modified Nodal Analysis”, Berkeley Sensor and Actuator Center497 Cory Hall, University of California at Berkeley, Berkeley CA, USA, [fm@bsac.eecs.berkeley.edu](mailto:fm@bsac.eecs.berkeley.edu), 8 pages
- Computer and Structures, Inc. (1996), “SAP2000: Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Analysis Reference Volume 1”, **Computer & Structures Inc.**, Berkeley, California, 410 pages.
- Çatal, H.H. (2005), Yapı ve Depram Mühendisliğinde Matris Yöntemler, **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi**”, İzmir, 434s.
- Hocaoğlu, Ö. (2001), Visual Basic 6.0 , **Pusula Yayıncılık** , İstanbul, 310s.
- İnel, Mehmet (2005), Yapı Dinamiği Ders Notları, **PAÜ**, Denizli.
- Kaplan, H. (1988) , Dış Yük, Isı Değişimi ve Bilinen Deplasmanlar Olması Halinde Rijitlik Matrisi Yöntemi ile Düzlem Çerçeve Statik Analizi Yapan Bir Paket Program, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Adana, 103s.
- Kaplan, H. (1999), Yapı Statiği II, **Pamukkale Üniversitesi Mühendilik Fakültesi Basım Ünitesi** , Denizli,176s.

- Kaplan, H. (2005), İleri Yapı Statiği Ders Notları, **PAÜ**, Denizli.
- Karagülle, İ. Ve Pala, Z. (2001), Microsoft Visual Basic 6.0, **Türkmen Kitabevi**, İstanbul, 660s.
- Kumbasar, N., Pala,S., Aydoğan, M., Altan, M., Yardımcı, N. ve Yıldırım, H. (1992), Bilgisayar Programları ile Sayısal Hesap, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi**, 208s
- Özmen, G. (2002), İnşaat Mühendisleri için Excel Uygulamaları, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 215s.
- Şenel, Ş. M. (1999), Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Üç Boyutlu Yapı Analizi Yapan Bir Bilgisayar Program, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Denizli, 122s.
- Tezcan, S. (1970) , Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makinaları ile Çözümü, **Arı Kitabevi Matbaası**, İstanbul, 406s.
- Uysal, M. ve Uysal, A. (2004), Fortran 90&95&2000, ISBN: 975-295-357-3, **Beta Basım Yayım Dağıtım**, İstanbul, 673s.
- Uzun, İ., (2004), Nümerik Analiz, ISBN:975-295-421-9, **Beta Basım Yayım Dağıtım**, İstanbul, 485s.
- Wilson, E.L. (2002), Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures *A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering*, **Computer & Structures Inc.**, Berkeley, California, 423 pages.
- Wilson, E.L.ve Habibullah, A.,( 1995), SAP2000 Educational Version 7.40 Structural Analysis Program., **Computer & Structures Inc.**, Berkeley, California.

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Adana'nın Kadirli ilçesinde doğdu. İlk öğretimine Kadirli'de başladı ve Muğla'nın Datça ilçesinde devam etti. 1998 yılında Datça Şehit Ersoy Yılmaz Lisesi'nden mezun oldu. 2002 yılında ise Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Mezuniyet sonrası Datça'da aile şirketinde mühendislik hizmeti vermeye başladı. 2003 yılında Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı'na yüksek lisans eğitime başladı. Halen aile şirketinde mühendislik hizmeti vermeye devam etmektedir.