

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
YAPI DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TEZ NUMARASI

Genel :

Anabilim Dalı:

Program :

ORTOGONAL OLMAYAN TAŞIYICI SİSTEMLERDEN OLUŞAN  
ÇOK KATLI YAPILARIN YATAY YÜKLERE GÖRE HESABI  
İÇİN BİR YÖNTEM

AZİZ SAY

Yönetici : Doç.Dr. İlhan SUNGUR

TRABZON  
HAZİRAN -1986

## Ö N S Ö Z

Bu çalışmada, ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabı için bir ardışık yaklaşım yönteminin özellikleri açıklanmış ve hesabın ana hatları gösterilmiştir. Yöntem, ortogonal ve ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan değişik sayısal örnekler üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında katkıda bulunan ve her türlü yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. İlhan SUNGUR'a teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında gösterdikleri ilgiden dolayı DSİ XXII. Bölge Müdürlüğü mensuplarına, tezin yazımı sırasında gösterdiği titizlik ve gayretten ötürü Sayın Orhan TOPSAKAL'a teşekkür ederim.

Aziz SAY

Trabzon, Haziran 1986

## İ Ç İ N D E K İ L E R

1.1 GİRİŞ .....	1
1.2 KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR .....	3
1.2.1. Yaklaşık Yöntemler .....	3
1.2.2. Kesin Yöntemler .....	4
1.3 Çalışmanın Amacı .....	5
2. VARSAYIMLAR .....	7
3. ORTOGONAL OLMAYAN TAYIŞICI SİSTEMLERDEN OLUŞAN ÇOK KATLI YAPILARIN YATAY YÜKLERE GÖRE HESABI İÇİN BİR YÖNTEM .....	8
3.1 YÖNTEMİN ESASI .....	9
3.2 KİRİŞLERİN UÇ KUVVETLERİ İLE UC DEPLASMANLARI ARASINDAKİ BAĞINTILAR .....	10
3.3 DÜŞEY TAŞIYICILARIN UC KUVVETLERİ İLE UC DEPLASMANLARI ARASINDAKİ BAĞINTILAR .....	15
3.4 İDEALLEŞTİRİLMİŞ BİR ALT SİSTEMİN RİJİTLİK MATRİSİ İLE YATAY RİJİTLİK MATRİSİNİN BULUNUŞU .....	17
3.4.1. Alt Sistem ve Bilinmeyenler .....	17
3.4.2. Alt Sistem Rijitlik Matrisi .....	17
3.4.3. Alt Sistem Yatay Rijitlik Matrisleri .....	20
3.4.4. Özel Hal: Ortogonal Taşıyıcı Sistemlerden Oluşan Çok Katlı Yapılarda Alt Sistem Rijitlik ve Yatay Rijitlik Matrisleri .....	21
3.5 ÇOK KATLI YAPILARIN HESABI .....	22
3.5.1. Bir Alt Sistemin Kendi Eksen Takımına Göre Rölatif Yer- Değiştirmelerinin Yapının Bağımsız Rölatif Kat Yerde- ğiştirme bileşenleri Cinsinden Elde Edilmesi .....	24
3.5.2. Bir Alt Sistemin Düşey Taşıyıcılarındaki Kesme Kuvvetlerinin Hesabı .....	26
3.5.3. Yapının Ortak Eksen Takımına Göre Denge Denklemleri .....	27

## II

3.5.3.1. X Eksenine Doğrultusundaki Denge Denklemleri . . . .	28
3.5.3.2. Y Eksenine Doğrultusundaki Denge Denklemleri . . . .	29
3.5.3.3. Moment Denge Denklemleri . . . . .	31
3.5.3.4. Yapı Yatay Rijitlik Matrisi . . . . .	32
3.5.3.5. Alt Sistemin Bilinmeyenlerinin Hesabı . . . . .	34
3.6 HESAPTA İZLENEN YOL . . . . .	35
3.7 BİLGİSAYAR PROGRAMI . . . . .	37
3.7.1. Genel Akış Diyagramı ve Alt Programlar . . . . .	37
3.7.2. Programın Çalışma Düzeni Bakımından Özellikleri . . . . .	41
3.7.2.1. Giriş Bilgileri . . . . .	41
3.7.2.2. Çıkış Bilgileri . . . . .	41
3.7.2.3. Programın Çalışma Düzeni . . . . .	41
3.8 ÇÖZÜLMÜŞ ÖRNEKLER . . . . .	43
4. SONUÇLAR . . . . .	60
KAYNAKLAR . . . . .	62

## Ö Z E T

Teknolojik gelişmelere paralel bir şekilde günümüze gelinceye kadar çok katlı yapılar inşa edilmiştir. Hızlı şehirleşme, ekonomik ve diğer sosyal etkenler bu tip yapılara duyulan gereksinimi arttırmaktadır. Düşey yükler yanında yatay yüklere göre sistemin hesabı, çok katlı yapılarda hesapların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Yatay yüklere göre hesap için geliştirilen yöntemlerin pekçoğu ortogonal sistemlerden oluşan yapılarla ilgilidir. Pratikte işlevine uygun daha modern yapıların sözkonusu olduğu durumlarda taşıyıcı sistemin ortogonal olmayan elemanlardan oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Bazı durumlarda arsanın biçimi de statik sistemi bu yönde etkileyebilmektedir. Yatay yüklere göre hesap bu tip yapılarda daha da zor ve karmaşıktır. Bazı basitleştirici kabullerle hesap yapılması halinde çözüm süresinin uzaması, bilinmeyen sayısının artması, kötü karakterli denklem takımlarının çıkabilmesi ve kesme hatalarının birikmesi gibi nedenler sonuçların tartışma götürür olmasına yol açmakta ve kesin yöntemlerin kullanılabilirliğini ve etkinliğini azaltmaktadır. Bu nedenle ortogonal olmayan yapıların yatay yüklere göre hesabı konusunda yeni yöntemlerin geliştirilmesi ve kişisel bilgisayarlarda uygulanması problemin çözümüne getireceği katkılar açısından faydalı olabilir.

Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabının incelendiği bu çalışmada dolaylı bir deplasman yöntemi açıklanmıştır. Bir düşey taşıyıcı ile buna her kat seviyesinde birleşen kirişlerin yapı yüksekliği boyunca bir uzay alt sistem teşkil ettiği ve yapının bu alt sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşabileceği kabul edilmiştir. Gerçekte bu uzay alt sistemler her kat seviyesinde kendi düğüm noktalarına birleşen kirişler aracılığı ile birbirine bağımlı olmalarına rağmen, bu bağımlılık kiriş uc kuvvet-deformasyon bağıntı-

larının yazılmasıyla dolaylı olarak ortadan kaldırılmıştır. Böylece çok bilinmeyenli olan problem çok sayıda daha az bilinmeyenli probleme indirgenmiştir. Buna karşılık kirişlerin birim deplasman sabitleri içinde henüz bilinmeyen uç dönme oranlarının mevcut olması, kesin çözüme bir ardışık yaklaşım uygulanarak yaklaşılmasını gerekli kılmaktadır.

Alt sistem rijitlik ve yatay rijitlik matrisleri ile yapı yatay rijitlik matrislerinin elde edilişi üçüncü bölümde etraflıca anlatılmıştır. Yöntemin uygulaması için kişisel bilgisayarlarda geliştirilen bir bilgisayar programı ve özellikleri tanıtılmıştır. Bilgisayar programı değişik örneklerin hesabına uygulanmış ve her iterasyon sonunda bulunan kesit zorları verilmiştir.

## SEMBOLLER

$\delta_{xi}, \delta_{yi}, \delta_{\theta i}$

Yapının i. katının bağımsız rölatif kat yerdeğiştirme bileşenleri (m,m, radyan)

$\{\delta_x\}, \{\delta_y\}, \{\delta_\theta\}$

Yapının bağımsız rölatif kat yerdeğiştirmelerinden oluşan kolon matrisler

$\delta_{\xi i}^m, \delta_{\eta i}^m$

m nolu uzay alt sistemin i. katının  $\xi$  ve  $\eta$  eksenlerinden geçen düzlemlerdeki rölatif yerdeğiştirmeleri (m,m)

$\{\delta_{\xi m}\}, \{\delta_{\eta m}\}$

m nolu uzay alt sistemin  $\xi$  ve  $\eta$  eksenlerinden geçen düzlemlerdeki rölatif yerdeğiştirmelerden oluşan kolon matrisler

$\Delta$

Boy değişmesi (m)

$\{\delta\}$

m nolu alt sistemin düğüm noktası dönmelerinden oluşan kolon matris

$\theta_{ei}, \theta_{ej}$

Kirişin i ve j uçlarının eğilme dönmeleri

$\theta_{bi}, \theta_{bj}$

Kirişin i ve j uçlarının burulma dönmeleri

$\theta_{\xi}, \theta_{\eta}$

Düğüm noktasının  $\xi$  ve  $\eta$  düzlemlerindeki dönmeleri

$\xi, \eta$

Uzay alt sistemlerin koordinat eksenleri.

$M_{ki}, M_{kj}, T_k$   
 $M_{ii}, M_{ij}, T_i$

Düşey taşıyıcı (kolon) elemanların kesit kuvvetleri. Birinci indis doğrultuyu, ikinci indis ise elemanın ilgili ucunu göstermektedir.

$M_{ei}, M_{ej}$

Sırasıyla giriş elemanın i ve j ucundaki eğilme momentleridir.

## B Ö L Ü M 1

### 1.1. GİRİŞ

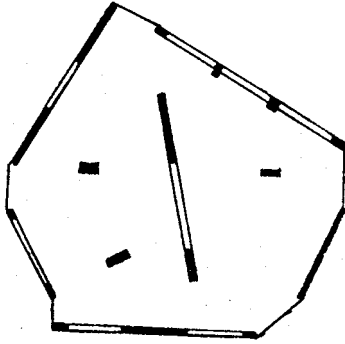
Çok katlı yapılarda yatay yüklere göre çözüm, hesapların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Uzun yıllardan beri çok katlı yapıların inşaa edilmesi, gün geçtikçe buna duyulan gereksinimin artması, problemin çözümünde karşılaşılan zorluklar, araştırmacılar ve mühendislerin bu konu üzerinde pek çok araştırma ve inceleme yapmalarını sağlamış, bu sayede çeşitli hesap yöntemleri geliştirilmiştir, (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10). Ne var ki bunların pekçoğu Ortogonal taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların hesabıyla ilgilidir.

Uygulamada mimari ve estetik nedenlerle işlevine uygun ve modern yapılar yapmanın amaçlandığı pekçok durumlarda taşıyıcı sistemin ortogonal olmayan elemanlardan oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Bazı hallerde de arsanın biçimi yapı planının gelişigüzel geometrik şekillerden meydana gelmesini zorunlu kılmakta, statik sistem ister istemez ortogonal olmayan elemanlardan meydana gelebilmektedir. Bu tip yapıların planlarına birkaç örnek şekil 1.1 de gösterilmiştir.

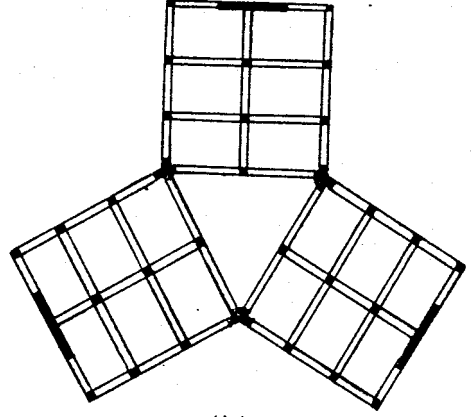
Çok katlı yapıların hesabında kullanılan yöntemler, hesapta yapılan kabüllerin gerçeğe yakınlığına bakılarak yaklaşık ve kesin yöntemler diye iki ana grupta toplanmaktadır. Yaklaşık yöntemlerin hemen hemen hepsi ortogonal yapılara uygulanmakta ortogonal olmayan yapılar için sınırlı kalmaktadır.

Kesin yöntemler, genel olarak deplasman metodunun çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabına uygulanması ile geliştirilen, bilinmeyen

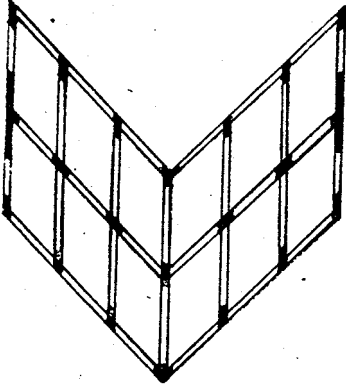




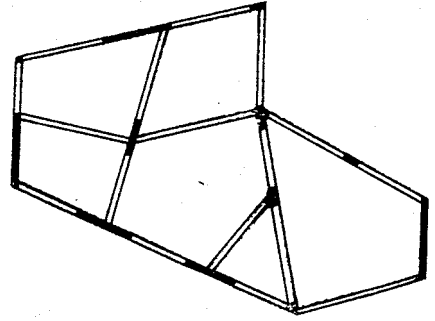
(a)



(b)



(c)



(d)

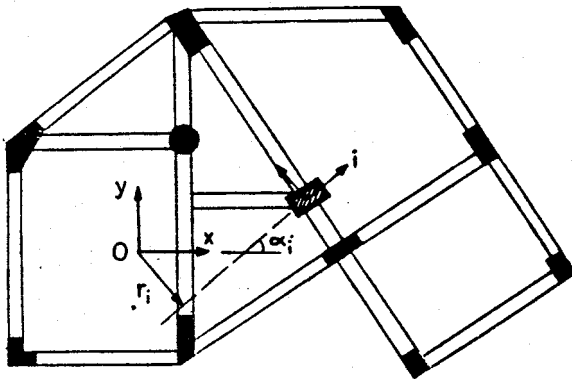
Şekil 1.1. Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çeşitli yapılar.

sayısı çok fazla olan metotlardır. Bunların ortogonal sistemlere uygulanması düğüm noktalarındaki düşey sürekliliğin yaklaşık olarak sağlandığı kabulü yapılmasıyla gayet kolay olmaktadır. Böylece, alt sistem kullanılarak, çok bilinmeyenli problem, daha çok sayıda fakat daha az bilinmeyenli problemlere dönüştürülerek, çözüm için gerekli işlemler azaltılabilmektedir<sup>(8)</sup>.

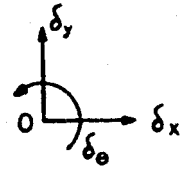
## 1.2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

### 1.2.1. Yaklaşık Yöntemler

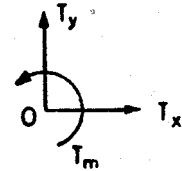
Yatay yüklere göre hesabın uzun ve yorucu işlemler gerektirmesi her zaman bilgisayar olanaklarından yararlanmanın mümkün olmaması nedeniyle, yapıların ön ve kesin proje hesaplarında kullanılmak üzere yaklaşık yöntemler geliştirilmiştir. Taşıyıcı sistemlerin türüne bağlı olarak bazı basitleştirici kabuller yapılarak çok bilinmeyenli olan problemin çözümü basite indirgenebilmektedir. Elde edilen sonuçlar yaklaşık fakat güvenilir olmaktadır. Çakıroğlu, Özmen tarafından yapılan bir çalışmada, ortogonal olmayan çerçevelerden oluşan yapılar için yaklaşık bir hesap metodu geliştirilmiştir<sup>(3)</sup>. Bu yöntemde kat kolonlarının sadece o kattaki kesme kuvveti ile orantılı olarak rölatif yerdeğiştirme yaptıkları kabul edilmekte böylece her katın hesabı diğer katlardan bağımsız kurulup çözülebilen üç bilinmeyenli bir denklem takımı yardımı ile yapılabilmektedir. Kirişlerin antimetrik deformasyon yaptıkları varsayılmaktadır. Kolonların asal yerdeğiştirme doğrultularını ve asal rijitliklerini ayrıca hesaplamak gerekmektedir.



a) Plan



b) Relatif yerdeğiştirme bileşenleri



c) Yük bileşenleri

Şekil 1.2.1

Gözönüne alınan kata ait denge denklemleri

$$[S] [\delta] - [T] = 0$$

elde edilir.

$$[S] = \begin{bmatrix} \Sigma D \cos^2 \alpha & \Sigma D \sin \alpha \cos \alpha & \Sigma D r \cos \alpha \\ & \Sigma D \sin^2 \alpha & \Sigma D r \sin \alpha \\ \text{(sim.)} & & \Sigma D r^2 \end{bmatrix} \quad [\delta] = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_\theta \end{bmatrix} \quad [T] = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_m \end{bmatrix}$$

Burada  $D_i$ , söz konusu kolonun, gözönüne alınan asal yerdeğiştirme doğrultusu için, yatay rijitliğidir. Şekil 1.2.1 c de gösterilen dış yüklerin denge denklemlerine katkıları gösterilmiştir. Burada  $T_x$  ve  $T_y$  sırası ile x ve y eksenleri yönündeki kat kesme kuvvetlerini,  $T_m$  de söz konusu katın üzerinde kalan katlardaki burulma momentlerinin toplamını göstermektedir.

### 1.2.2. Kesin Yöntemler

Kesin yöntemler, bilinmeyen sayısı çok fazla olan yöntemlerdir. Yapıların yatay yüklere göre hesabını bu yöntemlerle elle yapmak mümkün değildir. Ancak bilgisayarlardan yararlanmakla problemin çözümü elde edilebilmektedir.

Çok katlı yapıların yatay yüklere göre kesin hesabında yapılan en önemli kabullerden biri, döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edilmeleridir. Diğer taraftan ortogonal çerçevelerden oluşan çok katlı yapıların hesabında alt sistemler kullanılarak gerçekte çok bilinmeyenli olan problem çok sayıda daha az bilinmeyenli problemlere dönüştürülmektedir.<sup>(8,12)</sup> Böylece ortogonal sistemlerin hesabı bilgisayarlar yardımıyla günümüz koşulları içinde ekonomik olarak yapılabilir.

Kaynak<sup>(12)</sup> de, çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabı için geliştirilen genel kapsamlı bir matris deplasman yöntemi verilmiştir. Döşemelerin düzlemleri içindeki rijitliklerinin sonsuz büyük, düzlemlerine

dik rijitliklerinin sıfır olduğu kabulü yapılarak yapının serbestlik derecesi döşeme sayısının üç katına indirilmiştir. Herbir bağımsız düşey taşıyıcı, bir alt sistem olarak ele alınabildiği gibi, özel olarak gelişigüzel doğrultulardaki bağımsız düzlem taşıyıcı sistemler de alt sistem olarak hesaba katılmakta, gerçekte çok bilinmeyenli olan problem çok sayıda daha az bilinmeyenli problemlere indirgenmektedir. Bu yöntem ancak şekil 1.1'deki gibi bağımsız alt sistemlerden oluşan yapılara uygulanabilmektedirler.

Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre kesin hesabında, problemin özelliği gereği, doğrudan alt sistem kullanma olanağı ortadan kalkmaktadır. Bu durumda burulma ve boy değiştirmeler ihmal edilse bile, yapının tüm düğüm noktalarında iki doğrultudaki dönmeleri ile tüm katlardaki üç yerdeğiştirme bileşenini bilinmeyen olarak almak gerekmektedir.

Bilindiği gibi, genel amaçlı, her türlü yapı sistemini çözebilen programlar mevcuttur. İlk bakışta, bu tür programları ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre çözümünde kullanmanın bir sakınca getirmeyeceği düşünülebilir. Ancak, bilinmeyen sayısının aşırı derecede artması çözümü imkansız deneyecek boyutlara getirir. Ayrıca, programların genel amaçlı olması nedeniyle giriş bilgilerinde gereksiz ve detaylı pek çok bilginin tekrarlanması gerekebilir. Bu iki sakınca nedeniyle bu tip yapıları genel amaçlı programlarla çözmek uygun bir yol olmamaktadır.

### 1.3. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı, şekil 1.1'de planları gösterilmiş tipte özellikleri içeren ve uygulamada karşılaşılan pek çok yapının yatay yüklere göre hesabını bilgisayarlar yardımıyla ekonomik ve gerçeğe yakın olarak yapabilecek bir yöntemi incelemektir. Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerin kesiştikleri düğüm noktalarında dönme sürekliliğini sağlamak diğer koşullarla birlikte gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek açısından önemlidir.

Amaç, problemin doğru çözümünü daha ekonomik yapabilecek bir yöntem kullanarak ortogonal olmayan yapıların hesabında kullanılacak uygun bir alt sistem bulunabilir mi düşüncesi, çalışmanın hareket noktasını oluşturmuştur. Bir düşey taşıyıcı ile buna her döşeme seviyesinde birleşen kirişlerin yapı yüksekliği boyunca bir uzay alt sistem teşkil ettiği ve yapının bu alt sistemlerin biraraya gelmesiyle oluştuğu kabul edilmiştir. Alt sistemler kendi düğüm noktalarına birleşen kirişler aracılığı ile gerçekte birbirlerine bağımlıdırlar. Bu bağımlılık alt sistem kullanma özelliğinin getireceği yararları yok etmektedir. Bundan kurtulmak amacıyla kiriş uç kuvvet-deformasyon bağıntıları (3.2) ifadesinde olduğu gibi yazılmıştır. Burada kiriş birim deplasman sabitlerinin hesabı yapılırken kiriş uç deplasmanları oranlarının bilinmesi gerekir. Başlangıçta bu oranlar bilinmemektedir. Seçilen oranların gerçektekinden farklı olması bu oranlardan yararlanılarak bulunan hatalı birim deplasman sabitlerinin yapının hesabında kullanılmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, çözüm hatalıdır. Bir önceki adımda elde edilen kiriş uç deplasmanlarını, bir sonraki adımda hesaba girecek kiriş birim deplasman sabitlerinin belirlenmesinde kullanmak doğru çözüme yaklaşmak açısından uygun bir yol olmakta ve bir ardışık yaklaşım yöntemi ortaya çıkmaktadır. Herbir adımda gerek alt sistemlerin rijitlik ve yatay rijitlik matrislerini gerekse yapının yatay rijitlik matrisini yeniden kurmak ve elde edilen denklem takımlarını yeniden çözmek gerekmektedir. Çünkü, bu matrislerin değerleri kirişlerin birim deplasman matrislerine bağlı olarak her adımda değişmektedir. Ardışık yaklaşım iki ardışık adımda bulunan deplasmanlar eşit ya da yeteri yakınlıkta oluncaya kadar devam eder.

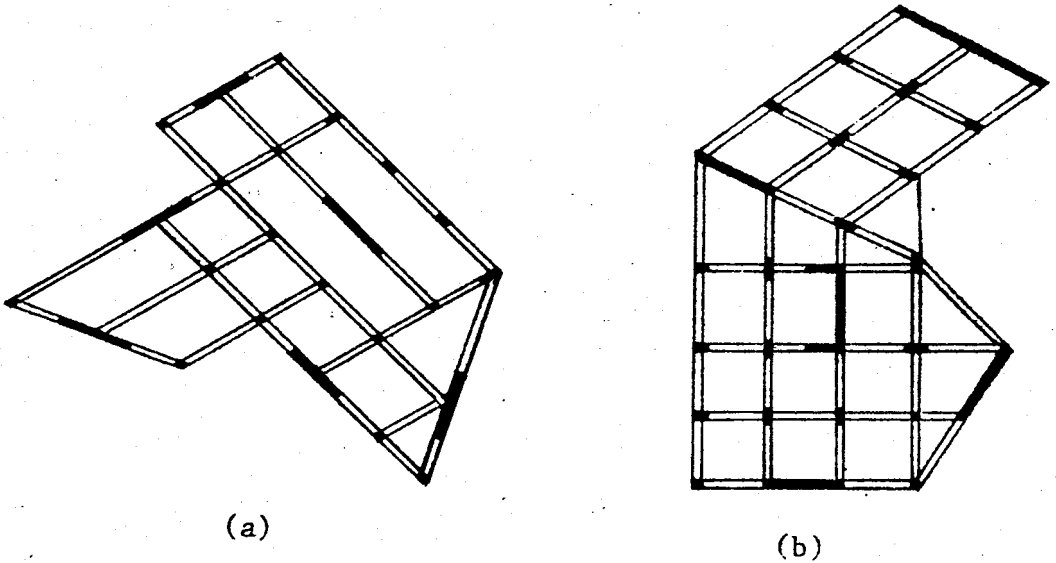
Çalışmada önerilen yöntem kullanılarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program değişik örneklere uygulanarak elde edilen çözümler verilmiştir.

### B Ö L Ü M 3

## ORTOGONAL OLMAYAN TAŞIYICI SİSTEMLERDEN OLUŞAN ÇOK KATLI YAPILARIN YATAY YÜKLERE GÖRE HESABI İÇİN BİR YÖNTEM

Bu bölümde açıklanan yönteme ilişkin teorik bilgiler (11) den alınmış ve gerekli düzenlemeler yapılarak programlanmıştır.

Çok katlı yapıların yatay yüklere göre kesin hesabında yapı gerek ortogonal çerçevelerden oluşan sistem olsun gerekse ortogonal olmayan birbirinden bağımsız çerçevelerden oluşan sistem olsun, hesaplar alt sistemler kullanılarak yapılabilmektedir. Alt sistem kullanılması, yapıdaki tüm kirişlerin, birleştikleri düşey taşıyıcı kesitlerinin asal eksenlerinden geçen düzlemleri içinde bulunmaları sayesinde gerçekleşmektedir. Bu durumda herhangi bir düğüm noktasında sözkonusu düzlemler içinde yazılacak eğilme momenti denge denklemleri sadece o düzlem içindeki deplasmanlar cinsinden ifade edilebilmekte böylece çok bilinmeyenli olan problem çok sayıda az bilinmeyenli probleme dönüştürülmektedir<sup>(4,12)</sup>.



Şekil 3.1

## B Ö L Ü M 2

### 2. VARSAYIMLAR

Bu çalışmada aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- 1- Malzeme lineer elastiktir.
- 2- Kat döşemeleri düzlemleri içinde sonsuz rijittir.
- 3- Yatay yükler kat döşemeleri hizasında etkimektedir.
- 4- Perdelere klasik çubuk teorisi uygulanabilmektedir.
- 5- Düşey taşıyıcı elemanların kendi eksenlerine göre burulma rijitlikleri ihmal edilmiştir.
- 6- Yerdeğiştirmeler yeteri derecede küçüktür.
- 7- Düşey taşıyıcılardaki boy değişimleri ihmal edilmiştir.

Bunlardan 1, 2, 3 ve 4 ile gösterilenler, yatay yüklere göre hesapta, uygulama bakımından hemen her zaman geçerli olabilecek varsayımlardır. Yapıların, alt sistemlerden yararlanılarak çözülmesine dayanan yöntemlerde zorunlu olan 2. varsayım, bilinmeyen sayısını önemli ölçüde azaltmasının getireceği yararlar gözönünde tutularak diğer genel ve kesin yöntemlerde de kullanılmaktadır.

Yerdeğiştirmelerin yeter derecede küçük olduğu varsayımıyla hesabın I. mertebe teorisine göre yapılabilmesi sağlanmaktadır. II. mertebe teorisine göre hesap ise bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Bu bölümde açıklanacak olan yöntemde deplasman metodunun değişik bir uygulaması yapılmıştır. Dolaylı bir şekilde alt sistem kullanılarak, çok bilinmeyenli problem çok sayıda az bilinmeyenli probleme dönüştürülmüş ve bir ardışık yaklaşım metodu uygulanarak birkaç adımda kesin çözüme varma olanağı elde edilmiştir. Bu yöntemle, uygulamada karşılaşılan çok bilinmeyenli yapıların hesabı, bilgisayar kullanılarak, ekonomik bir şekilde yapılabileceği söylenebilir. Yöntem, özel hal olan ortogonal sistemlerden oluşan yapılar için de rahatlıkla kullanılabilir.

### 3.1. YÖNTEMİN ESASI

Yapıyı meydana getiren düşey taşıyıcıların herbiriyle bu düşey taşıyıcılara her katta birleşen kirişlerin bir alt sistem teşkil ettiği kabul edilmektedir. Buna göre yapının bir katında bulunan düşey taşıyıcıların sayısı kadar alt sistem olacağı açıktır. Herbir alt sistem her kat seviyesinde birleşen kirişler aracılığı ile diğer bir alt sisteme bağımlıdır. Bu bağımlılık bölüm 3.2 de açıklandığı gibi dolaylı bir şekilde ortadan kaldırılmakta ve her kirişin herhangi bir ucu için hesaplanacak uç kuvveti sadece o uçta oluşacak deplasmanlara bağlı hale getirilmektedir. Bu işlemden sonra herbir alt sistemi bağımsız bir alt sistem olarak gözönüne almak mümkündür.

Bu alt sistemlerin bilinmeyenleri, her kattaki düşey taşıyıcı kesitinin asal doğrultularındaki  $\delta_{\xi}$  ve  $\delta_{\eta}$  rölatif yer değiştirmeleri ile yine her kat seviyesinde kirişlerle birleştikleri düğüm noktalarının kolon kesiti asal doğrultularındaki  $\theta_{\xi}$  ve  $\theta_{\eta}$  dönmeleridir. Böylece bir alt sistemde kat sayısının 4 katı bilinmeyen olmaktadır. Bu bilinmeyenler bölüm 3.4 de anlatıldığı düzende sıralanarak denge denklemleri yazılırsa alt sistemin rijitlik matrisi, oradan da indirgeme yöntemiyle alt sistemin yatay rijitlik matrisi elde edilmektedir. Bütün alt sistemler için bu işlemler tamamlandıktan sonra bölüm 3.5 de açıklanan yapı yatay rijitlik matrisi hesaplanarak işlemlere devam edilmektedir.



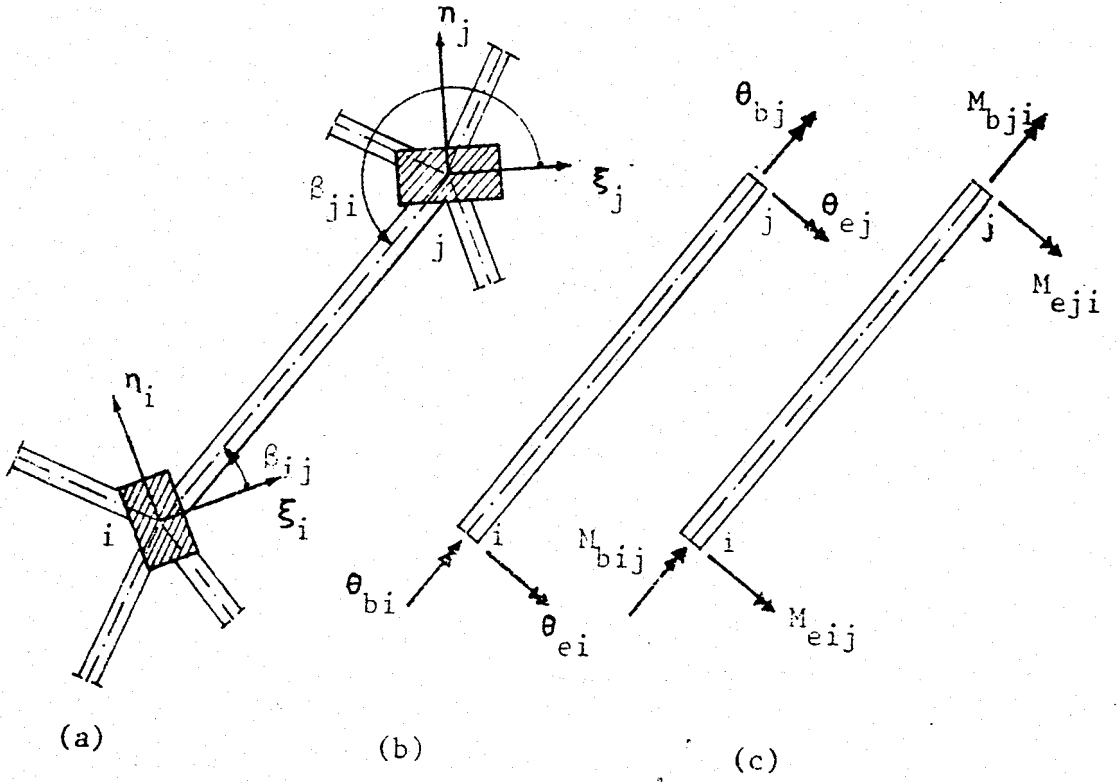
Bu hesaplama yöntemindeki en önemli noktalardan biri bölüm 3.2 de açıklanan kiriş birim deplasman sabitlerinin içinde kirişin iki ucunda oluşan dönmelerin oranlarının bulunmasıdır. Başlangıçta bu oran (uç dönmeleri bilinmediği için) belli değildir. Bu nedenle kiriş birim deplasmanlarını da baştan tam doğru olarak bilmek imkansızdır. Başlangıç olarak yatay yüklerin etkisindeki bir yapıda kirişlerin yaklaşık olarak antimetrik deformasyon yaptığı kabul edilirse oranın bir alınacağı akla gelir. Buradan hareketle her kirişin birim deplasman sabiti başlangıç değerleri elde edilir. Alt sistemleri oluşturan elemanların birim deplasman matrisleri kullanılarak alt sistemlerin rijitlik matrisleri kurulur ve yatay rijitlik matrisleri hesaplanır. Sonra yapı yatay rijitlik matrisleri kurulur, sistem çözülür. Yapının her düğüm noktasındaki dönmeler ve yerdeğiştirmeler belirlenir. Kirişlerin uç dönmeleri ve bunlardan yararlanılarak yeniden kiriş birim deplasman sabitleri hesaplanır. Ardışık iki adımda bulunan değerler yeterli yaklaşıklıkta oluncaya kadar ardışık yaklaşıma devam edilir.

### 3.2. KİRİŞLERİN UÇ KUVVETLERİ İLE UÇ DEPLASMANLARI ARASINDAKİ BAĞINTILAR

Şekil 3.2a da görüldüğü gibi i ve j nolu düşey taşıyıcılara herhangi bir katta birleşen ij kirişini gözönüne alalım. i ve j deki  $\xi$  ve  $\eta$  eksenleri düşey taşıyıcıların asal eksenleridir. ij kirişi i düğüm noktasında  $\xi_i$  eksenine  $\beta_{ij}$ , j düğüm noktasında  $\xi_j$  ile  $\beta_{ji}$  açısını yapmaktadır. Bu kirişin uç deplasmanları şekil 3.2b de, deplasmanlardan meydana gelen uç kuvvetleride şekil 3.2c de gösterilmiştir. Buna göre, uç kuvvetlerle uç deplasmanlar arasındaki bağıntılar

$$M_{eij} = m_{i\theta_{ei}} \cdot \theta_{ei} + m_{i\theta_{ej}} \cdot \theta_{ej}$$

$$M_{bij} = m_{i\theta_{bi}} \cdot \theta_{bi} + m_{i\theta_{bj}} \cdot \theta_{bj} \quad (3.1)$$



Şekil 3.2

$$M_{eji} = m_{j\theta_{ei}} \cdot \theta_{ei} + m_{j\theta_{ej}} \cdot \theta_{ej}$$

$$M_{bjj} = m_{j\theta_{bi}} \cdot \theta_{bi} + m_{j\theta_{bj}} \cdot \theta_{bj}$$

şeklinde yazılabilir. Herbir uç kuvvet kendi bulunduğu noktadaki ilgili deplasman cinsinden ortak paranteze alınırsa

$$M_{eij} = (m_{i\theta_{ei}} + m_{i\theta_{ej}} \frac{\theta_{ej}}{\theta_{ei}}) \cdot \theta_{ei}$$

$$M_{bij} = (m_{i\theta_{bi}} + m_{i\theta_{bj}} \cdot \frac{\theta_{bj}}{\theta_{bi}}) \cdot \theta_{bi}$$

$$M_{eji} = (m_{j\theta_{ei}} \cdot \frac{\theta_{ei}}{\theta_{ej}} + m_{j\theta_{ej}}) \cdot \theta_{ej} \quad (3.2)$$

$$M_{bji} = (m_{j\theta_{bi}} \cdot \frac{\theta_{bi}}{\theta_{bj}} + m_{j\theta_{bj}}) \cdot \theta_{bj}$$

olur. Bu denklemler matris formunda

$$\{P\} = \{K\} \cdot \{D\} \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikteki herbir matrisin

$$\{P\} = \begin{vmatrix} M_{eij} \\ M_{bij} \\ M_{eji} \\ M_{bji} \end{vmatrix}, \{D\} = \begin{vmatrix} \theta_{ei} \\ \theta_{bi} \\ \theta_{ej} \\ \theta_{bj} \end{vmatrix}, \{K\} = \begin{vmatrix} k_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{44} \end{vmatrix}$$

$$m_{i\theta_i} = \frac{4 \cdot EI}{L}, m_{i\theta_j} = \frac{2 \cdot EI}{L} \quad (3.4)$$

$$k_{11} = m_{i\theta_{ei}} + m_{i\theta_{ej}} \cdot \frac{\theta_{ej}}{\theta_{ei}}, k_{22} = m_{i\theta_{bi}} + m_{i\theta_{bj}} \cdot \frac{\theta_{bj}}{\theta_{bi}},$$

$$k_{33} = m_{j\theta_{ej}} + m_{j\theta_{ei}} \cdot \frac{\theta_{ei}}{\theta_{ej}}, k_{44} = m_{j\theta_{bj}} + m_{j\theta_{bi}} \cdot \frac{\theta_{bi}}{\theta_{bj}}$$

şeklinde ifade edilebileceği görülür. Burada  $[K]$  çubuk rijitlik matrisi (3.2) denkleminde yapılan işlemlerle köşegen matris haline getirilmiştir. Ancak görüldüğü gibi çubuk birim deplasman sabitlerinin içinde henüz bilinmeyen çubuk uç deplasmanlarının oranları vardır. Bu gösterimle çubuk uç kuvvetleri sadece bulunduğu ucun ilgili deplasmanına dolaylı bir şekilde bağımlı hale getirilmiş olur. Özel olarak kirişin burulma rijitliği ihmal edilecek mertebede ise  $k_{22}$  ve  $k_{44}$  değerlerini sıfır almak yeterlidir. (3.4) ifadesindeki  $\{P\}$ ,  $[K]$ ,  $\{D\}$  matrisleri

$$\{P\} = \begin{bmatrix} \{P\}_i \\ \{P\}_j \end{bmatrix}, [K] = \begin{bmatrix} [k]_{ii} & 0 \\ 0 & [k]_{jj} \end{bmatrix}, \{D\} = \begin{bmatrix} \{d\}_i \\ \{d\}_j \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

şeklinde alt matrislerle gösterildiklerinde (3.3) eşitliği daha basit bir formda

$$\begin{aligned} \{P\}_i &= [k]_{ii} \cdot \{d\}_i \\ \{P\}_j &= [k]_{jj} \cdot \{d\}_j \end{aligned} \quad (3.6)$$

olarak ifade edilebilir. Bu ifadeler kirişin özel koordinat eksenlerine göre yazılmıştır.

$i$  düğüm noktasında  $\xi$  ve  $\eta$  eksenlerinden geçen düzlemler içinde yazılacak moment denge denklemlerine kiriş uç kuvvetlerinin katkıları,

$$\{P\}_{i\xi\eta} = [T]_i \cdot [k]_{ii} \cdot [T]_i^T \cdot \{d\}_{i\xi\eta} \quad (3.6a)$$

şeklindedir. Bu ifadedeki  $[T]_i$ ,

$$[T]_i = \begin{vmatrix} \cos \beta_{ij} & -\sin \beta_{ij} \\ \sin \beta_{ij} & \cos \beta_{ij} \end{vmatrix} \quad (3.6b)$$

bir dönüştürme matrisini göstermektedir.  $\{d\}_{i\xi\eta}$ , i düğüm noktasındaki  $\xi$  ve  $\eta$  eksenleri doğrultusundaki dönmeleri gösteren kolon matris olup

$$\{d\}_{i\xi\eta} = \begin{vmatrix} \theta_{\xi i} \\ \theta_{\eta i} \end{vmatrix} \quad (3.6c)$$

dir. Ayrıca,

$$\{d\}_i = [T]_i^T \cdot \{d\}_{i\xi\eta} \quad (3.6d)$$

$$\{P\}_{i\xi\eta} = [T]_i \cdot \{P\}_i \quad (3.6e)$$

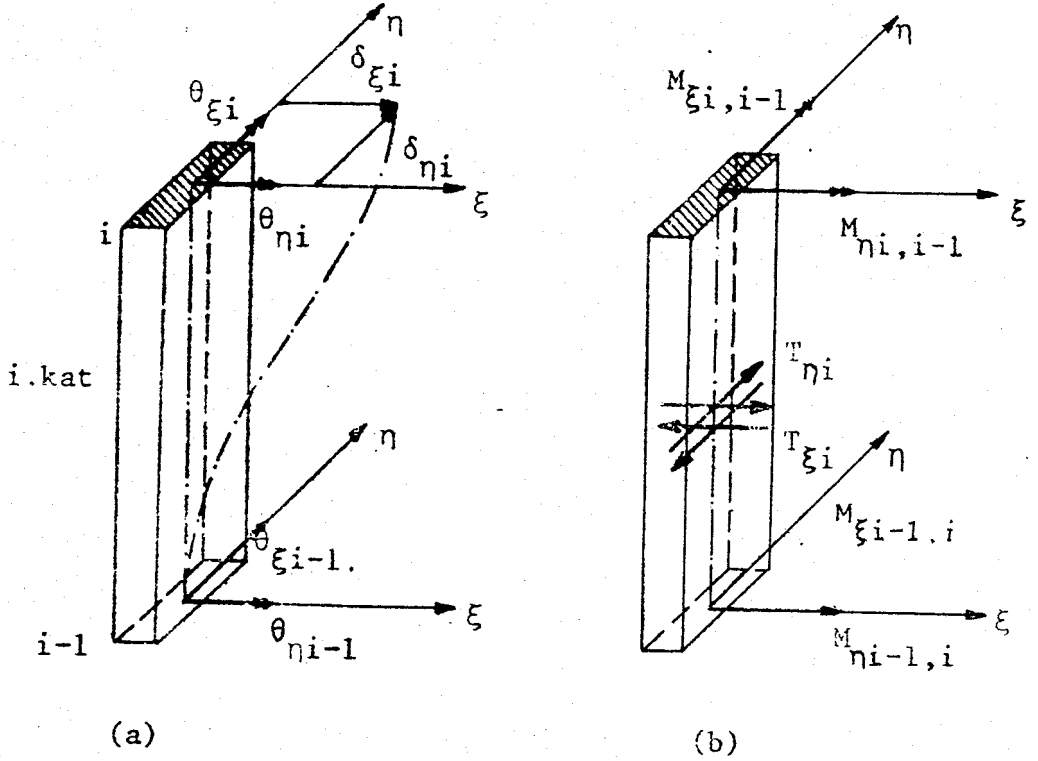
$$[K]_{i\xi\eta} = [T]_i \cdot [k]_{ii} \cdot [T]_i^T \quad (3.6f)$$

$$\{P\}_{i\xi\eta} = [K]_{i\xi\eta} \cdot \{d\}_i \quad (3.6g)$$

$$[K]_{i\xi\eta} = \begin{vmatrix} k_{11} \cdot \cos^2 \beta_{ij} + k_{22} \cdot \sin^2 \beta_{ij}, & (k_{11} - k_{22}) \sin \beta_{ij} \cdot \cos \beta_{ij} \\ (k_{11} - k_{22}) \cdot \sin \beta_{ij} \cdot \cos \beta_{ij}, & k_{11} \cdot \sin^2 \beta_{ij} + k_{22} \cdot \cos^2 \beta_{ij} \end{vmatrix} \quad (3.6h)$$

eşitliklerinin yazılabileceği kolaylıkla görülebilir.

### 3.3. DÜŞEY TAŞIYICILARIN UÇ KUVVETLERİ İLE UÇ DEPLASMANLARI ARASINDAKİ BAĞINTILAR



Şekil 3.3

i. kattaki bir düşey taşıyıcıya ait bağımsız deplasmanlar şekil 3.3a da, bu deplasmanlardan oluşan çubuk uç eğilme momentleri ve kesme kuvvetleride şekil 3.3b de gösterilmiştir.  $\xi$  ve  $\eta$  eksenleri düşey taşıyıcının kesit asal eksenleri olup uç deplasmanları olarak bu iki asal eksenenden geçen düzlemler içindeki deplasmanlar alınmıştır. Bu sayede farklı iki düzlemdekigerek deplasmanlar gerekse uç kuvvetleri birbirinden bağımsız hale gelmektedir. Burada düşey taşıyıcıların boy değiştirmeleleriyle kendi eksenleri etrafındaki burulma deplasmanları ihmal edilmektedir. Uç kuvvetler ile uç deplasmanlar arasındaki bağıntıları her bir düzlemde ayrı ayrı matris formunda yazılırsa

$$\{P_{\xi}\} = [K_{\xi}] \cdot \{d_{\xi}\}$$

$$\{P_{\eta}\} = [K_{\eta}] \cdot \{d_{\eta}\}$$

olur. Buradaki herbir matrisin açık ifadesi

$$\{P_{\xi}\} = \begin{bmatrix} M_{\xi,i,i-1} \\ M_{\xi,i-1,i} \\ T_{\xi,i,i-1} \end{bmatrix} \quad [K_{\xi}] = \begin{bmatrix} m_{i,\theta_{\xi i}} & , & m_{i,\theta_{\xi i-1}} & , & m_{i,\delta_{\xi i}} \\ m_{i-1,\theta_{\xi i}} & , & m_{i-1,\theta_{\xi i-1}} & , & m_{i-1,\delta_{\xi i}} \\ t_{i,\theta_{\xi i}} & , & t_{i,\theta_{\xi i-1}} & , & t_{i,\delta_{\xi i}} \end{bmatrix} \quad \{d_{\xi}\} = \begin{bmatrix} \theta_{\xi i} \\ \theta_{\xi i-1} \\ \delta_{\xi i} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\{P_{\eta}\} = \begin{bmatrix} M_{\eta,i,i-1} \\ M_{\eta,i-1,i} \\ T_{\eta,i,i-1} \end{bmatrix} \quad [K_{\eta}] = \begin{bmatrix} m_{i,\theta_{\eta i}} & , & m_{i,\theta_{\eta i-1}} & , & m_{i,\delta_{\eta i}} \\ m_{i-1,\theta_{\eta i}} & , & m_{i-1,\theta_{\eta i-1}} & , & m_{i-1,\delta_{\eta i}} \\ t_{i,\theta_{\eta i}} & , & t_{i,\theta_{\eta i-1}} & , & t_{i,\delta_{\eta i}} \end{bmatrix} \quad \{d_{\eta}\} = \begin{bmatrix} \theta_{\eta i} \\ \theta_{\eta i} \\ \delta_{\eta} \end{bmatrix}$$

$$m_{i\theta i} = \frac{4EI}{L} , \quad m_{i\theta j} = \frac{2EI}{L} , \quad m_{i\delta\theta} = t_{i\theta i} = \frac{6EI}{L^2} , \quad t_{i\theta i} = \frac{12EI}{L^3}$$

şeklindedir.  $\{P_{\xi}\}$  ve  $\{P_{\eta}\}$  düşey taşıyıcı uç kuvvet matrislerini,  $[K_{\xi}]$  ve  $[K_{\eta}]$  ilgili doğrultulardan geçen düzlemler içindeki düşey taşıyıcı eleman rijitlik matrislerini,  $\{d_{\xi}\}$  ve  $\{d_{\eta}\}$  da uç deplasman matrislerini göstermektedir.

### 3.4. İDEALLEŞTİRİLMİŞ BİR ALT SİSTEMİN RİJİTLİK MATRİSİ İLE YATAY RİJİTLİK MATRİSİNİN BULUNUŞU

#### 3.4.1. Alt Sistem ve Bilinmeyenler

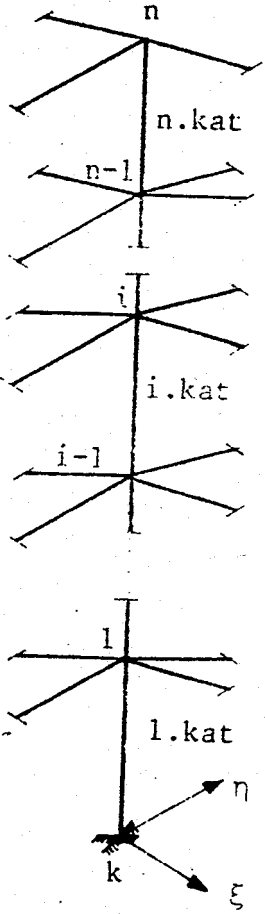
Yapıyı meydana getiren düşey taşıyıcıların herbiri ile bunlara her kat seviyesinde birleşen ve rijitlik matrisleri (3.4) ifadesinde verilmiş olan kirişlerin oluşturduğu sisteme alt sistem diyoruz. Buna göre, bir yapıda en alt kattaki düşey taşıyıcı sayısı kadar alt sistem olacağı söylenebilir. Düşey taşıyıcıların belirli bir katın üzerinde devam etmemesi ve kattan kata rijitliklerinin değişmesi problemin genelliğini bozmaz. Ancak, düşey taşıyıcı üst katlarda var olupta belirli bir katın altında kesiliyorsa bu tip problemler bu çalışmanın kapsamı dışında kalmaktadır. Bu bölümdeki hesaplarda, alt sistemi oluşturan bütün katlardaki düşey taşıyıcıların kesit asal eksenlerinin çakıştığı ve bu eksenlerin alt sistemin eksen takımı olduğu kabul edilmiştir. Bu eksenler şekil 3.3a da gösterildiği gibi  $\xi$  ve  $\eta$  eksenleri olarak adlandırılmıştır.

Alt sistemin bilinmeyenleri, her kat seviyesinde kirişlerle düşey taşıyıcıların birleştikleri düğüm noktalarının  $\xi$  ve  $\eta$  doğrultularından geçen düzlemler içindeki  $\theta_{\xi}$  ve  $\theta_{\eta}$  dönmeleriyle, ardışık katlardaki düğüm noktalarının yine aynı düzlemler içindeki rölatif yerdeğiştirmeleri olan  $\delta_{\xi}$  ve  $\delta_{\eta}$  lardır. Buna göre bir alt sistemde yapı kat sayısının dört katı bilinmeyen bulunmaktadır.

#### 3.4.2. Alt Sistem Rijitlik Matrisleri

Şekil 3.4 de gösterilen düğüm noktaları hareketli  $n$  katlı  $n$  düğüm noktalı bir uzay alt sistemin hesabı bölüm 2 deki varsayımlar ile deplasman metoduyla yapılırken  $(4n)$  bilinmeyenli bir denklem takımının kurulması gerekir. Bu denklem takımlarının kurulmasında her düğüm noktasında  $\xi$  ve  $\eta$  asal eksenlerinden geçen düzlemler içindeki moment denge denklemleri ile her katta yine aynı düzlemlerdeki yatay izdüşüm denge





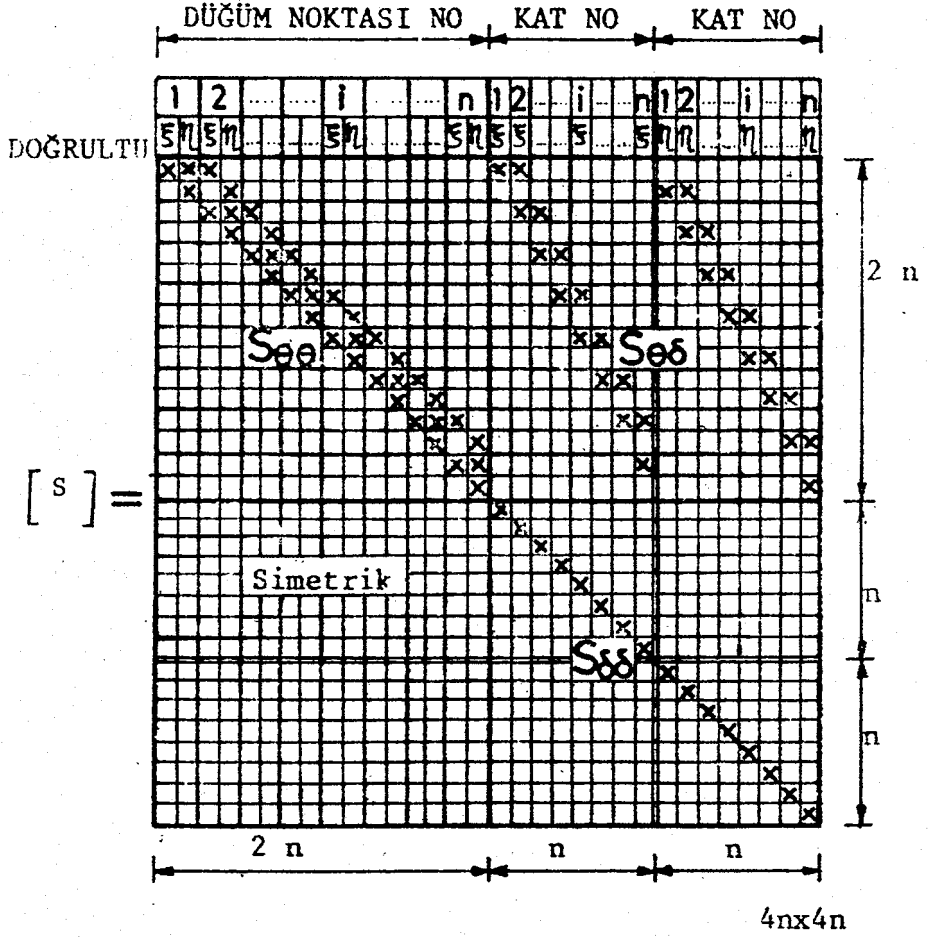
Şekil 3.4 Bir Alt Sistem

denklemlerinden yararlanılır. Bu denklemler,  $2n$  adet  $\theta$  düğüm noktası dönməsi önce,  $2n$  adet düğüm noktası rölatif yerdeğiştirmesi sonra gelecek şekilde düzenlenebilir. Burada  $\theta$  bilinmeyenleri kendi aralarında herbir düğüm noktasındaki  $\theta_{\xi}$  ve  $\theta_{\eta}$  ardarda olacak şekilde sıralanmıştır. Düğüm noktası rölatif yerdeğiştirmeleri de  $n$  adet  $\delta_{\xi}$  önce,  $n$  adet  $\delta_{\eta}$  sonra gelecek şekilde düzenlenmiştir. Bu durumda  $(4n) \times (4n)$  mertebeden  $[S]$  alt sistem rijitlik matrisi şekil 3.5 de gösterildiği gibi sıfırdan farklı katsayıları ( $x$ ) le gösterilmiş adreslerde bulunan özel bir matris olmaktadır.

Alt sistemi meydana getiren kiriş ve düşey taşıyıcı elemanların alt sistem eksen takımına göre rijitlik matrisleri kirişler için (3.6h), kolonlar için (3.8) ifadelerinde verilmiştir. Herbir elemanın rijitlik matrisi katsayıları, alt sistem rijitlik matrisinde ilgili yerlerine

yerleştirilir. Aynı adrese gelen katsayılar üstüste toplanarak  $[S]$  katsayılar matrisi belirlenebilir.  $[S]$  nin biraz önce anlatılan şekilde düzenlenmesi sayesinde sıfırdan farklı katsayılar sadece şekil 3.5 de ( $x$ ) işareti ile belirtilen adreslerde toplanır.

$[S]$  nin şekil 3.5 de görüldüğü gibi  $2n \times 2n$  mertebeden olan  $S_{\theta\theta}$ ,  $S_{\theta\delta}$ ,  $S_{\delta\delta}$  alt matrislerinden oluşan bir matris olarak düzenlenmesi bazı kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin,  $S_{\theta\theta}$  matrisi her zaman yaribant genişliği 3 olan bir bant matris olarak elde edilmekte indirgmeden sonra da



Şekil 3.5

üst sıfır bölgesi değişmemektedir. Benzeri durum  $S_{0\delta}$  matrisinin üst sıfır bölgeleri için de geçerlidir.  $\delta_\xi$  ve  $\delta_\eta$  rölatif yerdeğiştirmelerinin de (3.9) ifadelerinde gösterildiği gibi düzenlenmiş olması,  $[S]$  matrisinin bölüm 3.4.3 de açıklanan uygun şekilde indirgenmesiyle elde edilen  $S_{\delta\delta}$  alt sistem yatay rijitlik matrisinin alt matrisleri olan  $n \times n$  mertebeden  $D_{\xi\xi}$ ,  $D_{\xi\eta}$ ,  $D_{\eta\eta}$  matrislerinin kendiliğinden elde edilmesini sağlamaktadır.  $m$  nolu alt sistemin bilinmeyenleri  $\{d\}_m$  kolon matrisiyle gösterilirse,

$$\{d\}_m = \begin{Bmatrix} \{\theta\}_m \\ \{\theta_\xi\}_m \\ \{\delta_\eta\}_m \end{Bmatrix}_{4nx1}, \{\theta\}_m = \begin{Bmatrix} \theta_{\xi1} \\ \theta_{\eta1} \\ \theta_{\xi2} \\ \theta_{\eta2} \\ \vdots \\ \theta_{\xi n} \\ \theta_{\eta n} \end{Bmatrix}_{2nx1}, \{\delta_\xi\}_m = \begin{Bmatrix} \delta_{\xi1} \\ \delta_{\xi2} \\ \vdots \\ \delta_{\xi n} \end{Bmatrix}_{nx1}, \{\delta_\eta\}_m = \begin{Bmatrix} \delta_{\eta1} \\ \delta_{\eta2} \\ \vdots \\ \delta_{\eta n} \end{Bmatrix}_{nx1} \quad (3.9)$$

olur.

### 3.4.3. Alt Sistem Yatay Rijitlik Matrisleri

Şekil 3.5 deki [S] matrisinin ilk 2 n satırında ardışık olarak indirgeme işlemi yapılarak 2n adet  $\theta$  bilinmeyeni yok edilirse bu işlem sonucu elde edilen  $2n \times 2n$  mertebeden rijitlik matrisi sadece  $\{\delta_\xi\}$  ve  $\{\delta_\eta\}$  rölatif yerdeğiştirmelerine bağlı olur. İndirgemenin sonu  $[S_{\delta\delta}]$  alt matrisinin yerinde kalan  $[\bar{S}_{\delta\delta}]$  matrisine alt sistemin yatay rijitlik matrisi denir.  $\{\delta_\xi\}$  ve  $\{\delta_\eta\}$  bilinmeyenleri alt sistemin asal doğrultularından geçen iki ayrı düzlem içindeki rölatif yerdeğiştirmelerin tümünü içerdigi için bu yatay rijitlik matrisinin düzlem sistemin [K] yatay rijitlik matrisinden farklı olduğu belirtilmelidir.

$[\bar{S}_{\delta\delta}]$  matrisi  $n \times n$  mertebeden alt matrislerle

$$[\bar{S}_{\delta\delta}] = \begin{vmatrix} [D_{\xi\xi}]_{n \times n} & [D_{\xi\eta}]_{n \times n} \\ \hline [D_{\eta\xi}]_{n \times n} & [D_{\eta\eta}]_{n \times n} \end{vmatrix} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilebilir.  $[\bar{S}_{\delta\delta}]$  matrisi simetrik bir matristir. Bu nedenle  $[D_{\xi\xi}]$  ve  $[D_{\eta\eta}]$  matrislerinin simetrik ve  $[D_{\xi\eta}]^T = [D_{\eta\xi}]$  olacağı açıktır.

Eğer, özel olarak bir düğüm noktasında birleşen kiriş grublarının asal eksenleri bütün katlarda düşey taşıyıcıların asal eksenleriyle (alt sistem ortak eksen takımıyla) çakışiyorsa uzama şekil değiştirmeleri gözönüne alınmayan sistemlerde  $D_{\xi\eta}$  ve  $D_{\eta\xi}$  matrislerinin bütün elemanları sıfır olur.  $D_{\xi\xi}$  ve  $D_{\eta\eta}$  alt matrisleride birbirlerinden bağımsız hale gelir. Ortogonal taşıyıcı sistemlerden oluşan yapıların hesabında bu özel durumla karşılaşılır.

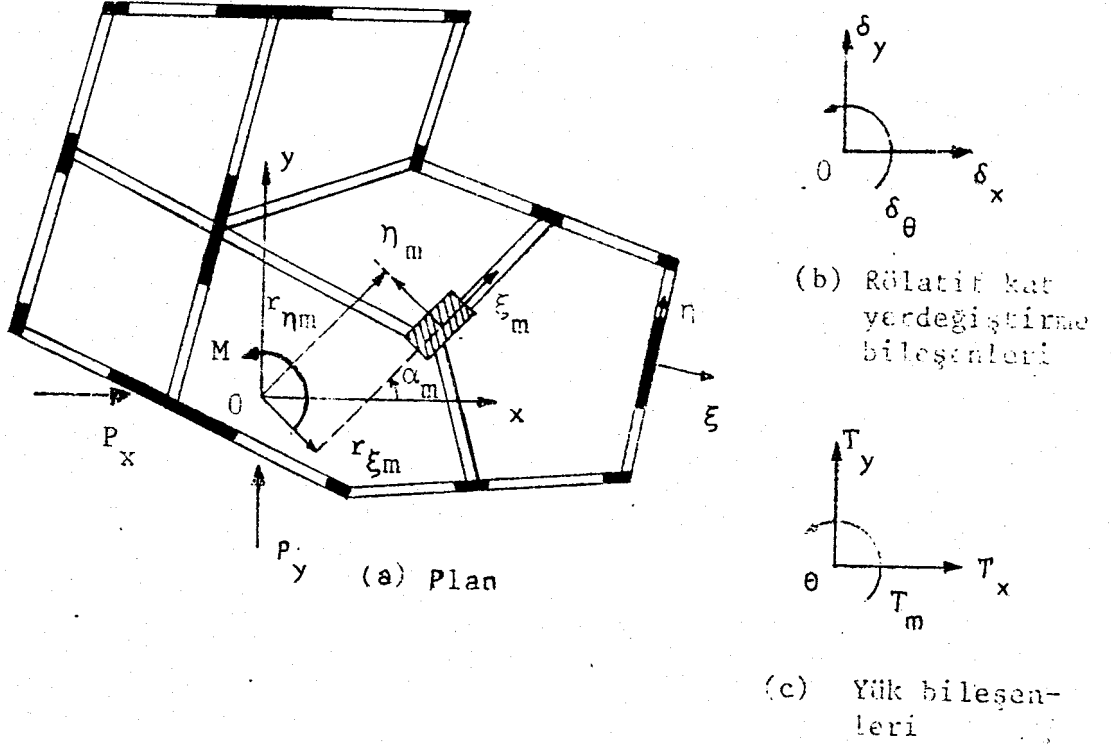
#### 3.4.4. Özel Hal: Ortogonal Taşıyıcı Sistemlerden Oluşan Çok Katlı Yapılarda Alt Sistem Rijitlik ve Yatay Rijitlik Matrisleri

Bu durumda şekil 3.5 de gösterilen  $4n \times 4n$  mertebeden  $[S]$  matrisi  $\xi$  ve  $\eta$  düzlemlerindeki bağımsız bilinmeyenlere ait  $2n \times 2n$  mertebeden  $[S_\xi]$  ve  $[S_\eta]$  rijitlik matrisleriyle daha basit şekilde gösterilebilir. Denklemler önce dönmeler sonra rölatif yerdeğiştirmeler gelecek şekilde düzenlenirse, herbir düzlemdeki alt sistem rijitlik matrisleri  $n \times n$  mertebeden alt matrislerle

$$[S_\xi] = \begin{vmatrix} S_{\theta_{\xi\xi}} & S_{\theta_{\xi\delta}} \\ \hline S_{\delta_{\xi\xi}} & S_{\delta_{\xi\delta}} \end{vmatrix}, \quad S_\eta = \begin{vmatrix} S_{\theta_{\eta\eta}} & S_{\theta_{\eta\delta}} \\ \hline S_{\delta_{\eta\eta}} & S_{\delta_{\eta\delta}} \end{vmatrix} \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilebilir. Herbir matrisin ilk  $n$  satırında ardışık olarak indirgeme işlemi yapılarak  $n$  adet  $\theta$  bilinmiyeni yok edilirse  $[S_{\delta_{\xi}\delta_{\xi}}]$  matrisinin yerinde indirgemenin sonra kalacak  $[\bar{S}_{\delta_{\xi}\delta_{\xi}}]_{n \times n}$ , alt sistemin düzlemindeki yatay rijitlik matrisi olmaktadır. Bu (3.10) ifadesindeki  $[D_{\xi\xi}]$  matrisine karşı gelir. Benzer şekilde,  $[\bar{S}_{\delta_{\eta}\delta_{\eta}}]$  da, alt sistemin düzlemindeki  $[D_{\eta\eta}]$  yatay rijit matrisine eşit olur.

### 3.5. ÇOK KATLI YAPILARIN HESABI



Şekil 3.6

Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan  $n$  katlı bir yapının planı, kat döşemeleri hizasında etkiyen  $P_x$ ,  $P_y$ , ve  $M$  dış yük bile-

şenleri ve m nolu alt sistemin eksen takımı ile yerini belirleyen  $\alpha_m$ ,  $r_{\xi m}$  ve  $r_{\eta m}$  büyüklükleri şekil 3.6a da gösterilmiştir.

Kat döşemeleri kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edildiğinden yapının şekil değiştirme durumu, her kât için döşemenin rijit cisim hareketini belirleyen 3 yerdeğiştirme bileşeni ile ifade edilebilir. Rölatif kat yerdeğiştirme bileşenleri aşağıda açıklandığı gibi bilinmeyenler olarak seçilmiştir. Böylece n katlı bir yapıda bilinmeyen sayısı  $3n$  olur.

$$\{\delta\} = \begin{Bmatrix} \{\delta_x\} \\ \{\delta_\theta\} \\ \{\delta_y\} \end{Bmatrix}_{3n \times 1}, \quad \{\delta_x\} = \begin{Bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{x2} \\ \vdots \\ \delta_{xn} \end{Bmatrix}_{n \times 1}, \quad \{\delta_y\} = \begin{Bmatrix} \delta_{y1} \\ \delta_{y2} \\ \vdots \\ \delta_{yn} \end{Bmatrix}_{n \times 1} \quad (3.12)$$

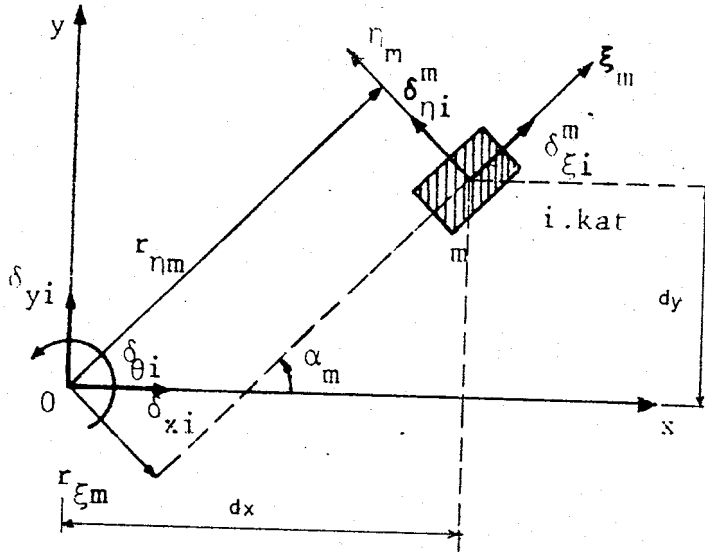
$$\{\delta_\theta\} = \begin{Bmatrix} \delta_{\theta 1} \\ \delta_{\theta 2} \\ \vdots \\ \delta_{\theta n} \end{Bmatrix}$$

Burada  $\{\delta_x\}$  kolon matrisi yapının ortak eksen takımına göre x eksenini doğrultusundaki,  $\{\delta_y\}$ , y eksen doğrultusundaki bağımsız rölatif kat yerdeğiştirmelerini içeren kolon matrislerdir.  $\{\delta_\theta\}$  ise katların rölatif dönmelerini gösteren kolon matristir.

Burada denge denklemlerinin çıkarılmasına geçmeden önce aşağıdaki açıklamaların verilmesinde yarar vardır.

### 3.5.1. m Nolu Bir Alt Sistemin Kendi Eksen Takımına Göre Rölatif Yerdeğiştirmelerinin Yapının Bağımsız Rölatif Kat Yerdeğiştirme Bileşenleri Cinsinden Elde Edilmesi

Şekil 3.7 de m nolu alt sistemin, yapının ortak eksen takımına göre konumunu belirleyen büyüklükleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7

$\delta_{\xi i}^m$  ve  $\delta_{\eta i}^m$ , m nolu alt sistemin i. katındaki rölatif yerdeğiştirmelerini simgelemektedir. Bunlar yapının i. katının bağımsız rölatif kat yerdeğiştirmeleri cinsinden ifade edilebilir. Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edilmeleri nedeniyle rijit yerdeğiştirme söz konusu olmaktadır.  $\delta_{\theta i}$  rölatif kat dönmesinin de çok küçük bir açı olduğu gözönünde tutulursa

$$r_{\xi m} = -dx \cdot \sin \alpha_m + dy \cdot \cos \alpha_m$$

$$r_{\eta m} = -dx \cdot \cos \alpha_m - dy \cdot \sin \alpha_m$$

$$\delta_{\xi i}^m = \delta_{xi} \cdot \cos \alpha_m + \delta_{yi} \cdot \sin \alpha_m + \delta_{\theta i} \cdot r_{\xi m} \quad (3.13)$$

$$\delta_{\eta i}^m = -\delta_{xi} \cdot \sin \alpha_m + \delta_{yi} \cdot \cos \alpha_m + \delta_{\theta i} \cdot r_{\eta m}$$

esitliklerini yazmak mümkündür, {13} . Bu ifadeler bütün katlar için toplu olarak (3.9) ve (3.12) ifadelerinden yararlanılarak matris formunda

$$\{\delta_{\xi}^m\} = \cos \alpha_m \{\delta_x\} + \sin \alpha_m \{\delta_y\} + r_{\xi m} \{\delta_{\theta}\} \quad (3.14)$$

$$\{\delta_{\eta}^m\} = -\sin \alpha_m \{\delta_x\} + \cos \alpha_m \{\delta_y\} + r_{\eta m} \{\delta_{\theta}\}$$

$$\{d_{\eta}^m\} = \begin{Bmatrix} \{\delta_{\xi}^m\} \\ \{\delta_{\eta}^m\} \end{Bmatrix}, [W] = \begin{bmatrix} \cos \alpha_m & r_{\xi m} & \sin \alpha_m \\ -\sin \alpha_m & r_{\eta m} & \cos \alpha_m \end{bmatrix}_{2n \times 3n}$$

dönüştürme matrisini göstermek üzere

$$\{d\}_m = [W] \cdot \{\delta\}_m \quad (3.14a)$$

şeklinde yazılabilir.  $\{\delta_{\xi}^m\}$  ve  $\{\delta_{\eta}^m\}$  matrislerine "alt sistemin rölatif yerdeğiştirme matrisleri" denir.



Bu matrisleri, (3.10) ve (3.14) denklemlerindeki matrislerden elde etmek mümkündür. Buna göre,

$$\{T_{\xi}\}_m = [D_{\xi\xi}]_m \cdot \{\delta_{\xi}\}_m + [D_{\xi\eta}]_m \cdot \{\delta_{\eta}\}_m \quad (3.16)$$

$$\{T_{\eta}\}_m = [D_{\eta\xi}]_m \cdot \{\delta_{\xi}\}_m + [D_{\eta\eta}]_m \cdot \{\delta_{\eta}\}_m$$

denklemleri yazılabilir.  $\{\delta_{\xi}\}_m$  ve  $\{\delta_{\eta}\}_m$  matrislerinin yerine, (3.14) ifadesindeki eşitlikleri yazılır ve düzenlenirse

$$\begin{aligned} \{T_{\eta}\}_m &= ([D_{\xi\xi}]_m \cdot \cos \alpha_m - [D_{\xi\eta}]_m \cdot \sin \alpha_m) \cdot \{\delta_x\} + ([D_{\xi\xi}]_m \cdot \sin \alpha_m + \\ &+ [D_{\xi\eta}]_m \cdot \cos \alpha_m) \cdot \{\delta_y\} + ([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \{\delta_{\theta}\} \quad (3.17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \{T_{\xi}\}_m &= ([D_{\eta\xi}]_m \cdot \cos \alpha_m - [D_{\eta\eta}]_m \cdot \sin \alpha_m) \cdot \{\delta_x\} + ([D_{\eta\xi}]_m \cdot \sin \alpha_m + \\ &+ [D_{\eta\eta}]_m \cdot \cos \alpha_m) \cdot \{\delta_y\} + ([D_{\eta\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \{\delta_{\theta}\} \quad (3.18) \end{aligned}$$

denklemleri kolaylıkla elde edilebilir. Bu ifadeler toplu olarak bütün katlar için matris formunda

$$\{T\}_m = [D] \cdot [W] \cdot \{\delta\}_m \quad (3.18a)$$

şeklinde yazılabilir.

### 3.5.3. Yapının Ortak Eksen Takımına Göre Denge Denklemleri

Şekil 3.6a da herhangi bir m nolu alt sistemin  $\xi_m$  ekseninin x eksenini ile yaptığı açı  $\alpha_m$  ve O noktasına uzaklığı  $r_{\xi m}$  ile  $\eta_m$  ekseninin O

noktasına uzaklığı da  $r_{\eta m}$  ile gösterilmiştir.  $\alpha_m$  açısının saat akrebinin tersi yönünde olduğu zaman,  $r_{\xi m}$  uzaklığının da,  $\xi_m$  eksenini 0 noktasını saat akrebinin tersi yönünde döndürdüğü zaman pozitif oldukları kabul edilmiştir.  $r_{\eta m}$  için de aynı işaret kabulü geçerlidir.

Bilinmeyenlerin belirlenmesinde kullanılacak denklemler her kat için yazılacak x ve y eksenleri doğrultusundaki izdüşüm denge denklemleri ile moment denge denklemleridir. Denge denklemlerinin ayrıntılı olarak elde edilişi aşağıda açıklanmıştır.

### 3.5.3.1. x Eksenini Doğrultusundaki Denge Denklemleri

Yapının bütün katlarında m nolu alt sistemin kendi eksenleri doğrultusundaki  $\{T_{\xi}\}_m$  ve  $\{T_{\eta}\}_m$  değerleri yapının rölatif kat yerdeğiştirme bileşenleri cinsinden (3.18) eşitliklerinde verilmiştir. Şekil 3.8 gözönünde tutularak  $\{T_{\xi}\}_m$  nin x eksenini doğrultusundaki izdüşümünün  $\{T_{\xi}\}_m \cdot \cos \alpha_m$ ,  $\{T_{\eta}\}_m$  nin de  $-\{T_{\eta}\}_m \cdot \sin \alpha_m$  olduğu kolayca görülür.

i. katın üstünde kalan dış yüklerin x eksenini üzerindeki izdüşümleri toplamı

$$T_{xi} = - \sum_{j=1}^n P_{xj}$$

dir. Herbir kat için ayrı ayrı elde edilen  $T_{xi}$  lerin alt alta yazılmasıyla  $n \times 1$  mertebeden  $\{T_x\}$  kolon matrisi bulunabilir. Bu dış yüklerin x eksenini doğrultusundaki denge denklemlerine katkılarını toplu olarak gösteren (3.19) ifadesindeki matristir.

$$[T_x] = \begin{bmatrix} T_{x1} \\ T_{x2} \\ \vdots \\ T_{xn} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (3.19)$$

$$\sum_m \{T_\xi\}_m \cdot \cos \alpha_m - \sum_m \{T_\eta\}_m \cdot \sin \alpha_m + \{T_x\} = 0 \quad (3.19a)$$

denklemini ile göstermek mümkündür. Bu ifadedeki toplam, yapıyı oluşturan bütün alt sistemler üzerinde yapılır.  $\{T_\xi\}_m$  ve  $\{T_\eta\}_m$  yerine (3.18) ifadesinde gösterilen eşitleri yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa (3.19a) denklemini

$$\begin{aligned} & \left( \sum_m \{[D_{\xi\xi}]\}_m \cdot \cos^2 \alpha_m + [D_{\eta\eta}]_m \cdot \sin^2 \alpha_m - \right. \\ & \quad \left. - ([D_{\xi\eta}]_m + [D_{\eta\xi}]_m) \cdot \sin \alpha_m \cdot \cos \alpha_m \right) \cdot \{\delta_x\} + \\ & \left( \sum_m \{([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \cos \alpha_m - \right. \\ & \quad \left. - ([D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m} + [D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\xi m}) \cdot \sin \alpha_m \right) \cdot \{\delta_\theta\} + \\ & \left( \sum_m \{([D_{\xi\xi}]_m - [D_{\eta\eta}]_m) \cdot \sin \alpha_m \cdot \cos \alpha_m + [D_{\xi\eta}]_m \cdot \cos^2 \alpha_m - \right. \\ & \quad \left. - [D_{\eta\xi}]_m \cdot \sin^2 \alpha_m \right) \cdot \{\delta_y\} + \{T_x\} = 0 \end{aligned} \quad (3.20)$$

olur.

### 3.5.3.2. y Eksenini Doğrultusundaki Denge Denklemleri

y eksenini doğrultusundaki izdüşüm denge denklemleri de x eksenini doğrultusundakine benzer şekilde elde edilebilir. Şekil 3.8 in incelenmesinden de görüleceği gibi,  $\{T_\xi\}_m$  nin y eksenini doğrultusundaki izdüşümü  $\{T_\eta\}_m \cdot \sin \alpha_m$ ,  $\{T_\eta\}_m$  ninkinde de  $\{T_\xi\}_m \cdot \cos \alpha_m$  dir.

i. katın üstünde kalan dış yüklerin y eksenini üzerindeki izdüşümleri toplamı

$$T_{yi} = \sum P_{yj}, \quad [T_y] = \begin{bmatrix} T_{y1} \\ T_{y2} \\ \vdots \\ T_{yn} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

{T<sub>y</sub>} dış yüklerin y eksenini doğrultusunda yazılan denge denklemlerine katkılarını gösteren, nxl mertebeden bir kolon matrisi simgelediğine göre,

$$\sum_m \{T_{\xi}\}_m \cdot \sin \alpha_m + \sum_m \{T_{\eta}\}_m \cdot \cos \alpha_m + \{T_y\} = 0 \quad (3.21a)$$

denge denklemleri kolayca yazılabilir. {T<sub>ξ</sub>}<sub>m</sub> ve {T<sub>η</sub>}<sub>m</sub> matrisleri yerine (3.18) deki eşitleri yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa (3.21a) denklemi

$$\begin{aligned} & \left( \sum_m \{([D_{\xi\xi}]_m - [D_{\eta\eta}]_m) \cdot \sin \alpha_m \cdot \cos \alpha_m - \right. \\ & \quad \left. - [D_{\xi\eta}]_m \cdot \sin^2 \alpha_m + [D_{\eta\xi}]_m \cdot \cos^2 \alpha_m \right) \cdot \{\delta_x\} \\ & \left( \sum_m \{([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \sin \alpha_m + \right. \\ & \quad \left. + ([D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m} + [D_{\eta\xi}]_m \cdot r_{\xi m}) \cdot \cos \alpha_m \right) \cdot \{\delta_\theta\} + \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} & \left( \sum_m \{([D_{\xi\xi}]_m \cdot \sin^2 \alpha_m + [D_{\eta\eta}]_m \cdot \cos^2 \alpha_m + \right. \\ & \quad \left. + ([D_{\xi\eta}]_m + [D_{\eta\xi}]_m) \cdot \sin \alpha_m \cdot \cos \alpha_m \right) \cdot \{\delta_y\} + \{T_y\} = 0 \end{aligned}$$

olur.

### 3.5.3.3. Moment Denge Denklemleri

m nolu alt sistemin, yapının ortak eksen takımına göre yer ve konumunu belirleyen büyüklüklerin  $r_{\xi m}$ ,  $r_{\eta m}$  ve  $\alpha_m$  olduğu bilinmektedir. Buna göre  $\{T_{\xi}\}_m$  nin 0 noktasına göre saat akrebinin tersi yönündeki momenti  $\{T_{\xi}\}_m \cdot r_{\xi m}$  ve  $\{T_{\eta}\}_m$  ninki de  $\{T_{\eta}\}_m \cdot r_{\eta m}$  dir, (Bkz. Şekil 3.8). Bütün yerdeğiştirme bileşenleri sıfır iken i. katın üstünde kalan dış yüklerin 0 noktasından geçen düşey eksene göre saat akrebinin tersi yönündeki momentleri toplamı

$$T_{Mi} = - \sum_{j=i}^n M_j, \quad [T_M] = \begin{pmatrix} T_{M1} \\ T_{M2} \\ \vdots \\ T_{Mn} \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

olmak üzere dış yüklerin bütün katlarda moment denge denklemlerine katkıları  $\{T_M\}$  ile gösterilirse

$$\sum_m \{T_{\xi}\}_m \cdot r_{\xi m} + \sum_m \{T_{\eta}\}_m \cdot r_{\eta m} + \{T_M\} = 0 \quad (3.23a)$$

moment denge denklemleri yazılabilir. Buradaki  $\{T_{\xi}\}_m$  ve  $\{T_{\eta}\}_m$  matrisleri yerine (3.18) deki eşitleri yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa, (3.23) denklemi

$$\begin{aligned} & \left( \sum_m \{ ([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\xi}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \cos \alpha_m - \right. \\ & \quad \left. - ([D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \sin \alpha_m \right) \cdot \{\delta_x\} + \\ & \left( \sum_m \{ [D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m}^2 + [D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m}^2 + ([D_{\xi\eta}]_m + [D_{\eta\xi}]_m) \cdot r_{\xi m} \cdot r_{\eta m} \} \right) \cdot \{\delta_{\theta}\} + \\ & \left( \sum_m \{ ([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\xi}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \sin \alpha_m + ([D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\xi m} + \right. \\ & \quad \left. + [D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \cos \alpha_m \right) \cdot \{\delta_y\} + \{T_M\} = 0 \end{aligned} \quad (3.24)$$

olur. Bu denklem, moment denge denklemlerini toplu olarak yapının rölatif kat yerdeğiştirme bileşenleri cinsinden göstermektedir.

### 3.5.3.4. Yapı Yatay Rijitlik Matrisi

Bilinmeyenlerin (3.12) ile gösterilen toplu ifadesi dikkate alınarak tüm denge denklemleri

$$[R] \cdot \{\delta\} + (R_o) = 0 \quad (3.25)$$

şeklinde yazılabilir. Burada R (3nx3n) mertebeden yapı yatay rijitlik matrisi, {R<sub>o</sub>} da (3nx1) mertebeden yapı yükleme matrisi olarak adlandırılır. Esas köşegene göre simetrik olan R matrisi (nxn) mertebeden alt matrislerle ifade edilebilir.

$$[R] = \begin{vmatrix} [R_{xx}] & [R_{x\theta}] & [R_{xy}] \\ \hline [R_{\theta x}] & [R_{\theta\theta}] & [R_{\theta y}] \\ \hline [R_{yx}] & [R_{y\theta}] & [R_{yy}] \end{vmatrix} \quad (3.26)$$

(3.25) denklemi, sırasıyla (3.20), (3.24) ve (3.22) ifadelerinin alt alta yazılmasıyla elde edilen denklem takımlarının genel gösterimidir.

Buna göre, (3.26) daki alt matrislerin

$$\begin{aligned} [R_{xx}] &= \sum_m \{ [D_{\xi\xi}]_m \cdot \cos^2 \alpha_m + [D_{\eta\eta}]_m \cdot \sin^2 \alpha_m - \\ &\quad - ([D_{\xi\eta}]_m + [D_{\eta\xi}]_m) \cdot \sin \alpha_m \cdot \cos \alpha_m \} \\ [R_{x\theta}] &= \sum_m \{ ([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\xi m}) \cdot \cos \alpha_m - \\ &\quad - ([D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m} + [D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\xi m}) \cdot \sin \alpha_m \} \end{aligned} \quad (3.27)$$

$$\begin{aligned} [R_{xy}] &= \sum_m \{ ([D_{\xi\xi}]_m - [D_{\eta\eta}]_m) \cdot \sin \alpha_m \cdot \cos \alpha_m + \\ &\quad + [D_{\xi\eta}]_m \cdot \cos^2 \alpha_m - [D_{\eta\xi}]_m \cdot \sin^2 \alpha_m \} \\ [R_{\theta\theta}] &= \sum_m \{ [D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m}^2 + [D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m}^2 + ([D_{\xi\eta}]_m + [D_{\eta\xi}]_m) \cdot r_{\xi m} \cdot r_{\eta m} \} \\ [R_{\theta y}] &= \sum_m \{ ([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\xi}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \sin \alpha_m + \\ &\quad + ([D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \cos \alpha_m \} \\ [R_{yy}] &= \sum_m \{ ([D_{\xi\xi}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\xi}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \sin \alpha_m + \\ &\quad + ([D_{\xi\eta}]_m \cdot r_{\xi m} + [D_{\eta\eta}]_m \cdot r_{\eta m}) \cdot \cos \alpha_m \} \end{aligned} \quad (3.27)$$

$$[R_{\theta x}] = [R_{x\theta}] , [R_{yx}] = [R_{xy}] , [R_{y\theta}] = [R_{\theta y}]$$

olduğu görülür. (3.25) denklemlerinin  $\{R_o\}$  sabitleri de yapı yükleme matrisi olarak adlandırılmakta olup,

$$\{R_o\} = \begin{vmatrix} \{T_x\} \\ \{T_M\} \\ \{T_y\} \end{vmatrix}_{3 \times 1} \quad (3.28)$$

şeklinde alt matrislerden meydana gelmektedir.

### 3.5.3.5. Alt Sistemin Bilinmeyenlerinin Hesabı

m nolu alt sistemin  $\{d\}_m$  bilinmeyenleri (3.9) ile verilmiştir.  $\{d\}_m$  yi oluşturan alt matrislerden  $\{\delta_\xi\}_m$  ve  $\{\delta_\eta\}_m$  rölatif yerdeğiştirme matrislerinin, yapının kat yerdeğiştirmelerine bağlı olarak nasıl hesap edilecekleri (3.14) de gösterilmiştir.  $\{\delta\}$  lar (3.25) de gösterilen denklem takımının çözümüyle elde edildikten sonra  $\{\delta_\xi\}_m$  ve  $\{\delta_\eta\}_m$  kolon matrisleri her alt sistem için (3.14) bağıntıları yardımıyla kolaylıkla hesaplanabilir.  $\{\theta\}_m$  dönmelerinin hesaplanabilmesi için,

$$[S_{\theta\theta}]_m \{\theta\}_m + \{S_o\}_m = 0 \quad (3.29)$$

lineer denklem takımının çözülmesi gerekir. Burada  $[S_{\theta\theta}]_m$ , şekil 3.5 deki  $[S]$  matrisinin sol üst köşesindeki  $(2n \times 2n)$  mertebeden kare matrisidir.  $\{S_o\}_m$  sabitler kolon matrisi ise,

$$\{S_o\}_m = [S_{\theta\delta}]_m \begin{vmatrix} \{\delta_\xi\}_m \\ \{\delta_\eta\}_m \end{vmatrix} \quad (3.30)$$

olarak kolayca hesaplanabilir. Burada  $[S_{\theta\theta}]_m$  şekil 3.5 deki  $[S]$  matrisinin sağ üst köşesindeki  $(2n \times 2n)$  mertebeden kare matrisi göstermektedir. (3.29) denklemi çözülerek  $\{\theta\}_m$  dönmeleri hesaplanabilir.  $[\bar{S}_{\delta\delta}]_m$  alt sistem yatay rijitlik matrisi,  $[S]_m$  alt sistem rijitlik matrisinin uygun şekilde indirgenmesiyle elde edilir. Bu işlemler yapılırken  $[S_{\theta\theta}]_m$  ve  $[S_{\theta\delta}]_m$  matrislerinin indirgenmiş değerleri olan  $[S_{\theta\theta}]_m$  ve  $[S_{\theta\delta}]_m$  matrisleri de hesaplanmaktadır. Bunlar

$$[\bar{S}_{\theta\theta}]_m = [S_{\theta\delta}]_m^T \cdot [S_{\theta\theta}]_m^{-1} \cdot [S_{\theta\theta}]_m, \quad [\bar{S}_{\theta\delta}]_m = [S_{\theta\delta}]_m^T \cdot [S_{\theta\theta}]_m^{-1} \cdot [S_{\theta\delta}]_m \quad \text{ve}$$

$$[\bar{S}_{\delta\delta}]_m = [S_{\delta\delta}]_m - [\bar{S}_{\theta\delta}]_m \quad \text{şeklinde ifade edilebilir.}$$



Bunlardan yararlanarak (3.29) denklemi yerine

$$[\bar{S}_{\theta\theta}]_m \cdot \{\theta\}_m + \{\bar{S}_o\}_m = 0 \quad (3.10a)$$

denklemi yazılabilir. Burada  $[\bar{S}_{\theta\theta}]_m$ , esas köşegeni altındaki elemanlarının tamamı sıfır olan üçgen bir matristir. Bu nedenle (3.10a) denkleminin bilinmeyenleri yeniden indirgeme yapılmaksızın sadece yerine koyma işlemiyle kolayca elde edilebilmektedir. Burada  $\{\bar{S}_o\}_m$  sabitler kolon matrisi,

$$\{\bar{S}_o\}_m = [S_{\theta\delta}]_m \cdot \begin{vmatrix} \{\delta_\xi\}_m \\ \\ \{\delta_\eta\}_m \end{vmatrix} \quad (3.10b)$$

şeklinde hesaplanmalıdır. Ardışık yaklaşımın her adımında tüm alt sistemler için tekrarlanması gereken  $\{\theta\}_m$  bilinmeyenlerinin hesabı bu yolla önemli ölçüde kısaltılmış olur.

### 3.6. HESAPTA İZLENEN YOL:

Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabında bu çalışmada izlenen yol ana hatlarıyla Şekil 3.8 de gösterilmiştir. Hesap dört aşamadan oluşmaktadır.

#### 1- Alt Sistem Yatay Rijitlik Matrisleri.

Bu aşamada her alt sistem için  $[S]$  katsayılar matrisi bölüm 3.4 de açıklandığı gibi kurulur. İndirgeme yöntemi ile  $[S_{\delta\delta}]$  yatay rijitlik matrisleri elde edilir.

#### 2- Yapı Yatay Rijitlik Matrisleri.

Herbir alt sistem için 1. aşamada elde edilmiş olan ve (3.10) denk-

leminde gösterilen  $[D_{\xi\xi}]_m$ ,  $[D_{\xi\eta}]_m$ ,  $[D_{\eta\xi}]_m$  ve  $[D_{\eta\eta}]_m$  matrisleri kullanılarak (3.26) ve (3.27) formülleri yardımı ile  $[R]$  yapı yatay rijitlik matrisi elde edilir.  $\{R\}$  sabitler kolon matrisinin elemanları (3.19), (3.21), (3.23) ve (3.28) formülleri ile bulunur. (3.25) denklemini çözülerek  $\{\delta\}$  rölatif kat yerdeğiştirmeleri hesaplanır.

### 3- Ardışık Yaklaşım.

Alt sistem rijitlik matrislerinin kurulması 3.4.2 de açıklanmıştı. Kirişlere ait birim deplasman matrislerinin alt sistemin eksen takımına indirgenmiş değerleri de (3.6e) de gösterilmişti. Bu matriste yer alan  $k_{11}$  ve  $k_{22}$  lerde (3.4) ifadesinde gösterildiği gibi henüz bilinmeyen kiriş uç dönmeleri oranları mevcuttur. Bu dönmelerin oranları başlangıçta kesin olarak bilinmediğinden (3.6e) ifadesinde gösterilen kiriş birim deplasman matrisinin kesin değeri de bilinmemektedir. Bunun için, yapıların yatay yüklere göre hesabında kullanılan pekçok yaklaşık yöntemde kirişlerin antimetrik deformasyon yaptığı kabulüne göre hesap yapılması ve ayrıca kesin çözümlerin de bunu kanıtlanması nedeniyle başlangıçta dönme oranları bir alınarak kiriş birim deplasman matrisleri hesaplanmıştır. Bu birim deplasman matrislerinden oluşan gerek alt sistem matrisleri gerekse yapı yatay rijitlik matrisi bu orandan etkilenmektedirler.

Başlangıçta, kesin olmayan söz konusu matrisler kullanılarak ilk çözüm yapılır ve yapıyı meydana getiren tüm alt sistemlerin düğüm noktası dönmeleri (3.10a) denkleminle hesap edilir. Bu dönmelerden yararlanılarak her kirişin uç dönmeleri (3.6d) ifadesiyle belirlenir. Yeni bulunan kiriş uç dönmeleri oranları kullanılarak yeniden kiriş birim deplasman sabitleri hesaplanır. 1. ve 2. aşamada anlatılan işlemler tekrarlanarak yeniden çözümler yapılır. Ardışık iki adımda hesaplanan bilinmeyenler birbirine yeteri derecede yakın oluncaya kadar hesaplar tekrarlanır.

### 4- Kirişlerin ve Düşey Taşıyıcıların Uç Kuvvetleri.

Yapıdaki tüm düğüm noktalarının dönme ve rölatif yerdeğiştirmeleri olarak en son adımda bulunanlar kullanılarak, kirişler için,

$$\{P\}_i = [k]_{ii} \cdot [T]_i^T \cdot d_{i\xi n} \quad (3.11)$$

düşey taşıyıcılar için (3.7) denklemleri ile bütün elemanların uç kuvvetleri hesaplanabilir.

### 3.7. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabının bu bölümde açıklanan yöntemle yapılması durumunda kullanılabilecek bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programın etkinliğini arttırmak amacıyla, giriş bilgilerini minimum düzeyde tutacak önlemler alınmış, ana belleğin ekonomik kullanılmasına özen gösterilmiştir. Programların uygulanmasında AMSTRAD 664 tipi bilgisayardan yararlanılmıştır.

#### 3.7.1. Genel Akış Diyagramı ve Alt Programlar

SAY olarak adlandırılan bilgisayar programının genel akış diyagramı ana hatlarıyla şekil 3.8 de gösterilmiştir.

Program VERİ ve SONUÇ almak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. VERİ programıyla sistem özelliklerini ihtiva eden bilgiler verilmekte ve diske yazdırılmaktadır. SONUÇ programı ise sistem özelliklerini ihtiva eden bilgileri diskten alır. Gerekli işlemleri yapar, kolan ve kiriş uc kuvvetlerini basar. Programın VERİ bölümünde yer alan alt programların yaptıkları işler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

A1 Alt Programı, yapı ve alt sistemlerin özelliklerini okur.

A2 Alt Programı, kiriş özelliklerini okur. Kiriş birim deplasman sabitlerinin başlangıç değerlerini hesaplar ve kiriş özellikleriyle birlikte diske yazar. Bu işlemi bütün kirişler için tekrarlar.

A3 Alt Programı, düşey taşıyıcı özelliklerini okur. Birim deplasman matrisini hesaplar ve düşey taşıyıcı özellikleri ile birlikte diske yazar.

Programın SONUÇ bölümünde yer alan alt programların yaptıkları işler ise aşağıda kısaca özetlenmiştir.

B1 Alt Programı, kirişlerin yeni birim deplasman sabitlerini hesaplar. Alt sistemin  $[S_{\theta\theta}]$ ,  $[S_{\theta\delta}]$  ve  $[S_{\delta\delta}]$  matrislerini kurar. İndirgeme yöntemiyle alt sistem yatay rijitlik matrisini bulur. Bu işlemi bütün alt sistemler için tekrarlar.

B2 Alt Programı, her alt sistemin yatay rijitlik matrisini diskten alır. Alt sistemin konumuyla ilgili büyüklüklerle gerekli işlemleri yaparak  $[R]$  yapı yatay rijitlik matrisine yerleştirerek yapı yatay rijitlik matrisinin kurulmasını sağlar.

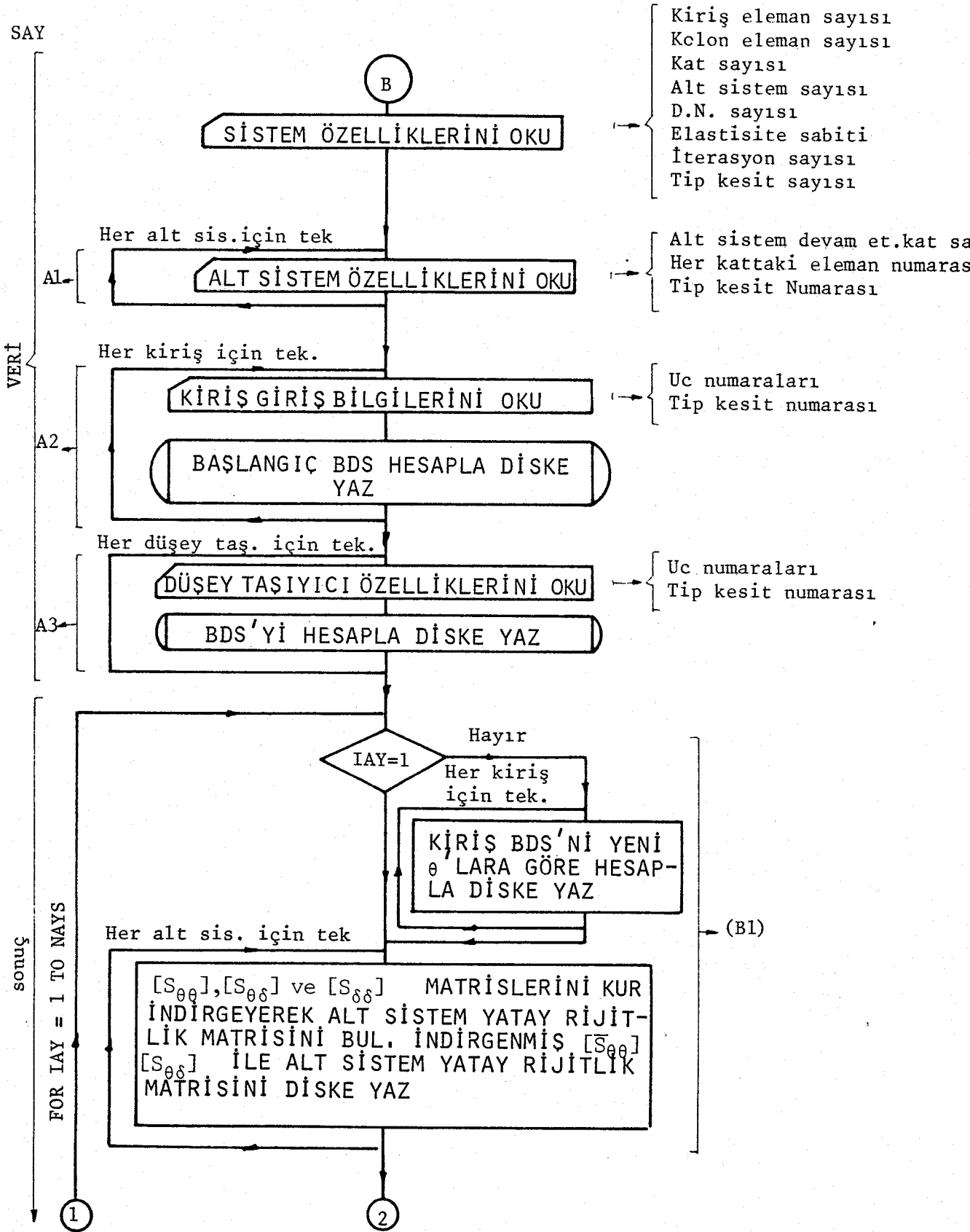
B3 Alt Programı, kat yüklerini okur.  $\{R_o\}$  yapı yükleme matrisini kurar, diske yazar.

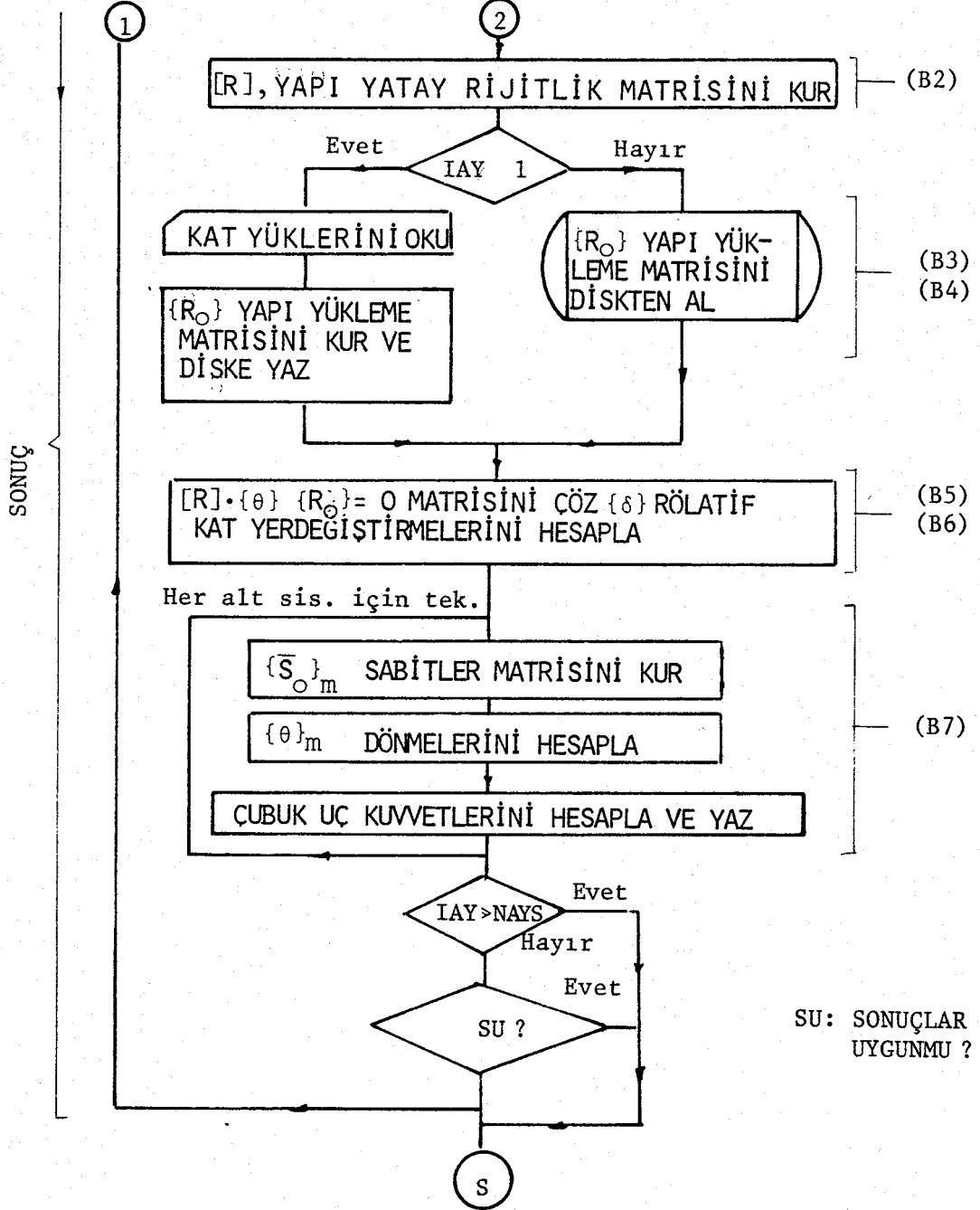
B4 Alt Programı  $\{R_o\}$  yapı yükleme matrisini diskten ana belleğe aktarır.

B5 Alt Programı  $[R].\{\delta\} + \{R_o\} = 0$  lineer denklem takımının Gauss Yöntemiyle çözümünü yapar. Bilinmeyenleri hesaplar.

B6 Alt Programı rölatif kat yerdeğiştirmelerini basar.

B7 Alt Programı, B1 alt programını kullanarak alt sistemin  $[S_{\theta\theta}]$ ,  $[S_{\theta\delta}]$  matrislerinin indirgenmiş değerlerini hesaplar.  $\{\bar{S}_o\}$  sabitler matrisini hesaplar.  $[\bar{S}_{\theta\theta}].\{\theta\} + \{\bar{S}_o\} = 0$  matrisini çözer. Düşey taşıyıcıların uç kuvvetlerini hesaplar. Kiriş uç dönmelerini ve kiriş uç kuvvetlerini hesaplar ve yazar. Her alt sistem için aynı işlemleri tekrarlar.





Şekil-3.9

### 3.7.2. Programın Çalışma Düzeni Bakımından Özellikleri

#### 3.7.2.1. Giriş Bilgileri

Giriş bilgileri 3 grupta toplanabilir. Önce yapının ve alt sistemlerin özellikleri okutulmaktadır. Bunlar, yapının katsayısı, alt sistem sayısı, düğüm noktası sayısı, max iterasyon sayısı v.b. yapı özellikleri ile alt sistemlerin ortak eksen takımına göre konumunu belirleyen büyüklüklerdir. Daha sonra önce kirişlerin sonra düşey taşıyıcıların elastik ve geometrik özellikleri kat düzeninde verilmektedir. Bir yapının çözümünde giriş bilgilerinin tamamına yakını bu bilgiler meydana getirmekte ve hacmi oldukça büyük olmaktadır. Programın etkinliğini arttırmak için alınacak olan önlemlerden biri giriş bilgileri hacmini minimum düzeyde tutmaktır. Bunun için, bir yapıda gerek aynı katta gerekse farklı katta olsun birbirine benzer kirişlerin özellikleri bir kez okutulmaktadır. Burada da aynı kat içindeki benzer kolonlara ait bilgilerle, benzer katlardaki tüm düşey taşıyıcılara ait bilgiler yinelenmeden bir defada verilmektedir. Alt sistemleri meydana getiren çubuk elemanlar program tarafından belirlenmektedir.

Son olarak yapıya kat seviyelerinde etkiyen yatay yükler okutulur. Okuma sırası alt kattan yukarı doğrudur.

#### 3.7.2.2. Çıkış Bilgileri

Çıkış bilgileri olarak her adımda bulunan rölatif kat yerdeğiştirmeleri ile kirişlerin ve düşey taşıyıcıların her yükleme için bulunan uç kuvvetleri bastırılmaktadır. Her adımda farklı aşamalarda bazı aradeğerlerinde bastırılması sağlanmaktadır.

#### 3.7.2.3. Programın Çalışma Düzeni

Programın etkinliğini arttırmak için alınacak önlemlerden biri de, pratikte karşılaşılan pekçok problemi eldeki bilgisayar kapasitesini aş-

mayacak şekilde ve mümkün olabildiği kadar kısa sürede çözebilecek yöntemleri kullanmak, gereksiz işlemler ve tekrardan kaçınmaktır.

Çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabı bilgisayar ile yapılırken çözüm süresinin çok önemli bir bölümü lineer denklem takımlarının çözümünde harcanmaktadır. Özellikle, alt sistemlere ait yatay rijitlik matrislerinin elde edilmesinde uygulanan indirgeme, alt sistemlerin çokluğu ve ardışık yaklaşımın her adımında indirgeme işlemlerinin tekrar tekrar yapılması zorunluluğundan dolayı, büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle denklem takımlarının çözümünde kullanılacak yöntemin ve özel hallerden yararlanmanın süreyi çok azaltabileceği gözden kaçmamalıdır. Programda gerek bellek ekonomisi yapmak gerekse yapılacak işlem sayısını azaltmak amacı ile alt sistem rijitlik matrisleri  $[S]$  nin simetriklik özelliğinden faydalanılarak esas köşegene göre alt yarısı için ana ve çevre bellekte yer ayrılmamıştır.  $[S]$  rijitlik matrisi şekil 3.5 de görüldüğü gibi  $[S_{\theta\theta}]$ ,  $[S_{\theta\delta}]$ ,  $[S_{\delta\delta}]$  alt matrislerinden oluşturulmuş,  $[S_{\theta\theta}]$ ,  $[S_{\delta\delta}]$  tek boyutlu diziler olarak,  $[S_{\theta\delta}]$  dikdörtgen matris olarak gözönüne alınmıştır. Denklem takımının çözümü sırasında değeri değişmeyecek olan sıfır katsayıları  $[S_{\theta\theta}]$  ya dahil edilmemiş ve bunlarla yapılacak gereksiz işlemlerden kaçınılmıştır. Her adımda alt sistemin kendine ait  $[\theta]$  bilinmeyenleri hesaplanırken, daha önce alt sistem yatay rijitlik matrislerinin elde edilmesi sırasında indirgenmiş olan ve çevre bellekte saklı bulunan  $[\bar{S}_{\theta\theta}]$  ve  $[\bar{S}_{\theta\delta}]$  matrisleri kullanılmakta böylece sadece yerine koyma işlemiyle  $[\theta]$  lar hesaplanabilmektedir.

Uygulamada çoğu kez yapının bazı alt sistemleri benzer olabilmektedir. Bu özellikten yararlanılarak ardışık yaklaşımın sadece birinci adımında geçerli olmak üzere her bir benzer alt sistem grubu için bir  $[S]$  rijitlik matrisi kurmak ve bir indirgeme yaparak  $[\bar{S}_{\delta\delta}]$  alt sistem yatay rijitlik matrisi elde etmek işlemleri azaltmak bakımından uygun olabilir. Ancak, ikinci ve daha sonraki adımlarda benzer olsun olmasın her bir alt sistemin  $[S]$  rijitlik matrisi, (kirişlerin birim deplasman matrislerinin uç dönmelerine bağlı olarak her adımda değişmesinden dolayı) bir önceki adımdaki kendisinin ve benzerlerinin rijitlik matrislerinden farklı olur.



İkinci ve sonraki adımlarda  $[S]$  ve  $[S_{\delta\delta}]$  ların her alt sistem için ayrı ayrı hesaplanması zorunluluğu, benzerliğin getireceği üstünlükler çok aza indirmektedir. Bu nedenle, yapılan bilgisayar programında her alt sistem bağımsız olarak ele alınmıştır.

Kesin çözüme hangi adımda ne kadar yaklaşıldığı ve ağırlıklı ortalama hatanın kesin olarak ne olduğu soruları yapının kesin çözümü yapılarak yanıtlanabilir. Ancak her yapı için bu tip araştırma yapmaya ne gerek ne de imkan vardır.

Sonuçların gerçeğe yakınlığı ve makinayı gereksiz çalıştırmamak açısından ardışık yaklaşımdaki adım sayısını belirlemek çok önemlidir. Adım sayısı yapı ve yükleme özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu amaç için programda iki ayrı kontrol birlikte yapılmaktadır. Bunlardan biri ardışık yaklaşımdaki adım sayısının verilen bir sayıya eşit olması kontrolüdür. Diğeri ise, ardışık iki adımda bulunan sonuçların, birbirine çok yakın olmasına dayanan bir kontroldür.

### 3.8. ÇÖZÜLMÜŞ ÖRNEKLER

Bu bölümde özellikleri ve kat sayıları farklı olan üç tip yapı ele alınmıştır. Herbir yapının kesit tesirleri ardışık yaklaşımın her adımında ayrı ayrı hesaplanmış ve bulunan sonuçlar verilmiştir. Fikir vermesi bakımından birinci örnek için elde edilmiş ilk üç iterasyon sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir. Diğer örnek çözümlerde ise her adımda hesaplanan relatif kat deplasmanları ve son adımda hesaplanan kesit kuvvetleri verilmiştir.

Hesabın kesin çözüme yaklaşması için gerekli adım sayısı, yapının ve yüklemenin özelliklerine göre değişebilir. Bu nedenle farklı tipte örnekler seçilmiştir. İki katlı olan birinci örnekle ilgili veriler (8) den alınmış ve ilk üç adımda hesaplanan sistem rijitlik matrisi, relatif kat deplasmanları ve kesit kuvvetleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu örnek hem ortogonal hemde ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden

oluşmuş olup, şekil 3.9 da gösterilmiştir. 2,3 ve 4 numaralı örnekler kaynak (11) den alınmıştır. İlk üç adımda hesaplanmış relatif kat deplesmanları ve üçüncü adımda hesaplanmış kesit kuvvetleri verilmiştir. Üç katlı olan ikinci örnek şekil 3.10 da görüldüğü gibi taşıyıcı sistemi ortogonal çerçevelerden oluşan bir yapı, dört katlı olan üçüncü örnek ise şekil 3.11 de olduğu gibi tamamen ortogonal olmayan çerçevelerden oluşan bir yapıdır. 4. örnek olarak hesaplanan 5 katlı yapı hem ortogonal hemde ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşmuş olup şekil 3.12 de gösterilmiştir.

Elemanları karakterize edebilme bakımından bütün örnekler için kat plânları ayrı ayrı verilmiş ve düğüm noktası numaraları şekil üzerinde gösterilmiştir.

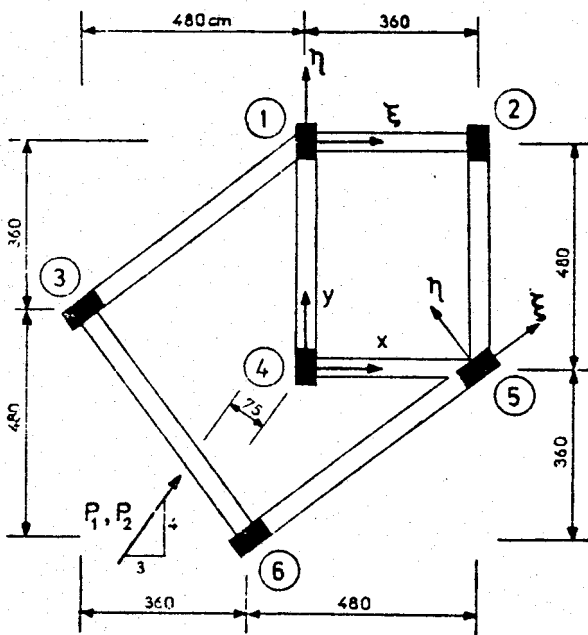
Elastisite modülü bütün örnekler için (E) 1 alınmıştır.

ÖRNEK:1

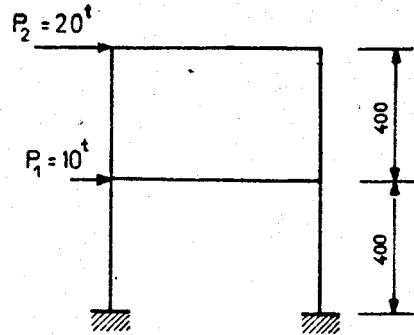
Yapının planı, kesiti ve kat yükleri şekil 3.9 daki gibidir. Her iki katta kolon ve kiriş kesitleri aynıdır.

Kiriş atalet momentleri  $I = 48 \text{ dm}^4$

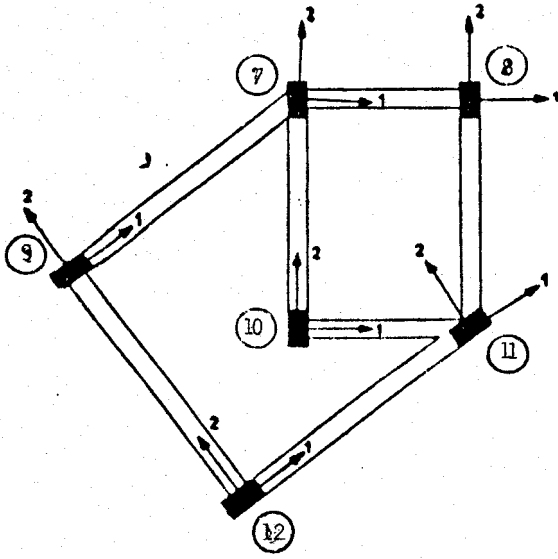
Kolon atalet momentleri  $I_{\xi} = 24, I_{\eta} = 12 \text{ dm}^4$  dür.



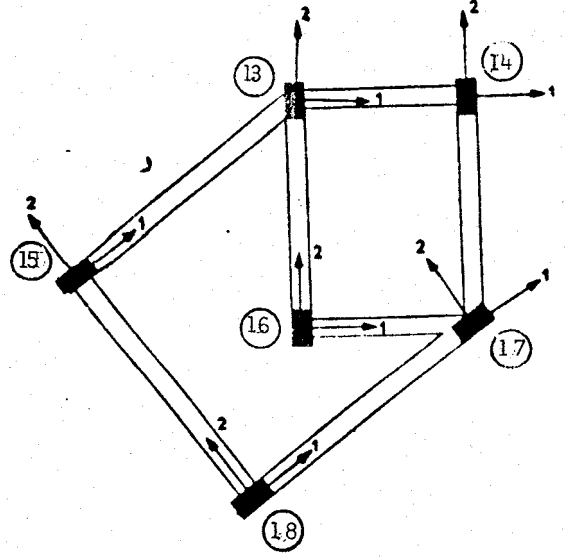
a) 2. Kat Planı



b)



c) Birinci kat planı



d) Zemin kat planı

Şekil 3.9

Kat.No	Tx(t)	Ty(t)	Tm(tm)
****	*****	*****	*****
1	18.000	24.000	-22.500
2	12.000	16.000	-15.000

1 .iterasyon sonuclari

Sistem Yatay Rijitlik Matrisi

25.347	-0.023	98.593	-0.088	2.157	-0.002
-0.023	25.314	-0.088	98.474	-0.002	2.154
98.593	-0.088	1277.316	-1.206	65.996	0.079
-0.088	98.474	-1.206	1275.739	0.079	-65.895
2.157	-0.002	-65.996	0.079	15.099	-0.016
0.002	2.154	0.079	65.895	0.016	15.077

Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	4.2100E-01	1.6939E+00	3.7383E-02
2	2.8137E-01	1.1317E+00	2.4937E-02

Uc.No	Mki(tm)	Mkj(tm)	Tk(t)	Mii(tm)	Mij(tm)	Ti(t)
****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1 7	2.607E+01	3.172E+01	1.445E+01	2.604E-02	8.030E-01	2.928E-01
2 8	2.860E+01	3.426E+01	1.571E+01	1.186E-01	1.152E+00	3.395E-01
3 9	1.697E+01	2.104E+01	9.503E+00	4.282E-01	1.192E+00	4.143E-01
4 10	1.398E+01	1.676E+01	7.685E+00	-3.524E-02	5.404E-01	1.551E-01
5 11	-2.972E+00	-2.976E+00	-1.487E+00	-1.182E+00	-1.288E+00	-5.911E-01
6 12	-2.739E+00	-3.191E+00	-1.482E+00	-4.614E-01	-5.867E-01	-2.529E-01
7 13	4.466E+01	4.014E+01	2.120E+01	1.154E+00	1.621E+00	3.530E-01
8 14	4.636E+01	4.099E+01	2.184E+01	8.820E-01	1.441E+00	1.751E-01
9 15	2.775E+01	2.380E+01	1.289E+01	1.103E+00	1.522E+00	3.573E-01
10 16	2.269E+01	2.006E+01	1.069E+01	4.015E-01	6.750E-01	7.067E-02
11 17	-3.582E+00	-3.231E+00	-1.703E+00	-1.600E+00	-1.636E+00	-7.824E-01
12 18	-4.024E+00	-3.452E+00	-1.869E+00	-6.762E-01	-7.370E-01	-3.099E-01

Uc.No	Mei(tm)	Mej(tm)
****	*****	*****
1 2	-7.151E+00	-6.018E+00
3 1	-1.089E+00	-2.979E+00
4 1	2.429E+00	-4.313E-02
5 2	-6.205E-01	-9.415E-01
4 5	-2.643E+00	-2.170E+00
6 3	-2.930E-01	-2.930E-01
6 5	-1.220E+00	-1.402E+00
7 8	4.547E+01	4.662E+01
9 7	1.545E+01	2.022E+01
10 7	-5.052E+00	8.776E+00
11 8	-1.554E+01	-3.267E+00
10 11	1.212E+01	8.873E+00
12 9	8.289E+00	-1.077E-01
12 11	-2.667E+00	-2.487E+00

2 .iterasyon sonuclari

Sistem Yatay Rijitlik Matrisi

24.529	-0.025	97.465	-0.081	3.243	-0.001
-0.025	24.448	-0.080	97.036	0.000	3.255
97.465	-0.080	739.904	-479.801	22.858	57.101
-0.081	97.036	-479.801	846.765	57.108	9.910
3.243	0.000	22.858	57.108	8.261	-6.829
-0.001	3.255	57.101	9.910	-6.829	9.797

Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	-5.0547E-01	-7.9834E-01	3.3854E-01
2	-5.9727E-01	-1.0098E+00	3.0817E-01

Uc.No	Mk <sub>i</sub> (tm)	Mk <sub>j</sub> (tm)	Tk(t)	Mi <sub>i</sub> (tm)	Mi <sub>j</sub> (tm)	Titt	
1	7	-5.757E+01	-6.433E+01	-3.047E+01	-7.467E+00	-1.002E+01	-4.341E+00
2	8	-3.582E+02	-2.171E+02	-1.438E+02	1.325E+00	-8.916E+01	-1.558E+00
3	9	-4.157E+01	-4.383E+01	-2.135E+01	-8.609E-01	8.825E-01	4.230E-01
4	10	-3.568E+01	-3.718E+01	-1.832E+01	-7.643E+00	-9.470E+00	-4.017E+00
5	11	-3.140E+00	-4.832E-02	-7.971E-01	-1.205E+01	-1.340E+01	-6.256E+00
6	12	1.225E+00	4.024E+00	1.312E+00	-4.035E+00	-4.187E+00	-1.889E+00
7	13	-5.646E+01	-4.961E+01	-2.652E+01	-1.049E+01	-9.214E+00	-4.659E+00
8	14	-5.974E+01	-5.125E+01	-2.775E+01	-1.539E+01	-1.552E+01	-7.180E+00
9	15	-3.578E+01	-2.981E+01	-1.640E+01	2.372E+00	-7.069E+00	3.793E-01
10	16	-3.022E+01	-2.557E+01	-1.395E+01	-8.412E+00	-8.113E+00	-3.878E+00
11	17	2.763E+00	3.110E+00	1.468E+00	-1.286E+01	-1.345E+01	-6.477E+00
12	18	5.263E+00	4.370E+00	2.413E+00	-3.610E+00	-3.627E+00	-1.864E+00

Uc.No	Mei(tm)	Mej(tm)
1	2	-2.718E+02
3	1	-9.887E+00
4	1	-1.170E+01
5	2	5.082E+02
4	5	-3.387E+01
6	3	-1.044E+01
6	5	-1.301E+01
7	8	-7.806E+01
9	7	-1.747E+01
10	7	3.867E+00
11	8	1.992E+01
10	11	-2.723E+01
12	9	-2.458E+01
12	11	3.562E+00

### 3 . iterasyon sonuclari

#### Sistem Yatay Rijitlik Matrisi

24.524	-0.032	97.429	-0.155	3.243	0.004
-0.032	24.481	-0.156	97.254	0.004	3.236
97.429	-0.156	1274.314	-4.070	-40.817	0.405
-0.155	97.254	-4.070	1272.541	0.407	-40.808
3.243	0.004	-40.817	0.407	15.863	-0.060
0.004	3.236	0.405	-40.808	-0.060	15.850

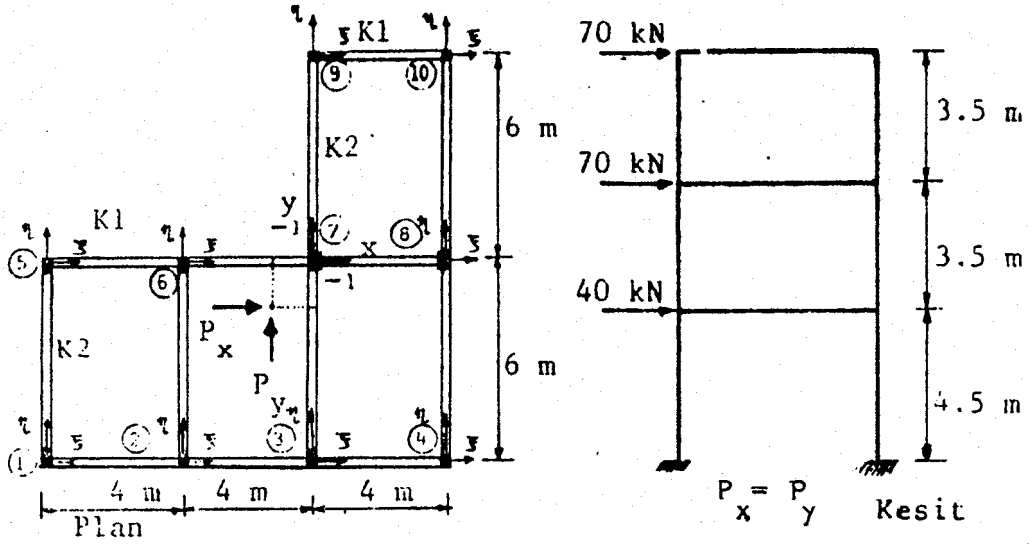
#### Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
1	6.6873E-01	1.3101E+00	-2.7103E-02
2	4.4757E-01	8.7643E-01	-1.8312E-02

Uc.No	Mk <sub>i</sub> (tm)	Mk <sub>j</sub> (tm)	Tk(t)	Mi <sub>i</sub> (tm)	Mi <sub>j</sub> (tm)	Ti(t)
****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1 7	3.817E+01	4.850E+01	2.167E+01	4.043E-01	-3.934E+00	-2.924E-01
2 8	4.807E+01	5.605E+01	2.603E+01	2.954E+00	5.649E+00	2.059E+00
3 9	2.828E+01	3.519E+01	1.587E+01	1.718E+00	3.203E+00	1.223E+00
4 10	2.356E+01	2.773E+01	1.282E+01	1.270E+00	2.301E+00	8.611E-01
5 11	-2.986E+00	-3.427E+00	-1.603E+00	6.1s7E-01	5.783E-01	2.789E-01
6 12	-3.958E+00	-5.127E+00	-2.271E+00	1.094E-01	-3.817E-02	1.157E-02
7 13	7.055E+01	6.356E+01	3.353E+01	-2.113E+00	3.958E+00	-7.346E-01
8 14	7.402E+01	6.530E+01	3.483E+01	5.570E+00	5.2s4E+00	2.202E+00
9 15	4.553E+01	3.853E+01	2.102E+01	3.266E+00	3.825E+00	1.2s6E+00
10 16	3.659E+01	3.214E+01	1.718E+01	2.307E+00	2.691E+00	9.232E-01
11 17	-5.112E+00	-4.843E+00	-2.489E+00	8.357E-01	9.241E-01	4.457E-01
12 18	-6.731E+00	-5.652E+00	-3.09sE+00	2.249E-02	-2.123E-01	4.929E-02

Uc.No	Me <sub>i</sub> (tm)	Me <sub>j</sub> (tm)
****	*****	*****
1 2	-1.009E+01	2.024E+00
3 1	6.095E+00	-5.884E-01
4 1	1.446E+01	1.077E+01
5 2	-1.861E+00	-8.728E-01
4 5	2.154E+00	1.626E+00
6 3	2.045E-01	2.285E-01
6 5	5.598E-01	7.053E-01
7 8	6.547E+01	5.322E+01
9 7	1.129E+01	1.961E+01
10 7	-1.582E+01	-2.676E+00
11 8	-2.213E+01	-2.468E-01
10 11	2.220E+01	1.698E+01
12 9	1.411E+01	-9.786E-01
12 11	-4.235E+00	-3.264E+00

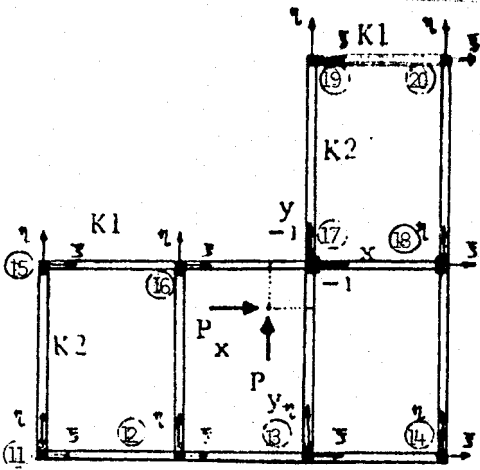
ORNEK : 2



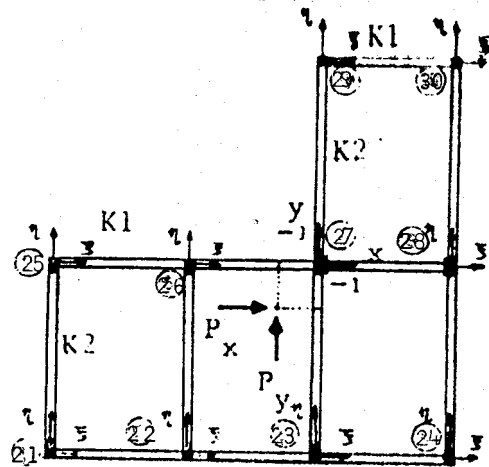
KIRIŞ ADI	HER KATTA	
	ℓ (m)	I (dm <sup>4</sup> )
K1	4	30
K2	6	60

KOLON NO	1.KAT		2.KAT		3.KAT	
	I <sub>ξ</sub>	I <sub>η</sub>	I <sub>ξ</sub>	I <sub>η</sub>	I <sub>ξ</sub>	I <sub>η</sub>
1, 2, 3	21	48	12	24	9	15
4, 5, 6	30	60	24	42	21	21
7, 8	12	12	12	12	12	12

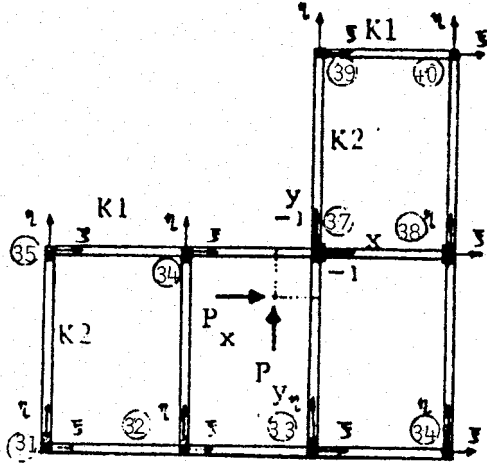
a) 3. kat planı



b) 2. kat planı



c) 1. kat planı



d) Zemin kat planı

Şekil 3.10

Kat.No	T <sub>x</sub> (kN)	T <sub>y</sub> (kN)	T <sub>m</sub> (kNm)
****	*****	*****	*****
1	180.000	180.000	-152.735
2	140.000	140.000	-118.794
3	70.000	70.000	-59.397

1 .iterasyon sonuclari

Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	5.8728E+00	4.1508E+00	1.5200E-01
2	3.1077E+00	2.5265E+00	7.6719E-02
3	1.9124E+00	1.8395E+00	3.3401E-02

2 .iterasyon sonuclari

Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	5.8745E+00	4.1486E+00	1.5183E-01
2	3.1083E+00	2.5255E+00	7.6675E-02
3	1.9121E+00	1.8409E+00	3.3466E-02

3 .iterasyon sonuclari

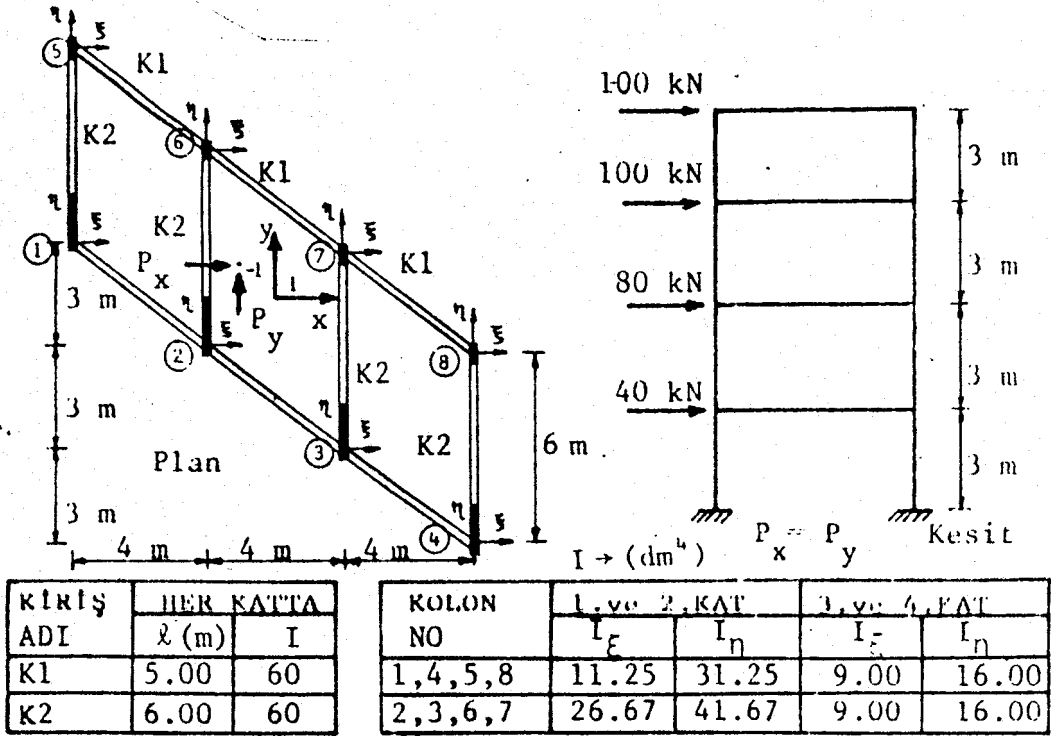
Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	5.8746E+00	4.1481E+00	1.5185E-01
2	3.1085E+00	2.5299E+00	7.6592E-02
3	1.9145E+00	1.8444E+00	3.3215E-02

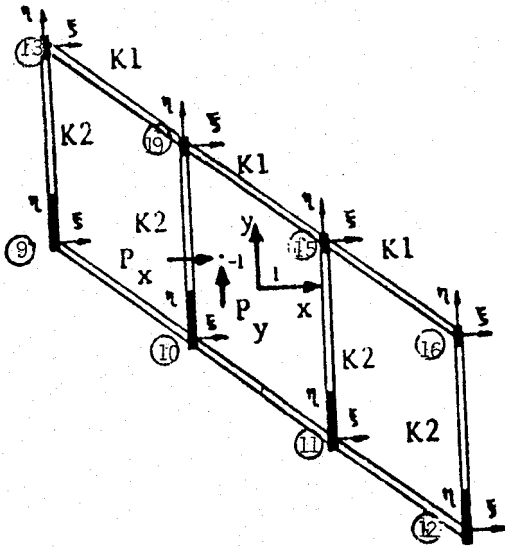


Uc.No	Mk i (kNm)	Mk j (kNm)	Tk (kN)	Mi i (kNm)	Mi j (kNm)	Ti (kN)
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1 11	1.208E+01	1.047E+01	6.445E+00	2.105E+00	6.741E+00	1.704E+00
2 12	8.944E+00	8.012E+00	4.845E+00	9.879E-01	4.149E+00	1.194E+00
3 13	9.079E+00	7.164E+00	4.641E+00	-1.811E+00	1.050E+00	-7.333E-01
4 14	1.049E+01	6.981E+00	4.991E+00	-2.575E+00	2.926E+00	-9.465E-01
5 15	7.616E+01	6.761E+01	4.108E+01	8.392E+00	3.078E+01	7.124E+00
6 16	7.676E+01	6.787E+01	4.132E+01	3.291E+00	2.209E+01	3.031E+00
7 17	1.874E+02	1.623E+02	9.993E+01	9.375E+00	4.612E+01	8.731E+00
8 18	2.024E+02	1.695E+02	1.062E+02	1.542E+01	6.717E+01	1.431E+01
9 19	2.074E+02	1.761E+02	1.096E+02	1.201E+01	5.645E+01	1.074E+01
10 20	2.062E+02	1.750E+02	1.089E+02	1.110E+01	5.524E+01	1.024E+01
11 21	2.370E+01	2.856E+01	1.493E+01	6.639E+00	1.303E+00	2.979E+00
12 22	1.939E+01	2.331E+01	1.234E+01	4.382E+00	-2.811E+00	1.727E+00
13 23	1.815E+01	2.229E+01	1.156E+01	-2.746E+00	-6.313E+00	-1.472E+00
14 24	1.893E+01	2.621E+01	1.290E+01	-3.971E+00	-1.053E+01	-2.304E+00
15 25	1.641E+02	2.004E+02	1.041E+02	2.716E+01	1.265E+00	1.185E+01
16 26	1.457E+02	1.636E+02	8.837E+01	9.619E+00	-3.916E+00	3.496E+00
17 27	3.104E+02	3.657E+02	1.932E+02	3.449E+01	-1.482E+01	1.249E+01
18 28	3.404E+02	4.263E+02	2.191E+02	5.678E+01	-2.377E+01	2.065E+01
19 29	2.838E+02	3.315E+02	1.758E+02	2.354E+01	-4.310E+00	9.486E+00
20 30	2.832E+02	3.314E+02	1.756E+02	2.156E+01	-6.770E+00	8.321E+00
21 31	5.030E+01	4.343E+01	2.083E+01	2.196E+00	1.787E+01	9.718E-01
22 32	4.424E+01	4.040E+01	1.881E+01	-4.770E+00	2.304E+00	-2.310E+00
23 33	4.395E+01	4.025E+01	1.871E+01	-1.072E+01	-6.660E+00	-5.254E+00
24 34	5.036E+01	4.346E+01	2.085E+01	-1.786E+01	-7.974E+00	-8.592E+00
25 35	3.545E+02	3.052E+02	1.466E+02	2.737E+00	1.149E+02	1.152E+00
26 36	3.046E+02	2.802E+02	1.300E+02	-8.225E+00	4.917E+01	-3.461E+00
27 37	4.727E+02	4.191E+02	1.982E+02	-2.259E+01	8.826E+01	-9.631E+00
28 38	5.318E+02	4.487E+02	2.179E+02	-3.596E+01	1.365E+02	-1.529E+01
29 39	3.450E+02	3.083E+02	1.452E+02	-4.324E+00	3.294E+01	-1.861E+00
30 40	3.452E+02	3.084E+02	1.452E+02	-6.715E+00	3.090E+01	-2.898E+00
Uc.No	Me i (kNm)	Me j (kNm)	Uc.No	Me i (kNm)	Me j (kNm)	Uc.No
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1 2	1.111E+01	7.741E+00	11 15	2.432E+01	4.694E+01	
2 3	3.641E+00	5.123E+00	12 16	1.090E+01	2.669E+01	
3 4	7.677E+00	1.093E+01	13 17	1.373E+01	3.870E+01	
5 6	7.567E+01	7.660E+01	14 18	2.346E+01	6.423E+01	
6 7	8.280E+01	8.812E+01	17 19	8.181E+01	1.006E+02	
7 8	1.028E+02	1.122E+02	18 20	1.090E+02	1.146E+02	
9 10	2.004E+02	1.996E+02	21 22	2.949E+01	2.403E+01	
1 5	-5.274E+01	-2.625E+01	22 23	2.199E+01	2.002E+01	
2 6	-6.558E+01	-3.336E+01	23 24	2.868E+01	3.331E+01	
3 7	-7.736E+01	-4.007E+01	25 26	1.966E+02	1.573E+02	
4 8	-9.519E+01	-4.968E+01	26 27	1.958E+02	1.574E+02	
7 9	-2.213E+02	-1.733E+02	27 28	2.095E+02	2.435E+02	
8 10	-2.318E+02	-1.976E+02	29 30	3.072E+02	3.079E+02	
11 12	9.788E+00	7.610E+00	21 25	-1.816E+02	-9.037E+01	
12 13	1.722E-01	7.927E-01	22 26	-8.789E+01	-4.397E+01	
13 14	-5.446E+00	-8.208E+00	23 27	-1.442E+02	-7.109E+01	
15 16	2.823E+01	3.536E+01	24 28	-2.194E+02	-1.091E+02	
16 17	3.604E+01	2.815E+01	27 29	-3.596E+02	-3.019E+02	
17 18	6.174E+01	5.223E+01	28 30	-4.071E+02	-3.928E+02	
19 20	8.487E+01	8.410E+01				

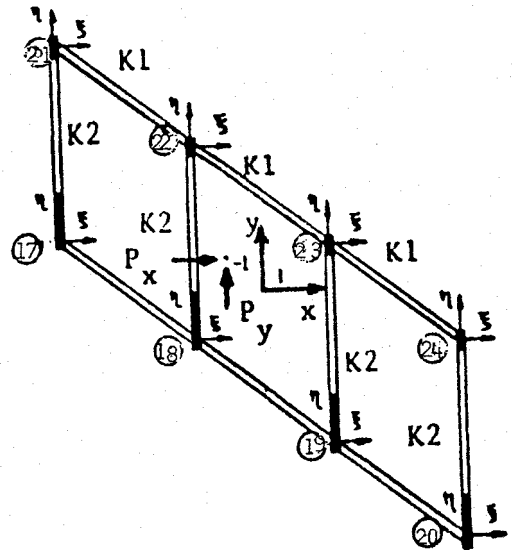
ORNEK : 3



a) 4. kat planı

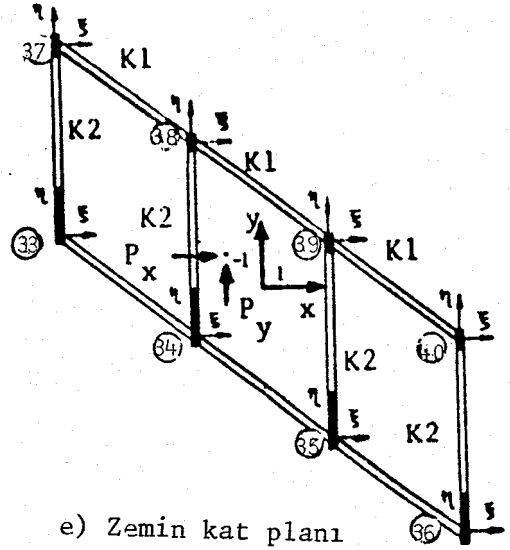
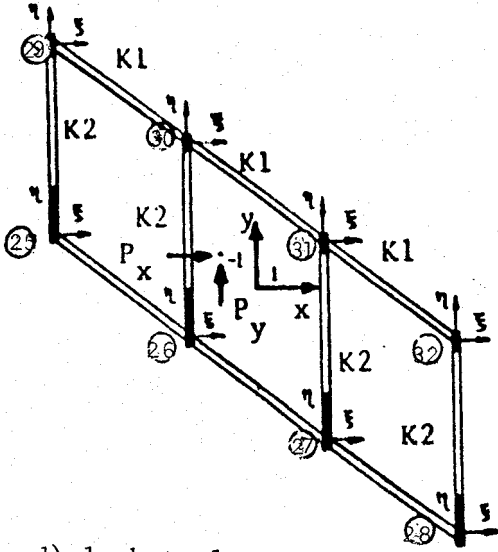


b) 3. kat planı



c) 2. kat planı

Şekil 3.11



d) 1. kat planı

e) Zemin kat planı

Kat.No	Tx (kN)	Ty (kN)	Tm (kNm)
****	*****	*****	*****
1	320.000	320.000	-339.411
2	280.000	280.000	-296.985
3	200.000	200.000	-212.132
4	100.000	100.000	-106.066

1 .iterasyon sonuclari

Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	6.5658E+00	1.0367E+00	-2.4026E-01
2	4.4322E+00	2.0939E+00	-2.9352E-02
3	8.4451E+00	1.8119E+00	-2.8761E-01
4	4.2406E+00	9.0733E-01	-1.4479E-01

2 .iterasyon sonuclari

Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	6.5674E+00	1.0448E+00	-2.3996E-01
2	4.4366E+00	2.1033E+00	-2.9405E-02
3	8.4680E+00	1.8240E+00	-2.8909E-01
4	4.2639E+00	9.2762E-01	-1.4555E-01

3 .iterasyon sonuclari

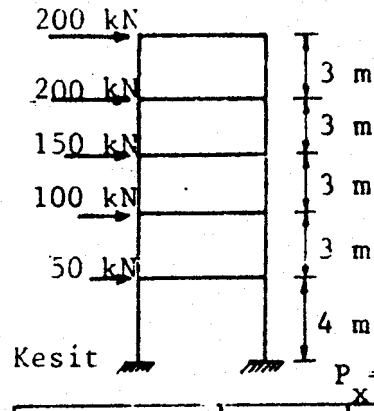
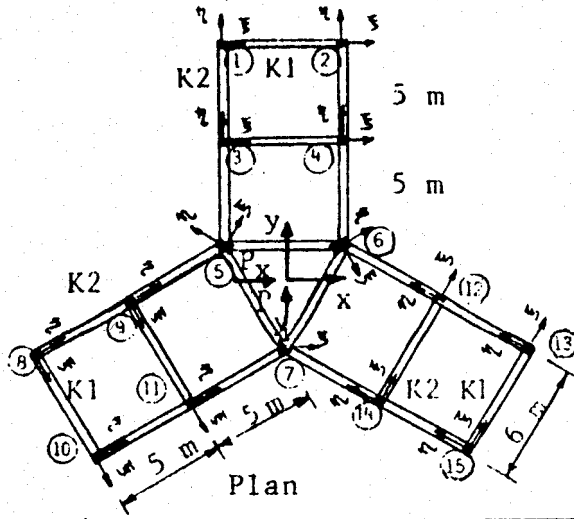
Relatif kat Deplesmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	6.5644E+00	1.0461E+00	-2.3969E-01
2	4.4425E+00	2.1032E+00	-2.9607E-02
3	8.4750E+00	1.8140E+00	-2.9009E-01
4	4.2780E+00	9.1595E-01	-1.4751E-01

Uc.No	Mk <sub>i</sub> (kNm)	Mk <sub>j</sub> (kNm)	Tk (kN)	M <sub>1i</sub> (kNm)	M <sub>1j</sub> (kNm)	T <sub>i</sub> (kN)
1 16	7.871E+02	6.324E+02	4.732E+02	2.585E+01	1.387E+02	2.583E+01
2 17	7.869E+02	6.324E+02	4.731E+02	2.590E+01	1.387E+02	2.587E+01
3 18	6.356E+02	5.003E+02	3.786E+02	1.991E+01	1.159E+02	1.989E+01
4 19	6.355E+02	5.002E+02	3.786E+02	1.996E+01	1.159E+02	1.992E+01
5 20	-5.276E+01	-3.832E+01	-3.036E+01	-2.008E+00	-1.865E+01	-2.431E+00
6 21	8.453E+02	7.122E+02	5.192E+02	-4.452E+01	1.817E+02	-1.470E+01
7 22	3.079E+02	2.287E+02	1.789E+02	5.628E-01	8.428E+01	4.101E+00
8 23	8.460E+01	6.787E+01	5.082E+01	2.755E+00	1.494E+01	2.770E+00
9 24	2.855E+02	2.246E+02	1.700E+02	8.782E+00	5.207E+01	8.854E+00
10 25	8.263E+01	6.638E+01	4.967E+01	2.696E+00	1.449E+01	2.691E+00
11 26	2.834E+02	2.229E+02	1.688E+02	8.754E+00	5.159E+01	8.794E+00
12 27	-4.325E+02	-3.419E+02	-2.581E+02	-1.345E+01	-7.808E+01	-1.347E+01
13 28	-5.980E+02	-4.804E+02	-3.595E+02	-1.948E+01	-1.052E+02	-1.951E+01
14 29	-4.373E+02	-3.446E+02	-2.606E+02	-1.375E+01	-7.961E+01	-1.373E+01
15 30	-5.997E+02	-4.818E+02	-3.605E+02	-1.965E+01	-1.056E+02	-1.965E+01
16 31	1.101E+03	1.247E+03	7.828E+02	5.173E+01	1.820E-01	2.589E+01
17 32	1.101E+03	1.247E+03	7.828E+02	5.185E+01	3.326E-01	2.598E+01
18 33	8.726E+02	1.016E+03	6.295E+02	3.982E+01	1.260E-01	1.993E+01
19 34	8.727E+02	1.016E+03	6.296E+02	3.990E+01	2.247E-01	1.999E+01
20 35	-5.506E+01	-5.816E+01	-3.774E+01	-5.177E+00	2.282E+00	-2.416E+00
21 36	1.255E+03	1.408E+03	8.876E+02	6.766E+01	9.323E+01	5.256E+01
22 37	4.160E+02	5.026E+02	3.062E+02	4.202E+01	4.313E+01	3.431E+01
23 38	1.180E+02	1.336E+02	8.387E+01	5.476E+00	-1.800E-01	2.708E+00
24 39	3.916E+02	4.560E+02	2.825E+02	1.774E+01	-2.569E-01	8.827E+00
25 40	1.159E+02	1.315E+02	8.246E+01	5.354E+00	-6.087E-02	2.667E+00
26 41	3.894E+02	4.536E+02	2.810E+02	1.763E+01	-1.395E-01	8.800E+00
27 42	-5.977E+02	-6.941E+02	-4.306E+02	-2.694E+01	-2.048E-01	-1.349E+01
28 43	-8.365E+02	-9.477E+02	-5.948E+02	-3.886E+01	3.313E-01	-1.938E+01
29 44	-6.146E+02	-7.262E+02	-4.469E+02	-2.732E+01	-3.032E-02	-1.365E+01
30 45	-8.390E+02	-9.507E+02	-5.965E+02	-3.919E+01	2.207E-01	-1.956E+01
31 46	1.101E+03	9.547E+02	6.852E+02	7.214E+01	2.264E+02	7.208E+01
32 47	1.101E+03	9.548E+02	6.853E+02	7.228E+01	2.265E+02	7.217E+01
33 48	1.766E+03	1.486E+03	1.084E+03	6.765E+01	2.358E+02	6.760E+01
34 49	1.767E+03	1.487E+03	1.085E+03	6.777E+01	2.360E+02	6.768E+01
35 50	-1.185E+02	-1.085E+02	-7.570E+01	-1.668E+00	-1.044E+01	-2.525E+00
36 51	2.921E+03	2.424E+03	1.782E+03	4.396E+02	9.306E+02	3.481E+02
37 52	1.124E+03	9.436E+02	6.891E+02	3.567E+02	6.403E+02	2.918E+02
38 53	1.177E+02	1.019E+02	7.323E+01	7.520E+00	2.402E+01	7.581E+00
39 54	7.915E+02	6.648E+02	4.854E+02	3.000E+01	1.055E+02	3.010E+01
40 55	1.162E+02	1.007E+02	7.227E+01	7.592E+00	2.400E+01	7.612E+00
41 56	7.878E+02	6.618E+02	4.832E+02	3.012E+01	1.054E+02	3.016E+01
42 57	-1.203E+03	-1.012E+03	-7.386E+02	-4.639E+01	-1.605E+02	-4.634E+01
43 58	-8.362E+02	-7.245E+02	-5.202E+02	-5.445E+01	-1.718E+02	-5.456E+01
44 59	-1.268E+03	-1.049E+03	-7.724E+02	-4.642E+01	-1.715E+02	-4.645E+01
45 60	-8.399E+02	-7.277E+02	-5.229E+02	-5.460E+01	-1.722E+02	-5.468E+01
46 61	1.156E+03	1.957E+03	8.375E+02	1.441E+02	1.233E-01	7.206E+01
47 62	1.156E+03	1.957E+03	8.375E+02	1.442E+02	1.592E-01	7.210E+01
48 63	1.870E+03	2.313E+03	1.394E+03	1.352E+02	2.015E-01	6.761E+01
49 64	1.871E+03	2.314E+03	1.395E+03	1.353E+02	5.604E-01	6.772E+01
50 65	-1.755E+02	-2.314E+02	-1.356E+02	-7.830E+00	4.073E+00	-4.491E+00
51 66	3.626E+03	4.930E+03	2.852E+03	5.544E+02	2.764E+00	2.978E+02
52 67	1.131E+03	1.362E+03	8.311E+02	4.119E+02	-7.692E+01	1.851E+02
53 68	1.238E+02	1.457E+02	8.983E+01	1.524E+01	-2.401E-01	7.600E+00
54 69	8.374E+02	1.038E+03	6.252E+02	6.006E+01	-1.192E+00	2.986E+01
55 70	1.216E+02	1.426E+02	8.805E+01	1.520E+01	-1.175E-01	7.564E+00
56 71	8.325E+02	1.031E+03	6.212E+02	6.009E+01	-9.510E-01	2.989E+01
57 72	-1.303E+03	-1.634E+03	-9.793E+02	-9.254E+01	8.314E-01	-4.627E+01
58 73	-8.775E+02	-1.030E+03	-6.359E+02	-1.093E+02	5.313E-01	-5.460E+01
59 74	-1.111E+03	-1.239E+03	-7.834E+02	-9.298E+01	-6.095E-02	-4.651E+01
60 75	-8.812E+02	-1.034E+03	-6.384E+02	-1.094E+02	1.349E-01	-5.470E+01
61 76	1.521E+03	1.321E+03	7.105E+02	2.395E+00	2.029E+02	1.202E+00
62 77	1.521E+03	1.321E+03	7.105E+02	4.147E+00	2.048E+02	2.097E+00
63 78	3.317E+03	2.742E+03	1.515E+03	1.539E+00	1.452E+02	7.695E-01
64 79	3.317E+03	2.742E+03	1.515E+03	2.789E+00	1.464E+02	1.389E+00
65 80	-4.059E+02	-3.282E+02	-1.835E+02	1.665E+01	-5.592E+01	8.962E+00
66 81	8.478E+02	6.573E+02	5.763E+02	1.241E+02	1.900E+02	4.600E+01
67 82	2.345E+03	1.975E+03	1.080E+03	-1.141E+02	3.872E+02	-4.063E+01
68 83	1.636E+02	1.419E+02	7.638E+01	-1.868E+00	1.979E+01	-9.326E-01
69 84	1.490E+03	1.232E+03	6.805E+02	-1.707E+00	6.345E+01	-7.860E-01
70 85	1.599E+02	1.389E+02	7.468E+01	-1.934E-01	2.103E+01	-6.657E-02
71 86	1.480E+03	1.224E+03	6.759E+02	-5.312E-01	6.411E+01	-1.945E-01
72 87	-2.339E+03	-1.913E+03	-1.063E+03	3.097E+00	-1.033E+02	1.578E+00
73 88	-1.156E+03	-1.004E+03	-5.398E+02	5.178E+00	-1.470E+02	2.602E+00
74 79	-2.329E+02	-1.831E+02	-3.109E+01	1.209E-01	-1.226E+01	2.066E-02
75 90	-1.159E+03	-1.007E+03	-5.415E+02	3.284E+00	-1.495E+02	1.654E+00

Uc.No	Mk i (kNm)	Mk j (kNm)	Tk (kN)	Mi i (kNm)	Mi j (kNm)	Ti (kN)
****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1 9	3.520E+02	4.011E+02	2.544E+02	6.337E+01	1.220E+02	5.269E+01
2 10	2.465E+02	2.773E+02	1.746E+02	8.800E+01	8.820E+01	6.032E+01
3 11	1.428E+02	1.541E+02	9.896E+01	4.989E+01	5.962E+01	3.467E+01
4 12	4.069E+01	4.323E+01	2.797E+01	2.664E+01	3.386E+01	1.849E+01
5 13	4.172E+02	4.488E+02	2.887E+02	9.172E+01	1.079E+02	7.671E+01
6 14	4.414E+02	5.058E+02	3.157E+02	8.520E+01	1.109E+02	6.350E+01
7 15	3.407E+02	3.756E+02	2.388E+02	7.600E+01	1.027E+02	5.548E+01
0 16	2.616E+02	3.390E+02	2.002E+02	1.043E+02	1.004E+02	7.513E+01
9 17	6.537E+02	6.154E+02	4.230E+02	1.193E+02	1.802E+02	7.777E+01
10 18	4.547E+02	4.251E+02	2.933E+02	9.568E+01	1.339E+02	6.152E+01
11 19	2.491E+02	2.320E+02	1.604E+02	6.725E+01	8.695E+01	4.426E+01
12 20	9.521E+01	1.195E+02	7.156E+01	1.124E+02	1.843E+02	9.647E+01
13 21	8.959E+02	9.084E+02	6.014E+02	1.914E+02	1.785E+02	1.303E+02
14 22	8.463E+02	7.952E+02	5.472E+02	1.481E+02	2.661E+02	1.048E+02
15 23	6.243E+02	5.862E+02	4.035E+02	1.176E+02	1.796E+02	7.909E+01
16 24	5.138E+02	4.349E+02	3.162E+02	1.144E+02	1.743E+02	6.289E+01
17 25	3.711E+02	4.232E+02	2.648E+02	3.368E+02	4.597E+02	2.633E+02
18 26	5.515E+02	6.701E+02	4.072E+02	3.043E+02	4.109E+02	2.392E+02
19 27	1.946E+02	2.759E+02	1.568E+02	1.850E+02	2.324E+02	1.454E+02
20 28	6.211E+02	5.929E+02	4.047E+02	3.030E+02	1.751E+02	1.680E+02
21 29	6.570E+02	7.467E+02	4.679E+02	6.649E+02	9.044E+02	5.273E+02
22 30	1.241E+03	1.445E+03	8.952E+02	6.389E+02	7.921E+02	4.850E+02
23 31	8.645E+02	1.059E+03	6.411E+02	4.474E+02	5.994E+02	3.575E+02
24 32	5.724E+01	1.145E+02	5.724E+01	1.480E+02	2.960E+02	1.480E+02
25 33	6.537E+02	5.730E+02	4.089E+02	3.734E+02	2.191E+02	1.859E+02
26 34	1.132E+03	9.746E+02	7.022E+02	3.642E+02	2.662E+02	1.854E+02
27 35	6.523E+02	5.596E+02	4.040E+02	2.521E+02	1.915E+02	1.338E+02
28 36	7.034E+01	5.979E+01	4.337E+01	1.231E+02	8.424E+01	7.071E+01
29 37	1.057E+03	9.222E+02	6.596E+02	7.734E+02	3.684E+02	3.859E+02
30 38	2.091E+03	1.804E+03	1.298E+03	6.783E+02	4.679E+02	3.425E+02
31 39	1.634E+03	1.401E+03	1.011E+03	5.758E+02	4.113E+02	2.957E+02
32 40	4.591E+02	4.019E+02	2.870E+02	3.510E+02	2.139E+02	1.846E+02
Uc.No	Me i (kNm)	Me j (kNm)	Uc.No	Me i (kNm)	Me j (kNm)	
****	*****	*****	****	*****	*****	
1 2	3.393E+02	2.849E+02	17 18	3.276E+02	3.609E+02	
2 3	1.849E+02	2.289E+02	18 19	1.563E+02	1.811E+02	
3 4	1.127E+02	1.372E+02	19 20	4.246E+02	2.726E+02	
5 6	7.316E+01	7.702E+01	21 22	6.043E+02	6.348E+02	
6 7	2.779E+02	2.897E+02	22 23	3.715E+02	4.387E+02	
7 8	1.933E+02	1.608E+02	23 24	8.613E+01	1.807E+02	
1 5	2.388E+02	2.547E+02	17 21	3.282E+01	3.662E+02	
2 6	7.731E+00	1.562E+02	18 22	3.281E+00	2.599E+02	
3 7	-1.567E+01	9.439E+01	19 23	-7.718E+00	1.331E+02	
4 8	6.257E+01	1.149E+02	20 24	1.751E+02	3.361E+02	
9 10	9.123E+02	9.397E+02	25 26	1.055E+03	1.143E+03	
10 11	5.517E+02	5.823E+02	26 27	7.475E+02	8.140E+02	
11 12	2.338E+02	2.577E+02	27 28	3.467E+02	3.977E+02	
13 14	8.698E+02	9.835E+02	29 30	1.825E+03	2.046E+03	
14 15	1.138E+03	1.144E+03	30 31	1.596E+03	1.660E+03	
15 16	1.867E+03	1.797E+03	31 32	1.139E+03	1.193E+03	
9 13	3.780E+02	6.431E+02	25 29	5.738E+01	1.001E+03	
10 14	-1.593E+02	2.319E+02	26 30	-6.763E+01	6.298E+02	
11 15	-1.417E+02	1.154E+02	27 31	-1.347E+02	4.010E+02	
12 16	-8.556E+02	-1.713E+02	28 32	-1.144E+02	2.206E+02	

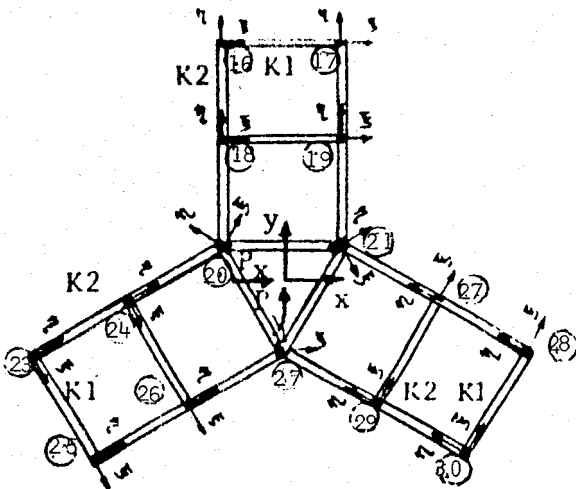
ÖRNEK : 4



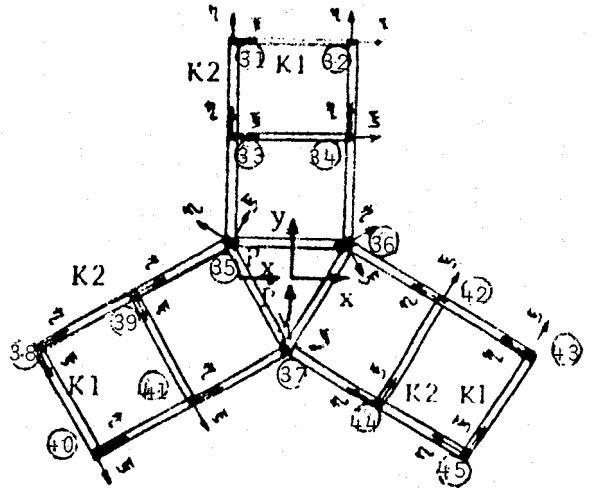
KİRİŞ ADI	K1	K2
I (dm <sup>4</sup> )	60.0	60.0

KOLON NO	1.KAT		2.ve 3.KAT.		4.ve 5.KAT	
	I <sub>ξ</sub>	I <sub>η</sub>	I <sub>ξ</sub>	I <sub>η</sub>	I <sub>ξ</sub>	I <sub>η</sub>
1,2,8,10,13,15	21.33	21.33	16.00	9.00	16.00	9.00
3,4,9,11,12,14	54.00	13.50	31.25	11.25	16.00	9.00
5,6,7	108.0	108.0	52.08	52.08	21.33	21.33

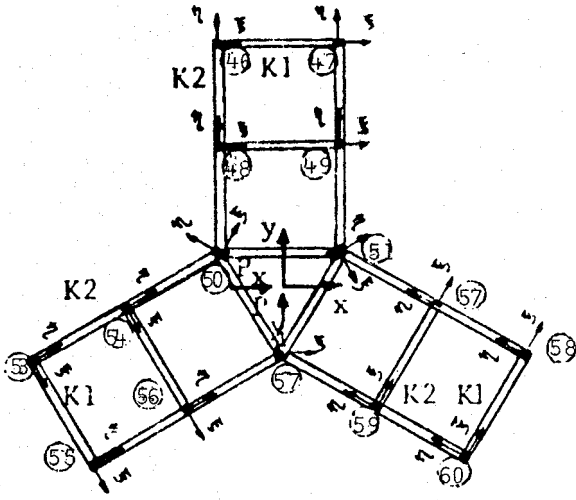
a) 5. kat planı



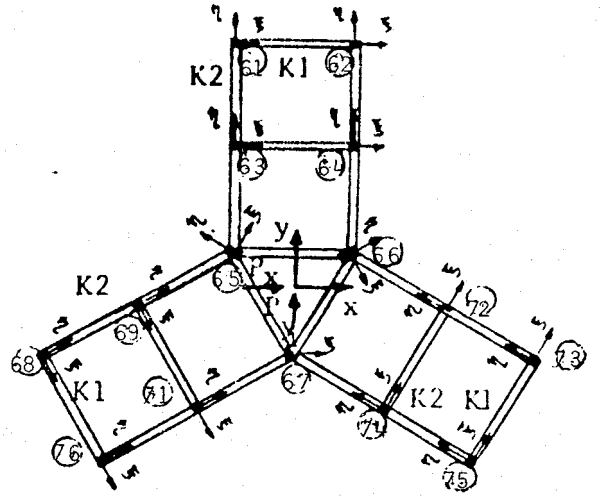
b) 4. kat planı



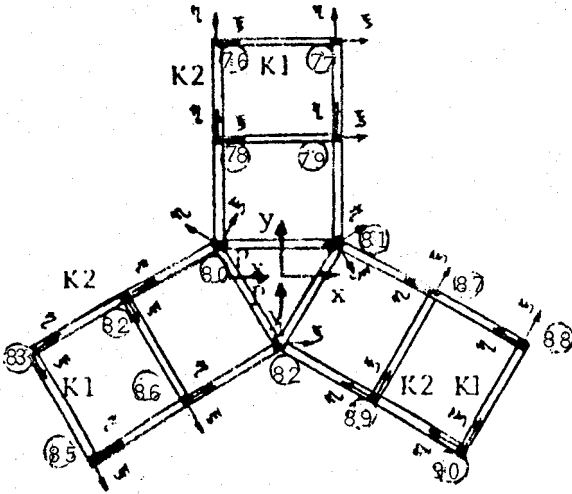
c) 3. kat planı



d) 2. kat planı



e) 1. kat planı



f) Zemin kat planı

Şekil:3.12

Kat.No	Tx(kN)	Ty(kN)	Tm(kNm)
****	*****	*****	*****
1	700.000	700.000	-1154.281
2	650.000	650.000	-1071.832
3	550.000	550.000	-906.935
4	400.000	400.000	-659.589
5	200.000	200.000	-329.795

1 .iterasyon sonuclari

Relatif kat Deplasmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	6.5435E+00	6.5838E+00	-2.1932E-02
2	4.1582E+00	4.3869E+00	1.0716E-02
3	3.5183E+00	3.7119E+00	9.0764E-03
4	4.0753E+00	4.5497E+00	2.2433E-02
5	2.0388E+00	2.2763E+00	1.1239E-02

2 .iterasyon sonuclari

Relatif kat Deplasmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	6.5964E+00	6.5319E+00	-3.9163E-02
2	4.2507E+00	4.2522E+00	-4.9876E-03
3	3.5654E+00	3.5581E+00	-1.9077E-03
4	4.6034E+00	4.6824E+00	-2.6995E-02
5	2.4901E+00	2.5723E+00	-2.5221E-02

3 .iterasyon sonuclari

Relatif kat Deplasmanlari

Kat.No	dx	dy	dt
***	*****	*****	*****
1	6.6063E+00	6.5430E+00	-3.9655E-02
2	4.2258E+00	4.2171E+00	-3.0836E-03
3	3.5747E+00	3.5681E+00	-2.8157E-03
4	4.2212E+00	4.2100E+00	-2.7414E-03
5	2.1120E+00	2.1053E+00	-1.3142E-03



Uc.No	Mei (kNm)	Mej (kNm)	Uc.No	Mei (kNm)	Mej (kNm)
****	*****	*****	****	*****	*****
1 2	8.700E+02	8.698E+02	39 35	-1.478E+02	-2.946E+02
3 4	7.611E+02	7.610E+02	10 41	-3.679E+02	-1.822E+02
5 6	-3.731E+02	-1.024E+02	41 37	-5.990E+01	-4.533E+01
3 1	-8.734E+01	-4.366E+01	37 36	-4.456E+02	-4.436E+02
4 2	-8.691E+01	-4.342E+01	44 42	-5.971E+02	-5.689E+02
5 3	-6.508E+02	-3.534E+02	45 43	-6.219E+02	-6.210E+02
6 4	-6.826E+02	-7.101E+02	36 42	4.063E+01	-1.124E+02
8 10	9.363E+01	9.271E+01	42 43	-7.219E+02	-6.903E+02
9 11	3.432E+02	3.422E+02	37 44	-2.233E+02	4.046E+01
5 7	2.167E+02	1.634E+02	44 45	-7.591E+02	-7.597E+02
8 9	-3.101E+02	-2.102E+02	45 47	7.199E+02	7.199E+02
9 5	-1.755E+02	-3.223E+02	48 49	5.405E+02	5.410E+02
10 11	-3.065E+02	-2.067E+02	50 51	3.422E+02	3.303E+02
11 7	-1.632E+02	-1.386E+02	48 46	5.040E+02	1.008E+03
7 6	-4.688E+02	-5.765E+02	49 47	5.050E+02	1.008E+03
14 12	-5.149E+02	-5.113E+02	50 48	2.267E+02	4.406E+02
15 13	-6.573E+02	-6.567E+02	51 49	6.024E+02	8.310E+02
6 12	-1.856E+02	-3.498E+02	53 55	7.505E+01	7.566E+01
12 13	-7.382E+02	-6.787E+02	54 56	2.364E+02	2.369E+02
7 14	-1.586E+02	-1.878E+00	50 52	2.997E+01	-1.457E+02
14 15	-7.430E+02	-4.881E+02	53 54	1.632E+02	2.279E+02
16 17	2.582E+02	2.583E+02	54 50	2.000E+02	1.105E+02
18 19	1.984E+02	1.984E+02	55 56	1.613E+02	2.258E+02
20 21	1.725E+01	5.518E+01	56 52	5.439E+02	3.976E+02
18 16	1.824E+02	3.650E+02	52 51	3.763E+02	5.079E+02
19 17	1.822E+02	3.649E+02	59 57	-3.726E+02	-3.709E+02
20 18	8.991E+01	1.634E+02	60 58	-5.508E+02	-5.499E+02
21 19	1.410E+02	1.689E+02	51 57	4.119E+02	7.009E+02
23 25	2.675E+01	2.715E+01	57 58	5.164E+02	5.886E+02
24 26	8.732E+01	8.764E+01	52 59	1.352E+02	4.977E+02
20 22	-2.163E+01	-2.975E+01	59 60	5.127E+02	5.834E+02
23 24	5.934E+01	8.361E+01	61 62	1.127E+03	1.127E+03
24 20	7.028E+01	4.267E+01	63 64	1.277E+03	1.277E+03
25 26	5.808E+01	8.229E+01	65 66	-8.677E+02	9.461E+01
26 22	1.020E+02	3.905E+01	63 61	1.197E+02	5.979E+01
22 21	-3.822E+01	1.616E+01	64 62	1.194E+02	5.952E+01
29 27	-1.385E+02	-1.393E+02	65 63	-1.085E+03	-5.881E+02
30 28	-1.973E+02	-1.977E+02	66 64	-8.308E+02	-1.489E+03
21 27	1.377E+02	1.605E+02	68 70	1.209E+02	1.199E+02
27 28	1.844E+02	2.079E+02	69 71	5.742E+02	5.727E+02
22 29	1.289E+01	9.248E+01	65 67	3.080E+02	2.515E+02
29 30	1.867E+02	2.101E+02	68 69	-5.068E+02	-3.255E+02
31 32	8.236E+02	8.236E+02	69 65	-2.939E+02	-5.357E+02
33 34	8.057E+02	8.059E+02	70 71	-5.021E+02	-3.209E+02
35 36	-1.989E+02	1.485E+02	71 67	-3.137E+02	-3.068E+02
33 31	-1.413E+01	-6.968E+00	67 66	-1.613E+03	-1.494E+03
34 32	-1.375E+01	-6.682E+00	74 72	-5.578E+02	-7.517E+02
35 33	-6.500E+02	-3.285E+02	75 73	-8.529E+02	-8.511E+02
36 34	-4.604E+02	-5.554E+02	66 72	3.466E+02	-4.178E+02
38 40	8.797E+01	8.783E+01	72 73	-1.071E+03	-1.108E+03
39 41	3.631E+02	3.627E+02	67 74	7.423E+01	1.216E+02
35 37	2.441E+02	1.509E+02	74 75	-8.399E+02	-6.456E+02
36 37	-3.231E+02	-2.129E+02			

## B Ö L Ü M 4

### SONUÇLAR

Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabı için daha önce geliştirilmiş bir ardışık yaklaşım yönteminin incelendiği bu çalışmada varılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1- Hesaplardaki hataların kirişlerin birim deplasman sabitlerinin içinde bulunan kirişin iki ucundaki dönme oranlarının başlangıçta gerçeğe uygun seçilmemesinden kaynaklandığı ve bundan kirişlerin doğrudan, düşey taşıyıcıların ise dolaylı etkilendiği, bu nedenle kirişlerdeki hataların kolanlarınkine nazaran daha fazla çıkmasının normal olduğu söylenebilir.
- 2- Zemin katlardaki düşey taşıyıcılardaki hata da kirişlerin bu katta kolanlara sadece üstten birleşmesinden dolayı diğer katlardaki hatalara göre daha az çıkabilmektedir.
- 3- Başlangıçta kiriş birim deplasman sabitlerinin hesabında  $\theta_i/\theta_j$  ve  $\theta_j/\theta_i$  oranlarını 1 almak, kirişlerin antimetrik deformasyon yaptığını kabul etmeye karşılık geldiği bilinmektedir. Herhangi bir yapı için kesin çözüm sonuçları kirişlerin antimetrik deformasyon kabulüne ne kadar yakın ise ardışık yaklaşımın sayısı ve hata oranı o kadar az olmaktadır.
- 4- Yapıların deformasyon durumları, yapıyı meydana getiren elemanların rijitliklerine, konumlarına ve kat düzeylerinde etkiyen yüklere bağlıdır. Bu nedenle ardışık yaklaşım farklı yapılar için farklı olmaktadır.

- 5 - Deprem ya da rüzgar yüklerinin değişkenliği ve belirsizliği dikkate alınırrsa, ilk adımda bulunan kesit tesirleri bile uygulamada kullanılabilir.
- 6 - Bilgisayar programı kişisel bilgisayarda hazırlanarak yöntemin uygulamada da kolaylıkla kullanılabileceği gösterilmiştir. Hazırlanan program, hem ortogonal ve hem de ortogonal olmayan çerçevelere uygulanabilmektedir.
- 7 - Son olarak, ortogonal olmayan sistemlerden oluşan çok katlı yapıların hesabında kesin yöntemler yerine böyle bir ardışık yaklaşım yönteminin kullanılması halinde hesap süresinin oldukça kısılacağı söylenebilir.

## K A Y N A K L A R

- {1} ACI Commitee 442 "Response of Buildings to lateral Forces", Proceedings, Journal of the ACI V. 68, No.2, (February 1971).
- {2} ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN, G., "Çerçeveler ve Boşluklu Perdelerden Oluşan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı", İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Teknik Rapor No. 16,
- {3} ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN, G., "Ortogonal Olmayan Çerçevelerden Oluşan Yapılar İçin Genelleştirilmiş Muto Yöntemi", İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 37, Sayı 2, (1979), S. 25-34.
- {4} GLUCK, J., "Lateral-Load Analysis of Asymmetric Multistory Structures", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 96, No. ST2, Proc. paper 7089, (February 1970), pp. 317-333.
- {5} MUTO, K., "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Buildings", Proceedings of World Conference on Earthquake Engineering, (1956).
- {6} MUTO, K., "Aseismic Design Analysis of Buildings", Maruzen Co. Ltd., Tokyo 1974.
- {7} ÖZMEN, G., "Burulma Yapan Çok Katlı Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı", Teknik Rapor No. 13, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1972.
- {8} ÖZMEN, G., "Ortogonal Taşıyıcı Sistemlerden Oluşan Çok Katlı Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı", İ.T.Ü. Dergisi, C. 36, Sayı 1, (1978), S. 25-34.
- {9} STAMATO, M.V., STAFFORD SMITH, B., "An Approximate method for the Three Dimensional Analysis of Tall Buildings", Proc. Instn Civ. Engrs, 43 (July 1969), 361-379.

- {10} WEAVER, W., and NELSON, M.F., "Three-Dimensional Analysis of Tier Buildings", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 92, No. ST6 proc. paper 5019, (Dec. 1966), pp. 385-404.
- {11} ZORBOZAN, M. , "Ortogonal olmayan taşıyıcı sistemlerden oluşan çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabı için bir yöntem", Doktora Tezi, İTÜ. İnş.Fak., İstanbul, 1983.
- {12} ÇAKIROĞLU, A., ÖZDEN, E., ÖZMEN, G., "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları", Cilt II, İstanbul 1974.
- {13} İNAN, M., "Düzlemde Elastisite Teorisi", İstanbul 1969.
- {14} ÇAKIROĞLU, A., "Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metotları", 3. Baskı İstanbul 1974.
- {15} ÇAKIROĞLU, A., ÖZDEN, E., ÖZMEN, G., "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları", Cilt I, İstanbul 1970.
- {16} ÇAKIROĞLU, A., "Yüksek Binaların Hesabına İlişkin Sorunlar", İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 34, Sayı 6, (1979), S. 25-28.
- {17} İNAN, M., "Cisimlerin Mukavemeti", İstanbul, Arı Kitabevi, 1967.
- {18} KESKİNEL, F., KARADOĞAN, H.F., "Açıklamalı Örneklerle Fortran IV Algoritma Kurma ve Program Geliştirme", 2. Baskı, İstanbul 1978.