

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Çubuk Sist. Mak. Ele. Yap. Analiz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga İmen

1998



50  
74

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇUBUK SİSTEMLERİN  
MAKRO ELEMANLARLA  
YAPISAL ANALİZİ

İnşaat Mühendisi Tolga İMEN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. İrdesel GÖĞÜŞ

İSTANBUL, 1999



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R150.374

Kayıt No : 837

Geldiği Yer : Fen Bil.Enst.

Tarih : 3.10.2000

Fiyat : 820.000.TL

Fatura No : -

Ayniyat No : 1

Ek :

Y. T. O.

KÜTÜPHANE DOK. DAI. BAŞKANLIĞI



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sayfa

ÇUBUK SİSTEMLERİN  
MAKRO ELEMANLARLA  
YAPISAL ANALİZİ

İnşaat Mühendisi Tolga İMEN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. İrdesel GÖĞÜŞ

Jüri Üyesi: Doç. Dr. G. Gülay

Naci Yücefer

İSTANBUL, 1999



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. MAKRO ELEMENLAR.....	3
2.1. [K] Rijitlik Matrisinin Bulunuşu.....	5
2.2. $[K]^i$ Rijitlik Matrisininin Bölünerek $[K_b]^i, [K_{bb}]^i, [K_{bF}]^i, [K_{Fb}]^i$ , ve $[K_{FF}]^i$ Bulunuşu.....	9
3.1. SAYISAL ÖRNEK 1.....	19
3.2. Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü.....	35
4.1. SAYISAL ÖRNEK 2.....	40
4.2. Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü.....	44
5.1. SAYISAL ÖRNEK 3.....	49
5.2. Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü.....	61
6.1. SAYISAL ÖRNEK 4.....	64
6.2. Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü.....	68
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	77
Ek 1 Analiz Programı Kullanım Klavuzu.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	82



## SİMGE LİSTESİ

[K]	Sistem rijitlik matrisi (Stifness Matrix)
[R]	Sistem yük vektörü
[r]	Düğüm noktası deplasmanları vektörü
b	İki komşu makro elemanın düğüm noktalarının ortak olması durumunu gösteren ifade
F	İki komşu makro elemanın düğüm noktalarının serbest olması durumunu gösteren ifade
[R <sub>b</sub> ]	Bağlı düğüm noktalarına etkiyen yük vektörü
[R <sub>F</sub> ]	Serbest düğüm noktalarına etkiyen yük vektörü
[r <sub>b</sub> ]	Sistemde ortak düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar vektörü
[r <sub>F</sub> ]	Sistemde serbest düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar vektörü
[K <sub>bb</sub> ], [K <sub>bF</sub> ], [K <sub>Fb</sub> ], [K <sub>FF</sub> ]	Makro eleman rijitlik matrisi alt matrisleri
[a <sup>T</sup> ] <sup>i</sup>	"i" elemanın genel koordinatlarda eleman denge matrisi
[k <sub>r</sub> ] <sup>i</sup>	"i" elemanın eleman rijitlik matrisi
[k <sub>r</sub> ]	Toplam Sistem rijitlik matrisi
[a <sup>T</sup> ]	Sistem denge matrisi



$[u_b^a]$	Sistemde ortak düğüm noktaları bağlı iken serbest düğüm noktalarında makro sisteme etkileyen dış yükler sonucu, ortak düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar vektörü
m	Düğüm noktası sayısı
$[u_b^b]$	Sistemde ortak düğüm noktaları bağlı değil iken ortak düğüm noktalarında sisteme etkileyen dış yükler sonucu, ortak düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar vektörü
n	Eleman sayısı
$\alpha$	Sistem ortak düğüm noktaları bağlı ( ankastre ) olması durumunu gösteren ifade
$[R_b^a]$	Sistem ortak düğüm noktaları bağlı iken serbest düğüm noktalarında sisteme etkileyen dış yükler sonucu, ortak düğüm noktalarında oluşan reaksiyon kuvvetleri vektörü
$[r_F^a]$	Sistemde ortak düğüm noktaları bağlı iken serbest düğüm noktalarında makro sisteme etkileyen dış yükler sonucu, serbest düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar vektörü
$\beta$	Sistem ortak düğüm noktaları bağlı olmaması ( serbest ) durumunu gösteren ifade
$[r_F^b]$	Makro sistem ortak düğüm noktaları bağlı iken serbest düğüm noktalarında makro sisteme etkileyen dış yükler sonucu, serbest düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar vektörü
$[R_b^b]$	Sistem ortak düğüm noktaları bağlı değil iken ortak düğüm noktalarında sisteme etkileyen dış yükler sonucu, ortak düğüm noktalarında oluşan reaksiyon kuvvetleri vektörü
$[K_b^i]$	"i" makro elemanının ortak düğüm noktasına yaptığı rijitlik katkısı matrisi
$[R_F^a]$	Sistem ortak düğüm noktaları bağlı iken serbest düğüm noktalarında sisteme etkileyen dış yükler sonucu, serbest düğüm noktalarında oluşan reaksiyon kuvvetleri vektörü
$[R_F^b]$	Sistem ortak düğüm noktaları bağlı değil iken serbest düğüm noktalarında sisteme etkileyen dış yükler sonucu, serbest düğüm noktalarında oluşan reaksiyon kuvvetleri vektörü



$[r_b^\alpha]$  Sistemde ortak düğüm noktaları bağlı iken serbest düğüm noktalarında makro sisteme etkiyen dış yükler sonucu, ortak düğüm noktalarında oluşan deplasmanlarvektörü

$[r_b^\beta]$  Sistemde ortak düğüm noktaları bağlı değil iken ortak düğüm noktalarında sisteme etkiyen dış yükler sonucu, ortak düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar vektörü

		Sayfa
Şekil 3.1.1.	Üç açıklıklı üç katlı çerçeve sistem	19
[F] Şekil 3.1.2.	Bağımsız iç kuvvetleri vektörü	19
Şekil 3.1.3.	Makro elemanlar	20
Şekil 4.1.1.	Üç açıklıklı üç katlı çerçeve sistem moment yüklü	40
[T] <sup>i</sup> Şekil 4.1.2.	“i” elemanın yerel koordinatlarda eleman denge matrisi	40
Şekil 5.1.1.	Üç katlı tek açıklıklı çerçeve sistem	49
Şekil 5.1.2.	Bölünmüş sistem	49
[S] <sup>i</sup> Şekil 5.1.3.	“i” elemanın yerel koordinatlardaki iç kuvvetler vektörü	50
Şekil 6.1.1.	Üç katlı tek açıklıklı çerçeve sistem moment yüklü	64
Şekil 6.2.2.	Bölünmüş sistem	64
Şekil Ek 1.1.	Analiz programı giriş ekranı	77
Şekil Ek 1.2.	Analiz programı düğüm noktası özellikleri giriş ekranı	80
Şekil Ek 1.3.	Analiz programı eleman özellikleri giriş ekranı	81



## ÇİZELGE LİSTESİ

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1.1. Düğüm noktası tablosu .....	20
Çizelge 3.1.2. Eleman tablosu .....	20
Çizelge 5.1.1. Düğüm noktası tablosu .....	50
Çizelge 5.1.2. Eleman tablosu .....	50
Şekil 3.1.1. Üç açıklıklı üç katlı çerçeve sistem .....	19
Şekil 3.1.2. Bölünmüş sistem .....	19
Şekil 3.1.3. Makro elemanlar .....	20
Şekil 4.1.1. Üç açıklıklı üç katlı çerçeve sistem moment yüklü .....	40
Şekil 4.1.2. Bölünmüş sistem .....	40
Şekil 5.1.1. Üç katlı tek açıklıklı çerçeve sistem .....	49
Şekil 5.1.2. Bölünmüş sistem .....	49
Şekil 5.1.3. Makro elemanlar .....	50
Şekil 6.1.1. Üç katlı tek açıklıklı çerçeve sistem moment yüklü .....	64
Şekil 6.2.2. Bölünmüş sistem .....	64
Şekil Ek 1.1. Analiz programı giriş ekranı .....	77
Şekil Ek 1.2. Analiz programı düğüm noktası özellikleri giriş ekranı .....	80
Şekil Ek 1.3. Analiz programı eleman özellikleri giriş ekranı .....	81



## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1.1.	Düğüm noktası tablosu.....	20
Çizelge 3.1.2.	Eleman tablosu.....	20
Çizelge 5.1.1.	Düğüm noktası tablosu.....	50
Çizelge 5.1.2.	Eleman tablosu.....	50



## TEŞEKKÜR

Kendisinin değerli katkıları sonucu tamamlanabilen bu çalışma boyunca bana destek olan sayın Profesör İrdesel GÖĞÜŞ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yapılan parçalamaların sonucu elde edilen yeni sistemlere "makro eleman" denilmektedir. Her bir makro elemana diğer makro elemanlar ile birleştiği düğüm noktaları "ortak düğüm noktaları" ve bunun dışındaki düğüm noktaları da "serbest düğüm noktaları" olarak isimlendirilmiştir.

Makro elemanlar birbirlerinden bağımsız olarak çözümlenebilirler ve çözümlü yapıları makro elemanlar diğer yapılarda kullanılabilir. Eleman sayısının fazla olduğu yapılarda bu şekilde parçalanarak hesaplanmasının özellikle zaman ve kolaylık yönünden sağlayacağı avantajlar, sizlerin deneyim ve görüşlerinize bağlı olmakla birlikte yönetimin özellikle programlamaya son derece uygun olduğunu kesinlikle söyleyebiliriz. Zaten çalışmanın sonunda da makro eleman yaklaşımına esas olan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bu yöntem kullanılarak hesap yapılırken sistem için uygun bir koordinat sistemine göre hesaplanabilir ve istenilen sayıda makro elemana ayrılır.

İlk aşamada her makro eleman ortak düğüm noktaları anahtar kabulüne göre ve ortak düğüm noktalarında etkileyen dış yükler dikkate alınarak çözümlenerek ortak düğüm noktaları tepkileri bulunur.

İkinci aşamada ise birinci aşamada bulunan tepkiler ortak düğüm noktalarına etkileyen dış yükler ile süperpozisyon edilir ve ortak düğüm noktalarının tepkileri elde edilir. Bu aşamada makro eleman serbest düğüm noktası yükleri diğer elemanlar. Makro elemanın rijitlik etkisi hesaplanır. İstenilen miktarda verilerden faydalanılarak ortak ve serbest düğüm noktaları yerdengeğensizliği bulunup her iki durum için elemanlar ayrı ayrı çözümlenir.

Çalışma sonucu geliştirilen programın her iki aşamada da kullanılması aynı anda çözüm yapılabilen bir yöntem ile ve grafiksel sonuçlar elde etmek gibi istenilen daha fonksiyonel bir programın ortaya çıkmasını sağlayacaktır.



## ÖZET

Bu tez çalışmasında ele alınan konu, yapı sistemlerinin daha küçük alt sistemlere bölünerek çözümünü incelemektedir.

Yapının parçalanması sonucu elde edilen yeni sistemlere "makro eleman" denilmektedir. Her bir makro elemanın diğer makro elemanlar ile birleştiği düğüm noktaları "ortak düğüm noktaları" ve bunun dışındaki düğüm noktaları da "serbest düğüm noktaları" olarak isimlendirilmiştir.

Makro elemanlar birbirlerinden bağımsız olarak çözülebilirler ve çözümü yapılmış makro elemanlar diğer yapılarda kullanılabilir. Eleman sayısının fazla olduğu yapıların bu şekilde parçalanarak hesaplanmasının özellikle zaman ve kolaylık yönünden sağlayacağı avantajlar, sizlerin deneyim ve görüşlerinize bağlı olmakla birlikte yöntemin özellikle programlamaya son derece uygun olduğunu kesinlikle söyleyebiliriz. Zaten çalışmanın sonunda da makro eleman yaklaşımını esas alan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bu yöntem kullanılarak hesap yapılırken sistem önce uygun bir koordinat sistemine göre numaralandırılır ve istenilen sayıda makro elemana ayrılır.

İlk aşamada her makro eleman ortak düğüm noktaları ankastre kabulüne göre ve ortak düğüm noktalarında etkiyen dış yükler dikkate alınmadan çözümlenerek ortak düğüm noktaları tepkileri bulunur.

İkinci aşamada ise birinci aşamada bulunan tepkiler ortak düğüm noktalarına etkiyen dış yükler ile süperpoze edilir ve ortak düğüm noktalarının serbest olduğu varsayılır. Bu aşamada makro eleman serbest düğüm noktası yükleri dikkate alınmaz. Makro elemanın rijitlik etkisi hesaplanır. Daha sonra elde edilen verilerden faydalanılarak ortak ve serbest düğüm noktaları yerdeğiştirmeleri bulunup her iki durum için süperpoze edilerek sistem çözülmüş olur.

Çalışma sonucu geliştirilen programın ilerde birden fazla kullanıcının aynı anda çözüm yapabileceği bir tasarım ile ve grafiksel özellikler eklenerek geliştirilmesi daha fonksiyonel bir programın ortaya çıkmasını sağlayacaktır.



## ABSTRACT

This study is about solving building structures by substracting them into smaller sub-systems.

The sub-systems are called "macro elements". The nodes that join each macro element to others are called "boundry nodes" and the exceptional nodes "free nodes".

Macro elements could be solved independent from others. And also it is possible to use the macro element that has been solved in a different building structures. When the number of elements are too much if it would be a good way to substract the system into the macro elements to gain especially time and usability advantages depends on your experiences we can definetely say that it fits well on programming issues. Also a computer program based on macro element theory has been developed at the end of the study.

When working with that method you have to set a suitable coordinat system and give each node and element to a number and then substract into "as you wish" macro elements.

Then as a first step, boundary node reactions could be find by every macro element's boundary node thinks like a fixed node and the forces act on the free nodes are not cared.

The second step this reactions superpose with the forces act on boundary node and boundary nodes are released. Free node forces are not cared second step longs. Macro element's fixed rate is found and then system has been solved by both boundary node's and free node's replacements are calculated and superposed.

As a result of upgrading the program has been developed as one of results of this study - will be able to be improved by adding new graphical features and based on a network architectural design that let more people work at same time - new versions will absolutely be more funcional.

bilgisyarlarla greslik hayattis urun bir sekilde kullanimis gemesine sebep  
sistemlerdir, bilgisayar kullanimina dayanan yonemler, kisik hesap yontemlerine  
yeni data baze raglaya girmeye baslamistir. Burada ayri bazi makinalarin, monoton  
sistemler halinde ve guvenilir bir tespitde, kus zamanida yapabilmelerinin onemi  
buyuktur. Milyonlarca uzrinden buyuklukta onemli sistemlerde is bilgisayarlar  
devredilerek, basarilar, optimizasyon vs. gibi degisik konulara egilimlerini icin  
yeni bir zemin hazirlanmistir.



Ancak her yeni teknoloji gibi, bilgisayarlar da bizlere sorunsuz ve sınırsız bir hizmet sunmaktadır. Bilgisayar destekli proje hesabı yapan mühendisler için çoğu zaman makinenin donanımsal kapasitesinin aşımı, yüzyüze gelebilecekleri önemli bir sorundur.

Yapı projelerinin hesabı ile uğraşan mühendisler için işin en zor taraflarından birisi, belki de en önemlisi nümerik çözümlerdir diyebiliriz. Çünkü bu aşama, mühendisin pek çok sayı ve işlemle uğraşmak zorunda olduğu, titiz ve dikkatli bir çalışma isteyen, aynı zamanda da oldukça vakit alan bir evredir. Bu yüzden bir projenin zamanında ve doğru bir şekilde sonuçlandırılması için sadece mühendislik bilgisi ve deneyimi yeterli değildir.

Çoğu zaman hesaplar arasında boğulan mühendisler meslekî bilgi ve deneyimlerini geliştirmeye zaman ayıramazlar. Hele bir de söz konusu olan baraj gövdesi gibi büyük bir proje ise, bir kişinin altından kalkması pratik olarak mümkün olmayan bir problemle karşı karşıya kalınmış olur. Ayrıca olası hataların tespiti ve giderilmesi ise işlemlerin yeni baştan yapılmasından daha zor olabilir.

Günümüze dek, yapı sistemlerinin analizinin daha pratik ve çabuk yapılabilmesi için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Ancak son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki başdöndürücü gelişmeler, daha hızlı, yüksek kapasiteli ve nispeten ucuz bilgisayarların günlük hayatta artan bir şekilde kullanıma girmesine sebep olduğundan, bilgisayar kullanımına dayanan yöntemler, klasik hesap yöntemlerine göre daha fazla rağbet görmeye başlamıştır. Bunda şüphesiz makinaların, monoton işlemleri hassasiyetle ve güvenilir bir biçimde, kısa zamanda yapabilmelerinin önemi büyüktür. Mühendislerin üzerinden böylelikle önemli miktarda iş bilgisayarlar devredilerek, tasarım, optimizasyon vs. gibi değişik konulara eğilebilmeleri için yeterli zaman kazanılmaktadır.



Ancak her yeni teknoloji gibi, bilgisayarlar da bizlere sorunsuz ve sınırsız bir kullanım sunmamaktadır. Bilgisayar destekli proje hesabı yapan mühendisler için çoğu zaman makinenin donanımsal kapasitesinin aşımı, yüzyüze gelebilecekleri önemli bir sorundur.

Yöntemin temelinde makro elemanların ortak düğüm noktalarında bağlı tek bir eleman gibi kabul edilmesi yaklaşımı vardır. Herhangi bir yapı sistemi, mevcut makinelerin Bu gibi durumlar için büyük yapı sistemini aynı bir lego gibi küçük sistem parçacıklarına – makro elemanlara – parçalayarak çözmek soruna uygun bir yaklaşım olabilir. Bu tezde incelenecek olan konu, makro elemanlar kullanılarak matris metodları yapı analizinin uzay sistemlerin analizinde kullanılmasıdır.

Yapısal parçalanma işlemi prensip olarak gevşetme işlemine dayanır. Makro elemanlara birbirleriyle bağlantı noktaları eşit şartlarının (yükler ve yer değiştirmeler) bulunduğunu düşünelim, her bir makro eleman diğerlerinden bağımsız olarak hesaplanabilir. Bir kere makro elemanlar hesaplandıktan sonra ortak düğüm noktalarındaki değerler yardımı ile genel sistem yeniden kurularak çözülme elde edilmiş olur.

Yapı belli sayıda makro elemana ayrıldıktan sonra, her makro eleman için rijitlik matrisi, makro elemanı oluşturan taşıyıcı elemanların eleman rijitlik matrislerinden toplanarak bulunur.

Matris - Deplasman yöntemindeki 'Rijitlik Bağintısı':

$$[K] \cdot [r] = [R] \quad (2.1)$$

Bağıntısın yapı elemanları ya da makro elemanlar için yazılması hiçbir fark ifade etmeyecektir. Dikkat edilmesi gereken nokta bu ifadenin her bir makro-eleman için aynı aynı değereye gerektiridir. Yani burada rijitlik matrisi, deplasmanlar ve yükler, tüm sistemin için değil, kendi başına bağımsız bir sistem gibi ele alınan makro eleman için ifadeye yerine konmalıdır.



## 2. MAKRO ELEMANLAR

( boundary node ) düğüm noktaları ve serbest düğüm noktaları bulunduğunu hatırlayalım. Makro elemana etkiyen yükler ve oluşan deplasmanlar, bağlı düğüm noktalarına etkiyen (  $R_b$  ve  $r_b$  ) ve serbest düğüm Yöntemin özünde makro elemanların ortak düğüm noktalarında bağlı tek bir eleman gibi kabul edilmesi yaklaşımı vardır. Herhangi bir yapı sistemi, mevcut makinelerin kapasitesini aşarsa sistem en az sahip olduğumuz bilgisayarlar tarafından işlem görebilecek kadar küçük alt parçalara ayrılabilir.

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Yapısal parçalama işlemi prensip olarak gevşetme işlemine dayanır. Makro elemanların birbirleriyle bağlantı noktaları sınır şartlarının (yükler ve yer değiştirmeler ) bilindiğini düşünürsek, her bir makro eleman diğerlerinden bağımsız olarak hesaplanabilir. Bir kere makro elemanlar hesaplandıktan sonra ortak düğüm noktalarındaki değerler yardımı ile genel sistem yeniden kurularak çözüm elde edilmiş olur.

Yapı belli sayıda makro elemana ayrıldıktan sonra, her makro eleman için rijitlik matrisi, makro elemanı oluşturan taşıyıcı elemanların eleman rijitlik matrislerinden faydalanılarak bulunur.

$$K_e = K_{e1} \times r_{e1} + K_{e2} \times r_{e2} \quad (2.3)$$

Matris - Deplasman yöntemindeki 'Rijitlik Bağıntısı';

$$[K] \times [r] = [R] \quad (2.1)$$

bağıntısının yapı elemanları ya da makro elemanlar için yazılması hiçbir fark ifade etmeyecektir. Dikkat edilmesi gereken nokta bu ifadenin her bir makro eleman için ayrı ayrı düşünülmesi gerektiğidir. Yani burada rijitlik matrisi, deplasmanlar ve yükler, tüm sistem için değil, kendi başına bağımsız bir sistem gibi ele alınan makro eleman için ifadede yerine konmalıdır.



Her makro elemanda bağılı ortak ( boundary node ) düğüm noktaları ve serbest düğüm noktaları bulunduğunu hatırlayalım. Makro elemana etkiyen yükler ve oluşan deplasmanlar, bağılı düğüm noktalarına etkiyen (  $R_b$  ve  $r_b$  ) ve serbest düğüm noktalarına etkiyen (  $R_F$  ve  $r_F$  ) olarak kümelenecek makro sistem rijitlik ifadesi düzenlenirse, " i. " makro eleman için;

1 - Sistem için bir koordinat sistemi seçilir ve düğüm noktalarının koordinatları bu

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{bb} & \mathbf{K}_{bF} \\ \mathbf{K}_{Fb} & \mathbf{K}_{FF} \end{bmatrix}^i \times \begin{bmatrix} \mathbf{r}_b \\ \mathbf{r}_F \end{bmatrix}^i = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_b \\ \mathbf{R}_F \end{bmatrix}^i \quad (2.2)$$

2 - Sistemin düğüm noktaları ve elemanları kendi aralarında birden başlayarak numaralandırılır. Düğüm noktaları numaralandırılırken, önce mesnetler, daha sonra

ifadesi elde edilir ki, böylelikle  $K$ ,  $r$ ,  $R$  matrislerini parçalamak ve vektörel olarak incelemek mümkün olur. " b " ve " F " indisleri ile, iki komşu makro elemanın ortak ve serbest düğüm noktaları ile ilgili kuvvet ve deplasmanlarının ilişkileri gösterilmeye çalışılmıştır.

4 -  $[k]^{-1}$  ( satır k.s. x sütun k.s. ) eleman denge matrisleri ve  $[k]^{-1}$  ( satır k.s. x sütun

Yukarıdaki ifadedeki kuvvet ve deplasmanların kolon vektörlerini yazarsak;

3 -  $[k]_{b,b}$  Sistem denge matrisi ve  $[k]_{b,F}$  toplam sistem rijitlik matrisi

$$\mathbf{R}_b^i = \mathbf{K}_{bb}^i \times \mathbf{r}_b^i + \mathbf{K}_{bF}^i \times \mathbf{r}_F^i \quad (2.3)$$

$$\mathbf{R}_F^i = \mathbf{K}_{Fb}^i \times \mathbf{r}_b^i + \mathbf{K}_{FF}^i \times \mathbf{r}_F^i$$

ifadelerini elde ederiz.

alınarak sistem denge matrisine yerleştirilebilir.

Toplam sistem rijitlik matrisi (  $[k]$  ), boyutları eleman sayısı ile sütun katsayısı çarpımı ile elde edilecek olan kare bir matristir. Eleman rijitlik matrislerinin (  $[k]$  ) satır ile, diğonal olarak toplam sistem rijitlik matrisine yerleştirilmesi ile elde edilir.



## 2.1. [ K ] Rijitlik Matrisinin Bulunuşu

ifadesi ile makro eleman için sistem rijitlik matrisi bulunur.

Makro elemanlara ayrılan sistemin her bir makro elemanı için [K] rijitlik matrisi bulunmalıdır. Bunun için takip edilmesi gereken işlem sırası aşağıdaki gibidir:

$n$  = Düğüm noktası sayısı

1 - Sistem için bir koordinat sistemi seçilir ve düğüm noktalarının koordinatları bu koordinat sistemine göre hesaplanır.

2 - Sistemin düğüm noktaları ve elemanları kendi aralarında birden başlayarak numaralandırılır. Düğüm noktaları numaralandırılırken, önce mesnetler, daha sonra ortak düğüm noktaları ve en son olarak da serbest düğüm noktaları numaralandırılmalıdır.

3 - Düğüm noktası tablosu ve eleman tablosu oluşturulur.

4 -  $[a^T]^i$  ( satır k.s. x sütun k.s. ) eleman denge matrisleri ve  $[k_r]^i$  ( sütun k.s. x sütun k.s. ) eleman rijitlik matrisleri hesaplanır.

5 -  $[a^T]_{(pxq)}$  Sistem denge matrisi ve  $[k_r]_{(qxq)}$  toplam sistem rijitlik matrisi oluşturulur.

Sistem denge matrisinin (  $[a^T]$  ) satır boyutu düğüm noktası sayısı ile satır katsayısı, sütun boyutu ise eleman sayısı ile sütun katsayısı çarpımı sonucu elde edilir. O halde eleman denge matrisleri (  $[a^T]^i$  ), elemanın sol ve sağ düğüm noktası numarası dikkate alınarak sistem denge matrisine yerleştirilebilir.

$p = m \times \text{Satır katı sayısı}$

Toplam sistem rijitlik matrisi (  $[k_r]$  ), boyutları eleman sayısı ile sütun katsayısı çarpımı ile elde edilecek olan kare bir matristir. Eleman rijitlik matrislerinin (  $[k_r]$  ) sıra ile, diagonal olarak toplam sistem rijitlik matrisine yerleştirilmesi ile elde edilir.



$$[K] = [a^T] \times [k_r] \times [a]$$

ifadesi ile makro eleman için sistem rijitlik matrisi bulunur.

m = Düğüm noktası sayısı

n = Eleman sayısı

D.N. No:	X Koordinatı	Y Koordinatı	Z Koordinatı
1	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>
2	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
3	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>
·	·	·	·
·	·	·	·
·	·	·	·
·	·	·	·
·	·	·	·
m-1	X <sub>m-1</sub>	Y <sub>m-1</sub>	Z <sub>m-1</sub>
M	X <sub>m</sub>	Y <sub>m</sub>	Z <sub>m</sub>

Eleman No	Sol Uç	Sağ Uç
1	1	2
2	3	4
3	2	3
·	·	·
·	·	·
·	·	·
·	·	·
·	·	·
n-1	·	·
n	·	·

	Uzaysal Çubuk	Uzaysal Kafes	Düzlem Çubuk	Düzlem Kafes
Satır kat sayısı	6	3	3	2
Sutun kat sayısı	6	1	3	1

p= m x Satır kat sayısı

q= n x Sutun kat sayısı



$$[a^T]^i = \begin{bmatrix} a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} \\ a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} \\ a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} \\ - & - & - & - & - & - \\ a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} \\ a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} \\ a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} \end{bmatrix} \left. \begin{array}{l} \} \\ \} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Eleman Sol Ucu} \\ \text{Eleman Sağ Ucu} \end{array}$$

(satirk.s.x:sutunk.s.)

(Eleman No x Sutun k.s.).....q-1....q

$$[a^T] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} \\ a_L^{T^1} & a_L^{T^1} & a_L^{T^1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} & a_L^{T^i} \\ a_L^{T^1} & a_L^{T^1} & a_L^{T^1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_L^{T^1} & a_L^{T^1} & a_L^{T^1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_R^{T^1} & a_R^{T^1} & a_R^{T^1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} \\ a_R^{T^1} & a_R^{T^1} & a_R^{T^1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} \\ a_R^{T^1} & a_R^{T^1} & a_R^{T^1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} & a_R^{T^i} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{p \times q}$$

(Düğüm noktası No x satır k.s.).....p



## 2.2. $[K]$ Rijitlik Matrisinin Bulunarak $[K_6]^1, [K_{66}]^1, [K_{67}]^1, [K_{76}]^1$ ve $[K_{77}]^1$ Bulunması

Makro elemanın serbest düğüm noktaları ve serbest düğüm noktaları arasında serbest düğüm noktaları ayrıdır. Serbest düğüm noktası bulunmayan makro elemanların serbest düğüm noktalarının ortak düğüm noktalarına etkisi söz konusu olduğundan makro elemanın rijitlik matrisi olarak  $K_{66}, K_{67}, K_{76}$  ve  $K_{77}$  matrisleri elde edilir. Bu durumda  $[K_6]$  ayrıca (2.10) deklemini yardımı ile hesaplanır.

$$[k_r]^1 = \begin{bmatrix} k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 \end{bmatrix}$$

(Sutun k.s. x Sutun. k.s.)

$$[k_r] = \begin{bmatrix} k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & k_r^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & [k_r^2] & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & [k_r^3] & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & [k_r^4] & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & [k_r^5] & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & [k_r^m] \end{bmatrix}$$

(qxq)



## 2.2. $[K]^i$ Rijitlik Matrisinin Bölünerek, $[K_b]^i$ , $[K_{bb}]^i$ , $[K_{bF}]^i$ , $[K_{Fb}]^i$ ve $[K_{FF}]^i$ Bulunuşu

Makro elemanın rijitlik matrisi bulunduktan sonra ,makro elemanın serbest düğüm noktası sayısına göre rijitlik matrisi alt matrislere ayrılır. Serbest düğüm noktası bulunmayan makro elemanların rijitlik matrisi bölünmez ve  $[K_b]$  olarak hesaba dahil edilir. Serbest düğüm noktası olan makro elemanlarda ise, serbest düğüm noktalarının ortak düğüm noktalarına etkisi söz konusu olduğundan makro elemanın rijitlik matrisi bölünerek .  $K_{bb}$ ,  $K_{bF}$ ,  $K_{Fb}$  ve  $K_{FF}$  matrisleri elde edilir. Bu durumda  $[K_b]$  ayrıca (2.10) denklemini yardımı ile hesaplanır.

$$\begin{array}{c}
 \leftarrow \text{Ortk D.N. Sys. x Sat. k.s.} \rightarrow \leftarrow \text{Srbst D.N.Sys. x Sat. K.s.} \rightarrow I \\
 \left[ \begin{array}{c|c}
 \begin{array}{c} \vdots \\ K_{bb} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{array} & \begin{array}{c} \vdots \\ K_{bF} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{c} \vdots \\ K_{Fb} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{array} & \begin{array}{c} \vdots \\ K_{FF} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{array} \\
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \leftarrow \text{Ortk D.N. Sys. x Sat. k.s.} \rightarrow I \leftarrow \\
 \text{Srbst D.N.Sys. x Sat. K.s.} \\
 \rightarrow I
 \end{array}
 \quad (2.4)$$



Bu şekilde serbest düğüm noktalarında meydana gelecek deplasmanlar,

Şimdi de ortak düğüm noktalarının ankastre ve serbest olması durumlarını sırasıyla inceleyelim. Her durum için sınır şartları ve dış yüklerin etkileri kendine has bir özellik taşımaktadır.

### $\alpha$ . Ortak Düğüm Noktalarının Ankastre Olması Hali ( $\alpha$ durumu)

Elde edilen ilave yarımla ile ortak düğüm noktalarında oluşan ankastrelik tepki kuvvetleri dir.

İlk aşamada birbirine bitişik makro elemanların ortak düğüm noktaları ( b ) geçici olarak ankastre (  $\alpha$  durumu ) kabul edilir.

Bu varsayım bize her makro elemanı diğerlerinden bağımsız olarak inceleme olanağı verir. Ankastre kabul edilen düğüm noktalarında doğal olarak deplasman (  $r_b = 0$  ) oluşmaz. Ortak düğüm noktalarına etkiyen dış yükler, bu noktalarda herhangi bir deplasman oluşturamayacakları için bu aşamada hesaba katılmazlar (  $R_b = 0$  ). Bu sınır şartlarına göre vektörel ifadeler düzenlenirse;

$$\begin{aligned} r_b^i &= 0 \\ R_F^i &\neq 0 \\ R_b^{i\alpha} &= 0 + K_{bF}^i \times r_F^{i\alpha} \\ R_F^i &= 0 + K_{FF}^i \times r_F^{i\alpha} \end{aligned} \quad (2.4)$$

ifadeleri elde edilir. Burada, “  $R_b^\alpha$  “, ile makro sistem ortak düğüm noktaları bağlı iken serbest düğüm noktalarında makro sisteme etkiyen dış yükler sonucu, ortak düğüm noktalarında oluşan reaksiyon kuvvetlerini gösterilmekte olduğuna dikkat edilmelidir.



Bu şekilde serbest düğüm noktalarında meydana gelecek deplasmanlar,

$$\mathbf{r}_F^{i\alpha} = \mathbf{K}_{FF}^i{}^{-1} \times \mathbf{R}_F^i \quad \text{(2.5)}$$

denklemleriyle bulunur.

İkinci aşamada ise (  $\beta$  durumu ) makro eleman ortak düğüm noktaları ( b ) serbest bırakılarak ortak düğüm noktalarına etkiyen dış yüklerin, ilk aşamada hesaplanan ankastrelilik etkileri ile bileşkesi bulunur. Sisteme etkiyen dış yük olarak sadece bu

Elde edilen ifade yardımı ile ortak düğüm noktalarında oluşan ankastrelilik tepki kuvvetleri de,

$$\mathbf{R}_b^{i\alpha} = \mathbf{K}_{bF}^i \times \mathbf{K}_{FF}^i{}^{-1} \times \mathbf{R}_F^i \quad \text{(2.6)}$$

ile hesaplanır. Böylece ilk aşamada bilinmeyen tüm değerler hesaplanmış olur.

Vektörel ifadelerde  $\beta$  durumu sınır şartları sağlanırsa aşağıdaki bağıntılar elde edilir :

$$\mathbf{R}_b^{i\beta} = \mathbf{K}_{bb}^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta} + \mathbf{K}_{bf}^i \times \mathbf{r}_f^{i\beta} \quad \text{(2.7)}$$

$$0 = \mathbf{K}_{fb}^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta} + \mathbf{K}_{ff}^i \times \mathbf{r}_f^{i\beta}$$

(2.8)'daki ifadeler kullanılarak  $\beta$  durumu için serbest düğüm noktalarındaki deplasmanları veren (2.9) denklemini elde edilir.

$$\mathbf{r}_b^{i\beta} = -\mathbf{K}_{bb}^i{}^{-1} \times \mathbf{K}_{bf}^i \times \mathbf{r}_f^{i\beta} \quad \text{(2.9)}$$



### $\beta$ . Ortak Dügüm Noktalarının Serbest Olması Hali ( $\beta$ durumu)

İkinci aşamada ise ( $\beta$  durumu) makro eleman ortak düğüm noktaları ( $b$ ) serbest bırakılarak ortak düğüm noktalarına etkiyen dış yüklerin, ilk aşamada hesaplanan ankastrelik etkileri ile bileşkesi bulunur. Sisteme etkiyen dış yük olarak sadece bu bileşke değer kabul edilir.

$$\mathbf{R}_F^i = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{r}_b^i \neq \mathbf{0}$$

$$\mathbf{R}_b^{i\beta} = \mathbf{R}_b^i - \mathbf{R}_b^{i\alpha}$$

(2.10)

(2.7)

Vektörel ifadelerde  $\beta$  durumu sınır şartları sağlanırsa aşağıdaki bağıntılar elde edilir :

$$\mathbf{R}_b^{i\beta} = \mathbf{K}_{bb}^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta} + \mathbf{K}_{bF}^i \times \mathbf{r}_F^{i\beta}$$

(2.8)

$$\mathbf{0} = \mathbf{K}_{Fb}^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta} + \mathbf{K}_{FF}^i \times \mathbf{r}_F^{i\beta}$$

(2.8)'deki ifadeler kullanılarak  $\beta$  durumu için serbest düğüm noktalarındaki deplasmanları veren (2.9) denklemi elde edilir.

$$\mathbf{r}_F^{i\beta} = -\mathbf{K}_{FF}^{i-1} \times \mathbf{K}_{Fb}^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta}$$

(2.9)



(2.9) denklemi

$$\mathbf{R}_b^{i\beta} = \mathbf{K}_{bb}^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta} + \mathbf{K}_{bF}^i \times \mathbf{r}_F^{i\beta}$$

ifadesine konularak düzenlenirse,

$$\mathbf{R}_b^{i\beta} = \left( \mathbf{K}_{bb}^i - \mathbf{K}_{bF}^i \times \mathbf{K}_{FF}^{i-1} \times \mathbf{K}_{Fb}^i \right) \times \mathbf{r}_b^{i\beta}$$

(2.10)

$$\mathbf{K}_b^i = \mathbf{K}_{bb}^i - \mathbf{K}_{bF}^i \times \mathbf{K}_{FF}^{i-1} \times \mathbf{K}_{Fb}^i$$

ve

$$\mathbf{R}_b^{i\beta} = \mathbf{K}_b^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta}$$

(2.11)

elde edilir.

Burada  $\mathbf{K}_b^i$ , (i) makro elemanın ortak düğüm noktasına yaptığı rijitlik katkısıdır.

Her makro elemanın rijitlik katkıları süperpoze edilerek toplam sistem için " $\mathbf{K}_b$ " bulmak mümkündür. " $\mathbf{K}_b$ " bulunurken biriktirme metodu kullanılır.

Sistemin ortak düğüm noktalarına etkiyen yükler;

$$\mathbf{R}_b^\beta = \mathbf{R}_b - \mathbf{R}_b^\alpha$$

(2.12)

ifadesi ile, ortak düğüm noktalarında meydana gelen deplasmanlar da;



$$\mathbf{r}_b^\beta = \mathbf{K}_b^{-1} \times \mathbf{R}_b^\beta \quad (2.13)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Serbest düğüm noktası deplasmanları da, sınırların ankastre ve serbest olması durumlarının toplanması ile bulunur.

$$\mathbf{r}_F^i = \mathbf{K}_{FF}^{i-1} \times (\mathbf{R}_F^i - \mathbf{K}_{Fb}^i \times \mathbf{r}_b^{i\beta}) \quad (2.14)$$

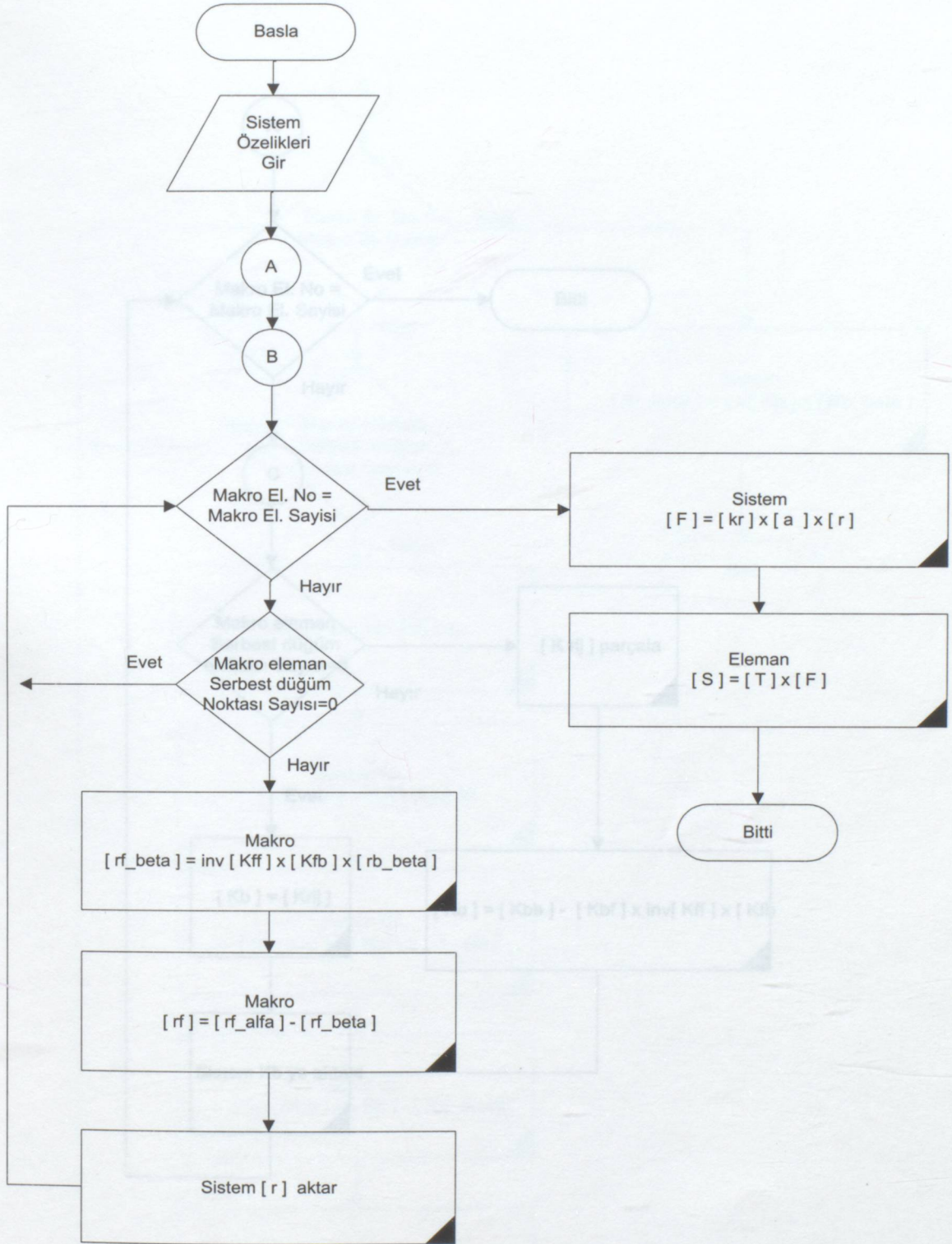
Böylece sistemin bütün düğüm noktası deplasmanları hesaplanmış olur. Deplasmanlar bilindiğine göre artık matris deplasman metodu ifadeleri yardımı ile çubuk bağımsız iç kuvvetleri ve çubuk iç kuvvetleri hesaplanabilir.

$$[\mathbf{F}] = [\mathbf{kr}] \times [\mathbf{a}] \times [\mathbf{r}] \quad (2.15)$$

$$[\mathbf{S}] = [\mathbf{T}] \times [\mathbf{F}] \quad (2.16)$$

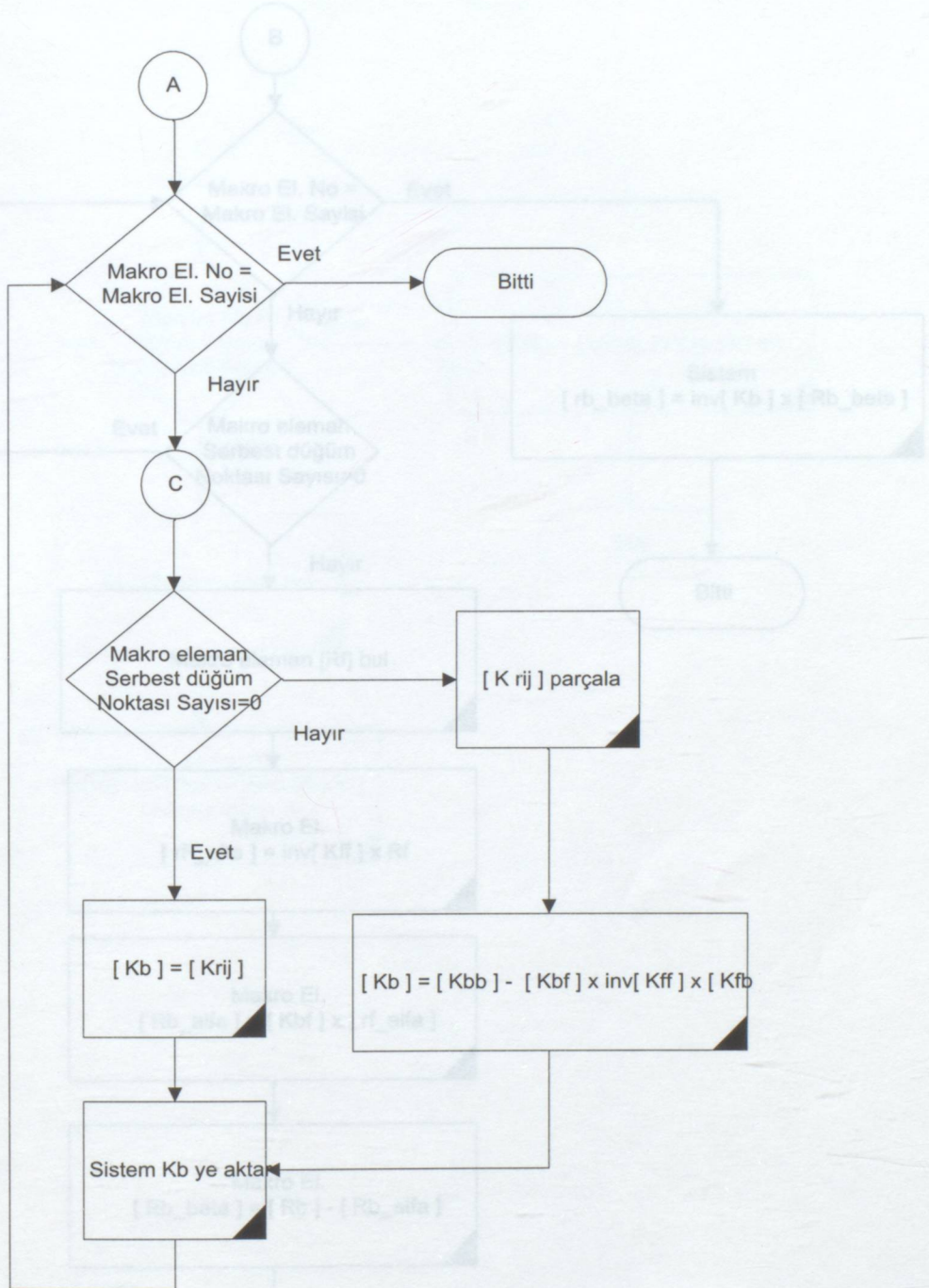


Makro eleman analiz programı akış diyagramı: *diyagramı - (A) -*



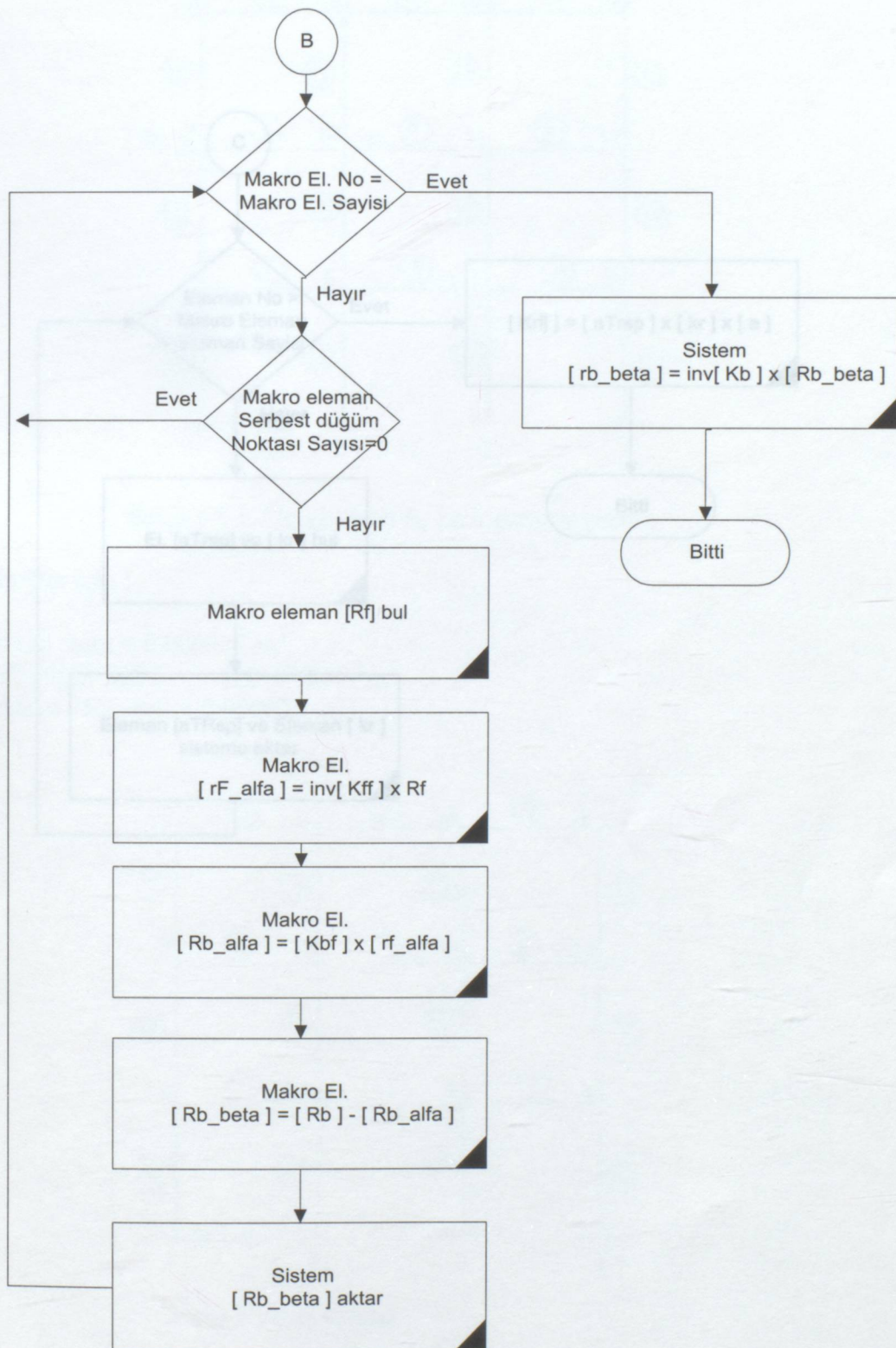


Sistem [Kb] matrisinin hesaplanmasına ait akış diyagramı - ( A ) -  
Sistem rb hesabı akış diyagramı ( B )



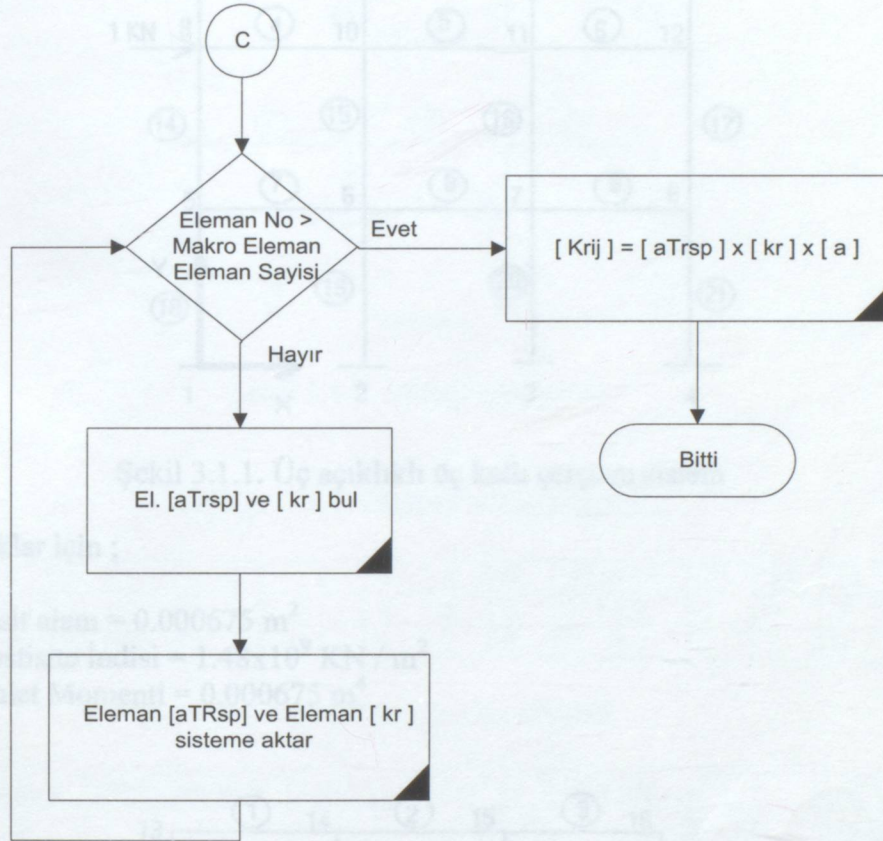


Makro eleman rijitlik matrisinin hesabı için akış diyagramı: - ( C ) -  
Sistem rb hesabı akış diyagramı ( B )



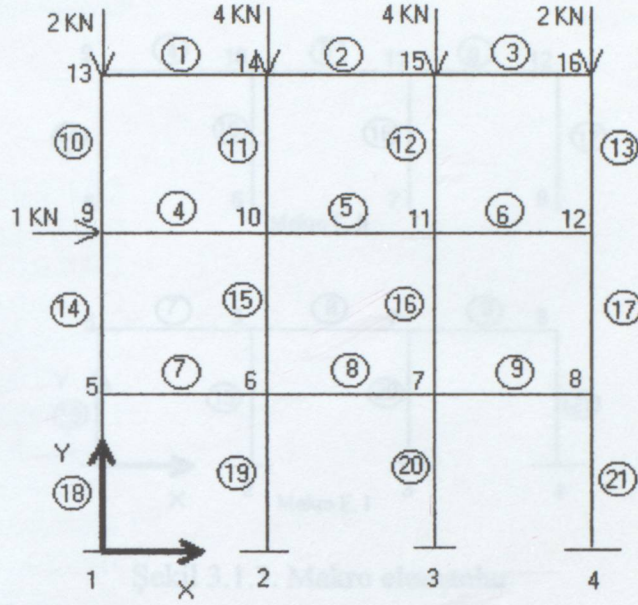


Makro eleman rijitlik matrisinin hesabı için akış diyagramı: - ( C ) -





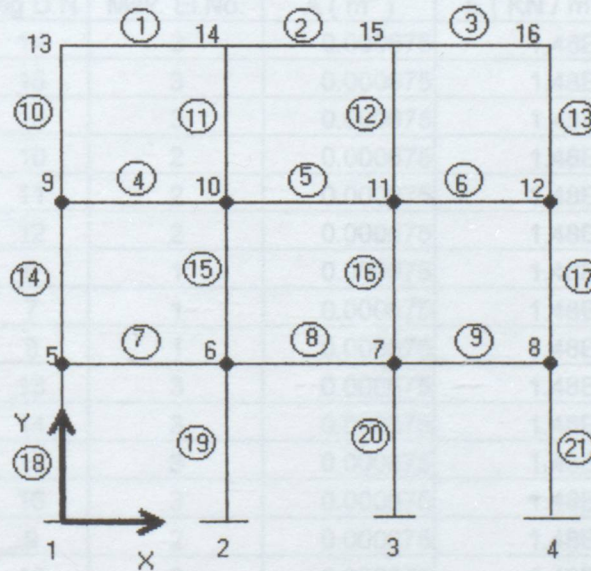
## 3.1. SAYISAL ÖRNEK 1



Şekil 3.1.1. Üç açıklıklı üç katlı çerçeve sistem

Tüm çubuklar için ;

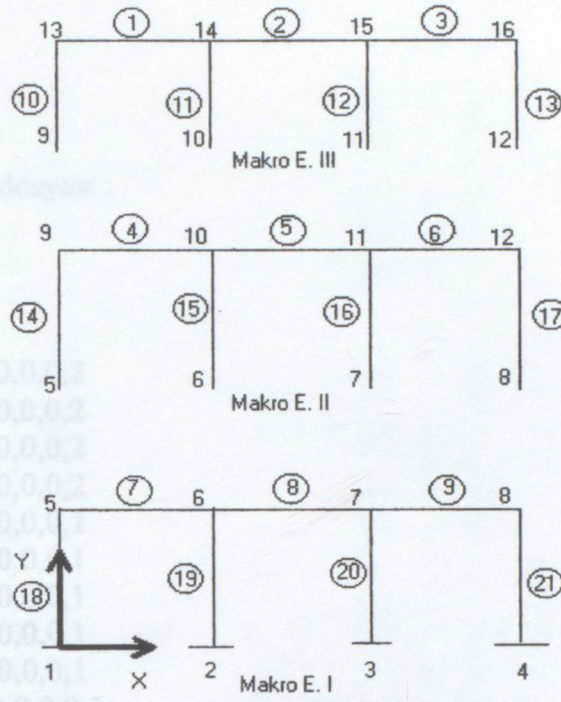
$$\begin{aligned} \text{Kesit alanı} &= 0.000675 \text{ m}^2 \\ \text{Elastisite İndisi} &= 1.48 \times 10^9 \text{ KN / m}^2 \\ \text{Atalet Momenti} &= 0.000675 \text{ m}^4 \end{aligned}$$



• : Ortak Düşüm Noktaları

Şekil 3.1.2. Bölünmüş sistem





Şekil 3.1.3. Makro elemanlar

Çizelge 3.1.1. Düğüm noktası tablosu

D.N.No :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
X	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Y	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3

Çizelge 3.1.2. Eleman tablosu

El. No	Sol D.N.	Sağ D.N.	Mak. El.No.	A (m <sup>2</sup> )	E (KN/m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )
1	13	14	3	0.000675	1.48E+09	0.000675
2	14	15	3	0.000675	1.48E+09	0.000675
3	15	16	3	0.000675	1.48E+09	0.000675
4	9	10	2	0.000675	1.48E+09	0.000675
5	10	11	2	0.000675	1.48E+09	0.000675
6	11	12	2	0.000675	1.48E+09	0.000675
7	5	6	1	0.000675	1.48E+09	0.000675
8	6	7	1	0.000675	1.48E+09	0.000675
9	7	8	1	0.000675	1.48E+09	0.000675
10	9	13	3	0.000675	1.48E+09	0.000675
11	10	14	3	0.000675	1.48E+09	0.000675
12	11	15	3	0.000675	1.48E+09	0.000675
13	12	16	3	0.000675	1.48E+09	0.000675
14	5	9	2	0.000675	1.48E+09	0.000675
15	6	10	2	0.000675	1.48E+09	0.000675
16	7	11	2	0.000675	1.48E+09	0.000675
17	8	12	2	0.000675	1.48E+09	0.000675
18	1	5	1	0.000675	1.48E+09	0.000675
19	2	6	1	0.000675	1.48E+09	0.000675
20	3	7	1	0.000675	1.48E+09	0.000675
21	4	8	1	0.000675	1.48E+09	0.000675



Analiz programı veri dosyası :

Sistem,3,21,16

Dugum,1,0,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,2,1,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,3,2,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,4,3,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,5,0,1,0,0,0,0,0,0,1  
 Dugum,6,1,1,0,0,0,0,0,0,1  
 Dugum,7,2,1,0,0,0,0,0,0,1  
 Dugum,8,3,1,0,0,0,0,0,0,1  
 Dugum,9,0,2,0,1,0,0,0,0,1  
 Dugum,10,1,2,0,0,0,0,0,0,1  
 Dugum,11,2,2,0,0,0,0,0,0,1  
 Dugum,12,3,2,0,0,0,0,0,0,1  
 Dugum,13,0,3,0,0,-2,0,0,0,0  
 Dugum,14,1,3,0,0,-4,0,0,0,0  
 Dugum,15,2,3,0,0,-4,0,0,0,0  
 Dugum,16,3,3,0,0,-2,0,0,0,0

Eleman,1,13,14,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,2,14,15,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,3,15,16,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,4,9,10,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,5,10,11,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,6,11,12,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,7,5,6,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,8,6,7,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,9,7,8,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,10,9,13,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,11,10,14,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,12,11,15,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,13,12,16,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,14,5,9,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,15,6,10,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,16,7,11,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,17,8,12,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,18,1,5,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,19,2,6,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,20,3,7,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0  
 Eleman,21,4,8,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0



































Sistem rb =

1.82E-07  
 -2.74E-06  
 3.03E-07  
 1.01E-07  
 -2.96E-06  
 1.74E-07  
 8.46E-08  
 -3.10E-06  
 1.29E-07  
 7.70E-08  
 -3.21E-06  
 1.17E-07  
 5.71E-07  
 -5.62E-06  
 4.01E-07  
 3.40E-07  
 -5.96E-06  
 2.86E-07  
 2.43E-07  
 -6.17E-06  
 1.50E-07  
 1.94E-07  
 -6.27E-06  
 8.17E-08

Sistem r =

1.82E-07  
 -2.74E-06  
 3.03E-07  
 1.01E-07  
 -2.96E-06  
 1.74E-07  
 8.46E-08  
 -3.10E-06  
 1.29E-07  
 7.70E-08  
 -3.21E-06  
 1.17E-07  
 5.71E-07  
 -5.62E-06  
 4.01E-07  
 3.40E-07  
 -5.96E-06  
 2.86E-07  
 2.43E-07  
 -6.17E-06  
 1.50E-07  
 1.94E-07  
 -6.27E-06  
 8.17E-08  
 1.02E-06  
 -8.50E-06  
 5.54E-07  
 6.96E-07  
 -9.07E-06  
 4.30E-07  
 3.48E-07  
 -9.30E-06  
 2.89E-08  
 1.85E-07  
 -9.17E-06  
 -1.28E-07

Sistem rF\_alfa

Sistem rF\_beta

Sistem rF

1.36E-07	-8.86E-07		1.02E-06
-2.86E-06	5.65E-06		-8.50E-06
2.81E-07	-2.73E-07		5.54E-07
7.53E-08	-6.21E-07		6.96E-07
-3.15E-06	5.92E-06		-9.07E-06
1.66E-07	-2.64E-07	=	4.30E-07
-7.53E-08	-4.23E-07		3.48E-07
-3.15E-06	6.15E-06		-9.30E-06
-1.66E-07	-1.95E-07		2.89E-08
-1.36E-07	-3.20E-07		1.85E-07
-2.86E-06	6.32E-06		-9.17E-06
-2.81E-07	-1.53E-07		-1.28E-07



S1=	3.25E-01 0.880268674 -0.315671464 -3.25E-01 -0.880268674 -0.564597211	S8=	1.69E-02 -0.178869101 0.134811967 -1.69E-02 0.178869101 4.41E-02	S15=	2.995315598 0.109500348 -0.166030484 -2.995315598 -0.109500348 5.65E-02
-----	--	-----	---	------	--

S2=	3.48E-01 -1.73E-02 0.409000862 -3.48E-01 1.73E-02 -0.391656583	S9=	7.60E-03 -0.148963272 8.59E-02 -7.60E-03 0.148963272 6.31E-02	S16=	3.067214396 2.33E-01 -0.137350427 -3.067214396 -2.33E-01 -9.58E-02
-----	---	-----	--	------	---

S3=	1.63E-01 -0.895643747 0.604609504 -1.63E-01 0.895643747 0.291034243	S10=	2.880268674 -3.25E-01 8.99E-03 -2.880268674 3.25E-01 0.315671464	S17=	3.058637652 2.12E-01 -7.04E-02 -3.058637652 -2.12E-01 -0.141634192
-----	--	------	---	------	---

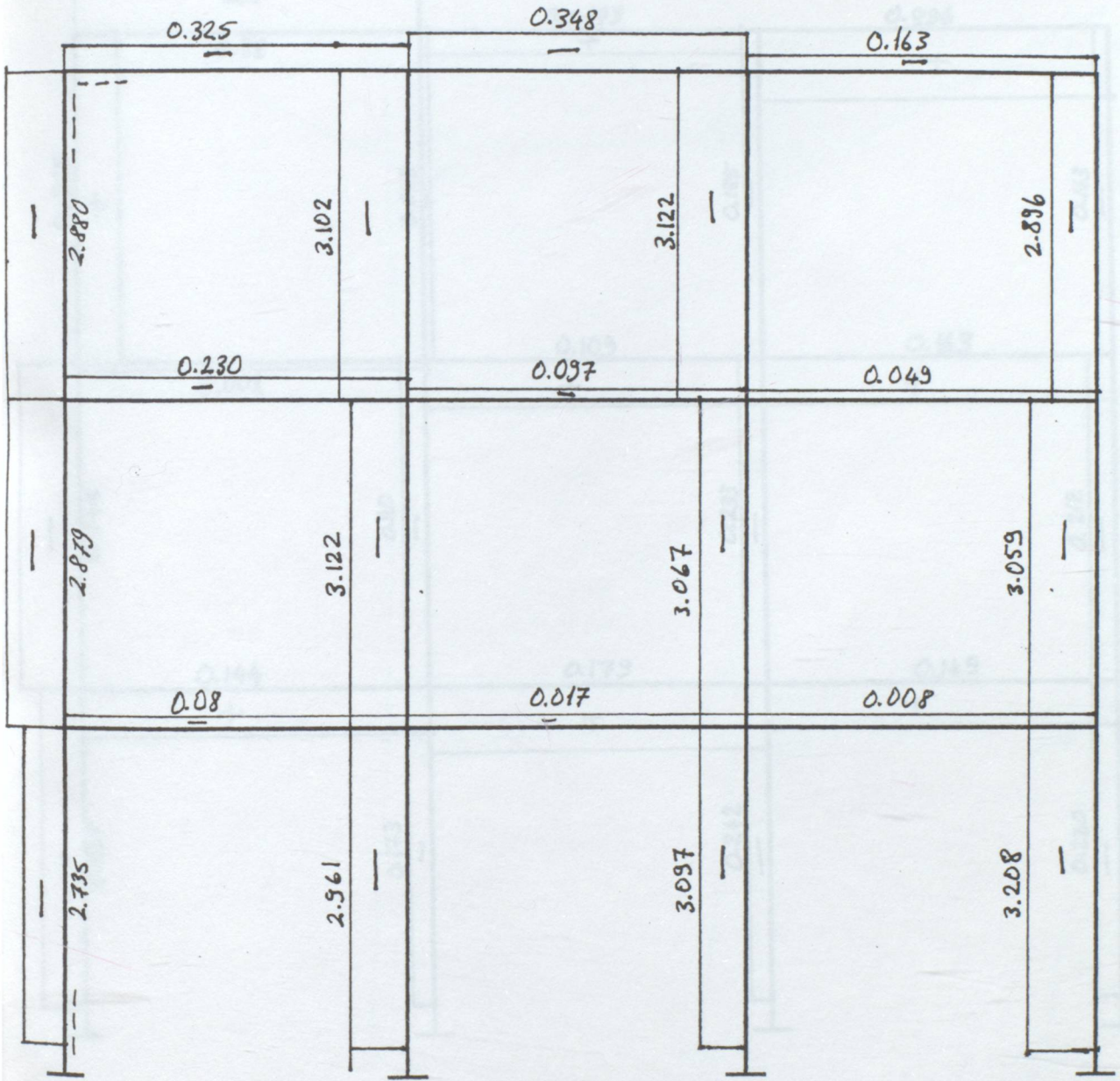
S4=	0.230012351 -1.44E-03 1.16E-01 -0.230012351 1.44E-03 -1.14E-01	S11=	3.102387047 -0.023298249 -1.32E-01 -3.102387047 0.023298249 0.155596349	S18=	2.734543311 0.365067762 -0.484987358 -2.734543311 -0.365067762 1.20E-01
-----	---	------	--	------	--

S5=	9.72E-02 -0.108507769 1.90E-01 -9.72E-02 0.108507769 -8.16E-02	S12=	3.121700532 1.85E-01 2.81E-02 -3.121700532 -1.85E-01 -0.21295292	S19=	2.96073554 0.172861663 -0.260409984 -2.96073554 -0.172861663 8.75E-02
-----	---	------	---	------	--

S6=	4.90E-02 -0.162993905 1.49E-01 -4.90E-02 0.162993905 1.37E-02	S13=	2.895643747 1.63E-01 0.127947945 -2.895643747 -1.63E-01 -0.291034243	S20=	3.097120225 2.42E-01 -0.249806678 -3.097120225 -2.42E-01 7.40E-03
-----	--	------	---	------	--

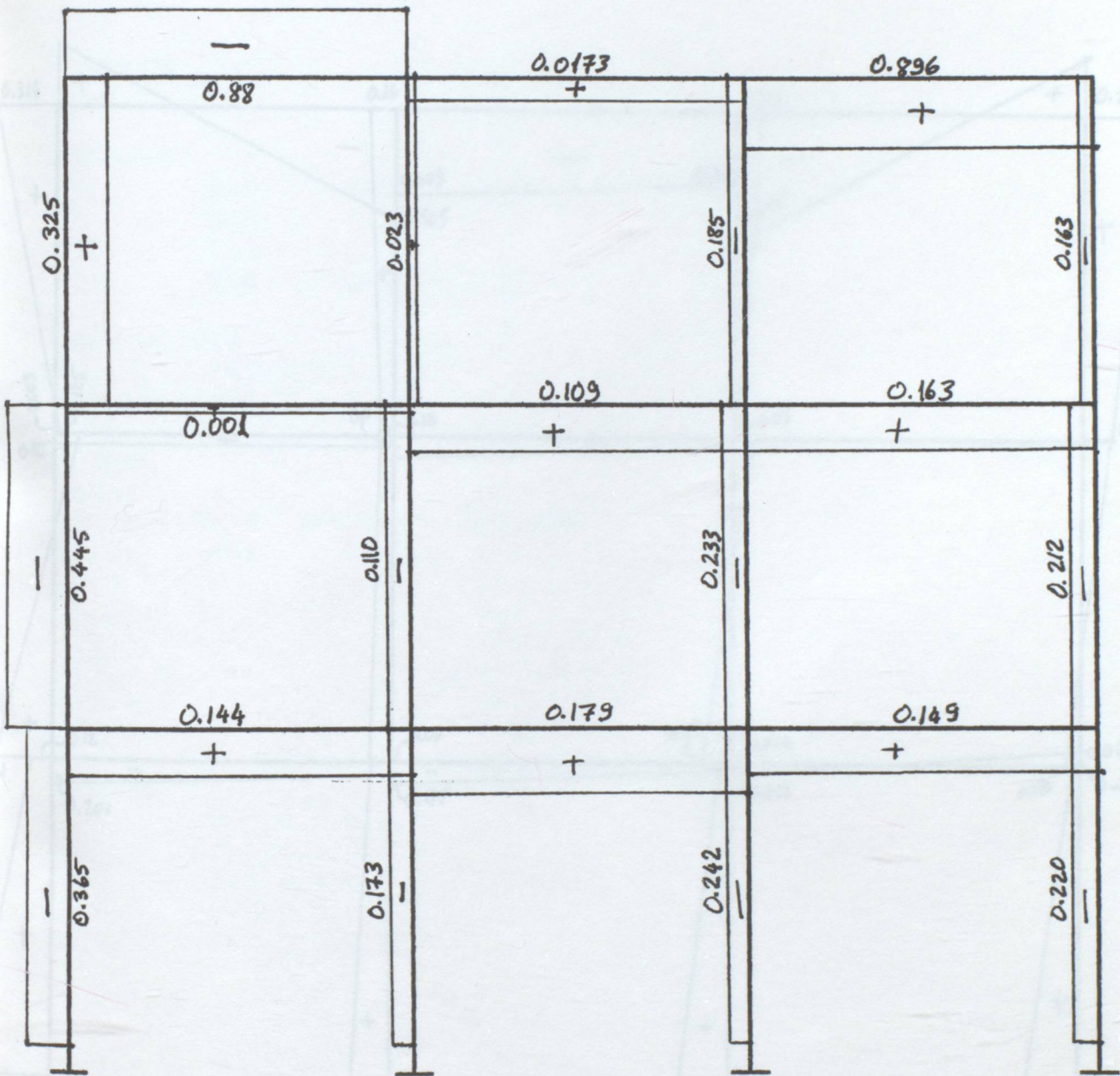
S7=	8.03E-02 -0.144289042 0.200618846 -8.03E-02 0.144289042 -5.63E-02	S14=	2.878832354 0.445322099 -0.320538443 -2.878832354 -0.445322099 -0.124783656	S21=	3.207600924 2.20E-01 -2.27E-01 -3.207600924 -2.20E-01 7.36E-03
-----	--	------	--	------	---





(N)

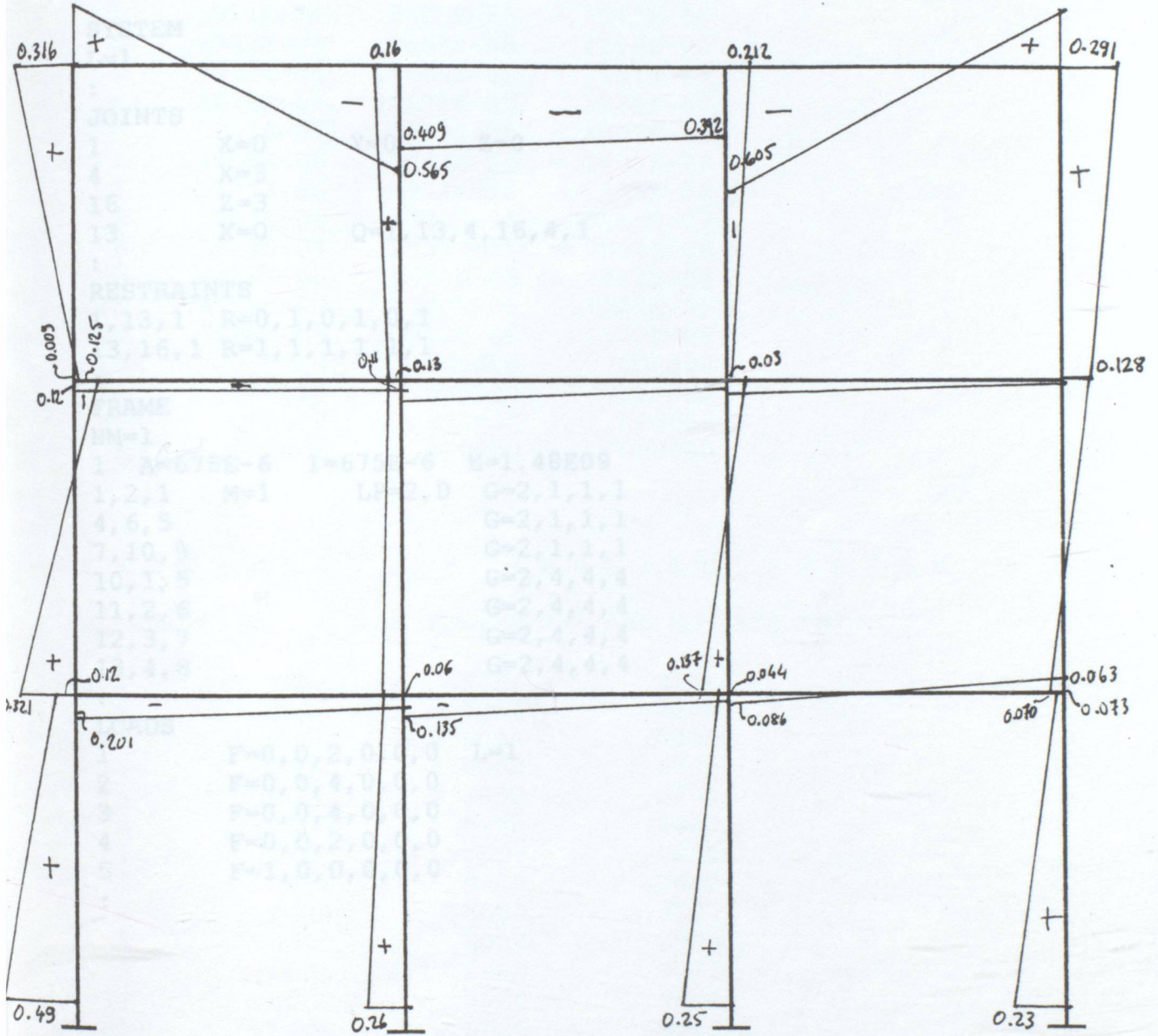




(Q)



3.2. Sistem in SAP90 Be Yapılan Çizim



(M)



### 3.2. Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

```

SYSTEM
L=1
:
JOINTS
1      X=0      Y=0      Z=0
4      X=3
16     Z=3
13     X=0      Q=1,13,4,16,4,1
:
RESTRAINTS
1,13,1 R=0,1,0,1,0,1
13,16,1 R=1,1,1,1,1,1
:
FRAME
NM=1
1      A=675E-6  I=675E-6  E=1.48E09
1,2,1  M=1      LP=2,0  G=2,1,1,1
4,6,5
7,10,9
10,1,5
11,2,6
12,3,7
13,4,8
:
LOADS
1      F=0,0,2,0,0,0  L=1
2      F=0,0,4,0,0,0
3      F=0,0,4,0,0,0
4      F=0,0,2,0,0,0
5      F=1,0,0,0,0,0
:
TOTAL

```



## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)	AXIAL FORCE
1	.1021E-05	.8502E-05	-.5542E-06	
2	.6961E-06	.9068E-05	-.4296E-06	-.325
3	.3478E-06	.9295E-05	-.2891E-07	
4	.1846E-06	.9171E-05	.1280E-06	
5	.5707E-06	.5619E-05	-.4007E-06	-.325
6	.3405E-06	.5962E-05	-.2855E-06	
7	.2432E-06	.6171E-05	-.1495E-06	-.348
8	.1941E-06	.6273E-05	-.8166E-07	
9	.1818E-06	.2737E-05	-.3028E-06	
10	.1015E-06	.2964E-05	-.1742E-06	-.348
11	.8459E-07	.3100E-05	-.1287E-06	
12	.7698E-07	.3211E-05	-.1173E-06	-.163
13	.000000	.000000	.000000	
14	.000000	.000000	.000000	
15	.000000	.000000	.000000	-.163
16	.000000	.000000	.000000	-.230

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Z)	M(Y)
1	.0000	2.0000	.0000
2	.0000	4.0000	.0000
3	.0000	4.0000	.0000
4	.0000	2.0000	.0000
5	1.0000	.0000	.0000
6	.0000	.0000	.0000
7	.0000	.0000	.0000
8	.0000	.0000	.0000
9	.0000	.0000	.0000
10	.0000	.0000	.0000
11	.0000	.0000	.0000
12	.0000	.0000	.0000
13	-.3651	-2.7345	.4850
14	-.1729	-2.9607	.2604
15	-.2424	-3.0971	.2498
16	-.2197	-3.2076	.2270
TOTAL	.1110E-15	-.1332E-14	.1222E+01



## FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE
			SHEAR	MOMENT	
1	1	.000			-.325
		.000	.880	-.565	
		1.000	.880	.316	
		1.000			-.325
2	1	.000			-.348
		.000	-.017	-.392	
		1.000	-.017	-.409	
		1.000			-.348
3	1	.000			-.163
		.000	-.896	.291	
		1.000	-.896	-.605	
		1.000			-.163
4	1	.000			-.230
		.000	-.001	-.114	
		1.000	-.001	-.116	
		1.000			-.230
5	1	.000			-.097
		.000	-.109	-.082	
		1.000	-.109	-.190	
		1.000			-.097
6	1	.000			-.049
		.000	-.163	.014	
		1.000	-.163	-.149	
		1.000			-.049
7	1	.000			-.080
		.000	-.144	-.056	
		1.000	-.144	-.201	
		1.000			-.080



## FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE SHEAR	MOMENT	AXIAL FORCE
8	1	.000			-.017
		.000	-.179	.044	
		1.000	-.179	-.135	
		1.000			-.017
9	1	.000			-.008
		.000	-.149	.063	
		1.000	-.149	-.086	
		1.000			-.008
10	1	.000			-2.880
		.000	-.325	.316	
		1.000	-.325	-.009	
		1.000			-2.880
11	1	.000			-3.102
		.000	-.023	.156	
		1.000	-.023	.132	
		1.000			-3.102
12	1	.000			-3.122
		.000	.185	-.213	
		1.000	.185	-.028	
		1.000			-3.122
13	1	.000			-2.896
		.000	.163	-.291	
		1.000	.163	-.128	
		1.000			-2.896
14	1	.000			-2.879
		.000	.445	-.125	
		1.000	.445	.321	
		1.000			-2.879



## SAYISAL ÖRNEK 2

## FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE
			SHEAR	MOMENT	
15	1	.000			-2.995
		.000	.110	.057	
		1.000	.110	.166	
		1.000			-2.995
16	1	.000			-3.067
		.000	.233	-.096	
		1.000	.233	.137	
		1.000			-3.067
17	1	.000			-3.059
		.000	.212	-.142	
		1.000	.212	.070	
		1.000			-3.059
18	1	.000			-2.735
		.000	.365	.120	
		1.000	.365	.485	
		1.000			-2.735
19	1	.000			-2.961
		.000	.173	.088	
		1.000	.173	.260	
		1.000			-2.961
20	1	.000			-3.097
		.000	.242	.007	
		1.000	.242	.250	
		1.000			-3.097
21	1	.000			-3.208
		.000	.220	.007	
		1.000	.220	.227	
		1.000			-3.208







Analiz programı veri dosyası :

Sistem,3,21,16

Dugum,1,0,0,0,0,0,0,0,0,2

Dugum,2,1,0,0,0,0,0,0,0,2

Dugum,3,2,0,0,0,0,0,0,0,2

Dugum,4,3,0,0,0,0,0,0,0,2

Dugum,5,0,1,0,0,0,0,0,0,-5,1

Dugum,6,1,1,0,0,0,0,0,0,-5,1

Dugum,7,2,1,0,0,0,0,0,0,-5,1

Dugum,8,3,1,0,0,0,0,0,0,-5,1

Dugum,9,0,2,0,1,0,0,0,0,-5,1

Dugum,10,1,2,0,0,0,0,0,0,-5,1

Dugum,11,2,2,0,0,0,0,0,0,-5,1

Dugum,12,3,2,0,0,0,0,0,0,-5,1

Dugum,13,0,3,0,0,-2,0,0,0,-5,0

Dugum,14,1,3,0,0,-4,0,0,0,-5,0

Dugum,15,2,3,0,0,-4,0,0,0,-5,0

Dugum,16,3,3,0,0,-2,0,0,0,-5,0

Eleman,1,13,14,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,2,14,15,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,3,15,16,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,4,9,10,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,5,10,11,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,6,11,12,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,7,5,6,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,8,6,7,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,9,7,8,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,10,9,13,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,11,10,14,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,12,11,15,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,13,12,16,3,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,14,5,9,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,15,6,10,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,16,7,11,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,17,8,12,2,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,18,1,5,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,19,2,6,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,20,3,7,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0

Eleman,21,4,8,1,0.000675,1480000000,0,0,0,0.000675,0







S1=	-2.95E-01 4.194772924 -2.637567069 2.95E-01 -4.194772924 -1.557205855	S8=	1.69E-02 3.991382 -1.950313584 -1.69E-02 -3.991382 -2.04E+00	S15=	5.173844751 -0.689896068 4.613015035 -5.173844751 0.689896068 -3.92E+00
-----	--	-----	---	------	--

S2=	0.347963799 4.363150317 -1.781246436 -0.347963799 -4.363150317 -2.581903881	S9=	-7.47E-03 3.002831737 -1.26E+00 7.47E-03 -3.002831737 -1.74E+00	S16=	0.888685244 -5.66E-01 4.641695092 -0.888685244 5.66E-01 -4.08E+00
-----	--	-----	--	------	--

S3=	7.83E-01 2.418860503 -0.387999141 -7.83E-01 -2.418860503 -2.030861362	S10=	6.194772924 2.95E-01 2.07E+00 -6.194772924 -2.95E-01 -2.362432931	S17=	-3.581046967 1.01E+00 4.10E+00 3.581046967 -1.01E+00 -5.113193585
-----	--	------	--	------	--

S4=	5.08E-02 3.32E+00 -1.97E+00 -5.08E-02 -3.32E+00 -1.35E+00	S11=	4.168377393 -0.643434086 2.30E+00 -4.168377393 0.643434086 -1.661547709	S18=	12.52602294 1.14939545 6.095645319 -12.52602294 -1.14939545 -7.25E+00
-----	--	------	--	------	--

S5=	9.72E-02 4.329211407 -2.03E+00 -9.72E-02 -4.329211407 -2.30E+00	S12=	2.055710186 -4.35E-01 2.47E+00 -2.055710186 4.35E-01 -2.030096979	S19=	6.157720784 -0.611466025 6.873245275 -6.157720784 0.611466025 -6.26E+00
-----	--	------	--	------	--

S6=	2.28E-01 3.162186465 -1.09E+00 -2.28E-01 -3.162186465 -2.07E+00	S13=	-0.418860503 7.83E-01 2.185916504 0.418860503 -7.83E-01 -2.969138638	S20=	-9.99E-02 -5.42E-01 6.88384858 9.99E-02 5.42E-01 -6.34E+00
-----	--	------	---	------	---

S7=	9.53E-02 3.007505967 -1.606583765 -9.53E-02 -3.007505967 -1.40E+00	S14=	9.518516973 1.244718516 3.851624533 -9.518516973 -1.244718516 -5.096343049	S21=	-6.583878704 1.00E+00 6.35E+00 6.583878704 -1.00E+00 -7.36E+00
-----	---	------	---	------	---



## 4.2. Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü

```

JOINT DISPLACEMENTS
SYSTEM CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"
L=1
:
JOINTS
1 2 X=0 Y=0 Z=0 .1283E-04
4 3 X=3 .2847E-05 .1323E-04
16 4 Z=3 .1059E-04 .1405E-04
13 5 X=0 Q=1,13,4,16,4,1 .1116E-04
:
RESTRAINTS
1,13,1 R=0,1,0,1,0,1 .1019E-04 .1147E-04
13,16,1 R=1,1,1,1,1,1 .1254E-04 .6677E-05
:
FRAME
NM=1
1 A=675E-6 I=675E-6 E=1480000000 .000000
1,2,1 M=1 LP=2,0 G=2,1,1,1 .000000
4,6,5 G=2,1,1,1 .000000
7,10,9 G=2,1,1,1 .000000
10,1,5 G=2,4,4,4
11,2,6 G=2,4,4,4
12,3,7 G=2,4,4,4
13,4,8 G=2,4,4,4
:
LOADS CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"
L=1
1 F=0,0,2,0,5,0
2 F=0,0,4,0,5,0
3 F=0,0,4,0,5,0
4 F=0,0,2,0,5,0
5 F=1,0,0,0,5,0
6 F=0,0,0,0,5,0
7 F=0,0,0,0,5,0
8 F=0,0,0,0,5,0
9 F=0,0,0,0,5,0
10 F=0,0,0,0,5,0
11 F=0,0,0,0,5,0
12 F=0,0,0,0,5,0
:
TOTAL .2320E-15 .1776E-14 .3379E+02

```



## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Z)	R(Y)
1	-.2429E-04	.2827E-04	.1337E-04
2	-.2400E-04	.1552E-04	.1283E-04
3	-.2435E-04	.2847E-05	.1323E-04
4	-.2513E-04	-.1059E-04	.1405E-04
5	-.1206E-04	.2207E-04	.1116E-04
6	-.1211E-04	.1134E-04	.1085E-04
7	-.1220E-04	.7896E-06	.1098E-04
8	-.1243E-04	-.1018E-04	.1147E-04
9	-.3243E-05	.1254E-04	.6677E-05
10	-.3338E-05	.6164E-05	.6574E-05
11	-.3355E-05	-.9996E-07	.6620E-05
12	-.3347E-05	-.6590E-05	.6862E-05
13	.000000	.000000	.000000
14	.000000	.000000	.000000
15	.000000	.000000	.000000
16	.000000	.000000	.000000

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Z)	M(Y)
1	.0000	2.0000	5.0000
2	.0000	4.0000	5.0000
3	.0000	4.0000	5.0000
4	.0000	2.0000	5.0000
5	1.0000	.0000	5.0000
6	.0000	.0000	5.0000
7	.0000	.0000	5.0000
8	.0000	.0000	5.0000
9	.0000	.0000	5.0000
10	.0000	.0000	5.0000
11	.0000	.0000	5.0000
12	.0000	.0000	5.0000
13	-1.1494	-12.5260	-6.0956
14	.6115	-6.1577	-6.8732
15	.5419	.0999	-6.8838
16	-1.0040	6.5839	-6.3536
TOTAL	.2220E-15	-.1776E-14	.3379E+02



## FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE
			SHEAR	MOMENT	
1 -----					
1	1	.000			.295
		.000	4.195	-1.557	
		1.000	4.195	2.638	
		1.000			.295
2 -----					
2	1	.000			-.348
		.000	4.363	-2.582	
		1.000	4.363	1.781	
		1.000			-.348
3 -----					
3	1	.000			-.783
		.000	2.419	-2.031	
		1.000	2.419	.388	
		1.000			-.783
4 -----					
4	1	.000			-.051
		.000	3.324	-1.353	
		1.000	3.324	1.971	
		1.000			-.051
5 -----					
5	1	.000			-.097
		.000	4.329	-2.300	
		1.000	4.329	2.029	
		1.000			-.097
6 -----					
6	1	.000			-.228
		.000	3.162	-2.073	
		1.000	3.162	1.089	
		1.000			-.228
7 -----					
7	1	.000			-.095
		.000	3.008	-1.401	
		1.000	3.008	1.607	
		1.000			-.095



## F R A M E   E L E M E N T   F O R C E S

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE
			SHEAR	MOMENT	
8	1	.000			-.017
		.000	3.991	-2.041	
		1.000	3.991	1.950	
		1.000			-.017
9	1	.000			.007
		.000	3.003	-1.744	
		1.000	3.003	1.259	
		1.000			.007
10	1	.000			-6.195
		.000	.295	-2.362	
		1.000	.295	-2.067	
		1.000			-6.195
11	1	.000			-4.168
		.000	-.643	-1.662	
		1.000	-.643	-2.305	
		1.000			-4.168
12	1	.000			-2.056
		.000	-.435	-2.030	
		1.000	-.435	-2.465	
		1.000			-2.056
13	1	.000			.419
		.000	.783	-2.969	
		1.000	.783	-2.186	
		1.000			.419
14	1	.000			-9.519
		.000	1.245	-5.096	
		1.000	1.245	-3.852	
		1.000			-9.519



## 5.1. SAYISAL ÖRNEK 3

## FRAME ELEMENT FORCES

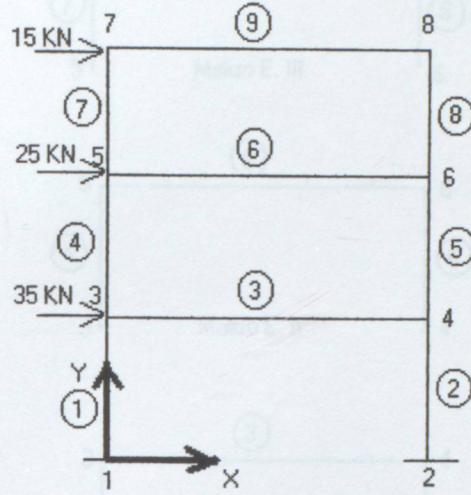
ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE
			SHEAR	MOMENT	
15	1	.000			-5.174
		.000	-.690	-3.923	
		1.000	-.690	-4.613	
		1.000			-5.174
16	1	.000			-.889
		.000	-.566	-4.075	
		1.000	-.566	-4.642	
		1.000			-.889
17	1	.000			3.581
		.000	1.011	-5.113	
		1.000	1.011	-4.102	
		1.000			3.581
18	1	.000			-12.526
		.000	1.149	-7.245	
		1.000	1.149	-6.096	
		1.000			-12.526
19	1	.000			-6.158
		.000	-.611	-6.262	
		1.000	-.611	-6.873	
		1.000			-6.158
20	1	.000			.100
		.000	-.542	-6.342	
		1.000	-.542	-6.884	
		1.000			.100
21	1	.000			6.584
		.000	1.004	-7.358	
		1.000	1.004	-6.354	
		1.000			6.584

\* - Ötek. Dugun Nömleri

Şekil 5.1.2. Bölünmüş sistem



## 5.1. SAYISAL ÖRNEK 3



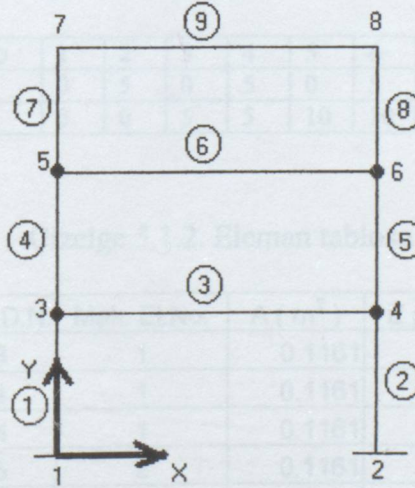
Şekil 5.1.1. Üç katlı tek açıklıklı çerçeve sistem

Tüm çubuklar için ;

$$\text{Kesit alanı} = 0.1161 \text{ m}^2$$

$$\text{Elastisite İndisi} = 2.48 \times 10^7 \text{ KN / m}^2$$

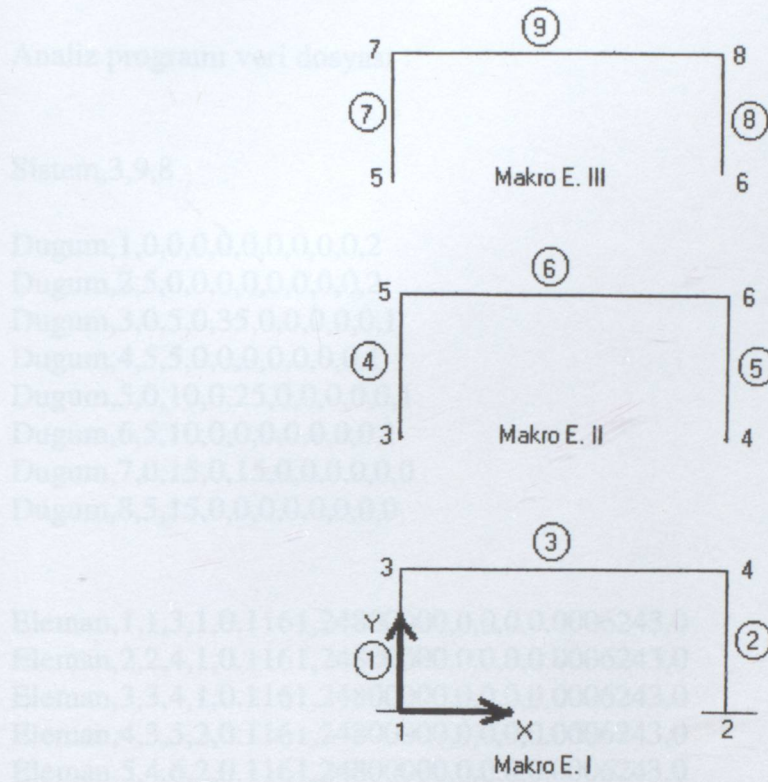
$$\text{Atalet Momenti} = 0.0006243 \text{ m}^4$$



● : Ortak Düğüm Noktaları

Şekil 5.1.2. Bölünmüş sistem





Şekil 5.1.3. Makro elemanlar

Çizelge 5.1.1. Düğüm noktası tablosu

D.N.No :	1	2	3	4	5	6	7	8
X	0	5	0	5	0	5	0	5
Y	0	0	5	5	10	10	15	15

Çizelge 5.1.2. Eleman tablosu

El. No	Sol D.N.	Sağ D.N.	Mak. El.No.	A (m <sup>2</sup> )	E (KN / m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )
1	1	3	1	0.1161	2.48E+07	0.0006243
2	2	4	1	0.1161	2.48E+07	0.0006243
3	3	4	1	0.1161	2.48E+07	0.0006243
4	3	5	2	0.1161	2.48E+07	0.0006243
5	4	6	2	0.1161	2.48E+07	0.0006243
6	5	6	2	0.1161	2.48E+07	0.0006243
7	5	7	3	0.1161	2.48E+07	0.0006243
8	6	8	3	0.1161	2.48E+07	0.0006243
9	7	8	3	0.1161	2.48E+07	0.0006243



Analiz programı veri dosyası :

Sistem,3,9,8

Dugum,1,0,0,0,0,0,0,0,0,2

Dugum,2,5,0,0,0,0,0,0,0,2

Dugum,3,0,5,0,35,0,0,0,0,1

Dugum,4,5,5,0,0,0,0,0,0,1

Dugum,5,0,10,0,25,0,0,0,0,1

Dugum,6,5,10,0,0,0,0,0,0,1

Dugum,7,0,15,0,15,0,0,0,0,0

Dugum,8,5,15,0,0,0,0,0,0,0

Eleman,1,1,3,1,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,2,2,4,1,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,3,3,4,1,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,4,3,5,2,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,5,4,6,2,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,6,5,6,2,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,7,5,7,3,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,8,6,8,3,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0

Eleman,9,7,8,3,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0



















577342.3334	0	-3715.8336	-575856	0	0	0	0
0	577342.3334	-3715.8336	0	-1486.33344	-3715.8336	-3715.8336	0
-3715.8336	-3715.8336	24772.224	0	3715.8336	6193.056	6193.056	0
-575856	0	577342.3334	0	0	0	-3715.8336	0
0	-1486.33344	3715.8336	0	577342.3334	0	3715.8336	0
0	-3715.8336	6193.056	-3715.8336	3715.8336	3715.8336	24772.224	0

K b I =

1486.33344	0	3715.8336	0	0	0	0	0	0
0	575856	0	0	0	0	0	0	0
3715.8336	0	12386.112	0	-3715.8336	0	6193.056	0	0
0	0	0	1486.33344	0	0	0	-1486.33344	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	3715.8336	0	0	0	0	0
-1486.33344	0	-3715.8336	0	0	0	0	0	0
0	-575856	0	0	577342.3334	0	-3715.8336	0	0
3715.8336	0	6193.056	0	0	577342.3334	-3715.8336	0	-1486.33344
0	0	0	-1486.33344	0	0	24772.224	0	0
0	0	0	0	-575856	0	0	0	0
0	0	0	3715.8336	0	0	0	0	0

K b II =

371.3437425	-1.47E-11	1237.812475	-371.3437425	1.45E-11	-1237.812475
-1.44E-11	212.1768781	-530.4421953	-1.48E-11	-212.1768781	-530.4421953
1237.812475	-530.4421953	6484.323072	-1237.812475	530.4421953	-3832.112096
-371.3437425	-1.47E-11	-1237.812475	371.3437425	1.45E-11	1237.812475
1.47E-11	-212.1768781	530.4421953	1.48E-11	212.1768781	530.4421953
-1237.812475	-530.4421953	-3832.112096	1237.812475	530.4421953	6484.323072

K b III =







S 1 =

-64.08708135
37.51677304
-113.3728079
64.08708135
37.51677304
-74.20477222

S 6 =

12.80732652
-27.72489231
84.20477304
-12.80732652
27.72489231
89.32001209

S 2 =

64.08708135
37.48322606
-113.2625958
-64.08708135
-37.48322606
-74.13053453

S 7 =

-10.2516129
7.48259166
-1.5483087
10.2516129
7.48259166
25.5312409

S 3 =

17.4757191
-40.58266676
116.1119473
17.4757191
-40.58266676
116.1119473

S 8 =

10.3314199
7.8011673
84.20477304
10.3314199
7.8011673
84.20477304

rF_alfa	rF_beta	rF	Sistem rb	Sistem r
0.007225	-0.090900	0.098200	0.041055	0.041055
0.000011	-0.000220	0.000231	0.000147	0.000147
0.000870	-0.000619	0.001490	0.006326	0.006326
0.007212	-0.090900	0.098100	0.041025	0.041025
-0.000011	0.000220	-0.000231	-0.000147	-0.000147
0.000868	-0.000622	0.001490	0.006322	0.006322
			0.079856	0.079856
			0.000213	0.000213
			0.003815	0.003815
			0.079835	0.079835
			-0.000213	-0.000213
			0.003817	0.003817
				0.098161
				0.000231
				0.001489
				0.098148
				-0.000231
				0.001490

S 4 =

38.10549528
19.35249503
57.75219018
38.10549528
19.35249503
57.75219018

S 5 =

25.97123795
7.50739529
84.20477304
25.97123795
7.50739529
84.20477304

S 5 =

25.10449528
23.05459499
42.28124957
-52.10049378
24.00739596
-57.77528812

S 6 =

25.97123795
7.50739529
84.20477304
25.97123795
7.50739529
84.20477304



$$S 1 = \begin{pmatrix} -84.66706135 \\ 37.51677394 \\ -113.3790975 \\ 84.66706135 \\ -37.51677394 \\ -74.20477222 \end{pmatrix}$$

$$S 6 = \begin{pmatrix} 12.50739862 \\ -27.72488231 \\ 69.30439896 \\ -12.50739862 \\ 27.72488231 \\ 69.32001259 \end{pmatrix}$$

$$S 2 = \begin{pmatrix} 84.66706135 \\ 37.48322606 \\ -113.2855958 \\ -84.66706135 \\ -37.48322606 \\ -74.13053453 \end{pmatrix}$$

$$S 7 = \begin{pmatrix} -10.38161295 \\ 7.499891665 \\ -11.54820878 \\ 10.38161295 \\ -7.499891665 \\ -25.95124955 \end{pmatrix}$$

$$S 3 = \begin{pmatrix} 17.4757191 \\ -46.56056609 \\ 116.4110473 \\ -17.4757191 \\ 46.56056609 \\ 116.3917832 \end{pmatrix}$$

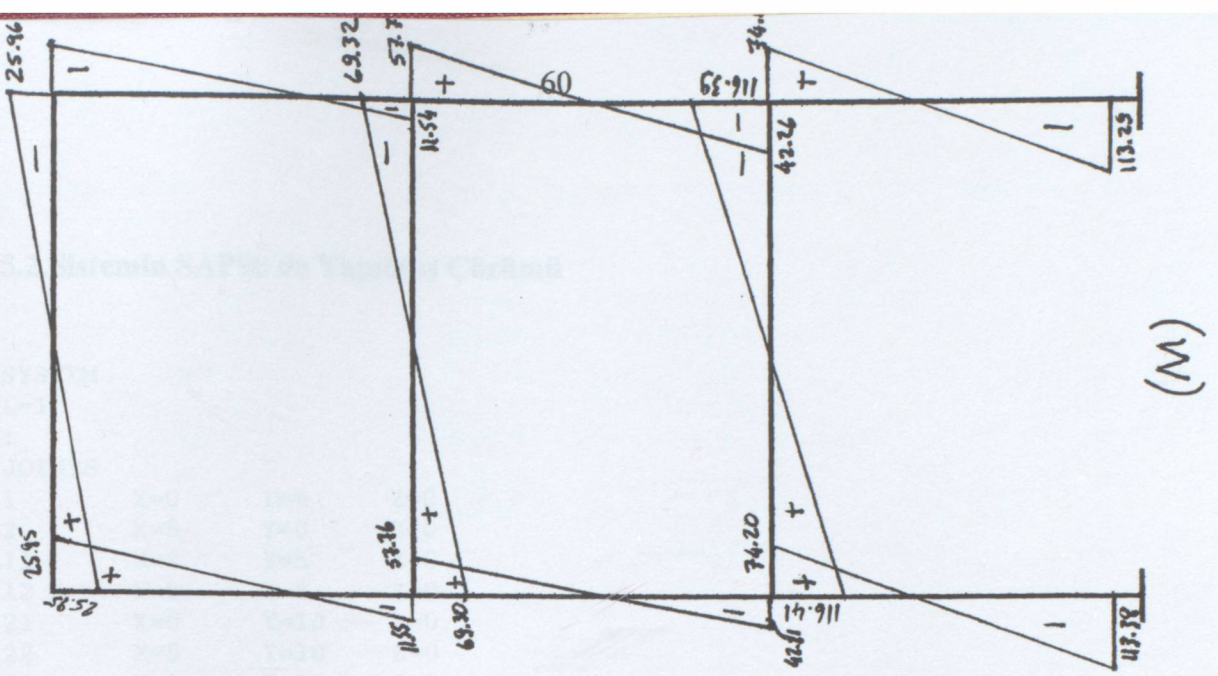
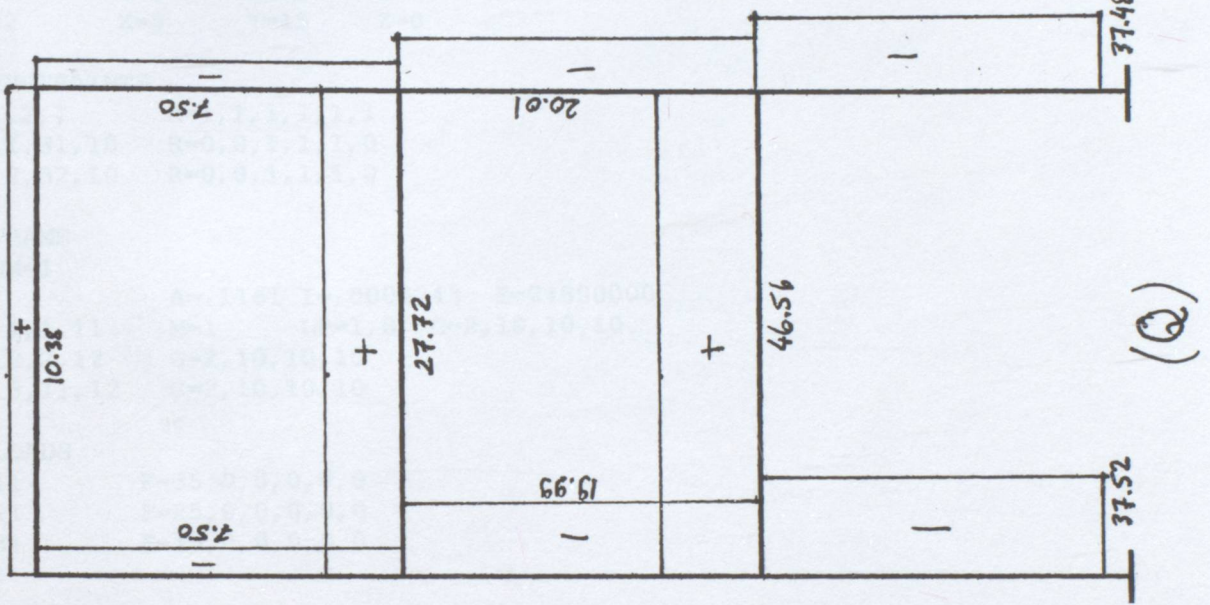
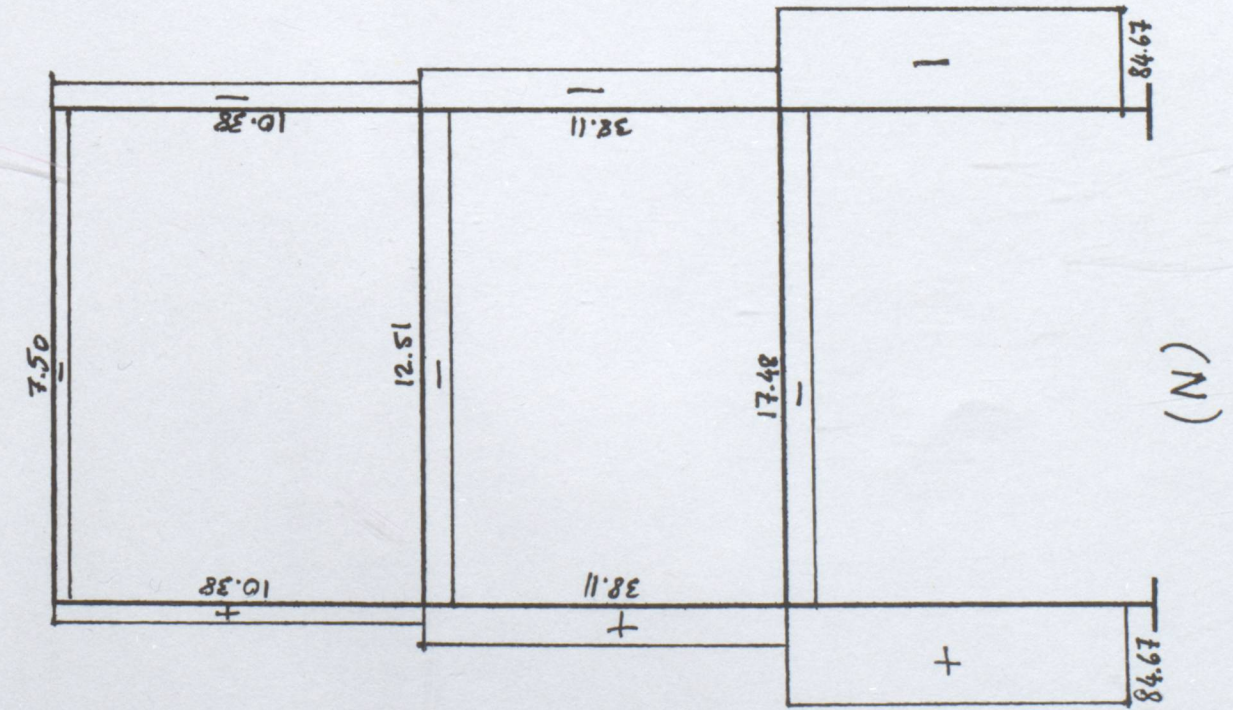
$$S 8 = \begin{pmatrix} 10.38161295 \\ 7.500108335 \\ -11.54372647 \\ -10.38161295 \\ -7.500108335 \\ -25.95681521 \end{pmatrix}$$

$$S 4 = \begin{pmatrix} -38.10649526 \\ 19.99249304 \\ -42.20627504 \\ 38.10649526 \\ -19.99249304 \\ -57.75619018 \end{pmatrix}$$

$$S 9 = \begin{pmatrix} 7.500108335 \\ -10.38161295 \\ 25.95124955 \\ -7.500108335 \\ 10.38161295 \\ 25.95681521 \end{pmatrix}$$

$$S 5 = \begin{pmatrix} 38.10649526 \\ 20.00750696 \\ -42.26124867 \\ -38.10649526 \\ -20.00750696 \\ -57.77628612 \end{pmatrix}$$







## 5.2.Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü

SYSTEM

L=1

:

JOINTS

1	X=0	Y=0	Z=0
2	X=5	Y=0	Z=0
11	X=0	Y=5	Z=0
12	X=5	Y=5	Z=0
21	X=0	Y=10	Z=0
22	X=5	Y=10	Z=0
31	X=0	Y=15	Z=0
32	X=5	Y=15	Z=0

:

RESTRAINTS

1,2,1	R=1,1,1,1,1,1
11,31,10	R=0,0,1,1,1,0
12,32,10	R=0,0,1,1,1,0

:

FRAME

NM=1

1	A=.1161	I=.0006243	E=24800000
11,1,11	M=1	LP=1,0	G=2,10,10,10
12,2,12	G=2,10,10,10		
13,11,12	G=2,10,10,10		

:

LOADS

11	F=35,0,0,0,0,0
21	F=25,0,0,0,0,0
31	F=15,0,0,0,0,0

:



## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
11	.041055	.000147	-.006326
12	.041025	-.000147	-.006322
21	.079856	.000213	-.003815
22	.079835	-.000213	-.003817
31	.098161	.000231	-.001489
32	.098148	-.000231	-.001490

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	M(Z)
1	-37.5168	-84.6671	113.3791
2	-37.4832	84.6671	113.2856
11	35.0000	.0000	.0000
12	.4921E-11	.0000E+00	.0000E+00
21	25.0000	.0000	.0000
22	.1431E-11	.0000E+00	.0000E+00
31	15.0000	.0000	.0000
32	.1469E-10	.0000E+00	.0000E+00
TOTAL	-.4441E-14	.0000E+00	.2267E+03

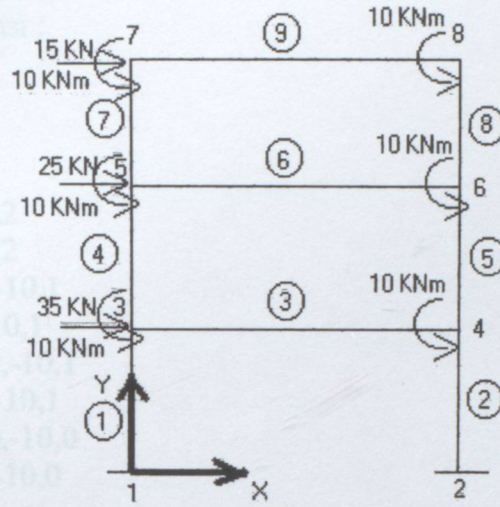


## FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL
			SHEAR	MOMENT	FORCE
11 -----					
1		.000			84.667
		.000	37.517	-113.379	
		5.000	37.517	74.205	
		5.000			84.667
12 -----					
1		.000			-84.667
		.000	37.483	-113.286	
		5.000	37.483	74.131	
		5.000			-84.667
13 -----					
1		.000			-17.476
		.000	-46.561	116.411	
		5.000	-46.561	-116.392	
		5.000			-17.476
21 -----					
1		.000			38.106
		.000	19.992	-42.206	
		5.000	19.992	57.756	
		5.000			38.106
22 -----					
1		.000			-38.106
		.000	20.008	-42.261	
		5.000	20.008	57.776	
		5.000			-38.106
23 -----					
1		.000			-12.507
		.000	-27.725	69.304	
		5.000	-27.725	-69.320	
		5.000			-12.507
31 -----					
1		.000			10.382
		.000	7.500	-11.548	
		5.000	7.500	25.951	
		5.000			10.382
32 -----					
1		.000			-10.382
		.000	7.500	-11.544	
		5.000	7.500	25.957	
		5.000			-10.382
33 -----					
1		.000			-7.500
		.000	-10.382	25.951	
		5.000	-10.382	-25.957	
		5.000			-7.500



## 6.1. SAYISAL ÖRNEK 4



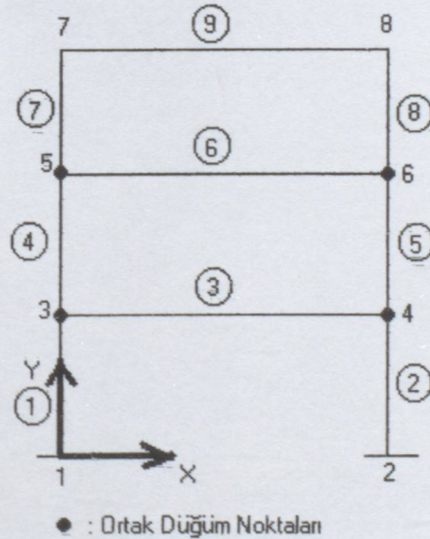
Şekil 6.1.1. Üç katlı tek açıklıklı çerçeve sistem moment yüklü

Tüm çubuklar için ;

$$\text{Kesit alanı} = 0.1161 \text{ m}^2$$

$$\text{Elastisite İndisi} = 2.48 \times 10^7 \text{ KN / m}^2$$

$$\text{Atalet Momenti} = 0.0006243 \text{ m}^4$$



Şekil 6.2.2. Bölünmüş sistem



Analiz programı veri dosyası :

Sistem,3,9,8

Dugum,1,0,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,2,5,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,3,0,5,0,35,0,0,0,0,-10,1  
 Dugum,4,5,5,0,0,0,0,0,0,-10,1  
 Dugum,5,0,10,0,25,0,0,0,0,-10,1  
 Dugum,6,5,10,0,0,0,0,0,0,-10,1  
 Dugum,7,0,15,0,15,0,0,0,0,-10,0  
 Dugum,8,5,15,0,0,0,0,0,0,-10,0

Eleman,1,1,3,1,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,2,2,4,1,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,3,3,4,1,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,4,3,5,2,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,5,4,6,2,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,6,5,6,2,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,7,5,7,3,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,8,6,8,3,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0  
 Eleman,9,7,8,3,0.1161,24800000,0,0,0,0.0006243,0



S 1 =

73.25841312	12.50738652
37.48322805	23.78284404
-111.8072013	58.4743033
-73.25841312	-12.50738652
37.48322805	23.78284404
75.8892895	55.48891893

S 2 =

73.25841312	6.354282253
37.48322805	7.492891865
-111.8072013	-11.51858532
-73.25841312	6.354282253
37.48322805	7.492891865
75.8892895	25.9828728

S 3 =

17.4757191	6.39428
-43.07131282	7.5001
107.8878141	-11.512
-17.4757191	-6.39428
43.07131282	7.5001
107.8878141	25.9828

S 4 =

-36.1871063	7.5001
19.9824304	6.39428
-42.38474244	12.50738652
36.1871063	19.9824304
42.38474244	42.38474244
36.1871063	19.9824304

Sistem rb

Sistem r

S 5 =	3.99E-02	3.99E-02
	1.27E-04	1.27E-04
	5.85E-03	5.85E-03
	3.98E-02	3.98E-02
	-1.27E-04	-1.27E-04
	5.84E-03	5.84E-03
	7.61E-02	7.61E-02
	1.80E-04	1.80E-04
	3.27E-03	3.27E-03
	7.61E-02	7.61E-02
	-1.80E-04	-1.80E-04
	3.27E-03	3.27E-03
	9.17E-02	9.17E-02
	1.91E-04	1.91E-04
	9.36E-04	9.36E-04
	9.17E-02	9.17E-02
	-1.91E-04	-1.91E-04
	9.37E-04	9.37E-04

rF_alfa	rF_beta	rF
6.07E-03	-0.085613591	9.17E-02
5.21E-06	-1.86E-04	1.91E-04
4.07E-04 +	-5.29E-04 =	9.36E-04
6.05E-03	-8.56E-02	9.17E-02
-5.21E-06	1.86E-04	-1.91E-04
4.04E-04	-5.33E-04	9.37E-04



$$S 1 = \begin{vmatrix} -73.25841912 \\ 37.51677394 \\ -111.9007031 \\ 73.25841912 \\ -37.51677394 \\ -75.68316665 \end{vmatrix}$$

$$S 6 = \begin{vmatrix} 12.50739862 \\ -23.79284404 \\ 59.4743033 \\ -12.50739862 \\ 23.79284404 \\ 59.48991693 \end{vmatrix}$$

$$S 2 = \begin{vmatrix} 73.25841912 \\ 37.48322606 \\ -111.8072013 \\ -73.25841912 \\ -37.48322606 \\ -75.60892896 \end{vmatrix}$$

$$S 7 = \begin{vmatrix} -6.394262253 \\ 7.499891665 \\ -11.51658552 \\ 6.394262253 \\ -7.499891665 \\ -25.9828728 \end{vmatrix}$$

$$S 3 = \begin{vmatrix} 17.4757191 \\ -43.07131282 \\ 107.6879141 \\ -17.4757191 \\ 43.07131282 \\ 107.66865 \end{vmatrix}$$

$$S 8 = \begin{vmatrix} 6.394262253 \\ 7.500108335 \\ -11.51210321 \\ -6.394262253 \\ -7.500108335 \\ -25.98843846 \end{vmatrix}$$

$$S 4 = \begin{vmatrix} -30.1871063 \\ 19.99249304 \\ -42.00474744 \\ 30.1871063 \\ -19.99249304 \\ -57.95771777 \end{vmatrix}$$

$$S 9 = \begin{vmatrix} 7.500108335 \\ -6.394262253 \\ 15.9828728 \\ -7.500108335 \\ 6.394262253 \\ 15.98843846 \end{vmatrix}$$

$$S 5 = \begin{vmatrix} 30.1871063 \\ 20.00750696 \\ -42.05972107 \\ -30.1871063 \\ -20.00750696 \\ -57.97781372 \end{vmatrix}$$



## 6.2.Sistemin SAP90 ile Yapılmış Çözümü

SYSTEM

L=1

:

JOINTS

JOINTS	X	Y	Z
1	X=0	Y=0	Z=0
2	X=5	Y=0	Z=0
11	X=0	Y=5	Z=0
12	X=5	Y=5	Z=0
21	X=0	Y=10	Z=0
22	X=5	Y=10	Z=0
31	X=0	Y=15	Z=0
32	X=5	Y=15	Z=0

:

RESTRAINTS

1, 2, 1	R=1, 1, 1, 1, 1, 1
11, 31, 10	R=0, 0, 1, 1, 1, 0
12, 32, 10	R=0, 0, 1, 1, 1, 0

:

FRAME

NM=1

1	A=.1161	I=.0006243	E=24800000
11, 1, 11	M=1	LP=1, 0	G=2, 10, 10, 10
12, 2, 12	G=2, 10, 10, 10		
13, 11, 12	G=2, 10, 10, 10		

:

LOADS

11	F=35, 0, 0, 0, 0, 10
12	F=0, 0, 0, 0, 0, 10
21	F=25, 0, 0, 0, 0, 10
22	F=0, 0, 0, 0, 0, 10
31	F=15, 0, 0, 0, 0, 10
32	F=0, 0, 0, 0, 0, 10

:



## FRAME ELEMENT FORCES

FIX LOAD DIST 1-3 PLANE AXIAL  
LOAD END ELEMENT FORCE

## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000
2	.000000	.000000	.000000
11	.039861	.000127	-.005848
12	.039831	-.000127	-.005845
21	.076113	.000180	-.003272
22	.076091	-.000180	-.003275
31	.091680	.000191	-.000936
32	.091667	-.000191	-.000937

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Y)	M(Z)
1	-37.5168	-73.2584	111.9007
2	-37.4832	73.2584	111.8072
11	35.0000	.0000	10.0000
12	.0000	.0000	10.0000
21	25.0000	.0000	10.0000
22	.0000	.0000	10.0000
31	15.0000	.0000	10.0000
32	.0000	.0000	10.0000

TOTAL	.2665E-14	.0000E+00	.2837E+03
-------	-----------	-----------	-----------



## F R A M E   E L E M E N T   F O R C E S

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE
			SHEAR	MOMENT	
11 -----					
	1	.000			73.258
		.000	37.517	-111.901	
		5.000	37.517	75.683	
		5.000			73.258
12 -----					
	1	.000			-73.258
		.000	37.483	-111.807	
		5.000	37.483	75.609	
		5.000			-73.258
13 -----					
	1	.000			-17.476
		.000	-43.071	107.688	
		5.000	-43.071	-107.669	
		5.000			-17.476
21 -----					
	1	.000			30.187
		.000	19.992	-42.005	
		5.000	19.992	57.958	
		5.000			30.187
22 -----					
	1	.000			-30.187
		.000	20.008	-42.060	
		5.000	20.008	57.978	
		5.000			-30.187
23 -----					
	1	.000			-12.507
		.000	-23.793	59.474	
		5.000	-23.793	-59.490	
		5.000			-12.507
31 -----					
	1	.000			6.394
		.000	7.500	-11.517	
		5.000	7.500	25.983	
		5.000			6.394
32 -----					
	1	.000			-6.394
		.000	7.500	-11.512	
		5.000	7.500	25.988	
		5.000			-6.394
33 -----					
	1	.000			-7.500
		.000	-6.394	15.983	
		5.000	-6.394	-15.988	
		5.000			-7.500



## 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Makro elemanlarla sistem analizinde takip edilen işlem sırası aşağıda verilmiştir;

1. Sistem için genel bir koordinat sistemi seçilir,
2. Sistem düğüm noktaları, elemanları numaralandırılır ve her eleman için eleman rijitlik ve eleman denge matrisleri bulunur,
3. Sistem istenilen sayıda ve istenilen şekilde makro elemana ayrılır,
4. Bütün ortak düğüm noktaları belirlenir ve makro elemanlara numara verilir,
5. Her makro elemanın sistem rijitlik matrisi hesaplanır,
6. Her makro elemandaki serbest ( F ) ve ortak ( b ) düğüm noktaları sayısına göre makro eleman rijitlik matrisleri alt matrislere ayrılır,
7. Birbirleriyle komşu olan makro elemanların ortak düğüm noktaları ( “ b ” boundry node ) ankastre varsayılarak serbest düğüm noktaları ( “ F “ interior node ) deplasmanları ve ortak düğüm noktası reaksiyonları hesaplanır, (Ortak düğüm noktası dış yükleri ihmal edilir. )
8. Bulunan deplasmanlardan faydalanarak ortak düğüm noktalarının (boundry node) reaksiyonları bulunur,
9. Düğüm noktasındaki dış yüklerle bulunan reaksiyonlar toplanarak toplam düğüm noktası sınır yüklemesi hesaplanır,



10. Bütün elemanların rijitlik katkıları ortak düğüm noktalarına göre süperpoze edilerek  $K_b$  bulunur,
11. Ortak düğüm noktalarındaki yükler ve rijitlik matrisi  $K_b$  bulunduğundan ortak düğüm noktaları ( boundry node ) serbest kabul edilerek iç düğüm noktaları deplasmanları bir kez daha bulunur, ( serbest düğüm noktası dış yükleri ihmal edilir )
12. Serbest düğüm noktaları ( interior node ) için hesaplanan deplasmanlar süperpoze edilir,
13. Rijitlik matrisi denklemleri kullanılarak iç kuvvetler hesaplanır.

Dikkat edilecek olursa klasik yaklaşımda, birbirlerine düğüm noktalarında bağlanan yapı elemanları olarak ele alınan 'yapı' kavramı buradaki yaklaşımda ortak düğüm noktalarında birbirlerine bağlanan makro elemanlar olarak düşünülmektedir.



Makro elemanlarla çalışmanın bize sağlayacağı avantajları şu şekilde sıralayabiliriz :

1. Makro elemanların hesapları kayıt edilerek ilerideki hesaplarda kullanılabilir .
2. Taşıyıcı sistemin çeşitli varyasyonlarını araştırmak kolaylaşır.
3. Geometrik olarak benzerlik gösteren makro elemanlarda verilerin girişi kolaylaşmıştır . Çünkü benzer elemanlar için veriler tekrar kullanılabilir.
4. Verilerin bilgisayara girişi daha kolaydır. Çok sayıda veriyi bilgisayara girmenin zorluğu düşünülecek olursa makro elemanların kullanıcı boyutu çok daha iyidir.
5. Hatalar lokalize olur ve kolayca fark edilebilir. Çünkü her makro elemanın komşu olduğu diğer elemanlarla sahip olduğu ortak düğüm noktalarında sistemin kontrolü sürekli yapılabilir.
6. Makro elemanlar bilgisayarların çalışma mantığına uygundur. Bilgisayarlar işlemleri belli bir sıraya göre yaparlar. Büyük çaplı işlemlerde verilerin hepsini hafızaya yüklemek mümkün olmayabilir. Böyle bir durumda bilgisayar sabit disk üzerinde yaratacağı sanal belleği kullanacaktır. Gerçek hafızaya oranla daha verimsiz olan olan sabit disk, sistemin performansını azaltacağından biz bu ayırım işlemini fiziksel olarak yaparak daha verimli şekilde çalışma ortamı yaratmış oluruz.
7. Programlanmaya uygun bir yöntemdir.
8. Makro elemanlar ekip çalışmasına imkan tanıdığından özellikle büyük projelerde çalışma kolaylığı sağlar.
9. Çok büyük kapasite ihtiyaçları gerekmediğinden eldeki sistem rahatlıkla kullanılabilir. Böylece ekonomi sağlar.



10. Ekip çalışmasının bir sonucu olarak zamandan tasarruf sağlar.
11. Matrislerin boyutları önemli ölçüde azalacağından sistemi algılamak kolaylaşır.
12. Genel amaçlı olarak kullanılabilir. Makro elemanlar sadece yapı sistemlerinin hesabında değil, gemi, uçak, baraj gövdesi gibi sistem için de uygulanabilecek bir hesap yöntemidir.

Yukarıda sayılan sebeplerden farkedilebileceği gibi makro eleman yaklaşımı teknik sorunları aşma amacıyla geliştirilmiş olmakla birlikte kapasite problemlerinin yaşanmadığı ortamlar için bile tercih sebebi olabilecek bir yöntemdir. Sistemi bölmek, mühendisin inisiyatifine bağlıdır. Sistem rijitliğinin yada malzeme özelliklerinin değiştiği sistemlerde makro elemanlar ile hesap yapmanın avantajları ayrıca incelenebilir. Özellikle kaçak yapılaşma sonucu sonradan inşaa edilen katların durumu bu konuda ilginç bir örnek olarak düşünülebilir. Ayrıca yapı projelerinin hesabında sistem bir bütün olarak ele alınmasına karşın inşaatlar genellikle aşama aşama yapılmaktadır. Bu durum da makro elemanlar ile yapı analizi çerçevesinde incelenebilir. Konu ile ilgili yaklaşımların, daha bilgili ve tecrübeli mühendislerin katkıları ile çeşitlendirilmesi elbetteki mümkündür.

Tez çalışması sırasında Microsoft Visual Basic 5.0 ile makro eleman yaklaşımını esas alan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Program ile ilgili kullanım klavuzu ekler bölümünde yer almaktadır. Söz konusu programın grafiksel özellikler eklenerek ve birden fazla bilgisayarın ortak bir veritabanını kullanarak çalışabilecekleri bir mimariye uygun hale getirilecek şekilde geliştirilmesi, daha kullanışlı bir programın ortaya çıkması açısından önerilir.



**KAYNAKLAR :**

Arora, J., S., and Govil, A., K., ( 1977 ) August, “ An Efficient Method for Optimal Structural Design by Substructuring “, Comput. Struct. Vol. 7, no : 4, page : 507 – 515

Ay, Ö., ( 1996 ), “ Düzlemsel Çubuk Sistemlerin Makro Elemanlarla Matris Analizi “, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında Hazırlanan Yüksek Lisans Tezi, Tez Danışmanı: Prof. İrdesel Göğüş

Azar, J., ( 1972 ), “ Matrix Structural Analysis “, Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Tulsa, Pergamon Press Inc., U.S.A., page : 197 – 209

Friswell, M., I., ve Mottershead, J., E., ( 1995 ), “ Finite Element Model Updating in Structural Dynamics “, Department of Mechanical Engineering, University of Wales Swansea – Swansea, U.K., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, page : 102 – 105

Göğüş, İ., ( Basılmamış ), “ Matris Metotları Ders Notları ”, Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Kürsüsü, İstanbul – Türkiye

Göğüş, İ., ( Basılmamış ), “ Makro Elemanlarla Sistem Analizi Ders Notları ”, Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Kürsüsü, İstanbul - Türkiye

Kirsch, U., “ Optimum Structural Design : Concepts, Methods and Applications “

Kirsh, U., Reiss, M., ve Shamir, U., ( 1972 ) January, “ Optimum Design by Partitioning into Substructures “, J. Struct. Div., A.S.C.E., vol. 98, no : ST1, page : 249 – 267



Kratzig, W., ( 1990 ), “ Tragwerke 2 ”, page: 297 – 299

Lawo ve Thierauf , ( 1980 ), “ Matrizen Methoden der Statik und Dynamik , Teil 1 : Statik “, Germany, page : 369 – 372

Livesly, R., K., ( 1975 ), “ Matrix Methods of Structural Analysis, 2<sup>nd</sup> Edition “, University Lecturer in Engineering Fellow of Churchill College – Cambridge, Pergamon Press, page : 222 – 231

Przemieniecki, J., S., ( 1968 ), “ Theory of Matrix Structural Analysis ”, Air Force Institute of Technology, U.S.A.

Przemieniecki, J., S., ( 1963 ), “ Matrix Structural Analysis of Substructures ”, American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal, pp : 138 – 147

Rosen, R., and Rubinstein, M., F., ( 1970 ) March, “Substructure Analysis by Matrix Decomposition “, J. Struct. Div., A.S.C.E., vol. 96, no : ST3, page : 663 –670



## EKLER

### Ek 1 – Analiz Programı Kullanım Klavuzu

Analiz programı kullanıcıdan gerekli verileri alarak yukarıda anlatılan makro elemanlar ile analiz yöntemine göre yapı sistemini çözer. Programın doğru çalışabilmesi için gerekli verilerin doğru ve tutarlı girilmesi gerekmektedir. Bu klavuzda kullanıcıların program verilerini hazırlarken nelere dikkat etmeleri gerektiği açıklanmaya çalışılmıştır.

Analiz programı, kurulum disketleri iki adettir. Birinci disketteki kurulum programı çalıştırılarak bilgisayarınıza kurulur. Bilgisayarınız x86 uyumlu bir PC ve işletim sisteminiz de Win9x olmalıdır.

Program üç adet ekrandan oluşmaktadır. Bu ekranlar sırasıyla sistem, düğüm noktası ve eleman özellikleri ile ilgili bilgilerin girişi için, kullanılmaktadır.

Program çalıştırılmadan önce sistemin hangi makro elemanlara bölüneceği kararlaştırılmalı, sistem düğüm noktası ve eleman tabloları hazırlanmalıdır. Koordinat eksenleri seçilirken - düzlem sistemlerde - her zaman X-Y apsis – ordinat sistemi seçilmelidir. Düğüm noktaları numaralandırılırken önce mesnetler, daha sonra ortak düğüm noktaları ve son olarak da serbest düğüm noktaları numaralandırılmalıdır. Elemanların sol uç düğüm noktası numaraları her zaman sağ uç düğüm noktası numarasından küçük olmalıdır. Program makro elemanlar ile analiz yöntemine göre çalıştığı için sistemin en az iki makro elemana bölünmesi gereklidir.

Program çalıştırıldığında ilk ekran olan sistem kriterleri giriş formu (Şekil Ek 1.1.) görülecektir. Bu ekranda yapı sisteminin tipi uzaysal kafes / çerçeve yada düzlem kafes / çerçeve sistem olarak seçilir, toplam düğüm noktası, eleman ve makro eleman sayısı girilir.

Şekil Ek 1.1. Yapı sistemi ile ilgili kriterlerin giriş ekranı



Kullanıcı dilerse önceden hazırlanmış olduğu uygun formattaki bir text dosyasını kullanarak da sistem bilgilerini programa verebilir. Bu yöntem bilgilerin tekrar girilmesini engellediği için ve bilgi girişinin daha kontrollü yapılmasına olanak verdiği için tavsiye edilir. Bu durumda "Sistem Bilgilerini Dosyadan Oku" kutucuğu işaretlenmelidir.

Bilgi girişi için hazırlanacak veri dosyasının formatı şu özelliklerde olmalıdır:

Sistem,

Makro Eleman Sayısı,

Eleman Sayısı,

Düğüm Noktası Sayısı

Dugum,

Düğüm Noktası.Numarası,

X Koordinatı.,

Y Koordinatı.,

Z Koordinatı , (Düzlem sistemlerde sıfır girilebilir)

Rx ,Ry ,Rz , Dış yükleri (Düzlem sistemlerde Rz sıfır girilebilir)

Mx,My,Mz, Moment etkileri (Düzlem çerçeve sistemlerde sadece Mz girilmelidir.Mx ve My momentleri sıfır girilebilir.)

Düğüm noktası özelliği ,

Serbest = 0

Ortak = 1

Mesnet = 2

Eleman,

Eleman.Numarası.,

Sol Düğüm Noktası Numarası, (Sağ Düğüm Noktası Numarasından büyük olmamalı!)

Sağ Düğüm Noktası Numarası,

Elemanın ait olduğu makro eleman numarası,

(A) Kesit Alanı,

(E) Elastisite İndisi,

(G) Kayma Modülü, (Sadece uzaysal çubuk elemanlar için gerekli)

(I<sub>G</sub>) Burulma Momenti (Sadece uzaysal çubuk elemanlar için gerekli)

(I<sub>x</sub>,I<sub>y</sub>) Atalet momentleri,(Düzlem çubuk için I<sub>y</sub>,Uzaysal çubuk için her ikisinde gerekli)

(L) Eleman Boyu (Düz eksenli elemanlar için gerekli değil !)



Veri dosyası örneği:

Sistem,2,16,12

Dugum,1,0,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,2,5,0,0,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,3,5,0,5,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,4,0,0,5,0,0,0,0,0,2  
 Dugum,5,0,5,0,-10,0,0,0,0,1  
 Dugum,6,5,5,0,-10,0,0,0,0,1  
 Dugum,7,5,5,5,-10,0,0,0,0,1  
 Dugum,8,0,5,5,-10,0,0,0,0,1  
 Dugum,9,0,10,0,-20,0,0,0,0,0  
 Dugum,10,5,10,0,-20,0,0,0,0,0  
 Dugum,11,5,10,5,-20,0,0,0,0,0  
 Dugum,12,0,10,5,-20,0,0,0,0,0

Eleman,1,1,5,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,2,2,6,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,3,3,7,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,4,4,8,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,5,5,6,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,6,6,7,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,7,7,8,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,8,5,8,1,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,9,5,9,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,10,6,10,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,11,7,11,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,12,8,12,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,13,9,10,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,14,10,11,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,15,11,12,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0  
 Eleman,16,9,12,2,0.15,148000,145,0.032,0.012,0.012,0



Sistem ile ilgili temel bilgilerin girişi yapıldıktan sonra “ Tamam ” düğmesine basılarak bir sonraki ekran olan düğüm noktası özellikleri giriş formu (Şekil Ek 1.2) görüntülenir. Eğer sistem bilgileri dosyadan okutuluyorsa direk olarak analiz işlemi başlar ve sonuçlar hesaplanarak “C” dizini içinde yer alan “makro”.dosyası içine (“c:\makro\”) yazılır.

Düğüm noktası özellikleri giriş ekranında sırasıyla herbir düğüm noktasının koordinatları, serbestlik durumu, düğüm noktası yükleri ve ortak düğüm noktası olup olmadığı bilgileri girilir. Herhangi bir doğrultuda bağlı olan düğüm noktasının o doğrultuda yük bilgisi girişine izin verilmez. Çünkü program sistem rijitlik matrisini hesaplarırken serbestliğin olmadığı doğrultudaki etkileri dikkate almamaktadır. Ortak düğüm noktaları için tüm serbestlik değerleri girişi engellenmektedir. Çünkü ortak düğüm noktaları için önce sabit daha sonra serbest olma durumuna göre hesap yapılmaktadır. Düğüm noktası özellikleri girildikten sonra “ Tamam ” tuşuna basılır ve bir sonraki düğüm noktası özellikleri girilir. Düğüm noktası sayacı otomatik olarak artar. Herhangi bir anda önceki bir düğüm noktası ile ilgili değerler değiştirilmek istenirse sayaç değeri istenilen değere el ile ayarlanarak getirilip yeni değerler girilir. Daha sonra sayaç eski değerine el ile getirilerek kalınan yerden veri girişine devam edilebilir. En son düğüm noktası veri girişi yapılmış eleman özellikleri giriş formu ( Şekil Ek1.3. ) görüntülenir.

Şekil Ek 1.2. Düğüm noktası özellikleri giriş ekranı



Eleman özellikleri girişi yapılırken o elemanın hangi makro eleman ait olduğu, sol ve sağ düğüm noktası numaraları ve malzeme değerleri girilir. Eleman düğüm nokta numaraları girilirken sol düğüm noktası sağ düğüm noktasından küçük olmalıdır. Malzeme değerleri bir kere girildikten sonra tüm elemanlar için kullanılabilir. Eleman özellikleri girişi yapıldıkça yan taraftaki tablodan görülebilir. Eleman boyu sadece eğri eksenli çubuklarda girilmelidir. Düz eksenli elemanlar için eleman boyu düğüm noktası koordinatlarından faydalanılarak hesaplanır. Son eleman için bilgi girişi yapıldıktan sonra sistem ile ilgili sonuçlar "C" dizini içinde yer alan "makro".dosyası içinden alınabilir. ("c:\makro")

Eleman Özellikleri

Eleman No:

Ait Olduğu Makro Eleman No:

Sol Uç      Sağ Uç

Düğüm Noktası No:

Malzeme Değerleri:

E ( ) :       G ( ) :

A ( ) :       L(m) :

Ix :

Iy :

Iz :

Mak. El. No :	El. No :	Sol D. Nok. :	Sağ D. Nok. :
1	1	1	2

İtamam

08.06.1999

Şekil Ek 1.3. Eleman özellikleri giriş formu



**ÖZGEÇMİŞ**

**Doğum Tarihi** 15.02.1973

**Doğum Yeri** İstanbul

**Lise** Kabataş Erkek Lisesi

**Lisans** Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı Kurum**

1998 – 1999

Uygur Bilgisayar Ltd.



