

SEÇİLEN BİR ÇERÇEVEDE
STATİK HESAP YÖNTEMLERİ
KARŞILAŞTIRILMASI
(KUVVET YÖNTEMLERİ)

Asadollah Farnad

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ YÖNETMELİĞİ UYARINCA
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

Danışman: Doç.Sacit OĞUZ

Şubat-1989

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. KUVVET (ENERJİ) YÖNTEMİ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Sabit Yük Hali	1
1.2.1. Hesapta takip edilen yol	3
2. KUVVET YÖNTEMİ İLE SİSTEMİN HESABI	8
2.1. Seçilen sistem	9
2.2. İzostatik Esas Sistem	9
2.3. Birim Yüklemelerden Oluşan Moment Alanlarının Hesaplanması ve Çizimi " M_i "	10
2.4. Dış Yüklerden Oluşan Moment Alanlarının Çizimi ve Hesabı " M_o "	14
2.5. $M_o \cdot M_i$ moment alanlarının çarpımı	15
2.6. Süreklilik denklemlerinin oluşturulması	17
2.7. Denklem Sisteminin Çözümü	18
2.8. Süperpozisyon denklemleri ile moment değerlerinin hesaplanması	19
2.9. Normal kuvvet deformasyonu ihmal ile sonuç moment alanı	20
3. KUVVET MATRİS METODU	21
3.1. Genel Bilgiler	21
3.2. Sistem Denge Matrisinin Kurulması	22
3.3. Sınır Şartlarının İşlenmesi	26
3.4. Reaksiyonların Bulunuşu	28
3.5. Deplasmanların Hesabı	28

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.6. Kuvvet matris yöntemi ile sistemin çözümü ..	30
3.6.1. Kuvvet matris yöntemi ile normal kuvvet deformasyonu ihmal edilmesi ile sistemin çözümü	31
3.6.2. Kuvvet matris yöntemi ile normal kuvvet deformasyonu eklenmesi ile sistemin çözümü	33
3.7. Normal kuvvet deformasyonu eklenmesi ile sonuç moment alanı "M"	35
3.8. Normal kuvvet deformasyonu ihmali ile sonuç moment alanı "M"	35
3.9. Yorum	36
4. VERİLEN ÖRNEK ÇERÇEVENİN İKİ METOTLA ÇÖZÜLÜP KARŞILAŞTIRILMASINDAN ALINAN SONUÇLAR	37
5. ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR DİZİNİ	39

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, kuvvet yöntemi ve matris kuvvet yöntemi ile bir çerçevenin statik hesapları yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

Çalışma, elektronik hesap makinalarının yaygınlaşması ve hesap yapanların ise, genel taban bilgiye sahip olması gerektiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Şubat 1989

Asadallah FARNAD

ÖZET

Örnek seçilen bir çerçeveye klasik kuvvet ve kuvvet matris metodu uygulanmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca kayma deformasyonlarının sonuca etkisi incelenmiştir.

ABSTRACT

Classical force and matrix force methods were applied on the selected sample frame and results were compared with each other

Furthermore the effect of shear deformation on results were examined.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.	Verilen sistem 9
2.2.	İzostatik esas sistem 9
2.3.	Birim yüklerden oluşan moment alanlarının hesaplanması ve çizimi " M_i " 10
2.3.1.	$X_1=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 10
2.3.2.	$X_2=1$ tm Birim yükten oluşan moment alanı 10
2.3.3.	$X_3=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 11
2.3.4.	$X_4=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 11
2.3.5.	$X_5=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 12
2.3.6.	$X_6=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 12
2.3.7.	$X_7=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 13
2.3.8.	$X_8=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 13
2.3.9.	$X_9=1$ tm birim yükten oluşan moment alanı 14
2.4.	Dış kuvvetlerden oluşan " M_o " moment alanı ... 14
2.5.	Normal kuvvet deformasyonu ihmal ile sonuç moment alanının çizimi 20
2.6.	Düzlem çerçeve çubuğunda global ve lokal denge denklemleri grafiği 22
2.7.	Lokal eksen üzerinde bir çubuğun i ve j uçlarının tariflenmesi 26
2.8.	Verilen örnek çerçeve ve çerçevenin numaralanmış şekli 30
2.9.	Normal kuvvet deformasyonu eklenmesi ile sonuç moment alanı 35
2.10.	Normal kuvvet deformasyonu ihmal ile sonuç moment alanı 35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
δ	Deplasman
t	Sıcaklık değişmesi
ω	Mesnet çökmesi
n	Eleman sayısı
D	Düğüm noktası
$N\emptyset$	Denklem sayısı
$M\emptyset$	Bilinmeyen uç kuvvetleri sayısı
$A(N\emptyset, M\emptyset)$	Sistem denge matrisi (sınır şartları işlenmemiş)
$P(N\emptyset, 1)$	Dış yük vektörü (Sınır şartları işlenmemiş)
$F(M\emptyset, 1)$	Elemanların uç kuvvetleri
$B(6, 3)$	Elemanın global denge matrisi
	Hiperstatiklik derecesi
$F_i(3, 3)$	Elemanın flexibilitate matrisi
$X(r, 1)$	Hiperstatik bilinmeyenler vektörü
MDS	Mesnetlenmiş düğüm sayısı
MDN	Mesnetlenmiş düğüm numarası
RH	Reaksiyon sayısı
$\mu_{\dot{u}}$	Poisson oranı
s_k	Yüklenmiş düğüm sayısı
Y_D	Yüklenmiş düğüm numarası
E	Elastisite modülü
A	Kesit alanı
I_3	x_3 eksenine göre atalet momenti
G	Kayma modülü
α	Kayma deformasyonları için kesit düzeltme katsayısı

1. KUVVET (ENERJİ) METODU

1.1. Genel Bilgiler

Bir sistemin bütün kesit tesirlerini ve mesnet reaksiyonlarını tayin edebilmek için denge denklemlerine eklenmesi gereken denklem sayısına, sistemin hiperstatiklik derecesi denir. Bunu tayin etmek için, sistemde bazı kesimler yapılarak izostatik bir sistem elde edilir. Bu kesimlerde kaldırılan mesnet reaksiyonları ile kesit tesirlerinin sayısı sistemin hiperstatiklik derecesini verir.

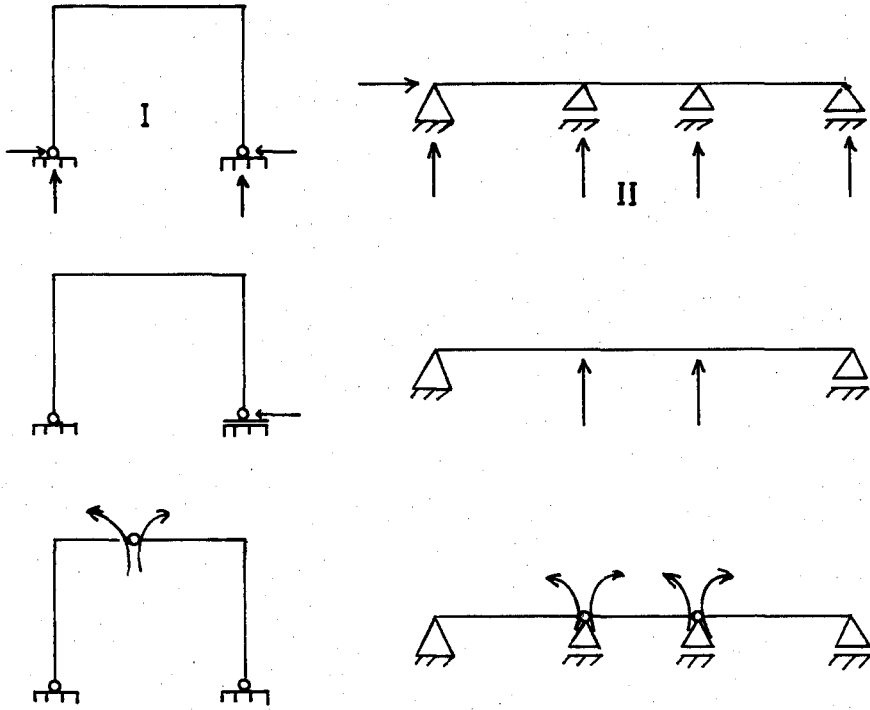
Kuvvet Metodunda bilinmeyen olarak izostatik bir sistem elde etmek için yapılan kesimlerde, kaldırılan kesit tesirleri ve mesnet reaksiyonları seçilir. İzostatik sistem elde etmek için yalnız bazı mesnet reaksiyonlarının kaldırılması yeten sistemlere dıştan hiperstatik, yalnız bazı kesit tesirlerinin kaldırılması yeten sistemlere içten hiperstatik veya her ikisinin aynı zamanda kaldırılması gereken sistemlerde, "içten ve dıştan hiperstatik sistemler" denir.

Bir hiperstatik sistemde yapılan kesimler ile çeşitli izostatik sistemler elde edilebileceği aşikardır. Bunların arasından hesapları basitleştiren sistem seçilir. Ve buna "izostatik esas sistem" denir.

Şekil 1.1 de bazı hiperstatik sistemler için kesimler ile elde edilen çeşitli izostatik sistemler gösterilmiş ve bunların üzerinde kesimlerde kaldırılan ve bilinmeyen olarak kesit tesirleri ve mesnet reaksiyonları işaret edilmişlerdir.

1.2. Sabit Yük hali

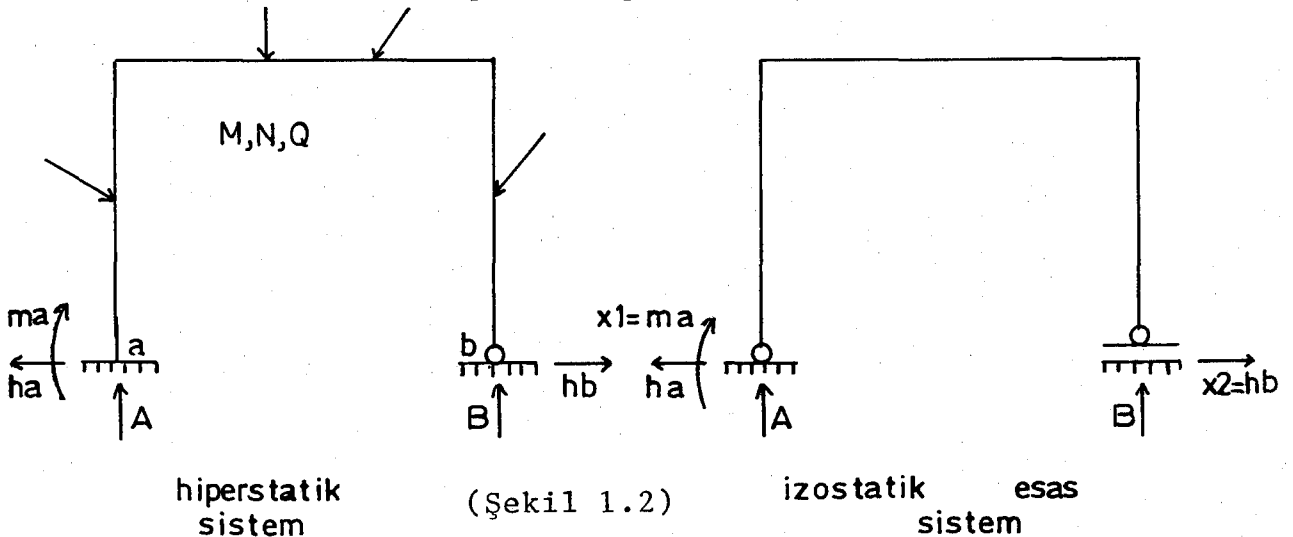
Bu kısımda dış etkilerden sb. yükler sıcaklık değişimleri ve mesnet çökmelerinden dolayı hiperstatik sistemlerde meydana gelen kesit tesirleri ile deformasyonların ve dep-



Şekil 1.1. verilen hiperstatik sistemlerde çeşitli izostatik esas sistemi

lasmanların nasıl tayin edildikleri gösterilmiştir. Düzlem hiperstatik sistemlerde tayini istenen kesit tesirleri M , N , Q ile deformasyonlar $\frac{\Delta\phi}{d_s}$, $\frac{\Delta d_s}{d_s}$, $\frac{\Delta V}{d_s} = \gamma$ ile deplasmanlarda $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$ ile gösterilmektedir.

Aşağıda Şekil 1.2 de görülen herhangi bir hiperstatik sistem üzerinde hesapta takip edilen yol gösterilmiştir.



1.2.1. Hesapta takip edilen yol

a. İzostatik esas sistemin ve bilinmeyenlerin seçilmesi hiperstatik bir sistemde yapılan kesimler ile elde edilen çeşitli izostatik sistemler arasından hesapta basitlik sağlayıcı seçilir. Buna izostatik esas sistem denir.

Yapılan kesimlerde kaldırılan mesnet reaksiyonları ve kesit tesirleri bilinmeyen olarak seçilir. Sistemin n hiperstatiklik derecesine eşit sayıda olan bu bilinmeyenler X_1, X_2, \dots, X_n ile gösterilir. Şekil 1.2 de, M_a, M_b mesnet reaksiyonları kaldırılarak elde edilen izostatik esas sistem ve bunlara ait X_1, X_2 bilinmeyenleri gösterilmiştir.

Hiperstatik bir sistemde dış etkilerden meydana gelen kesit tesirleri, deformasyonlar ve deplasmanlar, izostatik esas sistemde aynı dış etkiler ile beraber X_1, X_2, \dots, X_n bilinmeyen kuvvetlerinden meydana gelen kesit tesirleri, deformasyonlar ve deplasmanlara eşittirler.

0 halde bilinmeyenler tayin edilirse izostatik esas sisteme ait bütün büyüklükler ve dolayısıyla hiperstatik sistemin bunlara eşit olan bütün büyüklükleri elde edilmiş olur.

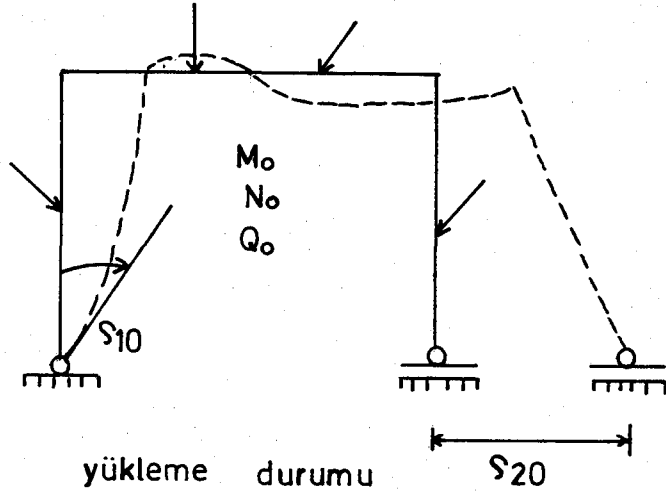
b. $X=0$ yüklemesi

İzostatik esas sisteme sebepler, yani yükler, sıcaklık değişimleri, mesnet çökmeleri tatbik edilir. $X=0$ yüklemesi denilen bu durumda, yüklerden, sıcaklık değişimlerinden mesnet çökmelerinden meydana gelen büyüklükler sırası ile 0, t ve w endisleriyle belirtilir.

0 halde,

Yük	Kesit tesirleri	Deplasmanlar
Sıcaklık yük eğiğmesi	M_0, N_0, Q_0	$\delta_{10}, \delta_{20}, \delta_{30}, \dots, \delta_{n0}$
Sıcaklık değişmesi	$M_t = N_t = Q_t = 0$	$\delta_{1t}, \delta_{2t}, \delta_{3t}, \dots, \delta_{nt}$
Mesnet çökmesi	$M_w = N_w = Q_w = 0$	$\delta_{1w}, \delta_{2w}, \delta_{3w}, \dots, \delta_{nw}$

dır. (Şekil 1.3).



Şekil 1.3.

Burada, ilk endisler yeri, ikinci endisler sebebi gösterdiğine göre δ_{10} , δ_{1t} , δ_{1w} : İzostatik esas sistemde, sırası ile yüklerden, sıcaklık değişmelerinden ve mesnet çökmelerinden meydana gelen deformasyonda, X_1 bilinmeyen kuvvetinin tatbik noktasının deplasmanını X_1 üzerindeki izdüşümleridir.

δ_{20} , δ_{2t} , δ_{2w} : İzostatik esas sistemde, sırası ile yüklerden, sıcaklık değişmelerinden ve mesnet çökmelerinden meydana gelen deformasyonda X_2 bilinmeyen kuvvetinin tatbik noktasının deplasmanının X_2 üzerindeki izdüşümleridir.

δ_{n0} , δ_{nt} , δ_{nw} : İzostatik esas sistemde, sırası ile yüklerden, sıcaklık değişmelerinden ve mesnet çökmelerinden meydana gelen deformasyonda X_n bilinmeyen kuvvetinin tatbik noktasının deplasmanının X_n üzerindeki izdüşümleridir.

X bilinmeyeninin birim moment olması halinde, deplasmanın X üzerindeki izdüşümünün bir açı olduğu; X bilinmeyeninin birim moment çifti olması halinde ise deplasmanın X üzerindeki izdüşümünün bu momentlere tekabül eden iki tane açının toplamı olduğu anlaşılmaktadır.

c. Birim yüklemeler

İzostatik esas sisteme sırasıyla $X = 1$, $X_2 = 1$, \dots , $X_n = 1$ yüklemeleri yapılır birim yükleme denilen bu durumların her birinden meydana gelen büyüklükler sırasıyla 1, 2, \dots , n endisleriyle gösterilir. Buna göre kesit tesirleri sırasıyla her bir hal için M_1 , N_1 , Q_1 ; M_2 , N_2 , Q_2 , \dots , M_n , N_n , Q_n dir. Deplasmanlarda gene ilk endis yeri, ikinci endis de sebebi

gösterdiğine göre, $X_1=1, X_2=1, \dots, X_n=1$ durumlarında meydana gelen deplasmanlar aşağıdaki Tablo 1.1 de 1,2,3,.....,n kolonlarında ilgili endisleriyle belirtilmişlerdir.

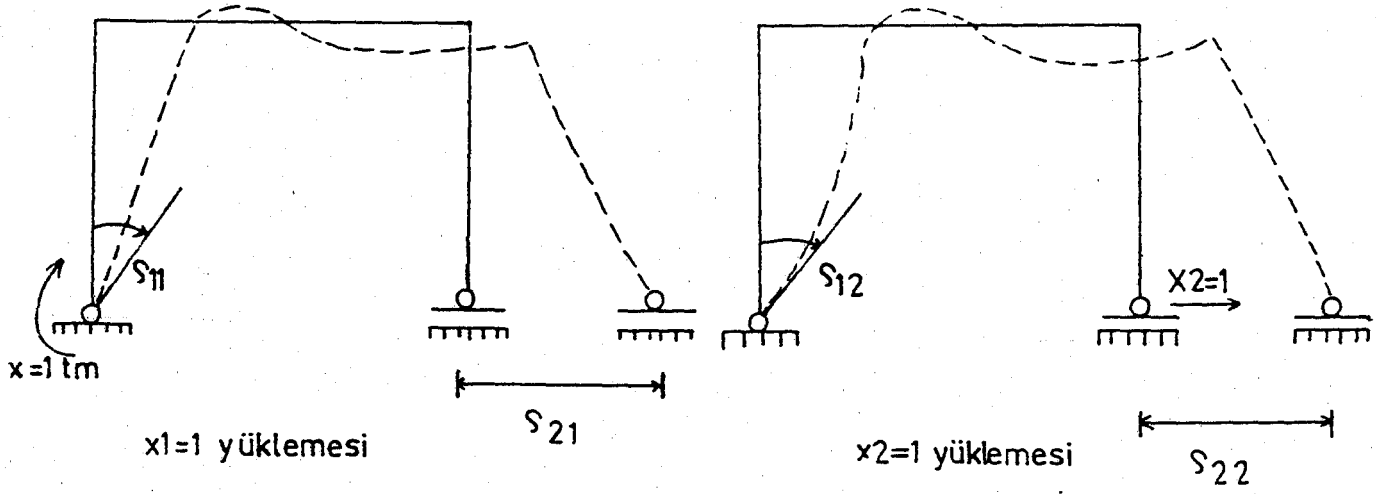
1	2	3	...	n	
$X_1=1$	$X_2=1$	$X_3=1$		$X_n=1$	
δ_{11}	δ_{12}	δ_{13}		δ_{1n}	X_1 in tatbik noktasının deplasmanlarının X_1 üzerindeki izdüşümleri
δ_{21}	δ_{22}	δ_{23}		δ_{2n}	X_2 nin tatbik noktasının deplasmanlarının X_2 üzerindeki izdüşümleri
δ_{31}	δ_{32}	δ_{33}		δ_{3n}	X_3 ün tatbik noktasının deplasmanlarının X_3 üzerindeki izdüşümleri
.
δ_{n1}	δ_{n2}	δ_{n3}		δ_{nn}	X_n nin tatbik noktasının deplasmanlarının X_n üzerindeki izdüşümleri

Tablo 1.1

Şekil 1.4 de, $X_1=1, X_2=1$ birim yüklemeleri gösterilmiştir.

d. Süperpozisyon (denge) ve süreklilik denklemleri

Hiperstatik bir sistemde dış etkilerden meydana gelen iç tesirlerin, izostatik esas sistemde aynı dış etkiler ile beraber X_1, X_2, \dots, X_n bilinmeyen kuvvetlerinden meydana gelen iç tesirlere eşit oldukları daha evvel söylenmiş idi.



Buna göre, kesit tesirleri ve reaksiyonlar için:

$$\begin{aligned} M &= M_0 + M_1 X_1 + M_2 X_2 + \dots + M_n X_n \\ Q &= Q_0 + Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + \dots + Q_n X_n \\ N &= N_0 + N_1 X_1 + N_2 X_2 + \dots + N_n X_n \\ R &= R_0 + R_1 X_1 + R_2 X_2 + \dots + R_n X_n \end{aligned} \quad (1.1)$$

deplasmanlar için de

$$\delta_1 = \delta_{10} + \delta_{1t} + \delta_{1w} + \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \dots + \delta_{1n} X_n$$

$$\delta_2 = \delta_{20} + \delta_{2t} + \delta_{2w} + \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \dots + \delta_{2n} X_n$$

⋮

$$(1.2)$$

$$\delta_n = \delta_{n0} + \delta_{nt} + \delta_{nw} + \delta_{n1} X_1 + \delta_{n2} X_2 + \dots + \delta_{nn} X_n$$

bağıntıları yazılabilir. Bu iki denklem takımından birincisine süperpozisyon (denge) denklemleri; ikincisine ise süreklilik denklemleri denilmektedir.

Burada $\delta_i : X_i$ Bilinmeyen yönünde hiperstatik sistemde deplasman miktarıdır

e. X_1, X_2, \dots, X_n bilinmeyenlerin tayini

Lineer denklem takımlarının çözümü Cramer kaidesi, eleme metotları veya iterasyon metotlarından biri ile yapılabılır.

f. Kesit tesirlerinin tayini

Hiperstatik sistemin kesit tesirleri

a) X bilinmeyenlerinin bulunan değerleri (1.1) süperpozisyon denklemlerinde yerlerine konularak veya,

b) İzostatik esas sisteme yükler ve X_i bilinmeyenlerinin bulunan değerleri tatbik edilerek tayin edilir.

g) Deplasmanların tayini

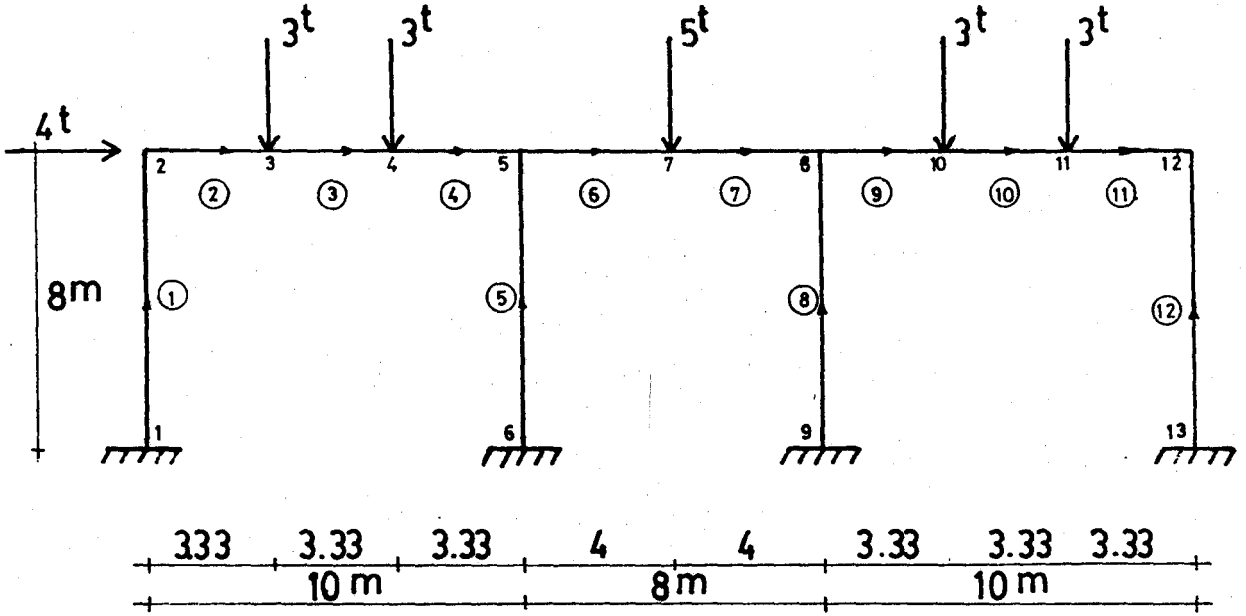
Hiperstatik sistemin istenen kesitlerindeki deplasmanlar, kesit tesirleri, daha evvel tayin edilmiş olduğu için, bilinen deplasman metotlarından birinin yardımıyla tayin edilebilir.

2. VERİLEN BİR ÖRNEK ÇERÇEVEYE METODUN UYGULANMASI:

Şekil 2.1. verilen hiperstatik çerçevenin şekil 2.2. izostatik esas sistemi verilmiştir.

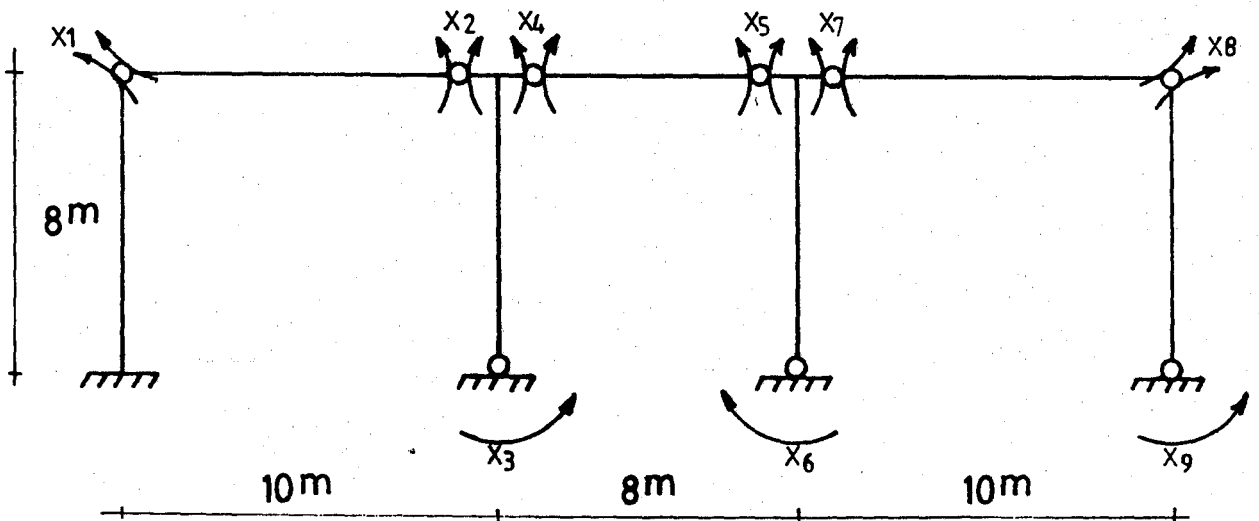
Bu çerçevede normal kuvvet deformasyonları ihmal edilerek çözülmüş ve aynı çerçevenin kuvvet matris metoduyla çözümü karşılaştırılmıştır.

2.1 VERİLEN SİSTEM



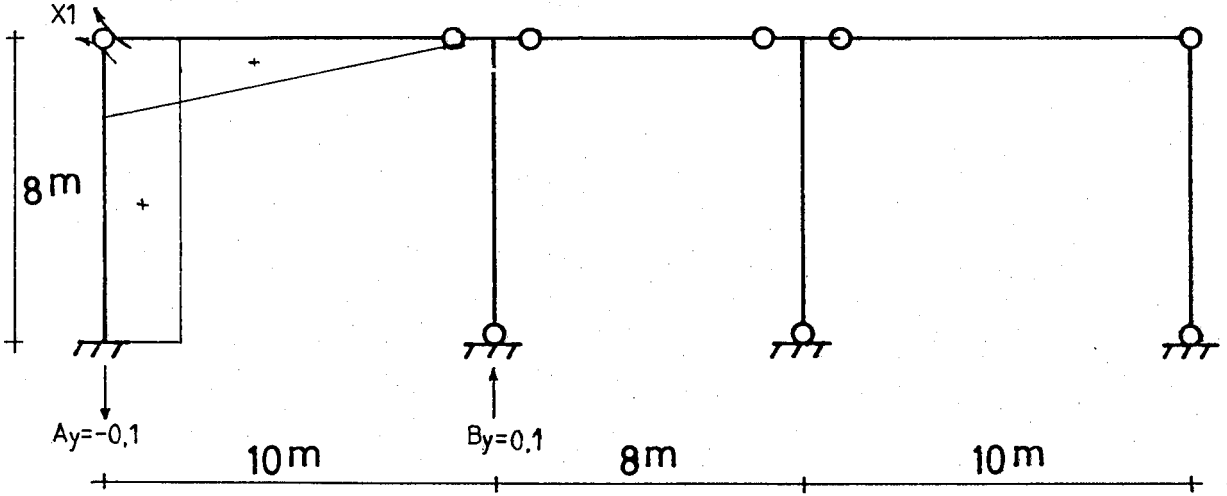
Şekil 2.1.

2.2 İZOSTATİK ESAS SİSTEM

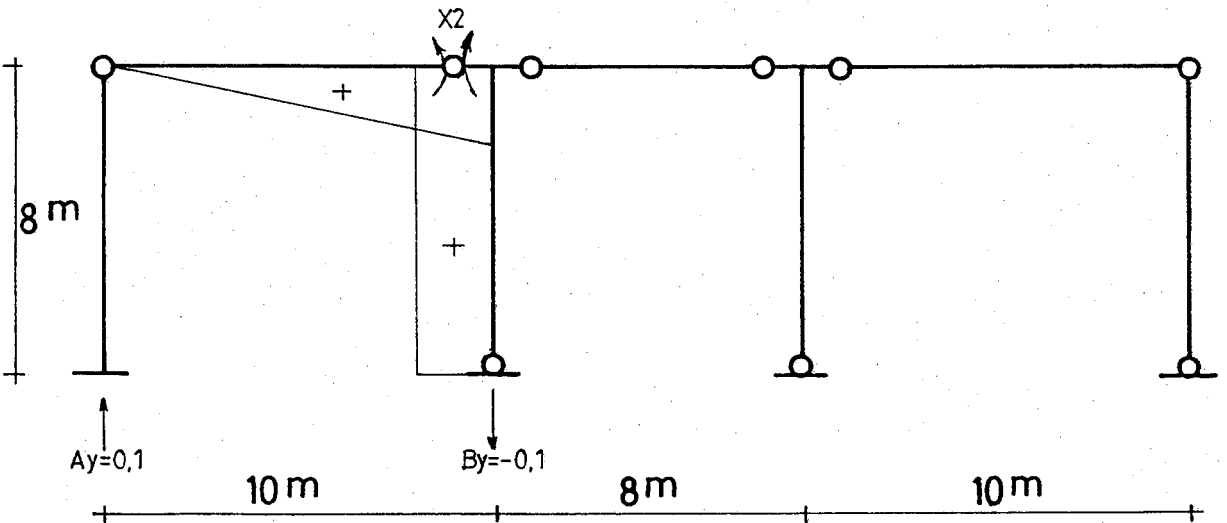


Şekil 2.2

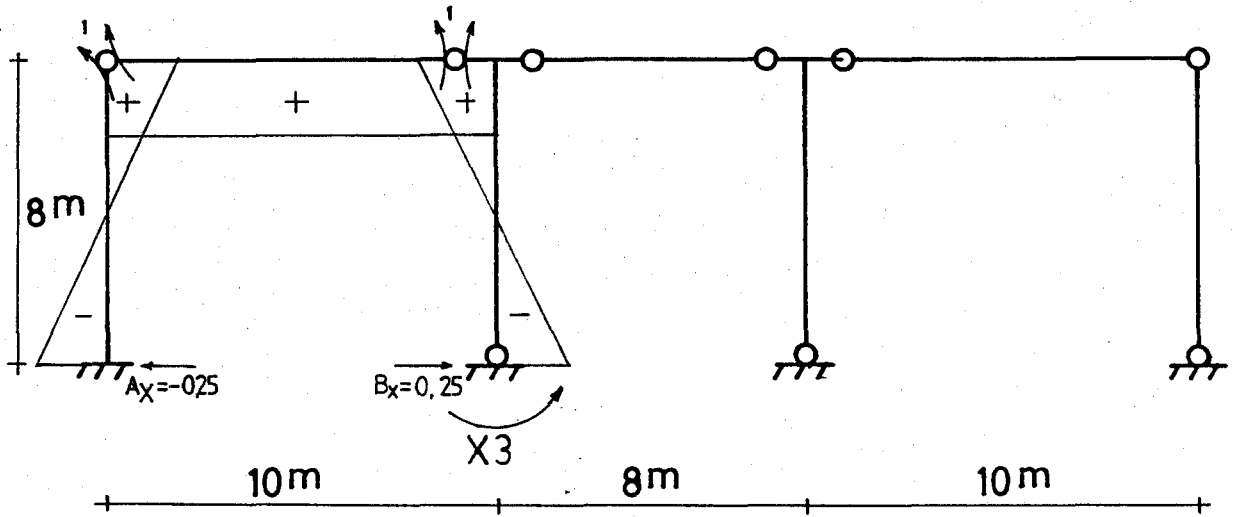
2.3. Birim Yüklemelerden Oluşan Moment Alanlarının Hesaplanması ve Çizimi " M_i "



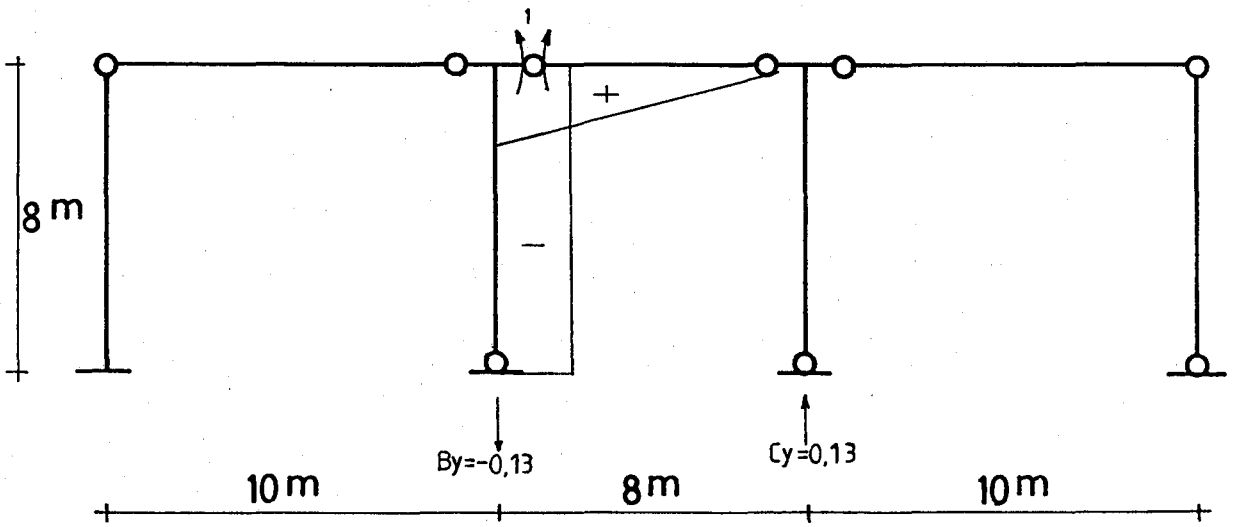
Şekil 2.3.1. $X_1=1$ t m için Moment Alanı



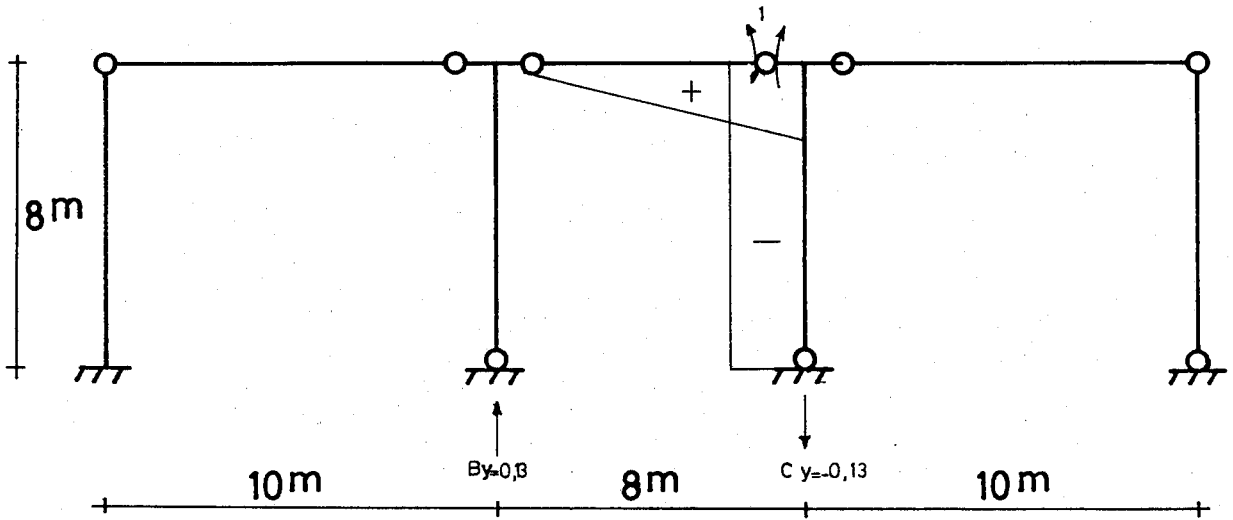
Şekil 2.3.2. $X_2=1$ t m için Moment Alanı



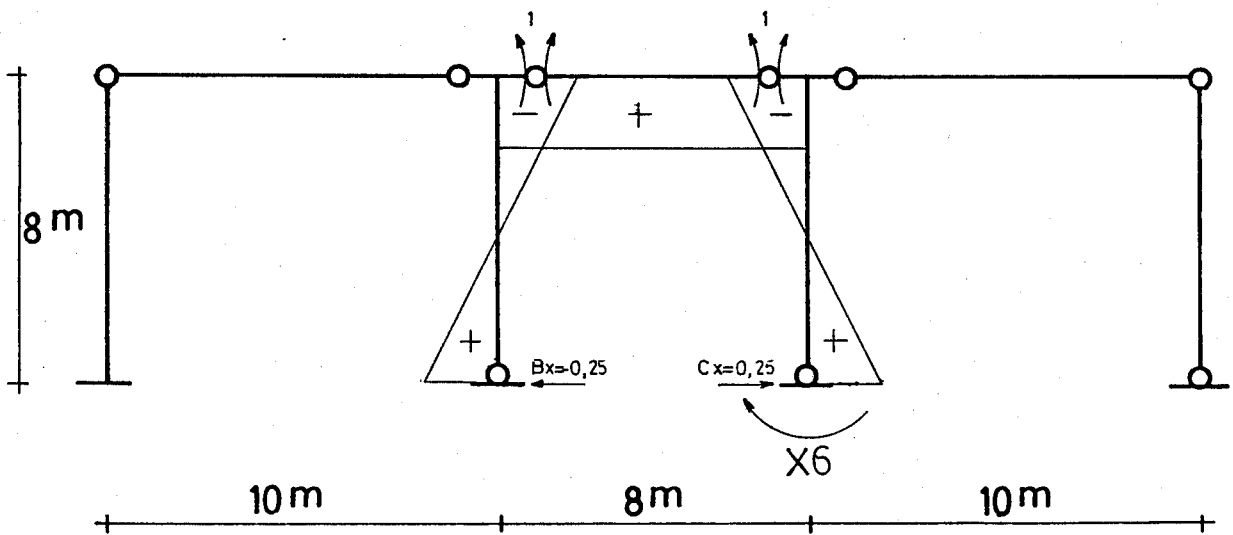
Şekil 2.3.3. $X_3=1$ t m için Moment Alanı



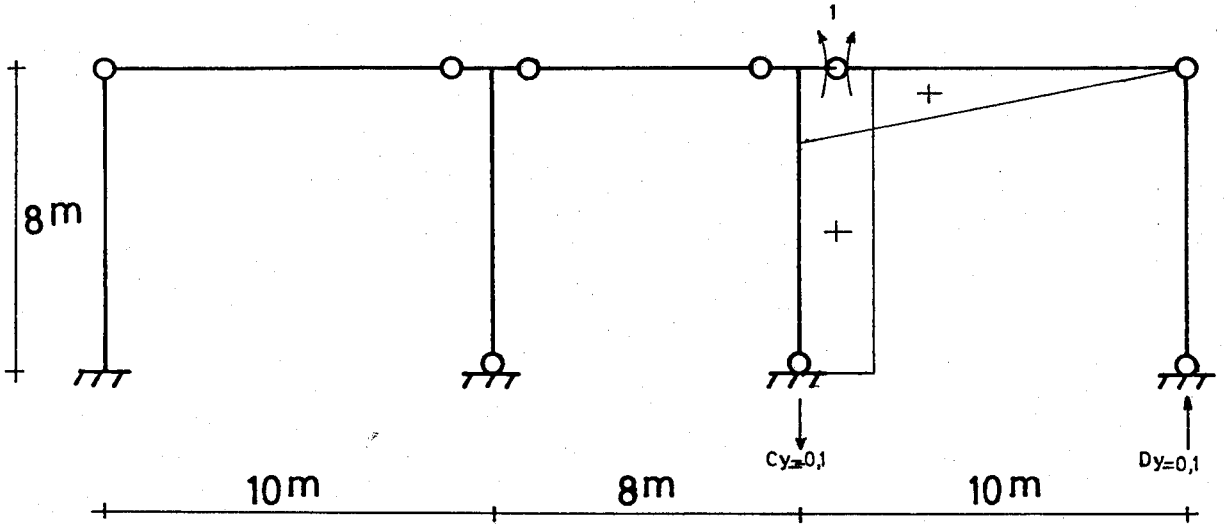
Şekil 2.3.4 $X_4=1$ t m için Moment Alanı



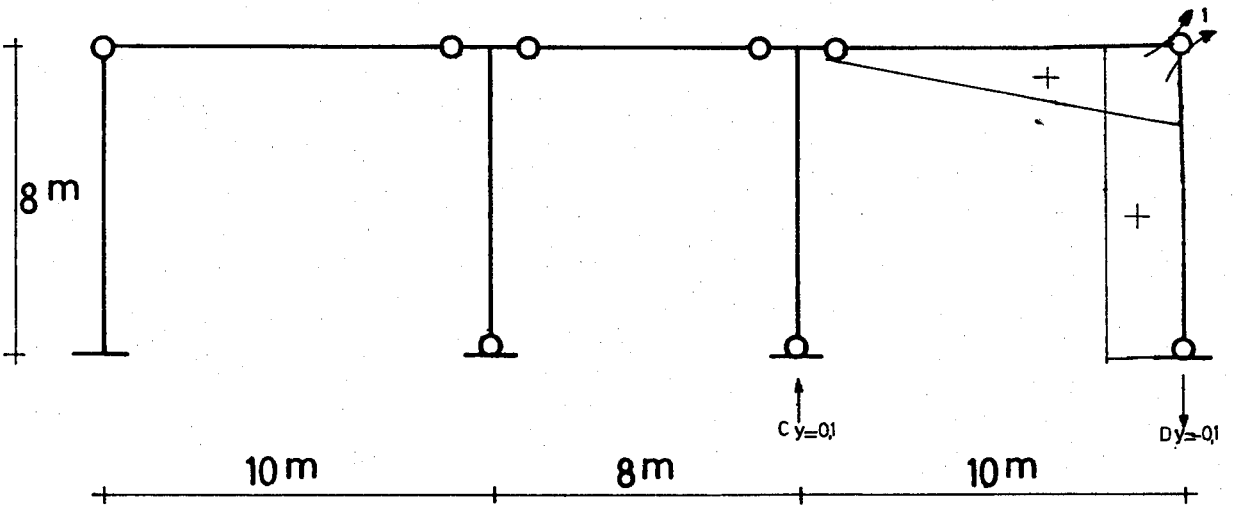
Şekil 2.3.5. $X_5 = 1 \text{ t}$ için Moment Alanı



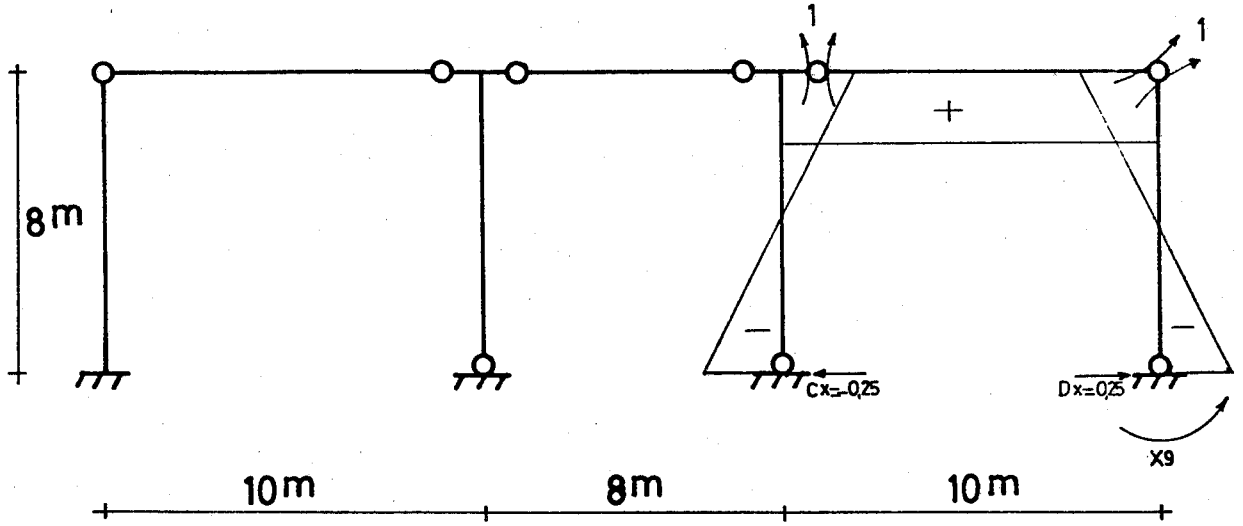
Şekil 2.3.6. $X_6 = 1 \text{ t}$ için Moment Alanı



Şekil 2.3.7 $X_7=1 \text{ t}$ için Moment Alanı

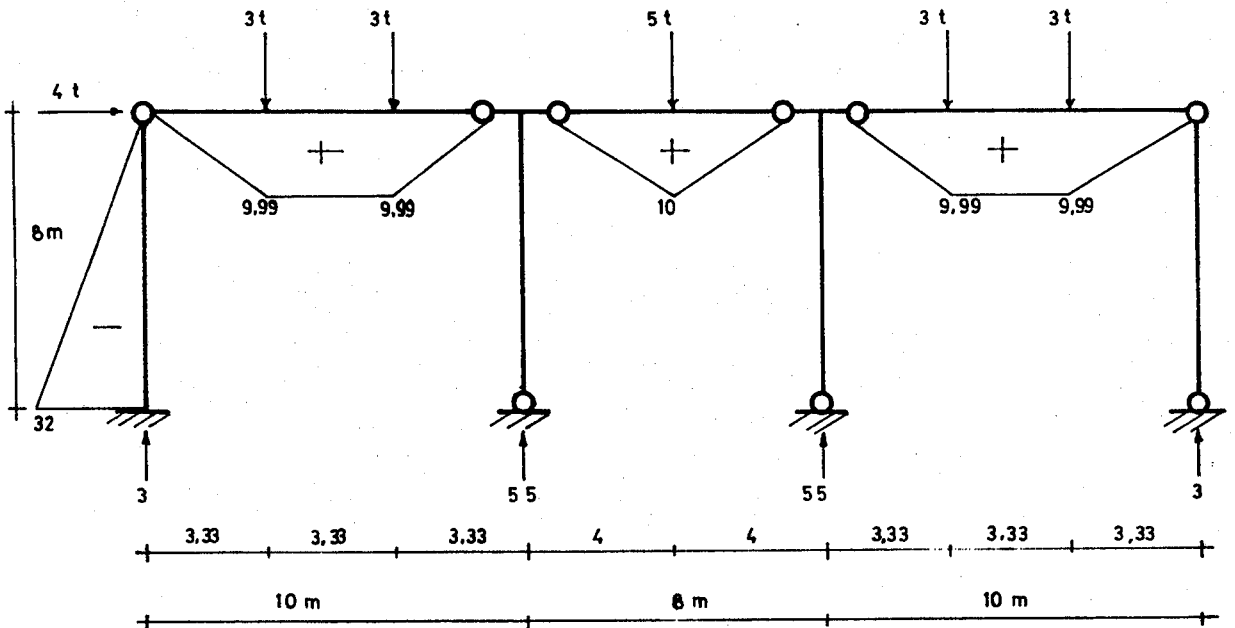


Şekil 2.3.8. $X_B=1 \text{ t}$ için Moment Alanı



Şekil 2.3.9 $X_9=1$ t.m için Moment Alanı

2.4 Dis Yuklerinden Olusan MO Moment Alanı



2.5. $M_0 \cdot M_i$ moment alanlarının çarpımı:

$$\delta_{10} = \frac{1}{6.3} 3,33.9,99 (2.0,66+1) + \frac{1}{2.3} .3,33.9,99$$

$$(0,66 + 0,33) + \frac{1}{3} .3,33.0,33.9,99 - \frac{1}{2.2} .8.32.1 = -53.01$$

$$\delta_{20} = \frac{1}{6.3} .3,33.9,99(2.0,66+1) + \frac{1}{2.3} .3,33.9,99$$

$$(0,66 + 0,33) + \frac{1}{3} .3,33.0,33.9,99 = 10,99$$

$$\delta_{30} = \left(\frac{1}{2.3} .3,33.1.9,99 \right) .2 + \frac{1}{3} .3,33.1.9,99 + \frac{1}{3.2}$$

$$8.32.1 - \frac{1}{6.2} .8.32.1 = 43.51$$

$$\delta_{40} = \frac{1}{6.4} .4.10 (2.05 + 1) + \frac{1}{3.4} .4.0,5.10 = 4,99$$

$$\delta_{50} = \frac{1}{6.4} .4.10 (2.0,5+1) + \frac{1}{3.4} .4.0,5.10 = 4,99$$

$$\delta_{60} = 2 \frac{1}{2.4} 4.10.1 = 10$$

$$\delta_{70} = \frac{1}{6.3} .3,33.9,99 (2.0,66+1) + \frac{1}{2.3} 3,33.9,99$$

$$(0,66+0,33) + \frac{1}{3} .3,33.0,33.9,99 = 10.99$$

$$\delta_{80} = \delta_{70}$$

$$\delta_{90} = \left(\frac{1}{2.3} .3,33.1.9,99 \right) .2 + \frac{1}{3} 3,33.1.9,99 = 22,18$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{2} .8.1.1 + \frac{1}{3.3} .10.1.1 = 5.1$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{3} .8.1.1 + \frac{1}{3.3} .10.1.1 = 3,77$$

$$\delta_{33} = \frac{1}{3} .10.1.1 + \left(\frac{1}{6.3} .8.1.1 \right) .2 + \left(\frac{1}{6.2} .8.1.1 \right) .2 = 5,56$$

$$\delta_{44} = \frac{1}{3} .8.1.1 + \left(\frac{1}{3.4} .8.1.1 \right) = 3,33$$

$$\delta_{55} = \frac{1}{3} .8.1.1 + \frac{1}{3.4} 8.1.1 = 3,33$$

$$\delta_{66} = \frac{1}{4} .8.1.1 + 4 \cdot \frac{1}{3.3} 4.1.1 = 3,78$$

$$\delta_{77} = \frac{1}{3} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 + \frac{1}{3 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 3,77$$

$$\delta_{88} = \frac{1}{3 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 = 5,1$$

$$\delta_{99} = \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 + \left(\frac{1}{6 \cdot 3} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1\right) \cdot 2 + \left(\frac{1}{6 \cdot 2} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1\right) \cdot 2 = 5,56$$

$$\delta_{12} = \frac{1}{6 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56$$

$$\delta_{13} = \frac{1}{2 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 1,67$$

$$\delta_{23} = \frac{1}{2 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 1,67$$

$$\delta_{24} = -\frac{1}{3} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 = -2,67$$

$$\delta_{36} = -\frac{1}{3 \cdot 3} \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 - \frac{1}{3 \cdot 3} \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 = -0,89$$

$$\delta_{45} = \frac{1}{6 \cdot 4} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,33$$

$$\delta_{46} = \frac{1}{2 \cdot 4} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$\delta_{56} = \frac{1}{2 \cdot 4} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$\delta_{57} = -\frac{1}{3} \cdot 8 \cdot 1 \cdot 1 = -2,67$$

$$\delta_{69} = -2 \frac{1}{3 \cdot 3} \cdot 4 \cdot 1 \cdot 1 = -0,89$$

$$\delta_{78} = \frac{1}{6 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56$$

$$\delta_{79} = \frac{1}{2 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 1,67$$

$$\delta_{89} = \frac{1}{2 \cdot 3} \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 1,67$$

2.6. Süreklilik Denklemleri:

$$\delta_{n1} \cdot X_1 + \delta_{n2} \cdot X_2 + \delta_{n3} \cdot X_3 + \dots + \delta_{nn} \cdot X_n = -\delta_{no}$$

5,1	0,56	1,67								X_1	53,01
0,56	3,77	1,67	-2,67							X_2	-10,99
1,67	1,67	5,56		-0,89						X_3	-43,51
	-2,67		3,33	0,33	1					X_4	-4,99
			0,33	3,33	1	-2,67				X_5	-4,99
		-0,89	1	1	3,78		-0,89			X_6	-10
				-2,67		3,77	0,56	1,67		X_7	-10,99
						0,56	5,1	1,67		X_8	-10,99
						-0,89	1,67	1,67	5,56	X_9	-22,18

DX

X

P₀

2.7 Denklem Sisteminin Cozumu

Dx matrisi

```
-----  
5.1 .56 1.67 0 0 0 0 0 0  
.56 3.77 1.67 -2.67 0 0 0 0 0  
1.67 1.67 5.56 0 0 -.89 0 0 0  
0 -2.67 0 3.33 .33 1 0 0 0  
0 0 0 .33 3.33 1 -2.67 0 0  
0 0 -.89 1 1 3.78 0 0 -.89  
0 0 0 0 -2.67 0 3.77 .56 1.67  
0 0 0 0 0 0 .56 5.1 1.67  
0 0 0 0 0 -.89 1.67 1.67 5.56
```

P0 vektoru

```
-----  
53.01  
-10.99  
-43.51  
-4.99  
-4.99  
-10  
-10.99  
-10.99  
-22.18
```

Hiperstatik Bilinmeyenler

```
-----  
X( 1 )= 14.84533  
X( 2 )= 6.391061  
X( 3 )=-15.73662  
X( 4 )= 6.41106  
X( 5 )= .9069429  
X( 6 )=-9.573984  
X( 7 )= .2066607  
X( 8 )=-.387259  
X( 9 )=-5.467491
```

2.8. Süper Pozisyon denklemleri ile moment değerlerinin hesaplanması:

$$M_m = \bar{M}_0 + \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + \bar{M}_3 X_3 + \dots$$

$$M_{11} = -32 + 14,85 \cdot 1 + 15,74 \cdot 1 = -1,41 \text{ t.m}$$

$$M_{12} = M_{22} = 0 + 14,85 \cdot 1 - 15,74 \cdot 1 = -0,89 \text{ t.m}$$

$$M_{23} = M_{33} = 9,99 + 0,66 \cdot 14,85 + 14 \cdot 85 + 6,39 \cdot 0,33 - 15,74 \cdot 1 = 6,16 \text{ t.m}$$

$$M_{34} = M_{44} = 9,99 + 14,85 \cdot 0,33 + 6,39 \cdot 0,66 - 15,74 = 3,37 \text{ t.m}$$

$$M_{45} = 0 + 6,39 \cdot 1 - 15,74 \cdot 1 = -9,35 \text{ t.m}$$

$$M_{55} = 0 + 6,39 \cdot 1 - 15,74 \cdot 1 - 6,41 \cdot 1 + 9,57 \cdot 1 = -6,19 \text{ t.m}$$

$$M_{56} = 0 + 6,39 \cdot 1 + 15,74 \cdot 1 - 6,41 \cdot 1 - 9,57 \cdot 1 = 6,15 \text{ t.m}$$

$$M_{65} = 0 + 6,41 \cdot 1 - 9,57 \cdot 1 = -3,16 \text{ t.m}$$

$$M_{67} = M_{77} = 10 + 6,41 \cdot 0,5 + 0,91 \cdot 0,5 - 9,57 = 4,09 \text{ t.m}$$

$$M_{78} = 0 + 0,91 \cdot 1 - 9,57 \cdot 1 = -8,66 \text{ t.m}$$

$$M_{88} = 0 - 0,91 \cdot 1 + 9,57 \cdot 1 + 0,21 \cdot 1 - 5,47 \cdot 1 = 3,40 \text{ t.m}$$

$$M_{89} = 0 - 0,91 \cdot 1 - 9,57 \cdot 1 + 0,21 \cdot 1 + 5,47 \cdot 1 = -4,80 \text{ t.m}$$

$$M_{98} = 0 + 0,21 \cdot 1 - 5,47 \cdot 1 = -5,26 \text{ t.m}$$

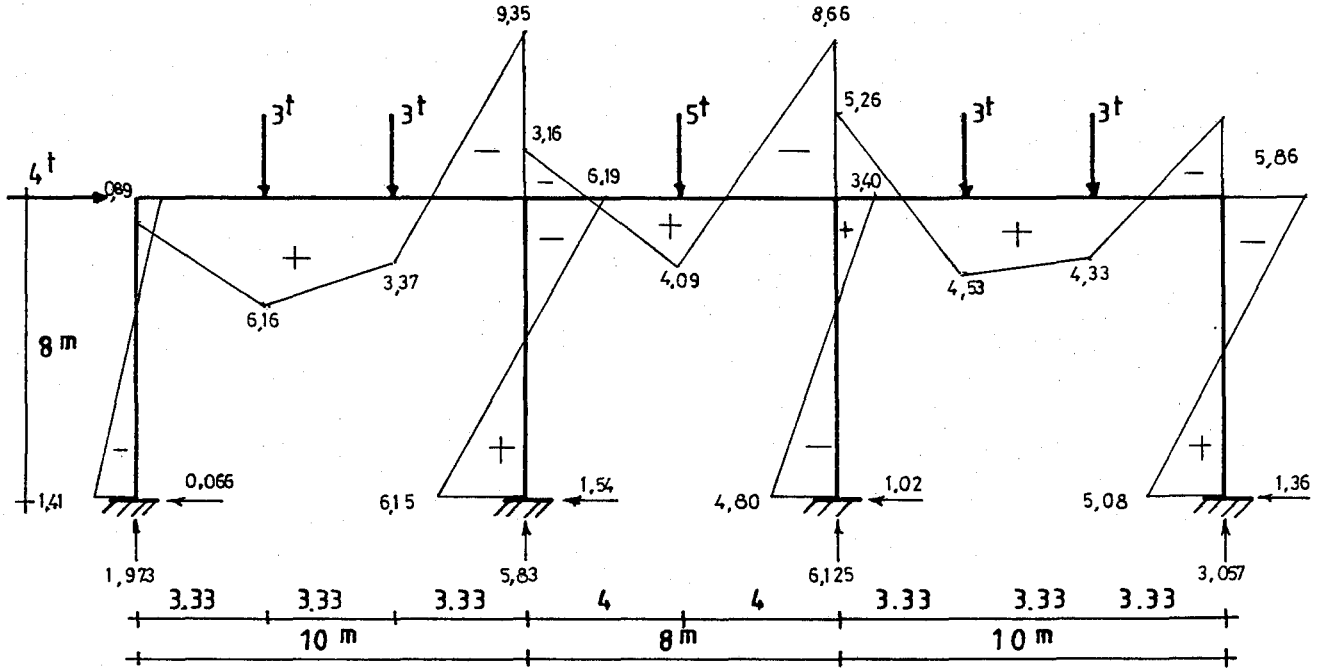
$$M_{910} = M_{1010} = 9,99 + 0,21 \cdot 0,66 - 0,39 \cdot 0,33 - 5,47 = 4,53 \text{ t.m}$$

$$M_{1011} = M_{1111} = 9,99 + 0,21 \cdot 0,33 - 0,66 \cdot 0,39 - 5,47 = 4,33 \text{ t.m}$$

$$M_{1112} = M_{1212} = 0 - 0,39 \cdot 1 - 5,47 \cdot 1 = -5,86 \text{ t.m}$$

$$M_{1213} = 0 - 0,39 \cdot 1 + 5,47 \cdot 1 = 5,08 \text{ t.m}$$

2.9. Normal Kuvvet Deformasyonu İhmali İle Sonuç Moment Alanı



Şekil 2.5.

3. KUVVET MATRİS METODU:

3.1. Genel Bilgiler

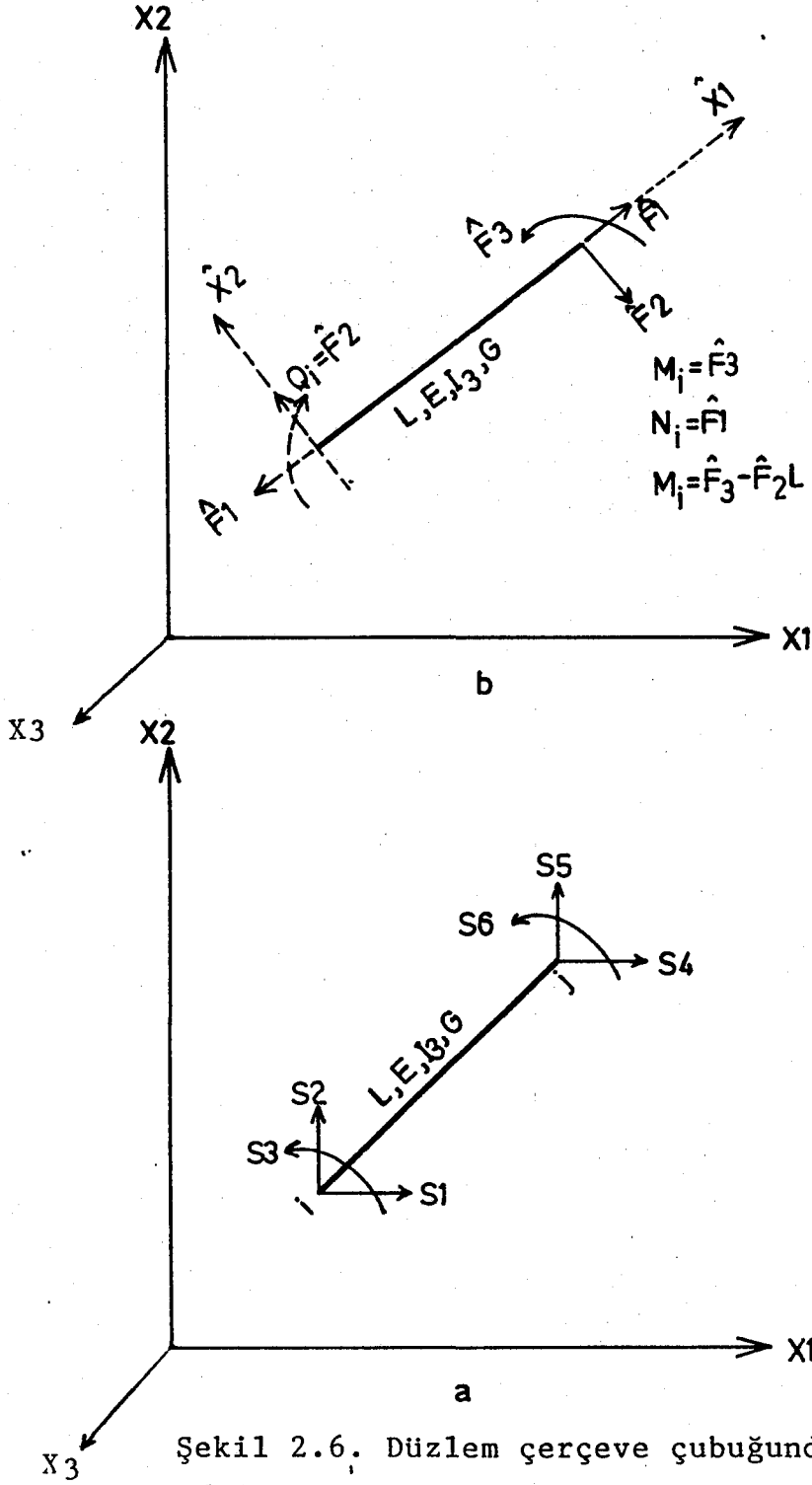
Kuvvet matris metodu nümerik bir hesap yöntemidir. Metodun esası, sistem ne denli karmaşık olursa olsun daima sistemin idealize edilmiş ve özellikleri bilinen elemanlarının çözümüne dayanır.

Kuvvet matris metodu plak, levha ve kabuk gibi sürekli ortam özelliğine sahip taşıyıcı sistemlerin gerilme, stabilite ve dinamik hesaplarına da uygulanabilmektedir.

Kuvvet matris metoduna hesaplanacak sistemler birbirlerinden sonlu uzaklıktaki noktalarda birleşen elemanlardan oluşmaktadır. Sonuçların doğruluk derecesi yapılan idealizasyona bağlıdır.

Metot, çubuk sistemlere uygulandığında kesin çözümler verir. Ancak sürekli ortam problemlerinde hiperstatiklik derecesi sonsuz olduğu halde sistemin idealize edilmesiyle hiperstatiklik derecesi sonlu bir değere indirgenmiş olur. Sonuçlar kabul edilebilir sınırlardadır.

3.2. Sistem Denge Matrisinin Kurulması:



Şekil 2.6. Düzlem çerçeve çubuğunda global ve lokal kuvvetleri

Kuvvet matris metodunda önce sistem idealize edilir. Taşıyıcı sistem için global eksen takımı seçilir. Kuvvet metodunda esas bilinmeyenler olarak seçilen \hat{F} çubuk uç kuvvetleri Şekil 2.6(b) de çubuğu J ucunda ve gösterildiği gibi seçilmiştir. Her çubukta 3 adet lineer bağımsız uç kuvveti vardır. Çubukların i, j eksenini çubuk lokal eksenlerini tarifler.

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_j - X_i \\ \Delta Y &= Y_j - Y_i \\ L &= \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Elemanların lokal eksenlerinin global eksenlerle yaptıkları açıların doğrultman cosinüsleri:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \cos \alpha(x_1, x_1) = \Delta x / L \\ \alpha_{12} &= \cos \alpha(x_1, x_2) = \Delta y / L \\ \alpha_{21} &= \cos \alpha(x_2, x_1) = -\Delta y / L \\ \alpha_{22} &= \cos \alpha(x_2, x_2) = \Delta x / L \end{aligned} \tag{3.2}$$

olarak verilir.

i. Elemanın lokal eksenlerdeki denge denklemi:

$$\hat{S}^i = \hat{B}^i \hat{F}^i \tag{3.3}$$

$$\underline{B}^i = \underline{T}^t \hat{B}^i \tag{3.4}$$

\underline{T}^i : Doğrultman cosinüsleri (Transformasyon) matrisi

$$\underline{T}^i = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & 0 & & & \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & 0 & & \bigcirc & \\ 0 & 0 & 1 & & & \\ & \bigcirc & & \alpha_{11} & \alpha_{12} & 0 \\ & & & \alpha_{21} & \alpha_{22} & 0 \\ & & & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

i. Elemanın global eksenlerdeki denge denklemi:

$$\underline{S}^i = \underline{B}^i \hat{F}^i \tag{3.5}$$

$\hat{B}_i^i, \underline{B}_i^i$ Elemanın global ve lokal eksenlerdeki denge matrisleri

$$\hat{B}_i = \begin{bmatrix} -1 & & & & & \\ & +1 & & & & \\ & +L & -1 & & & \\ +1 & & & & & \\ & & & & & \\ & & -1 & & & \\ & & & & & +1 \end{bmatrix} \begin{matrix} i \\ \\ \\ j \\ \\ j \end{matrix}$$

$$\underline{B}_i^i = \begin{bmatrix} -\Delta x/L & -\Delta y/L & 0 \\ -\Delta y/L & \Delta x/L & 0 \\ 0 & L & -1 \\ \Delta x/L & \Delta y/L & 0 \\ \Delta y/L & -\Delta x/L & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} i \\ i \\ j \\ j \\ j \\ j \end{matrix}$$

olarak verilir.

3.3. ve 3.5. açık yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} \hat{S}_1 \\ \hat{S}_2 \\ \hat{S}_3 \\ \hat{S}_4 \\ \hat{S}_5 \\ \hat{S}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & & & & & \\ & +1 & & & & \\ & +L & -1 & & & \\ +1 & & & & & \\ & & & & & \\ & & -1 & & & \\ & & & & & +1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{F}_1 \\ \hat{F}_2 \\ \hat{F}_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Delta x/L & -\Delta y/L & 0 \\ -\Delta y/L & \Delta x/L & 0 \\ 0 & L & -1 \\ \Delta x/L & \Delta y/L & 0 \\ \Delta y/L & -\Delta x/L & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{F}_1 \\ \hat{F}_2 \\ \hat{F}_3 \end{bmatrix}$$

olurlar.

i. Elemanın Flexibilite matrisi:

$$\hat{f}_i^i = \begin{bmatrix} L/AE & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(4+\phi_y)L^3}{12EI_3} & \frac{-L^2}{2EI_3} \\ 0 & \frac{-L^2}{2EI_3} & L/EI_3 \end{bmatrix} \quad \phi_y = \frac{12EI_3}{G\kappa AL^2}$$

I_3 : Elemanın X_3 eksenini etrafındaki atalet momenti

E : Elemanın elastisite modülü

G : Kayma modülü

A : Kesit alanı

κ : Kayma deformasyonları için kesit düzeltme katsayısı

\hat{f}_i^i : Düzlem çerçeve elemanın flexibilite matrisi

\hat{f}_i^i Flexibilite matrisinin f_{ij}^i elemanı tüm diğer kuvvetler 0 iken j de uygulanan $\hat{F}_j^i=1$ birim kuvvetten dolayı i deki relatif deplasmanı verir. f^i simetrik ve pozitif tariflidir.

3.2. Sistem Denge matrisinin Kurulması (\underline{N}^*)

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_{n\phi}\}$ sistemin düğüm noktalarına etkiyen global eksenler yönündeki dış yüklerin ve

$\hat{F} = \{\hat{F}_1, \hat{F}_2, \dots, \hat{F}_{m\phi}\}$ da elemanların uç kuvvetlerinin lokal eksenlerdeki vektörü olmak üzere:

$$\underline{N}^* \hat{F} = P \quad \text{sistemin denge denklemidir} \quad (3.6)$$

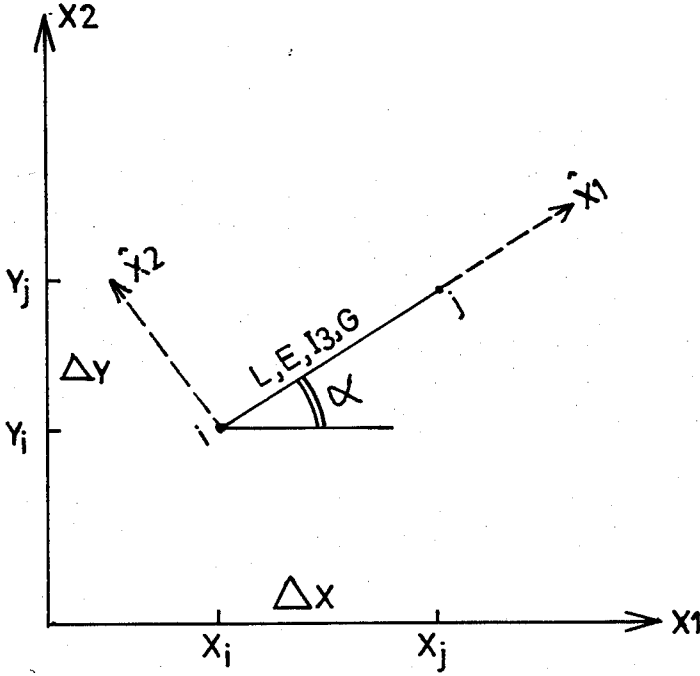
\underline{N}^* : ($n\phi \times m\phi$) boyutunda dikdörtgen tekil bir matristir.

D : Düğüm noktası sayısı

M : Eleman sayısı olmak üzere,

$$N\phi = 3XD$$

$$M\phi = 3XM \text{ verilir.}$$



Şekil 2.7. Çubuk elemanında i ve j uçları lokal eksenleri tarifler

3.3. Sınır Şartlarının İşlenmesi

3.6 deki \underline{N}^* şu şekilde gösterilebilir.

$$\underline{N}^* = \begin{bmatrix} \underline{N} \\ \underline{N}_A \end{bmatrix}$$

3.6 denklemini:

$$\begin{bmatrix} \underline{N} \\ \underline{N}_A \end{bmatrix} \hat{\underline{F}} = \begin{bmatrix} \underline{P}_r \\ \underline{P}_A \end{bmatrix}$$

Bundan;

$$\underline{N} \hat{\underline{F}} = \underline{P}_r \quad (3.7)$$

$$\underline{N}_A \hat{\underline{F}} = \underline{P}_A \quad \text{yazılabilir} \quad (3.8)$$

$$\hat{\underline{f}} = \begin{bmatrix} \hat{f}^1 & & & \\ & \hat{f}^2 & & \\ & & & \\ & & & \hat{f}^m \\ & & & & m\phi \end{bmatrix}$$

$\hat{\underline{f}}_m$: Sistemin m adet elemanının alt matrislerinden oluşan hiperdiyagonal bir matristir (sistem filexibilite matrisi)

\underline{X} vektörü bulunduktan sonra;

$\hat{\underline{F}} = \underline{B}_x \underline{X} + \underline{B}_0 \underline{P}_r$ bağıntısından çubukların (J) uçlarına ait uç kuvvetleri elde edilir. Çubukların (i) uçlarındaki kesit tesirlerin bunlardan hesaplanır.

$$N_i^i = \hat{F}_{j_1}^i$$

$$Q_i^i = \hat{F}_{j_2}^i$$

$$M_i^i = \hat{F}_{j_3}^i - \hat{F}_{j_2}^i L^i$$

(3.15)

3.5. Reaksiyonların Bulunuşu

$$\underline{N}_A \hat{\underline{F}} = \underline{P}_A \quad (3.8) \text{ ile verilmiştir.}$$

Sınır şartları işlenmemiş \underline{N}^* matrisinin \underline{N}_A ile ilgili satırları çubuk uvetleri ($\hat{\underline{F}}$) ile çarpılarak ait olduğu mesnette reaksiyon kuvvetleri bulunur.

3.7. Deplasmanların Hesabı

Dış yükler den dolayı taşıyıcı sistemin düğüm noktalarından oluşan deplasmanlar;

$$\hat{\underline{U}}_r = \hat{\underline{B}}_0^T \hat{\underline{f}} \hat{\underline{F}}$$

(3.16)

ile verilir.

\hat{U}_r aslında iki kısımdan oluşur;

\hat{F} yerine açık ifadesi yazılırsa;

$$\hat{U}_r = \underline{B}_o^T \hat{f} (\underline{B}_x \underline{X} + \underline{B}_o \underline{P}_r)$$

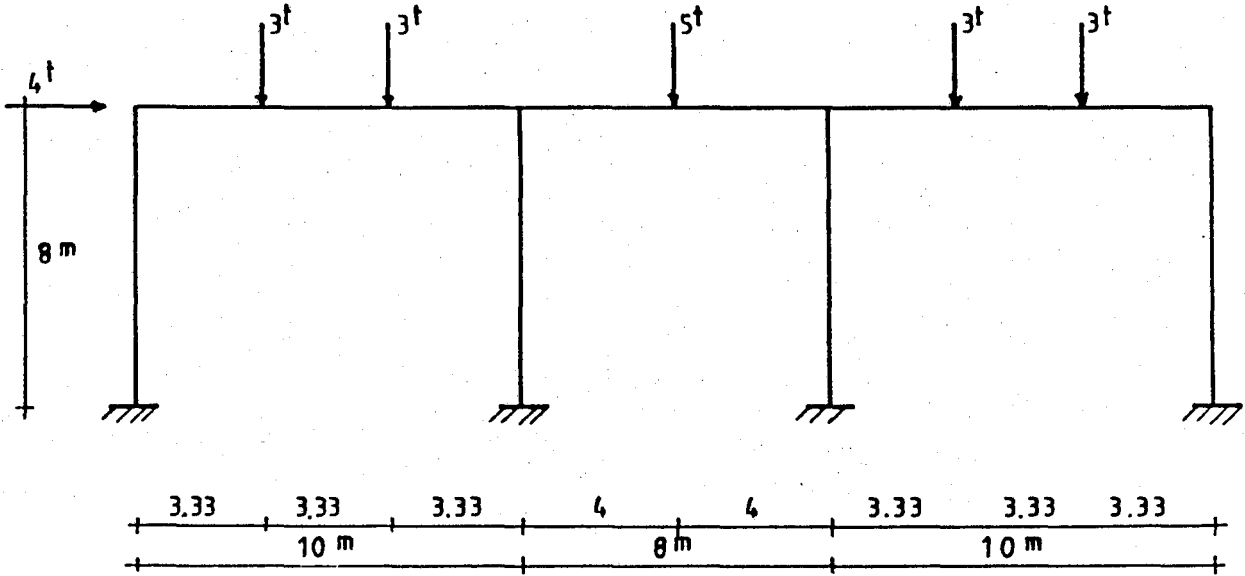
$$\hat{U}_r = \underbrace{(\underline{B}_o^T \hat{f} \underline{B}_x \underline{X})}_i + \underbrace{(\underline{B}_o^T \hat{f} \underline{B}_o \underline{P}_r)}_{ii}$$

(i) : Hiperstatik bilinmeyenlere bağlı deplasman

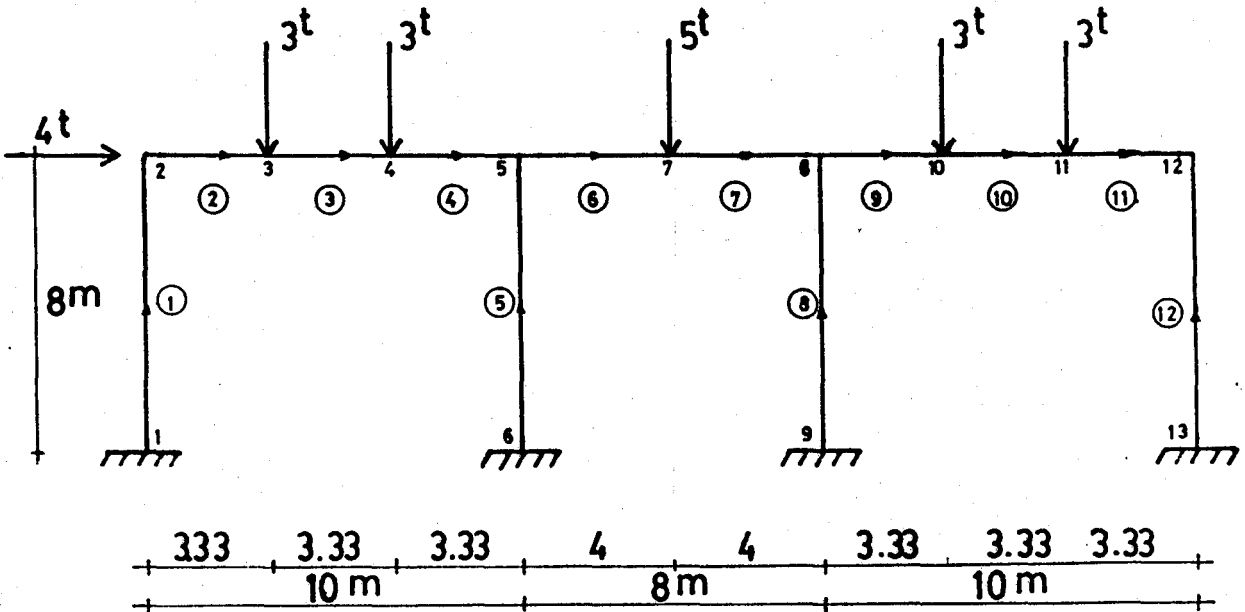
(ii): Dış yüklere bağlı deplasman

olur

3.6. Kuvvet matris metodu ile sistemin çözümü (Programla)



Şekil 2.8. verilen sistem



Şekil 2.8. sistemin numaralanmış şekli

sonlu elemanlar metodu
CUBUK SİSTEMLERİN HESABI
(kuvvet metodu)

3.6.1. Normal kuvvet deformasyonu ihmal edildiğine göre

PROBLEM ADI=DUSEY VE YATAY
eleman sayısı= 12
düğüm nokta sayısı= 13
mafsıl sayısı= 0

eleman yonieri ve elastik özellikleri

ELEM	In	Jn	E	A	MU	G	Iz	Kaaa
1	1	2	1	1000	0	1	2	1
2	2	3	1	1000	0	1	3	1
3	3	4	1	1000	0	1	3	1
4	4	5	1	1000	0	1	3	1
5	6	5	1	1000	0	1	3	1
6	5	7	1	1000	0	1	4	1
7	7	8	1	1000	0	1	4	1
8	9	8	1	1000	0	1	3	1
9	8	10	1	1000	0	1	3	1
10	10	11	1	1000	0	1	3	1
11	11	12	1	1000	0	1	3	1
12	13	12	1	1000	0	1	2	1

düğüm noktalarının koordinatları

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	0	8
3	3.33	8
4	6.66	8
5	10	8
6	10	0
7	14	8
8	18	8
9	18	0
10	21.33	8
11	24.66	8
12	28	8
13	28	0

P YUK VEKYORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	4	0	0
3	0	-3	0
4	0	-3	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	-5	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	-3	0
11	0	-3	0
12	0	0	0
13	0	0	0

parametreler :

n= 27 denklem

m0= 36 bilinmeyen

r= 9 hiperstatiklik derecesi

secilen hiperstatik bilinmeyenler

12 14 24 3 23 21 15 35 36

HIPERSTATIK BILINMEYENLER

-9.518496
1.556861
3.296859
-.8192265
1.00169
-8.707421
6.256188
1.338659
5.776874

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	-2.133073	.1027904	-1.641549	-2.133073	.1027904	-.8192265
2	2	3	-3.89721	2.133073	-.8192268	-3.89721	2.133073	6.283907
3	3	4	-3.89721	-.8669269	6.283906	-3.89721	-.8669269	3.39704
4	4	5	-3.89721	-3.866927	3.39704	-3.89721	-3.866927	-9.518496
5	6	5	-5.686288	1.556861	-6.198697	-5.686288	1.556861	6.256188
6	5	7	-2.340349	1.819361	-3.262308	-2.340349	1.819361	4.015136
7	7	8	-2.340349	-3.180639	4.015136	-2.340349	-3.180639	-8.707421
8	9	8	-6.147008	1.00169	-4.716662	-6.147008	1.00169	3.296859
9	8	10	-1.338659	2.966369	-5.410562	-1.338659	2.966369	4.467446
10	10	11	-1.338659	-3.363127E-02	-	4.467446	-1.338659	-3.363127E-02
	4.355454							
11	11	12	-1.338659	-3.033631	4.355455	-1.338659	-3.033631	-5.776874
12	13	12	-3.033631	1.338659	-4.932399	-3.033631	1.338659	5.776874

REAKSIYONLAR

NOKTA	Rx	Ry	Rz
1	-.1027904	2.133073	1.641549
6	-1.556861	5.686288	6.198697
9	-1.00169	6.147008	4.716662
13	-1.338659	3.033631	4.932399

sonlu elemanlar metodu
CUBUK SİSTEMLERİN HESABI
(kuvvet metodu)

3.6.2. Normal kuvvet deformasyonu ihmal edilmediğine göre

PROBLEM ADI=DUSEY VE YATAY

eleman sayisi= 12

dugun nokta sayisi= 13

mafsalsayisi= 0

eleman yonleri ve elastik ozellikleri

ELEM	In	Jn	E	A	MU	B	Iz	Kapa
1	1	2	1	1	0	1	2	1
2	2	3	1	1	0	1	3	1
3	3	4	1	1	0	1	3	1
4	4	5	1	1	0	1	3	1
5	6	5	1	1	0	1	3	1
6	5	7	1	1	0	1	4	1
7	7	8	1	1	0	1	4	1
8	9	8	1	1	0	1	3	1
9	8	10	1	1	0	1	3	1
10	10	11	1	1	0	1	3	1
11	11	12	1	1	0	1	3	1
12	13	12	1	1	0	1	2	1

dugun noktalarinin koordinatlari

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	0	8
3	3.33	8
4	6.66	8
5	10	8
6	10	0
7	14	8
8	18	8
9	18	0
10	21.33	8
11	24.66	8
12	28	8
13	28	0

P YUK VEKYORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	4	0	0
3	0	-3	0
4	0	-3	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	-5	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	-3	0
11	0	-3	0
12	0	0	0
13	0	0	0

parametreler :

n= 27 denklem

m0= 36 bilinmeyen

r= 9 hiperstatik derecesi

secilen hiperstatik bilinmeyenler

12 14 24 3 23 21 15 35 36

HİPERSTATİK BİLİNMEYENLER

-8.253176

1.47448

2.557634

.5385686

.7252356

-7.04757

5.485375

1.011255

5.295727

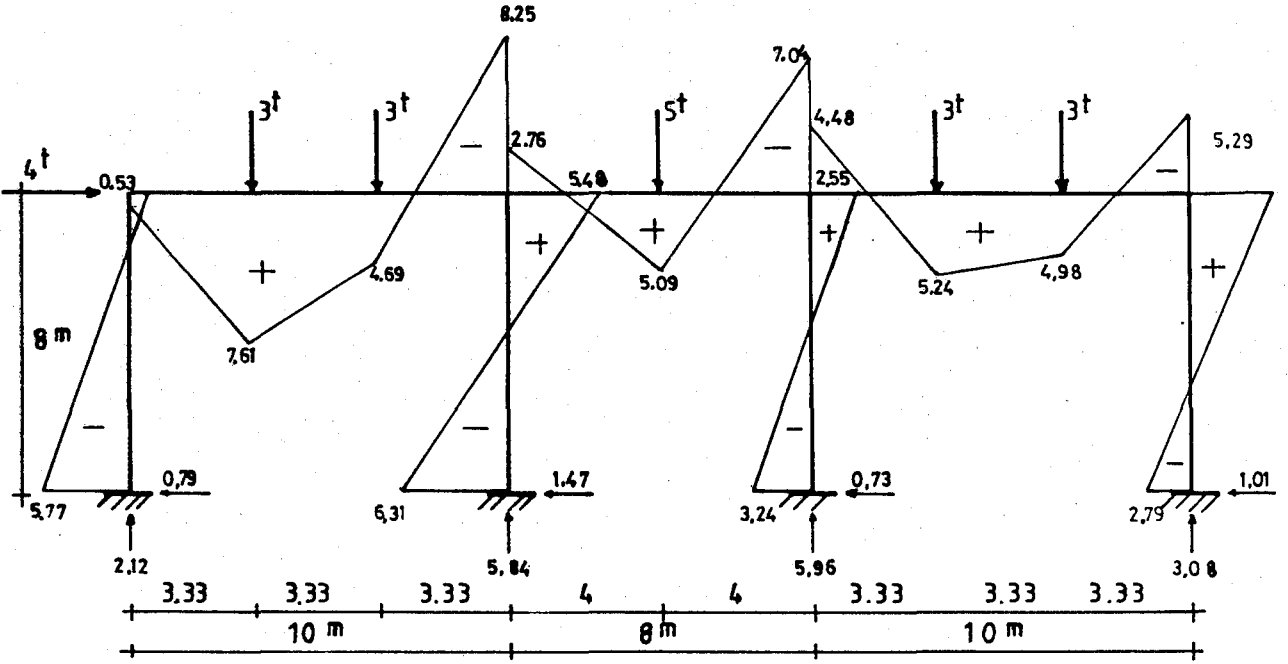
CUBUK KUVVETLERİ

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	-2.123826	.7890291	-5.773665	-2.123826	.7890291	.5385686
2	2	3	-3.210971	2.123826	.5385685	-3.210971	2.123826	7.610908
3	3	4	-3.210971	-.8761744	7.610907	-3.210971	-.8761744	4.693247
4	4	5	-3.210971	-3.876174	4.693247	-3.210971	-3.876174	-8.253176
5	6	5	-5.841203	1.47448	-6.310467	-5.841203	1.47448	5.485375
6	5	7	-1.736491	1.965029	-2.767801	-1.736491	1.965029	5.092314
7	7	8	-1.736491	-3.034971	5.092315	-1.736491	-3.034971	-7.04757
8	9	8	-5.957392	.7252356	-3.244251	-5.957392	.7252356	2.557634
9	8	10	-1.011255	2.922421	-4.489936	-1.011255	2.922421	5.241725
10	10	11	-1.011255	-7.757911E-02		5.241725	-1.011255	-7.757911E-02
	4.983386							
11	11	12	-1.011255	-3.077579	4.983388	-1.011255	-3.077579	-5.295727
12	13	12	-3.077579	1.011255	-2.794314	-3.077579	1.011255	5.295727

REAKSIYONLAR

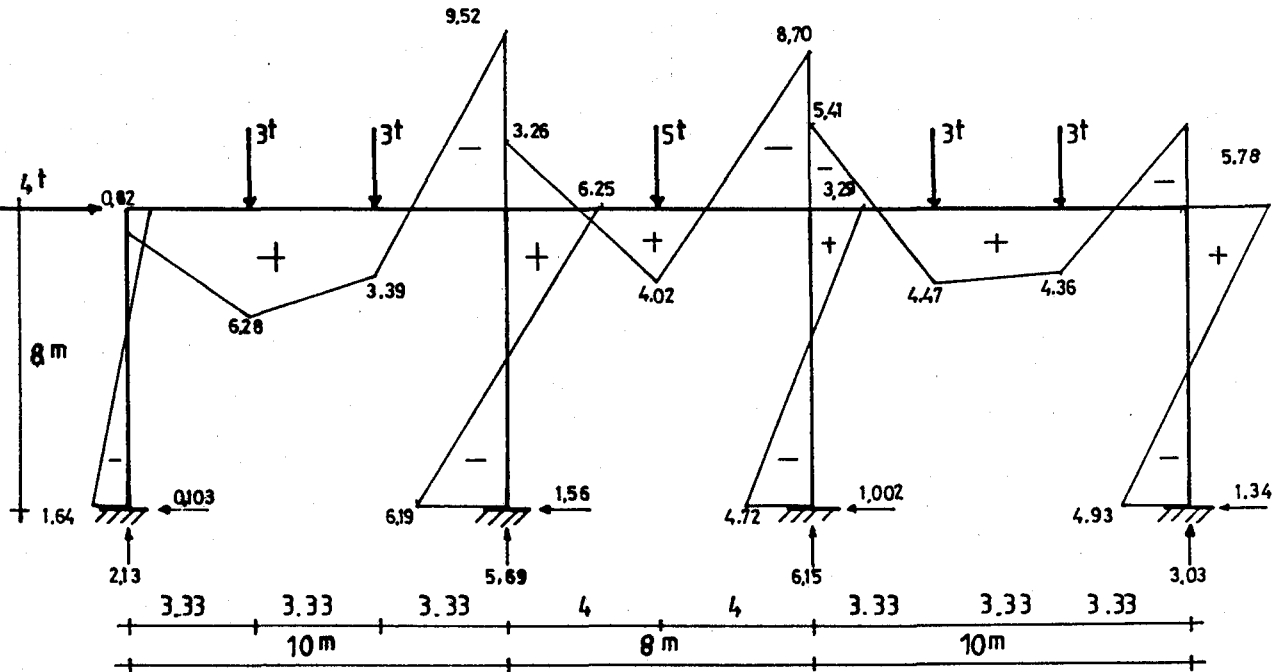
NOKTA	Rx	Ry	Rz
1	-.7890291	2.123826	5.773665
6	-1.47448	5.841203	6.310467
9	-.7252356	5.957392	3.244251
13	-1.011255	3.077579	2.794314

3.7. Normal kuvvet deformasyonu eklenmesi ile sonuç moment alanı



Şekil 2.9.

3.8. Normal kuvvet deformasyonu ihmal ile sonuç moment alanı



Şekil 2.10.

3.9. YORUM:

$$\delta = \frac{P \cdot R}{A \cdot E}$$

: normal kuvvet deformasyonu

P.1 : N

A : Alan

E : Elastisite modülü

- a: Normal kuvvet deformasyonu gözönünde tutularak yapılan hesaplarda çubukların elastisite modülü ile alanlarının çarpımı P1 (N) e oranla küçük olduğundan sistemin tüm çubuk uç kuvvetlerindeki normal kuvvet deformasyonu oranı kadar moment değerleri büyüktür.
- b: Normal kuvvet deformasyonu ihmal edilerek yapılan hesaplarda alan büyük bir değere sahip elastisite modülü ile çarpımı sonucu P1 (N)e oranla daha büyüktür ve sonuçta sistemin tüm çubuk uç kuvvetlerindeki moment değerleri daha küçüktür.

4. SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda:

a. Kuvvet yönteminde hiperstatik bilinmeyenlerin seçimi moment alanlarında dallanma olmaması için belirli bir hüneri istemektedir.

b. Hiperstatik derecesi yüksek olması halinde hesaplar uzun ve yorucu olmaktadır.

c. Hiperstatik derecesini denklem takımını daha az yansıtmak için grup yüklemeler gerekmektedir.

d. Kuvvet metodu çözümde kişisel beceri ve dikkat gereklidir.

e. Matris kuvvet yöntemi alışagelmış bir yöntem değildir, literatür azdır.

f. denge matrisini kurmak yorucu olmakla birlikte belli bir ctomsayon yapılabilir.

g. Kuvvet matris metodunun bilgisayar programlama çözümünde verilerin hazırlanması uzun ve fazla olmaktadır.

h. Hiperstatik derecesi yedi veya daha az olan sistemlerde kuvvet yöntemi daha fazla olan sistemlerde matris kuvvet yöntemi uygun görülmektedir.

J. El hesaplarında, hesapları basitleştirmek için, normal kuvvet deformasyonları ihmal edilmektedir. Bu ise, bilhassa rijitliği fazla olan çerçevelerde hatalı sonuç vermektedir.

5. ÖNERİLER

a. Hesaplarda tercih hesabı yapanın bilgi ve tercihinine bırakılmamalıdır.

b. Electronic Hesap Makinası kullanırken literatür ve hazır program azlığı nedeni ile ara programlarda, hesabı yapan tarafından hazırlanmak zorundadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Çakıroğlu, A., "Yapı Statiği", İ.T.Ü., İstanbul 1979.
2. Çakıroğlu, A., "Yapı Statiği-Hiperstatik Sistemler Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinaları Programları", İ.T.Ü., İstanbul 1970.
3. Aydın, R., 1985, "Yapı Statiği, Hiperstatik Sistemler ve Matris Metotları", E.A.Ü., Eskişehir 1985.
4. Zurmühl, R., "Matrisler ve Mühendislik Problemlerine Uygulamalar", Berlin Teknik Üniversitesi 1968.
5. Sabis, T., "Yapı Statiği, Hiperstatik Sistemler", İ.T.Ü., İstanbul. 1963.
6. J.S. PRZEMIENIECKI "THEORY OF MATRIX STRUCTURAL ANALYSIS"
Dean of Engineering Air Force Institute of Technology 1968.
7. Aykurt, V., "Yapı Statiği", D.M.M.A., Eskişehir 1949.