

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇERÇEVE SİSTEMLERİN HESABI
İÇİN BİR BİLGİSAYAR
PROGRAMI

YAPI DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
İNŞAAT MÜHENDİSİ BERRİN ÇİFTÇİ(KABAAĞAÇ)

YÖNETEN
Doç.M.RUHİ AYDIN

ŞUBAT 1985

İÇİNDEKİLER

	Sayfa.
ÖNSÖZ	1
ÖZET	ii-iii
SEMBOLLER LİSTESİ	iv
BÖLÜM I - İŞARET KABULLERİ	1
I.1. Tanımlar	1
I.1.1. Uç Kuvvetleri	1
I.1.2. Uç Deplasmanları	1
I.2. Uç Kuvvetleri ile Deplasmanlar Arasındaki	
Bağıntılar	2
I.2.1. İki Ucu Ankastre Çubuklarda	2
I.2.1.1. Çubuk Uçlarının Relatif Yer	
Değiştirmesi	4
I.2.2. Bir Ucu Mafsallı Diğer Ucu	
Ankastre Çubuklarda	5
I.2.2.1. Çubuk Uçlarının Relatif Yer	
Değiştirmesi	6
I.3. Ankastrelik Momentleri	6
BÖLÜM II - AÇI METODU DENKLEM TAKIMLARININ KURULMASI	11
BÖLÜM III- İTERASYON YÖNTEMLERİ	18
III.1. Jacobi	18
III.2. Gauss-Seidel	20
III.3. Rölaksasyon	22
BÖLÜM IV - MÜTEMADİ KİRİŞLERİN ÇÖZÜMÜ İÇİN	
BİLGİSAYAR PROGRAMI	25
IV.1. Programın İçeriği	26
IV.2. Akış Diyagramı	30
IV.3. Mütemadi Kiriş Programında	
Önemli Değişkenler	31
IV.4. Programın Kullanılışı	32
IV.5. Bilgisayar Programı	34
IV.6. Örnekler	37
IV.7. Mütemadi Kirişlerle İlgili	
Bazı Karşılaştırmalar	42

BÖLÜM V - ÇERÇEVE SİSTEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN

BİLGİSAYAR PROGRAMI	44
V.1. Programın İçeriği	44
V.2. Akış Diyagramı	45
V.3. Çerçeve Programında Önemli Değişkenler	47
V.4. Programın Kullanılışı	48
V.5. Bilgisayar Programı	50
V.6. Örnekler	55
V.7. Çerçevelerle İlgili Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması	68
BÖLÜM VI - SONUÇ	75
YARARLANILAN KAYNAKLAR	76

Ö N S Ö Z

Yapılar genel olarak yığma ve karkas olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlardan karkas olanlarda taşıyıcı sistem mütemadi kirş ve çerçevelerden oluşur. Bu taşıyıcı sistem çözümlerinin elde yapılması uzun ve yorucudur.

Bilgisayar kullanımının yaygınlaşmaya başlaması ileri ülkelerde tüm mühendislik dallarında kombine programların geliştirilmesine neden olmuştur. Bu programlar genellikle FORTRAN dilinde, hafıza kapasitesi büyük bilgisayarlar için hazırlanmıştır.

Son yıllarda mikrobilgisayarların ve buna bağlı olarak BASIC dilinin yaygınlaşması, hafızada az yer kaplayan fakat mümkün olduğu kadar büyük sistemleri çözen programların yazılmasını gerektirmiştir.

Bu çalışmada, önce mütemadi girişler için BASIC dilinde bir program yazılmış, sonra düşey kolonlu, tabandan ankastre çerçeveleri çözebilen program MONROE EC-8800 model makinada geliştirilmiştir. Ayrıca kullanıcıya yardımcı olmak amacıyla çeşitli mütemadi giriş ve çerçeve örnekleri çözülerek bunlara ait data veriş sırası gösterilmiştir. Daha sonra geliştirilen programlar yardımıyla mütemadi giriş ve çerçevelerin çeşitli yükler altında çözümleri yapılmış ve sonuçlarının karşılaştırılmasına ve yorumlanmasına çalışılmıştır.

Çalışmalarımı yönlendiren hocam Doç.Ruhi AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Şubat. 1985
Eskişehir

Ö Z E T

Bu çalışmanın amacı; düşey yükler altında, düşey kolonlu ve tabandan ankastre çerçeveleri çözebilen BASIC dilinde bir bilgisayar programı geliştirmek ve bu programla çeşitli yükleme durumları için karşılaştırmalar yapmaktır.

Programda açı metodu kullanıldığından birinci bölümde; açı metodundaki işaret kabullerine, uç kuvvetleri ile deplasmanlar arasındaki bağıntılara yer verilmiştir. İkinci bölümde de açı metodu denklem takımlarının kurulması kısaca özetlenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; $a.x=b$ şeklindeki denklem takımlarının çözümünde uygulanan başlıca iterasyon yöntemleri özetlenip karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde; programların geliştirilmesinde kabul edilen başlıca yükler ve bunlarla ilgili olarak da programa verilmesi gerekli datalar açıklanmıştır. Daha sonra da mütemadi girişler için bilgisayar programı verilmiştir. Bu bölümde ayrıca girişlere döşemeden aktarılan yüklerin olduğu gibi (üçgen veya trapez) etkimesi ile eşdeğer yayılı yüke çevrilerek etkimesi halleri ve dama yükleme ile bütün girişin hareketli (p)+zati yükle(q)yüklenmesi durumları karşılaştırılmış, sonuçlar ve aralarındaki farklar yüzde olarak verilmiştir.

Beşinci bölümde; tabandan ankastre düşey kolonlu ve düşey yüklerle yüklü çerçeveler için bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu bölümde ayrıca çerçevelerin mütemadi giriş, alt ve üst katlardan ankastre kat çerçeve çözülmesi durumunda oluşan statik etkiler karşılaştırılmıştır.

Mütemadi giriş ve çerçeve programlarında düğüm noktası denge denklemleri bilgisayara kurdurulmuş ve denklem sistemi depolanmadan iterasyonla çözülmüştür. Programda çerçeveyi oluşturan elemanlar sabit kesitli alınmıştır.

Hazırlanan bilgisayar programında veri olarak; kat sayısı, bir kattaki kolon sayısı, kat yükseklikleri, açıklıklar, kolon ve giriş rijitlikleri ile her kattaki yük tipleri ve karakterleri verilmektedir.

Çıktı olarak da kiriş ve kolon uç momentleri, maxmum açıklık momentleri ve yerleri, kolon normal kuvvetleri ile kolon ve kiriş kesme kuvvetleri alınmaktadır.

Mütemadi kiriş ve çerçeve programları çözülmüş örneklerle açıklanmış ve takviye edilmiştir.

SEMBOLLER LİSTESİ

Sembol	Kavramı	Birimi
E	Elastisite modülü	t/m^2
G	Kiriş rijitliği	
g	Zati Yük	t/m
H,h	Kat yüksekliği	m
I	Atalet momenti	m^4
K	Kolon rijitliği	
k	İki ucu ankastre çubuğun rijitliği	
k'	Bir ucu ankastre diğer ucu mafsallı çubuğun rijitliği	
L, l	Açıklık	m
M	Moment	tm
$\bar{M}$	Ankastrelik momenti	tm
N	Normal kuvvet	t
P	Tekil yük	t
p	Hareketli yük	t/m
Q	Kesme kuvveti	t
$\bar{Q}$	Ankastre kesme kuvveti	t
q	Yayıllı yük ($q = g+p$)	t/m
X_{ij}	Denklem takımındaki bilinmeyen	
x	Maksimum momentin sol mesnede uzaklığı	m
α_{ij}, α_{ji}	Mohr metoduna göre hesaplanan fiktif yükün i,j uçlarında oluşturduğu mesnet tepkileri	
δ_{ij}, δ_{ji}	Çubuğun bir ucunun diğerine göre çubuğa dik doğrultudaki relatif deplasmanı	
$\varphi_{ij}, \varphi_{ji}$	Çubuk uçlarının dönmesi	
ϕ_{ij}, ϕ_{ji}	Deplasman yapmış çubuk eksen doğrultusunun deplasman yapmamış çubuk eksen doğrultusu ile yaptığı açı.	

BÖLÜM I

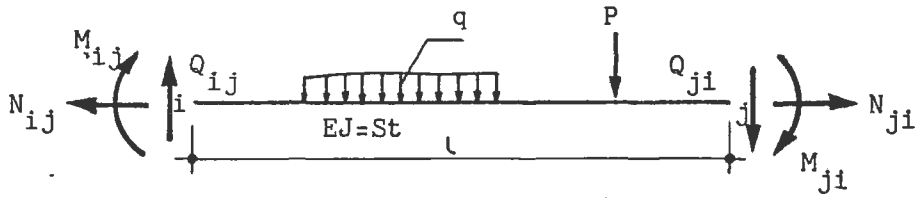
I . İŞARET KABULLERİ : (1)

I . 1. Tanımlar

I . 1.1. Uç Kuvvetleri :

Çubuğun iki ucuna etkiyen :

- Normal Kuvvet (N_{ij} , N_{ji})
- Kesme Kuvveti (Q_{ij} , Q_{ji})
- Eğilme Momenti (M_{ij} , M_{ji}) dir.



Şekil 1. Uç Kuvvetleri

N_{ij}, N_{ji} : Çubuğun i ve j uçlarına etkiyen uç kuvvetlerinin ij doğrultusundaki bileşenleridir(Normal Kuvvet). Çekme yönü pozitif (+), aksi yön negatif (-) kabul edilmiştir.

Q_{ij}, Q_{ji} : i ve j uçlarındaki uç kuvvetlerinin çubuk eksenine dik bileşenleridir(Kesme Kuvveti). Saat dönüş yönü pozitif (+), saat dönüş yönünün tersi negatif (-) kabul edilmiştir.

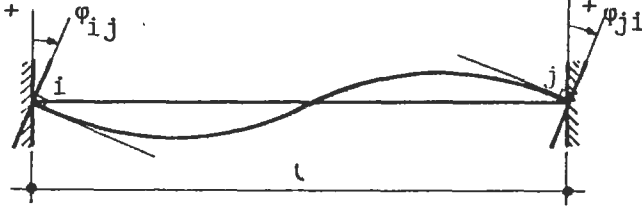
M_{ij}, M_{ji} : Çubuğun i ve j uçlarına etkiyen momentler olup saat dönüş yönü pozitif(+), saat dönüş yönünün tersi negatif(-) kabul edilmiştir. (Şekil 1'de uç kuvvetleri pozitif yönleri ile gösterilmiştir).

I . 1.2. Uç Deplasmanları :

Çubuğun iki ucunun yaptığı deplasmanlardır.

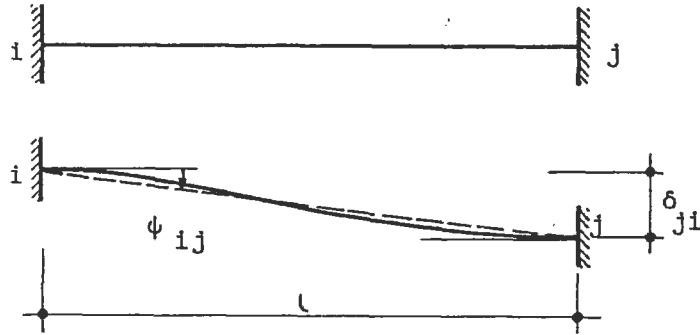
$\varphi_{ij}, \varphi_{ji}$: Çubuğun i ve j uçlarındaki dönmelerdir. Saat dönüş yönü pozitif (+), aksi yön negatif (-) kabul edilmiştir.

ψ_{ij} : Deplasman yapmış çubuk eksen doğrultusunun, deplasman yapmamış çubuk eksen doğrultusu ile yaptığı açıdır. ψ_{ij} için de saat dönüş yönü pozitif(+), aksi yön negatif(-) kabul edilmiştir.



Şekil 2. Çubuk uçlarının dönmesi ve işaret kabulü.

δ_{ij} : ij çubuğunun bir ucunun diğerine göre çubuğa dik doğrultudaki relatif yer değiştirmesidir. İşareti ψ_{ij} 'ye bağlıdır. ψ_{ij} pozitif (+) ise δ_{ij} de pozitif, ψ_{ij} negatif (-) ise δ_{ij} de negatiftir. $\delta_{ij} = \psi_{ij} \cdot l$ bağıntısı ile bunu görmek mümkündür.

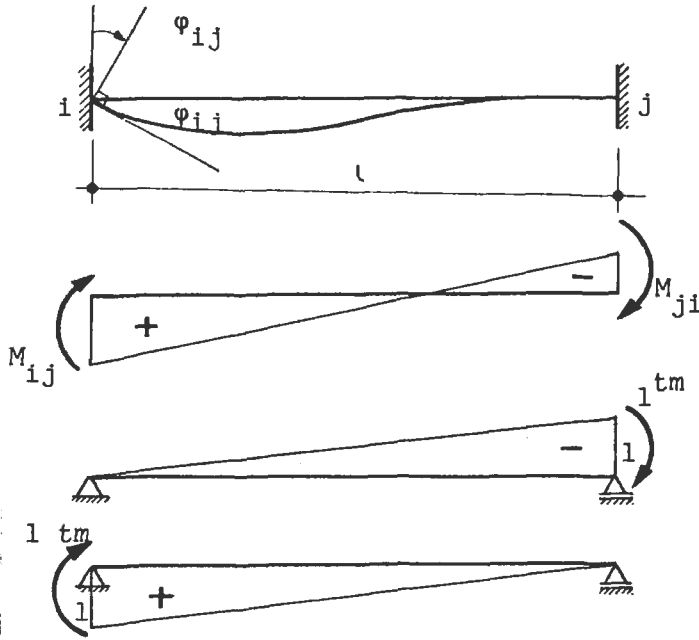


Şekil 3. Çubuk eksenin dönmesi (ψ_{ij}) ve çubuk ucunun relatif deplasman (δ_{ji}) yapması hali.

I . 2. Uç Kuvvetler İle Deplasmanlar Arasındaki Bağıntılar :

I . 2.1. İki Ucu Ankastre Çubuklarda :

İki ucu ankastre ij çubuğunun i ucu ψ_{ij} kadar döndüğünde oluşan moment alanı her iki uçta pozitif (+) olarak Şekil 4.b'deki gibi kabul edilmiş olsun. Bu momentlerden çubuğun i ve j uçlarında oluşan dönmeler virtüel iş yöntemine kısaltma teoremi uygulanarak bulunabilir. i ucundaki dönmeyi bulmak için önce $\psi_{ji} = 0$ şartı kullanılarak Şekil 4.b deki moment alanı ile 4.c deki moment alanı çarpılırsa :



Şekil 4. i ucunun ϕ_{ij} kadar dönmesi halinde M_{ij} ve M_{ji}

$$(a) \phi_{ji}=0 = -\frac{1}{6EJ} M_{ij} \cdot l + \frac{1}{3EJ} M_{ji} \cdot l$$

$$\text{ve } M_{ji} = M_{ij}/2 \quad (I.2.1)$$

(b) olduğu görülür.

Dolayısıyla dönme olmayan düğüm noktasındaki moment, dönme olan düğüm noktasındaki momentin yarısı kadardır.

(c) ϕ_{ij} dönüş açısının hesabı için Şekil 4.b deki moment alanı 4.d deki moment alanı ile çarpılır.

$$\phi_{ij} = \frac{1}{3EJ} \cdot l \cdot M_{ij} \cdot l - \frac{1}{6EJ} l \cdot M_{ji} \cdot l$$

$$M_{ji} = M_{ij}/2 \quad \text{yazılırsa}$$

$$\phi_{ij} = \frac{1}{3EJ} \cdot l \cdot M_{ij} \cdot l - \frac{1}{6EJ} \cdot l \cdot \frac{M_{ij}}{2} \cdot l$$

$$\phi_{ij} = \frac{1}{4EJ} l \cdot M_{ij} \cdot l \quad \text{veya} \quad M_{ij} = \frac{4EJ}{l} \cdot \phi_{ij} \quad (I.2.2)$$

bulunur;

j ucunun birim dönme yapması halinde ($\phi_{ji} = 1$) yukarıdaki-ne benzer şekilde ;

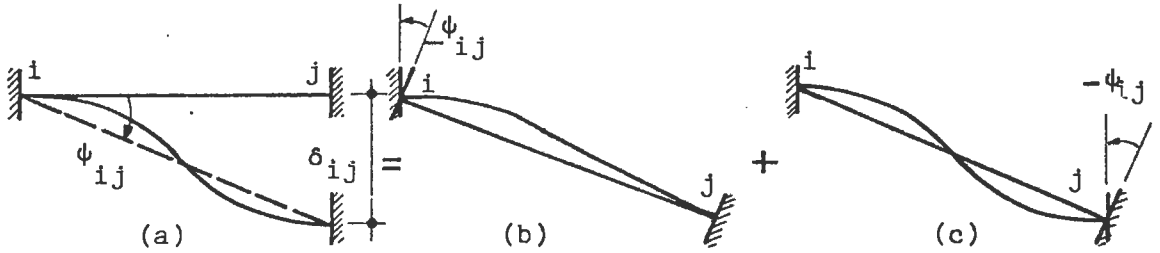
$$M_{ji} = \frac{4EJ}{l} \cdot \phi_{ji} \quad , \quad M_{ij} = \frac{M_{ji}}{2} = \frac{2EJ}{l} \phi_{ji} \quad \text{olur.}$$

Kesme Kuvvetleri ise

$$Q_{ij} = Q_{ji} = -\frac{M_{ij} + M_{ji}}{l} = -\frac{1}{l} \frac{4EJ \phi_{ji} + 2EJ \phi_{ji}}{l} = -\frac{6EJ}{l^2} \phi_{ji} \quad \text{dir.}$$

I . 2.1.1. Çubuk Uçlarının Relatif Yer Değiştirmesinin (δ) Etkisi:

İki ucu ankastre ij çubuğunun j ucu δ_{ij} kadar deplasman yapsın (Şekil 5.a). Bu durumda oluşan M_{ij} ve M_{ji} momentleri hesaplanmak istenirse, Şekil 5.a daki sistem Şekil 5.b ve 5.c nin toplamı olarak düşünülebilir.



Şekil 5. δ_{ij} den dolayı oluşan ϕ_{ij} ve $-\phi_{ji}$ çubuk eksen dönmeleri.

I.2.1 ve I.2.2 bağıntıları ile Şekil 5.b , 5.c den faydalanılarak M_{ij} ve M_{ji} yazılırsa ;

$$M_{ij} = -\frac{4EJ}{l} \phi_{ij} - \frac{2EJ}{l} \phi_{ji} = -\frac{6EJ}{l} \phi_{ij}$$

$$M_{ji} = -\frac{2EJ}{l} \phi_{ij} - \frac{4EJ}{l} \phi_{ji} = -\frac{6EJ}{l} \phi_{ji} \quad \text{bulunur.}$$

Görüldüğü gibi $M_{ij} = M_{ji}$ dir.

$$M_{ij} = M_{ji} = -\frac{6EJ}{l} \phi_{ij} , \quad \delta_{ij} = \phi_{ij} \cdot l \quad \text{idi} \quad \phi_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{l} \quad \text{yazılırsa}$$

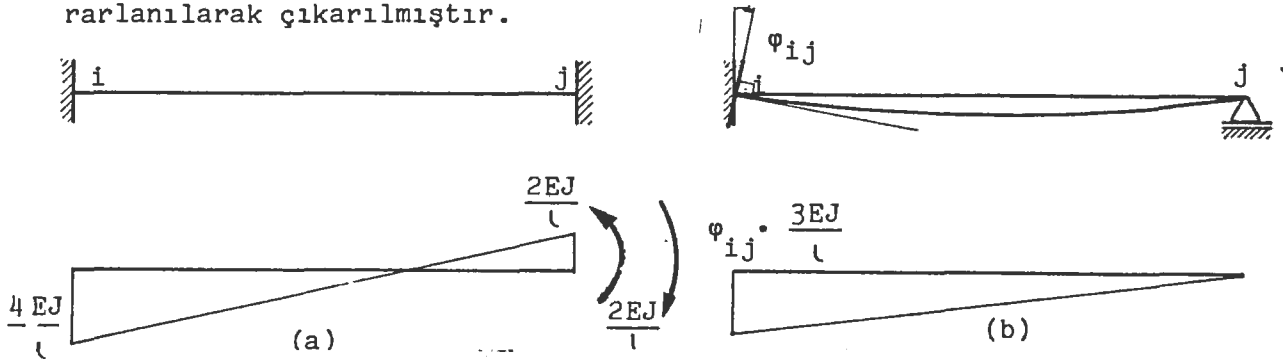
$$M_{ij} = M_{ji} = -\frac{6EJ}{l} \cdot \frac{\delta_{ij}}{l} = -\frac{6EJ}{l^2} \cdot \delta_{ij} \quad \text{bulunur. (I.2.3)}$$

Kesme Kuvvetleri ise;

$$Q_{ij} = Q_{ji} = -\frac{M_{ij} + M_{ji}}{l} = -\frac{1}{l} \left(-\frac{6EJ}{l^2} \delta_{ij} - \frac{6EJ}{l^2} \delta_{ij} \right) = +\frac{12EJ}{l^3} \delta_{ij} \quad \text{dir.}$$

I. 2.2. Bir Ucu Mafsallı Diğer Ucu Ankastre Çubuklarda :

Bir ucu mafsallı diğer ucu ankastre çubuklar için benzer bağıntılar iki ucu ankastre çubuklar için çıkarılan bağıntılardan yararlanılarak çıkarılmıştır.



Şekil 6. Bir ucu mafsallı diğer ucu ankastre çubuklarda i ucunun φ_{ij} kadar dönmesi halinde M_{ij} ve M_{ji}

Şekil 6.b deki ij çubuğunun i ucu φ_{ij} kadar döndüğünde j ucu mafsallı olduğundan j ucundaki moment $M_{ji} = 0$ dir. Şekil 6.a daki iki ucu ankastre çubukta j ucundaki $M_{ji} = \frac{2EJ}{l}$ değerindeki momenti sıfır yapacak şekilde ters yönde bir $M_{ji} = -\frac{2EJ}{l}$ momenti uygulanırsa j ucundaki toplam moment sıfır olur ve sistem Şekil 6.b ye eşdeğer olur.

Denklem I.2.1. den ;

$$M_{ji} = -\frac{2EJ}{l} \varphi_{ij} \text{ değerinin yarısı i ucuna geçeceğinden}$$

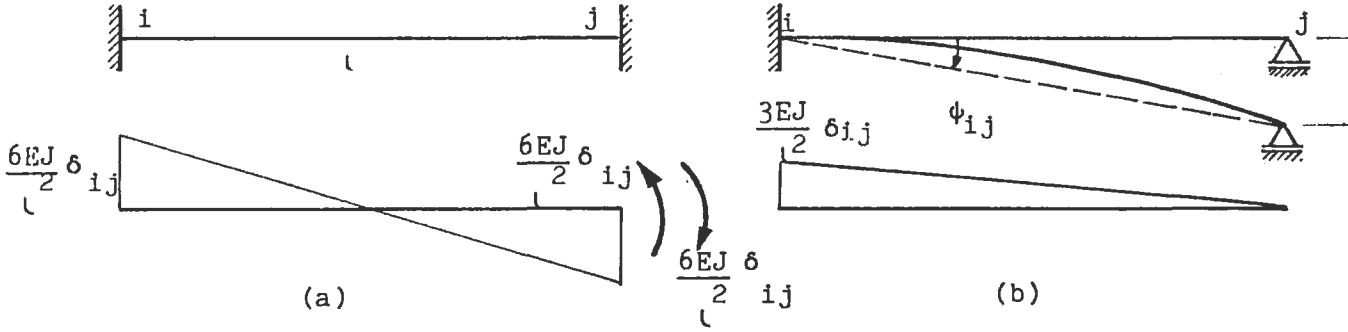
$\frac{1}{2} \cdot \frac{2EJ}{l} \varphi_{ij}$ ile i ucundaki $\frac{4EJ}{l} \varphi_{ij}$ momenti değeri toplandığında bir ucu mafsallı diğer ucu ankastre çubuklar için moment değeri;

$$M_{ij} = \frac{4EJ}{l} \varphi_{ij} - \frac{1}{2} \frac{2EJ}{l} \varphi_{ij} = \frac{3EJ}{l} \varphi_{ij} \text{ olur. (I.2.4)}$$

Kesme Kuvveti ise;

$$Q_{ij} = -\frac{M_{ij}}{l} = -\frac{3EJ}{l^2} \varphi_{ij} \text{ dir.}$$

I . 2.2.1. Çubuk Uçlarının Relatif Yer Değiştirmesinin (δ) Etkisi :



Şekil 7, Çubuk Uçlarının Relatif Deplasman Yapması Halinde M_{ij} ve M_{ji} momentleri.

Şekil 7.a daki iki ucu ankastre çubuğun j ucuna I.2.3 denkleminde $M_{ij} = - \frac{6EJ}{l^2} \delta_{ij}$ momenti çubuğa ters yönde etki ettirilirse sistem Şekil 7.b deki sisteme eşdeğer olur. j ucuna uygulanan ters yöndeki momentin yarısı i ucuna geçeceğinden bu uçtaki moment

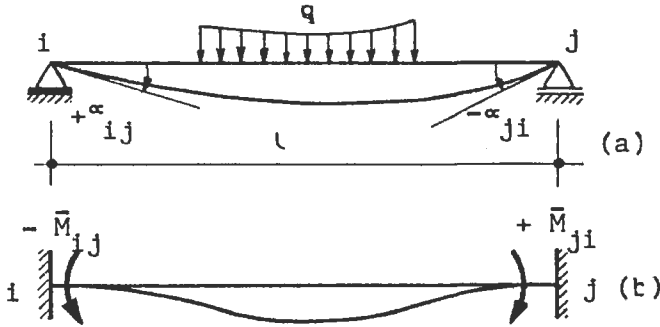
$$M_{ij} = - \frac{6EJ}{l^2} \delta_{ij} + \frac{1}{2} \cdot \frac{6EJ}{l^2} \delta_{ij} = - \frac{3EJ}{l^2} \delta_{ij} \text{ olur. (I.2.5)}$$

Kesme Kuvveti ise ;

$$Q_{ij} = - \frac{M_{ij}}{l} = + \frac{3EJ}{l^3} \delta_{ij} \text{ dir.}$$

I . 3 . Ankastrelik Momentleri :

$\bar{M}_{ij}$, $\bar{M}_{ji}$: İki ucu ankastre bir kirişte dış yüklerin etkisiyle oluşan uç momentleridir.



Şekil 8.a daki gibi basit kiriş q yayılı yükü ile yüklü olsun. Tanım gereği basit kirişin i ve j mesnetlerindeki dönmele- ri yok eden momentler ankastrelik momentleridir.

Saat dönüş yönünde oluşan ankastrelik momentleri pozitif(+) olarak gösterilir.

Şekil 8. Ankastrelik Momentleri Gösterimi.

tersi yönde oluşanlar da negatif (-) olarak kabul edilmiştir(Şekil 8).

Bu durumda ankastrelik momentleri :

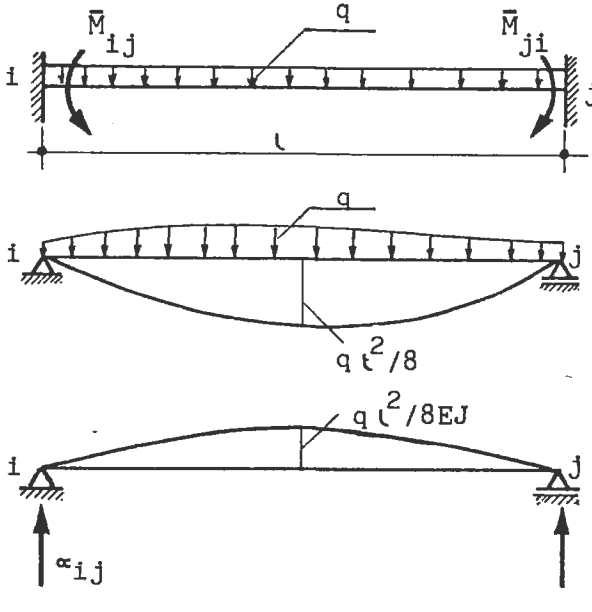
$$\bar{M}_{ij} = - \left(\frac{4 EJ}{l} \alpha_{ij} - \frac{2 EJ}{l} \alpha_{ji} \right)$$

(I.2.6)

$$\bar{M}_{ji} = \frac{4 EJ}{l} \alpha_{ji} - \frac{2 EJ}{l} \alpha_{ij}$$

α_{ij} , α_{ji} : Mohr metoduna göre hesaplanan fiktif yükün i ve j uçlarında oluşturduğu mesnet tepkileridir.

Örneğin kiriş l boyunca üniform q yükü ile yüklü olsun.Bu durumda $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$ hesaplanmak istenirse :



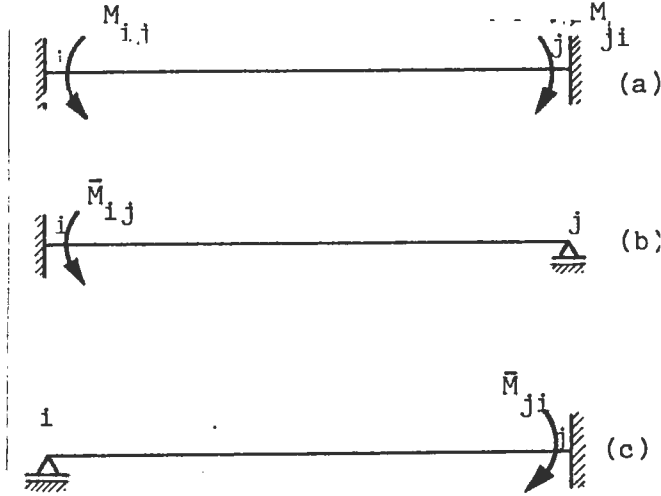
$$\alpha_{ji} = \frac{q l^2}{8 EJ} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{q l^3}{24 EJ}$$

Şekil 8.a. İki ucu ankastre çubukta fiktif yükten oluşan α_{ij} ve α_{ji} mesnet tepkileri.

α_{ij} ve α_{ji} değerleri I.2.6 denklemlerinde yerlerine yazılırsa ;

$$\bar{M}_{ij} = - \left(\frac{4 EJ}{l} \frac{q l^3}{24 EJ} - \frac{2 EJ}{l} \frac{q l^3}{24 EJ} \right) = - \left(\frac{2 EJ}{l} \frac{q l^3}{24 EJ} \right) = - \frac{q l^2}{12}$$

$$\bar{M}_{ji} = \frac{4 EJ}{l} \cdot \frac{q l^3}{24 EJ} - \frac{2 EJ}{l} \cdot \frac{q l^3}{24 EJ} = \frac{2 EJ}{l} \cdot \frac{q l^3}{24 EJ} = \frac{q l^2}{12} \quad \text{elde edilir.}$$



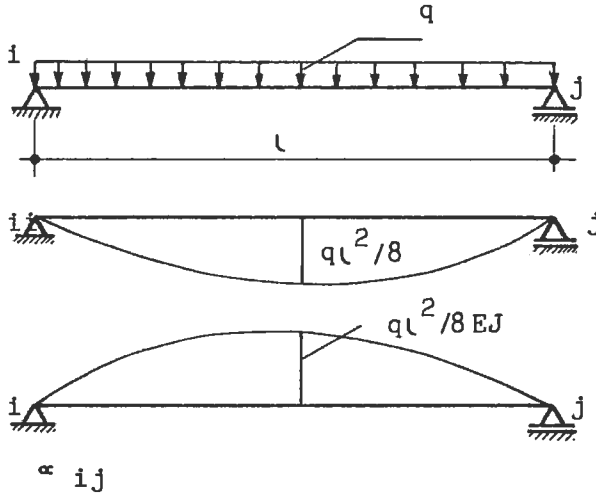
Eğer sistem şekil 8.b deki gibi bir ucu mafsallı diğer ucu ankastre ise i ucunda oluşan ankastrelik momenti bölüm I.2.1 den faydalanılarak $\bar{M}_{ij} = \bar{M}_{ij} + \frac{1}{2} \bar{M}_{ij}$ şeklinde yazılabilir.

Şekil 8.b. Bir ucu mafsallı diğer ucu ankastre çubuklarda ankastrelik momenti.

I.2.6 denklemlerinden ;

$$\bar{M}_{ij} = -\left(\frac{4EJ}{l} \alpha_{ij} - \frac{2EJ}{l} \alpha_{ji}\right) + \frac{1}{2} \left(\frac{4EJ}{l} \alpha_{ji} - \frac{2EJ}{l} \alpha_{ij}\right) = -\frac{3EJ}{l} \alpha_{ij}$$

$$\bar{M}_{ij} = \frac{3EJ}{l} \alpha_{ij} , \quad \bar{M}_{ji} = 0 \quad (I.2.7)$$



$$\alpha_{ij} = \alpha_{ji} = \frac{ql^2}{8EJ} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{ql^3}{24EJ}$$

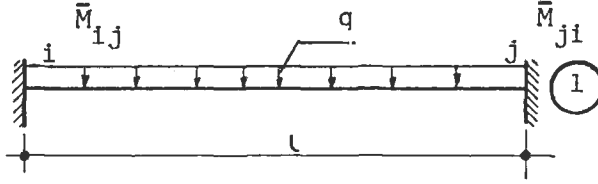
Şekil 8.c. Bir ucu mafsallı diğer ucu ankastre çubukta fiktif yükten oluşan α_{ij} ve α_{ji} mesnet tepkileri.

α_{ji} değeri I.2.7 denkleminde yerine yazılırsa ;

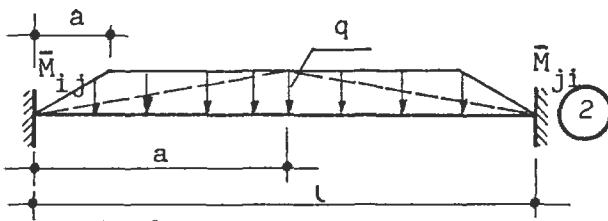
$$\bar{M}_{ij} = -\frac{3EJ}{l} \cdot \frac{ql^3}{24EJ} = -\frac{ql^2}{8} \quad \text{elde edilir}$$

Yapılan işaret kabulüne göre söz konusu ij çubuğunun i ucundaki ankastrelik momentlerinin işareti negatif (-), j ucundaki ankastrelik momentlerinin işareti pozitif (+) dir.

Bu çalışmada kullanılan yük tiplerine göre ankastrelik momentleri aşağıda verilmiştir.

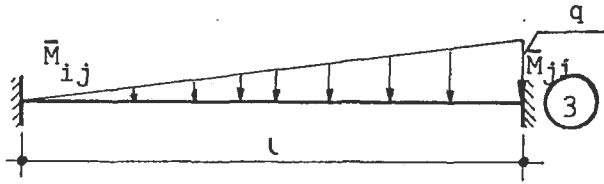


$$\bar{M}_{ij} = \frac{q \cdot l^2}{12} ; \bar{M}_{ji} = \frac{q \cdot l^2}{12}$$

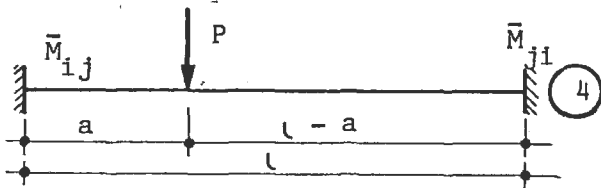


$$\bar{M}_{ij} = \frac{q}{12} \left[l^2 - a^2 \left(2 - \frac{a}{l} \right) \right]$$

$$\bar{M}_{ji} = \frac{q}{12} \left[l^2 - a^2 \left(2 - \frac{a}{l} \right) \right]$$



$$\bar{M}_{ij} = \frac{1}{30} q l^2 ; \bar{M}_{ji} = \frac{1}{20} q l^2$$



$$\bar{M}_{ij} = \frac{P \cdot a \cdot (l-a)^2}{2l} ; \bar{M}_{ji} = \frac{P \cdot (l-a) \cdot a^2}{2l}$$

q : Yayılı yük değeri (t/m)

l : Kiriş açıklığı (m)

$\bar{M}_{ij}$: Kirişin sol ucundaki ankastrelik momenti (tm)

$\bar{M}_{ji}$: Kirişin sağ ucundaki ankastrelik momenti (tm)

a : Tekil yükün sol mesnede uzaklığı(m) ile gösterilmiştir.

Bu bölümde çıkarılan bağıntılar daha sonraki bölümde açılış metodu denklemlerinin elde edilmesinde kullanılacaktır. Bu nedenle çıkarılan tüm bağıntılar toplu halde matris formunda gösterilmiştir.

İki Ucu Ankastre Çubuklarda :

$$\begin{bmatrix} M_{ij} \\ Q_{ij} \\ M_{ji} \\ Q_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{4EJ}{l} & \frac{2EJ}{l} & -\frac{6EJ}{l^2} \\ -\frac{6EJ}{l^2} & -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{12EJ}{l^3} \\ \frac{2EJ}{l} & \frac{4EJ}{l} & -\frac{6EJ}{l^2} \\ -\frac{6EJ}{l^2} & -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{12EJ}{l^3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{ij} \\ \varphi_{ji} \\ \delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{M}_{ij} \\ \bar{Q}_{ij} \\ \bar{M}_{ji} \\ \bar{Q}_{ji} \end{bmatrix} \quad (I.2.8)$$

Bir Ucu Mafsallı Diğer Ucu Ankastre Çubuklarda :

$$\begin{bmatrix} M_{ij} \\ Q_{ij} \\ Q_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3EJ}{l} & -\frac{3EJ}{l^2} \\ -\frac{3EJ}{l^2} & \frac{3EJ}{l^3} \\ -\frac{3EJ}{l^2} & \frac{3EJ}{l^3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_{ij} \\ \delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{M}_{ij} \\ \bar{Q}_{ij} \\ \bar{Q}_{ji} \end{bmatrix} \quad (I.2.9)$$

BÖLÜM II

II. AÇI METODU DENKLEM TAKIMLARININ KURULMASI:

Yapı statikliğinde çerçeveler; eğilme momenti etkisine dayanıklı çubuklardan oluşur. Çubukların birleştikleri köşeler çerçeve düğüm noktalarıdır ve çubukların bu düğüm noktalarında aralarındaki açıyı bozmadan şekil değiştirdiği kabul edilir.

Belirli bir yükleme halinde bir çerçevede eğilme momenti dağılımını tesbit edebilmek için çubuk uç momentlerinin bilinmesi gereklidir.

Bu uç momentlerini bulmak için iki genel yol vardır. Birinci metotta bu momentler bilinmeyen olarak ele alınır (Kuvvet Metodu), ikinci metotta ise dış yüklerin etkisi ile sistemde oluşan deformasyonlar bulunur ve bu deformasyonların yardımı ile çubuk uç momentleri bulunur (Deplasman Metodu).(2)

Açı metodu ikinci yolun sistematik hale getirilmişidir. Normal kuvvet deformasyonlarının ihmali ile düğüm noktalarının dönme açıları ve çubukların relatif deplasmanları bilinmeyen olarak seçilir.

Açı metodunda çerçeve sistemleri;

a- Düğüm noktaları sabit sistemler,

b- Düğüm noktaları hareketli sistemler olarak iki grupta incelenir.

a- Düğüm noktaları sabit sistemlerde çubukların relatif deplasmanları sıfırdır. Bu tip sistemlerde bilinmeyenler sadece düğüm noktalarının dönüş açılarıdır.

b- Düğüm noktaları hareketli sistemlerde ise çubukların relatif deplasmanları sıfırdan farklıdır. Dolayısıyla bu tip sistemlerde hem düğüm noktalarının dönüş açıları hemde çubuk uçlarındaki deplasmanlar bilinmeyenler olarak alınır.

Açı metodu ile incelenen sistemlerde bilinmeyen sayısı (n);

$$n = 2d_1 + 3d_2 - a \text{ dır.}$$

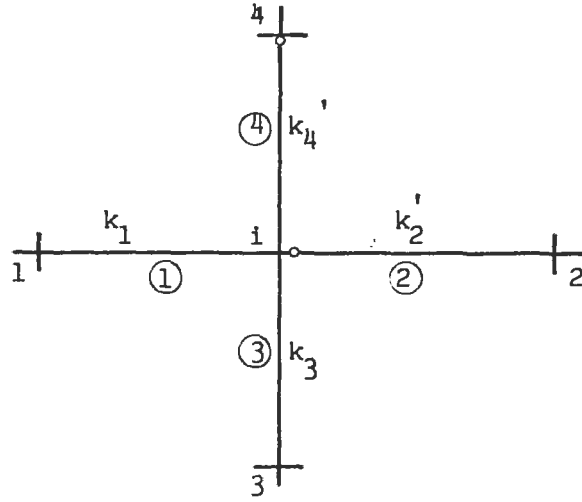
Burada ;

d_1 : Mafsallı düğüm noktası sayısı (mesnetler dahil).

d_2 : Sistemdeki mesnetler dahil olmak üzere eğilmeye mukavemetli düğüm noktası sayısı (bir düğüm noktasına ikiden fazla çubuk birleşiyorsa ve bunlardan enaz ikisi eğilmeye mukavemetli bileşim meydana getiriyorsa bu tip düğüm noktaları d_2 olarak göz önüne alınır).

a : Mesnet tepkisi sayısı.

Düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler düşünülürse, d_1 düğümlerinde bağımsız 2 yer değiştirme büyüklüğü, d_2 düğümlerinde bağımsız 3 yer değiştirme büyüklüğü vardır. Dolayısıyla sistemde $2d_1 + 3d_2$ kadar yer değiştirme büyüklüğü vardır. Mesnetlerde çubuk uçlarının yer değiştirmeleri (mesnet şartı olarak) bilindiğinden $2d_1 + 3d_2$ sayıda yer değiştirmeden a mesnet tepkisi sayısı çıkarıldığında sistemde $n = 2d_1 + 3d_2 - a$ kadar bilinmeyen yer değiştirme büyüklüğü vardır. Bir sistemin çözümü için bilinmeyen sayısı kadar denge denkleminde gerek vardır.



Şekil 9. Çerçeveden alınan herhangi bir i düğüm noktası.

I . 2.8 . de iki ucu ankastre çubuklar için;

$$M_{ij} = \frac{4EJ}{l} \varphi_{ij} + \frac{2EJ}{l} \varphi_{ji} - \frac{6EJ}{l^2} \delta + \bar{M}_{ij} \quad \text{ve} \quad \text{I.2.9 da}$$

bir ucu mafsallı diğer ucu ankastre çubuklar için verilen bağıntılarda

$$M_{ij} = \frac{3EJ}{l} \varphi_{ij} - \frac{3EJ}{l^2} \delta + \bar{M}_{ij} \quad \text{dır.}$$

Bu bağıntılar i düğüm noktası (şekil.9) için yazılırsa ;

$$M_{i1} = \frac{4EJ}{l} \varphi_i + \frac{2EJ}{l} \varphi_1 + \bar{M}_{i1}$$

$M_{i2} = 0$ (mafsal düğüm noktası tarafında olduğundan göz önüne alınmaz).

$$M_{13} = \frac{4EJ}{l} \varphi_1 + \frac{2EJ}{l} \varphi_3 - \frac{6EJ}{l^2} \delta + \bar{M}_{13}$$

$$M_{14} = \frac{3EJ}{l} \varphi_1 - \frac{3EJ}{l^2} \delta - \bar{M}_{14} \quad \text{elde edilir.} \quad (II.1)$$

İki ucu ankastre çubuklarda $k_1 = EJ_1 / l_1$ (kiriş rijitliği) ile bir ucu ankastre çubuklarda $k_1' = 0.75 k_1$ kabulü ile II.1 denklemleri yeniden yazılırsa :

$$M_{11} = k_{11} (4 \varphi_1 + 2 \varphi_3) + \bar{M}_{11}$$

$$M_{12} = 0$$

$$M_{13} = k_{13} (4 \varphi_1 + 2 \varphi_3 - \frac{6}{l} \delta) + \bar{M}_{13} \quad (II.2)$$

$$M_{14} = k_{14}' (3 \varphi_1 - \frac{3}{l} \delta) - \bar{M}_{14}$$

elde edilir.

II.2 denklemleri ile yazılan momentler çubuk uç momentleridir. Bu uç momentlerinin ters işaretlileri düğüm noktalarında oluşur.

Sistem dengede olduğundan i noktasına etkiyen momentler toplamı sıfıra eşittir.

$$\sum_n M_{1,n} = 4(k_1 + k_3 + k_4') \varphi_1 + 2(k_1 \cdot \varphi_1 + k_3 \cdot \varphi_3) - 6 \frac{k_3}{l} \delta - 4 \frac{k_4'}{l} \delta$$

$$+ \sum_n \bar{M}_{1,n} = 0 \quad \text{veya} \quad d_1 = 4(k_1 + k_2 + \dots + k_4') \quad \text{yazılarak :}$$

$$d_1 \varphi_1 + 2 \sum_n k_n \varphi_n - 6 \sum_n \frac{k_n}{l} \delta - 4 \sum_n \frac{k_n'}{l} \delta + \sum_n \bar{M}_{1,n} = 0 \quad (n=1,2,3,4)$$

elde edilir.

(II.3)

Burada;

$d_1 = 4(k_1 + k_2' + \dots + k_4)$: i. düğüm noktasında birleşen çubuklara ait k_1 değerlerinin toplamının dört katıdır.

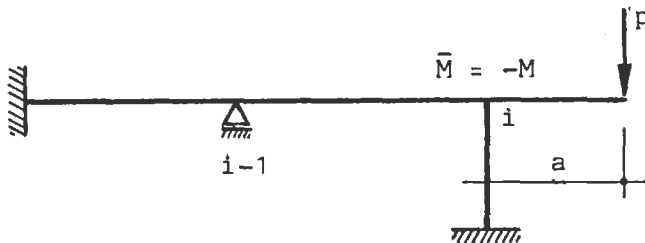
$2 \sum_n k_n \cdot \varphi_n$: i. düğüm noktasında birleşen çubuklara ait k_n değerleri ile çubukların karşı uçlarındaki dönüş açılarının çarpımının toplamının iki katıdır.

$6 \sum_n \frac{k_n}{l_n} \delta_n$: İki ucu eğilmeye dayanıklı çubuk uçlarının çubuk eksenine dik doğrultudaki yer değişimlerinin (δ_{in}) çubuk rijitlikleri (k_n) ile çarpımlarının toplamının altı katıdır.

$4 \sum_n \frac{k'_n}{l_n} \delta_n$: Bir ucu mafsallı çubuk uçlarının çubuk eksenine dik doğrultudaki yer değişimlerinin (δ_{in}) çubuk rijitlikleri olan k'_n değerleri ile çarpımlarının toplamının dört katıdır.

$\sum_n \bar{M}_{in} = 1$ düğüm noktasında birleşen çubuklara ait ankastrelik momentlerinin toplamıdır.

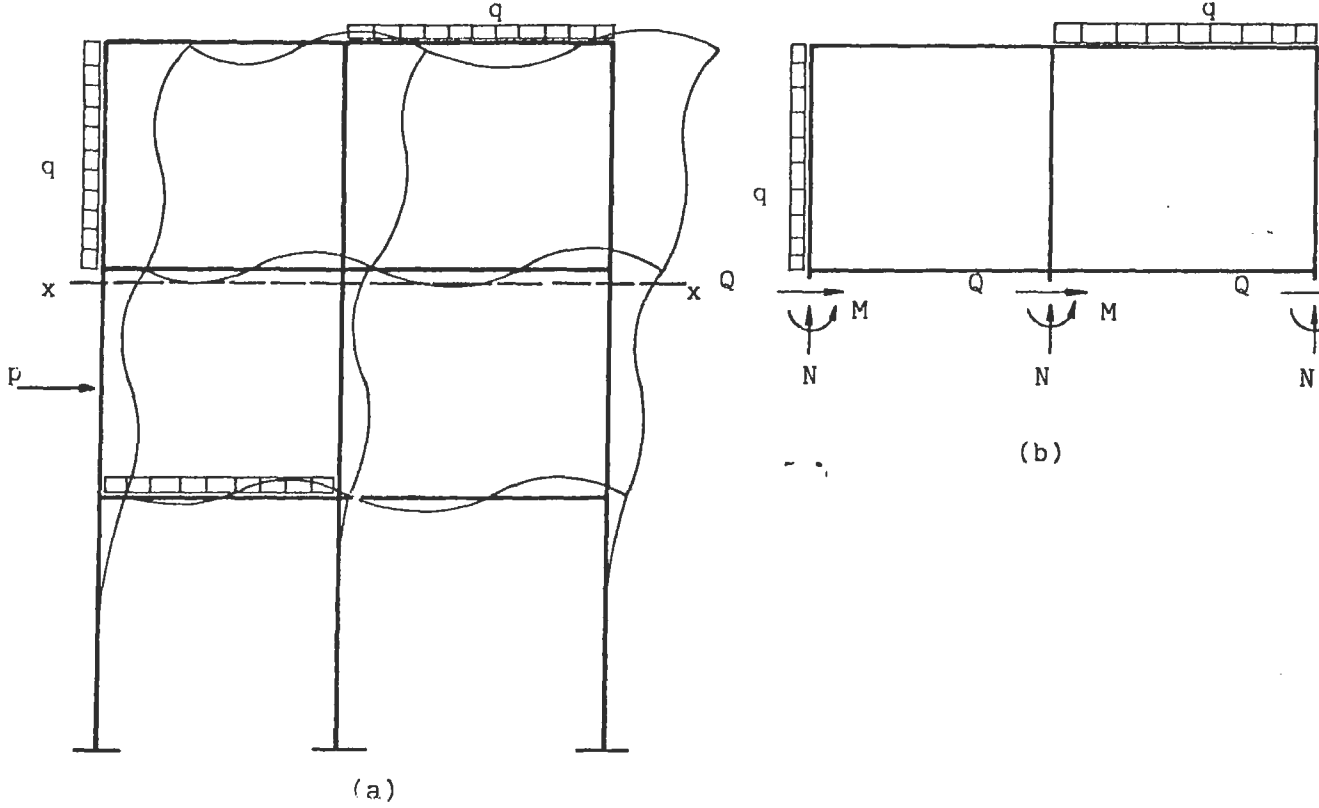
Eğer sistemdeki konsol çubuklardan dolayı i düğüm noktasına moment geliyorsa (şekil.10 da olduğu gibi) bu konsola ait moment i noktasındaki ankastrelik momentine eklenir, ve i düğümü için denge yazılır.



Şekil 10. Sistemde konsol çubuk olması hali.

Düğüm noktaları sabit sistemler için çözüm yapılıyorsa (II.3) deki moment-denge denkleminde terimleri ortadan kalkar. Çünkü, $-6 \sum_n \frac{k_n}{l_n} \delta_n$ ve $-4 \sum_n \frac{k'_n}{l_n} \delta_n$ düğüm noktaları sabit sistemlerde yatay deplasman yoktur.

Düğüm noktaları hareketli sistemler için deplasmanlardan dolayı düğüm noktalarındaki moment denge denklemlerinden başka yatay ve düşey kuvvetlere ait denge denklemlerini de kurmak gerekir. Bu denklemlerin kurulmasında bazı hesap zorlukları ile karşılaşılır. Ancak düşey kolonlu ve normal kuvvet etkilerinin ihmal edildiği sistemlerde çözüm daha kolaydır.



Şekil 11. Düşey kolonlu sistemlerdeki deplasmanlar.

Şekil 11. de ele alınan, düşey kolonlu sistemde kolonların boy değiştirmeleri sıfırdır. Çünkü, normal kuvvet deformasyonları ihmal edilmiştir. Dolayısıyla herkat aynı δ yatay deplasmanını yapar. Böyle bir sistem için yazılacak düğüm noktasına ait moment denklemleri (II.3) ile aynıdır. Yatay denge denklemini yazmak için Şekil.11.b deki gibi her katın kolon başlarının hemen altından çerçeve sistemi yatay olarak kesilirse sisteme etkiyen dış kuvvetlerle kesit kuvvetleri dengede olacağından;

$$\Sigma P + \Sigma q \cdot l + \Sigma \bar{Q} \quad \text{yatay denge denklemi yazılır. (II.4)}$$

Bu denklemde;

ΣP : (x-x) kesitinin üzerinde kalan çerçeve kısmına etkiyen bütün dış kuvvetlerin (tekil kuvvet) yataş izdüşümlerinin toplamıdır.

$\Sigma q \cdot l$: (x-x) kesitinin üzerinde kalan kısma yatay doğrultuda etkiyen yayılı yükler toplamıdır.

$\Sigma \bar{Q}$: (x-x) kesidine etkiyen kesme kuvvetleri toplamıdır.

(II.4) denklemindeki kuvvetler; soldan sağa (→ +) doğru etki ediyorsa işareti pozitif (+) , sağdan sola (← -) doğru etki

ediyorsa işareti negatif alınır

$k = \frac{EJ}{l}$ kabulü ile bir kolon için kesici kuvvet ifadesi yazılırsa (denklem I.2.8);

$$Q = -6 \frac{k}{l} (\varphi_a + \varphi_u) + 12 \frac{k}{l^2} \delta + \bar{Q} \quad \text{bulunur.} \quad (II.5)$$

Burada;

φ_a, φ_u : Sırasıyla kolonun alt ve üst uçlarındaki düğüm noktalarına ait dönüş açılarıdır.

δ : Kolonun bir ucunun diğerine göre yaptığı deplasmandır.

$\bar{Q}$: Kolonun üst ucundaki ankastre uç kesici kuvvetidir.

Yukarıda bir kolon için yazılan (II.5) denklemi tüm kat kolonları için toplanırsa ;

$$-6 \sum \frac{k}{l} \varphi_a - 6 \sum \frac{k}{l} \varphi_u + 12 \sum \frac{k}{l^2} \delta = \sum P + \sum q.l + \sum \bar{Q} \quad \text{olur.} \quad (II.6)$$

Eğer sisteme yatay doğrultuda etkiyen bir kuvvet yoksa (II.6) denkleminin sağ tarafı sıfıra eşit olur. Nitekim sadece düşey yüklere göre çözüm yapıldığından (II.6) denkleminin sağ tarafı sıfırdır. Ayrıca (II.6) denkleminde sadeleştirme yapılırsa yatay denge denkleminin yeni şekli;

$$- \sum \frac{k}{l} \varphi_a - \sum \frac{k}{l} \varphi_u + 2 \sum \frac{k}{l^2} \delta = 0 \quad \text{olur.} \quad (II.7)$$

(II.3) ve (II.7) denklemlerinden sisteme ait bilinmeyenler olan φ ve δ değerleri bulunduktan sonra uç momentleri;

İki ucu eğilmeye dayanıklı çubuklar için:

$$M_{ij} = k_{ij} (4\varphi_{ij} + 2\varphi_{in} - 6 \frac{\delta_{ij}}{l}) + \bar{M}_{ij} \quad (II.8)$$

Bir ucu mafsallı çubuklar için :

$$M_{ij} = k_{ij} (4\varphi_{ij} - 3 \frac{\delta_{ij}}{l}) + \bar{M}_{ij} \quad \text{denklemleri ile (II.9) bulunur.}$$

Sistemdeki bilinmeyen δ sayısı kat sayısı kadardır. (II.7) denklemi herkat için yazıldığından sistemdeki bilinmeyen sayısı kurulan denklem sayısına eşittir(1).

BÖLÜM III

III. İTERASYON YÖNTEMLERİ :

Çerçeve sistemlerin deplasman metodu ile çözümünde bilinmeyenler düğüm noktalarının dönüşleri (φ_{ij}) ve deplasmanlardır (δ_{ij}). Bu bilinmeyenler $\underline{a} \cdot \underline{x} = \underline{b}$ şeklinde oluşturulan ve iterasyonla çözülen bir denklem takımından elde edilir.

$\underline{a} \cdot \underline{x} = \underline{b}$ şeklinde lineer denklem takımının çözümüne uygulanan başlıca iterasyon yöntemleri;

1. Jacobi
2. Gauss-Seidel
3. Rölaksasyon dur.

III . 1. Jacobi :(4,5,11)

$$\begin{aligned} a_{11}.X_1 + a_{12}.X_2 + \dots + a_{1n}.X_n &= b_1 \\ a_{21}.X_1 + a_{22}.X_2 + \dots + a_{2n}.X_n &= b_2 \\ \vdots \\ a_{n1}.X_1 + a_{n2}.X_2 + \dots + a_{nn}.X_n &= b_n \end{aligned} \quad (III.1)$$

şeklindeki bir denklem takımı bu yöntemle çözülmek istenirse önce aşağıdaki transformasyon yapılır.

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{1}{a_{11}} (b_1 - a_{12}X_2 - \dots - a_{1n}X_n) \\ X_2 &= \frac{1}{a_{22}} (b_2 - a_{21}X_1 - \dots - a_{2n}X_n) \\ \vdots \\ X_n &= \frac{1}{a_{nn}} (b_n - a_{n1}X_1 - a_{n2}X_2 - \dots - a_{n-1}X_{n-1}) \end{aligned}$$

Başlangıç değerleri olarak eşitliğin sağ tarafındaki $X_1, X_2, \dots, X_n$ bilinmeyenlerine tahmini değerler (genellikle sıfır) verilir. Bu tahmini değerler her bir denklemde yerine konularak $X_1, X_2, \dots, X_n$ bilinmeyenlerinin değerleri hesaplanır. İkinci adımda bu değerler tekrar sağ tarafta yerine konularak yeni değerler hesaplanır. İterasyon, 1-1 inci adımda bulunan bilinmeyenler ile i.inci adım sonunda elde edilen bilinmeyen değerlerinin birbirine eşit (veya yaklaşık) olması halinde bitirilir. Yöntemin işleyişinin daha iyi anlaşılması için örneklenirse;

$$4X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

$$X_1 + 4X_2 + X_4 = 2$$

$$X_1 + 4X_3 + X_4 = 0$$

$$X_2 + X_3 + 4X_4 = 1 \quad \text{olarak verilmiş olsun.}$$

1.adım (sağ taraf için $X_1=0$, $X_2=0$, $X_3=0$, $X_4=0$ alınarak):

$$X_1 = \frac{1}{4}(1-X_2-X_3) , \quad X_2 = X_3 = 0 \quad X_1 = \frac{1}{4} = 0.250$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(2-X_1-X_4) , \quad X_1 = X_4 = 0 \quad X_2 = \frac{2}{4} = 0.500$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(-X_1-X_4) , \quad X_1 = X_4 = 0 \quad X_3 = 0$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(1-X_2-X_3) , \quad X_2 = X_3 = 0 \quad X_4 = \frac{1}{4} = 0.250$$

elde edilir. Bu değerler ikinci adımda sağ tarafta yerine konulurlar.

2. adım :

$$X_1 = \frac{1}{4}(1-0.5-0) = 0.125$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(2-0.25-0.25) = 0.375$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(-0.250-0.250) = -0.125$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(1-0.5-0) = -0.125$$

⋮

7. adım.

$$X_1 = 0.25(1-0.4140625+0.0859375) = 0.16797$$

$$X_2 = 0.25(2-0.1640625-0.1640625) = 0.41797$$

$$X_3 = 0.25(-0.1640625 - 0.1640625) = -0.0823$$

$$X_4 = 0.25(1-0.4140625+0.0859375) = 0.16797$$

8.adım :

$$X_1 = 0.25(1-41797+0.0823) = 0.16608$$

$$X_2 = 0.25(2-0.16797-0.16797) = 0.41601$$

$$X_3 = 0.25(-0.16797-0.16797) = -0.0839$$

$$X_4 = 0.25(1-0.41797 + 0.0823) = 0.16608$$

Bir önceki adımda ve sonuncu adımda bulunan değerler arasındaki yaklaşıklık;

$$X_1 \text{ için : } 0.16797 - 0.16608 = 1.89.10^{-3} \approx 0$$

$$X_2 \text{ " : } 0.41797 - 0.41601 = 1.96.10^{-3} \approx 0$$

$$X_3 \text{ " : } -0.0823 - 0.839 = 1.6.10^{-3} \approx 0$$

$$X_4 \text{ " : } 0.16797 - 0.16608 = 1.89.10^{-3} \approx 0 \text{ dır.}$$

III . 2 . Gauss - Seidel : (4,5,11)

Bu yöntemde de çözüm için bölüm III.1'de anlatılan Jacobi yöntemindeki yol izlenir. Ancak bu yöntemde önceki denklemlerde bulunan yeni değerler sonraki denklemlerde yerine yazılmak suretiyle dikkate alınırlar. Dolayısıyla Jacobi yöntemine göre daha hızlıdır.

$\max |X_i^{i-1} - X_i^i| \leq \mu$ ($i = 1,2,3,...n$) olduğunda iterasyon bitirilir. Burada μ ne kadar küçükse bulunan bilinmeyenler gerçek değere o kadar yakındır. μ 'nün çok küçük bir değer olması iterasyonu uzatır.

Jacobi yöntemiyle çözülen denklem takımı Gauss-Seidel yöntemi ile çözülmürse iki yöntem arasındaki fark kolayca anlaşılır:

$$4X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

$$X_1 + 4X_2 + X_4 = 2$$

$$X_1 + 4X_3 + X_4 = 0$$

$$X_2 + X_3 + 4X_4 = 1$$

1. adım :

$$X_1 = 0.25(1-X_2-X_3) , \quad X_2=X_3=0 \quad X_1 = 0.250$$

$$X_2 = 0.25(1-0.25-0) , \quad X_1=0.250 , \quad X_4=0 \quad X_2 = 0.4375$$

$$X_3 = 0.25(0-25-0) \quad , \quad X_1 = 0.250 \quad , \quad X_4 = 0 \quad \quad X_3 = -0.0625$$

$$X_4 = 0.25(1-0.4375+0.0625) = 0.15625$$

2. adım :

$$X_1 = 0.25(1-0.4375+0.0625) = 0.15625$$

$$X_2 = 0.25(2-0.15625-0.15625) = 0.421875$$

$$X_3 = 0.25(-0.15625-0.15625) = 0.078125$$

$$X_4 = 0.25(1-0.421875+0.078125) = 0.1640625$$

⋮

4.adım :

$$X_1 = 0.25(1-0.41797+0.08203) = 0.1660$$

$$X_2 = 0.25(2-0.1660-0.1660) = 0.4169$$

$$X_3 = 0.25(-0.1660-0.1660) = -0.083$$

$$X_4 = 0.25(1-0.4169+0.083) = 0.1665$$

5.adım :

$$X_1 = 0.25(1-0.4169+0.083) = 0.1665$$

$$X_2 = 0.25(2-0.1665-0.1665) = 0.4168$$

$$X_3 = 0.25(-0.1665-0.1665) = -0.083$$

$$X_4 = 0.25(1-0.4168+0.083) = 0.1665$$

4. ve 5. adımda bulunan değerler arasındaki yaklaşıklık;

$$X_1 \text{ için } \mu = 0.1660 - 0.1665 = 5 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$X_2 \quad " \quad \mu = 0.4169 - 0.4168 = 1 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$X_3 \quad " \quad \mu = 0.083 - 0.083 = 0$$

$$X_4 \quad " \quad \mu = 0.1665 - 0.1665 = 0$$

Görüldüğü gibi Jacobi yöntemiyle 8 adımda çözülen aynı denklem takımı Gauss-Seidel yöntemiyle 5 adımda çözülmüştür.

III . 3 . Rölaksasyon : (3)

Rölaksasyon yönteminde izlenen yol Jacobi ve Gauss-Seidel yöntemlerinden biraz farklıdır.

$$\begin{aligned}
 a_{11} \cdot X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1n} X_n &= b_1 \\
 a_{21} \cdot X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{2n} X_n &= b_2 \\
 \vdots \\
 a_{n1} \cdot X_1 + a_{n2} X_2 + \dots + a_{nn} X_n &= b_n
 \end{aligned}
 \tag{III.3.1}$$

şeklindeki denklem takımı matris formunda yazılırsa;

$$\begin{array}{l}
 \text{I} \\
 \text{II} \\
 \text{III}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 1 & 2 & 3 \\
 a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\
 a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 X_1 \\
 X_2 \\
 \vdots \\
 X_n
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 b_1 \\
 b_2 \\
 \vdots \\
 b_n
 \end{bmatrix}
 \tag{III.3.2}$$

olur.

Burada bilinmeyenlerden biri belirsiz diğerleri belirli kabul edilerek belirsiz olan bilinmeyen, denklemlerin herhangi birinden bulunabilir. Ancak işlemin kısalığı için bilinmeyenin köşegen üzerinde bulunduğu satırdaki denklem kullanılır. Örneğin X_1 için I denklemi, X_2 bilinmeyeni için II denklemi kullanılır. I denklemindeki X_1 bilinmeyenini bulmak için 1.kolon dışındaki elemanlar taplanır, işareti değiştirilerek a_{11} 'e bölünür. 1.kolonda diğer satırlardaki sayıları elde etmek için, bulunan X_1 bu kolonlardaki sabitlerle çarpılır. 1.kolon üzerindeki sayıları doğrudan bulmak için gerekli olan çarpanlar, III.3.2'de 1.kolon üzerindeki sabitleri köşegen üzerindeki sabite bölünüp, işaretleri değiştirilerek elde edilir. Aynı işlemler diğer satırlara da uygulanır (aşağıda olduğu gibi).

$$\begin{bmatrix}
 1 & -a_{12}/a_{22} & \dots & -a_{1n}/a_{nn} \\
 -a_{21}/a_{11} & 1 & \dots & -a_{2n}/a_{nn} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 -a_{n1}/a_{11} & -a_{n2}/a_{22} & \dots & 1
 \end{bmatrix}
 \tag{III.3.3}$$

III.3.3 deki formdan III.3.2'deki değerler şöyle bulunur:

Bilinmeyenlerden biri dışında diğerlerine bir başlangıç değeri (genellikle sıfır) verilir. III.3.2 formunun ilgili bilinmeyene

ait kolonundaki sayılar; bu bilinmeyen köşegen üzerinde bulunan satırdaki III.3.2 nin değerleri toplanıp III.3.3 deki değerlerle çarpılmak suretiyle elde edilir. Bu işlem toplam yapılan satırın dengelenmesidir. Sıra ile tüm sistemdeki bilinmeyenler aynı şekilde bulunur. Her bir bilinmeyen hesabında, diğer bilinmeyenler tahmin edilirken daha önce bulunmuş olan değerler dikkate alınır. Dolayısıyla III.3.2 nin bir satırında son yazılan sayılar toplanır, III.3.3'ün ilgili kolonundaki çarpanlar ile çarpılarak bir kolon doldurulur. Bir önce elde edilen değerlere eşit değerler elde edilinceye kadar işlem sürdürülür.

Örnek :

$$\begin{array}{rcl}
 2X_1 - X_2 & = & 4 \\
 3X_1 + 4X_2 + X_3 & = & -2 \\
 5X_1 + 6X_2 + 2X_3 & = & -1
 \end{array}
 \quad
 \begin{bmatrix}
 2 & -1 & 0 \\
 3 & 4 & 1 \\
 5 & 6 & 2
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 4 \\
 -2 \\
 -1
 \end{bmatrix}
 \begin{array}{l}
 \text{I} \\
 \text{II} \\
 \text{III}
 \end{array}$$

$$\begin{bmatrix}
 2 & -1 & 0 \\
 3 & 4 & 1 \\
 5 & 6 & 2
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 4 \\
 -2 \\
 -1
 \end{bmatrix}$$

	$1/4 = +0,25$	$0/2 = 0$	4 I
$3/2 = -1,5$		$1/2 = -0,5$	-2 II
$5/2 = -2,5$	$6/4 = -1,5$		-1 III

$$x_1 = \frac{1, \text{II}}{a_{21}}$$

$$x_2 = \frac{2, \text{I}}{a_{12}}$$

$$x_3 = \frac{1, 3}{a_{13}}$$

	-2.00 -1.375 -1.776 -1.721 -1.825 -1.847 : -1.996 -1.997 = 2.00		4
-6.000 -3.000 -3.938 -3.336 -3.419 -3.263 : -3.009 -3.006 = 3.00		-0.500 -1.125 -1.546 -1.888 -2.127 : : -2.981 -2.986 = 3.00	- 2
-10.000 - 5.000 - 6.563 - 5.560 - 5.693 - 5.438 : : - 5.015 - 5.010 = 5.00	+12.000 + 8.250 +10.655 10.323 : +11.126 +11.463 : +11.978 11.981		- 1

1. adımda; $4(-1,5) = -6.00$ $4(-2,5) = -10.00$

2.kolon için $-6 + (-2) = -8 \times 0.25 = -2.00$
 $-8 \times (-1,5) = + 12.000$

3.kolon için $(-10 + 12-1) \times -0,5 = -0,5$

2. adımda; $4-1.375 = 2.625 \times 1,5 = -3,938$
 $2.625 \times (-2,5) = 6,563$

$$x_1 = 3.00/3.00 = 1.00$$

$$x_2 = -2.00/1.00 = +2.00$$

$$x_3 = 3.00/1.00 = 3.00$$

Buraya kadar aç1 metodu denklemlerinin elde ediliŖi ve bu lineer denklemlerin çözümünde uygulanan baŖlıca iterasyon yöntemleri anlatılmıŖtır.

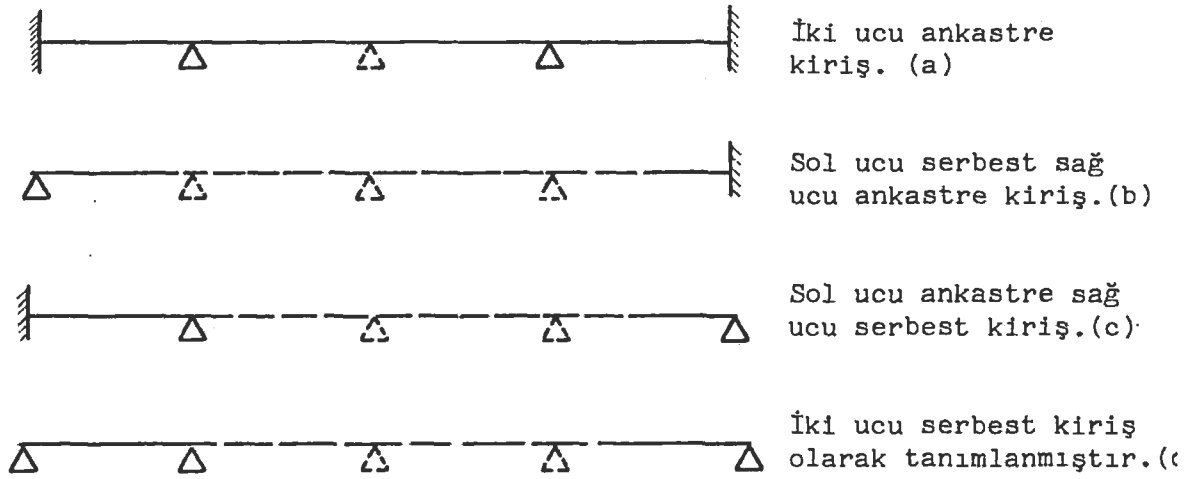
Çerçeve sistemler için bilgisayar programı yazılmadan önce kolaylık olması bakımından mütemadi girişler için bilgisayar programı yazılmış ve bu program geliştirilerek çerçeve sistemlere ait bilgisayar programı elde edilmiştir.

BÖLÜM IV

IV. MÜTEMADİ KİRİŞLERİN ÇÖZÜMÜ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI:

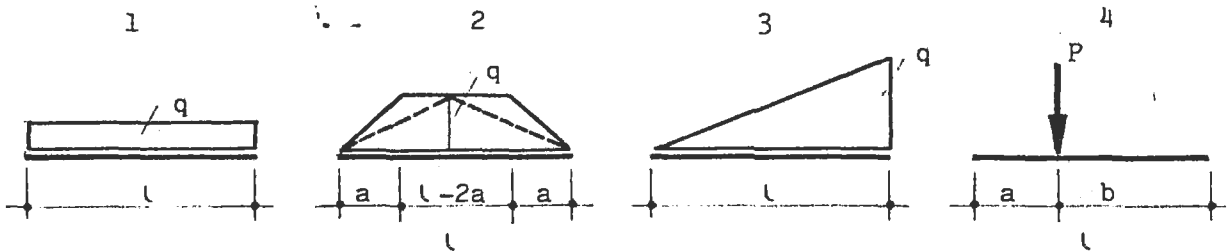
IV.1. Programın İçeriği :

Bilgisayar programında; kabul edilen sistem tipleri;



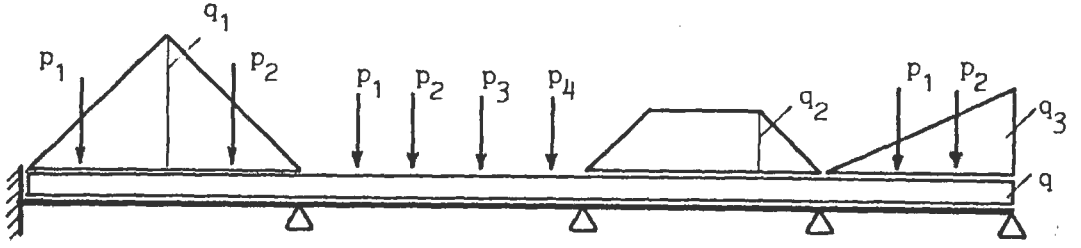
Şekil 12. Sistem tip ve kodları.

Eğer sisteme sol veya sağ ucunda veya hem sağ hem de sol ucunda etkiyen bir konsol momenti varsa, bu moment işlemlerde göz önüne alınmıştır. Programda yer alan yük tipleri ve kodları şekil 13. de gösterilmiştir.



Şekil 13. Yük tipleri ve kodları

Programda düzgün yayılı, trapez, üçgen ve tekil yük olmak üzere dört çeşit yük tipine yer verilmiştir. Herbir açıklıkta birden fazla yük olabilir. Açıklıklardaki yük sayısı sınırsızdır. Bu durum Şekil 14.'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Açıklıklardaki yük tipi ve sayısına örnek.

Mütemadi kirişteki açıklık sayısı N , kiriş rijitlikleri $k = J/\ell$ ve kiriş açıklıkları ℓ [m] ile gösterilmiştir. Açıklıklarda etkiyen herbir yük için ankastrelik momentleri program tarafından hesaplanır. Örneğin bir açıklıkta hem yayılı yük hem de tekil yük varsa önce birinci yükten oluşan ankastrelik momentleri sonra da açıklığa etkiyen ikinci yükten oluşan ankastrelik momentleri alt program tekniği ile hesaplanmaktadır. Açıklığa etkiyen iki yükten oluşan ankastrelik momentlerinin toplamı alınarak kirişin sol ve sağ ucuna ait ankastrelik momentleri bulunur. Açıklıklara etkiyen yük tipleri $Y\$$ ile okutulur (örneğin 124 veya 112341 ... gibi). Herbir açıklıkta etkiyen kaç yük tipi varsa bu yük sayısı $LEN(Y\$)$ ifadesi ile tesbit edilir. ($LEN(Y\$)$ ile verilen string ifadenin kaç elemandan oluştuğu tesbit edilir). Tesbit edilen yük sayısı $MID\$$ ifadesi ile hesaplara esas olmak üzere birer birer seçilir $Yy\$ = MID\$ (Y\$, J, 1)$ eşitliğinden $Y\$$ ile okutulan yük tipi J değişkeni ile birer adım aralıkla seçilir. Seçilen yük tipi için ankastrelik momentleri hesaplanmak üzere $ON VAL(Yy\$)$ ifadesi ile ilgili alt programa gönderilir.

Geliştirilen bilgisayar programında ankastrelik momentlerinin hesabı için yük tipinin seçimi ve alt programa gönderilmesi aşağıdaki bölümde yapılır.

Sistemin işleyişi Şekil 14.'deki örneğin ilk açıklığı için örneklenirse;

Açıklığa etkiyen yük tipi (Y\$):1244 dur. LEN (Y\$) ifadesi ile açıklığa etkiyen yük sayısı 4 olarak tesbit edilir. Daha sonra $Yy\$ = MID\$(Y\$,J,1)$ eşitliği ile 1 nolu yük tipi (yayıllı yük) alınarak ilgili alt programdan bu yüke ait: açıklığın sağında ve solunda oluşan ankastrelik momentleri hesaplanır. Bundan sonra 2 nolu (üçgen yük) yük tipi, 4 nolu (tekil yük) yük tipi ve yine 4 nolu (tekil yük) yük tipi alınarak ankastrelik momenti değerleri ilgili alt programlardan hesaplanır, toplamları alınır ve ilk açıklığa ait sol ve sağ ankastrelik momenti değerleri elde edilir.

Aynı işleyiş ikinci açıklık için özetlenirse;

$Y\$ = 14444$ olarak okunur.

LENY\$ ile açıklıktaki yük sayısı 5 olarak tesbit edilir.

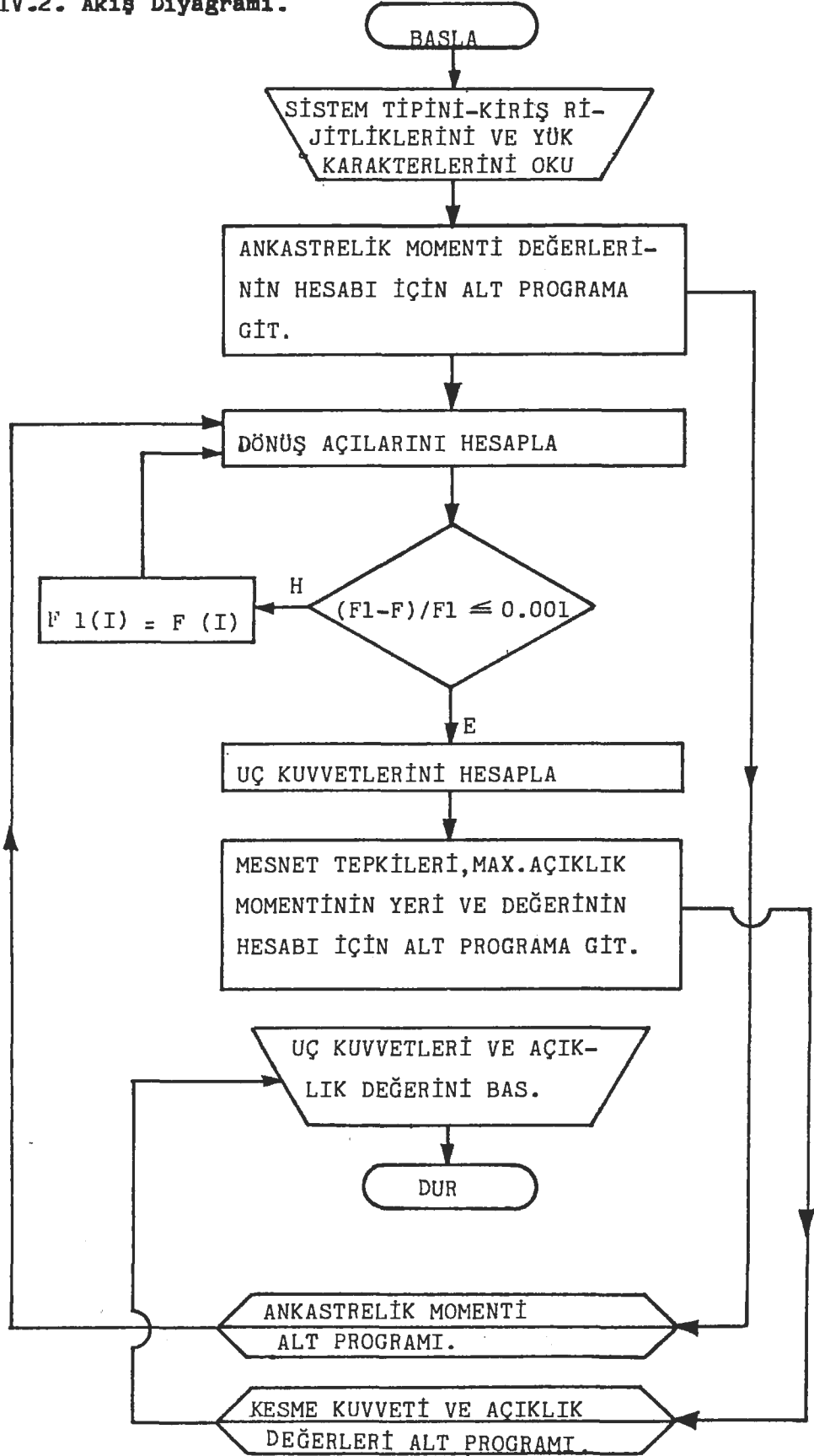
$Yy\$ = MID\$(Y\$,J,1)$ eşitliği ile sırasıyla önce 1 nolu, 4 nolu, 4 nolu, 4 nolu ve yine 4 nolu yük tipleri alınarak etkiyen her bir yük için ankastrelik momentleri ayrı ayrı ilgili alt programlardan hesaplanır ve toplamları alınır. Böylece o açıklığa ait ankastrelik momenti değerleri hesaplanmış olur.

Ankastrelik momentlerinin hesabından sonra; düğüm noktaları dönüş açıları hesaplanır. Bunun için moment denge denklemleri program tarafından herbir düğüm noktası için kurulur ve o düğüm noktasında çözülür. Dolayısıyla oluşturulan denklem takımı depolanmadan bant çözümü karşılık gelen GAUSS-SEIDEL iterasyon yöntemi ile çözülerek düğüm noktası dönüş açıları bulunur. Dönüş açıları için 0.001 hassasiyet yeterli görülmüştür, Dönüş açıları bilindiğine göre (II.8) ve (II.9) denklemlerinden faydalanılarak uç momentleri bulunur.

Max. açıklık momentinin yeri, değeri, mesnet tepkilerinin hesabı için gerekli olan yük tipi ve yük karakterleri RESTORE deyimi ile tekrar okunmuştur (RESTORA deyimi ile daha önce okunan veriler ilgili satırda yeniden okunur. Örneğin mütemadi giriş çözümüne ait bu bilgisayar programında restore deyimi 650.satırda RESTORE 1490 şeklindedir). Açıklık değerlerinin hesabı (max.açıklık momentinin yeri değeri mesnet tepkileri), ankastrelik momentlerinin hesabındaki esasa da-

yanır. Herbir açıklıktaki momentler açıklığın 1/50 noktalarında hesaplanmıştır. Bir önceki noktada bulunan açıklık momenti bir sonraki noktada bulunan açıklık momenti ile karşılaştırılır. Bu işlem açıklığın sonuna kadar devam eder ve bulunan en büyük değer max.açıklık momenti olarak alınır (8).

IV.2. Akış Diyagramı.



IV.3. Müttemadi Kiriş Programında Önemli Değişkenler.

N	: Açıklık sayısı.
$A\$$	: Sistem tipi.
a	: İki ucu ankastre giriş kodu.
b	: Sol ucu serbest, sağ ucu ankastre giriş kodu .
c	: Sol ucu ankastre, sağ ucu serbest giriş kodu.
d	: İki ucu serbest giriş kodu.
$B\$$	: 1 sistemde konsol olması hali, : 0 sistemde konsol olmaması hali
$\underline{R}, \underline{M}$	: Sırasıyla girişe ait sol ve sağ ankastrelik momentleri.
$\underline{K}$	: Giriş rijitlikleri .
$\underline{L}$	: Giriş açıklıkları.
$Y\$$	: Açıklıklara etkiyen yük tipleri.
$\underline{F1}$	: Dönüş açısı vektörü.
$\underline{R1}, \underline{M1}$	: Sol ve sağ uç moment vektörleri.
$M3$	: Max.açıklık momenti.
$X1$	: Max.açıklık momentinin yeri.
Q_a, Q_b	: Mesnet tepkileri.

IV.4. Programın Kullanılışı.

Mütemadi girişlerin çözümüne ait bilgisayar programında veriler data kısmında şöyle verilir.

1460 DATA "KİRİŞİN ADI"

1470 DATA Açıklık sayısı (N), Sistem tipi (a,b,c,d), Konsol olup olmadığı, Sol uç konsol momentı, Sağ uç konsol momentı, giriş rijitlikleri,

1480 DATA Girişlerin hesap açıklıkları.

1490 DATA 1.açıklıkta etkiyen yük tipleri ve bu yüklere ait yük karakterleri.

1500 DATA 2.açıklıkta etkiyen yük tipleri ve bu yüklere ait yük karakterleri.

1510 DATA 3.açıklıkta etkiyen yük tipleri ve bu yüklere ait yük karakterleri.

... DATA n. " " " " " " " " " "

NOT:-Eğer sistemde konsol varsa; 1470 nolu satırda 1 verilir. Önce sol daha sonra sağ uçtaki konsol momentı kullanıcı tarafından mutlak değerce verilir. Konsol momentı olmayan uç için sıfır verilir. Eğer konsol yoksa 0 (sıfır) verilir.

-Giriş rijitlikleri ve giriş açıklıkları daima ilk açıklıktan başlayarak verilir.

-Açıklıklara etkiyen yük tip ve yük karakterlerine ait datalar daima 1490 no'lu satırdan başlanarak verilir (Aynı yük tip ve karakterleri daha sonra açıklık değerlerinin hesabında kullanıldığından 1490 no'lu satırdan başlayan datalar REKTORE deyimi ile tekrar okutulmaktadır).

Yük karakterleri aşağıdaki esasa göre verilir:

Yayıllı yük : q
 Trapoz yayıllı yük : q, a
 Üçgen yayıllı yük : $q, l/2$
 Tabana bitişik bir kenarı dik üçgen : q
 Tekil yük : P, a

Şekil 14.'deki sistem için data verililişi örneklenirse;

1460 DATA "KİRİŞİN İSMİ"

1470 DATA $4, c, 0, k_1, k_2, k_3, k_4$

1480 DATA l_1, l_2, l_3

1490 DATA $1244, q, q, l_1/2, P_1, a_1, P_2, a_2$

1500 DATA $14444, q, p_1 a_1, P_2, a_2, P_3, a_3, P_4, a_4$

1510 DATA $12, q, q_2, a$

1520 DATA $1344, q, q_3, P_1, a_1, P_2, a_2$

IV.5. BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

10 REM ACI METODU İLE MUTEMADI KIRIS COZUMU
20 REM KIRIS ISMININ OKUTULMASI
30 READ C$
40 REM N=ACIKLIK SAYISI
50 REM K=KIRIS RIJITLIKLERI
60 REM L=KIRIS ACIKLIKLARI
70 REM YUK KARAKTERLERINI VE YUK DEGERLERINI 1490.SATIYADAN BASLAYARAK VERINIZ.
80 REM YAYILI YUK ICIN 1;UGSEN VE TRAPEZ YAYILI YUK ICIN 2;
90 REM TABAKA BİTİSİZ KEMARI DİK ÜĞEN YAYILI YUK ICIN 3;
100 REM TEFİL YUK ICIN 4 VERİNİZ.
110 READ N
120 OPEN "con:" AS FILE 1
130 DIM F(N+2),A(N+2),N1(N+1),R(N+1),F1(N+2),M1(N),R1(N),L(N),S1(52,2)
140 REM KIRIS TİPİNİN OKUTULMASI
150 REM a=İKİ UCU ANKASTRE SİSTEM
160 REM b=SOL UCU SERBEST,SAĞ UCU ANKASTRE SİSTEM
170 REM c=SOL UCU ANKASTRE,SAĞ UCU SERBEST SİSTEM
180 REM d=İKİ UCU SERBEST SİSTEM
190 READ A$
200 IF A$="a" THEN G=2 : O1=N
210 IF A$="b" THEN G=1 : O1=N
220 IF A$="c" THEN G=2 : O1=N+1
230 IF A$="d" THEN G=1 : O1=N+1
240 REM SİSTEMDE KONSOL VARSA B$=1 YOKSA B$=0
250 READ B$
260 IF B$="1" THEN READ R(0),M(N+1) : M(N+1)=-M(N+1)
270 REM KIRIS RIJITLIK VE ACIKLIKLARININ OKUTULMASI
280 FOR J=1 TO N : READ K(J) : NEXT J
290 FOR J=1 TO N : READ L(J) : NEXT J
300 : #1 CHR$(30%) C$
310 : #1
320 : #1 "TİP=";A$; : IF B$="1" : #1 "/KONSOLLU" ELSE : #1 "/KONSOLSUZ"
330 : #1 CHR$(29%) "Ac.No Aciklik Rijitlik Yuk Tipi"
340 REM ANKASTRELİK MOMENTLERİNİN HESABI
350 FOR J3=1 TO N
360 READ Y$
370 : #1 USING " ## ##.## ##.### ##### " J3,L(J3),K(J3),Y$
380 FOR J=1 TO LEN(Y$)
390 IF VAL(Y$)=0 THEN 450
400 Yy$=MID$(Y$,J,1)
410 ON VAL(Yy$) GOSUB 970,1010,1050,1090
420 M(J3)=M(J3)+M
430 R(J3)=R(J3)+R
440 NEXT J
450 NEXT J3

```

```

460 REM DONUS ACILARININ HESABI
470 C=0
480 FOR I=0 TO D1 : F1(I)=-((2*K(I-1)*F(I-1)+2*K(I)*F(I+1)+R(I-1)+M(I))/(4*(K(I-1)+K(I)))) : NEXT I
490 FOR I1=0 TO D1
500 IF ABS(F1(I1)) <=.000001 GOTO 520
510 IF ABS((F1(I1)-F(I1))/F1(I1))>.001 GOTO 540
520 NEXT I1
530 GOTO 570
540 FOR I3=0 TO D1 : F(I3)=F1(I3) : NEXT I3
550 C=C+1
560 GOTO 460
570 REM UC MOMENTLERIN HESABI
580 ; #1 "Aciklik      Sol.Uc Mom. (tm)      Sag Uc Mom. (tm)      X(m)      maxMac(tm)      A(ton)      B(ton) "
590 FOR W=0 TO N : M1(W)=0 : R1(W)=0 : NEXT W
600 FOR I=1 TO N
610 M1(I)=K(I)*(4*F(I)+2*F(I+1))+M(I)
620 R1(I)=K(I)*(4*F(I+1)+2*F(I))+R(I)
630 NEXT I
640 REM KESME KUVVETLERININ HESABI
650 RESTORE 1490
660 FOR J3=1 TO N
670 READ Y#
680 A3=-(M1(J3)+R1(J3))/L(J3)
690 A4=(M1(J3)+R1(J3))/L(J3)
700 Qa=0 : Qb=0 : I=0
710 FOR X=0 TO L(J3) STEP L(J3)/50
720 M=0 : I=I+1
730 FOR J=1 TO LEN(Y#)
740 IF VAL(Y#)=0 THEN 940
750 Yy#=MID$(Y#,J,1)
760 ON VAL(Yy#) GOSUB 1140,1190,1230,1280
770 S=A3*X+M1(J3)
780 IF X=0 Qa=Qa+A1 : Qb=Qb+A2
790 M=X+M2
800 NEXT J
810 M=M+S
820 S1(I,1)=M : S1(I,2)=X
830 NEXT X
840 M3=S1(I,1)
850 FOR I=1 TO 52
860 IF S1(I,1)=M3 THEN M3=S1(I,1) : X1=S1(I,2)
870 NEXT I
880 Qa=Qa+A3 : Qb=Qb+A4
890 ; #1 J3;
900 ; #1 USING "      ###.##      " M1(J3);
910 ; #1 USING "      ###.##      " (-1)*R1(J3);
920 ; #1 USING " ##.##      " X1;
930 ; #1 USING " ##.##      " M3,Qa,Qb
940 NEXT J3

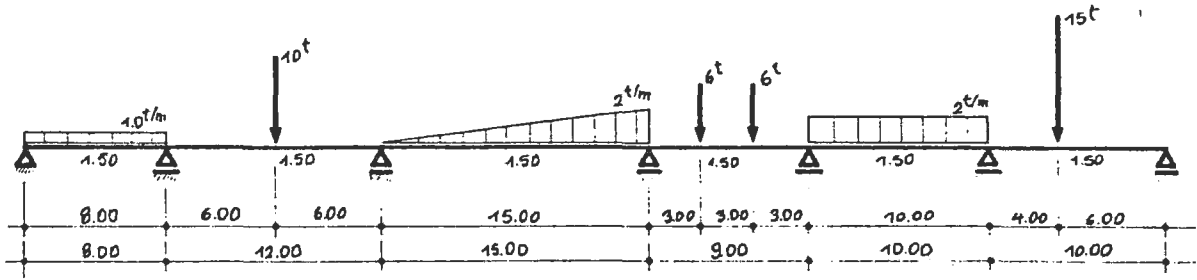
```

```

950 REM KUVVETLERIN KUVVETLERI ICIN ALT PROGRAM
960 GOTO 1470
970 READ Q
980 M=-Q*L(J3)^2/12
990 R=(-1)*M
1000 RETURN
1010 READ Qx, B
1020 M=-Qx/12*(L(J3)^2-B^2*(2-B/L(J3)))
1030 R=(-1)*M
1040 RETURN
1050 READ Q2
1060 M=-(1/30)*Q2*L(J3)^2
1070 R=(1/20)*Q2*L(J3)^2
1080 RETURN
1090 READ P, B1
1100 M=-P*B1*(L(J3)-B1)^2/L(J3)^2
1110 R=P*(L(J3)-B1)^2/L(J3)^2
1120 RETURN
1130 REM KESME KUVVETLERI ICIN ALT PROGRAM
1140 IF I=1 READ Q
1150 A1=Q*L(J3)/2
1160 A2=Q*L(J3)/2
1170 M2=A1*X-(Q*X^2/2)
1180 RETURN
1190 IF I=1 READ Qx, B
1200 A1=B*Qx*.5+((L(J3)-2*B)*Qx*.5)
1210 A2=B*Qx*.5+((L(J3)-2*B)*Qx*.5)
1220 IF X)B GOTO 1250
1230 Q1=Qx*X/B
1240 M2=A1*X-(Q1*X*.5)*(1/3)*X
1250 GOTO 1320
1260 IF X)(L(J3)-B) GOTO 1290
1270 M2=A1*X-((Qx*B*.5)*(X-(2/3)*B))-((Qx*(X-B))*(X-B)/2)
1280 GOTO 1320
1290 X1=X-L(J3)+B
1300 Q1=-((Qx/B)*X1+Qx
1310 M2=A2*(L(J3)-X)-Q1*(L(J3)-B)*(L(J3)-B)*(1.5/3)
1320 RETURN
1330 IF I=1 READ Q2
1340 A1=(Q2*L(J3))/6
1350 A2=(Q2*L(J3))/3
1360 M2=A1*X-((Q2*X^2)/(2*L(J3)))*X/3)
1370 RETURN
1380 IF I=1 READ P, B1
1390 A1=P*(L(J3)-B1)/L(J3)
1400 A2=P*B1/L(J3)
1410 IF X)B1 GOTO 1440
1420 M2=A1*X
1430 GOTO 1450
1440 M2=A2*(L(J3)-X)
1450 RETURN
1460 DATA "DANEK 2"
1470 DATA 5, 0, 1.5, 2.5, 3.0, 2.0, 1.5
1480 DATA 10, 8, 8, 10, 8
1490 DATA 14, 1.5, 1.5
1500 DATA 4, 15, 4
1510 DATA 44, 12.5, 2.5, 12.5, 5.5
1520 DATA 4, 10, 4
1530 DATA 4, 1, 2, 4

```

Örnek 1:



1460 DATA "ÖRNEK 1"

1470 DATA 6,0,0,1.5,1.5,1.5,1.5,1.5,1.5

1480 DATA 8,12,15,9,12,10

1490 DATA 1,1

1500 DATA 4,10,6

1510 DATA 3,2

1520 DATA 44,5,3,5,5

1530 DATA 1,2

1540 DATA 4,15,4

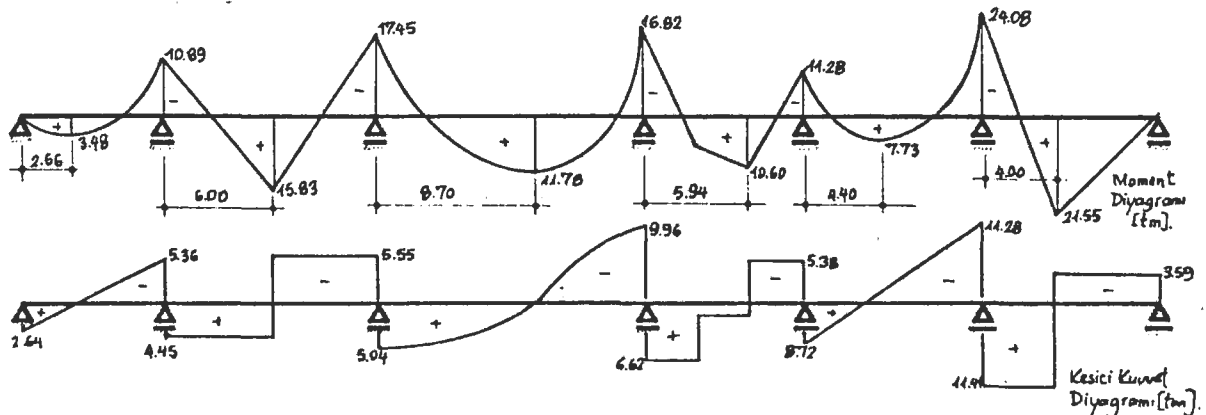
ÖRNEK 1

TİP-6/KONSOLSUZ

Ad.No Adıklık Rıgıtlık Yük Tipi

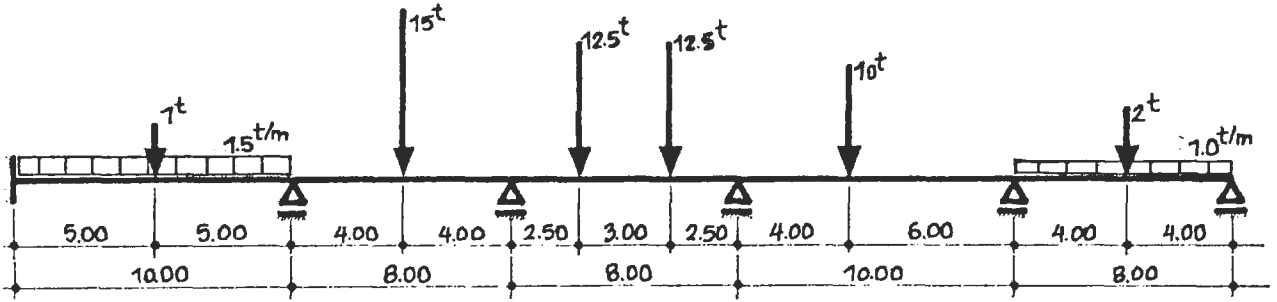
1	8.20	1.520	1
2	12.20	1.520	4
3	15.20	1.520	3
4	9.20	1.520	44
5	10.20	1.500	1
6	12.20	1.520	4

Adıklık	Sol. Uc. Mom. (tm)	Sag. Uc. Mom. (tm)	X(m)	max Mac (tm)	A (ton)	B (ton)
1	0.20	-10.89	2.56	3.48	2.64	5.36
2	-10.89	-17.45	6.00	15.83	4.45	5.55
3	-17.45	-16.32	8.70	11.78	5.04	9.96
4	-16.32	-11.28	5.74	12.60	6.62	5.38
5	-11.28	-24.28	4.40	7.73	8.72	11.28
6	-24.28	-2.20	4.20	21.55	11.41	3.59



IV.6. ÖRNEKLER

Örnek 2: (9)



```

1120 DATA "ÖRNEK 2"
1470 DATA 5,0,0,1.5,2.5,3.0,2.5,1.5
1480 DATA 10,0,0,12,0
1490 DATA 14,1.5,1.5
1500 DATA 4,15,4
1510 DATA 44,12.5,2.5,12.5,5.5
1520 DATA 4,13,4
1530 DATA 14,1,2,4

```

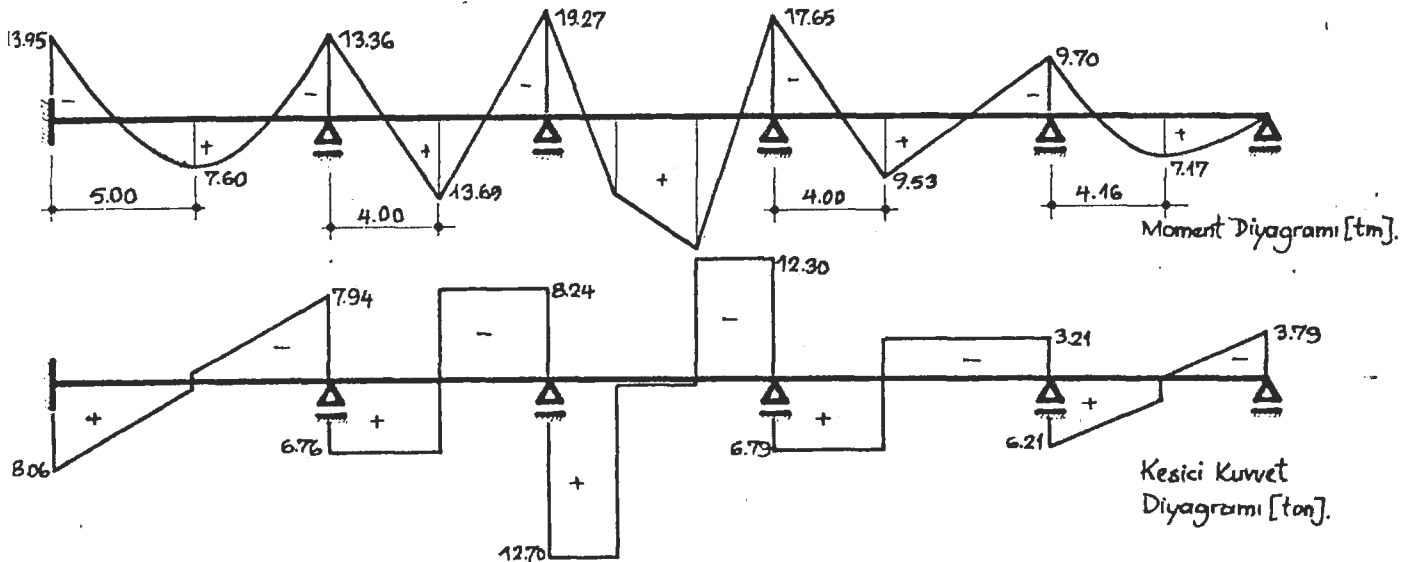
ÖRNEK 2

TİP-6/KONGREKRE

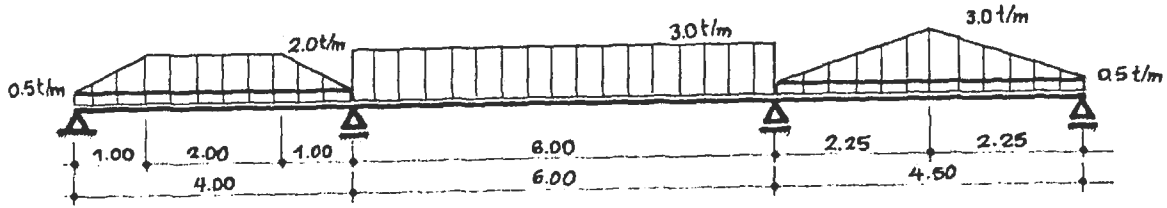
9a.No Asıklık Rigidlik Yık. Tipi

1	10.20	1.500	14
2	8.20	2.500	4
3	8.00	3.000	14
4	10.20	2.000	4
5	8.00	1.500	14

Asıklık	Sol. Uc. Mom. (tm)	Sağ Uc. Mom. (tm)	X(m)	max Mac (tm)	A1(ton)	B1(ton)
1	-13.95	-13.35	5.20	7.53	3.26	7.94
2	-13.35	-19.27	4.20	12.69	6.75	8.24
3	-19.27	-17.55	5.44	24.33	12.70	12.30
4	-17.55	-9.70	4.20	9.53	6.79	3.21
5	-9.70	8.20	4.16	7.17	5.21	3.79



Örnek 3: (10)



1460 DATA "ÖRNEK 3"

1470 DATA 3, 0, 0, 0.32, 0.72, 0.556

1480 DATA 4, 5, 4, 5

1490 DATA 12, 5, 2, 1

1500 DATA 1, 3

1510 DATA 12, 5, 3, 2.25

1520 DATA 4, 12, 4

1530 DATA 14, 1, 2, 4

ÖRNEK 3

TIP=1/KONSOLSUZ

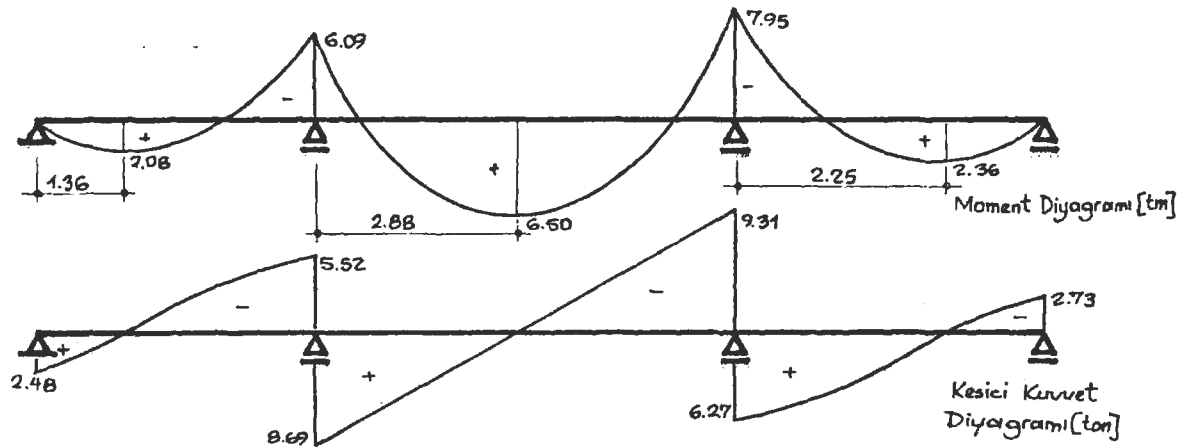
Ac.No Açıklık Rigidlik Yük Tipi

1 4.00 0.320 12

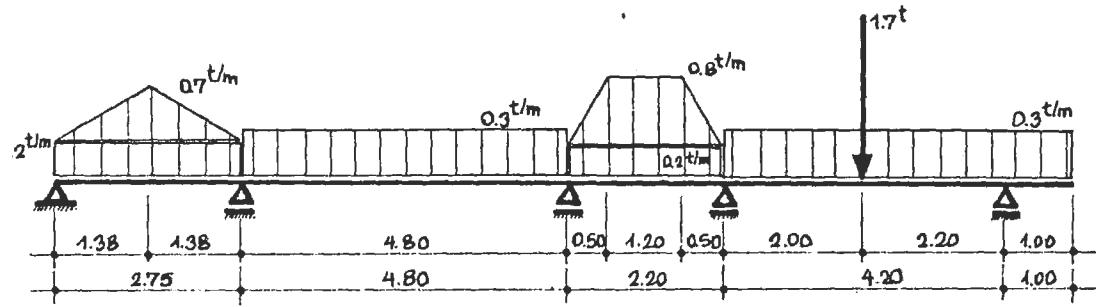
2 6.00 0.720 1

3 4.50 0.556 12

Açıklık	Sol. Uc. Mom. (tm)	Sag. Uc. Mom. (tm)	X(m)	maxMac(tm)	A(ton)	B(ton)
1	0.00	-6.09	1.36	2.08	2.48	5.52
2	-6.09	-7.95	2.88	6.50	8.59	9.31
3	-7.95	3.12	2.25	2.36	6.27	2.73



Örnek 4: (13)



1460 DATA "ÖRNEK 4"
 1470 DATA 4,0,1,0,1.15,1.22,2.5,2.27,1.67
 1480 DATA 2.75,4.8,2.2,4.2
 1490 DATA 12,2,7,1.38
 1500 DATA 1,.3
 1510 DATA 12,2,8,.5
 1520 DATA 14,.3,1.7,2

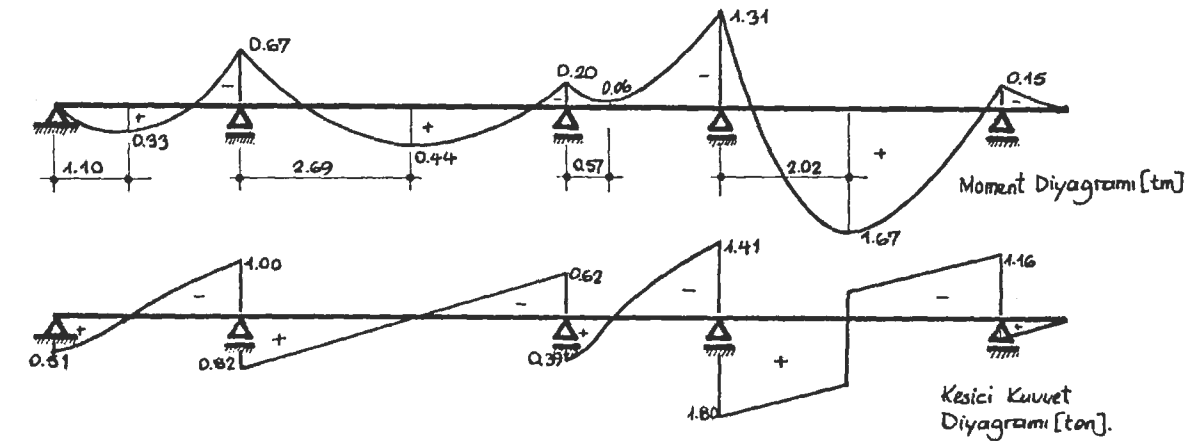
ÖRNEK 4

TİP=6/KONSOLLU

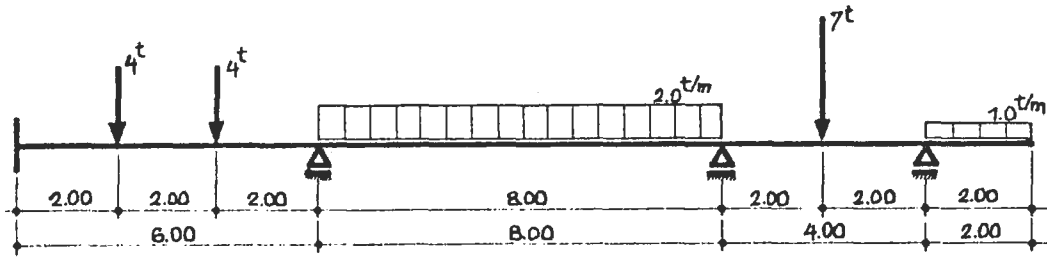
De. No	Arıklık	Rijitlik	Yük Tipi
1	2.75	1.820	12
2	4.80	3.520	1
3	2.20	2.270	12
4	4.20	1.570	14

Arıklık	Sol. Uc. Mom. (tm)	Sag. Uc. Mom. (tm)	X (m)	max Mac (tm)	A (ton)	B (ton)
1	0.22	-0.67	1.10	2.33	0.51	1.22
2	-0.67	-0.20	2.69	0.44	2.82	0.62
3	-0.20	-1.31	0.57	-0.25	0.39	1.41
4	-1.31	-2.15	2.22	1.67	1.80	1.16

40



Örnek 5: (10)



1460 DATA "ÖRNEK 5"
 1470 DATA 3,c,1,0,2,.23,.5,.25
 1480 DATA 6,8,4
 1490 DATA 44,4,2,4,4
 1500 DATA 1,2
 1510 DATA 4,7,2
 1520 DATA 14,.3,1.7,2

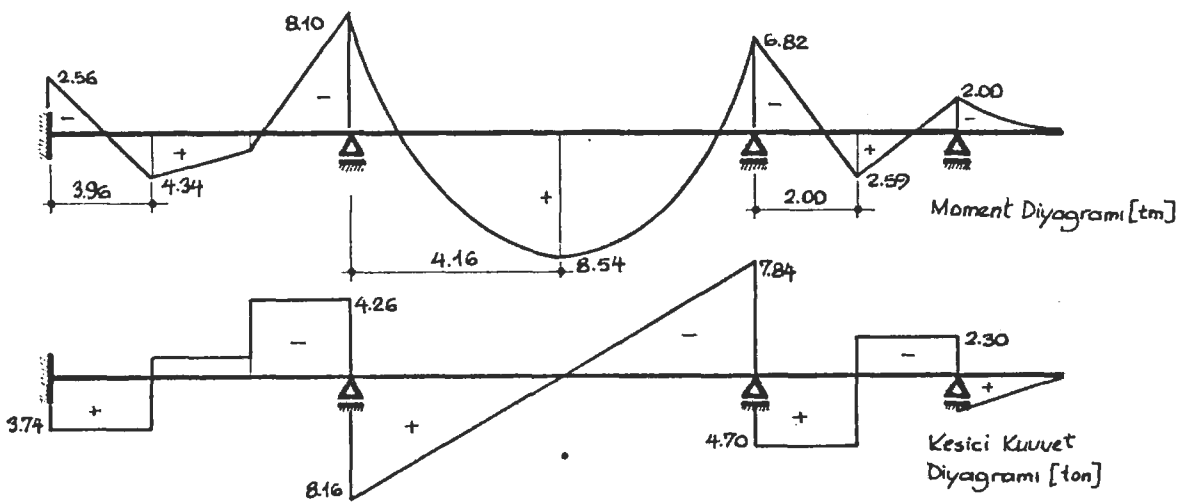
ÖRNEK 5

TIP=c/KONSOLLU

Ac.No Açıklık Rigidlik Yük Tipi

1	6.00	8.330	44
2	8.00	8.530	1
3	4.00	8.250	4

Açıklık	Sol Uc Mom. (tm)	Sag Uc Mom. (tm)	X(m)	maxMac(tm)	A(ton)	B(ton)
1	-3.62	-8.75	3.36	3.55	3.14	4.86
2	-8.76	-6.71	4.16	8.28	8.25	7.74
3	-6.71	-2.30	2.30	2.65	4.58	2.32



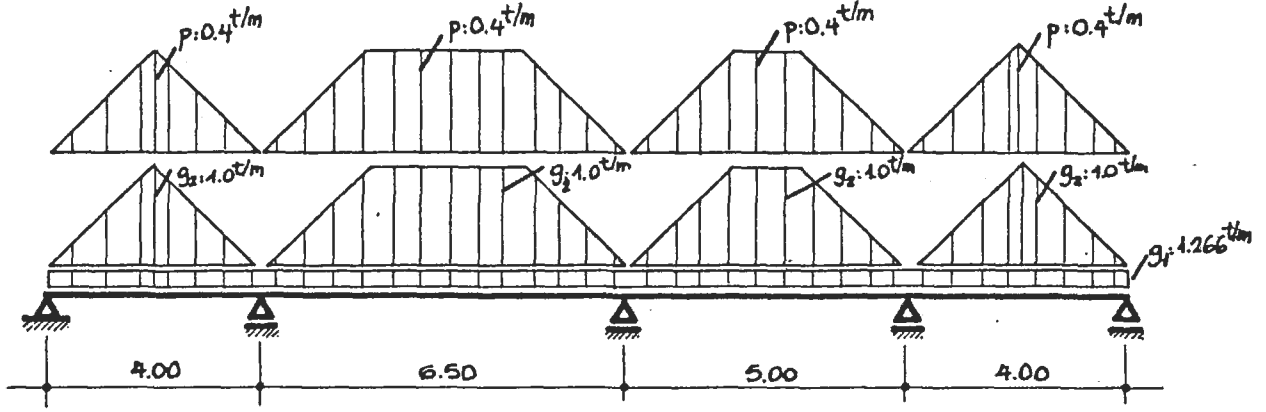
IV.6. Müttemadi Kirişlerle İlgili Bazı Karşılaştırmalar :

Müttemadi kirişlere döşemelerden gelen yükler (trapez veya üçgen) ilk önce olduğu gibi tüm yük (q) yüklenmiş daha sonra da aynı yükler dama yükleme düşünülerek yüklenmiş bu iki yük arasındaki fark tablo 1 de özetlenmiştir, Bu tablo incelendiğinde momentlerde % 16 ya kadar varan farklar gözlenmektedir. Burada örnek olarak konut yapısından bir kiriş alınmıştır ve hareketli yük 200 kg/m^2 dir, Hareketli yüklerin önemli olduğu sinema, tiyatro, okul, v.b.. gibi yapılarda moment değerlerindeki farkların çok daha fazla olacağı açıktır. Bu nedenle; hareketli yüklerin önemli olduğu yapılarda dama yükleme yapmak daha doğru sonuçlar verecektir.

Tablo 2'de aynı kirişe etkiyen yükler eşdeğer yüke çevrilmiş ve kiriş tekrar çözülmüştür. Dama yükleme de ayrıca yapılmıştır. Bu durumda da kirişin tüm yükle yüklü olması hali ile dama yükleme karşılaştırılmış ve yine önemli farklar bulunmuştur.

Tablo 3'de ise tablo 1 ve tablo 2 karşılaştırılmıştır. Tablo 3 incelendiğinde mesnet momentlerinde önemli farklar olmadığı görülecektir. Bu sonuç üçgen veya trapez yükün eşdeğer yüke çevrilmesinde aynı ankastrelik momentini vermesi kabulünden doğmaktadır.

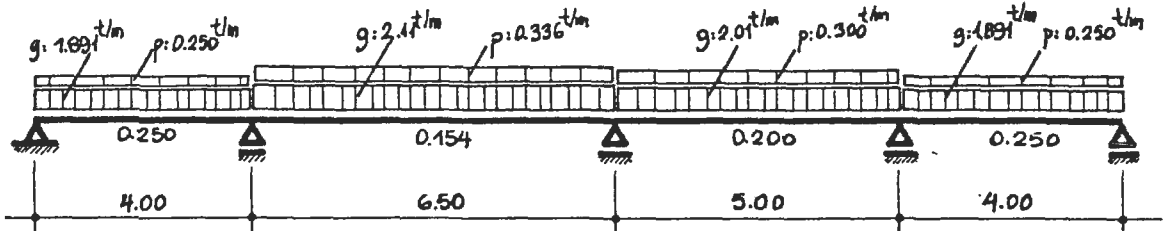
Geliştirilen programın bir avantajı da yükleri eşdeğer yüke çevirmeden, olduğu gibi (üçgen veya trapez) çözebilmesidir.



	$M_{1a\phi}$	M_{2mes}	$M_{2a\phi}$	M_{3mes}	$M_{3a\phi}$	M_{4mes}	$M_{4a\phi}$
$q_E = g_E + p_E$	1.42	-7.28	5.74	-7.54	1.83	-3.82	2.49
Max	1.70	-7.37	5.93	-7.66	2.17	-4.02	2.71
Min	1.04	-6.21	4.70	-6.38	1.23	-3.14	2.00
% Fark	16.47	1.22	3.20	1.57	15.67	4.97	8.11

or
Dama yükü
.. ..

Tablo 1: Kirişin üçgen ve trapez yükle yüklü olması durumunda ve dama yükleme yapılması durumunda moment değerleri.



	$M_{1a\phi}$	M_{2mes}	$M_{2a\phi}$	M_{3mes}	$M_{3a\phi}$	M_{4mes}	$M_{4a\phi}$
$q_E = g_E + p_E$	1.41	-7.29	5.50	-7.55	1.66	-3.82	2.58
Max.	1.67	-7.40	5.69	-7.67	2.00	-4.02	2.76
Min.	1.04	-6.22	4.53	-6.30	1.11	-3.14	2.12
% Fark	15.56	1.48	3.33	1.56	17.00	4.97	6.52

.. ..

Tablo 2: Üçgen ve trapez yüklerin eşdeğer yayılı yüke çevrilmesi durumu ve dama yükleme yapılması durumunda moment değerleri.



	$M_{1a\phi}$	M_{2mes}	$M_{2a\phi}$	M_{3mes}	$M_{3a\phi}$	M_{4mes}	$M_{4a\phi}$
Yükler Eşdeğer Yüke Çevriliş	1.67	-7.40	5.69	-7.67	2.00	-4.02	2.76
Yükler Eşdeğer Yüke Çevrilmeden	1.70	-7.37	5.93	-7.66	2.17	-4.02	2.71
% Fark	1.76	0.40	4.04	0.13	7.83	-	1.84

BÖLÜM V

V. ÇERÇEVE SİSTEMLERİN ÇÖZÜMÜ İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI: .

V.I. Programın İçeriği.

Çerçeve sistemlerde düğüm noktaları dönüş açıları ve kat hizalarındaki deplasmanları bulmak için işlemlere; kat sayısı (M_0) ve kolon sayısı (N) gözönüne alınarak başlanmıştır. Çözüm için şekil 15. de görülen sistem kabulü yapılmıştır (programda düğüm noktaları için kurulan denge denklemlerinde her düğüm noktası için dönüş açıları iterasyonla hesap edildiğinden, başlangıçta o düğüm noktasına komşu olan bir önceki ve bir sonraki açıklıklara ait değerler sıfır olarak tanımlanmıştır).

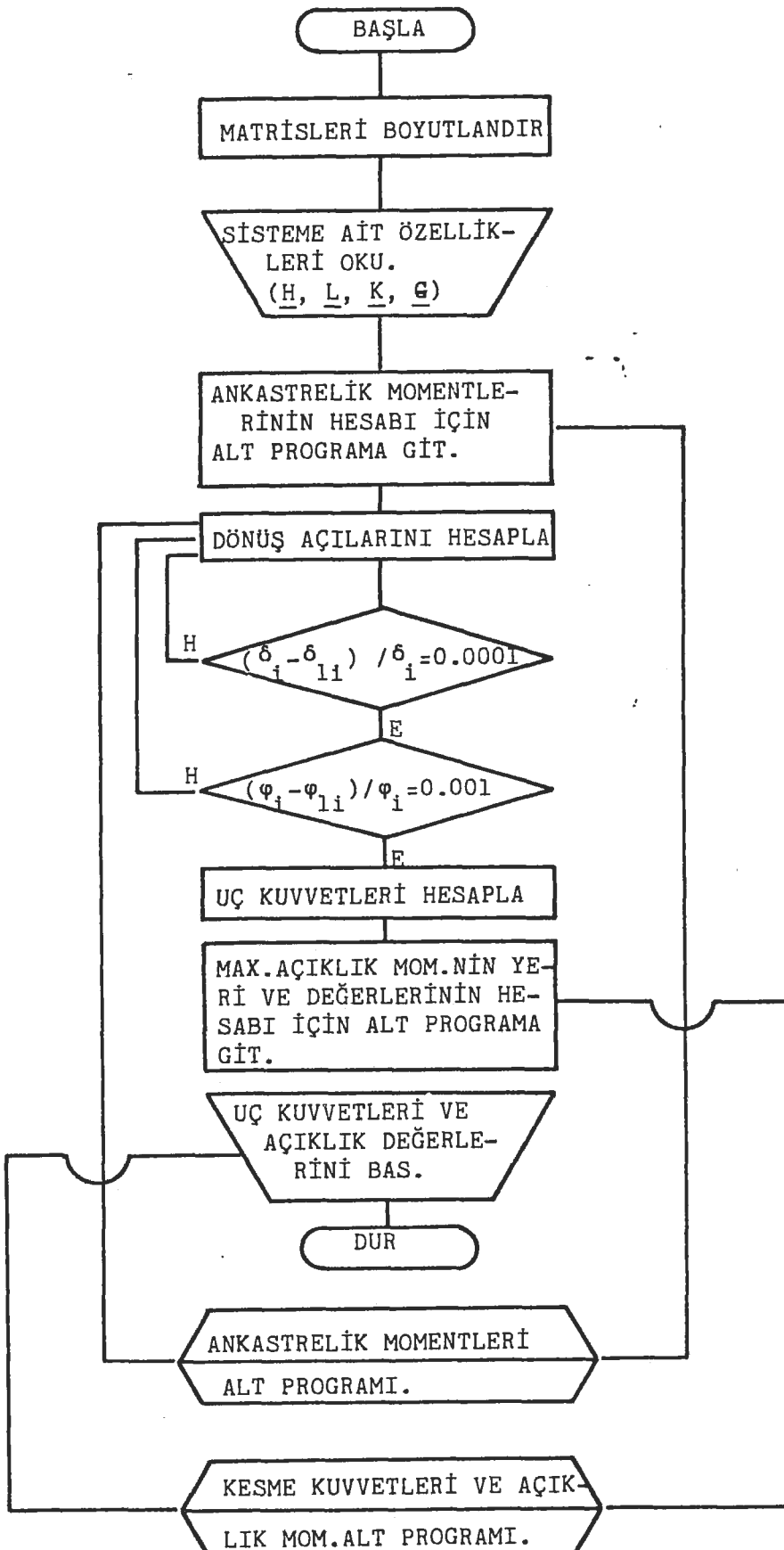
Eğer sisteme kat düzeylerinde sol veya sağ uçta etkiyen konsol momenti varsa bu moment (veya momentler) kullanıcı tarafından hesaplanıp mutlak değerce data kısmında verilir.

Ankastrelilik momentleri ve max. açıklık momentleri ile kesme kuvvetleri bölüm IV.1 de anlatıldığı gibi hesaplanır.

Düğüm noktaları dönüş açıları ve her kat düzeyindeki deplasmanlar düğüm noktası moment denge denklemleri ve yatay denge denklemlerinden yararlanılarak iterasyon yoluyla bulunmuştur. İterasyon işlemlerinde düğüm noktaları dönüş açıları için oran olarak 0.001; deplasmanlar için oran olarak 0.0001 hassasiyet yeterli görülmüştür.

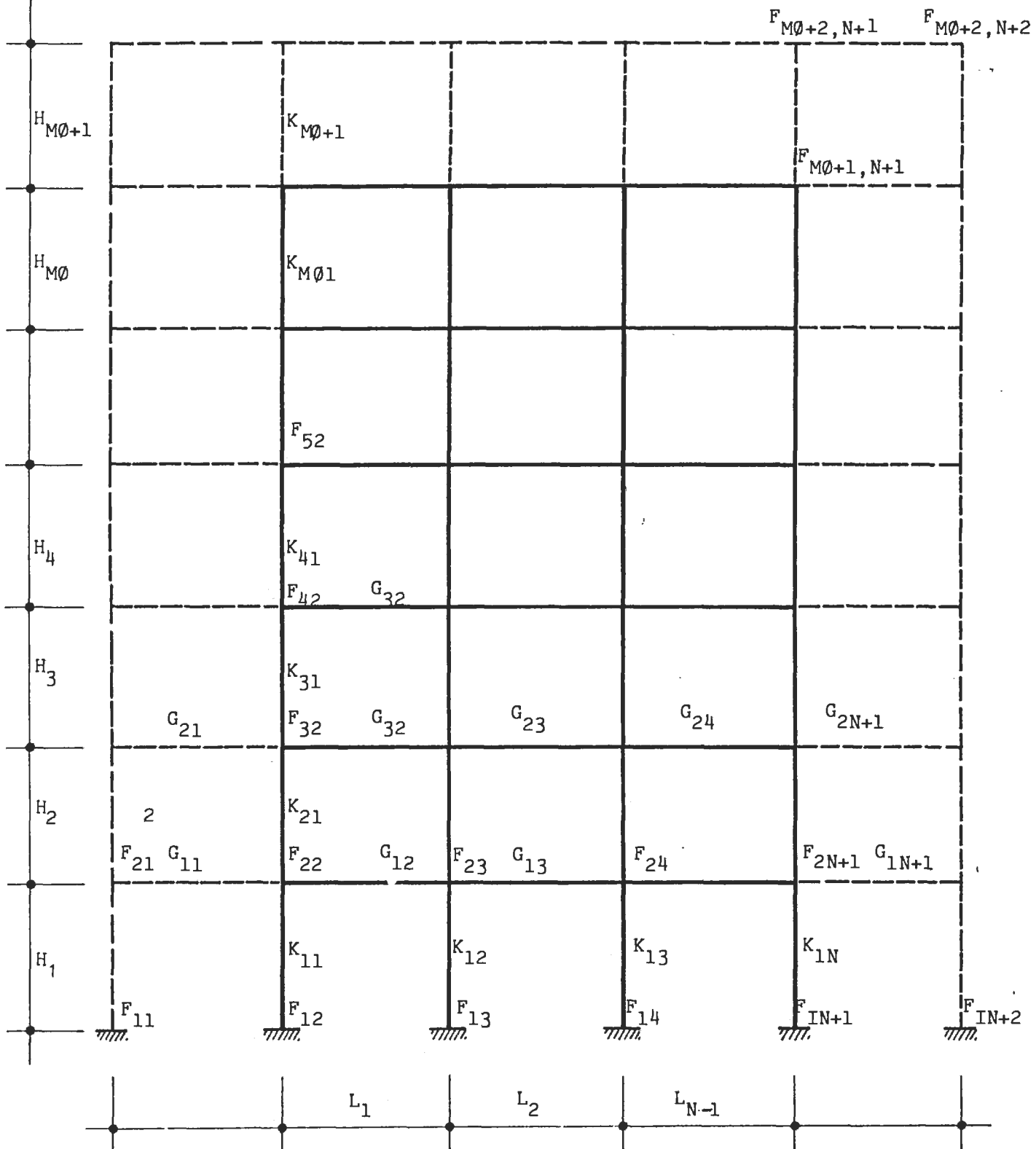
Düğüm noktaları dönüş açıları ve deplasmanlar hesaplandıktan sonra elemanların uçmomentleri denklem (II.8) ile bulunur. Bu moment değerleri kolon (k) ve kiriş (g) rijitliklerini kullanıcı tarafından bilgisayara verilmiş sırasına göre çıktı olarak alınır. Açıklıklara ait değerler bölüm IV.1'de anlatıldığı gibi hesaplanır ve basılır. Daha sonra kolon kesme kuvvetleri ile kolon eksenel kuvvetleri bilinen statik yollardan hesaplanır ve basılır.

V . 2 . Akış Diyagramı



M_0 : Kat sayısı

N : Kolon sayısı



Şekil 15. Bilgisayar programına esas çerçeve sistemi.

V.3. Çerçeve Sistemlere Ait Bilgisayar Programında Önemli Değişkenler:

M_0	: Kat sayısı.
N	: Kolon sayısı.
H	: Kat yükseklikleri
L	: Yatay açıklıklar.
K	: Kolon rijitlikleri.
G	: Kiriş rijitlikleri.
B_s	: 1 sistemde konsol olması hali. $\emptyset$ sistemde konsol olmaması hali.
R, M	: Sırasıyla kirişe ait sol ve sağ ankastrelik momentleri.
Y_s	: Açıklıklara etkiyen yük tipleri
F	: Düğüm noktaları dönüş açısı matrisi
D	: Kat deplasmanları vektörü.
R_1, M_1	: Sol ve sağ uç moment matrisleri.
C_1, C	: Üst ve alt uç kolon moment matrisleri.
X_1	: Max.açıklık momentinin yeri.
M_3	: Max.açıklık momenti.
Q_a, Q_b	: Mesnet tepkileri.
A	: Kolon eksenel kuvvetleri.

IV.4. Programın Kullanılışı:

Çerçeve sistemlerin çözümüne ait bu bilgisayar programında veriler data kısmında şöyle verilir ;

```

2400 DATA "ÇERÇEVE İSMİ"
2410 DATA Kat sayısı (M,0), Bir kattaki kolon sayısı (N)
2420 DATA Alt kattan başlayarak kat yükseklikleri (H), soldan sağa
        doğru yatay açıklıklar (L)
2430 DATA Alt kattan ve soldan sağa doğru kolon rijitlikleri(K), Alt
        kattan ve soldan sağa doğru kiriş rijitlikleri (G)
2440 DATA Konsol varsa; 1, Alt kattan başlayarak önce sol, sonra sağ
        uçtaki konsol momentleri (mutlak değerce)*
2450 DATA 1.kat 1.açıklıktaki yük tipi ve yük karakterleri.* *
        1.kat 2.      "      "      "      "      "      "
        :
        :
2460 DATA 1. " n.      "      "      "      "      "
2470 DATA 2. " 1,      "      "      "      "      "
        2. " 2.      "      "      "      "      "
        :
        :
        2. " n.      "      "      "      "      "
        :
        :
DATA n. " n.      "      "      "      "      "

```

*

Eğer sistemde konsol varsa; 2440 nolu satırda 1 yazılır. Alt kattan başlayarak sol ve sağ uçtaki konsol momentleri her kat için verilir. Konsol olmayan uç için 0 yazılır. Üst kata kadar devam edilir.

Eğer sistemde hiç konsol yoksa 2440 nolu satırda data olarak sadece 0 yazılır.

* *

Herbir kattaki açıklıklara etkiyen yük tip ve yük karakterlerine ait datalar daima 2450 nolu satırdan başlanarak verilir(ankastrelik momentleri hesabında kullanılan yük tipi ve karakterleri daha sonra açıklık değerlerinin hesabında kullanıldığından 2450 nolu satırdan başlayan datalar RESTORE deyimi ile tekrar okutulmaktadır).

5 nolu çerçeveye ait data verilisi örneklenirse;

2400 DATA "ÖRNEK 5"
2410 DATA 4,3
2420 DATA 3,5,3,3,3,6,4
2430 DATA 2,2,2,2,1.8,1.8,1.8,1.8, 1.5,1.5,1.5,1.5,1.2,1.2,1.2,1.2
1,1,1,1,1,1,1,1,
2440 DATA 0
2450 DATA 14,2,5,3,1,2
2460 DATA 14,2,5,3,1,2
2470 DATA 14,2,5,3,1,2
2480 DATA 14,2,5,3,1,2

V.5. BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

10 REM ACI METODU İLE CERCEVE COZUMU
20 OPEN "con:" AS FILE 1
30 REM CERCEVE ISMININ OKUTULMASI
40 READ C$
50 ; #1 CHR$(31%) C$
60 REM M0= KAT SAYISI
70 REM N=BİR KATTAKI KOLON SAYISI
80 REM H=KAT YUKSEKLİKLERİ
90 REM L=YATAY ACIKLIKLAR
100 REM K=KOLON RIJITLİKLERİ
110 REM G=KIRIS RIJITLİKLERİ
120 REM YUK KARAKTERLERİNİ VE YUK DEĞERLERİNİ 2450.SATIRDAN İTİBAREN VERİNİZ
130 REM YAYILI YUK İÇİN 1;ÜÇGEN VE TRAPEZ YAYILI YUK İÇİN 2;
140 REM TABANA BİTİSİK KENARI DIK ÜÇGEN YAYILI YUK İÇİN 3;
150 REM TEKİL YUK İÇİN 4 VERİNİZ.
160 ; #1 CHR$(29%)
170 REM KAT SAYISI VE BİR KATTAKI KOLON SAYISININ OKUTULMASI
180 READ M0,N
190 ; #1 "Kat Sayisi=";M0;"      Aciklik Sayisi=";N-1
200 ; #1
210 DIM M(M0,N+1),R(M0,N+1),S(5),L(N-1),K(M0+1,N)
220 DIM G(M0,N+1),F(M0+2,N+2),D(M0+1),D1(M0+1),F1(M0+2,N+2),H(M0+1)
230 DIM C(M0,N),C1(M0,N),M1(M0,N-1),R1(M0,N-1),S1(52,2),A(M0,N),G1(M0,N+1)
240 H(M0+1)=1 : D(M0+1)=1
250 REM KAT YUKSEKLİKLERİNİN OKUTULMASI VE YAZDIRILMASI
260 ; #1 "KAT YUKSEKLİKLERİ"
270 FOR I=1 TO M0 : READ H(I) : NEXT I
280 FOR I=M0 TO 1 STEP -1 : ; #1 USING "##.Kat ##.##(m)" I,H(I) : NEXT I
290 REM YATAY ACIKLIKLARIN OKUTULMASI VE YAZDIRILMASI
300 ; #1 "ACIKLIKLAR"
310 FOR I=1 TO N-1 : READ L(I) : NEXT I
320 FOR I=1 TO N-1 : ; #1 USING "##.##(m) " L(I); : NEXT I
330 ; #1
340 REM KOLON RIJITLİKLERİNİN OKUTULMASI VE YAZDIRILMASI
350 ; #1 "KOLON RIJITLİKLERİ"
360 FOR I=1 TO M0 : FOR I1=1 TO N : READ K(I,I1) : NEXT I1 : NEXT I
370 FOR I1=M0 TO 1 STEP -1 : ; #1 USING "##.Kat" I1; : FOR I2=1 TO N : ; #1 USING " ##.## " K(I1,I2); : NEXT I2 : ; #1 :
380 REM KIRIS RIJITLİKLERİNİN OKUTULMASI VE YAZDIRILMASI
390 ; #1 " KIRIS RIJITLİKLERİ"
400 FOR I=1 TO M0 : FOR I1=2 TO N : READ G(I,I1) : NEXT I1 : NEXT I
410 FOR I1=M0 TO 1 STEP -1 : ; #1 USING "##.Kat" I1; : FOR I2=2 TO N : ; #1 USING " ##.## " G(I1,I2); : NEXT I2 : ; #1 :
420 FOR I=1 TO M0 : F(I,1)=0 : F(I,N+2)=0 : G(I,1)=0 : G(I,N+1)=0 : NEXT I
430 FOR I=1 TO N : F(1,I)=0 : F(M0+2,I+1)=0 : K(M0+1,I)=0 : NEXT I
440 FOR I=1 TO M0 : R(I,0)=0 : M(I,N+1)=0 : NEXT I
450 REM SİSTEMDE KONSOL VARSA B$=1 YOKSA B$=0
460 READ B$
470 IF B$="0" THEN 510
480 FOR I=1 TO M0 : IF B$="1" THEN READ R(I,0),M(I,N+1) : M(I,N+1)=-M(I,N+1)
490 NEXT I

```

```

500 REM ANKASTRELİK MOMENTLERİNİN HESABI
510 FOR I=1 TO M0
520   FOR I1=1 TO N-1
530     READ Y$
540     FOR J=1 TO LEN(Y$)
550       IF VAL(Y$)=0 THEN 610
560       Yy$=MID$(Y$,J,1)
570       ON VAL(Yy$) GOSUB 1910,1950,1990,2030
580       M(I,I1)=M(I,I1)+M
590       R(I,I1)=R(I,I1)+R
600     NEXT J
610   NEXT I1
620 NEXT I
630 REM DÖNÜŞ AÇILARI VE DEPLASMANLARIN HESABI
640 FOR I=M0 TO 1 STEP -1
650   FOR I1=1 TO N
660     Md1=4*(G(I,I1)+G(I,I1+1)+K(I,I1)+K(I+1,I1))
670     Md2=2*(G(I,I1)*F(I+1,I1)+G(I,I1+1)*F(I+1,I1+2)+K(I,I1)*F(I,I1+1)+K(I+1,I1)*F(I+2,I1+1))
680     IF ABS(D(I)) <=.01 THEN D(I)=0
690     Md3=6*(K(I,I1)*D(I)/(H(I))+K(I+1,I1)*D(I+1)/(H(I+1)))
700     Md4=R(I,I1-1)+M(I,I1)
710     F(I+1,I1+1)=(-Md2+Md3-Md4)/Md1
720   NEXT I1 : NEXT I
730 FOR I=1 TO M0
740   FOR I1=1 TO N
750     Yd1=Yd1+(K(I,I1)*(F(I,I1+1)+F(I+1,I1+1)))/H(I)
760     Yd2=Yd2+(K(I,I1)*2/(H(I)^2))
770   NEXT I1
780   D(I)=Yd1/Yd2
790   Yd1=0 : Yd2=0
800 NEXT I
810 T$="1985-01-17 10.00.00"
820 IF T=0 ; #1 "Hesap Başlangıcı:";TIME$
830 FOR I=1 TO M0
840   IF ABS(D(I)) <=.000001 GOTO 860
850   IF ABS((D(I)-D1(I))/D(I)).0001 GOTO 940
860 NEXT I
870 FOR I=1 TO M0
880   FOR I1=1 TO N
890     IF ABS(F(I+1,I1+1)) <=.000001 GOTO 910
900     IF ABS((F(I+1,I1+1)-F1(I+1,I1+1))/F(I+1,I1+1)).001 GOTO 940
910   NEXT I1
920 NEXT I
930 GOTO 1010
940 T=T+1
950 FOR I=1 TO M0
960   FOR I1=1 TO N
970     F1(I+1,I1+1)=F(I+1,I1+1)
980     D1(I)=D(I)
990   NEXT I1 : NEXT I
1000 GOTO 640
1010 ; #1 "Hesap Sonu:";TIME$

```

```

1020 REM UC KUVVETLERIN HESABI
1030 FOR I=1 TO M0
1040   FOR I1=1 TO N
1050     C(I, I1)=K(I, I1)*(4*F1(I, I1+1)+2*F1(I+1, I1+1)-6*D1(I)/H(I))
1060     C1(I, I1)=K(I, I1)*(4*F1(I+1, I1+1)+2*F1(I, I1+1)-6*D1(I)/H(I))
1070   NEXT I1 : NEXT I
1080 FOR I=1 TO M0
1090   FOR I1=1 TO N-1
1100     M1(I, I1)=6(I, I1+1)*(4*F1(I+1, I1+1)+2*F1(I+1, I1+2))+M(I, I1)
1110     R1(I, I1)=6(I, I1+1)*(4*F1(I+1, I1+2)+2*F1(I+1, I1+1))+R(I, I1)
1120   NEXT I1 : NEXT I
1130 ; #1 "KOLOW UC MOMENTLERI"
1140 FOR J=M0 TO 1 STEP -1
1150   ; #1 J; ".KAT";
1160   ; #1 " ";
1170   FOR J1=1 TO N
1180     ; #1 USING "###.## " C1(J, J1);
1190   NEXT J1 : ; #1
1200   ; #1 " ";
1210   FOR J1=1 TO N
1220     ; #1 USING "###.## " C(J, J1);
1230   NEXT J1 : ; #1 : NEXT J
1240 ; #1 "KIRIS UC MOMENTLERI"
1250 FOR J=M0 TO 1 STEP -1
1260   ; #1 J ".KAT";
1270   ; #1 " ";
1280   FOR J1=1 TO N-1
1290     ; #1 USING "###.## " M1(J, J1); R1(J, J1);
1300     ; #1 " ";
1310   NEXT J1 : ; #1 : NEXT J
1320 REM KESME KUVVETLERININ HESABI
1330 ; #1 "ACIKLIK DEGERLERI "
1340 ; #1 "Kat      Aciklik      X      Max ac Mom.      Qa      Qb"
1350 RESTORE 2450
1360 FOR I=1 TO M0
1370   FOR I1=1 TO N-1
1380     READ Y$
1390     A3=-(M1(I, I1)+R1(I, I1))/L(I1)
1400     A4=(M1(I, I1)+R1(I, I1))/L(I1)
1410     Qa=0 : Qb=0 : K=0
1420     FOR X=0 TO L(I1) STEP L(I1)/50
1430       M=0 : K=K+1
1440       FOR J=1 TO LEN(Y$)
1450         IF VAL(Y$)=0 THEN 1660
1460         Yy$=MID$(Y$, J, 1)
1470         ON VAL(Yy$) GOSUB 2080, 2130, 2270, 2320
1480         S=A3*X+M1(I, I1)
1490         IF X=0 Qa=Qa+A1 : Qb=Qb+A2
1500         M=M+M2

```

```

1510 NEXT J
1520 M=M+S
1530 S1(K,1)=M : S1(K,2)=X
1540 NEXT X
1550 ; #1 I;
1560 ; #1 USING "    ##    " ; I1;
1570 M3=S1(I,1)
1580 FOR I4=1 TO 51
1590 IF S1(I4,1)M3 THEN M3=S1(I4,1) : X1=S1(I4,2)
1600 NEXT I4
1610 ; #1 USING "    ##.##    " X1;
1620 Qa=Qa+A3 : Qb=Qb+A4
1630 ; #1 USING "    ##.##    " M3;Qa;Qb
1640 Qa(I1,1)=Qa : Qa(I1,2)=Qb
1650 FOR S=1 TO 52 : S1(S,1)=0 : S1(S,2)=0 : NEXT S
1660 NEXT I1
1670 A(I,1)=Qa(1,1) : A(I,N)=Qa(N-1,2)
1680 FOR I1=2 TO N-1
1690 A(I,I1)=Qa(I1-1,2)+Qa(I1,1)
1700 NEXT I1
1710 NEXT I
1720 REM KOLON EKSENEL VE KESICI KUVVETLERININ HESABI
1730 FOR I=M0-1 TO 1 STEP -1 : FOR I1=1 TO N : A(I,I1)=A(I,I1)+A(I+1,I1) : NEXT I1 : NEXT I
1740 ; #1 "KOLON EKSENEL KUVVETLERI"
1750 FOR I=M0 TO 1 STEP -1 : ; #1 I;".Kat    " : FOR I1=1 TO N : ; #1 USING "###.##    " A(I,I1); : NEXT I1 : ; #1 : NEXT
1760 ; #1 "KOLON KESICI KUVVETLERI"
1770 FOR I=1 TO M0
1780 FOR I1=1 TO N
1790 C1(I,I1)=-(C1(I,I1)+C(I,I1))/H(I)
1800 NEXT I1
1810 NEXT I
1820 FOR J=M0 TO 1 STEP -1
1830 ; #1 J;".KAT    ";
1840 FOR J1=1 TO N
1850 ; #1 USING "###.##    " C1(J,J1);
1860 NEXT J1
1870 ; #1
1880 NEXT J
1890 REM ANKASTRELİK MOMENTLERİ İÇİN ALT PROGRAM
1900 GOTO 2410
1910 READ Q
1920 M=-Q*(L(I1)^2)/12
1930 R=(-1)*M
1940 RETURN
1950 READ Qx,B
1960 M=-(Qx/12)*(L(I1)^2-B^2*(2-B)/L(I1))
1970 R=(-1)*M
1980 RETURN

```

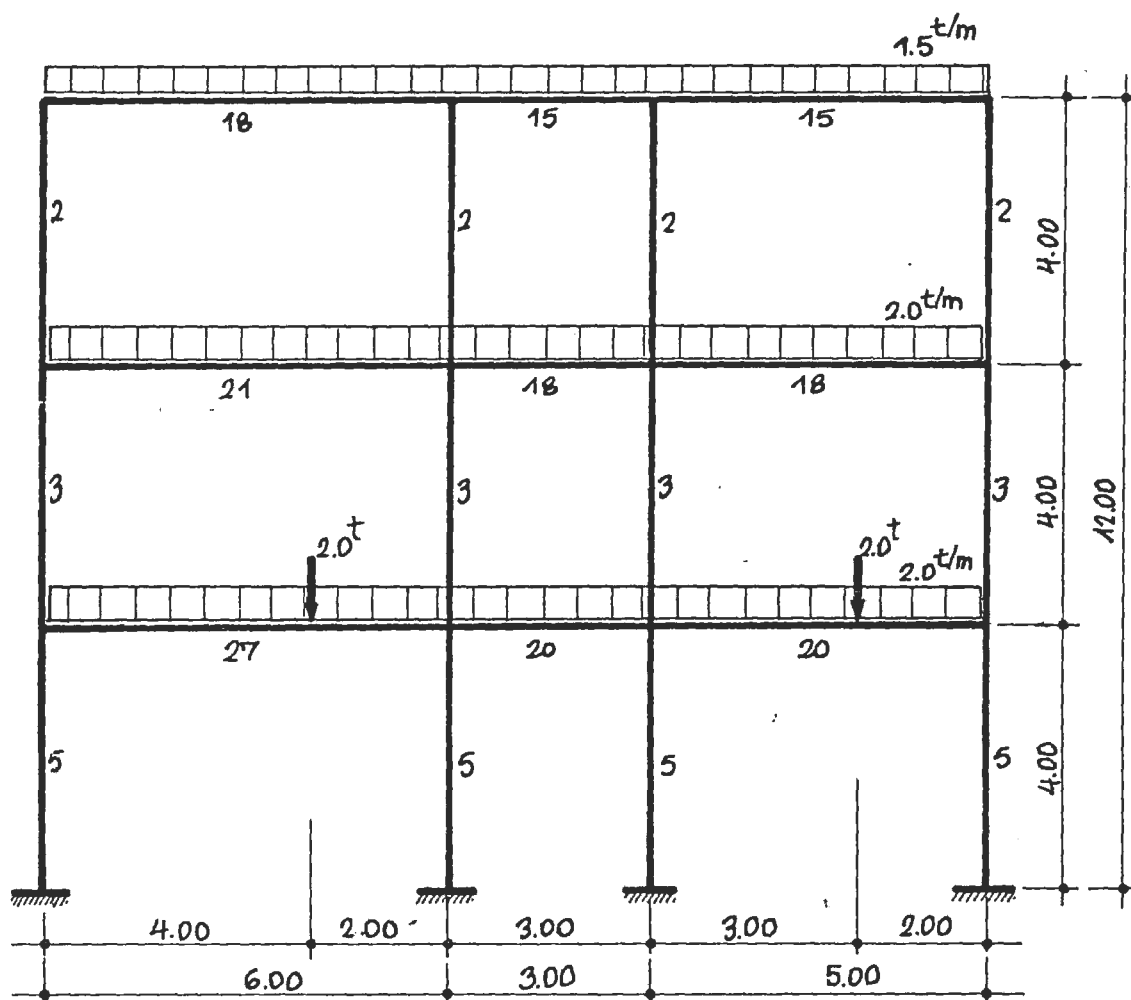
```

1990 READ Q2
2000 M=-(1/30)*Q2*L(I1)^2
2010 R=(1/20)*Q2*L(I1)^2
2020 RETURN
2030 READ P,B1
2040 M=-P*B1*(L(I1)-B1)^2/(L(I1)^2)
2050 R=P*(L(I1)-B1)*B1^2/(L(I1)^2)
2060 RETURN
2070 REM KESME KUVVETLERI ICIN ALT PROGRAM
2080 IF K=1 READ Q
2090 A1=Q*L(I1)/2
2100 A2=Q*L(I1)/2
2110 M2=A1*X-(Q*X^2/2)
2120 RETURN
2130 IF K=1 READ Qx,B
2140 A1=B*Qx*.5+(L(I1)-2*B)*Qx*.5)
2150 A1=B*Qx*.5+(L(I1)-2*B)*Qx*.5)
2160 IF X)B GOTO 2200
2170 Q1=Qx*X/B
2180 M2=A1*X-(Q1*X*.5)*(1/3)*X
2190 GOTO 2260
2200 IF X) (L(I1)-Y1(I5,1)) GOTO 2230
2210 M2=A1*X-(Y1(I5,3)*Y1(I5,1)*.5)*(X-(2/3))*Y1(I5,1)-(Y1(I5,3)*(X-Y1(I5,1))*(X-Y1(I5,1))/2)
2220 GOTO 2260
2230 X1=X-L(I1)+B
2240 Q1=-(Qx/B)*X1+Qx
2250 M2=A2*(L(I1)-X)-Q1*(L(I1)-B)*(L(I1)-B)*(.5/3)
2260 RETURN
2270 IF K=1 READ Q2
2280 A1=(Q2*L(I1))/6
2290 A2=(Q2*L(I1))/3
2300 M2=A1*X-(Q2*X^2)/(2*L(I1))*X/3)
2310 RETURN
2320 IF K=1 READ P,B1
2330 A1=P*(L(I1)-B1)/L(I1)
2340 A2=P*B1/L(I1)
2350 IF X)B1 GOTO 2380
2360 M2=A1*X
2370 GOTO 2390
2380 M2=A2*(L(I1)-X)
2390 RETURN
2400 DATA "ORNEK 5"
2410 DATA 4,3
2420 DATA 3.5,3,3,3,6,4
2430 DATA 2,2,2,1.8,1.8,1.8,1.5,1.5,1.5,1.2,1.2,1.2,1,1,1,1,1,1,1
2440 DATA 0
2450 DATA 14,2,5,3,1,2
2460 DATA 14,2,5,3,1,2
2470 DATA 14,2,5,3,1,2
2480 DATA 14,2,5,3,1,2

```

V. 6 . ÖRNEKLER

Örnek 1: (9)



2400 DATA "ÖRNEK 1"

2410 DATA 3,4

2420 DATA 4,4,4,6,3,5

2430 DATA 5,5,5,5,3,3,3,2,2,2,2,27,20,20,21,18,18,15,15

2440 DATA 0

2450 DATA 14,2,2,4,1,2,14,2,2,3

2460 DATA 1,2,1,2,1,2

2470 DATA 1,1.5,1,1.5,1,1.5

Kat Sayisi= 3 Aciklik Sayisi= 3

KAT YUKSEKLİKLERİ

3.Kat 4.00(m)
 2.Kat 4.00(m)
 1.Kat 4.00(m)

ACIKLIK LAR

6.00(m) 3.00(m) 5.00(m)

KOLON RIJITLİKLERİ

3.Kat 2.00 2.00 2.00 2.00
 2.Kat 3.00 3.00 3.00 3.00
 1.Kat 5.00 5.00 5.00 5.00

KIRIS RIJITLİKLERİ

3.Kat 18.00 15.00 15.00
 2.Kat 21.00 18.00 18.00
 1.Kat 27.00 20.00 20.00

Hesap Baslangici:1985-01-28 02.20.37

Hesap Sonu:1985-01-28 02.20.59

KOLON UC MOMENTLERİ

3 .KAT 0.87 -0.61 0.45 -0.71
 0.84 -0.59 0.43 -0.68
 2 .KAT 1.23 -0.87 0.67 -1.00
 1.21 -0.89 0.71 -1.06
 1 .KAT 1.34 -1.00 0.85 -1.22
 0.68 -0.49 0.43 -0.60

KIRIS UC MOMENTLERİ

3 .KAT -0.88 3.56 -2.96 2.04 -2.51 0.70
 2 .KAT -2.09 5.02 -3.58 2.38 -3.50 1.67
 1 .KAT -2.53 5.83 -3.92 2.77 -4.30 2.30

ACIKLIK DEGERLERİ

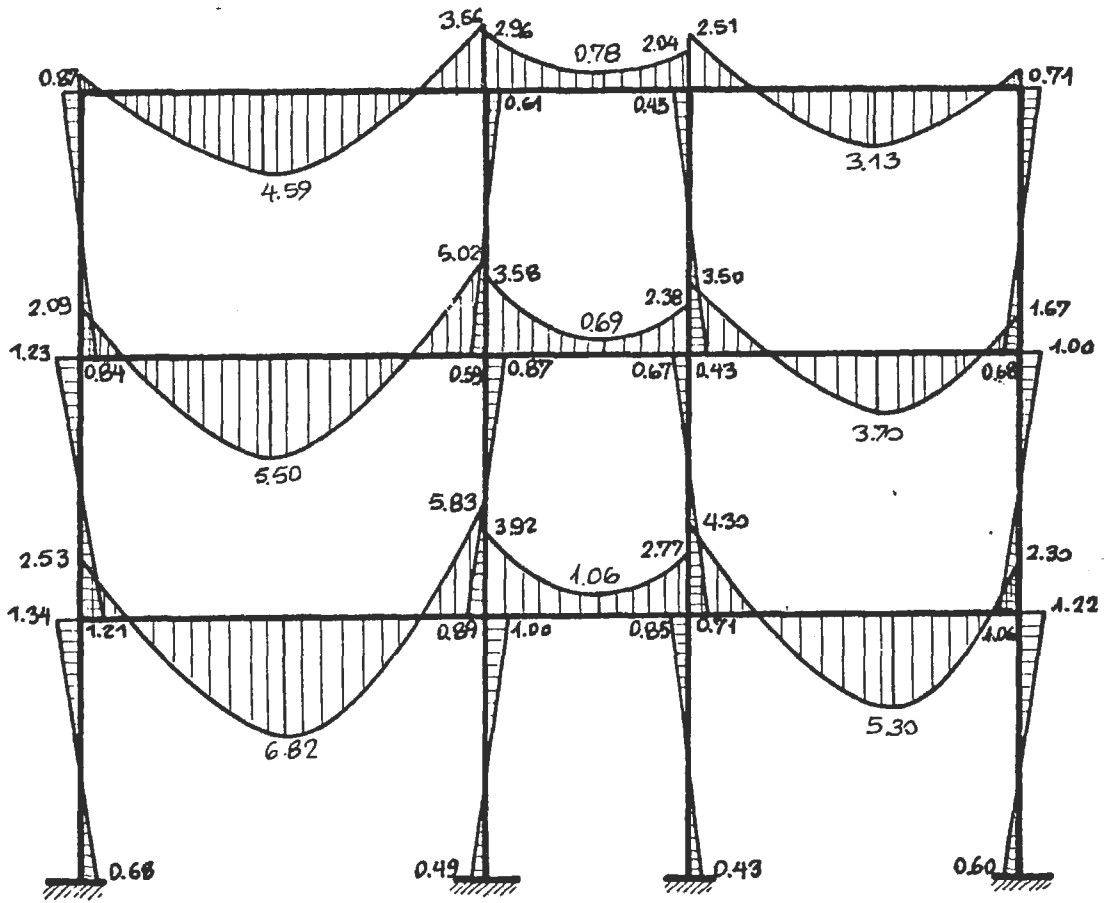
Kat	Aciklik	X	Max ac Mom.	Qa	Qb
1	1	3.00	6.82	6.12	7.88
1	2	1.68	-1.06	3.39	2.61
1	3	3.00	5.30	6.20	5.80
2	1	2.76	5.50	5.51	6.49
2	2	1.68	-0.69	3.48	2.68
2	3	2.70	3.70	5.37	4.63
3	1	2.76	4.59	4.05	4.95
3	2	1.68	-0.78	2.56	1.94
3	3	2.70	3.13	4.11	3.39

KOLON EKSENEL KUVVETLERİ

3 .Kat 4.05 7.50 6.05 3.39
 2 .Kat 9.57 17.39 14.02 8.02
 1 .Kat 15.68 28.66 22.84 13.82

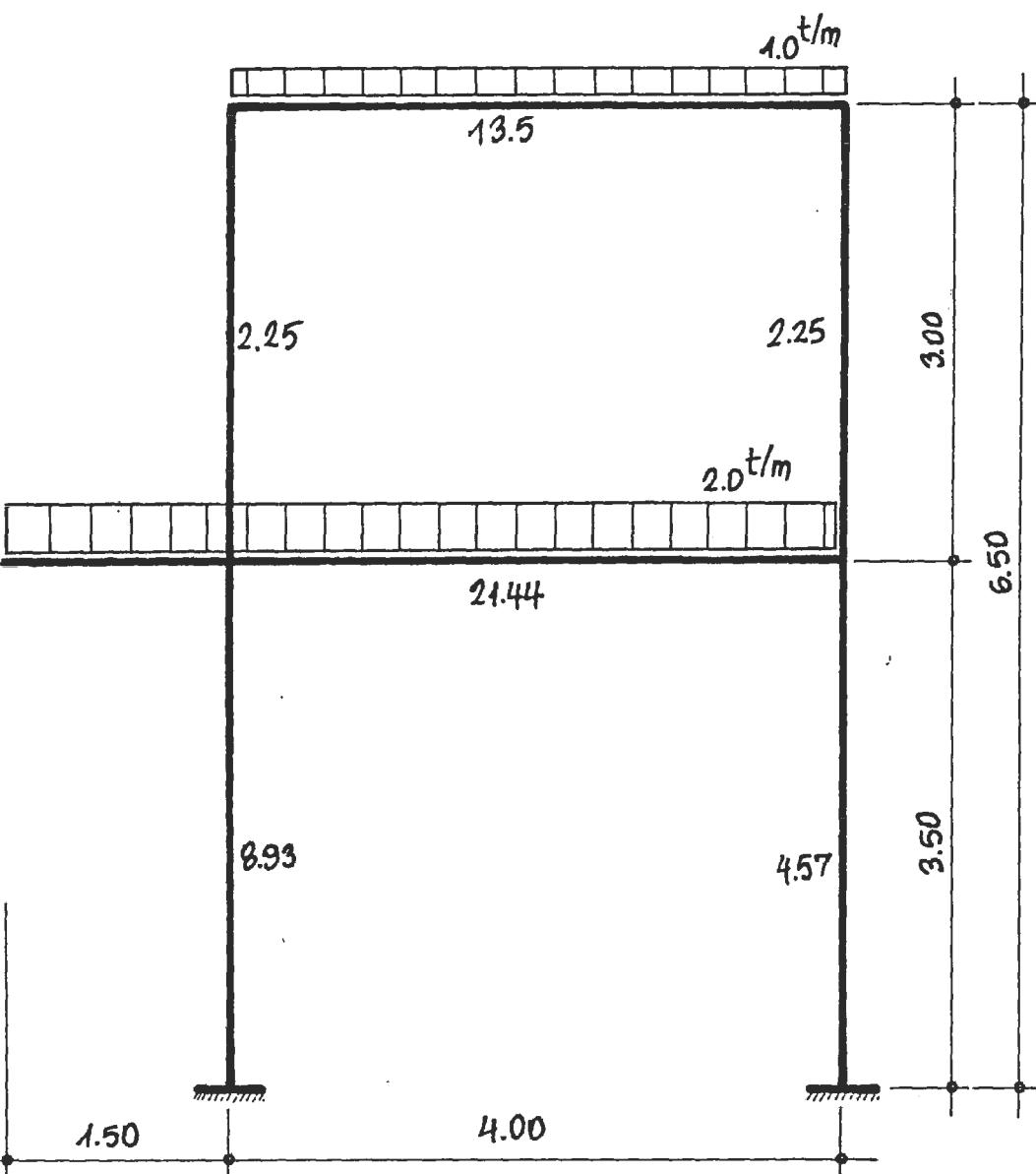
KOLON KESICI KUVVETLERİ

3 .KAT -0.43 0.30 -0.22 0.35
 2 .KAT -0.61 0.44 -0.35 0.52
 1 .KAT -0.50 0.37 -0.32 0.45



Moment Diagram [tm].

Örnek 2: (11)



2400 DATA "ÖRNEK 2"

2410 DATA 2,2

2420 DATA 3.5,3,4

2430 DATA 8.93,4.57,2.25,2.25,21.44,13.5

2440 DATA 1,2.25,0,0,0

2450 DATA 1,2

2460 DATA 1,1

ORNEK 2

Kat Sayisi= 2 Aciklik Sayisi= 1

KAT YUKSEKLİKLERİ

2.Kat 3.00(m)

1.Kat 3.50(m)

ACIKLIKAR

4.00(m)

KOLON RIJITLİKLERİ

2.Kat 2.25 2.25

1.Kat 0.93 4.57

KIRIS RIJITLİKLERİ

2.Kat 13.50

1.Kat 21.44

Hesap Baslangici:1985-01-29 16.10.12

Hesap Sonu:1985-01-29 16.10.18

KOLON UC MOMENTLERİ

2 .KAT 0.41 -0.38

0.30 -0.34

1 .KAT 0.43 -0.46

0.24 -0.21

KIRIS UC MOMENTLERİ

2 .KAT -0.41 0.38

1 .KAT -2.92 0.83

ACIKLIK DEGERLERİ

Kat	Aciklik	X	Max ac Mom.	Qa	Qb
1	1	2.24	2.19	4.52	3.48
2	1	2.00	1.60	2.01	1.99

KOLON EKSENEL KUVVETLERİ

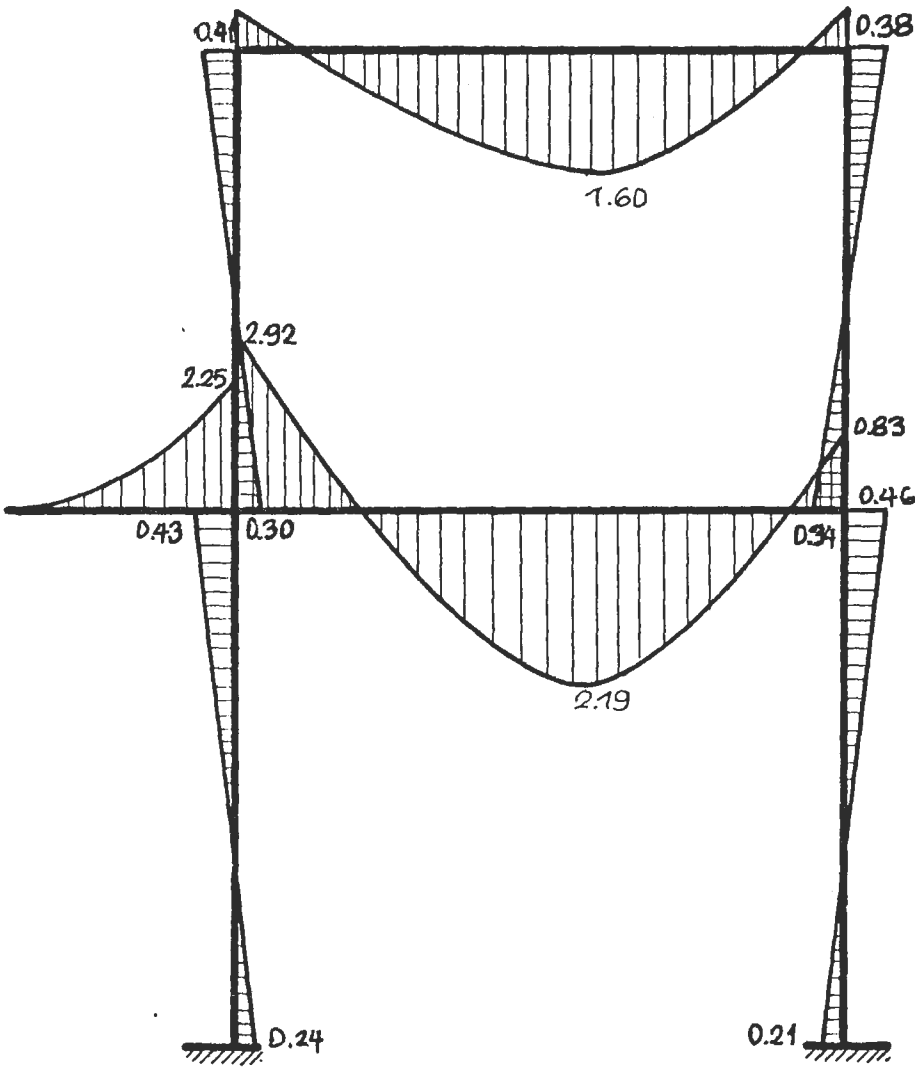
2 .Kat 2.01 1.99

1 .Kat 6.53 5.47

KOLON KESICI KUVVETLERİ

2 .KAT -0.24 0.24

1 .KAT -0.19 0.19



Moment
Diyagramı [tm].

ORNEK 3

Kat Sayisi= 2 Aciklik Sayisi= 3

KAT YUKSEKLİKLERİ

2.Kat 3.00(m)

1.Kat 4.20(m)

ACIKLIKLAR

7.50(m) 10.00(m) 7.50(m)

KOLON RIJITLİKLERİ

2.Kat 0.42 0.42 0.42 0.42

1.Kat 0.54 0.51 0.51 0.54

KIRIS RIJITLİKLERİ

2.Kat 0.46 0.72 0.46

1.Kat 0.60 0.88 0.60

Hesap Baslangici:1985-01-28 02.34.51

Hesap Sonu:1985-01-28 02.35.02

KOLON UC MOMENTLERİ

2 .KAT -0.76 3.45 -3.45 0.76

-0.53 2.87 -2.87 0.53

1 .KAT -0.26 1.84 -1.84 0.26

-0.13 0.92 -0.92 0.13

KIRIS UC MOMENTLERİ

2 .KAT 0.76 2.59 -6.05 6.05 -2.59 -0.76

1 .KAT 0.80 2.03 -6.74 6.74 -2.03 -0.80

ACIKLIK DEĞERLERİ

Kat	Aciklik	X	Max ac Mom.	Qa	Qb
1	2	5.00	5.76	5.00	5.00
2	2	5.00	6.45	5.00	5.00

KOLON EKSENEL KUVVETLERİ

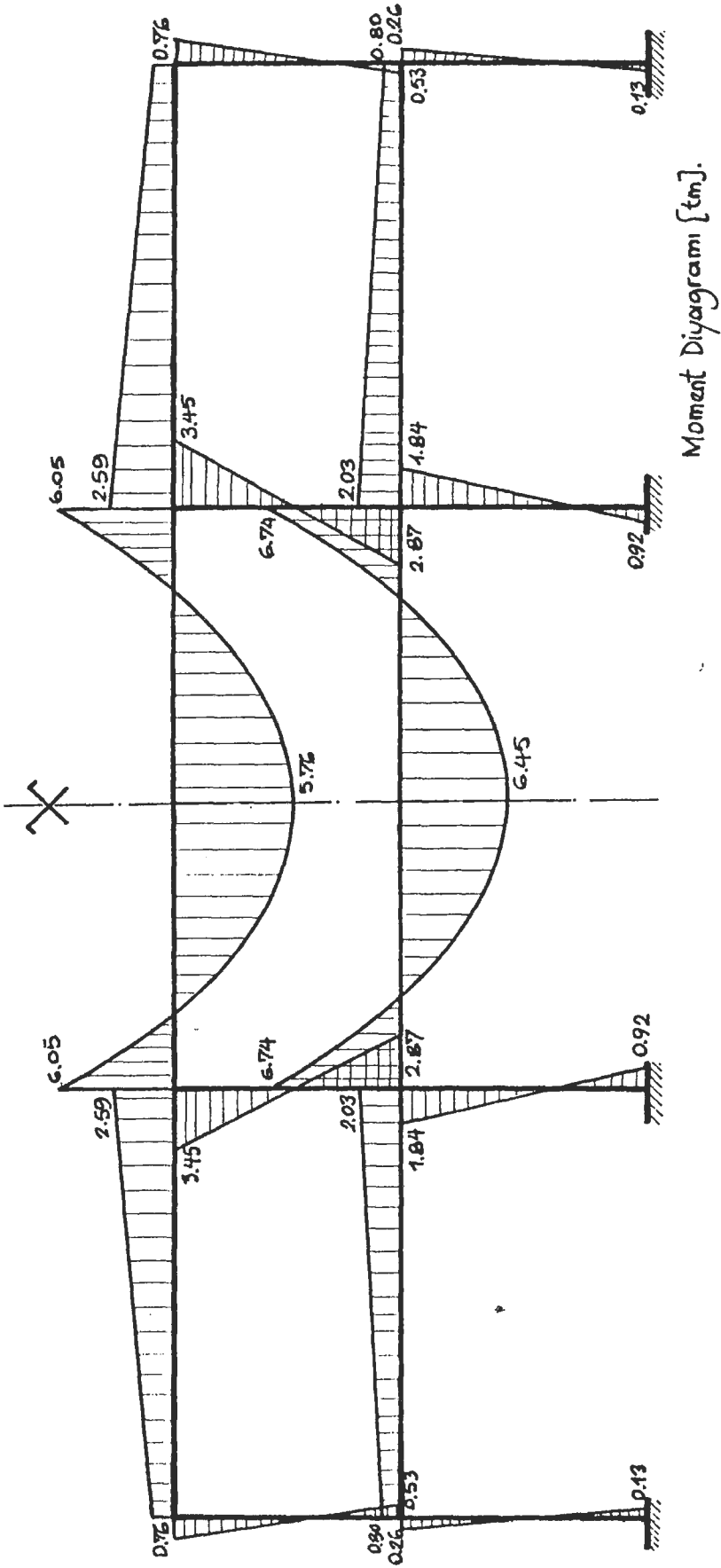
2 .Kat 0.00 5.00 5.00 0.00

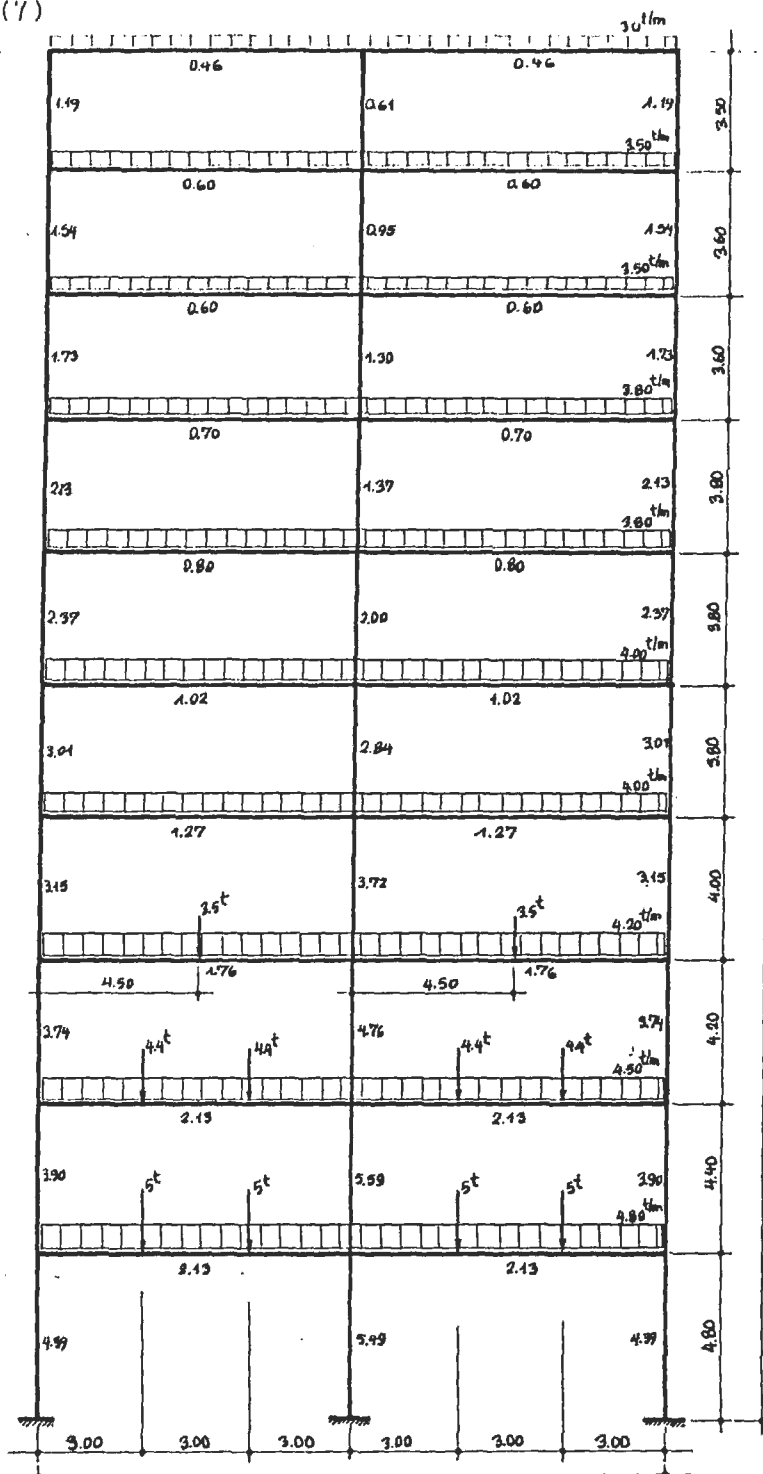
1 .Kat 0.00 10.00 10.00 0.00

KOLON KESİCİ KUVVETLERİ

2 .KAT 0.34 -1.66 1.66 -0.34

1 .KAT 0.09 -0.66 0.66 -0.09





2400 DATA "ORNEK 4"

2410 DATA 10,3

2420 DATA 4.8, 4.4, 4.2, 4.3, 3.8, 3.8, 3.8, 3.6, 3.6, 3.5, 9, 9

2438 DATA 4.39,5.49,4.39,3.9,5.59,3.9,3.74,4.76,3.74,3.15,3.72,3.15,3.01,2.84,3.01,2.37,2,2.37,2.13,1.37,2.13,1.73,1.3,1.73,1.54,.95
1.54,1.19,.61,1.19

2435 DATA 2.13,2.13,2.13,2.13,1.76,1.76,1.27,1.27,1.02,1.02,.8,.8,.7,.7,.6,.6,.6,.6,.46,.46

2440 DATA 9

2450 DATA 144,4.8,5,3,5,6,144,4.8,5,3,5,6

2468 DATA 144,4.5,4.4,3,4.4,6,144,4.5,4.4,3,4.4,6

2478 DATA 14,4,2,3.5,4.5,14,4,2,3.5,4.5

2488 DATA 1,4,1,4

2498 DATA 1,4,1,4

2500 DATA 1, 3.0, 1, 3.0

2510 DATA 1,3,0,1,3,0

2520 DATA 1,3,5,1,3,5

2538 DATA 1, 3, 5, 1, 3, 5

2548 DATA 1, 3, 1, 3

ORNEK 4

Kat Sayisi= 10 Aciklik Sayisi= 2

KAT YUKSEKLİKLERİ

10. Kat	3.50(m)
9. Kat	3.60(m)
8. Kat	3.60(m)
7. Kat	3.80(m)
6. Kat	3.80(m)
5. Kat	3.80(m)
4. Kat	4.00(m)
3. Kat	4.20(m)
2. Kat	4.40(m)
1. Kat	4.80(m)

ACIKLIKLAR

9.00(m)	9.00(m)
---------	---------

KOLON RIJITLİKLERİ

10. Kat	1.19	0.61	1.19
9. Kat	1.54	0.95	1.54
8. Kat	1.73	1.30	1.73
7. Kat	2.13	1.37	2.13
6. Kat	2.37	2.00	2.37
5. Kat	3.01	2.84	3.01
4. Kat	3.15	3.72	3.15
3. Kat	3.74	4.76	3.74
2. Kat	3.90	5.59	3.90
1. Kat	4.39	5.49	4.39

KIRIS RIJITLİKLERİ

10. Kat	0.46	0.46
9. Kat	0.60	0.60
8. Kat	0.60	0.60
7. Kat	0.70	0.70
6. Kat	0.80	0.80
5. Kat	1.02	1.02
4. Kat	1.27	1.27
3. Kat	1.76	1.76
2. Kat	2.13	2.13
1. Kat	2.13	2.13

Hesap Baslangici:1985-01-28 02.55.05

Hesap Sonu:1985-01-28 02.56.10

KOLON LÜC MOMENTLERİ

10 .KAT	15.29	0.00	-15.29
	11.36	0.00	-11.36
9 .KAT	9.77	0.00	-9.77
	9.95	0.00	-9.95
8 .KAT	11.05	0.00	-11.05
	10.73	0.00	-10.73
7 .KAT	12.12	0.00	-12.12
	11.42	0.00	-11.42
6 .KAT	11.54	0.00	-11.54
	11.14	0.00	-11.14
5 .KAT	12.78	0.00	-12.78
	11.93	0.00	-11.93
4 .KAT	11.95	0.00	-11.95
	12.32	0.00	-12.32
3 .KAT	15.25	0.00	-15.25
	15.45	0.00	-15.45
2 .KAT	17.79	0.00	-17.79
	19.27	0.00	-19.27
1 .KAT	15.57	0.00	-15.57

KIRIS UC MOMENTLERI

10 .KAT	-15.29	22.73	-22.73	15.29
9 .KAT	-21.13	24.87	-24.87	21.13
8 .KAT	-21.00	24.94	-24.94	21.00
7 .KAT	-22.84	27.05	-27.05	22.84
6 .KAT	-22.96	26.99	-26.99	22.96
5 .KAT	-23.92	28.54	-28.54	23.92
4 .KAT	-23.88	28.56	-28.56	23.88
3 .KAT	-27.57	34.65	-34.65	27.57
2 .KAT	-33.24	42.14	-42.14	33.24
1 .KAT	-34.84	46.18	-46.18	34.84

I ACIKLIK DEGERLERI

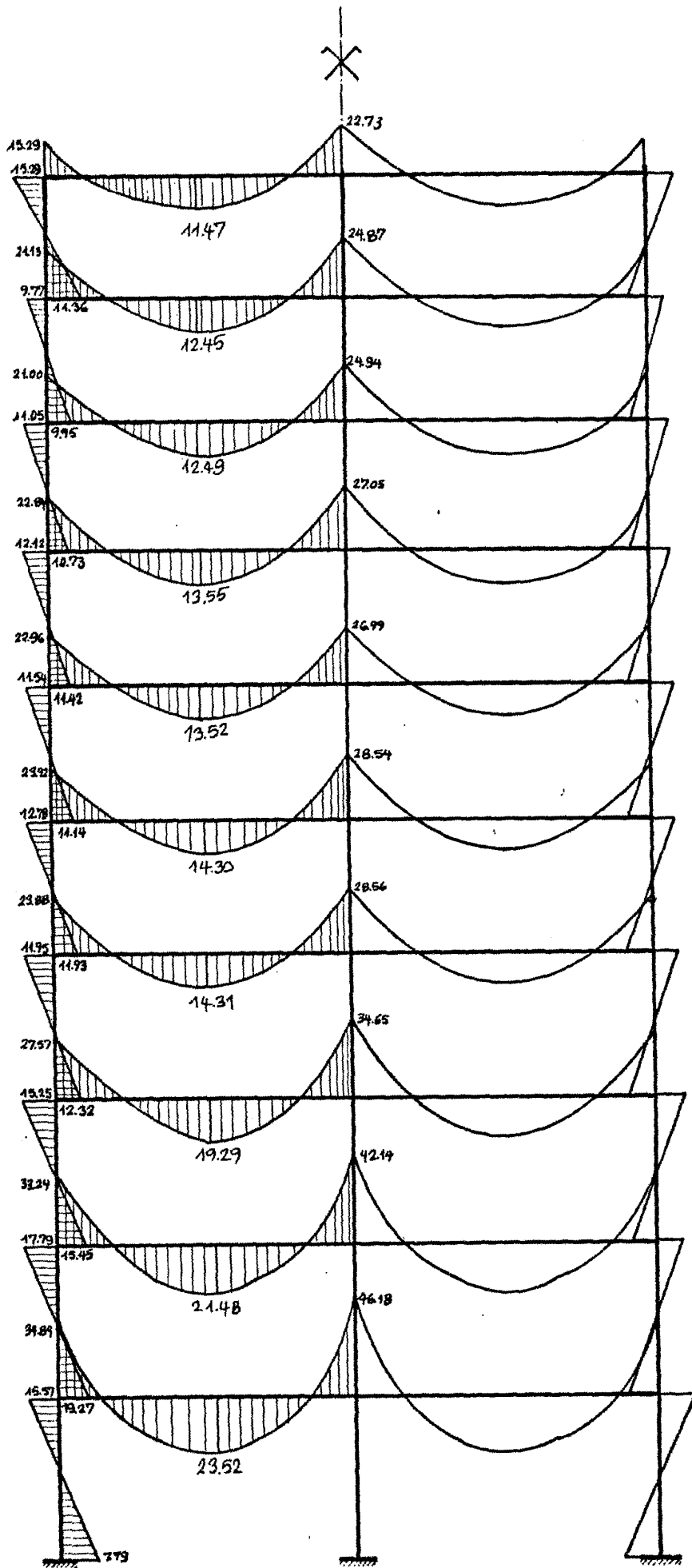
Kat	Aciklik	X	Max ac Mom.	Qa	Qb
1	1	4.86	23.52	25.34	27.86
1	2	5.40	25.28	27.86	25.34
2	1	4.86	21.48	23.66	25.64
2	2	5.40	22.78	25.64	23.66
3	1	4.50	19.29	19.86	21.44
3	2	4.50	19.29	21.44	19.86
4	1	4.32	14.31	17.48	18.52
4	2	4.68	14.31	18.52	17.48
5	1	4.32	14.30	17.49	18.51
5	2	4.68	14.30	18.51	17.49
6	1	4.32	13.52	16.65	17.55
6	2	4.68	13.52	17.55	16.65
7	1	4.32	13.55	16.63	17.57
7	2	4.68	13.55	17.57	16.63
8	1	4.32	12.49	15.31	16.19
8	2	4.68	12.49	16.19	15.31
9	1	4.32	12.45	15.33	16.17
9	2	4.68	12.45	16.17	15.33
10	1	4.14	11.47	12.67	14.33
10	2	4.86	11.47	14.33	12.67

KOLON EKSENEL KUVVETLERI

10 .Kat	12.67	28.65	12.67
9 .Kat	28.01	60.98	28.01
8 .Kat	43.32	93.36	43.32
7 .Kat	59.95	128.50	59.95
6 .Kat	76.60	163.59	76.60
5 .Kat	94.09	200.62	94.09
4 .Kat	111.57	237.66	111.57
3 .Kat	131.43	280.53	131.43
2 .Kat	155.10	331.81	155.10
1 .Kat	180.44	387.53	180.44

KOLON KESICI KUVVETLERI

10 .KAT	-7.61	0.00	7.61
9 .KAT	-5.48	0.00	5.48
8 .KAT	-6.05	0.00	6.05
7 .KAT	-6.20	0.00	6.20
6 .KAT	-5.97	0.00	5.97
5 .KAT	-6.50	0.00	6.50
4 .KAT	-6.07	0.00	6.07
3 .KAT	-7.31	0.00	7.31
2 .KAT	-8.42	0.00	8.42
1 .KAT	-4.87	0.00	4.87



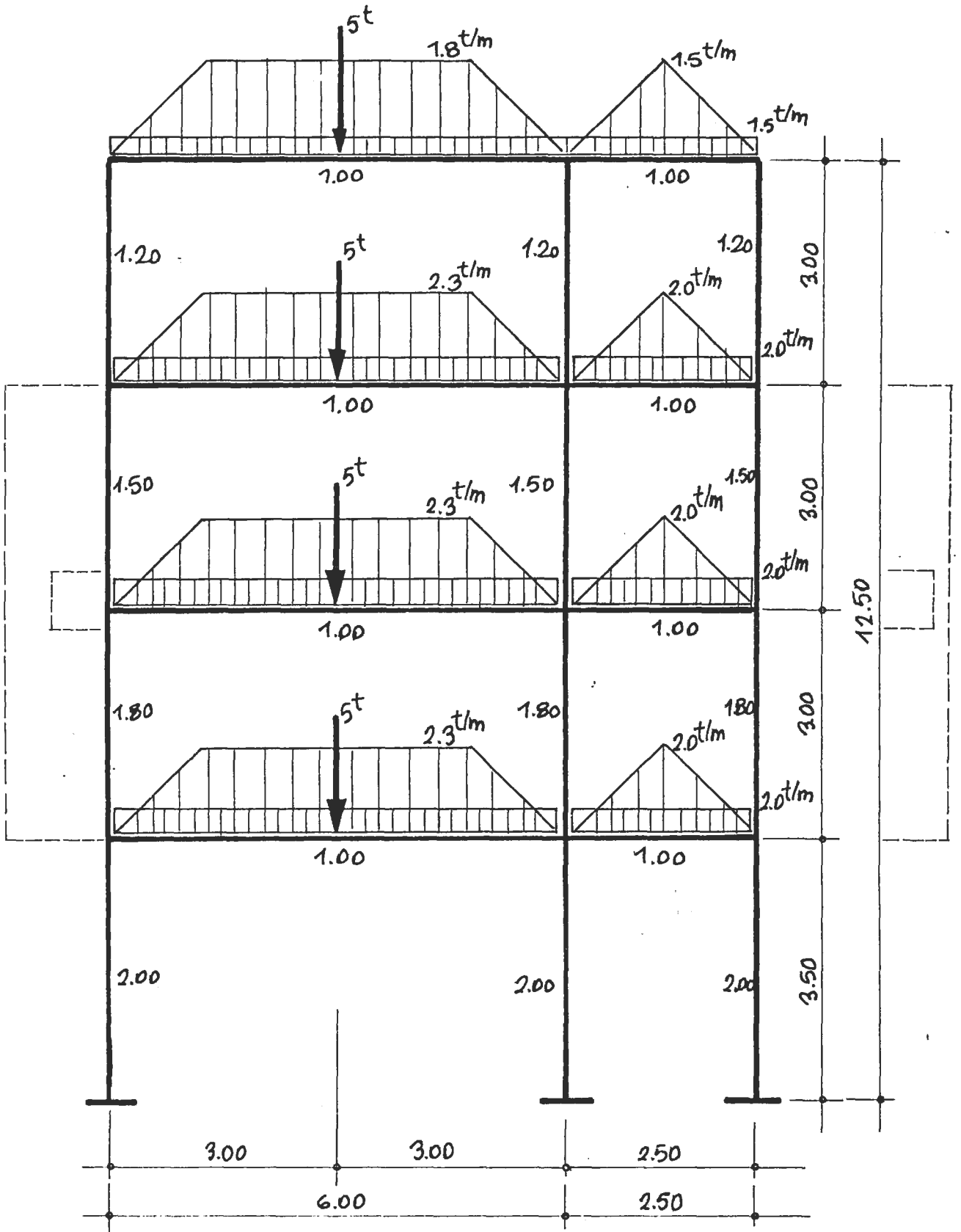
V.7. Çerçevelerle İlgili Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması.

Bu paragrafta yapıyı oluşturan çerçevelerin çerçeve olarak değil mütemadi giriş ve alt ve üst katlardan ankastre kat çerçeve çözümü karşılaştırılmıştır.

Mütemadi giriş olarak çözümde düğüm noktalarında kolonların rijitlikleri dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle kolonlar sanki yalnızca normal kuvvete maruzmuş gibi dikkate alınmaktadır. Ayrıca simetrik olmayan çerçevelerde deplasmandan oluşan etkileri görmek bu tarz çözümde mümkün değildir. Bu tarz bir çözümü avan proje safhasında kullanmak daha uygundur.

Diğer bir metod da kolonları ilgili katın bir alt ve bir üst kat hizalarında ankastre kolon rijitliklerini de $k:0.9.k$ alarak çözmektir(14). Bu metod ACI Şartnamesine de girmiştir. Açıklıkların ve yüklerin çok farklı olmadığı sistemlerde bu metod gerçeğe oldukça yakın değerler vermektedir. Yukarıdaki şartları sağlayan çerçevelerde bu çözüm yöntemi kullanılabilir.

Aşağıdaki örnekte çerçeve, mütemadi giriş ve kat çerçeve çözümleri verilmiştir.



Kat Sayısı= 4 . Acıklık Sayısı= 2

KAT YÜKSEKLİKLERİ

4.Kat 3.00(m)
 3.Kat 3.00(m)
 2.Kat 3.00(m)
 1.Kat 3.50(m)

ACIKLIKLAR

6.00(m) 2.50(m)

KOLON RİJİTLİKLERİ

4.Kat 1.20 1.20 1.20
 3.Kat 1.50 1.50 1.50
 2.Kat 1.80 1.80 1.80
 1.Kat 2.00 2.00 2.00

KIRIS RİJİTLİKLERİ

4.Kat 1.00 1.00
 3.Kat 1.00 1.00
 2.Kat 1.00 1.00
 1.Kat 1.00 1.00

Hesap Başlangıcı:1981-08-00 00.00.00

Hesap Sonu:1981-08-00 00.00.00

KOLON ÜÇ MOMENTLERİ

4 .KAT 8.77 -7.90 -0.42
 6.97 -6.68 -0.74
 3 .KAT 6.80 -6.00 -0.66
 6.44 -5.87 -0.70
 2 .KAT 7.71 -6.88 -0.73
 7.85 -7.12 -0.83
 1 .KAT 6.28 -5.11 -0.34
 2.72 -2.97 -0.59

KIRIS ÜÇ MOMENTLERİ

4 .KAT -8.77 13.00 -5.10 0.42
 3 .KAT -13.76 16.51 -3.83 1.40
 2 .KAT -14.15 16.44 -3.69 1.43
 1 .KAT -14.13 16.25 -4.02 1.16

ACIKLIK DEĞERLERİ

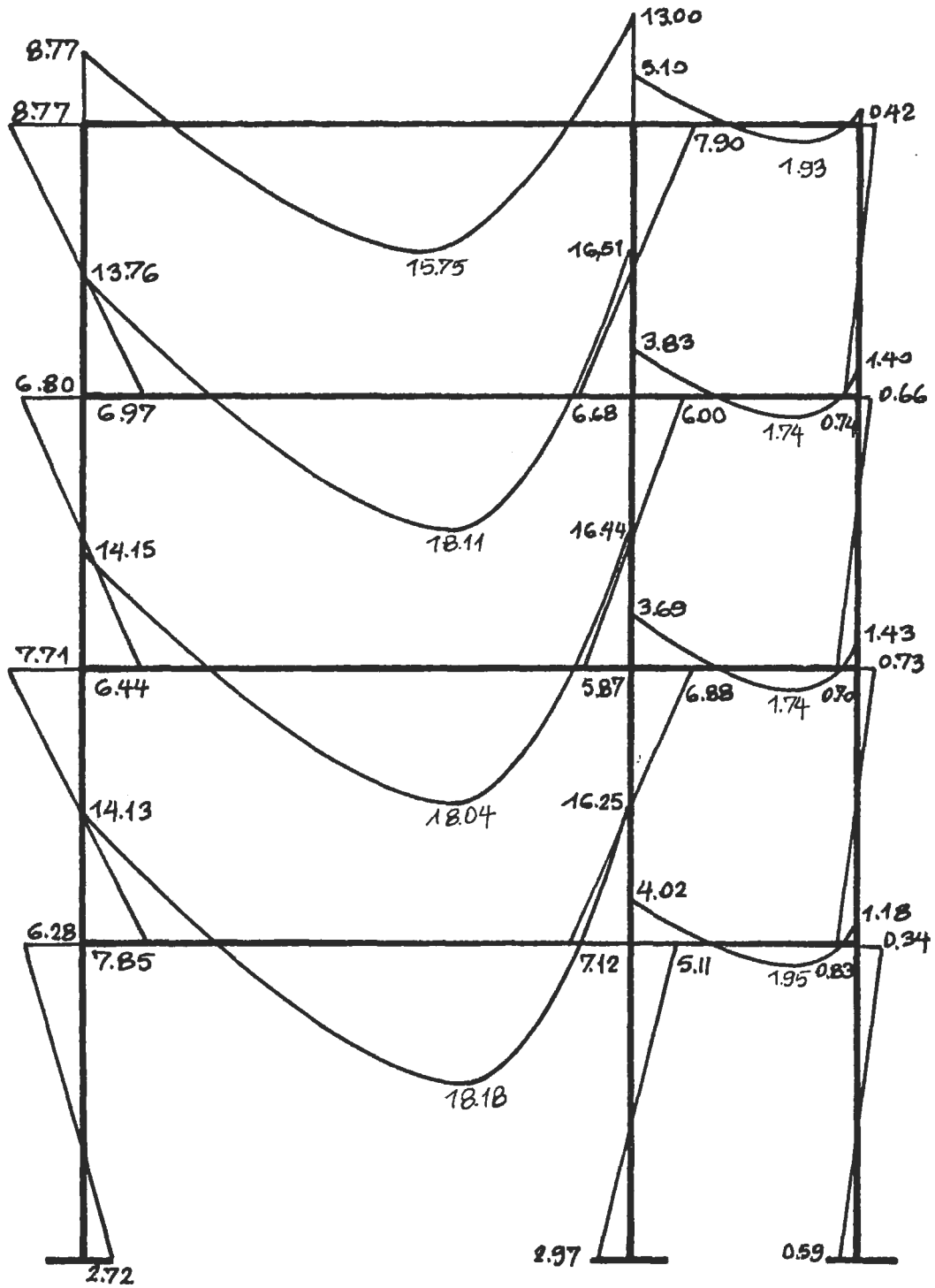
Kat	Acıklık	X	Max ac Mom.	Qa	Qb
1	1	4.20	18.18	13.32	14.85
1	2	2.45	1.95	4.89	3.86
2	1	4.20	18.04	13.29	14.88
2	2	2.35	1.72	4.65	4.10
3	1	4.08	18.11	13.22	14.96
3	2	2.35	1.74	4.72	4.03
4	1	3.60	15.75	10.35	12.20
4	2	2.50	1.93	4.68	1.88

KOLON EKSENEL KUVVETLERİ

4 .Kat 10.35 16.89 1.88
 3 .Kat 23.56 36.57 5.91
 2 .Kat 36.86 56.10 10.00
 1 .Kat 50.18 75.85 13.86

KOLON KESİCİ KUVVETLERİ

4 .KAT -5.25 4.86 0.39
 3 .KAT -4.41 3.96 0.45
 2 .KAT -5.19 4.67 0.52
 1 .KAT -2.57 2.31 0.27



1460 DATA "Cerceve Cozumle Karsilastirma"
 1470 DATA 2,0,0,1,1
 1480 DATA 6,2.5
 1490 DATA 124,1.5,1.5,1.5,3,3
 1500 DATA 12,1.5,1.5,1.25

Cerceve Cozumle Karsilastirma

TIP=d/KONSOLSUZ

Ac.No Aciklik Rijitlik Yuk Tipi

1	6.00	1.000	124				
2	2.50	1.000	12				
Aciklik	Sol.Uc Mom. (tm)	Sag Uc Mom. (tm)	X(m)	maxMac(tm)	H(ton)	B(ton)	
1	-0.00	-10.75	3.00	16.30	9.26	12.84	
2	-10.74	0.00	2.45	-0.09	7.11	-1.49	

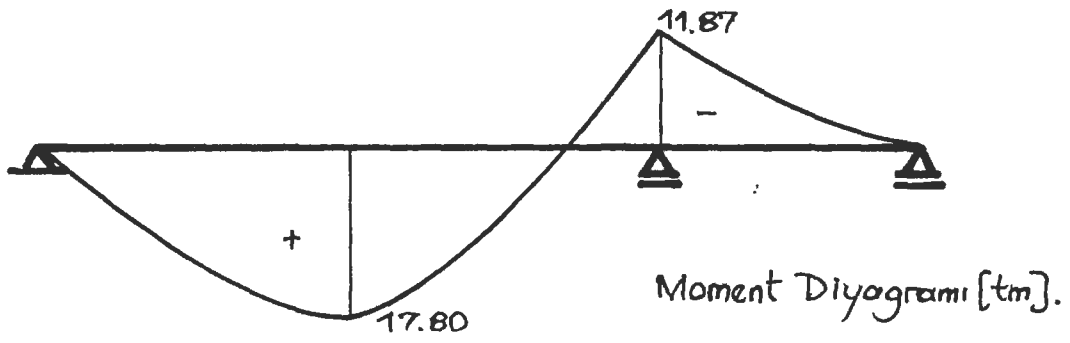
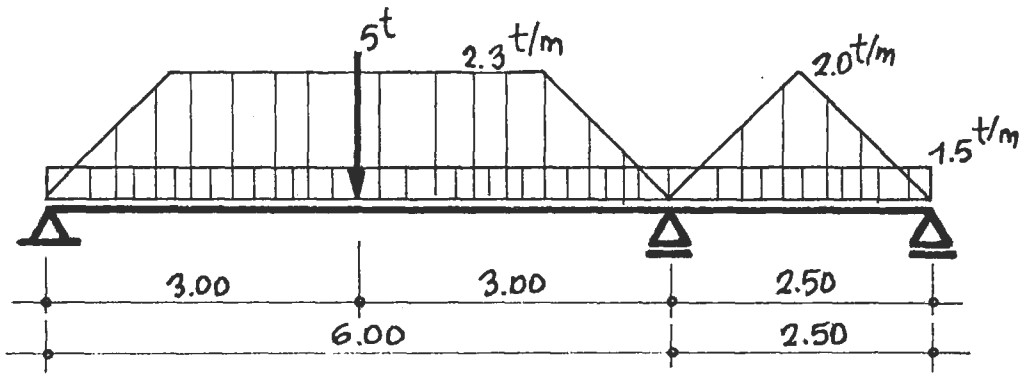
1460 DATA "Cerceve Cozumle Karsilastirma 2"
 1470 DATA 2,0,0,1,1
 1480 DATA 6,2.5
 1490 DATA 124,1.5,2.3,1.5,5,3
 1500 DATA 12,1.5,2.0,1.25

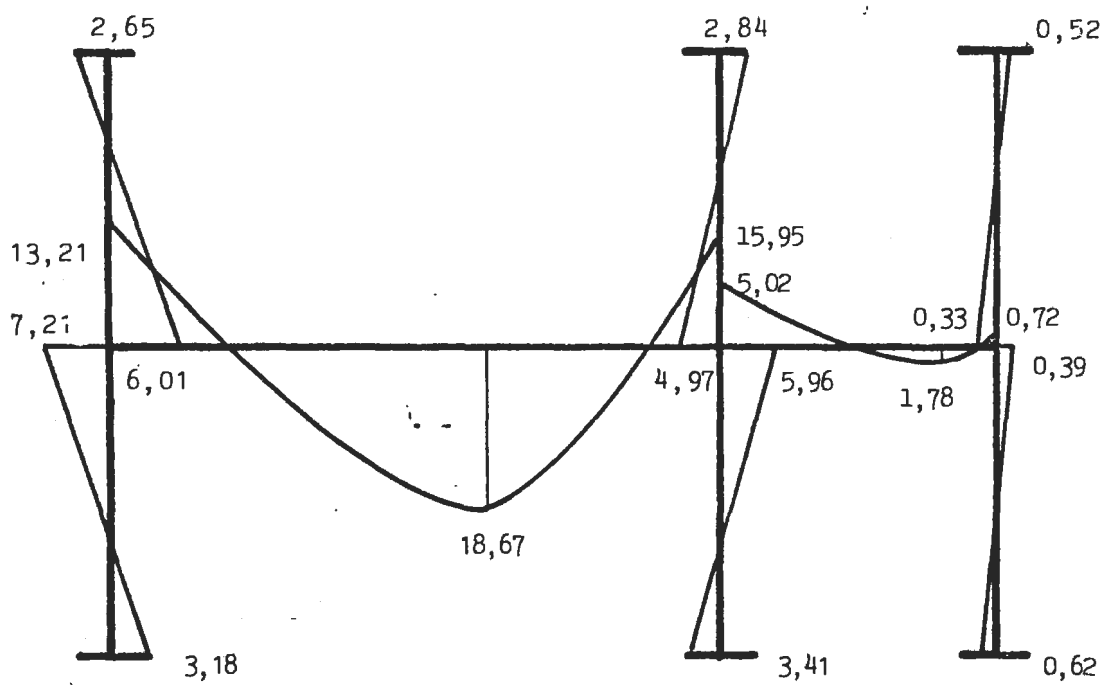
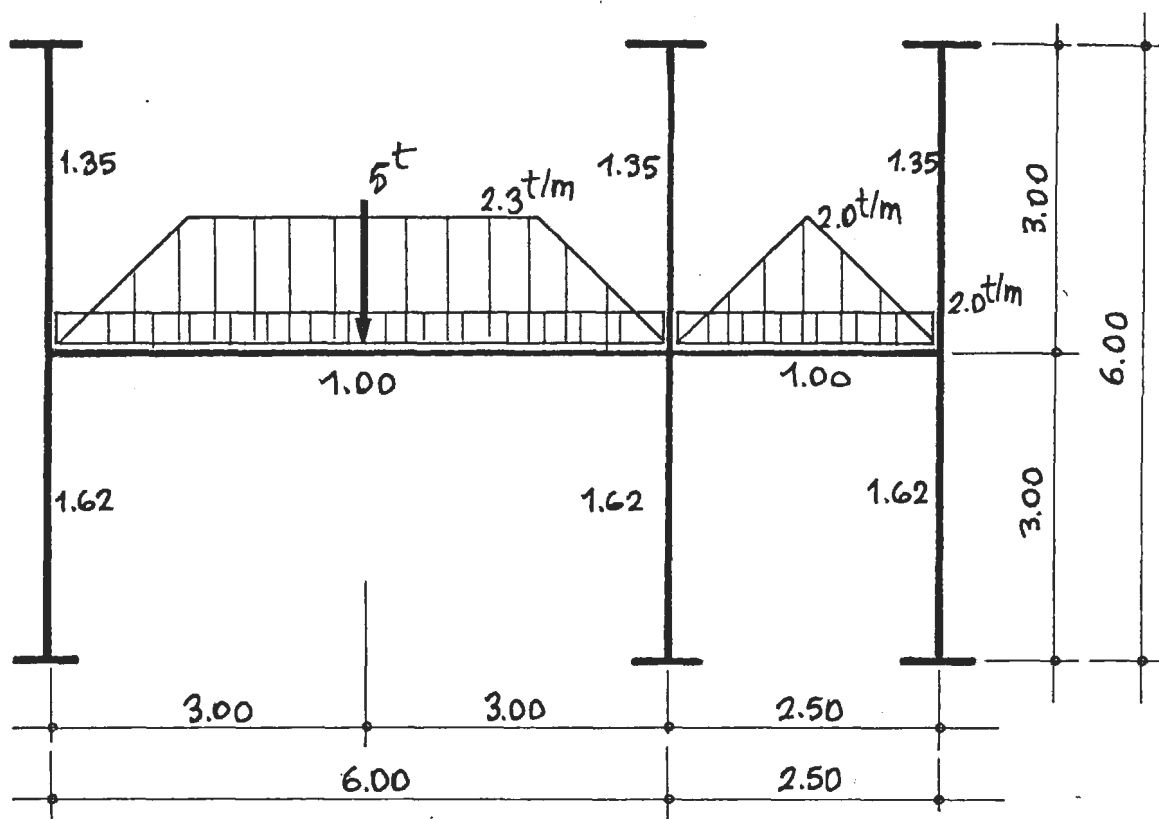
Cerceve Cozumle Karsilastirma 2

TIP=d/KONSOLSUZ

Ac.No Aciklik Rijitlik Yuk Tipi

1	6.00	1.000	124				
2	2.50	1.000	12				
Aciklik	Sol.Uc Mom. (tm)	Sag Uc Mom. (tm)	X(m)	maxMac(tm)	A(ton)	B(ton)	
1	-0.00	-11.87	3.00	17.80	10.20	14.15	
2	-11.87	0.00	2.45	-0.10	7.87	-1.62	





SONUÇ

Bu çalışmada; inşaat mühendisliğinde çok sık karşılaşılan mütemadi kiriş ve çerçeve sistemlerin düşey yüklere göre çözümü için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir ve bu program yardımıyla çeşitli yük tipleri ve sistemler için karşılaştırmalar yapılmaya çalışılmıştır.

Son yıllarda BASIC programlama dilinin ve mikrobilgisayarların yaygınlaşması nedeni ile programlar genel BASIC dilinde geliştirilmiştir. Bu nedenle hiçbir değişiklik yapılmadan herhangi bir bilgisayarda kolayca kullanılabilir.

Geliştirilen programla; düzgün yayılı, üçgen yayılı, trapez yayılı, tekil yüklerle yüklü sistemleri çözmek mümkündür. Ayrıca denklem takımı depolanmadığından büyük ölçüde hafıza kazancı sağlanmıştır. Bunun yanı sıra bant matris şeklinde kurulması mümkün olmayan açık metodu denklem takımlarının bant çözümüne karşı gelen iterasyon yöntemi kullanmak suretiyle çözüm zamanından önemli ölçüde tasarruf sağlanmıştır.

Mütemadi kirişlerde; kirişe etkiyen yüklerin eşdeğer yüke çevrilmesi ile eşdeğer yüke çevrilmeden çözümü karşılaştırılmıştır. Ayrıca kirişin tamamının q yükü ile yüklenmesi hali ve dama yüklemesi halleri karşılaştırılmıştır. Hareketli yüklerin önemli olduğu yapılarda dama yüklemesinin yapılması gerektiği örneklerin sonuçlarından anlaşılmıştır.

Çerçeve sistemlerle ilgili olarak da; çerçevenin kat çerçeve ve mütemadi kiriş olarak çözümleri karşılaştırılmıştır. Simetrik olmayan çerçevelerde önemli farklar tesbit edilmiştir.

Programın problemi çözmek için kullandığı zaman oldukça kısadır. Örnek olarak 10 katlı 6 açıklıklı bir sistemin denklem takımı 80×80 boyutundadır. Bu denklem takımı GAUSS eliminasyon yöntemi ile 40 dakikada çözülmüş fakat çerçeve programında aynı problem 2.5 dakikada çözülmüştür. İterasyonun bu denli kısa sürede yakınsamasına neden, denklem takımlarının özelliğinden ileri gelmektedir. Denklemlerde her bilinmeyene ait satırdaki diyagonal terimi diğer terimlere göre büyük olduğundan kısa sürede sonuca ulaşmak mümkün olabilmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. AYDIN, R., "Yapı Statiği Ders Notları", Eskişehir, 1982.
2. ERÇİN, H., "Çerçeve Statiği", Kutulmuş Matbaası, İstanbul, 1961.
3. ÇAKIROĞLU, A., "Hiperstatik Sistemlerin Hesap Esasları", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1974.
4. WESTLAKE, JOAN R., "Numerical Matrix Solution"., New York, 1975.
5. ALLEN, G., "Relaxation Methods", Compton Printing Ltd., London, 1969.
6. HIRSCHFELD, K., "Baustatik Theorie und Beispielen"., Berlin, Springer-Verlag, 1969.
7. GULDAN, R., "Rahmentragwerke Und Durchlaftträger". Wien, Springer-Verlag 1959 (Sh.359).
8. BASIC PROGRAMS. 8800 Series Programmers's Referenence Manual 1.2.3.4., Transdata, İstanbul, 1981.
9. STAHLBAU. BAND 1. Ein Handbuch Für Studium Und Praxis, Köln, 1971. (Sh.262,270).
10. BÖTZL-MARTIN, "Baustatik in Beispielen und Aufgaben Teil 3", Nürnberg, 1976 (Sh.64,176)
11. BÖTZL-MARTIN, "Baustatik in Beispielen und Aufgaben Teil 3a", Nürnberg, 1965 (Sh.28).
12. NICHOLAS WILLEMS, "Matrix Analysis for Structural Engineers"., 1968.
13. KARAKAŞ, M. "Sürekli Kirişlerin Kısa ve Kesin Çözümü" , Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 1975 (Sh.18).
14. AYKURT, V., "Cross Metodu", Üçler Basımevi, İstanbul, 1946.
15. SABİS, T., "Yapı Statiği", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1963. (Sh.592).