آنالیز ساختمانها بطریقه هاردی کراس[1]

با استفاده ازماشین حساب الکترونیك (کمپیوتر)[2]

نوشته:

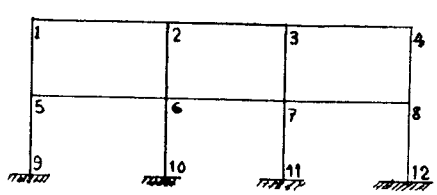
پرویز کرمانی - ناصرتوفیق

دانشجویان سال چهارم راه وساختمان

یکی ازطرق پیدا کردن لنگرهای انتهائی اعضاء یک ساختمان یا بهتربگوئیم یک قاب مسطح روش کراس است. که براساس تقریبات متوالی بنا نهاده شده، وبا تکراربیشترمحاسبات تقریب را میتوان کم کرد.

دربرنامه‌ای که برای محاسبه قابها با این روش طرح شده است چنانکه خواهیم دید استفاده کننده میتواند بدلخواه تقریب را تاآنجا که لازم بداند کم کند.

نکته مهم دراستفاده ازماشین محاسبه IBM مدل 1620 محدود بودن حافظه ماشین است زیرا تعداد حافظه این ماشین 40 K یعنی 40,000 خانه (Location) است. لذا باید درنام گذاری اعضاء در برنامه‌های بزرگ، دقت‌زیادی‌نمود. مثلاً اگرنام گذاری را به‌ترتیب(شکل ۱) اتخاذ کنیم باتوجه به‌رابطه‌منقطی‌ایکه بین شماره گره‌های مجاورموجود است، میتوانیم برنامه‌ای طرح کنیم مثلاً اگر نمره گره‌ای از ردیف (۲) را I بنامیم و K تعداد گره‌های افقی هرطبقه باشد نمره گره بالائی I—K و گره پائینی I+K و گرههای راست‌وچپ بترتیب I+1 و I—1 خواهد بود.



(شکل ۱)

بدین ترتیب ملاحظه میشود که برای قاب ساده‌ای نظیر(شکل ۱) شماره گره‌ها به ۱۲ رسیده و در نتیجه اندیسهائی که‌درنام گذاری بکارخواهیم برد به ۱۲ میرسد وچون متغیرهای‌اندیس دارچنانکه‌به‌تفصیل شرح داده خواهند شد زیادند.

---

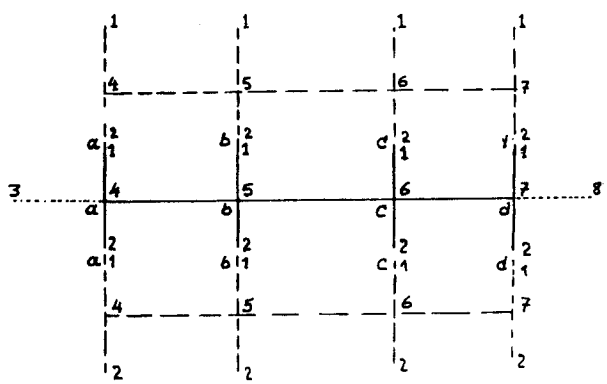
1 - Hardy cross　　2 - Computer

[ST(I,J) و CO(I,J) و DF(I,J) و FM(I,J) و FM1(I) و FM2(I)]

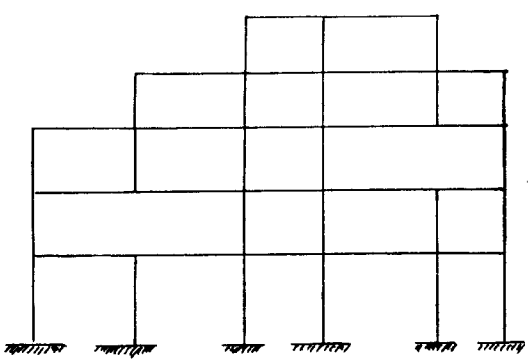
درنتیجه بآسانی 40,000 حافظه ماشین اشغال شده و درطرح قابهای با دهنه های بیشتر و طبقات زیاد و آسمان خراشها که مسائل مخصوص کمپیوترمیباشند، دیگرنمیتوان ازکمپیوترموجود دردانشگاه استفاده نمود. حتی اگرازقویترین سیستم کمپیوترنیز استفاده کنیم مثلاً 360 باز هم در تعداد طبقات وشماره دهنه ها با سیستم نام گذاری بالا محدودیت خواهیم داشت. اما با نامگذاریی که ذیلاً شرح داده میشود این محدودیت طبقات دیگروجود نداشته ومیتوان حداکثر یک قاب با 15 دهانه و n طبقه را با برنامه موجود حل نمود.

اساس نام گذاری انتخاب شده درین برنامه براین است که یک طبقه را محاسبه کرده ونتیجه ممانهای منتقل شده به دوطبقه دیگررا درمحاسبهٔ آن طبقات منظورنمائیم. در(شکل ۲) این نام گذاری نشانداده شده وحروف d, c, b, a درحقیقت نشان دهنده چهارگره ازیک طبقه هستند که درمراحل مختلف محاسبه آنها را نام گذاریهای متفاوتی کرده‌ایم. بدین معنی که در طبقه اول این حروف با اعداد 2 و در طبقه دوم یا وسط (با خط پررسم شده است) که فرض براین است که درحال محاسبه کردن آن هستیم آنها را با اعداد 7,6,5,4 ودرطبقه زیری آنها را با عدد 1 نشان داده‌ایم.

اضلاع نقطه چین (4,3) و (7,8) درین مسئله فرضی بوده ودارای صلبیت وضریب انتقال صفرمیباشند.



شکل ۲



شکل ۳

ازطرف دیگرمسئله ناهماهنگی ستونها وتعداد گره‌ها درطبقات مختلف ساختمان که اغلب در عمل پیش میآید وساختمان را غیرقرینه ونامنظم ویابصورت پلکانی درمیآورد (شکل ۳) درین برنامه حل شده‌است.

مشخصات هرطبقه را که عبارتند از: لنگرهای گیرداری - ضرایب صلبیت ودرصورتیکه مقاطع تیرهای بکاررفته ماهیچه‌دار باشند ضرایب انتقال بماشین داده میشوند ومحاسبات ازبالاترین طبقه شروع شده وبطرف پائین ادامه می‌یابد درنتیجه لنگرهای انتقال یافته بطبقه پائین که درمحاسبه هرطبقه بدست‌میآیند فقط درجهت پائین بحساب آورده میشوند و ممانهای منتقل شده به‌طبقات بالا با دستور منگنه یا PUNCH از ماشین گرفته میشوند تا درمرحله بعد که ساختمان را برای باردوم یا بیشتر، کراس می‌کنیم ازآن استفاده نمائیم.

نکته جالب آنست که دستورهای READ و PUNCH طوری در نظر گرفته شده‌اند که جواب کامل مرحله اول کراس کردن ساختمان بطور کلی میتواند اطلاعات لازم یا Data برای مرحله دوم باشد و بدین ترتیب براحتی میتوان تعداد دفعات کراس کردن را بدلخواه افزایش داد تا دقت مورد نظربدست‌آید.

اصل برنامه که بزبان FORTRAN II وبرای ماشین مدل 1620 نوشته شده است عیناً چاپ شده واز نظرسهولت فهم FLOW CHART آن نیزترسیم گردیده است.

ذیلاً راهنمای برنامه ویک مثال درج میگردد.

راهنمای برنامه

نامهائی که درطرح برنامه اختیارشده‌اند عبارتند از:

ST(I,J)=STIFFNESS FACTOR	ضریب صلبیت
CO (I,J)=CARRY OVER FACTOR	ضریب انتقال
DF (I,J)=DISTRIBUTION FACTOR	ضریب پخش
FM (I,J)=FIXED END MOMENT	لنگر گیرداری

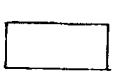
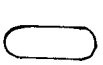
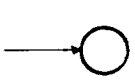
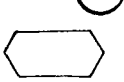
دراسامی بالا اندیس اول (I) نماینده گره‌ایست که محاسبه دراطرافش انجام میشود و اندیس دوم (J) باکمک اندیس اولی نشان دهنده عضو مربوطه میباشد.

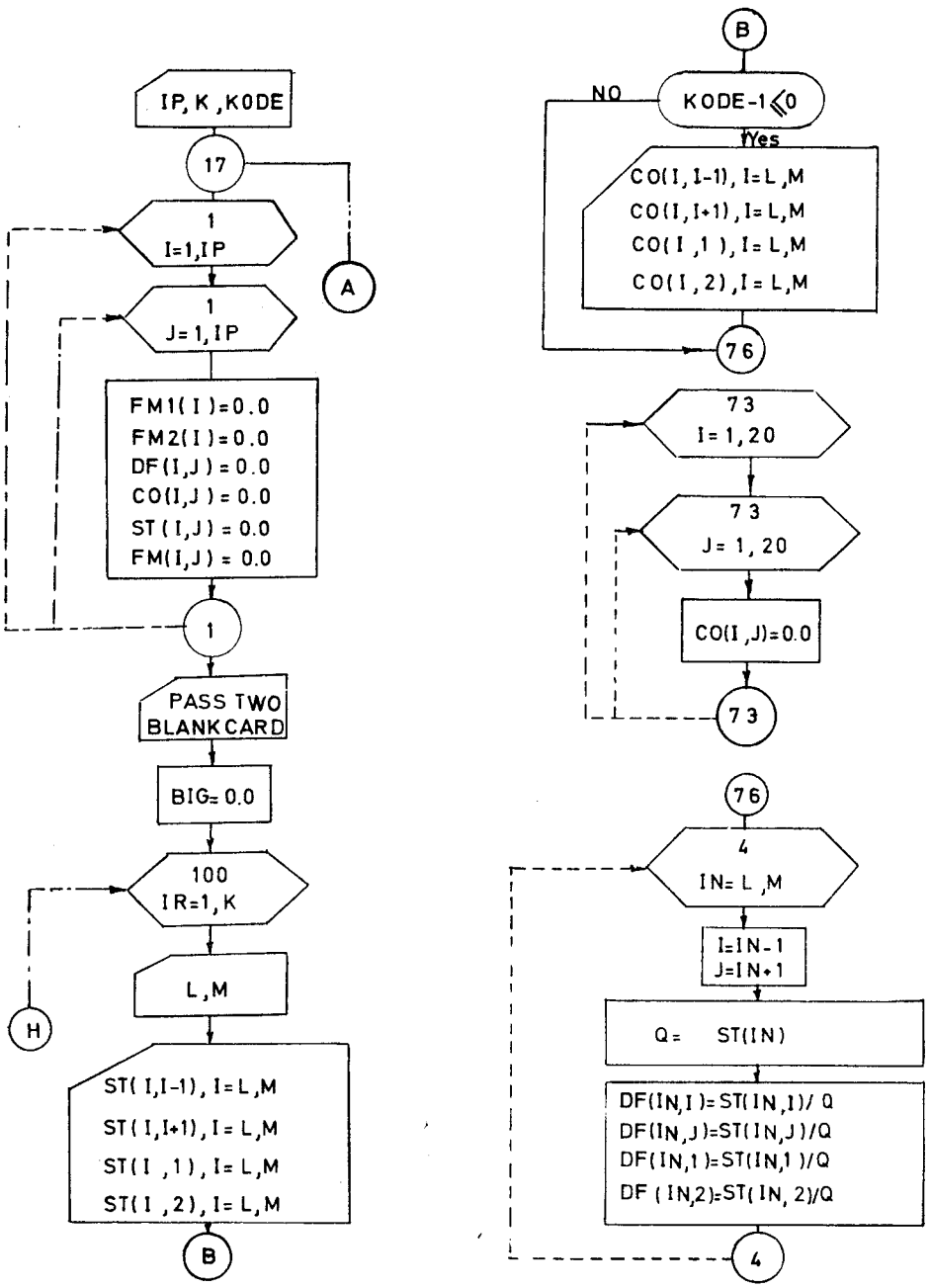
IP شماره آخرین گروه درهرطبقه و K معرف تعداد طبقات است.

اگرمقاطع تیرهای انتخاب‌شده درقاب متغیرباشد (تیرماهیچه‌دار) KODE عددیست‌بزرگتراز، مثلاً ۲ واگرمقاطع تیرها یکنواخت باشد KODE را مساوی ۱ یاکوچکترازآن قرارمیدهیم.

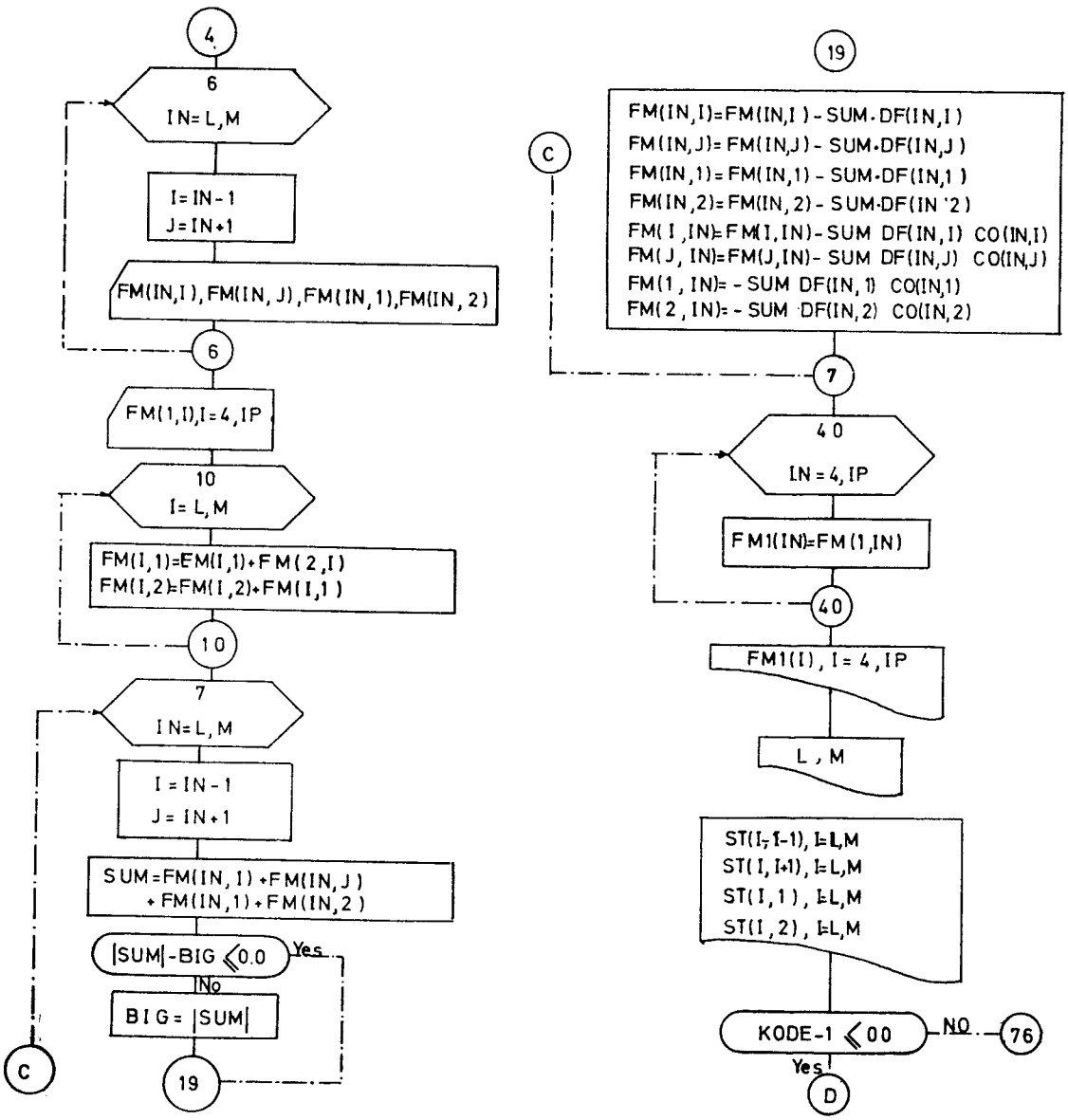
L شماره یا اسم اولین گره در هرطبقه و M شماره یا اسم آخرین گره در هرطبقه میباشد BIG خطای مرتکب شده درمحاسبه لنگرهای دورهرگره میباشد. سایرنامها ازقبل Q و SUM که دربرنامه دیده‌میشوند برای تسهیل محاسبات واعمال منظورهای خاصی بکار رفته‌اند.

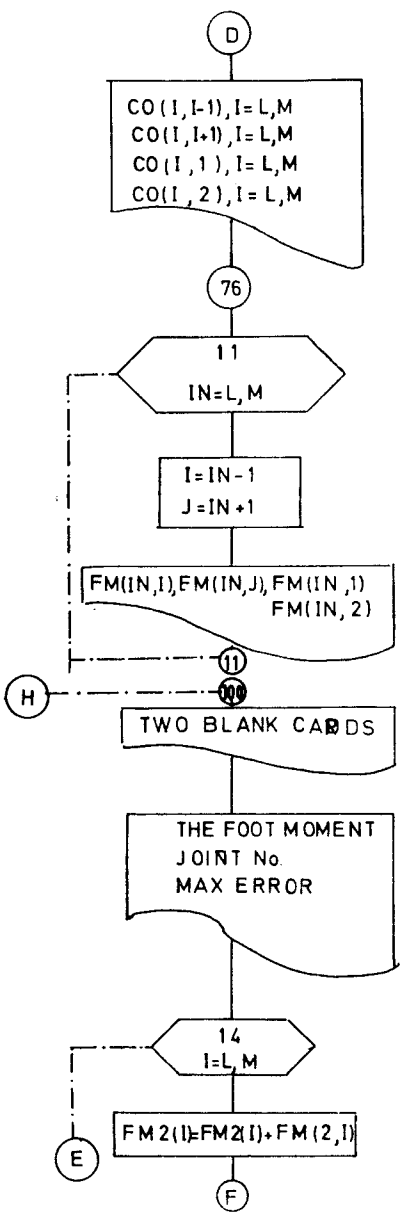
علائمی که در FLOW CHRT بکاربرده شده ذیلاً تعریف میگردند:

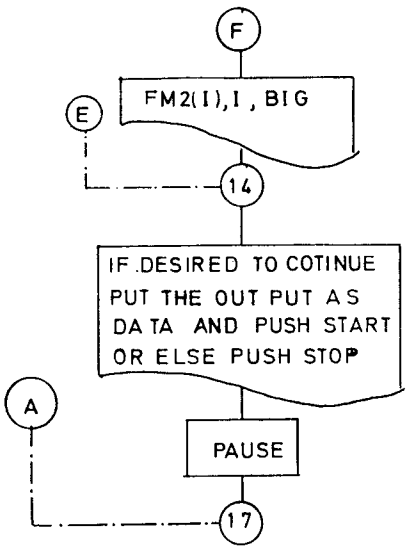
دادن اطلاعات لازم به‌ماشین	Input	
دادن جواب توسط ماشین	Output	
روابط داده شده (محاسبات)	Assignment	
جملات شرطی	Conditional	
انتقال کنترل نظیر GOTO	Unconditional transfer	
عبارات تکراری DO	Iteration	
نمره عبارت	Label	


IP, K , KODE
17
1
I=1,IP
A
1
J=1, IP
FM1(I)=0.0
FM2(I)=0.0
DF(I,J) = 0.0
CO(I,J) = 0.0
ST (I,J) = 0.0
FM(I,J) = 0.0
1
PASS TWO
BLANK CARD
BIG= 0.0
100
I R=1, K
L , M
H
ST(I,I-1), I=L ,M
ST(I,I+1), I= L,M
ST(I , 1), I= L,M
ST(I , 2), I= L,M
B
B
NO
KODE-1 ⩽0
Yes
CO(I, I-1), I=L ,M
CO(I, I+1) , I= L,M
CO(I , 1), I= L,M
CO(I , 2) , I = L,M
76
73
I= 1, 20
73
J= 1, 20
CO(I , J)=0.0
73
76
4
IN= L , M
I=IN-1
J=IN+1
Q= ST(IN)
DF(IN,I)= ST(IN ,1)/ Q
DF(IN, J)=ST(IN, J)/Q
DF(IN,1)=ST(IN,1)/Q
DF (IN,2)=ST(IN, 2)/Q
4

FLOW CHART


4
6
IN=L,M
I=IN-1
J=IN+1
FM(IN,I),FM(IN,J),FM(IN,1),FM(IN,2)
6
FM(1,I),I=4,IP
10
I=L,M
FM(I,1)=FM(I,1)+FM(2,I)
FM(I,2)=FM(I,2)+FM(I,1)
10
7
IN=L,M
I=IN-1
J=IN+1
SUM=FM(IN,I)+FM(IN,J)
+FM(IN,1)+FM(IN,2)
|SUM|-BIG ⩽0.0
Yes
No
BIG=|SUM|
19
C
C
19
FM(IN,I)=FM(IN,I)-SUM·DF(IN,I)
FM(IN,J)=FM(IN,J)-SUM·DF(IN,J)
FM(IN,1)=FM(IN,1)-SUM·DF(IN,1)
FM(IN,2)=FM(IN,2)-SUM·DF(IN,2)
FM(I,IN)=FM(I,IN)-SUM DF(IN,I) CO(IN,I)
FM(J,IN)=FM(J,IN)-SUM DF(IN,J) CO(IN,J)
FM(1,IN)=-SUM DF(IN,1) CO(IN,1)
FM(2,IN)=-SUM DF(IN,2) CO(IN,2)
7
40
IN=4,IP
FM1(IN)=FM(1,IN)
40
FM1(I),I=4,IP
L,M
ST(I,I-1),I=L,M
ST(I,I+1),I=L,M
ST(I,1),I=L,M
ST(I,2),I=L,M
KODE-1 ⩽00
NO
76
Yes
D


D
CO(I,I-1),I=L,M
CO(I,I+1),I=L,M
CO(I,1),I=L,M
CO(I,2),I=L,M
76
11
IN=L,M
I=IN-1
J=IN+1
FM(IN,I),FM(IN,J),FM(IN,1)
FM(IN,2)
11
H
TWO BLANK CARDS
THE FOOT MOMENT
JOINT No.
MAX ERROR
14
I=L,M
FM2(I)=FM2(I)+FM(2,I)
E
F

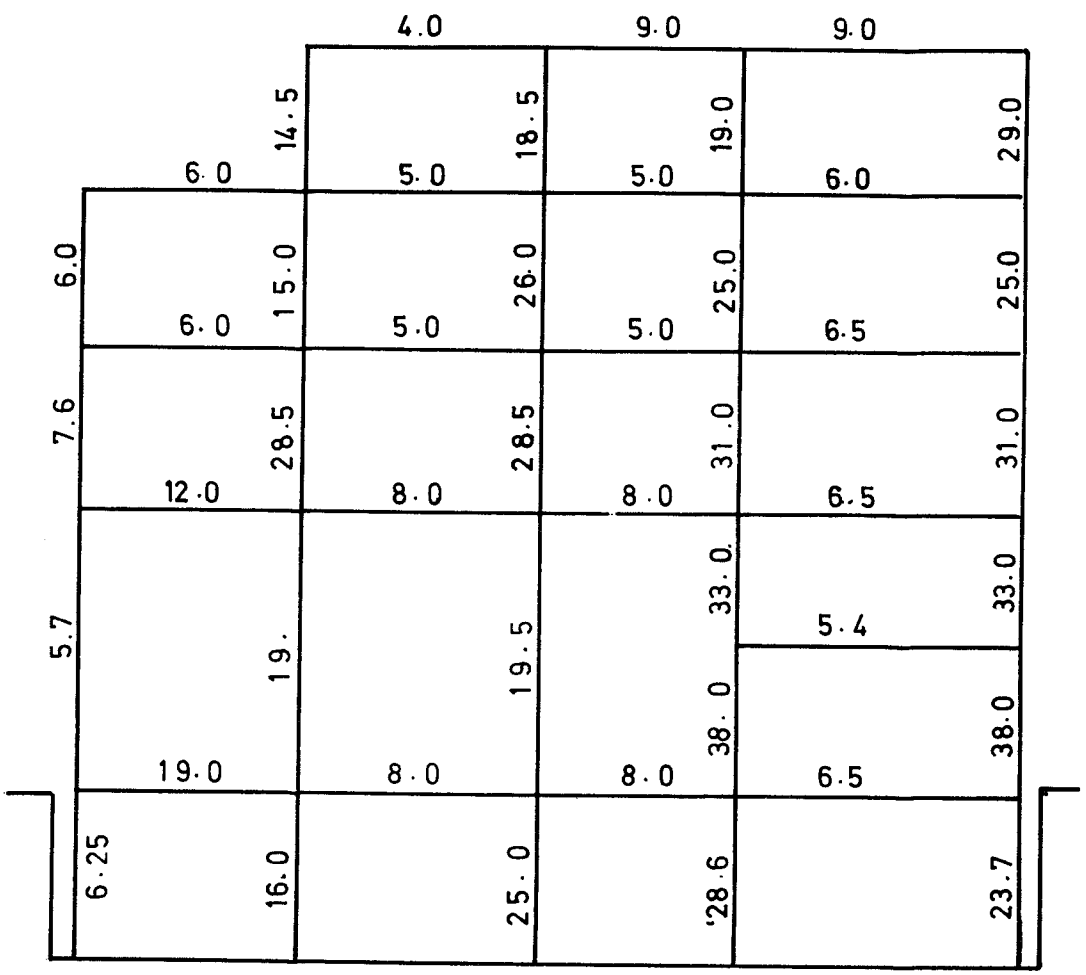

F
E
FM2(I),I,BIG
14
IF DESIRED TO COTINUE
PUT THE OUT PUT AS
DATA AND PUSH START
OR ELSE PUSH STOP
A
PAUSE
17

```
C A PROGRAM TO ANALYSE A FRAMEBUILDING
C BY METHOD OF CROSS
      DIMENSION ST (18,18), CO (18,18), FM (18,18), DF (18,18), FM1(18), FM2 (18)
      READ 21, IP,K,KODE
   21 FORMAT (2I5,I2)
C THIS IS TO CLEAR THE ARRAYS
      DO 44 I = 1,IP
   44 FM2 (I)=0.0
   17 DO 11 I=1,IP
      DO 1J=1,IP
      FM1 (I)=0.0
      DF (I,J)=0.0
      CO (I,J)=0.0
      ST (I,J)=0.0
    1 FM(I,J)=0.0
C READ ONE EXTRA CARD FOR PRESERVE OF
C REGULATION
      READ 8
    8 FORMAT (/)
      BIG=0.0
     DO 100 IR=1,K
      READ 22,L,M
   22 FORRMAT (215)
C THE INPUT OF STIFFNESS FACTORS,
      READ 2, (ST(I,1), I=L,M)
      READ 2, (ST (I,2), I=L,M)
      READ 2, (ST (I,I+1), I=L,M)
      IF (KODE-1) 80,80,81
   80 READ 2, (ST (I,I-1), I=L,M)
      GO TO 83
   81 DO 82 I=L.M
   82 ST (I,I-1)=ST (I-1,I)
    2 FORMAT (11 F7.3)
C THE INPUT OF CARRY OVER
   83 IF (KODE-1) 71,71,72
   71 READ 3, (CO (I,1), I=L,M)
      READ 3, CO (I,2), I=L,M)
      READ 3, CO (I,I+1), I=L,M)
      READ 3, (CO (I,I-1), I=L,M)
```

```
  3 FORMAT (11 F5.3)
    GO TO 76
 72 DO 73 I=1,20
    DO 73 J=1,20
 73 CO (I,J)=0.5
C COMPUTE THE DISTRIBUTION FACTOR
C ABUT A JOINT
 76 DO 4 IN=L,M
    I=IN—1
    J=IN+1
    Q=ST (IN,I)+ST (IN,J)+ST (IN,1)+ST (IN,2)
    DF (IN,I)=ST (IN,I)/Q
    DF (IN,J)=ST (IN,J)/Q
    DF (IN,1)=ST (IN,1)/Q
  4 DF (IN,2)=ST (IN,2)/Q
C READ THE FIXED END MOMENT (FM)
    DO 6 IN=L,M
    I=IN—1
    J=IN+1
  6 READ 5, FM (IN,I), FM (IN,J), FM (IN,1), FM (IN,2)
  5 FORMAT (4 F 10.3)
C ENTER THE CARRY-OVER MOMENT OF LOWER JOINTS
    READ 9, (FM (1,I), I=4,IP)
  9 FORMAT (8 F 10.3/8 F10.3)
C ADD THE FM WITH THE CARRY OVER
C MOMENTS OF UPPER JOINTS
    DO 10 I=L,M
    FM (I,1)=FM (I,1)+FM (2,I)
C ADD THE FM WITH THE CARRY OVER
C MOMENTS OF LOWER JOINTS
 10 FM (I,2)=FM (I,2)+FM (1,I)
C THE PGOCEDURES OF DISTRIBUTION COMMENCE
    DO 7 IN=L,M
    I=IN—1
    J=IN+1
C SUM OF FM ABOUT A JOINT
    SUM=FM (IN,I)+FM (IN,J)+FM (IN,1)+FM (IN,2)
C COMPARISION OF SUM WITH MAXIMUM
C EXISTING ERROR
```

```
      IF (ABSF (SUM—BIG) 19,19,20
   20 BIG=ABSF (SUM)
C COMPUTION OF NEW MOMENT OF A MEMBER
   19 FM (IN,I)=FM (IN,I)—SUM*DF (IN,I)
      FM (IN,J)=FM (IT,J)—SUM*DF (IN,J)
      FM (IN,I)=FM (IN,1)—SUM*DF (IN,1)
      FM (IN,2)=FM (IN,2)—SUM*DF (IN,2)
C NEW MOMENTS OF THE OTHER SIDE OF MEMBER
      FM (I,IN)=FM (I,IN)—CO (IN,I)*SUM*DF (IN,I)
      FM (J,IN)=FM (J,IN)—CO (IN,J)*SUM*DF (IN,J)
C THE FM ABOUT 1,2 ARE ZERO
      FM (1,IN)=—CO (IN,1)*SUM*DF (IN,1)
    7 FM (2,IN)=—CO (IN,2)*SUM*DF (IN,2)
C THIS IS TO CONVERT THE NAME FOR NEXT STATEMENT
      DO 40 IN=4,IP
   40 FM1 (IN)=FM (1,IN)
C THIS IS TO PUNCH DATA FOR ANOTHER
C CROSS LOOP
      PUNCH9, (FM1 (I), I—4,IP)
      PUNBH22,L,M
      PUNCH 2, (ST (I,1). I—L,M)
      PUNCH 2, (ST I,2),I=L,M)
      PUNCH 2, (ST (I,I+1), I=L,M)
      IF (KODE—1) 84,84,85
   84 PUNCH 2, (ST (I,I—1),I=L,M)
   85 IF (KODE—1)75,75:77
   75 PUNCH 3, (CO (I,1),I=L,M)
      PUNCH 3, (CO (I,2), I=L,M)
      PUNCH 3, (CO (I,I+1), I=L,M)
      PUNCH 3, (CO (I,I—1), I=L,M)
   77 DO 11 IN=L,M
      I=IN—1
      J=IN+1
      PUNCH 5, FM (IN,I), FM (IN,J), FM (IN,1), FM(IN,2)
   11 PRINT 12,FM(IN,I),FM(IN,J),FM(IN,1),FM(IN,2)
   12 FORMAT(4(3HFM=F10.3), 3X,3H IN=I2,3X,3H IR= I3)
  100 CONTINUE
      PUNCH 23
   23 FORMAT (/)
```

```
C THE MOMENT CARRIED TO FOUNDATION
      PRINT 13
   13 FORMAT (5X,50H THE FOOT MOMENT      JOINT NO.      MAX. ERROR)
      DO 14 I=L,M
      FM2 (I)=FM2 (I)+FM (2,I)
   14 PRINT 15, FM2 (I),I,BIG
   15 FORMAT (8X,F10.3,10X, I2,14X,F8.3)
      PRINT 16
   16 FORMAT (46HIF DESIRED TO CONTINUE PUT THE OUT PUT AS DATA/
   133 HAND PUSH START OR ELSE PUSH STOP)
      PAUSE
      GO TO 17
  200 CONTINUE
  101 STOP
      END
TURN SW 1 ON FOR SYMBOL TABLE, PRESS START
END OF PASS I
```



STIFFNESS _FACTOR

شکل ۶

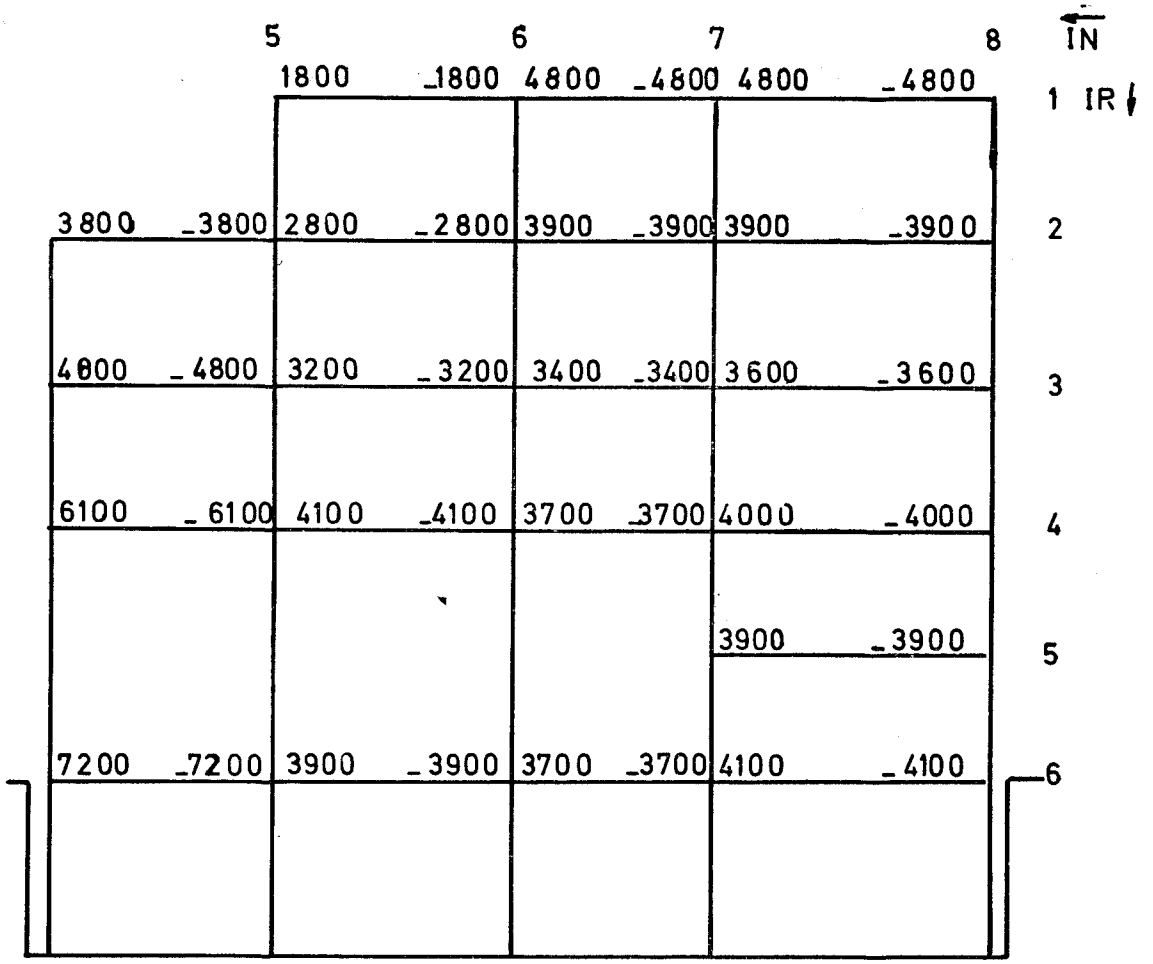
مثال ـ قابی مطابق (شکل ٤) را درنظرمی گیریم. مقادیرضرایب صلبیت‌روی همان شکل ومقادیر لنگرهای گیرداری‌تیرها نیزدر(شکل ٥) داده شده‌اند. درحل این مسئله‌ازتغییرمکان افقی‌ساختمان که بعلت غیرقرینه بودن‌آن وغیرقرینه بودن بارگذاری بوجودمیآید صرفنظرمی‌شود.

حل ـ جوابی که توسط ماشین بدست‌آمده است در زیردرج گردیده است.

LEFT	RIGHT	UP	DOWN	JOINT	STORY
FM= 0.000	FM=1169.113	FM= 0.000	FM=—1169.133	IN=5	IR=1
FM=—2384.473	FM=4067.988	FM= 0.000	FM=—1683.723	IN=6	IR=1
FM=—5187.882	FM=5249.137	FM= 0.000	FM=— 61.293	IN=7	IR=1
FM=—3857.957	FM= 0.000	FM= 0.000	FM= 3857.957	IN=8	IR=1
FM= 0.000	FM=2177.284	FM= 0.000	FM=—2177.901	IN=4	IR=2
FM=—4322.010	FM=3102.210	FM= 113.933	FM= 1105.898	IN=5	IR=2
FM=—2677.814	FM=3863.552	FM=—945.925	FM=— 239.797	IN=6	IR=2
FM=—3915.039	FM=3993.032	FM=— 18.535	FM=— 59.389	IN=7	IR=2
FM=—3722.194	FM= 0.000	FM= 2514.868	FM= 1207.326	IN=8	IR=2
FM= 0.000	FM=3330.263	FM=-1634.707	FM=—1694.951	IN=4	IR=3
FM=—5049.108	FM=3287.668	FM= 768.093	FM= 993.285	IN=5	IR=3
FM=—3167.582	FM=3368.683	FM=—179.446	FM=— 21.624	IN=6	IR=3
FM=—3439.786	FM=3696.964	FM=—150.277	FM=— 106.962	IN=7	IR=3
FM=—3343.322	FM= 0.000	FM= 1404.275	FM=—1939.047	IN=8	IR=3
FM= 0.000	FM=3847.928	FM=-2006.183	FM=—1842.601	IN=4	IR=4
FM=—6943.001	FM=4369.965	FM= 1167.823	FM= 1405.302	IN=5	IR=4
FM=—3937.435	FM=3760.605	FM= 87.590	FM= 89.201	IN=6	IR=4
FM=—3633.936	FM=4167.755	FM= 84.999	FM=— 618.784	IN=7	IR=4
FM=—3722.586	FM= 0.000	FM= 1892.598	FM= 1829.988	IN=8	IR=4
FM=— 395.337	FM=3718.211	FM=-1532.440	FM=—1790.444	IN=7	IR=5
FM=—3863.287	FM= 0.000	FM= 1694.758	FM= 2168.528	IN=8	IR=5
FM= 0.000	FM=3448.507	FM=-1947.921	FM=—1500.264	IN=4	IR=6
FM=—7861.757	FM=4581.269	FM= 1917.398	FM= 1363.067	IN=5	IR=6
FM=—3759.756	FM=3717.870	FM= 43.526	FM=— 1.644	IN=6	IR=6
FM=—3663.460	FM=4296.039	FM=—764.131	FM= 131.556	IN=7	IR=6
FM=—3752.765	FM= 0.000	FM= 2541.211	FM= 1211.553	IN=8	IR=6

THE FOOT MOMENT	JOINT MOMBER	MAX ERROR
—750.133	4	10.967
679.534	5	
— 0.822	6	
66.780	7	
605.777	8	

IF DESIRED TO CONTINUE PUT OUT PUT AS DATA
AND PUSH START OR ELSE PUSH STOP



FIXED END MOMENTS

شکل ۵