بسم الله الرحمن الرحیم

پروژه ی درس المان محدود-برنامه تحلیل خرپای دو بعدی با نرم افزار MATLAB

نام : بهنام سلیمانی

شماره دانشجویی: ۹۴۷۴۳۵۰۱۶

اهداف پروژه:

از آنجایی که برنامه ی کامپیوتری دارای خطای محاسباتی کمتر می باشد بهتر است برای محاسبات و تحلیل خرپاهای با المان زیاد از برنامه ی کامپیوتری استفاده کنیم.با در نظر گرفتن این شرایط برنامه ای نوشته شد که هدف اصلی آن راحت تر کردن کار کابران در محاسبات،خطای کمتر و صرف زمان کمتر برای محاسبات می باشد.

فرضیات استفاده از برنامه:

۱- درجه آزادی در راستای عمودی برای هر گره 2i و در راستای افقی 2i-1 می باشد.(شکل)
۲- تگیه گاها شیبدار نباشند. (شکل)
۳- خرپا توسط طناب یا کابل به جایی متصل نیست.فقط توسط تکیه گاه مهار شده است.(شکل)

ورودی های برنامه:

ورودی های این برنامه توسط فایل اکسل (SOURCE FILE.xlsx) خوانده می شود.این فایل دارای ۹ ستون به شکل زیر می باشد.

J9

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	NODNUMBER	X-COORDINATE	Y-COORDINATE	ELEMENTNUMBER	ELEMENTNODE(START)	ELEMENTNODE(END)	AREA	E	F	
2	1	0	-40	1	1	3	1.50E+00	1.00E+07	0	
3	2	0	0	2	1	4	1.50E+00	1.00E+07	-2000	
4	3	40	-40	3	2	4	1.50E+00	1.00E+07	0	
5	4	40	0	4	3	4	1.50E+00	1.00E+07	0	
6	5	80	-40	5	3	5	1.50E+00	1.00E+07	2000	
7	6	80	0	6	4	5	1.50E+00	1.00E+07	0	
8				7	4	6	1.50E+00	1.00E+07	4000	
9				8	5	6	1.50E+00	1.00E+07	6000	

شکل ۱-۱ :فایل ورودی برای برنامه

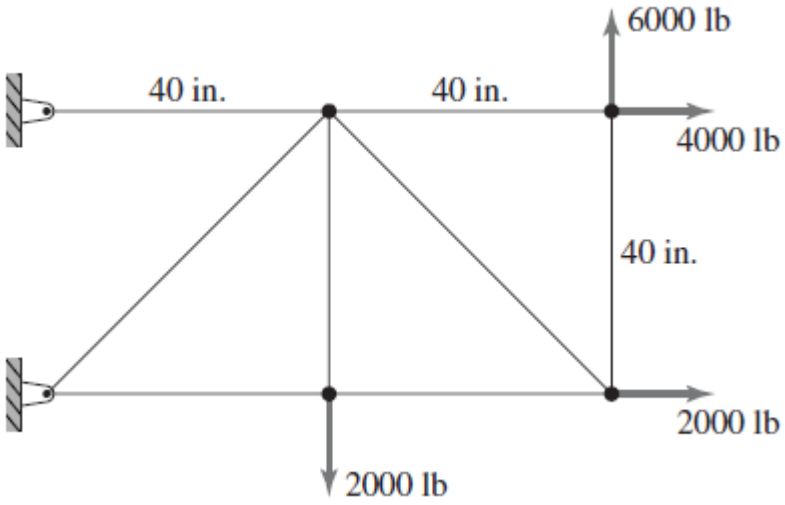
در شکل ۱-۱ ستون A بیانگر شماره ی گره ها می باشد و بستگی به خرپای مورد نظر می تواند بیشتر باشد و محدودیتی در تعداد آن وجود ندارد.

ستون B مختصات x گره مورد نظر را نشان می دهد و ستون C مختصات Y هر گره را وارد کردیم.

در ستون D شماره ی المان ها را به دلخواه کاربر وارد می کنیم. ستون E گره ای را که ابتدای المان و در ستون F گره ای را که انتهای المان می باشد وارد میکنیم.

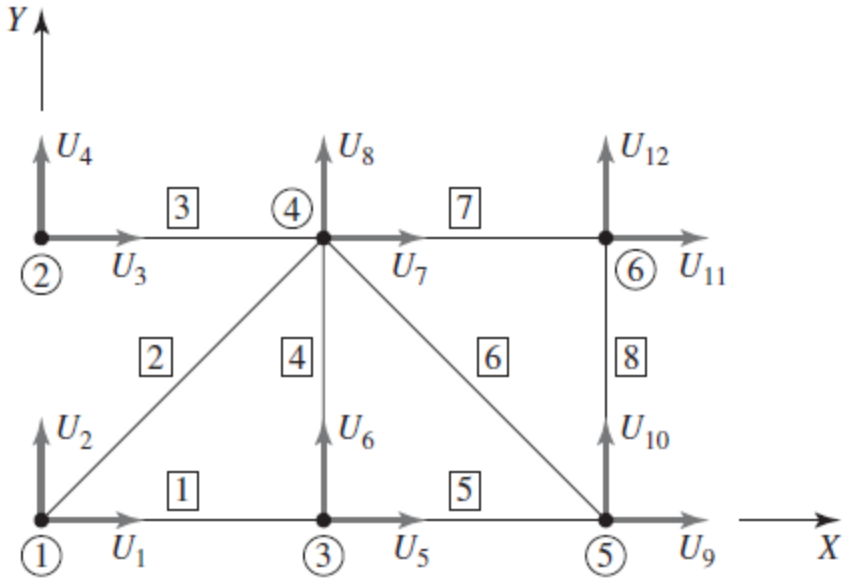
ستون G سطح مقطع هر المان و ستون H مدول الاسیسیته هر المان را وارد می کنیم. و در نهایت در ستون I نیروهایی خارجی که داریم را وارد می کنیم(در وارد کردن نیروی خارجی ترتیب گره ها مهم نیست).

خرپایی که قصد تحلیل آن را داریم به شکل زیر است:



شکل ۱-۲ :خرپای مورد نظر برای تحلیل

***ترتیب گره بندی دلخواه است ولی چیزی که مهم است بایستی درجه آزادی هر گره طبق فرض اول باشد.ما این خرپا را به صورت دلخواه شکل ۱-۳ گره بندی کرده ایم و دستگاه مختصات مرجه را در گره ۱ بنا کردیم.**



شکل ۱-۳: گره بندی و تعیین درجات آزادی شماتیک برای گره ها

***ترتیب نام گذاری نیرروها هم مانند جابه جایی ها و در همان جهت می باشد.**

اگوریتم برنامه:

بعد از کامل کردن فایل اکسل و شماره بندی گره ها و مشخص کردن درجه آزادی می توانیم از برنامه استفاده کنیم.که اگوریتم هر قسمت از برنامه را جداگانه همراه شکل توضیح می دهیم.

```
14      %=========================================================================
15 -    x =xlsread('SOURCE FILE.xlsx','b2:b7');%mokhtasate x
16 -    y =xlsread('SOURCE FILE.xlsx','c2:c7');%mokhtasate y
17 -    a=xlsread('SOURCE FILE.xlsx','d2:d9'); %shomareye elemanha
18 -    s =xlsread('SOURCE FILE.xlsx','e2:e9');%ebtedate nod
19 -    e =xlsread('SOURCE FILE.xlsx','f2:f9');%entehaye nod
20 -    A =xlsread('SOURCE FILE.xlsx','g2:g9');%sathe maghtaee mile
21 -    E =xlsread('SOURCE FILE.xlsx','h2:h9');%modooole elalisite
22 -    F_G= xlsread('SOURCE FILE.xlsx','I2:I9');% NIROOOHAYE KHAREJI
23 -    w=numel(a);%tedade  element
24 -    nodnum=numel(x);%number of node
25      %=========================================================================
```

۱-۴: خواندن ورودی ها

در قسمت ابتدایی برنامه بایستی ورودی هایی را که در فایل اکسل وارد کرده ایم را بخوانیم که با دستور **XLSREAD** در متلب انجام می شود.تمام ستون ها از **A** تا **I** خوانده می شوند ود در بردار مورد نظر ریخته می شوند و در نهایت تعداد المان ها و تعداد گره ها در خط ۲۳ و ۲۴ برنامه مشخص می شوند.

```
25      %====================================================================
26 -    for i=1:w
27 -      for j=1:nodnum
28 -        if s(i)==j
29 -          uv(i)=2*j;%darajate azadi ye sare eleman(daraje azadi amodi)
30 -          uh(i)=2*j-1;%darajate azadi  sare ebtedaii eleman(daraje azadi ofofghi)
31 -          s(i)=x(j);%x coordinate of start node element
32 -          n(i)=y(j);%y coordinate of start node of element
33 -        elseif e(i)==j
34 -          uv2(i)=2*j;%darajate azadi ye sare entehayii(daraje azadi amodi)
35 -          uh2(i)=2*j-1;%darajate azadi  sare entehayii eleman(daraje azadi ofofghi)
36 -          e(i)=y(j); %y coordinate of end node element
37 -          d(i)=x(j);%x coordinate of end node element
38 -        end
39 -      end                 % (d,e)   mokhtasate payane eleman
40 -    end                     %(s,n) mokhtasate noghteye shorou eleman
41      %====================================================================
```

شکل۱-۵:مشخص کردن مختصات ابتدایی و انتهایی المان و درجه آزادی هر المان

برای پیدا کردن طول هر المان به مختصات ابتدا و انتهای هر المان نیاز داریم.و درجه آزادی هر المان برای ادامه برنامه نیاز می باشد.الگوریتم این قسمت از برنامه به این شکل است که حلقه ی اول به تعداد المان ها و حلقه ی دوم به تعداد گره ها تکرار می شود با حلقه ی شرطی **if** ابتدا و انتهای هر المان را چک می کنیم و با دستور در خط ۳۱ و ۳۲ مختصات ابتدایی المان و با دستور در خط ۳۶ و ۳۷ مختصات انتهای المان را مشخص می کنیم. دستور خط ۲۹ و ۳۰ درجه ی آزادی ابتدای المان و دستور خط ۳۴ و ۳۵ درجه آزادی انتهای المان را مشخص می کند.

*مختصات (**s,n**) ابتدای المان و مختصات (**d,e**) انتهای المان را نشان می دهد.

```
41      %=========================================================================
42 -    ke=cell(1,w);%matrix sakhti har elemam ke 7 ta matrix 4*4 ast
43 -    F=cell(1,w);%matrix darajeye azadi har eleman
44 -    for i=1:w
45 -      l(i)= sqrt((d(i)-s(i))^2+(e(i)-n(i))^2); %lenght of element
46 -      if (e(i)>n(i) | e(i)==n(i))
47 -        tetax(i)=acosd((d(i)-s(i))/l(i));%zaviye ba mohvare x
48 -      elseif e(i)<n(i) %%%%%NESHANGHAR IN AST KE SHIBE ELEMAN MANFIS
49 -        tetax(i)=180-(acosd((d(i)-s(i))/l(i)));
50 -      end
51 -      co(i)=cosd(tetax(i));%cos zaviyeha
52 -      si(i)=sind(tetax(i));%sin zaviyeha
53 -      k(i)=A(i)*E(i)/l(i);%sakhti baraye har eleman
54 -      ke{1,i}=k(i)*[co(i)^2,si(i)*co(i),-co(i)^2,-si(i)*co(i);
55          si(i)*co(i),si(i)^2,-si(i)*co(i),-si(i)^2;
56          -co(i)^2,-si(i)*co(i),co(i)^2,si(i)*co(i);
57          -si(i)*co(i),-si(i)^2,si(i)*co(i),si(i)^2];
58 -      F{1,i}=sort([uv(i),uh(i),uv2(i),uh2(i)]);
59 -    end
60      %=========================================================================
```

شکل ۱-۶ : محاسبه ی زاویه و ماتریس سختی و درجه آزادی هر المان

برای ادامه کار نیاز به محاسبه طول هر المان داریم که با داشتن مختصات ابتدا و انتهای هر المان طبق دستور خط ۴۵ حاصل می شود. از آنجایی که زاویه با افق برای ما مهم است و بعضی از المانها دارای شیب منفی می باشند برای محاسبه زاویه با افق این نوع المان بایستی $\pi - \theta$ را محاسبه کرد. با استفاده از حلقه ی شرطی **IF** در خط ۴۹ این نوع زاویه ها محاسبه شده است.

بعد از محاسبه زاویه ها ماتریس سختی هر المان را مطابق دستور خط ۵۴ بدست می آوریم و در آرایه ی سلولی که دارای ۱ سطر و ۷ ستون می باشد قرار می دهیم.و دذ نهایت در خط ۵۸ درجات آزادی هرالمان را به صورت مرتب شده بدست می آوریم و در آرایه ی **F** قرار می دهیم.

*ماتریس **GLOABAL** ما یک ماتریس که تعداد سطر و ستون آن (۲×تعداد گره) می باشد.

```
60      %=========================================================================
61 -    nodnum=2*nodnum;
62 -    K1=zeros(nodnum);
63 -    KA=zeros(nodnum);
64 -    K2=zeros(nodnum);
65 -    KB=zeros(nodnum);
66 -    K3=zeros(nodnum);
67 -    KC=zeros(nodnum);
68 -    K4=zeros(nodnum);
69 -    KD=zeros(nodnum);
70      %=========================================================================
```

شکل ۱-۶ :تغریف ماتریس های مورد نیاز برای **ASSEMBELY**

```
71 -  for r=1:w
72 -    for i=1:4
73 -      for j=1:4
74 -        if  (F{1,r}(1,i)==1 & j==1)    %%%% ASEMMBELLLY KARDAN
75 -          K1(1,2:nodnum)=0; %%%%%IN HALGHE OZVE (1,1) MATRIX KOL RA MIRIZAD VA DAR KA ZAKHIRE MIKONAD
76 -          K1(2:nodnum,2:nodnum)=0;
77 -          K1(1,1)=ke{1,r}(1,1);
78 -          KA=K1+KA;
79 -        elseif (F{1,r}(1,i)==1 & j>1)%%%%%IN HALGHE OZVHAYE KE MARBOOT BE SATRE AVALL AZ MATRIX SAKHTUI
80 -          K2(2:nodnum,1:nodnum)=0;%%%HASTAND RA BEDAST MIAVARAD VA DAR KB ZAKHIRE MIKONAD
81 -          K2(1,1:j-1)=0;
82 -          K2(1,j+1:nodnum)=0;
83 -          K2(1,F{1,r}(1,j))=ke{1,r}(1,j);
84 -          KB=K2+KB;
85 -        elseif (F{1,r}(1,i)~=1 & F{1,r}(1,j)==1) %%%%%IN HALGHE OZVHAYE KE MARBOOT BE SOTONE  AVALL AZ MATRIX SAKHTUI
86 -          K3(1:nodnum,2:nodnum)=0;%%%HASTAND RA BEDAST MIAVARAD VA DAR KC ZAKHIRE MIKONAD
87 -          K3(1:(F{1,r}(1,i)-1),1)=0;
88 -          K3((F{1,r}(1,i)+1):nodnum,1)=0;
89 -          K3(F{1,r}(1,i),1)=ke{1,r}(1,i);
90 -          KC=K3+KC;
91 -        elseif (F{1,r}(1,i)>1 & F{1,r}(1,j)>1)%%%%DAR IN HALGHE OZVHAYE KE NA DAR SATR AVAL VA NA DAR
92 -          K4(1:(F{1,r}(1,i)-1),1:nodnum)=0;%%%%SOTONE AVAL HASTAND BARASI MISHAVAD VA HAR BAR DAR KD SAVE MISHAVAND
93 -          K4((F{1,r}(1,i)+1):nodnum,1:nodnum)=0;
94 -          K4(F{1,r}(1,i),1:(F{1,r}(1,j)-1))=0;
95 -          K4(F{1,r}(1,i),(F{1,r}(1,j)+1):nodnum)=0;
96 -          K4(F{1,r}(1,i),F{1,r}(1,j))=ke{1,r}(i,j);
97 -          KD=K4+KD;
98 -        end
99 -      end
100 -   end
101 - end
```

شکل ۱-۷ :**ASSEMBELY** کردن ماتریس ها

سر هم کردن ماتریس های سختی که داریم با ۳ حلقه ی FOR انجام می شود که حلقه ی اول به تعداد المانها و دو حلقه ی دیگر هر کدام ۴ بار تکرار می شوند.با اجرای هر سری از این حلقه ما ماتریس ۴×۴ هر المان را در ماتریس ۱۰×۱۰ ذخیره می کنیم. که ابتدا درایه (۱و۱) در ماتریس KAذخیره می شود.(خط ۷۴تا ۷۸) در قسمت بعدی درایه های سطر اول ماتریس مرجع در ماتریس KB ذخیره می شود.(خط ۷۹تا۸۴) در قسمت سوم ستون اول از ماتریس مرجع در ماتریس KC ذخیره می شود.(خط ۸۵ تا ۹۰)و در انتها دیگر درایه ها در ماتریس KD ذخیره می شود(خط ۹۱ تا ۹۷). ماتریس سختی کل از جمع

ماتریس های گفته شده حاصل می شود. و ماتریس سختی خرپای مورد نظر ما در این برنامه به شکل زیر حاصل شد.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	507582.5	132582.5	0	0	-375000	0	-132583	-132583	0	0	0	0
2	132582.5	132582.5	0	0	0	0	-132583	-132583	0	0	0	0
3	0	0	375000	0	0	0	-375000	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-375000	0	0	0	750000	0	0	0	-375000	0	0	0
6	0	0	0	0	0	375000	0	-375000	0	0	0	0
7	-132583	-132583	-375000	0	0	0	1015165	5.82E-11	-132583	132582.5	-375000	0
8	-132583	-132583	0	0	0	-375000	5.82E-11	640165	132582.5	-132583	0	0
9	0	0	0	0	-375000	0	-132583	132582.5	507582.5	-132583	0	0
10	0	0	0	0	0	0	132582.5	-132583	-132583	507582.5	0	-375000
11	0	0	0	0	0	0	-375000	0	0	0	375000	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-375000	0	375000

شکل۱-۸ :ماتریس سختی مربوط به خرپای شکل ۱-۲

بعد از اینکه ماتریس سختی کل پیدا شد بایستی شرایط مرزی از نوع جابه جایی را از کاربر دریافت کنیم.

```
%%=================================================================
K_G=KA+KB+KC+KD; %%%%%%%%%%MATRIX SAKHTI MOOADEL
xlswrite('GLOABEL STIFFNER MATRIX.xlsx',K_G,'sheet1');  %%%%MATRIX SAKHTI RA RA DAR A3 SAVE MIKONAD
U_G=input('PLEASE ENTER BOUNDRY CONDITION OF DISPLACMENT:');%%%%TEBGHE SHOMAREYE NODHA , OLGOYE 2*I , 2*I-1
                                                            %%ADAD 1 NESHANEYE U1=0 MIBASHAD
U_G=sort(U_G);%%%%MORATAB KARDAN SHARAYET MARZI
t=numel(U_G);
for j=1:t
  for i=0:t-1%%%%DAR IN HALGHE SATR VA SOTON MARBOT BE SHARAYET MARZI HAZF MISHAVAD BE
    %%%%ANDISHA DEGHAT SHAVAD DAR HAR HALGHE 1 SATR VA SOTON HAZF MISHAVAD
    if j>1
      i=i+j-1;%%%%ANDIS MANFI DAR MATLAB NADARIM HAR BAR KE J MEGHDAR MIGHIRAD YE SATR
                                                %%VA SOTON AZ MATRIX SAKHTI KAM MISHAVD
    end
    K_G(U_G(j)-i,:)=[];%%%%%SATRE MARBOOT BE DARAJE AZADI AVAL
    K_G(:,U_G(j)-i)=[];%%%%%%SOOTONE MARBOOT BE DARAJE AZADI AVAL HAZF MISHAVAD
    break; %%HALGHEYE I HAMVARE 1 BAR ANJAM MISHAVAD
  end
end
%%=================================================================
```

شکل۱-۹: و دریافت شرایط مرزی جابه جایی و اعمال آن در ماتریس سختی

بعد از اینکه ماتریس هر المان با توجه به شرایط مخصوص به سطر و ستون خود در ماتریس سختی کل قرار گرفت مطابق دستور خط ۱۰۳ ماتریس سختی کل سازه برابر با جمع تک تک آنها می باشد. برنامه ماتریس سختی کل(K_G) را برای استفاده در ادامه در فایل GLOABEL STIFFNER MATRIX.XLSX

ذخیره می کند.(خط۱۰۴) حالا با داشتن ماتریس سختی کل در خط ۱۰۵ شرایط مرزی از نوع جابه جایی را از کاربر دریافت و در U_G قرار می دهیم.(در وارد کردن شرایط مرزی منظور از عدد ۱، U_1 می باشد).

در واقع کاربر جابه جایی های را وارد کرده است که تمام آنها صفر می باشد.و ما بایستی این سطر و ستون را از ماتریس سختی کل حذف کنیم که این عملیات در خطوط ۱۰۹ تا ۱۲۰ انجام شده است. حلقه ی اولی به اندازه ی تعداد شرایط مرزی اتفاق می افتد و حلقه داخلی فقط یک بار انجام می شود.

```
121    %================================================================
122 -  xlswrite('ELIMINATED STIFFNER MATRIX.xlsx',K_G,'sheet1');%%%%% ZAKHIRE KARDAN MATRIXX SAKHTIII BA HAZF SATR VA
123                                                              %%%%SOOTON SHARAYET MARZI
124 -  F_G=[F_G]';
125    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5%%%%%%%K_G*U_G=F_G
126 -  U_G1=F_G/K_G;
127 -   U_G1=[U_G1]';%%%%%%%DISPLACMENT MAJHOOLLLLLL
128 -  UU=ones(1,nodnum);
129 -  FF=ones(1,nodnum);
130 -  for i=1:t
131 -     UU(1,U_G(i))=0;%%%%%%DAR IN HALGHE ANDISHAYE MARBOD BE SHARAYET MARZI DA DISPLACMENT VA NIROOO SEFR MISHAVAD
132 -     FF(1,U_G(i))=0;
133 -  end
134    %================================================================
```

شکل ۱-۱۰ : ذخیره ماتریس کاهش یافته و یافتن جابه جایی های مجهول جایگذاری معلومات در بردار جابه جایی کل و صفر کردن درایه شرایط مرزی نیرویی

بعد از اعمال شرایط مرزی جابه جایی در ماتریس سختی،این ماتریس را در فایل ELIMINATED STIFFNER MATRIX مطابق شکل ۱-۱۱ذخیره می کنیم.

حال با داشتن ماتریس کاهش یافته و نیروهای معلوم متناظر می توانیم طبق معادله خط ۱۲۶ جابه جایی های مجهول را پیدا کنیم.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	750000	0	0	0	-375000	0	0	0
2	0	375000	0	-375000	0	0	0	0
3	0	0	1015165	5.82E-11	-132583	132582.5	-375000	0
4	0	-375000	5.82E-11	640165	132582.5	-132583	0	0
5	-375000	0	-132583	132582.5	507582.5	-132583	0	0
6	0	0	132582.5	-132583	-132583	507582.5	0	-375000
7	0	0	-375000	0	0	0	375000	0
8	0	0	0	0	0	-375000	0	375000

شکل ۱-۱۱ :ماتریس کاهش یافته بعد از اعمال شرایط مرزی

برنامه در خط ۱۳۰ تا ۱۳۳ درایه های صفر مربوز به شرایط مرزی را در بردار ستونی جابه جایی اعمال می کند.در این قسمت نیروی متناظر با جابه جایی مورد نظر را هم صفر می کنیم.

در شکل ۱-۱۲ ابتدا نیروهای مجهول را مطابق دستور خط ۱۴۳ پیدا می کنیم و سپس با استفاده از دستور **find** اندیس غیر صفر مربوط به بردار نیرو و جابه جایی را مشخص کرده و ماتریس **FF** و **UU** را که ماتریس ستونی نیروی کلی و جابه جایی کلی می باشد را تشکیل می دهیم.

```
133     %=========================================================================
134 -   UU=[UU]';
135 -   FF=[FF]';
136 -   ff=find(UU);%%%%%%%PEYDA KARDAN ANASOORE GHEYRE SEFR BORDR FF VA UU
137 -   for i=1:nodnum-t
138 -      UU(ff(i),1)=U_G1(i,1);%%%%%%MATRIXX DISPLACMENT KOLIII
139 -   end
140     %=========================================================================
141 -   K_G2 =xlsread('GLOABEL STIFFNER MATRIX.xlsx');
142 -   for i=1:t
143 -       F_G1(i)=K_G2(U_G(i),1:nodnum)*UU;%%%%%%%NIROHAYE MAJHOOOOOOOOOL
144 -   end
145     %=========================================================================
146 -   for i=1:numel(F_G) %%%%%%%MEGHDAR DEHIIIII BE ANDISHAYE SEFR SHODEYE BORDAR NIROOO
147 -      FF(ff(i),1)=F_G(1,i);
148 -   end
149     %=========================================================================
150 -   for i=1:t
151 -      FF(U_G(i),1 )= F_G1(i);%%%%%%%%%%%%%MATRIXXX NIROOOYE KOOLII
152 -   end
153     %=========================================================================
```

شکل ۱-۱۲ :یافتن نیروهای مجهول و تشکیل بردار نیرو و جابه جایی کل

دقت کنیم که نیروهای مجهول به تعداد شرایط مرزی جابه جایی می باشد.(حلقه که برای مشخص کردن نیرو های مجهول به تعداد شرایط مرزی جابه جایی تکرار می شود.)

بعد از مشخص شدن ماتریس نیرو و جابه جایی می توانیم تنش و کرنش و انرژی کرنشی در هر المان را پیدا کنیم.

```
153     %=====================================================================
154         %%%%%%%%%%      %%%%K_G2*UU=FF
155 -   for i=1:w
156 -       if (e(i)>n(i) | e(i)==n(i))
157 -           ST(i)=E(i)*[-1/l(i),1/l(i)]*[co(i),si(i),0,0;
158               0,0,co(i),si(i)]*[UU(uh(i));UU(uv(i));UU(uh2(i));UU(uv2(i))];%%%%%%STRESS DA HAR ELEMAN
159 -         STR(i)=ST(i)/E(i);%%%%%STRAIN HA ELEMEAN
160 -         EN(i)=0.5* ST(i)*STR(i)*A(i)^2;%%%%ENERJYY KORNESHHI HAR ELEMAN
161 -       elseif e(i)<n(i) %%%%%BARAYE ELEMANHAYE SHIIB MANFIIII TETA=180-TETA
162 -         ST(i)=-E(i)*[-1/l(i),1/l(i)]*[co(i),si(i),0,0
163             ;0,0,co(i),si(i)]*[UU(uh(i));UU(uv(i));UU(uh2(i));UU(uv2(i))];%%%%%%STRESS DA HAR ELEMAN
164 -         STR(i)=ST(i)/E(i);%%%%%STRAIN HA ELEMEAN
165 -         EN(i)=0.5* ST(i)*STR(i)*A(i)^2;%%%%ENERJYY KORNESHHI HAR ELEMAN
166 -       end
167 -   end
168     %=====================================================================
```

شکل۱-۱۳:تنش و کرنش و انرژی کرنشی در هر المان

در حلقه ی مورد نظر چون شیب هر المان متفاوت است با حلقه ی شرطی **if** از هم متمایز شده اند و دز خط ۱۵۷ کرنش و در خط ۱۵۹ تنش و خط ۱۶۰ مربوز به انرژی کرنشی در هر المان می باشند. این داده ها مطابق شکل ۱-۱۴ در فایل متنی به صورت جداگانه ذخیره می شوند.

چون ماتریس های بدست آمده سطری می باشند دستور خط ۱۶۹ تا ۱۷۱ ماتریس ها را ستونی می کند و نیرو های خارجی را در فایل **REACTION.txt** جابه جایی ها را در فایل **DISPLACMENTS.txt** و تنش ها را در فایل **STRESS.txt** و کر نش ها را در فایل **STRAIN.txt** و در نهایت انرژی کرنشی را در فایل **STRAIN ENERGY.txt** ذخیره می کند.

```
168     %=========================================================================
169 -   ST=[ST];
170 -   STR=[STR];%%%%%SOOOTONI MIKONIM TA BE SOORATE SOTONI ZAKHIRE SHAVAND
171 -   EN=[EN];
172 -   save('REACTION.txt','FF','-ascii');
173 -    save(' DISPLACMENTS.txt','UU','-ascii');
174 -    save('STRESS.txt','ST','-ascii');
175 -    save('STRAIN.txt','STR','-ascii');
176 -    save('STRAIN ENERGY.txt','EN','-ascii');
177 -   disp('please wait...');
178 -   pause(4);
179 -   disp('C H E E K E  P A T H  F O L D E R ');
180 -   end
181     %=========================================================================
```

شکل ۱-۱۴ :ذخیره خروجی ها در فایل متنی

خرپای بررسی شده در این برنامه از کتاب **HUTTON** انتخاب شده است که با مقایسه نتایج می توان به درستی برنامه پی برد.

با توجه به اینکه خرپای ما ۸ المان دارد نتایج به شکل زیر است:

Element	Strain	Stress, psi
1	$5.33(10^{-4})$	5333
2	$3.77(10^{-4})$	3771
3	$-4.0(10^{-4})$	−4000
4	$1.33(10^{-4})$	1333
5	$5.33(10^{-4})$	5333
6	$-5.67(10^{-4})$	−5657
7	$2.67(10^{-4})$	2667
8	$4.00(10^{-4})$	4000

شکل ۱-۱۵ :نتایج برگرفته شده از کتاب هاتون برای کرنش و تنش هر المان

$$\begin{Bmatrix} U_5 \\ U_6 \\ U_7 \\ U_8 \\ U_9 \\ U_{10} \\ U_{11} \\ U_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.02133 \\ 0.04085 \\ -0.01600 \\ 0.04619 \\ 0.04267 \\ 0.15014 \\ -0.00533 \\ 0.16614 \end{Bmatrix} \text{in.} \qquad \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -12{,}000 \\ -4{,}000 \\ 6{,}000 \\ 0 \end{Bmatrix} \text{lb}$$

شکل ۱-۱۶:جابه جایی ها و نیروها مجهول در خرپا

جابه جایی مجهول	تنش در هر المان	کرنش در هر المان	نیرو ی افقی و عمودی
0.0000000e+00	5.3333333e+03	5.3333333e-04	-1.2000000e+04
0.0000000e+00	3.7712362e+03	3.7712362e-04	-4.0000000e+03
0.0000000e+00	-4.0000000e+03	-4.0000000e-04	6.0000000e+03
0.0000000e+00	1.3333333e+03	1.3333333e-04	0.0000000e+00
2.1333333e-02	5.3333333e+03	5.3333333e-04	0.0000000e+00
4.0836556e-02	-5.6568542e+03	-5.6568542e-04	-2.0000000e+03
-1.6000000e-02	2.6666667e+03	2.6666667e-04	0.0000000e+00
4.6169889e-02	4.0000000e+03	4.0000000e-04	0.0000000e+00
4.2666667e-02			2.0000000e+03
1.5009139e-01			0.0000000e+00
-5.3333333e-03			4.0000000e+03
1.6609139e-01			6.0000000e+03