بسمه الله الرحمن الرحیم

تحلیل سازه

کارشناسی ناپیوسته

عمران - ساختمان

مدرس: پریسا اسماعیل تبار

گردآورنده:سید فرهاد حسینی

FARHAD.5054@YAHOO.COM

سازه: هرچیزی که ساخته شود ودارای شکل وهندسه خاصی باشد ونیزدارای بعد ونیرو باشد را سازه می نامند.

انواع سازه ها:

1- سازه کابلی یا کششی که بیشتر در پل ها بکار می رود.

2-قوس ها که تحت فشار کار می کنند ودر ساختمان پل ها بکار می روند.

3-تیر وستون یا سیستم قابی که از طریق انتقال خمش وانتقال نیروی محوری اعمال بار می کنند.

4-خرپاها که به دو دسته فضایی ومسطح تقسیم می شوند.

5-شبکه ها که به سیستم تیر وستون ها در یک کلاف گفته می شود.

6-دال ها که به دو دسته یک طرفه ودو طرفه که بیشتر برای سقف ها بکار می روند،دسته بندی می شوند.

7-پوسته ها یا قشاء ها که اکثرا به صورت دوار در منبع های آب واز جنس فولاد ونیز گاهی از اجر ساخته می شوند.

8-پی یا فنداسیون یا ریشه.

9-سیستم های بادبند ودیوار برشی که معمولا در ساختمان های قابی با ارتفاع زیاد،برای مقابله با نیروهای جانبی ومخصوصا زلزله بکار می روند.

هدف از تحلیل یا آنالیز سازه ها:

1-بررسی پایداری سازه.

2-تعیین نیروهای داخلی اعضاء.

3-تعیین تغییر مکان ها.

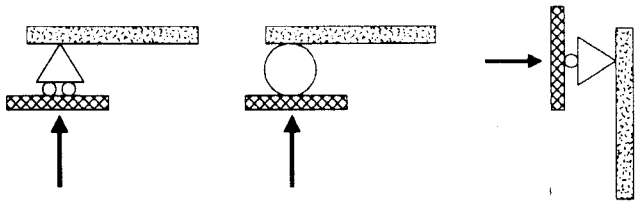
4-طراحی سازه ها.

تکیه گاه ها:

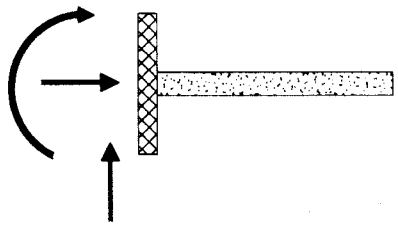
برای اینکه سازه تحت تاثیر نیروهای خارجی حرکت ننماید توسط قید هایی به محیط متصل می شوند.که به این قید ها تکیه گاه می گویند.

انـواع تکیـــه گـاه ها:

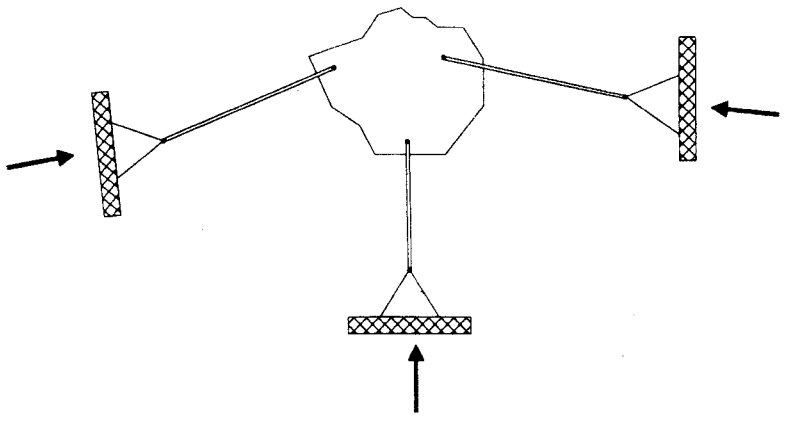
1-تکیـــه گـاه غلطکـــی:



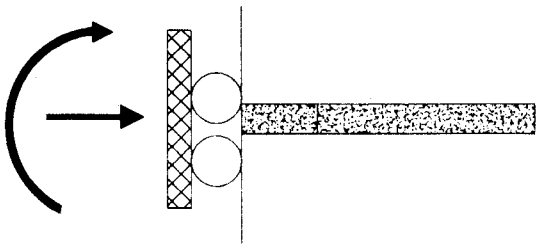
2-تکیـــه گـاه مفصـــلی یـا لـولا (تکیـــه گـاه گـیر دار)



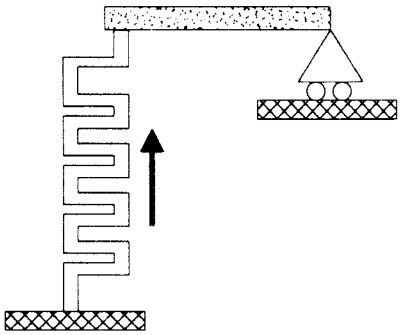
3- تکیـــه گـاه میلـه ای:



4-تکیـــه گـاه برشـــی:



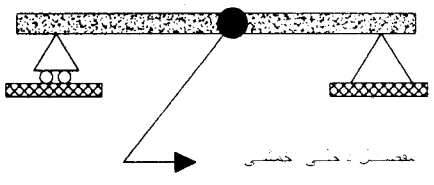
5-تکیـــه گـاه ارتجـاعی:

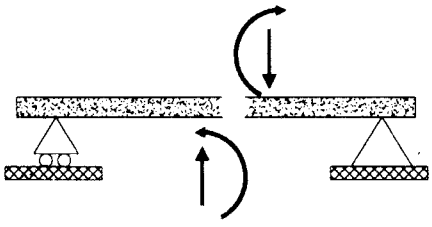


6- ترکیـــب انـواع تکیـــه گـاه ها.

نکتـــه:
گـاهی دو عضـو را بـا یـک مفصـــل بـه هم متصـــل می کنیم،کـــه بـه ایـن نـوع مفصـــل در صـــورتی کـه لنگـــری از چپ بـه راست و بلعکـــس منتقـــل نشـود مفصـــل داخلـی از نـوع مفصـــل خمشـی گوینـــد.

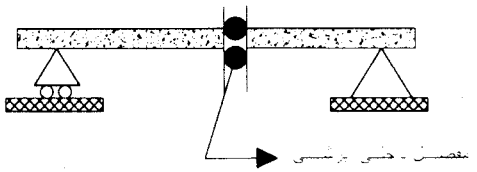
m=0



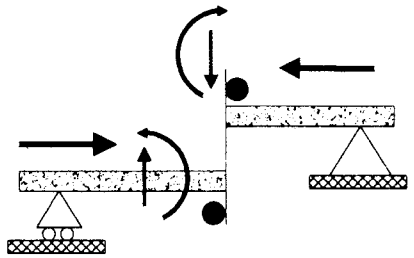


نکتـــه:

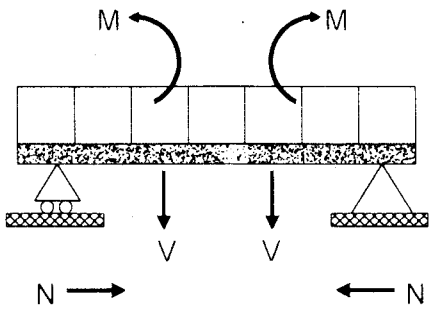
گـاه دو عضـو را بـا یـک مفصـــل بـه هم متصـــل می کنیـــم کـه بـه ایـن نـوع مفصـــل در صـــورتی کـه هیچگونـــه برشـــی را از چپ بـه راسـت یـا بلعکـــس وارد نکند،مفصـــــل داخلـی از نـوع مفصـــل برشـــی گوینـــد.



مفصـــل محوری:نوعـی مفصـــل اسـت گـه در جهت محور حرکـت دارد ولـی در جهت عمود بـر آن حرکـــتی نـدارد وهمچنیـن اجازه هیچگونـــه چرخشـی هم نـدارد.



نیروهـای داخلـی اعضـاء:



شــرایط ایســـــتایی یـک سـازه:

یـک سـازه زمـانی در حالـت تعـادل اسـت کـه برآینـــد نیروهـا ممان ها و لنگرهـــای وارد بـــر آن صـــفر باشـــد.

$$zfx=0 \qquad zfy=0 \qquad zm=0$$

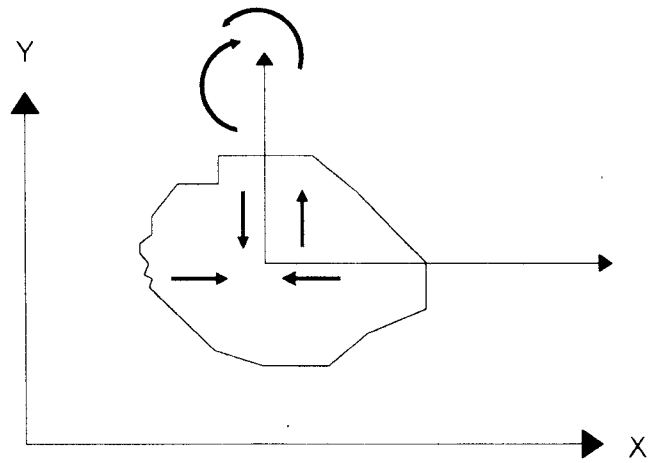
امتـدادX نبایـــد بـه امتـدادABعمود باشـــد.

$$ZMB=0 \qquad ZMA=0 \qquad ZFX=0'$$

وهمچنیـن A و B و C نبایـــد در یـک امتـداد یـا راســتا باشـــند.

$$ZMA=0 \qquad ZMB=0 \qquad ZMC=0$$

پایـــداری وناپایـــداری سـازه ها:

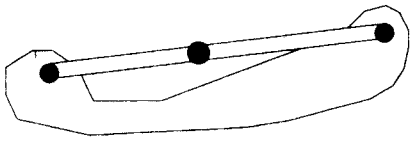


درشـــکل بـــالا X و Y و $\bar{Z}$ در فضـــای دو بعـــدی قـرار دارنـدو بـرای جلوگـــیری ومهار آنها نیـاز بـه تکیـــه گـاه هـایی اسـت کـه بـه آنها قیـد میگوینـــد.

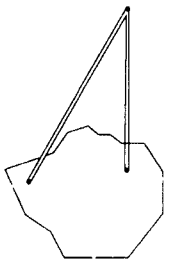
شـــرایط لازم وکـــافی بـــرای پایـــداری یـک جسـم صـلب ایـن اسـت کـه خط اثـر تکیـــه گـاه ها موازی ومتقـــارب نباشـــد.

ترکیـــــب چند جسم صـــلب و نحـوه پایـــداری آنها:

1-ترکیـــــب جسم صـــلب ویـک گـره:

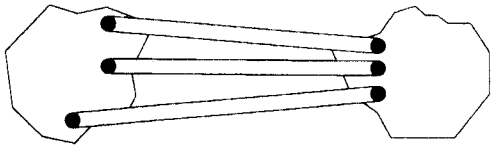


ناپایـــــدار

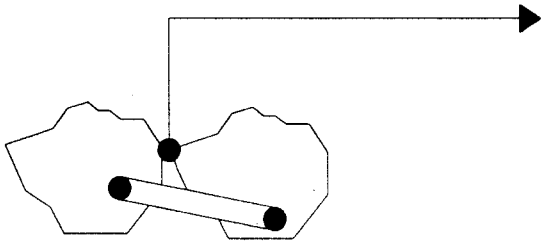


پایـــدار

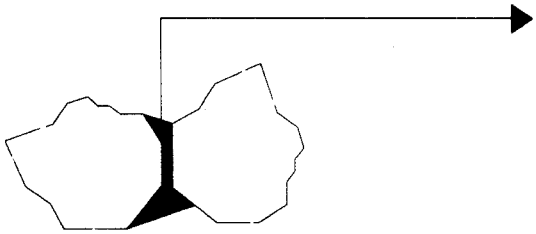
2-ترکیـــــب دو جسم صـــلب:



تکیـــه گـاه ها بایـــد غیر موازی وغیر متقـارب باشـــند

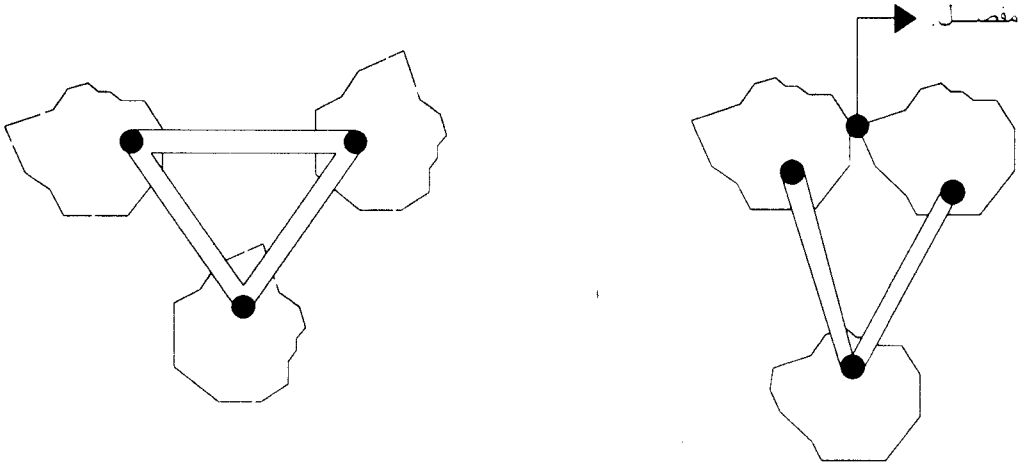


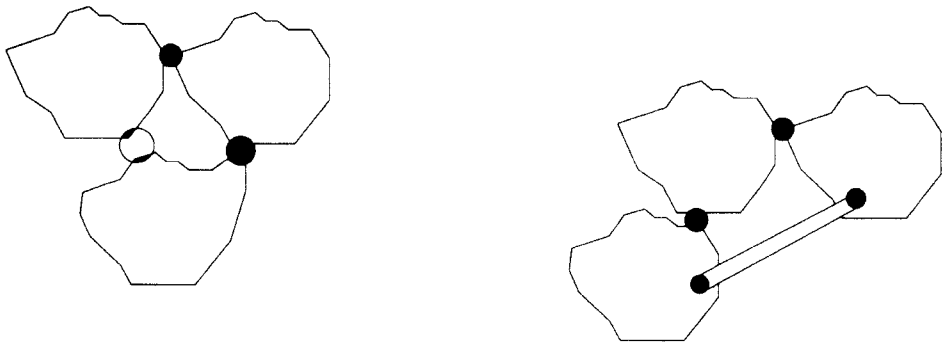
مفصـــل(کـاردو میلـه یـا دو تکیـــه گـاه را انجـام می دهد.

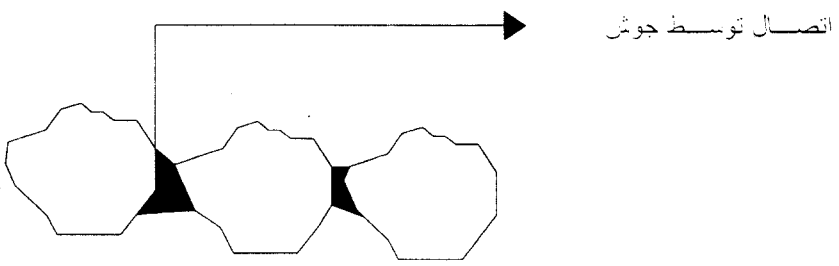


اتصـــال توســـط جوش

3- ترکیـــب سه جسم صـلب:





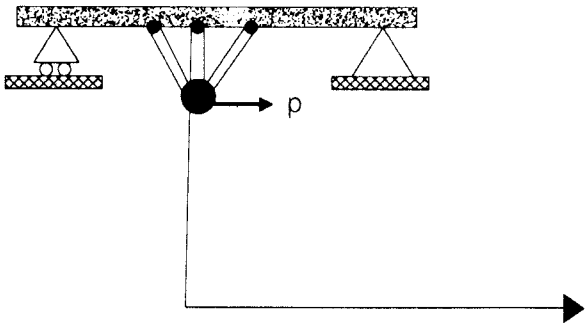


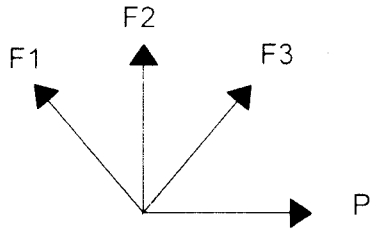
سـازه های معیـن ونـــامعین:

در تعییـــن نیروهـای تکیـــه گـاهی ونیروهـای داخلـی اعضـای یـک سـازه اگـر بتـــوان بـا اســـتفاده از روابـط متعـادل ایســـتایی تمـامی مجهولات را بدســت آورد،آن سـازه را سـازه معیـن گوینـــد در غـیر ایـن صـورت سـازه نـــامعین می باشـــد. zm=0 zfy=0 zfx=0

اگـر نـــامعینی مـربوط بـه تکیـــه گـاه ها باشـد سـازه نـا معیـن خارجی و اگـر مـربوط بـه نـیرو های داخلـی باشـد سـازه را،نـــامعین داخلـی گوینـــد.

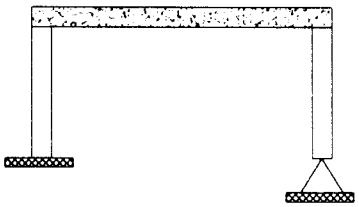
تعییـــن معیـن ونـــامعینی در یـک سـازه:



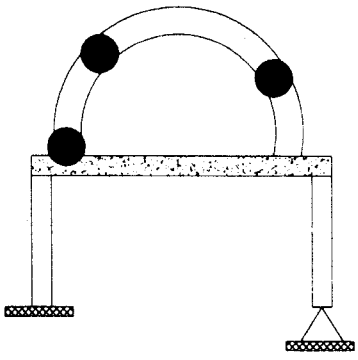


سـازه پایـــدار ونـــامعین می باشـد

شـرط نـا معیـن بـودن= تعـداد روابـط تعـادل < تعـداد مجهولات

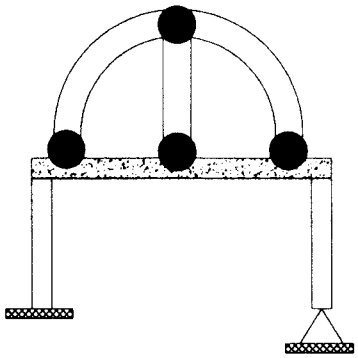


سـازه پایـــدار ونـــامعین خارجی می باشـد

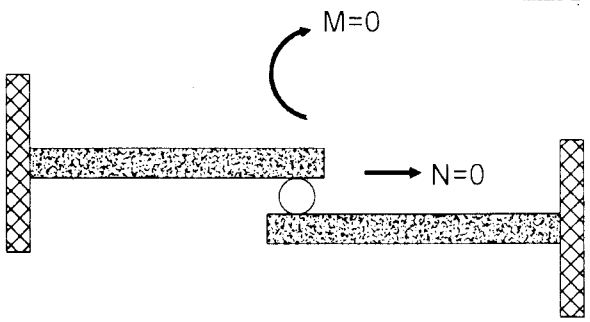


سـازه پایـــدار ونـــامعین خارجی می باشـد

سازه 3 درجه نـــامعینی دارد: 1درجه نـــامعینی داخلـی و2 درجه نـــامعینی خارجی

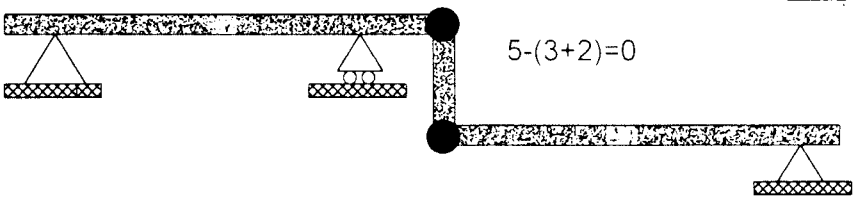


تـــیر پایـــدار ودارای یـک درجه نـــامعینی خارجی می باشـــد



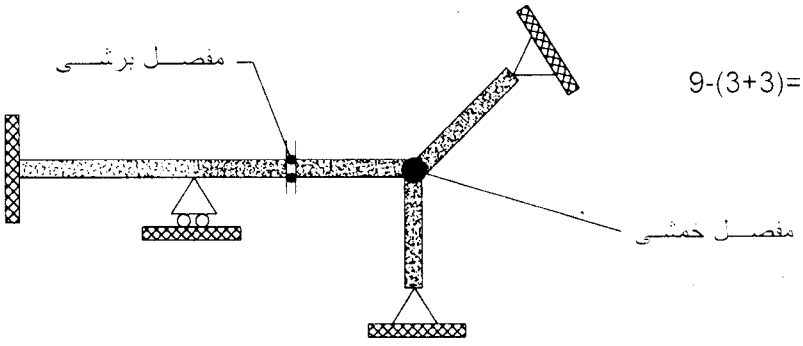
(3+3)-(3+2)=1

سازه پایـــدار و معیـن می باشـــد



5-(3+2)=0

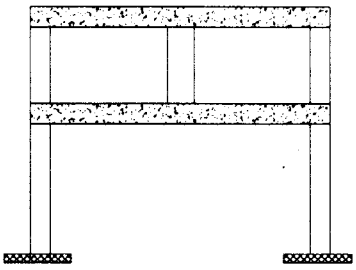
سـازه پایـــدار و دارای 3 درجه نـــامعینی خارجی می باشـــد



9-(3+3)=3

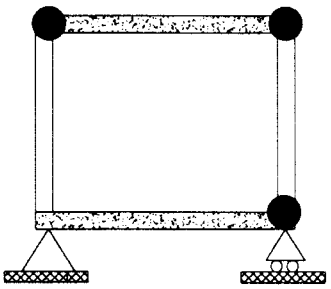
ســازه پایـــدار ودارای9 درجه نـــــامعینی می باشـــد.بایـــد توجـه داشـت کـه هر حاقـه بســـــته 3درجه نـا معیـــنی داخلـی دارد.

6+(6-3)=9



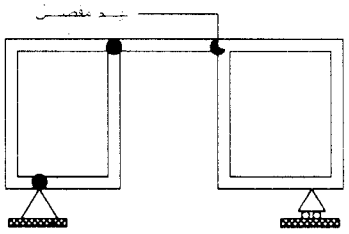
ســازه پایـــدار ومعیـــن می باشـــد

(3+3)-(3+3)=0



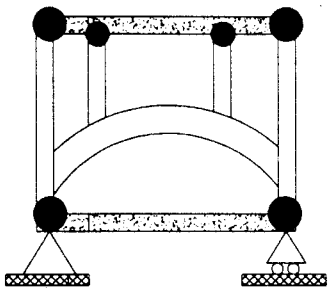
ســازه دارای 1درجه نـــــامعینی خارجی و2درجه نـــــامعینی داخلـی می باشـــد.

(4+6)-(4+3)=3

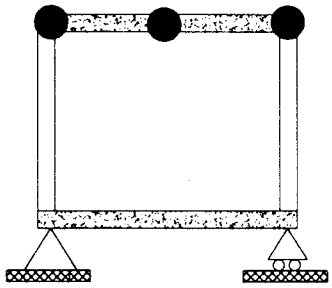


ســازه مقابـــل دارای 4 درجه نـــــامعینی داخلـی می باشـــد

(3+12)-(3+8)=4

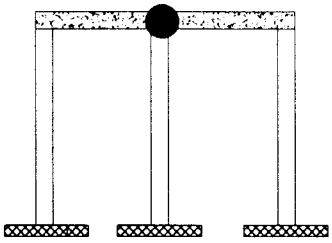


سـازه شـــکل مقابـــل ناپایـــدار معیـن می باشـــد.



(3+3)-(3+3)=0

سـازه ناپایـــدار معیـن می باشـــد.

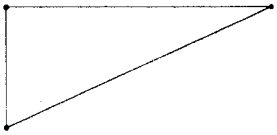


6-(3+3)=0

خرپـا:

در بررســی وضــعیت پایــداری در خرپـا ها از روش بـار صــفر اســتفاده می کنیم،یعـــنی سازه را بـدون بـار در نظـر گرفتـــه وبـه یـک عضـو غیـر صــفر بـار واحد می دهیم و نیروهـای داخلـی سـایر اعضـا را بدسـت می آوریـم.اگـر بـه تنـاقض نرســیدیم سازه ناپایــدار است.

خرپـا ها را می تـوان توسـط یـک گـره و دو میلـه توسـعه داد.



تعـداد مجهولات خرپـا: B+R

تعـداد اعضـا: R عکـس العمـل تکیـــه گـاه: B

تعـداد معلومـات: 2j

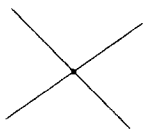
تعـداد گـره ها: j

انـواع خرپـا:

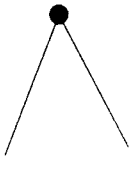
1-خرپـای سـاده 2- خرپـای مرکـب 3- خرپـای بغـــرنج یـا پیچیـــده

تشـــخیص اعضـای صـــفر نـــیرویی:

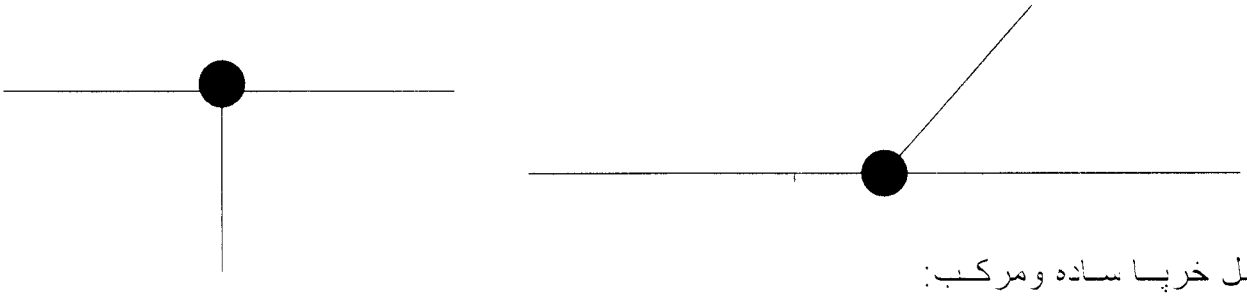
1- هر گـاه چهار عضـو،دو بـه دو در امتـداد هم بـه یـک مفصـل برســـند،نیروی داخلـی اعضـا در امتـداد هم یکســان است.



2- هر گـاه دو عضـو بـه یـک مفصـل وارد شـوند و نـیروی خارجی موجود نباشـد نـیروی داخلـی آنها صـفر است.



3-هرگاه سه عضو به یک مفصل وارد شوند ودو عضو از سه عضو در یک راستا باشند ونیروی خارجی بر مفصل وارد نشود نیروی داخلی عضو سوم صفر است.



تحلیـــل خرپا ساده ومرکب:

1- روش تعادل گره: ابتدا عکس العمل ها را بدست می آوریم انگاه ازمعادله

$zfx=0$ و $zfy=0$ استفاده می نماییم.باید توجه داشت که برای شروع باید از یک مفصل دو عضوی شروع کنیم.

2- روش مقطع زدن که باید حداکثر از سه عضو خرپا بگذرد.

نکته: برای خرپای مرکب بهتر است از روش برش یاهمان مقطع زدن استفاده نماییم تا نیروی یک عضو مجهول بدست آید انگاه از روش تعادل گره،نیروی داخلی سایر اعضا تعیین می گردد.باید به این نکته نیز توجه داشت که اولین برش را از اعضای اتصال دهنده اجسام صلب بگذرانیم.

تحلیـــل خرپای بغرنج:

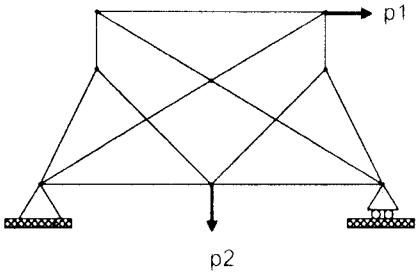
اصل سوپر پوزیشن یا اصل بر هم نهی:

1- اگر مصالح با رفتار الاستیک یا ارتجاعی باشد.

2- تغییر شکل ها کوچک باشد.

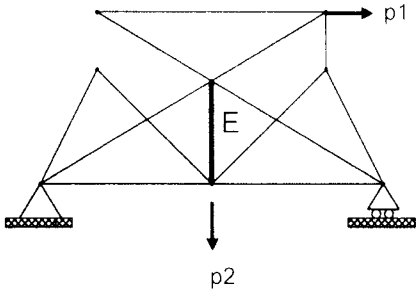
نکته: در یک سازه چنانچه اثرات بار گذاری،با خود بار گذاری رابطه خطی داشته باشد میتوان نتیجه گرفت که مجموع اثرات در نتیجه بار گذاری،با جمع جبری اثرات حاصل از کل بارگذاری،برابر است.

نـــیروی محوری میلـــه i - j در اثـــر بـــار خارجی



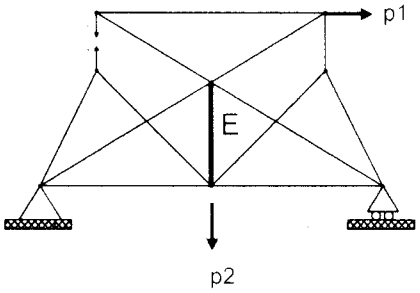
NP: نـــیروی محوری بـــار خارجی

نـــیروی محوری میلـــه i - j در خرپـــای تبـــــدیلی در اثربـــار خارجی.



NP: نـــیروی محوری بـــار خارجی

نـــیروی محوری میلـــه i - j در اثـــر بـــار واحد در میلـــه جابجـــا شـــده.



NT=1 نـــیروی محوری بـــار واحد

اصل ســـوپر پوزیشـــن بـــرای عضـو E : $NP_{,} E + TNT=1_{,}E=0$

$$T= \frac{NP_{,} E}{NT= 1_{,} E}$$

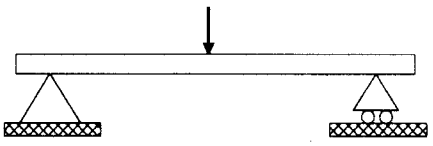
خطوط تـــــأثیر:

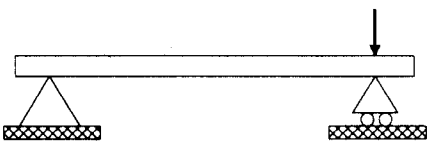
بـــرای طراحی سازه های تحـــت تـــــأثیر بارهـای متحـــرک نیـــاز بـــه داشـــتن بحـــرانی تـــرین وضـــعیت بارگـــذاری می باشـــیم کـــه بـــرای ایـــن منظـور می بایســـت خطوطی بـــه نـام خطوط تـــــأثیر را ترســـیم نمـــاییم.خطوط تـــــأثیر دیـــاگرامی است کـــه تغیـــیرات یکـــی از مقـــادیر نیروهـــای داخلـــی N.V.M عکـس العمـل های تکیـــه گـاهی سـازه را در اثـر حرکـت یـک بـار واحد بـر روی سـازه نشـان می دهد.

روش های ترســـیم خطوط تـــــأثیر:

روش اول:

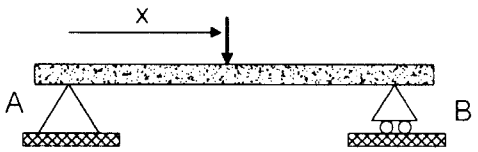
بـــار واحد را در موقعیـــت های مختلـــف قـرار می دهیم ومقدار تـــــابع را بدســـت می آوریـم آنگـــاه شـروع بـــه ترســـیم خطوط تـــــأثیر می نمـــاییم.





روش دوم:

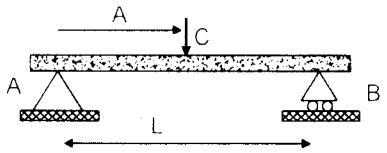
بـار واحد را درفاصـــله x از مبـداء قـرار داده انگـاه مقدار تـــابع را بـر حسـب x بدســت می اوریـم.

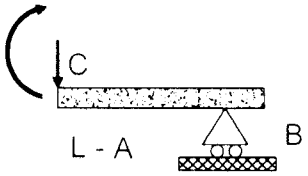


ZMB=0 1*(L-X)=RA*L
RA=L-X/L=1-X/L

ZFY=0 RB=1-RA=1-((L-X)/L)=X/L

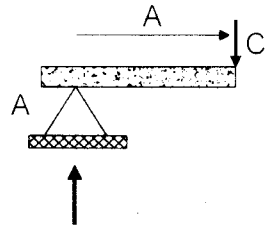
نکتـــه: خطوط تـــأثیر تـــابع های معین،همواره تـــابع خطی می باشـد.بـرای رسم خط تـــأثیر در تـــابع های خطی داشـــتن دو نقطـه کـــافی است.





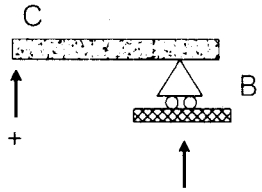
MC=RB(L-A)=(X/L)*(L-A)

0 < X < A

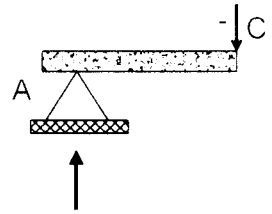


MC=RA*a=(1-(X/L)a

a < x < L



VC=-RB=-X/L



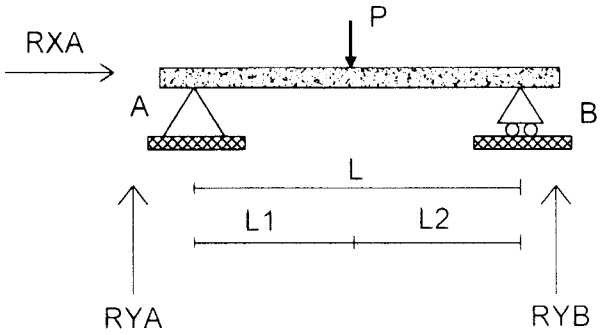
a < x < L

V=RA=1-(X/L)

1-(A/L)=(L-a)/ L

تحلیـــل وتعییـــن قـاب های معیـن:

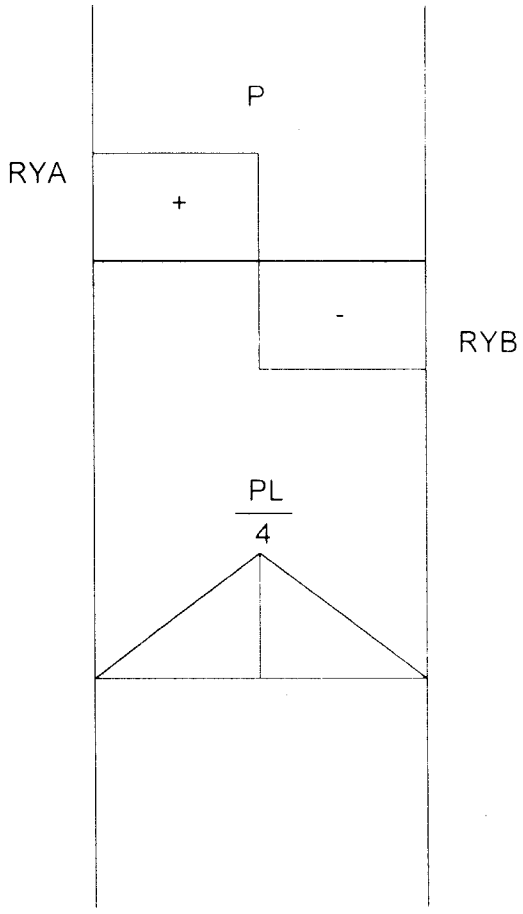
رسـم دیـــاگرام بـرش وخمش



$\rightarrow$ Z FX= 0 RXA=0

$\circlearrowright$ Z MA= 0 (P*L1)- (RY B* L) =0

$\uparrow$ Z FYA= 0 RYA - P+ RYB=0

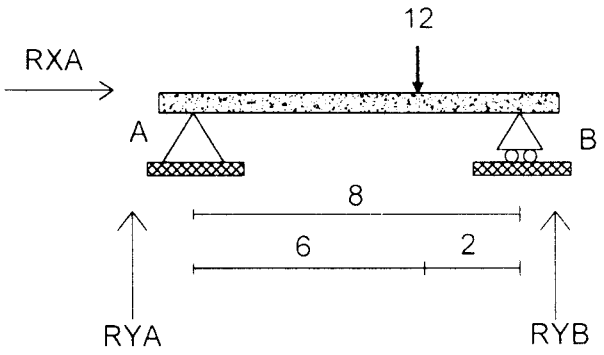


(V)

(M)

بـرای کشـــیدن دیـــاگرام برشـــی بـا توجـه بـه عکس العمـل ها در تکیـــه گـاه ها ونـیز بـار وارده عمل می نمـــاییم. بـرای کشـــیدن دیـــاگرام خمشـی بـا اســـتفاده ازمساحت دیـــاگرام برشـــی می تـوان ایـن دیـــاگرام را ترســـیم نمود.

مثـال: عکس العملهـا ودیـــاگرام شـــکل زیـــر را بدســـت اوریـد وترســـیم نماییـــد.



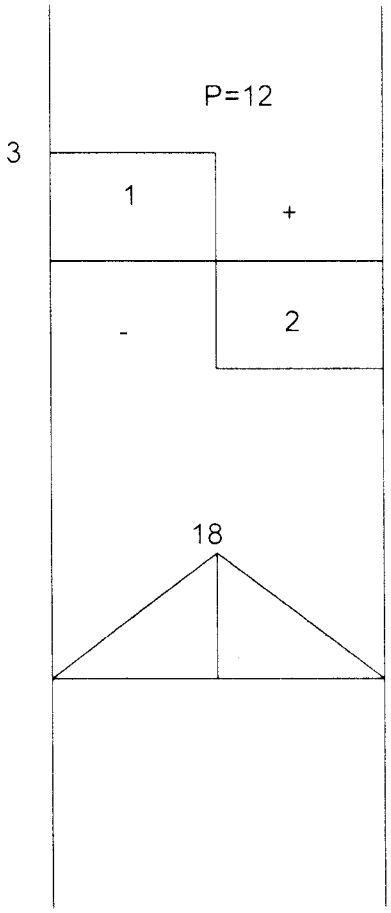
$\rightarrow$ Z FX= 0 RXA=0

$\curvearrowleft$ Z MA= 0 (12*6)- (RY B* 8) =0

$$RYB= \frac{72}{8} =9$$

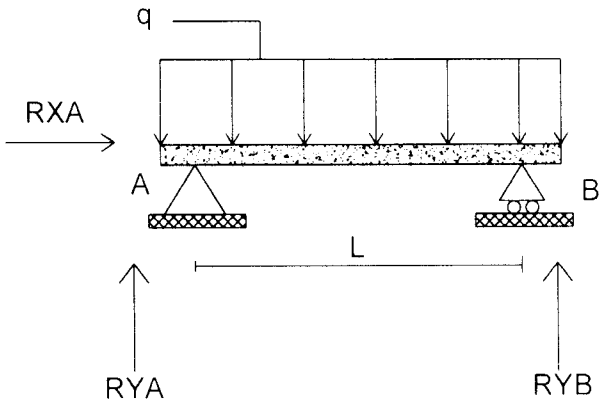
$\uparrow$ Z FYA= 0 RYA - 12+ 9=0

RYA=12-9=3



1: 3*6=18

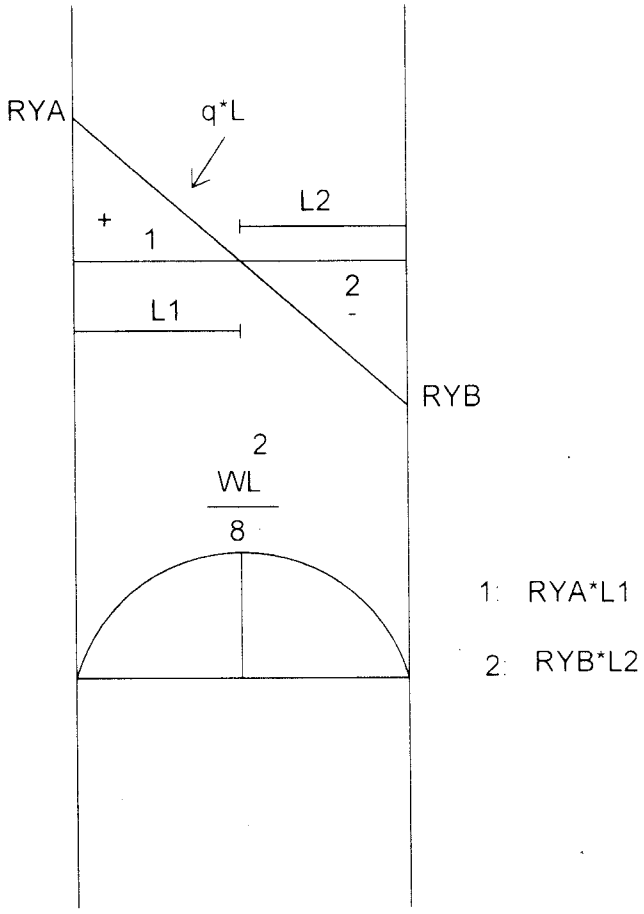
2: 9*2=18



$\rightarrow$ Z FX= 0 RXA=0

$\curvearrowright$ Z MA= 0 (q*L*(L/2))- (RY B* L) =0

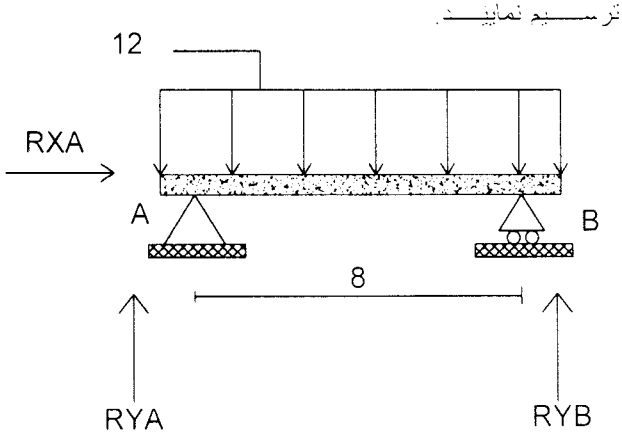
$\uparrow$ Z FYA= 0 RYA - (q*L)+ RYB=0



1: RYA*L1

2: RYB*L2

مثـال: عکـس العملهـا ودیـــاگرام شـــکل زیـر را بدســت آوریـد وترســـیم نمایید.



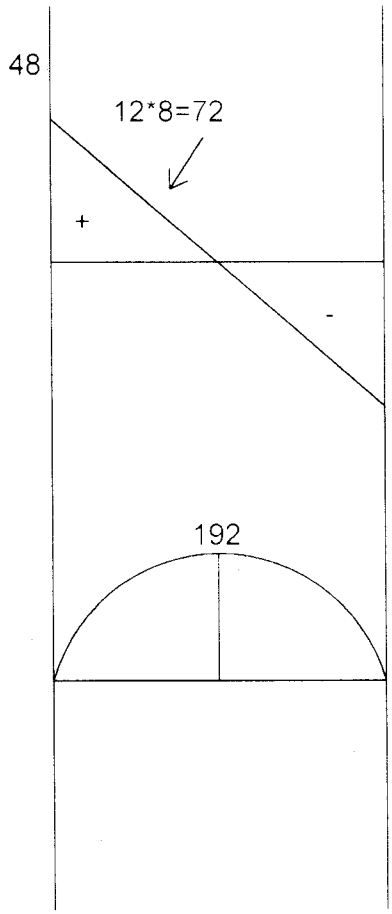
$\rightarrow$ Z FX= 0 RXA=0

$\curvearrowleft$ Z MA= 0 (12*8*4)- (RY B* 8) =0

$$RYB= \frac{384}{8} =48$$

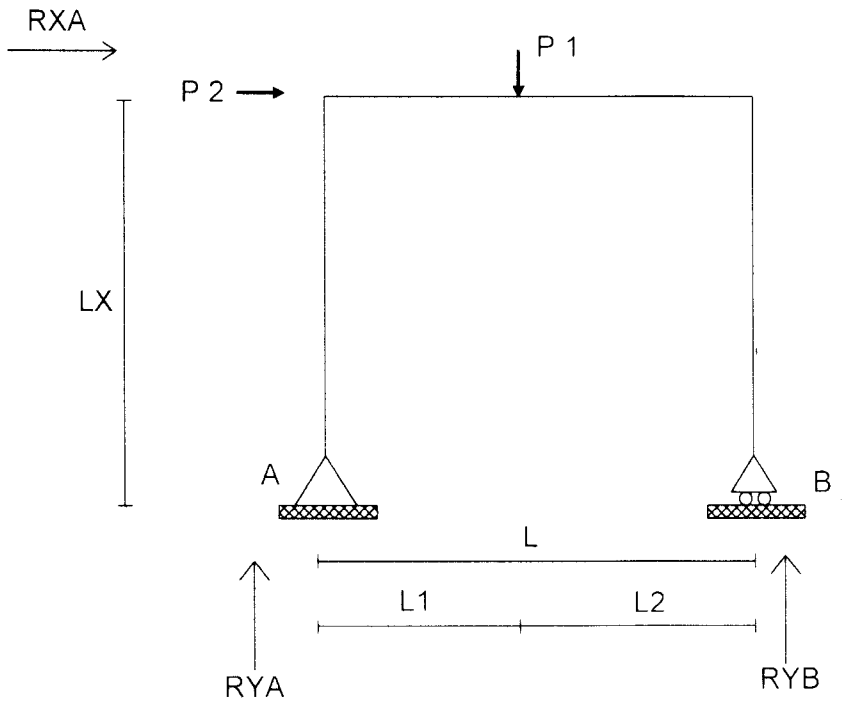
$\uparrow$ Z FYA= 0 RYA - (12*8)+ 48=0

RYA=96-48=48



1: 48*4=192

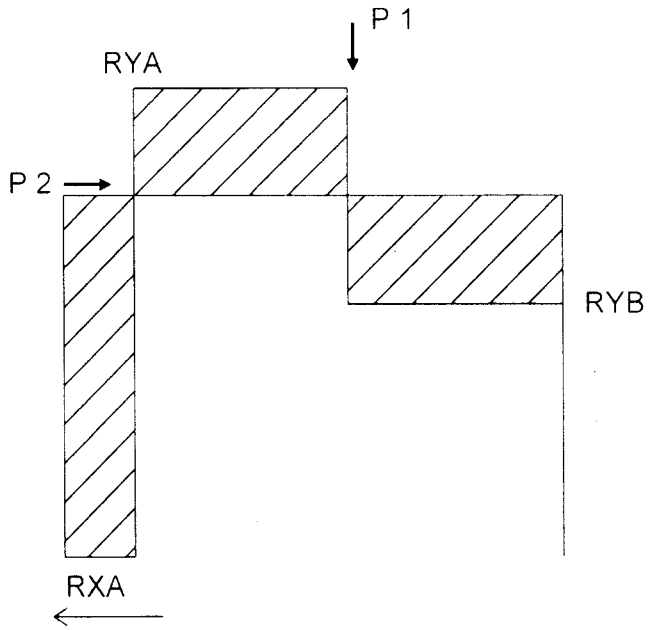
2: 48*4=192

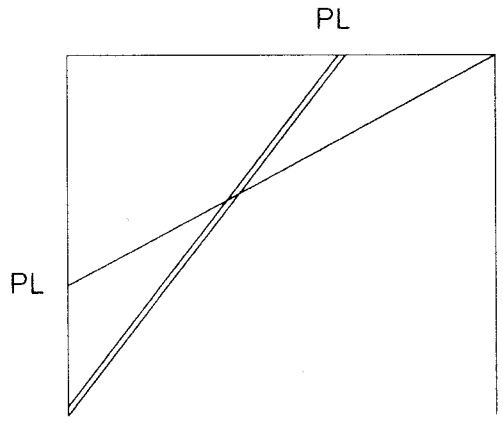


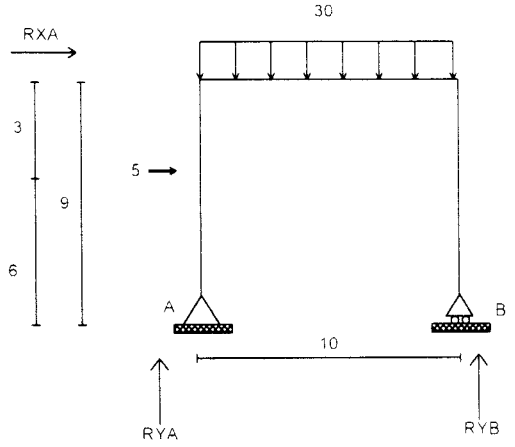
$\rightarrow$ Z FX= 0 P2-RXA=0

$\circlearrowright$ Z MA= 0 (P2*LX)+(P1*L1)- (RY B* L) =0

$\uparrow$ Z FYA= 0 RYA - P1+ RYB=0







$\rightarrow$ Z FX= 0 5-RXA=0

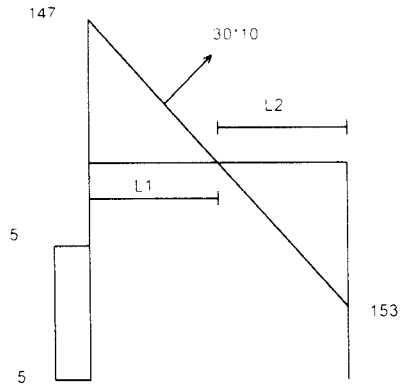
RXA=5

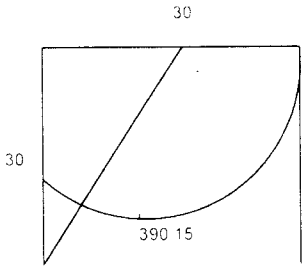
$\curvearrowright$ Z MA= 0 (5*6)+(30*10*5)- (RY B* 10) =0

RYB=153

$\uparrow$ Z FYA= 0 RYA - (30*10)+ 153=0

RYA=147





$L1 \frac{q*L}{L} = q1$ $\frac{RYA}{q1} = L1$ $L1 \frac{30*10}{10} = 30$ $\frac{147}{30} = 4.9$

$L2 \frac{q*L}{L} = q1$ $\frac{RYA}{q1} = L2$ $L2 \frac{30*10}{10} = 30$ $\frac{153}{30} = 5.1$

نکـــاتی در ترســـیم دیـــاگرام:

بـرش:

1:در قســـمتی کـه هیچگونـــه بارخـــارجی بـــر روی ان قـرار نـدارد منحـــنی بـرش صـــفر است

2:در قســـمتی کـه بـــار گســـترده اعمال می شـود خط شـیب بصـورت منحـنی ترسـیم می شـود

3:درقســـمتی کـه بـــار متمـــرکز قـرار دارد در منحـنی بـرش تغیـــیر ناگهـــانی یـــا پـــاره گـــی خطوط اتفـــاق می افتـــد

لنگـــر:

1:اگـر بـرش در قســـمتی از تـــیر ثابـــت باشـــد ممان خمشـی در ان فاصـــله خطی است

2:معادلـه لنگـــر 1درجه از معادلـه بـرش بـــالاتر اسـت

3:هر جا کـه بـرش صـــفر باشـــد لنگـــر مـاکزمی شـود

کـار مجازی بـرای تعییـــن خط تـــأثیر نیروهـا:

اصـل کـار مجازی:

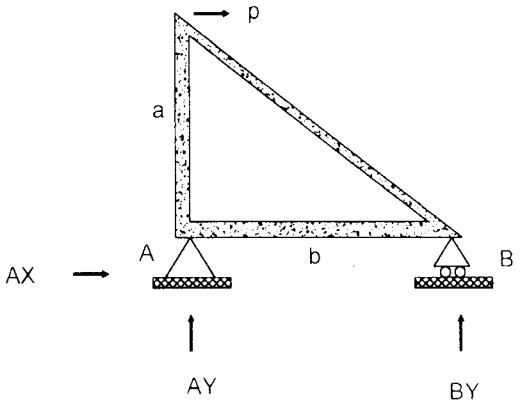
بـه اصـلی گوینـــد کـه در یـک سیســـتم ایـده آل ودر حال تعادل،اصـــطکاک داخلـی وجود نداشـــته باشـد وانـرژی ازبیـــن نـرود.

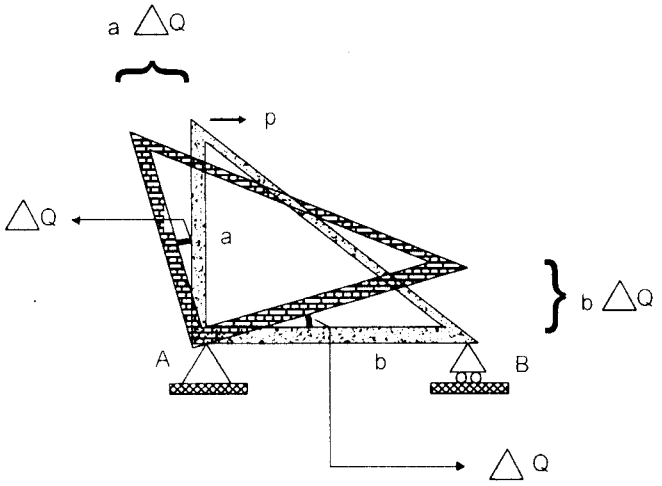
هرگـاه یـک تغیـــیر مکـان مجازی وهمساز بـا موانـع سیســـتم بـه سـازه اعمال گردد،مجموعـه کـار انجـام شـده توســط نیروهـا بـــرابر صـــفر است.

نکتـــه: درکـار مجازی بـرای بدســت آوردن عکس العمـل یـا نـیروی داخلـی(بـرش ولنگـــر) ابتـــدا بـه قیـد مربوطـه یـک جابجـــایی یـا دوران فرضـــی(مجازی) وارد نمـوده آنگـاه رابطـه کـار مجازی را محاســبه می نمـــاییم.

$$\Sigma W_i = 0$$

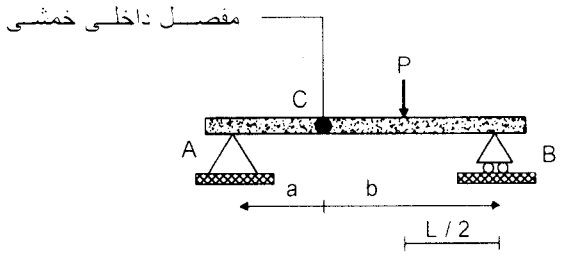
بـا اســـتفاده از اصـل کـار مجازی عکس العمـل BY را محاســبه نماییـــد؟

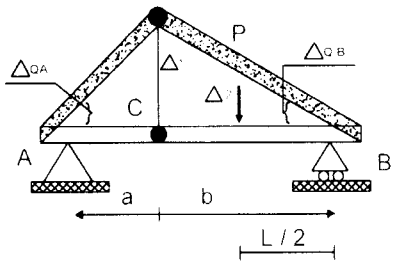




$$+BY^{*}(b\,\triangle Q)-P(a\,\triangle Q)=0 \qquad BY=P^{*}\,a\,/\,b$$

بـا اســـتفاده از اصـل کـار مجازی نـیروی برشـــی ولنگـــر خمشـی را در نقطـه بدســـت آوریـد؟





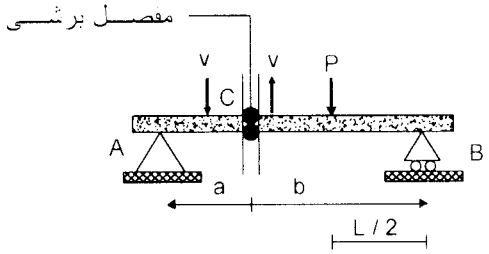
$\triangle_1 = a \triangle_{QA} = b \triangle_{QB}$

$\triangle_2 = L/2 * \triangle_{QB}$

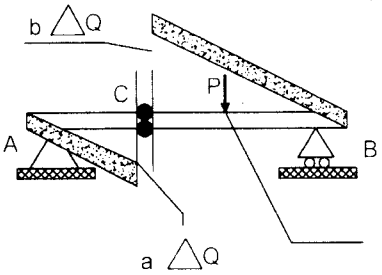
$-P \triangle_2 + MC \triangle_{QA} + MC \triangle_{QB} = 0$

$M = ((PA)/2)$

$(b/a) \triangle_{QB}$

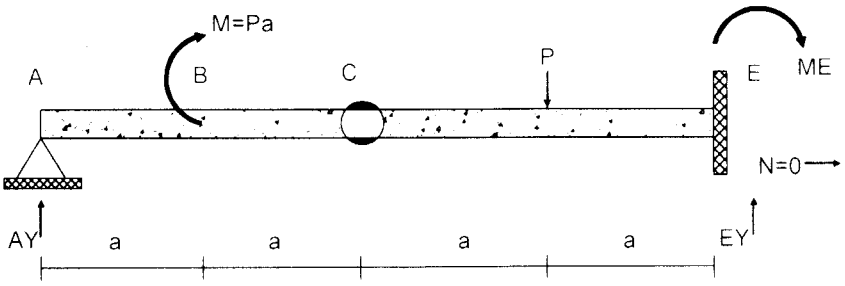


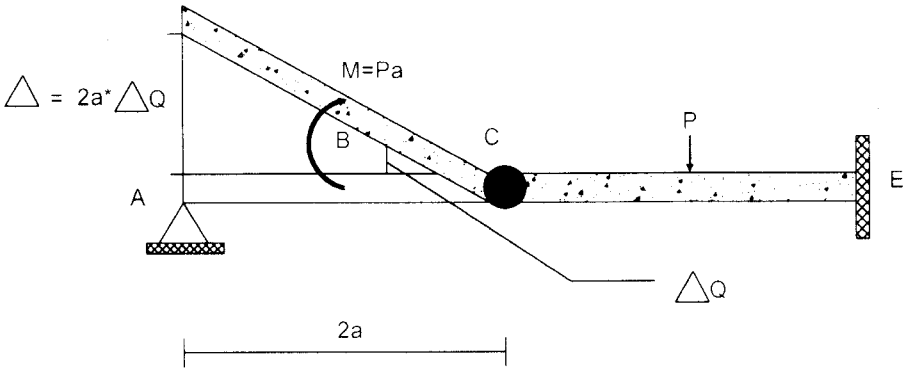
$VC_a \triangle_a + VC_b \triangle_2 - P \triangle = 0$



$\triangle = (L/2) * \triangle Q$

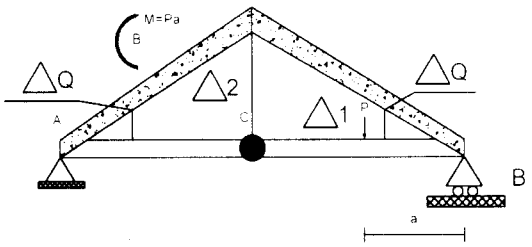
بـا اســـتفاده از کـار مجازی عکس العمـل های سـازه های زیـر را بدســت آوریـد.





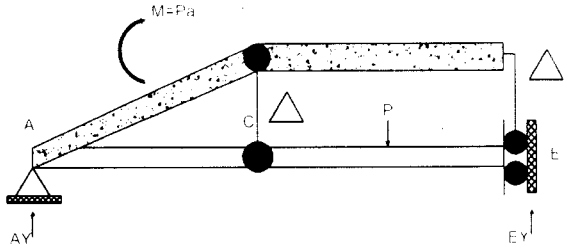
کارمجـازی= + △ y* △ +m* △Q +p*0=0

AY= -(P / 2)



-P△1 -Pa * △Q + ME △Q =0

ME= 2Pa

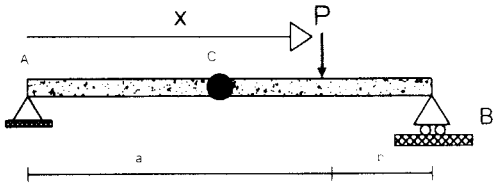


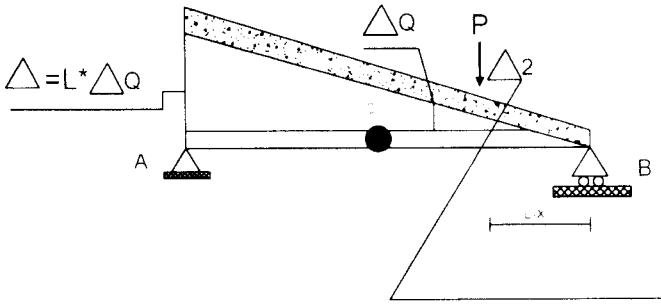
-Pa* △Q -P △ + EY △ =0

EY= 1.5 P

△ = 2a △Q

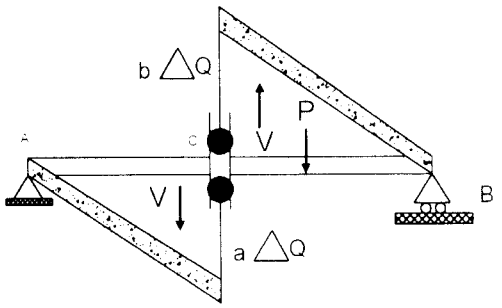
اســـتفاده از روش کـار مجازی در رسم خطوط تـــأثیر در سـازه های معیـن:





$+AY^{*}\triangle - 1^{*}(L-X)^{*}\triangle Q = 0$

$AY=((L-X)/L)=1^{*}(L/X)$

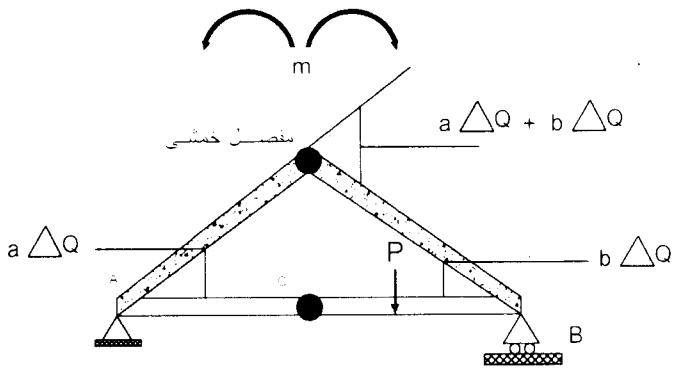


$vc^{*}\,{}_{a}\triangle Q + vc^{*}\,{}_{b}\triangle Q - 1^{*}y = 0$

$vc^{*}\,({}_{a}\triangle Q + {}_{b}\triangle Q) = y$

$vc = (y / ({}_{a}\triangle Q + {}_{b}\triangle Q))$

$vc = y \quad = 1$



$MC\,{}_{a}\triangle Q + MC\,{}_{b}\triangle Q - Y^{*}1 = 0$

$MC = (Y / ({}_{a}\triangle Q + {}_{b}\triangle Q))$

$MC = Y$

نکـــاتی بـرای ترســـیم خطوط تـــأثیر:

1- تکیـــه گـاه:تکیـــه گـاه ها را در جهت عکس العمـل خواســته شـده آزاد نمـوده وبـه انـدازه واحد بـــالا می بـــریم $\triangle=1$

2- بـرش:بعـد از زدن بـرش در مقطـع مورد نظر یـک مفصـل برشـی قـرار می دهیم وبـه انـدازه اختـلاف واحد بـه سمت بـالا یـا پـــایین می کشـــانیم.

3-لنگـــر: یـک مفصـل خمشـی گذاشـته وبـه انـدازه اختـلاف واحد زاویـه خارجی را دوران می دهیم.

محاســبه تغیـــیر شـکل ها:

-بعـد از طراحی سازه نیـاز اسـت سازه در بـــرابر بارهـای بهـره بـرداری کنـــترل گـردد (کنـــترل تغیـــیر شـکل ها بـا توجـه بـه معیـار ســختی)

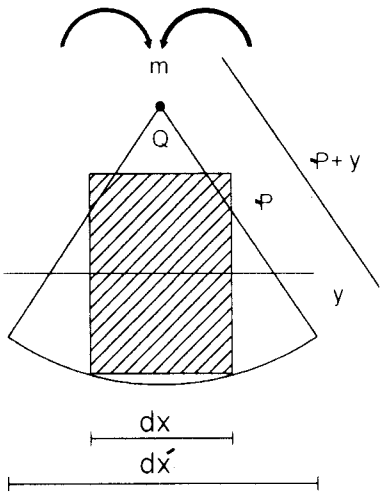
-تحلیـــل سازه های نـا معیـن بـا اســتفاده از اصـل ســوپر پوزیشـــن

تغیـــیر شـکل ها می توانـد ناشـی از عوامل زیـر باشـد:

- خمش.....در تیرهـا

-بـرش.....در تیرهـای عمیـق

-نـیروی محوری.....در خرپاها



$$\triangle L = d\bar{x} - dx \begin{cases} dx = PQ \\ d\bar{x} = (P+y) * Q \end{cases}$$

$$\left\{ = \frac{\triangle L}{dx} = \frac{y\,Q}{dx} = \frac{Q}{E} \right.$$

$$= \frac{MY/I}{E} = \frac{y\,Q}{dx} = \frac{MY}{EI}$$

$$\text{انحنا} = \frac{\frac{dy/dx}{dx^2}}{(1+(\frac{dy}{dx})^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{dy^2}{dx^2} = y''$$

$$\frac{M}{EI} = y''$$

روشهای محاسبه تغییر شکل(تغییر مکان یا خیز،چرخش یا دوران)

الف: برای محاسبه تغییر مکان در یک نقطه ویا یک جهت معین

1- روش کار مجازی(روش بار واحد)

2-روش انرژی

ب: روش هایی که از آن تغییر مکان چند نقطه به طور هم زمان محاسبه شود

1-روش لنگر سطح

2- روش بار الاستیک

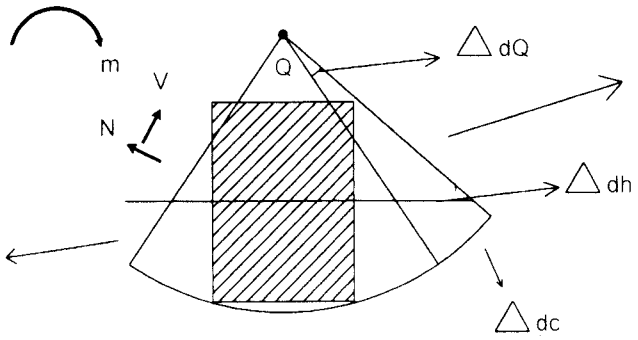
3- روش تیر مضاعف یا تیر مزدوج

4-روش ترسیمی

****

روش کار مجازی:

هرگاه سازه انحطاف پذیری تحت اثر بار خارجی در حال تعادل باشد وبه آن تغییر مکان مجازی اعمال گردد کار انجام یافته توسط نیروهای خارجی،با کار انجام گرفته توسط نیروهای داخلی برابر خواهد بود.یا به عبارت دیگر هر گاه جسم ارتجاعی تحت اثر دستگاه نیروی خارجی Q در حال تعادل باشد وپس از تحمل تغییر شکل کوچک ومجازی در حال تعادل باقی بماند،کار انجام شده توسط نیروی خارجی برابر با تغییر شکل مجازی داخلی جسم خواهد بود. Wint=Wext



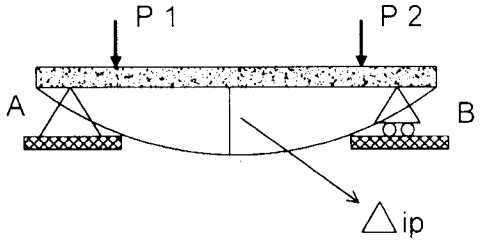
تغیـــیر شـــکل مجازی اعمال شـده

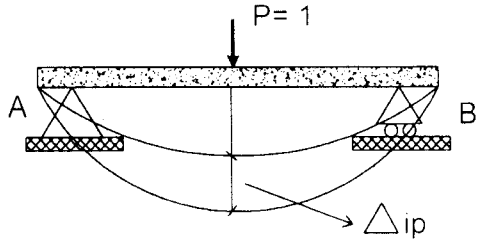
تغیـــیر شـــکل در اثـر بـار خارجی

$$W_{int}=W_{ext} \Longrightarrow P_i \triangle_i + M_i Q_i = M. \triangle dQ + V. \triangle dh + N. \triangle ds$$

خرپا $Z\, p_i \triangle_i = ZNds$

روش بـار واحد:





$$P * \triangle ip = \left\} Mxi * \triangle dQ + \left\} Vxi * \triangle dh + \right\} N * \triangle ds$$

$$\triangle dQ = \frac{Mxp}{EI} dx \qquad \triangle ds = \frac{Nxp}{EA} dx$$

$$\triangle dh = vxp * \frac{\& dx}{GA}$$

$$\& \text{ :ضـــریب شـــکل} = \begin{cases} \text{مقطـع دایـره \&:} & \frac{1}{10} \\ \text{مقطـع مســـتطیل \& :} & \frac{6}{5} \end{cases} \qquad G = \frac{E}{1+V}$$

$$\triangle ip = \left\} Mxi * Mxp * \frac{dx}{EI} + \left\} Nxi * Nxp * \frac{dx}{EA} + \right\} Vxi * Vxp * \frac{\&dx}{EA}$$

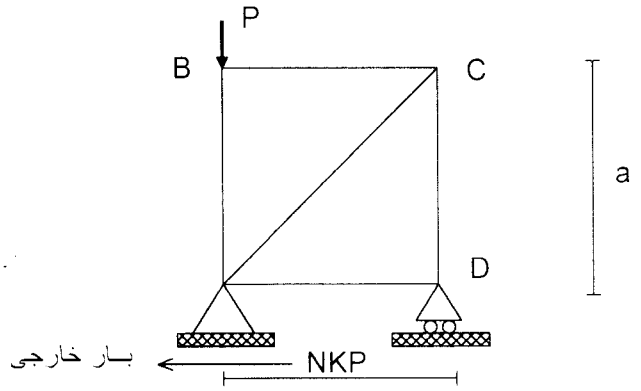
در اثـر لنگـر خمشـی در تیرهـا — در اثـر نـیروی محوری در خرپـا — در اثـر بـرش

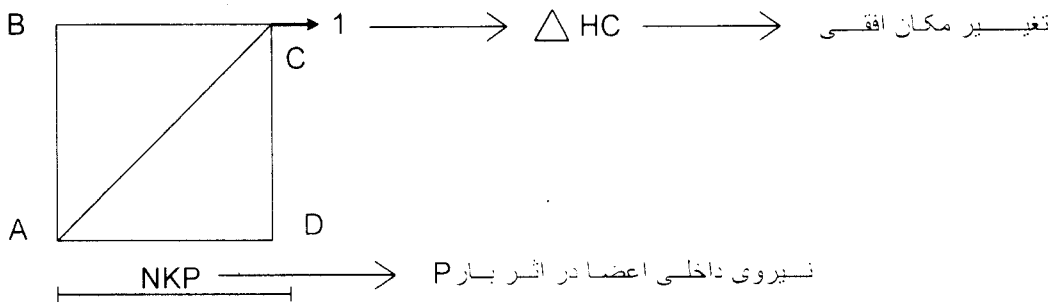
$$\text{در خرپـا } \triangle ip = Z\ NKi \triangle .NKP\left(\frac{L}{EA}\right) K$$

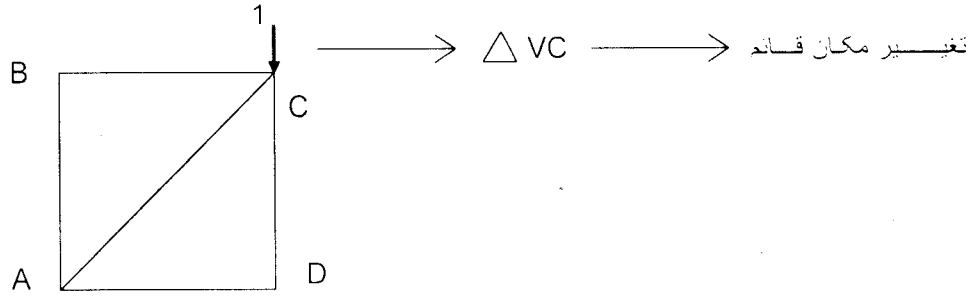
محاســبه تغیـــیر شــکل بــا اســـتفاده از بــار واحد

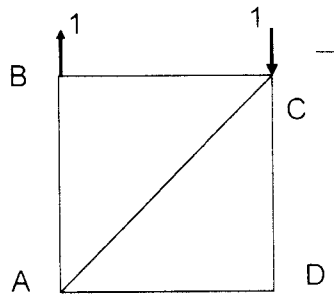
$$\text{در تیرهـا } \triangle ip = \int Mxi * Mxp * \frac{dx}{EI}$$

$$\text{در خرپـا } \triangle ip = Z\, NKi \triangle . NKP\left(\frac{L}{EA}\right) K$$



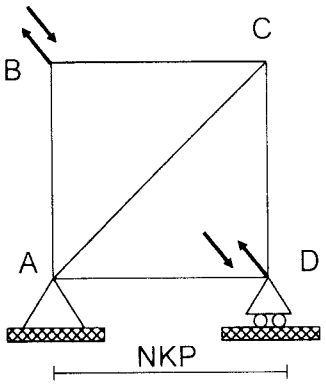






$\triangle QBC$ ⟶ دوران

دور یـا نزدیـک شـدن نقـاط B و C



$$\triangle = \sqrt{\triangle HC^2 + \triangle VC^2}$$

عوامل تغیـــیر شـــکل

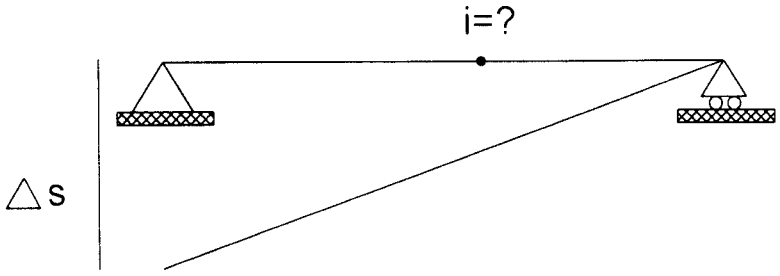
-بارخـــارجی P

-دما $\triangle T$ ⟵ $\triangle iT = ZNKi^* \triangle LT$

$\triangle LT = L\&^* \triangle T$

-نشســـت تکیـــه گـاه $\triangle S$

عامل نشســت تکیـــه گـاه:



$$\triangle i = -zR \cdot \frac{1}{ki} * \triangle s$$

عکس العمل تکیـــه گـاهی که نشســـت کرده

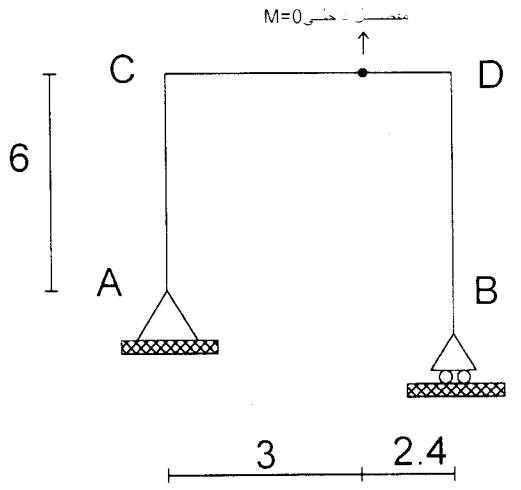
قـاب ها

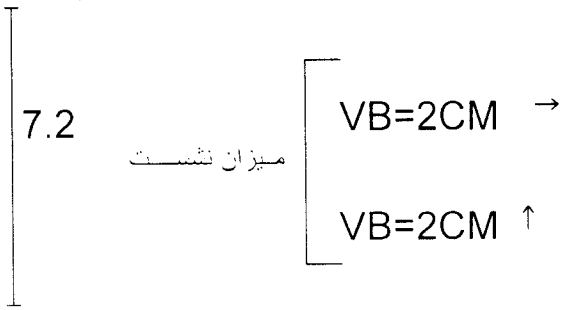
-اثـر بـار p

$$\triangle ip = \int MXi * MXb * \frac{dx}{EI} + \int NXi * NXp * \frac{dx}{EA}$$

اثـر نشســت تکیـــه گـاه

مثـال: تغیـــیر مکـان قـــائم وافقـــی نقـاط C و D را در اثـر نشســت تکیـــه گـاه B بدســت آوریـد





روش بـار واحد:مقدار تغیـــیر شـکل در یـک نقطـه

-روش مـرکز سـطح

-روش بـار الاســـتیک:بـرای تعییـــن مقدار تغیـــیر شـکل در چند نقطـه

-روش تـــیر مزدوج

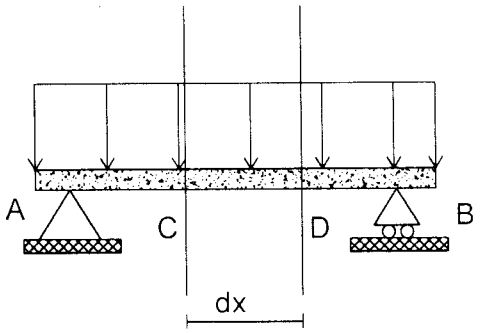
روش لنگـــر سـطح:

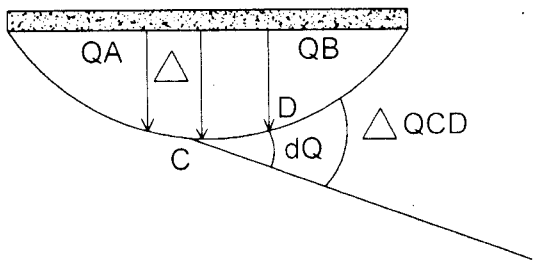
-منحـنی تغیـــیر شـکل(منحـنی الاسـتیک) در نظـر گرفتـــه می شـود

-درفاصـــله ای کـه ایـن روش بکـار می رود بایـد منحـنی تغیـــیر شـکل پیوســـته باشـد.

یعـــنی مفصـــل داخلـی وجود نداشـــته باشـد

-ایـن روش یـک روش حقیقـــی نیســـت یعـــنی نمـی شـود از ایـن روش تغیـــیر شـکل را بـه طور مســـتقیم بدســـت آورد.

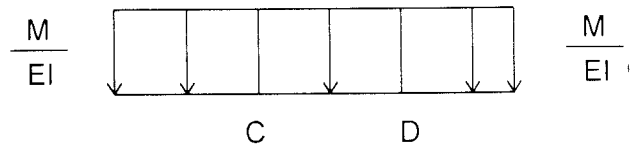




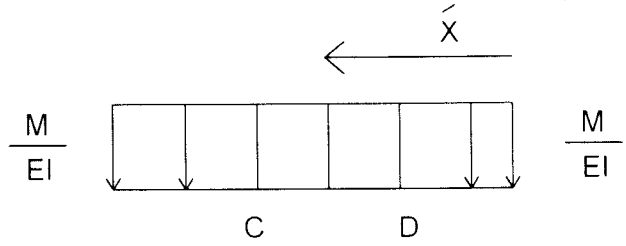
$$dQ\ CD = \frac{M}{EI} * dx \qquad \left.\begin{matrix} D \\ \\ C \end{matrix}\right\} dQ = \triangle QCD = \left.\begin{matrix} D \\ \\ C \end{matrix}\right\} \frac{M}{EI} * dx$$

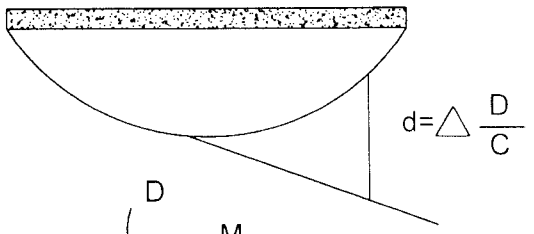
قضـــیه اول لنگـــر سـطح:

اختـــلاف زاویـه بیـــن مماس های مرسوم در دو نقطـه C و D بـــرابر است بـا سـطح زیـر منحـنی $\frac{M}{EI}$ در فاصـــله بیـــن دو نقطـه C و D



قضـــیه دوم لنگـــر سـطح:





$$\triangle \frac{D}{C} = \int_{C}^{D} \bar{X} \triangle QCD = \int_{C}^{D} \bar{X} \frac{M}{EI} = dx$$

در یـک منحـنی الاســـتیک انحـراف نقطـه D واقـع بـر روی منحـنی از مماس مرسوم بـر نقطـه C واقـع بـر روی منحـنی مساوی لنگـــر سـطح واقـع در زیـر منحـنی $\frac{M}{EI}$ بیـــن نقـاط C و D نســـبت بـه محور قـــائم گذرنـــده بـر نقطـه D

علامت ها:

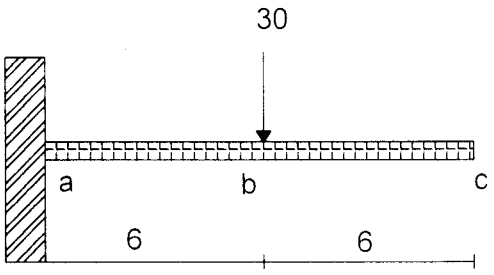
زاویـه QCD △ومساحت زیـر منحـنی $\frac{M}{EI}$ دارای علامت یکســـانی هســـــتند،یعنی اگـر $\frac{M}{EI}$ مثبـــت باشـــد دلیـــل بـــر ایـــن است کـه از C بـه D حرکـت نمـــاییم،مماس مرسوم بـر منحـنی الاســـتیک در خلاف عقربـــه های ساعت حرکـت می کنـــد.

علامت $\triangle \frac{D}{C}$ یعـنی $\triangle C - \triangle D$

اگـر زیـر سـطح منحـنی $\frac{M}{EI}$ مثبـت باشـد،لنگر اول آن نسـبت بـه محور قـائم مثبـت واگـر منفـی باشـد ایـن لنگـر منفـی می باشـد.یعـنی نقطـه ای بـا انحـراف مثبـت در بـالای مماس مربوطـه ونقطـه ای بـا انحـراف منفـی در پـایین مماس مربوطـه قـرار می گـیرد.

مثـال:

بـا اسـتفاده از روش لنگـر سـطح Qb و $\triangle b$ و $\triangle c$ رابدسـت آوریـد

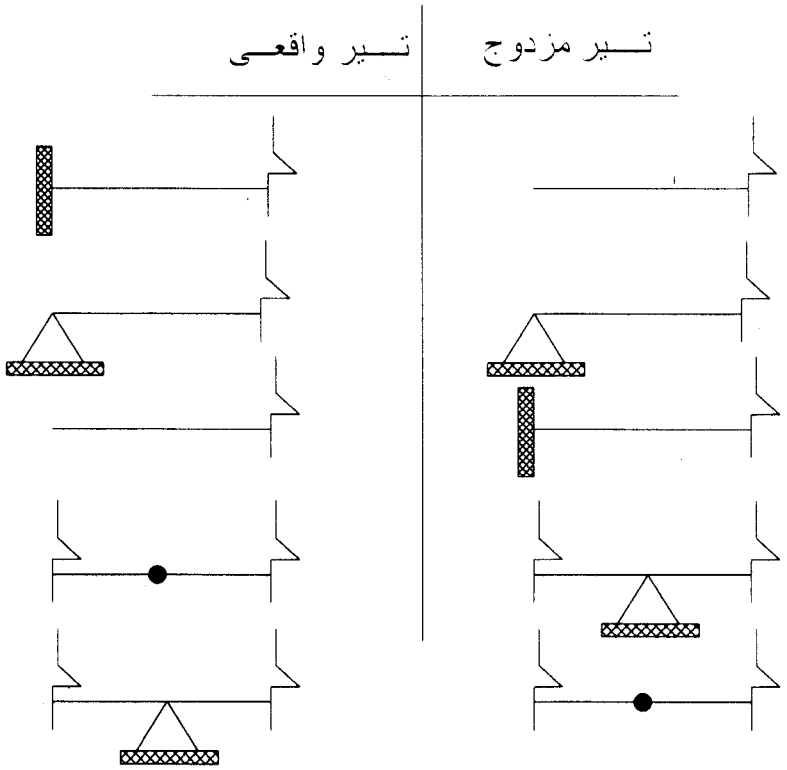


روش تـیر مزدوج:

بـا توسـعه روش لنگـر سـطح روش دیگـری بـه نـام روش تـیر مزدوج حاصـل می شـود.در ایـن روش تـیری بـه طول تـیر اولیـه بـا بـاری معادل $\frac{M}{EI}$ در نظـر گرفتـه می شـود.

ایـن تـیر کـه تـیر جانشـین یـا مضاعف یـا مزدوج نامیـده می شـود دارای بـار $\frac{M}{EI}$ بـوده واز چنـان تکیـه گـاهی بـرخوردار است کـه هرگـاه در هر نقطـه از آن لنگـر محاسـبه شـود،مقدار جابجـایی در تـیر واقعـی وهر گـاه در هر نقطـه ای بـرش محاسـبه شـود شـیب یـا دوران را در تـیر اولیـه ودر نقطـه متنـاظر می تـوان بدسـت آورد.

شــرایط تکیـــه گـاهی:



مثـال:

بـا اســـتفاده از روش تـــیر مزدوج△Bو QC را محاســبه نمایید؟