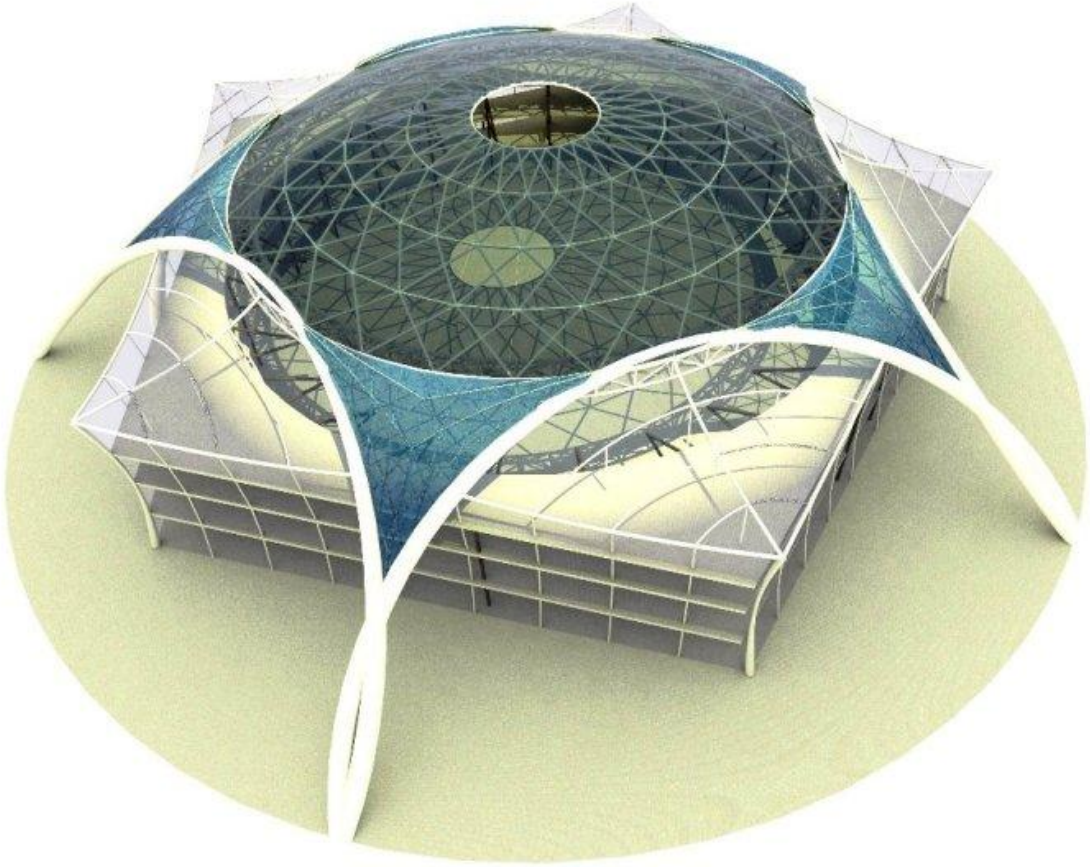
# تحلیل سازه ها



**تالیف:حسین معز**

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

## فهرست مطالب


۱) سازه ها-پایداری-معینی ونامعینی

۲) رسم نمودار نیروهای داخلی

۳) رسم نمودار نیروهای داخلی

۴) خطوط تاثیر

۵) روابط شیب -افت

۶) روش های انرژی

۷) روش های تقریبی

**سازه:**

سازه به مجموعه ای از اعضا اطلاق می شود که با اتصالات خاصی به یکدیگر متصل شده اند و جهت تامین کاربری خاصی، بارهای وارده را به نحو ایمن جذب کرده و از طریق تکیه گاهها به زمین منتقل می کنند.

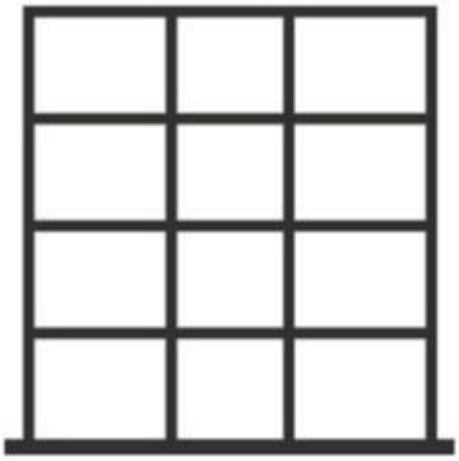
**تحلیل سازه ها:**

به مجموعه ای از روش های ریاضی اطلاق می شودکه برای تعیین نیروهای داخلی اعضا، بسط داده شده اند .

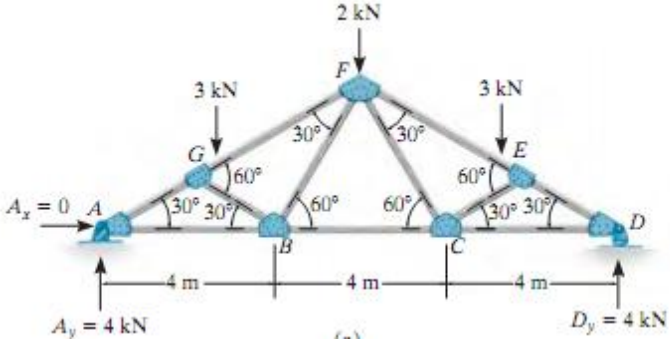
**انواع روش های تحلیل سازه ها:**

- ❖ استاتیکی ⟷ دینامیکی
- ❖ دوبعدی ⟷ سه بعدی
- ❖ خطی ⟷ غیر خطی ( ۱-مواد ۲-هندسی)
- ❖ معین ⟷ نامعین

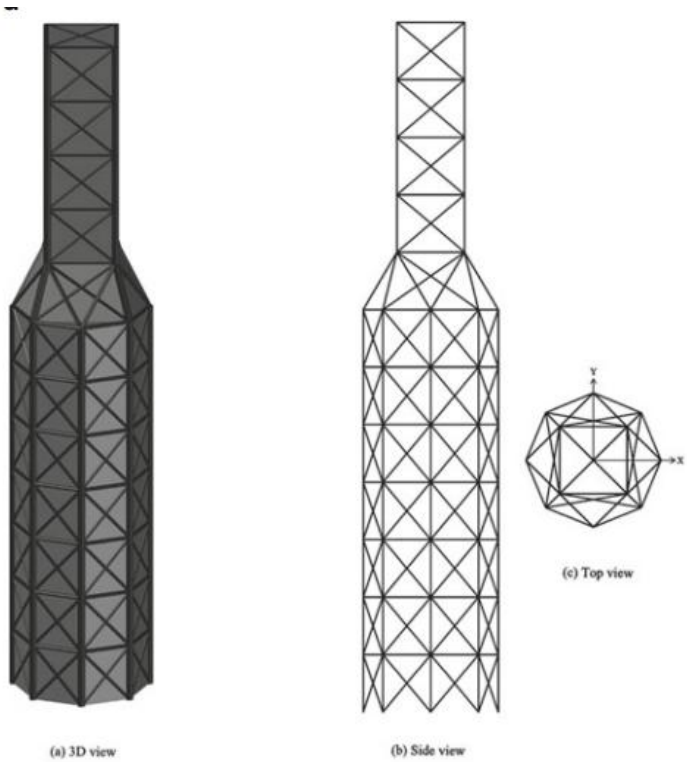
**انواع سازه ها:**



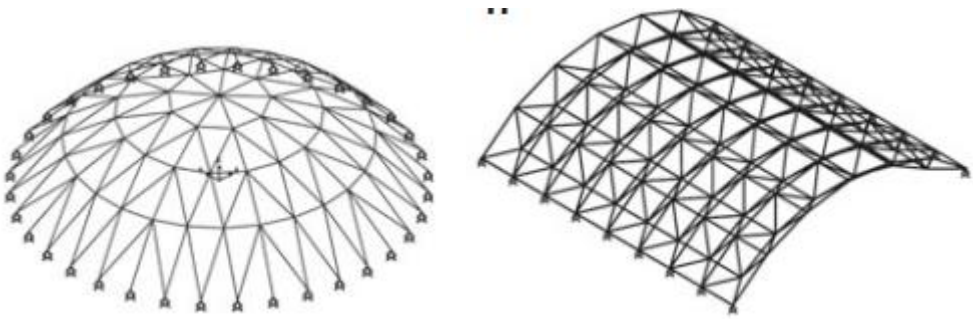
✓ قاب (اسکلتی –استخوانی)




✓ خرپای دو بعدی

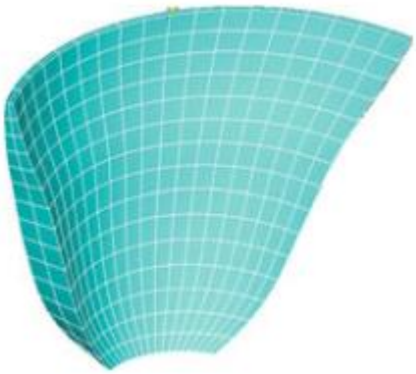



خرپای سه بعدی



سازه فضاکار ( گنبد، چلیک و ... )

✓ پوسته ای یا صفحه ای



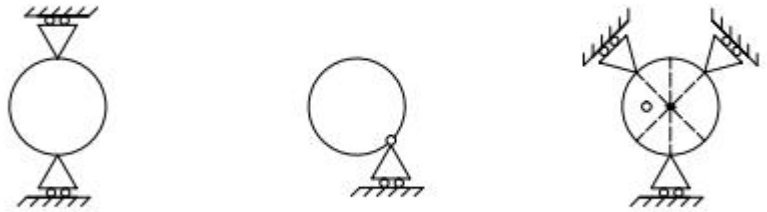
✓ حجمی

## انواع ناپایداری سازه ها:

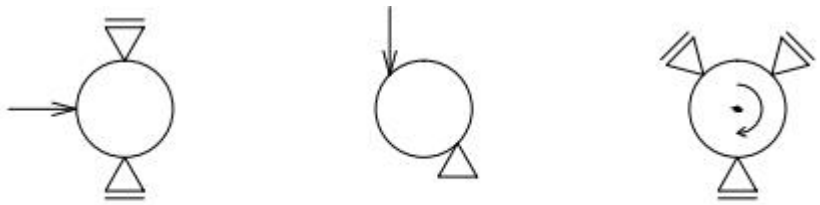
### الف) نا پایداری خارجی :

۱) **درجه نامعینی منفی باشد.** درجه نامعینی به صورت اختلاف تعداد مجهولات و تعداد معادلات تعادل تعریف میشود. در صورت منفی بودن این مقدار، تکیه گاه به اندازه کافی وجود ندارد. بنابراین، تعادل پایدار برقرار نخواهد شد و سازه شروع به حرکت خواهد کرد. در حقیقت چنین مساله ای در علم دینامیک قابل بررسی و مطالعه است.

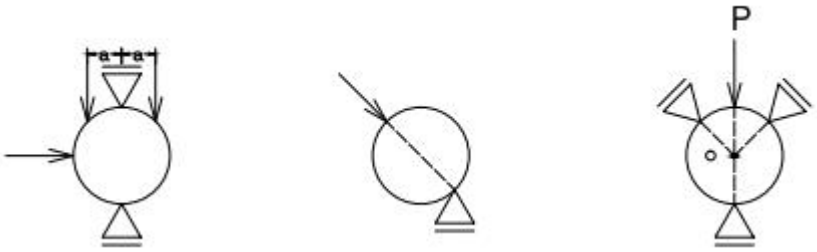
۲) **عدم تعبیه مناسب تکیه گاهها.** در چنین مواردی تکیه گاهها به اندازه لازم وجود دارند ولی به درستی تعبیه و چینش نشده اند. در نتیجه سازه ناپایدار خواهد بود.



✓ بارگذاری منجر به ناپایداری:



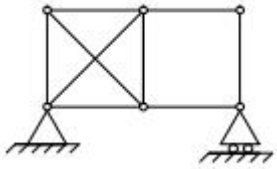
✓ بارگذاری منجر به پایداری:



## ب) نا پایداری داخلی:

۱) **درجه نامعینی منفی باشد.** در صورت منفی بودن این مقدار، قید و بست داخلی به اندازه کافی وجود ندارد و سازه شروع به حرکت خواهد کرد.

۲) **در سازه ها کاخ وکوخ داشته باشیم**.به عبارت دیگر اعضا به خوبی در سازه استفاده نشده باشند. در این مورد درجه نامعینی منفی نیست ولی سازه ناپایدار خواهد بود.



۳) **سه مفصل در یک امتداد باشند.** در این حالت سازه تغییر مکان های بزرگی از خود نشان خواهد داد و به تعبیری ناپایدار خواهد بود.

۴) **اتصال نامناسب در سازه های چند بخشی.**

## • تعیین درجه نامعینی استاتیکی :

Degree of statical Indeterminacy

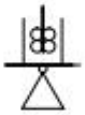
✓ رابطه اصلی تعیین درجه نامعینی سازه ها:

تعداد معادلات – تعداد مجهولات = درجه نامعینی استاتیکی

مجهولات شامل نیروهای عضوی و عکس العمل های تکیه گاهی می باشند.

معادلات شامل معادلات تعادل و شرط های داخلی سازه( از قبیل مفصل و ... ) می باشد.

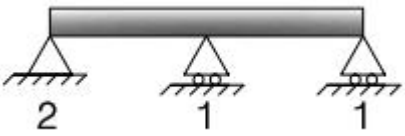
انواع تکیه گا ه های دوبعدی و تعداد مجهولات:

| | | | | | | |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Px | ✓ | – | ✓ | – | ✓ | – | ✓ | – |
| Py | ✓ | ✓ | – | – | ✓ | ✓ | – | – |
| M | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | – | – | – | – |

در یک مساله دو بعدی تعداد $۲^{۳}$ تکیه گاه میتوان تعریف کرد. این مقدار در یک سازه سه بعدی به $۲^{۶}$ عدد خواهد رسید. ساخت و استفاده از تمامی این تکیه گاهها غیر عملی بوده و فقط جنبه تئوریک دارند.

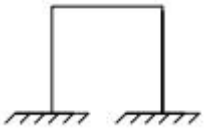
مثال :

تیر سراسری DSI=4-3=1

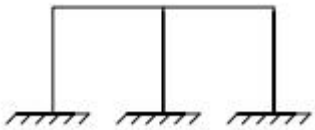



تیر دو سر گیردار DSI=6-3=3

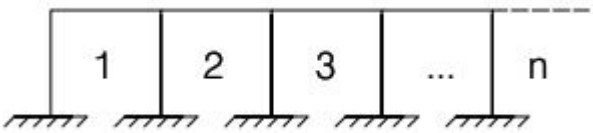
قاب یک طبقه و یک دهانه DSI=6-3=3



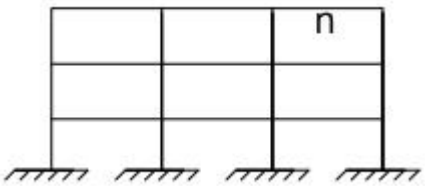
قاب دو دهانه DSI=9-3=6



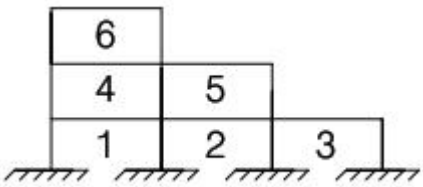
قاب n دهانه DSI=3n




قاب با nچشمه DSI=3n




DSI=6× 3 = 18



# تعیین درجه نامعینی قابها

درجه نامعینی قاب دو بعدی:$DSI=3(M-N+1)$

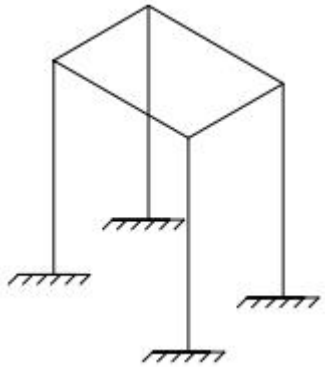
درجه نامعینی قاب سه بعدی:$DSL=6(M-N+1)$

به شرطی که گره های متصل به زمین را یکبار شمارش می کنیم

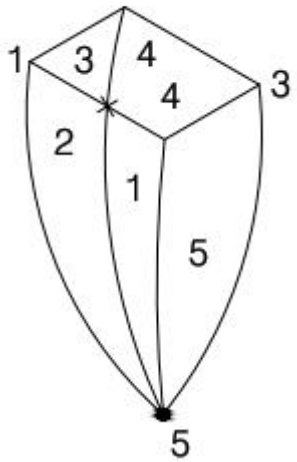
تعداد اعضا=M

تعداد گر ها =N

مدل ریاضی



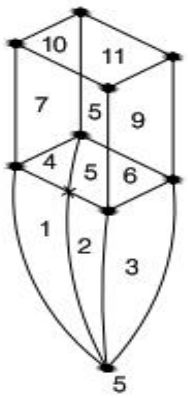
$DSI=6(8-5+1) = 24$




$DSI=6(R_i(s^p)-c\ (s^p)\ )$

تقاطع های ترسیمی صفحه ای=$c(s^p)$،

نواحی داخلی ترسیم صفحه ای=$R_i(s^p)$




DSI= 6(11-3)=48

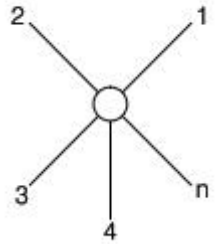
**آزاد سازی داخلی در تعیین درجه نامعینی:**

شرط جدید

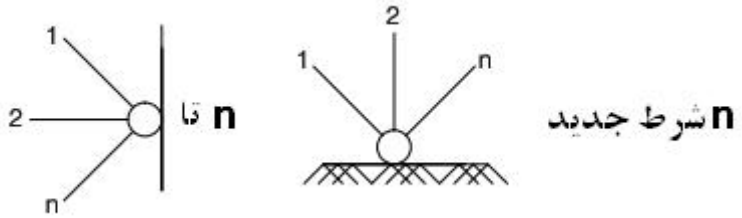
DSI= 4 - 3 - 1 = 0

تعداد عکس العمل ها — معادلات تعادل — شرط مفصل

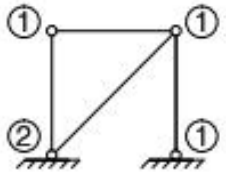
DSI=5-3-1=1



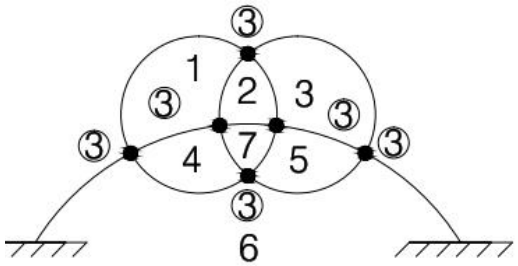

(n-1) شرط جدید




۵ شرط مفصلی




درجه نامعینی: $3 \times 2 - 5 = 1$

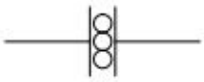



شرط: 12+6=18

نواحی:6

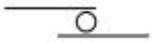
درجه نامعینی: $7 \times 3 - 18 = 3$

انواع دیگر مفاصل:



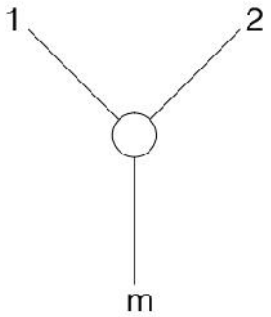
۱شرط مفصل برشی (بلغزند)

۱شرط مفصل محوری (دور شوند)



۲شرط مفصل خمشی –محوری

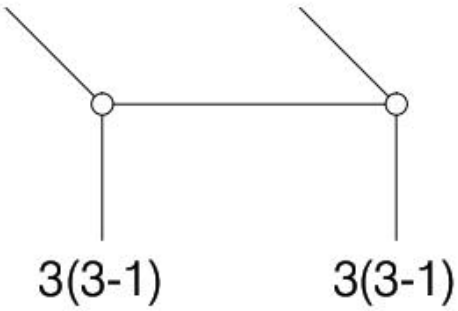
- مفاصل در قاب های فضایی

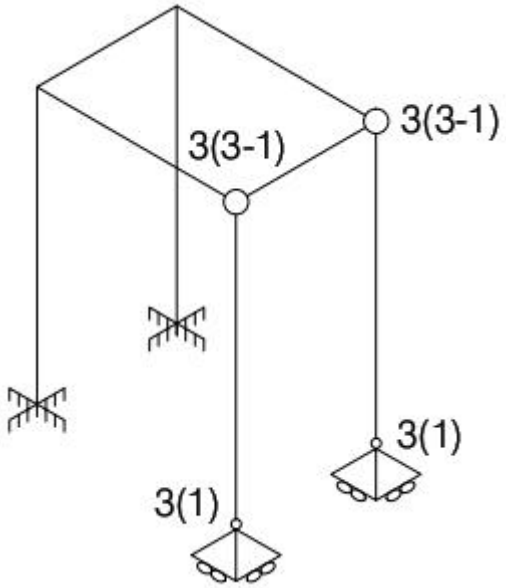



شرط جدید: 3(m-1)

**حالت خاص :**

میله دو سر مفصل نا پایدار است مجبوریم یکی از شرط ها را حذف کنیم





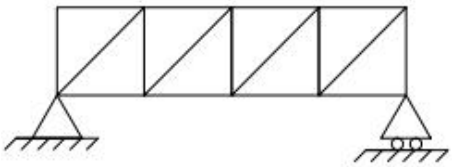

6(8-5+1)

سه میله دو سر مفصل وجود دارد

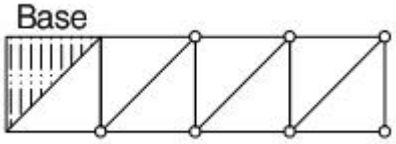
$6 \times 4 - (20 + 3) = 1$=درجه نا معین

## تعیین درجه نامعینی خرپاها:

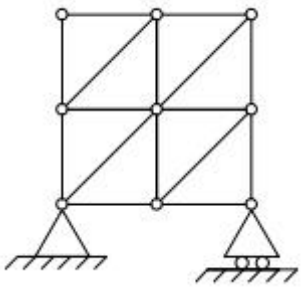
✓ تئوری تشکیل خرپا:



DSI=(m+r-2j) =17+3-2*10=0 معین است




گره داخلی نداریم ← صفر * تعداد گره های داخلی برابر با درجه نا معینی است.



**۱ گره داخلی**

M+r-2j=16+3-2× 9=1

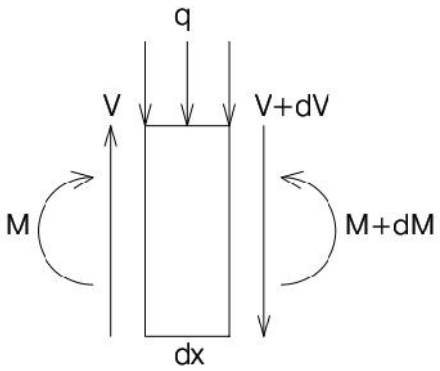
اگر خرپا همه ی اعضایش مثلثی نباشد *** درجه نامعینی=تعداد گره های داخلی–تعداد اعضای لازم برای مثلثی کردن

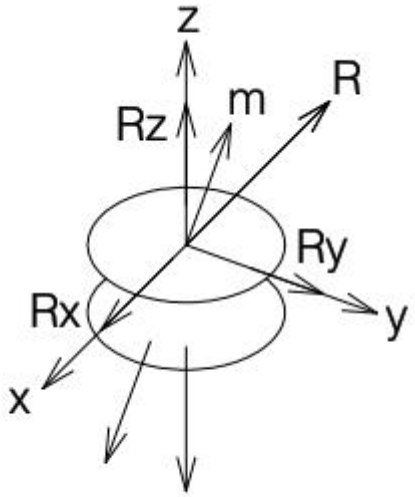
خر پای سه بعدی:

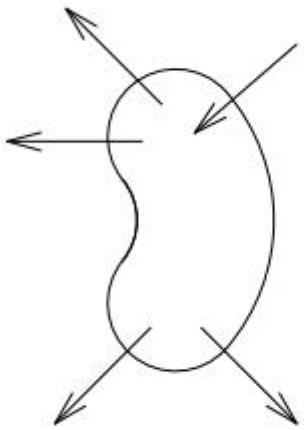
درجه نامعینی=M+r-3j

C $(s^p)$- $m_c$ $(s^p)$

## ترسیم دیا گرام نیروهای داخلی:





جسم در حالت تعادل

M , r بر آیند نیروهای حذف شده می باشند.

X, y , z دستگاه مختصات راستگرد متعامد

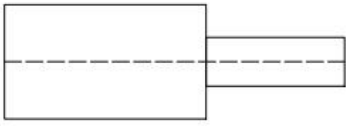
لنگر خمشی $m_x$ نیروی برشی $r_x$

لنگر خمشی $m_y$ نیروی برشی $r_y$

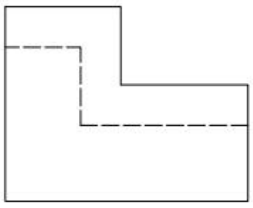
مماس بر محور اعضا لنگر پیچشی $m_z$ نیروی محوری $r_z$

**اعضا منشوری:**

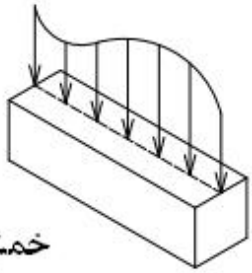
مکان هندسی مراکز سطح مقاطع یک منحنی هموار است.



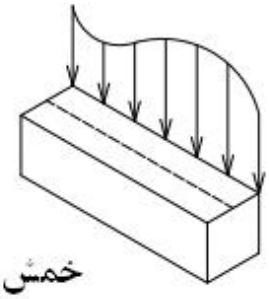
منشوری



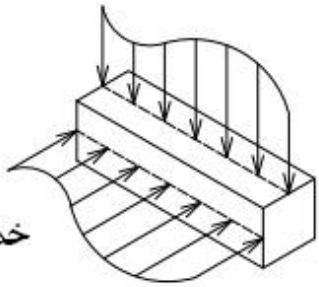
غیر منشوری



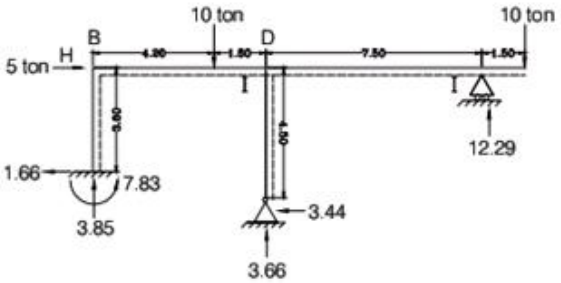
خمش یکطرفه

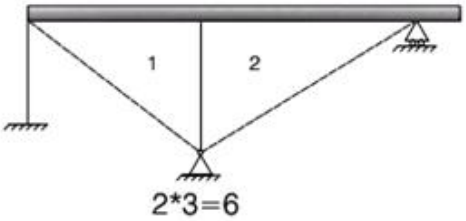


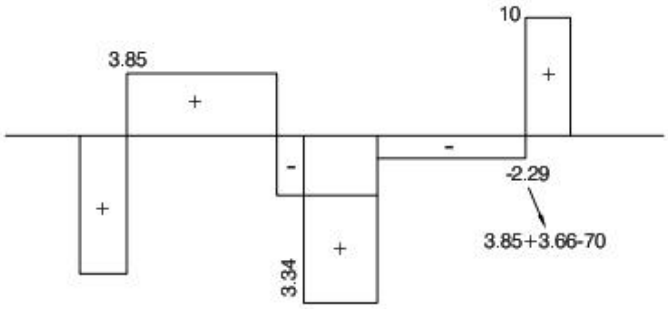
خمش دو طرفه

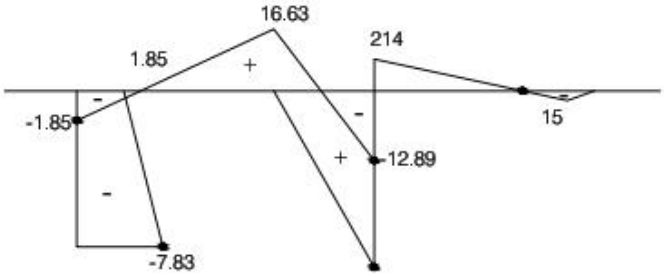


خمش+پیچش



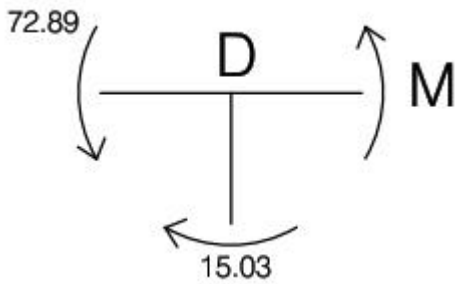



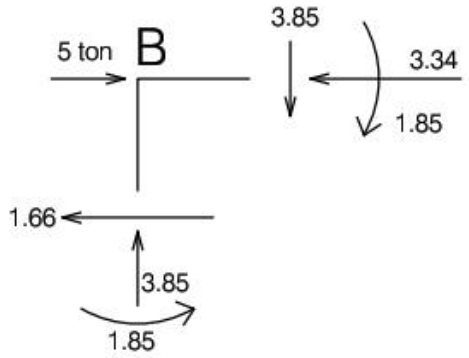



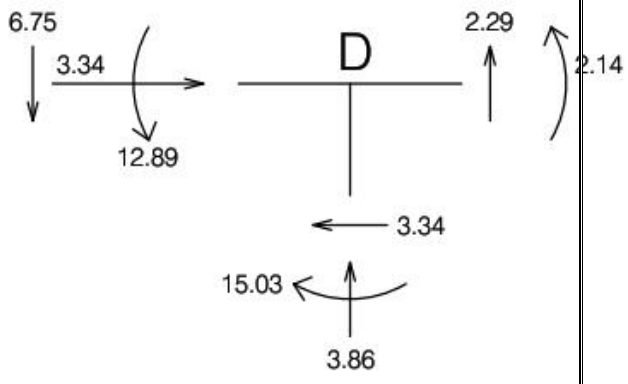

$$1.66 \times 3.6 - 7.83 = -1.83$$

$$-7.83 + 1.66 \times 3.85 \times 4.8 = 16.6$$




$SM_D$=72.89-15.03+M=0

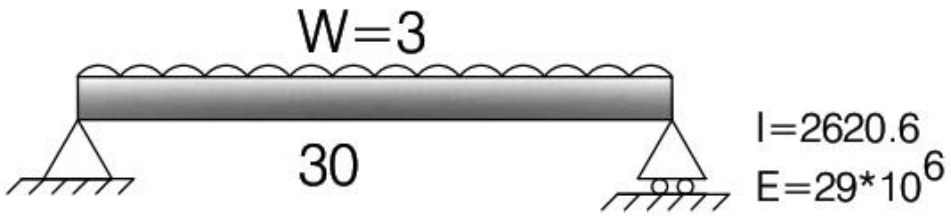

5 ton
B
3.85
3.34
1.85
1.66
3.85
1.85

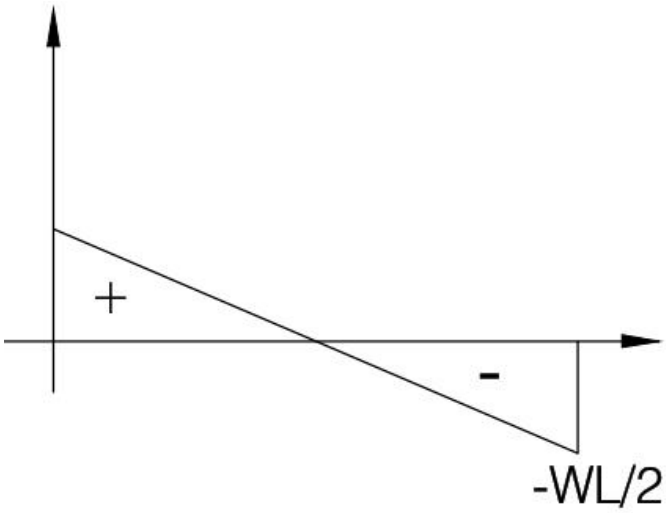

6.75
3.34
12.89
D
2.29
2.14
3.34
15.03
3.86

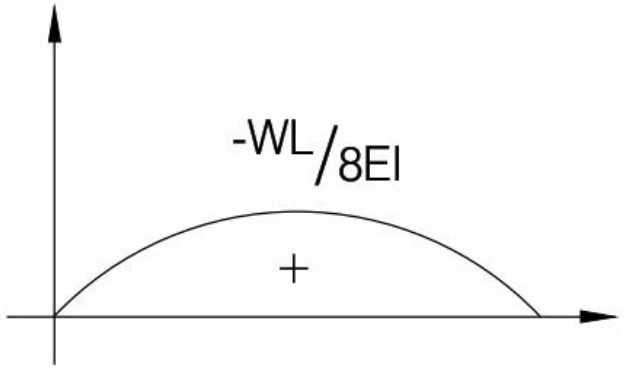
## روش بار الاستیک

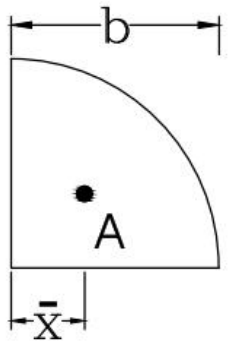
- معادله منحنی تغییر شکل تیر اصلی برابرمعادله لنگر خمشی تیر مجازی به طول تیر اصلی وبار گسترده $\frac{M}{EI}$ می باشد.
- معادله شیب منحنی تغییر شکل تیر اصلی مطابق معادله نیروی برشی تیر مجازی می باشد.
- لنگر خمشی مثبت، نیرو به سمت بالا ولنگر خمشی منفی،نیرو به سمت پایین ایجاد خواهد کرد.
- این روش برای حل مسائل با همان متغییر مفید است.
- این روش محدودیت هایی برای تیر های خاص دارد.

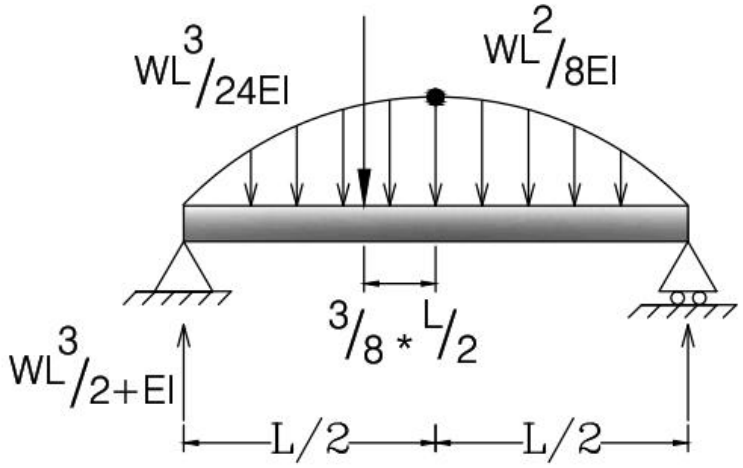
EX:مطلوب است محاسبه خیز در وسط دهانه:





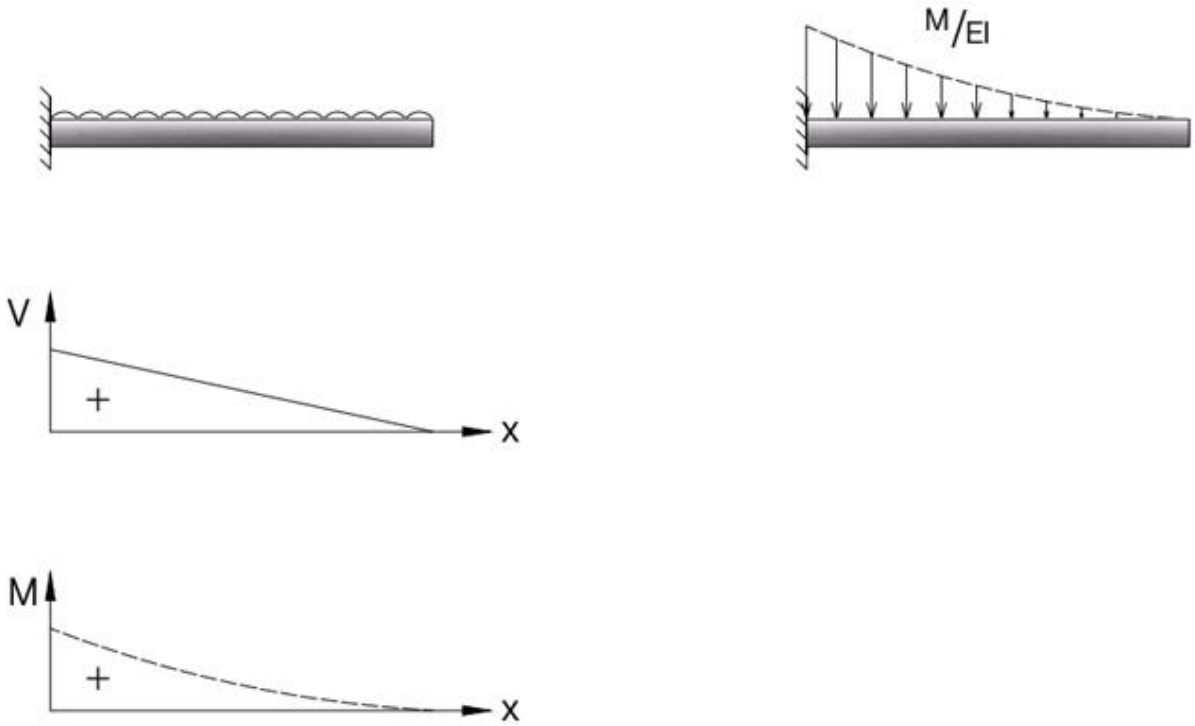




$$\left[\frac{wl^2}{8EI} \times \frac{l}{2} \times \frac{2}{3}\right] \times = \frac{wl^3}{24EI}$$

لنگر وسط دهانه تیر لاستیک $M_0 = \frac{wl^3}{24EI} \times \frac{l}{2}$

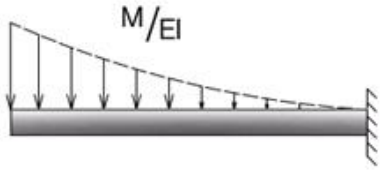
خیز وسط دهانه تیر $\rightarrow$ خیز تیر اصلی $\frac{wl^3}{24EI} \times \frac{3}{8}\frac{l}{2} = \frac{5wl^4}{384EI}$



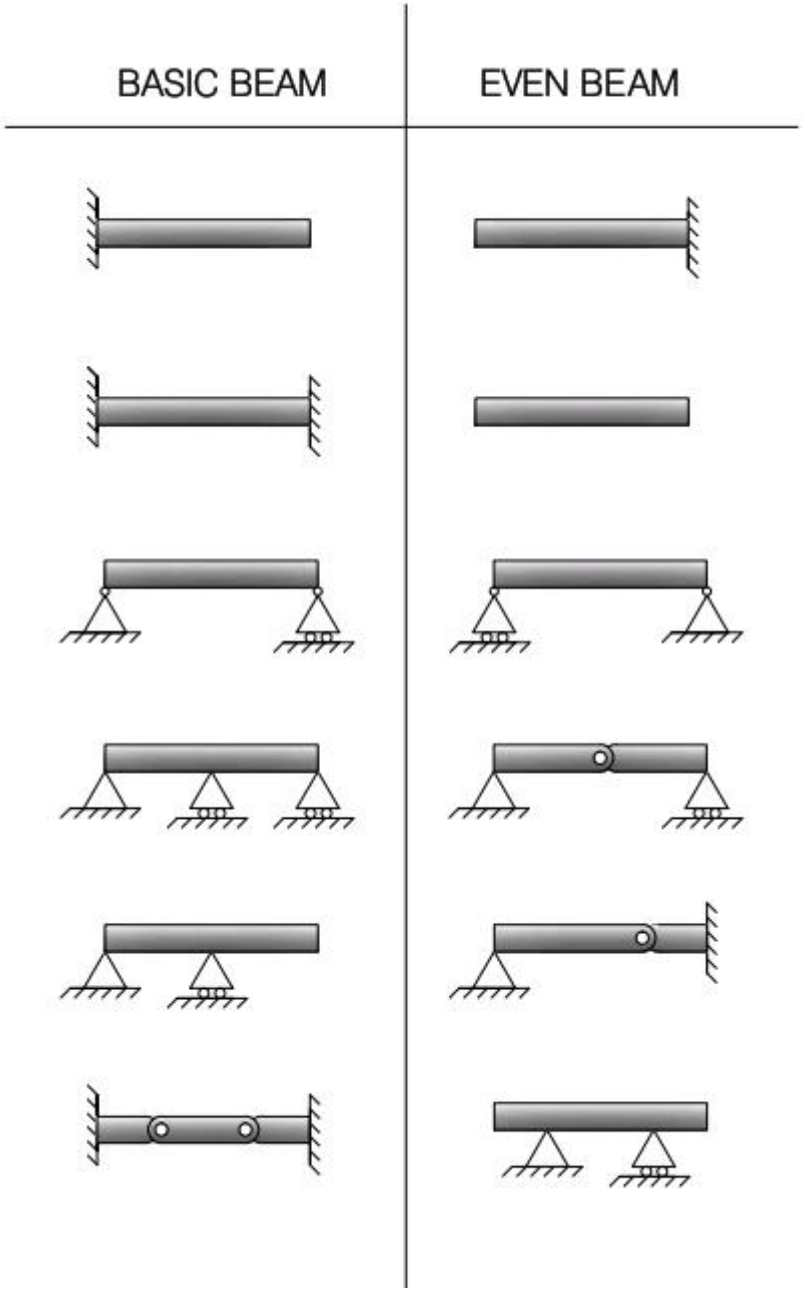

روش الاستیک برای این تیر جواب درستی نخواهد داشت.برش و لنگر انتهای الاستیک صفر است در حالی که زاویه وخیز تیر اصلی صفر نیست.

روش بار الاستیک فقط در تیر های ساده جواب صحیح خواهد داشت.

## روش تیر مزدوج

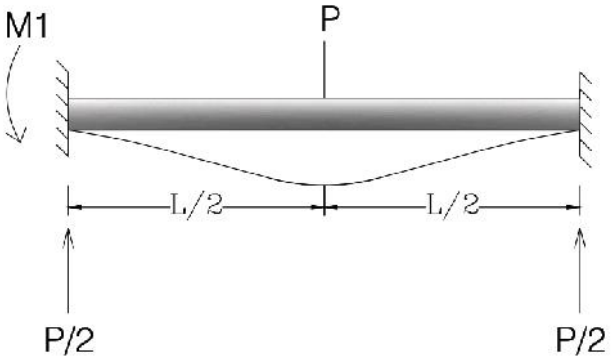



در تیر جدید برش ولنگر را محاسبه کنید وبه ترتیب زاویه وخیزتیر اصلی را به دست آورید.

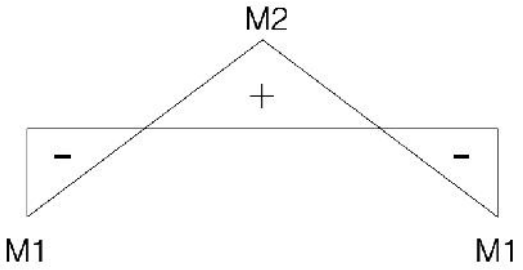

BASIC BEAM
EVEN BEAM

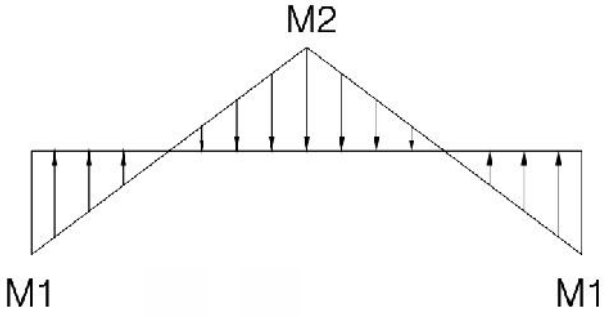
مثال :

برای حل سریع تیر های دو سر گیردار از روش تیر مزدوج می توان استفاده کرد.



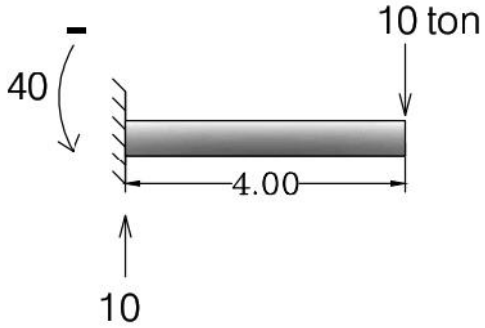

**نکته:** دیاگرام $\frac{M}{EI}$ در تمامی تیر های دو سر گیردار باید تعادل داشته باشد.

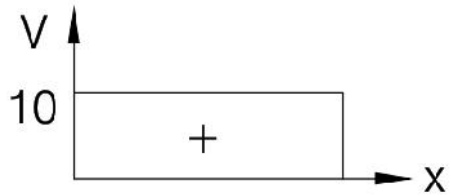


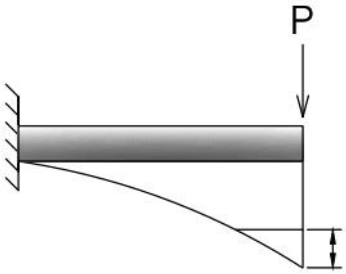



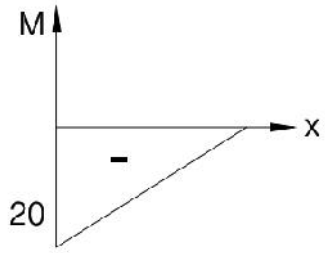

$\Longrightarrow$ تعادل تیر مزدوج $M_1 = M_2$

مطلوب است محاسبه خیز ودوران انتهای تیر روبرو



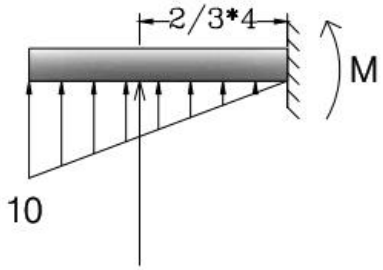



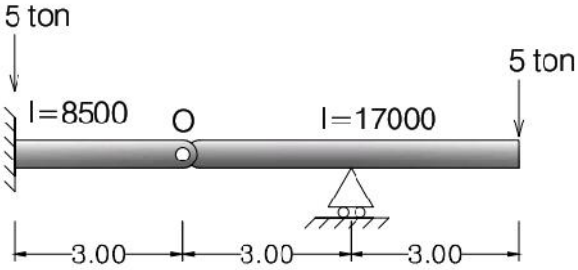

خیز تیر اصلی $\frac{640}{EI} = \left(\frac{1}{2} * \frac{40}{EI} * 4\right) * \left(\frac{2}{3} * 4\right)$ ←انتهای گیردار تیر مزدوج $m$

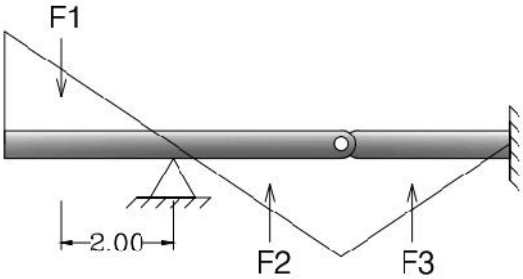
چک می کنیم با فرمول بالا اگر L=4 باشد $\frac{PL^3}{3EI}$ :

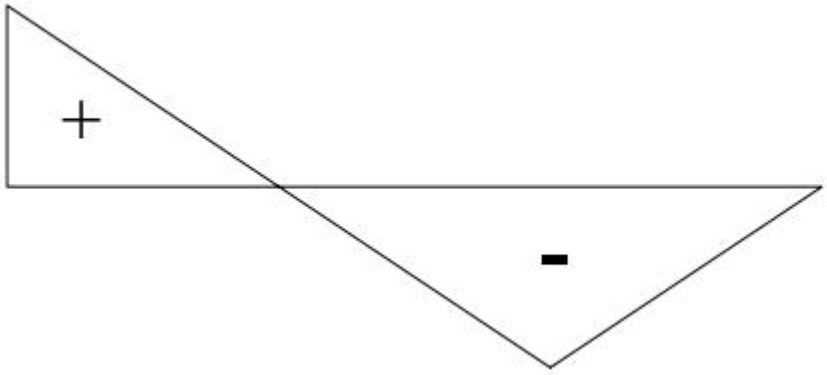


مثال:

تغییر مکان وخیز نقطه Oرا به دست آورید.



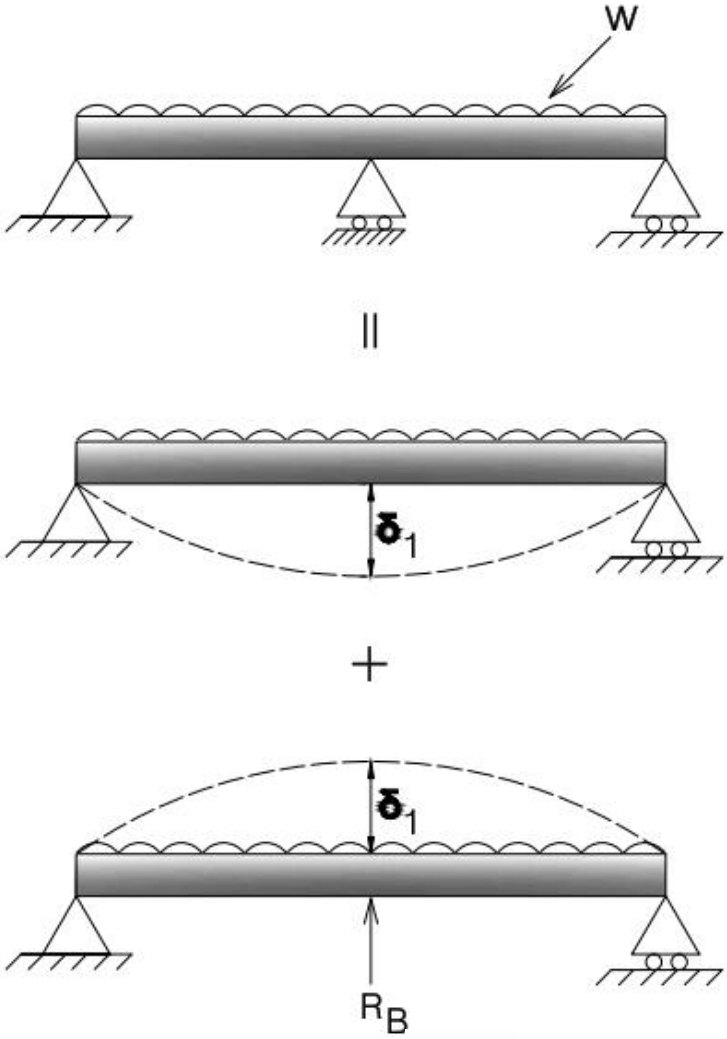



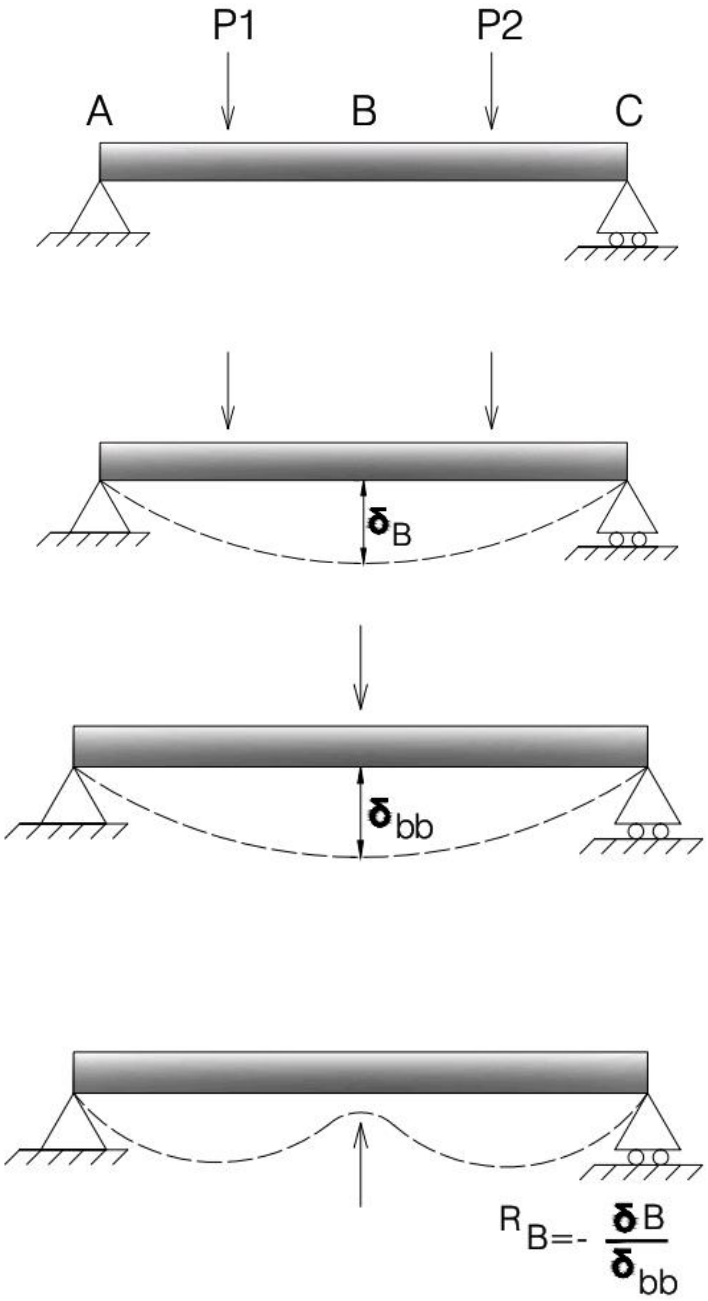
**حل مسائل نامعین (تیرها)**

سازگاری تغییر مکان ها(روش نیروها) Force method

Flexibility method




$$\delta_B + v_B \delta_{bb=0}$$




$\delta_{bb}$

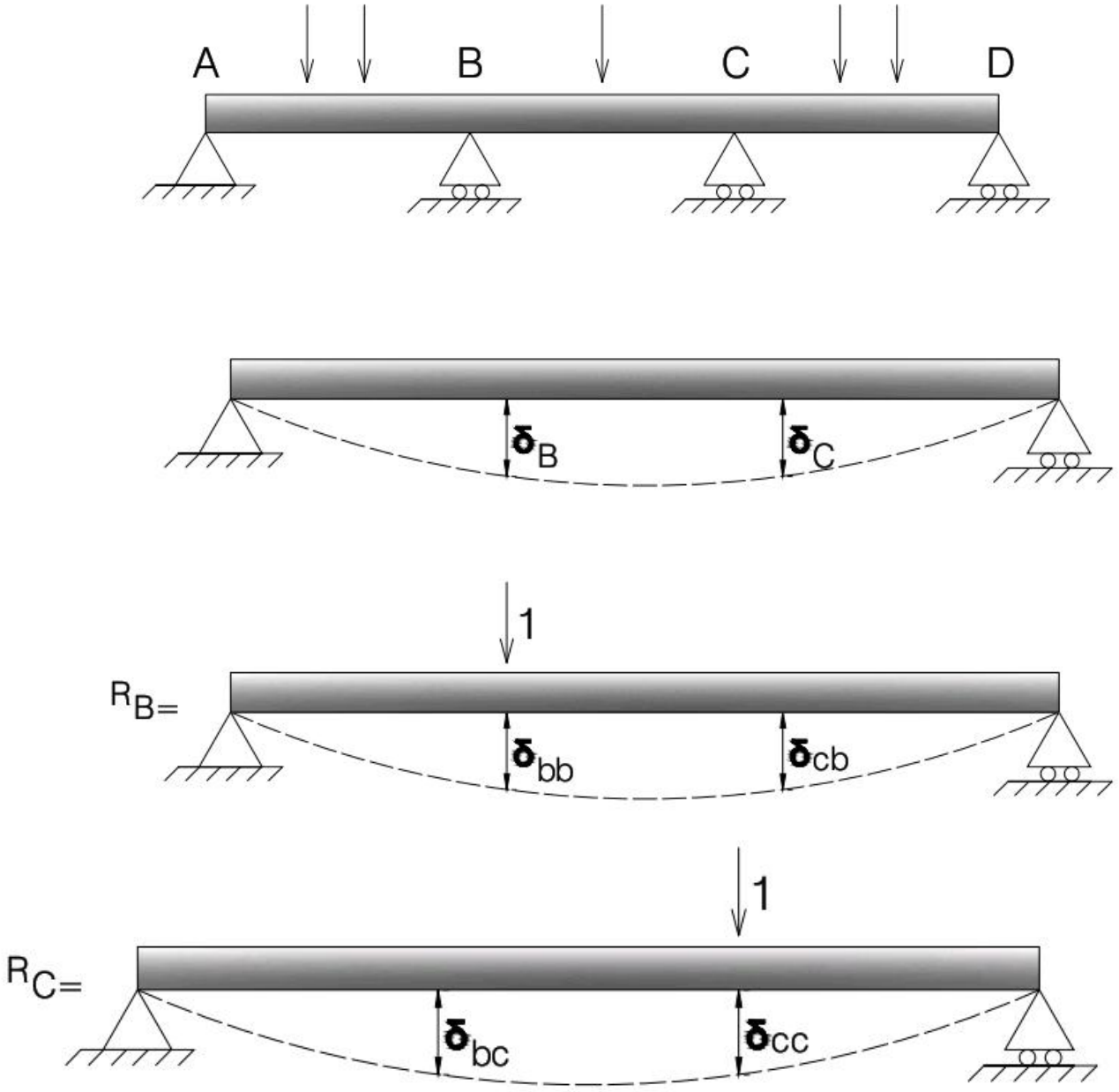
تغییر مکان در b  بار گذاری در b

$\delta_B + R_B \delta_{bb=0}$

مجموع تغییر مکان ها در محل تکیه گاه حذف شده است.

مثال:

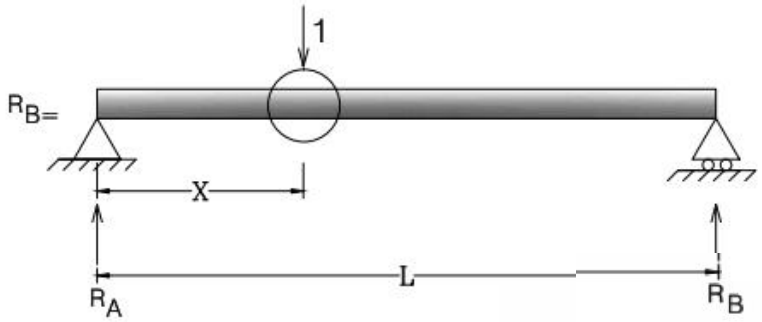
$$s_b + r_b\delta_{bb} +$$
$$\delta_c + r_b\delta_{cb} +$$



خط تاثیر _منحنی تاثیر

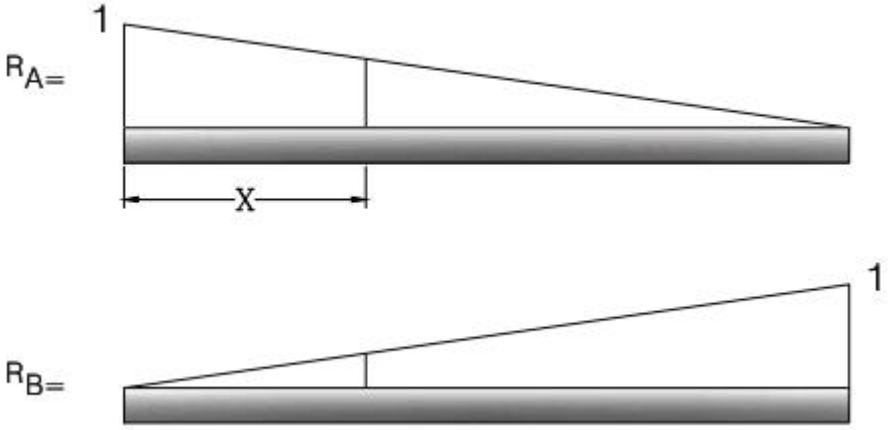
a) سازه های معین :

اگر بار واحد در طول تیر حرکت کند،عکس العمل $r_a$ چه تغییراتی خواهد داشت؟

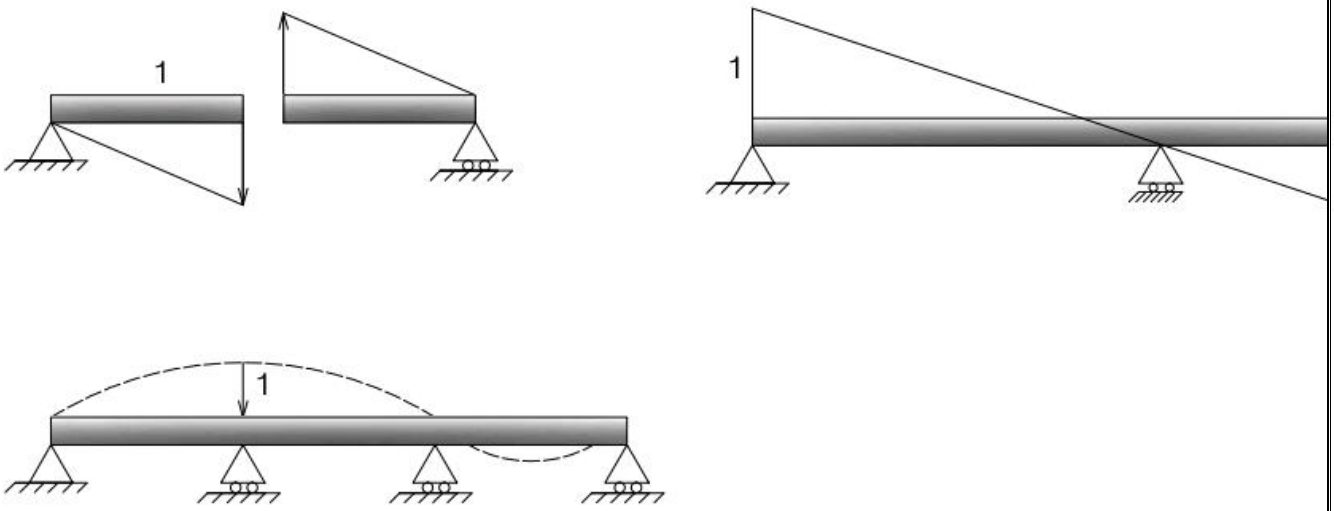



$$r_a = \frac{l-x}{l} r_b = \frac{x}{l}$$

ضمن تغییرات عکس العمل تکیه گاهی با بار متحرک واحد

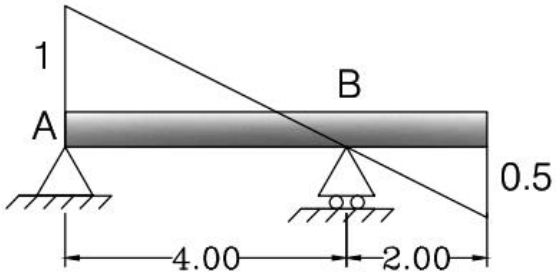


مثال:



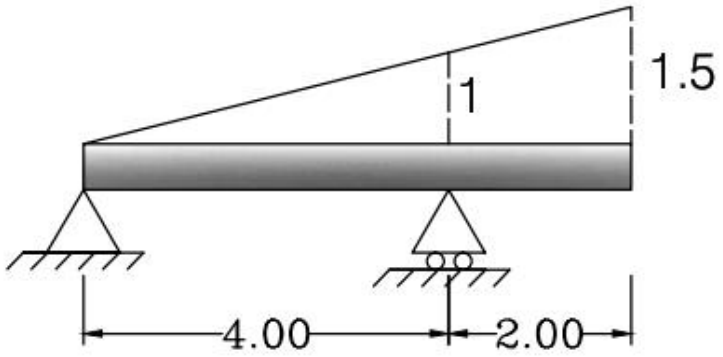

اگر به یکی از پارامترهای تیر مثل عکس العمل تکیه گاهی یا نیروی داخلی در یک محدوده کوچک اجازه عمل داده شود و تغییرشکلی در راستای قید مزبور ایجاد شود، در این صورت منحنی تغییر شکل سازه خط تاثیر پارامتر مورد نظر را با مقیاس معینی مشخص خواهد کردبه عبارت دیگر زمانی که یک جا بجایی متناسب به کار برده شود سازه خط تاثیررا ترسیم می کند.این مطلب به اصل مولر-برسلو معروف است.

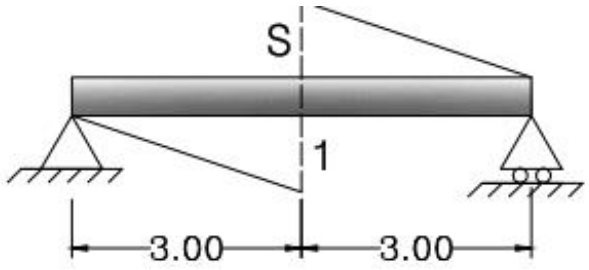
خط تاثیر عکس العمل تکیه گاه A

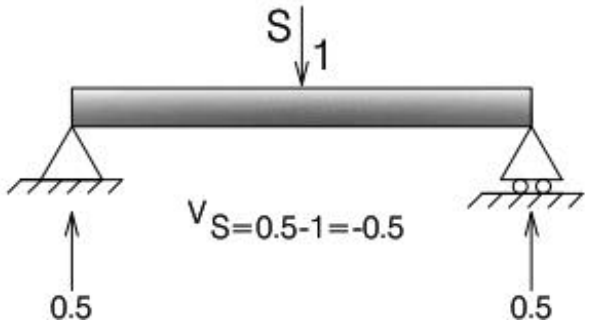



خط تاثیر عکس العمل تکیه گاه B

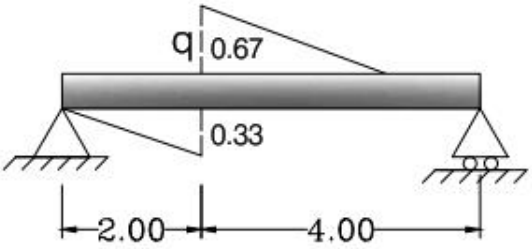
**خط تاثیر برش وسط تیر**

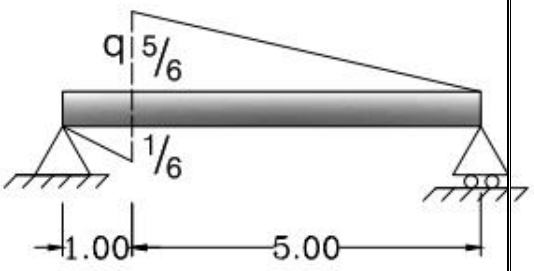


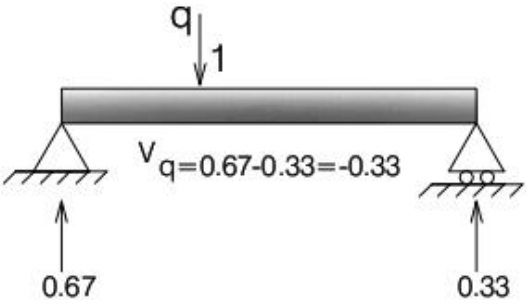



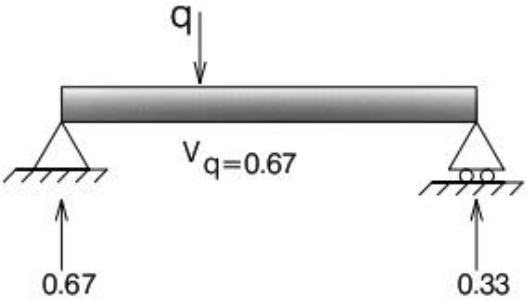



## خط تاثیر برش در مقطع

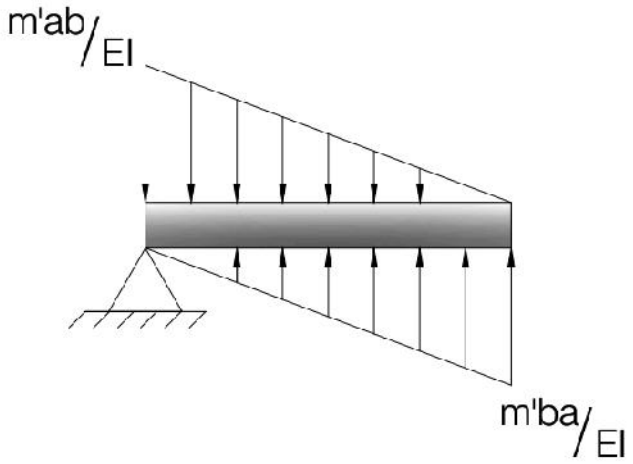


مزدوج:




تعریف مزدوج:با بارگذاری پایدار است.

$$m'_{ab} = \frac{4EI}{L}\theta_a \quad (۱)$$

$$m'_{ba} = \frac{2EI}{L}\theta$$

$$m''_{ba} = \frac{4EI}{L}\theta_b \quad (۲)$$

$$m''_{ab} = \frac{2EI}{L}\left(\frac{EI}{L}\right.$$

$$m'''_{ab} = m''_{ba} = -\frac{6EI}{L^2}\Delta \quad (۳)$$

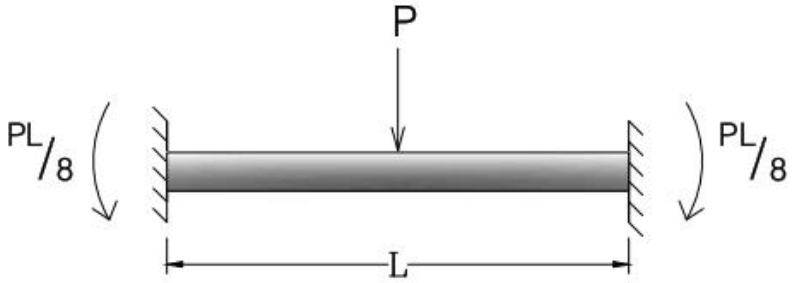
$$m_{ab} = m'_{ab} + m''_{ab} + m'''_{ab} + m^F_{ab}$$

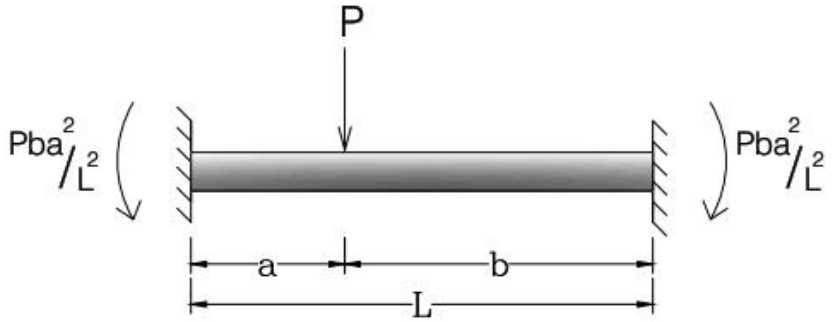
$$m_{ba} = m'_{ba} + m''_{ba} + m'''_{ba} + m^F_{ba}$$

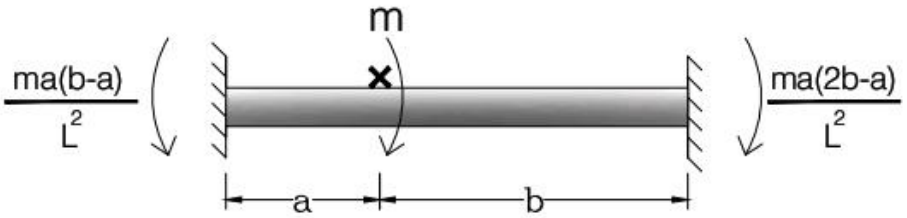
$$ab = \frac{2EI}{L}$$

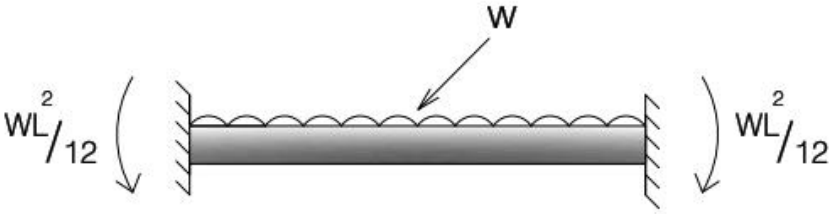
این روابط برای تیرهای با $EI$ثابت می باشد.

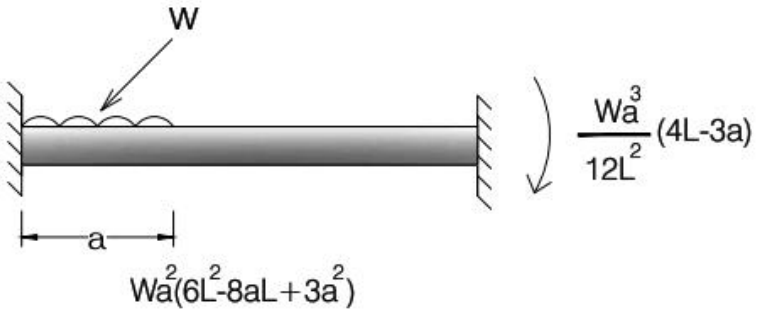
$$ba = \frac{2EI}{L}$$


P
PL/8
PL/8
L

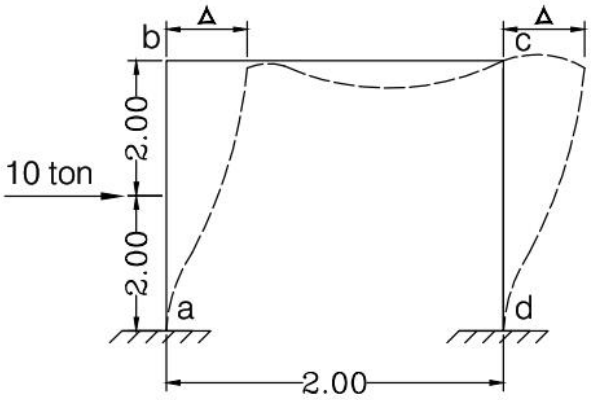

P
Pba²/L²
Pba²/L²
a
b
L

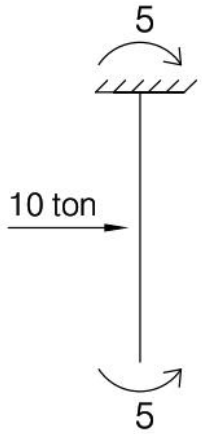

m
ma(b-a)/L²
ma(2b-a)/L²
a
b


w
WL²/12
WL²/12


w
Wa³/12L² (4L-3a)
a
Wa²(6L²-8aL+3a²)

مثال: به روش شیب_افت حل کنید.( دیاگرام لنگر خمشی اعضا)




$M^F$ فیکس

فرض می شود *EI=2*

$$*m_{ab} = 6_b - 3R - 5$$

$$*m_{ba} = 2\theta_b - 3R + 5$$

$$*m_{bc} = 4\theta_b + 2\theta_c$$

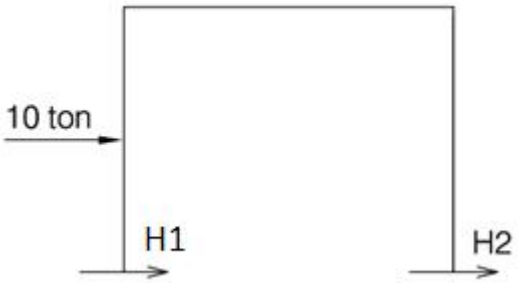
$$*m_{cb} = 4\theta_c + \theta_b$$

$m_{cd} = 2$

$*m_{dc} = \theta_c - 3r$

$(1 \sum m_b = m_{ba} + m_{bc} = 0$

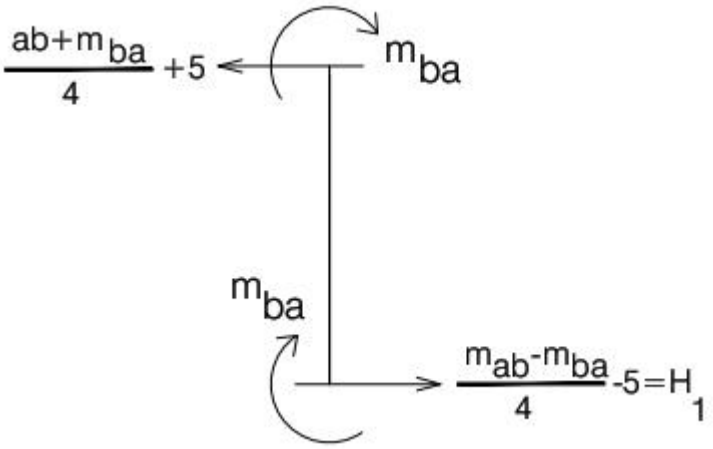
$2) \sum m_c = m_{cb} + m_{cd} = 0$



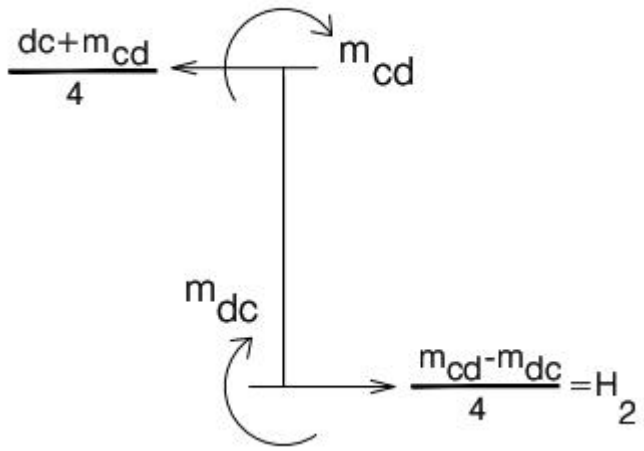

برای تعادل یک کوپل نیرو ایجاد می شود.

$m = F * d$

$F = \frac{m}{d}$




جهت لنگرها مثبت در نظر بگیرید.




$\frac{m_{ab} + m_{ba}}{4}$

$\frac{m_{cd} + m_{dc}}{4}$

$10 + \frac{m_{ab} +}{4}$

(3) $m_{ab} + m_{ba} + m_{cd} + m_{dc} + 20 = 0$

$6\theta_b + 2\theta_c - 3r + 5 = 0$ (۱)

$6\theta_c + \theta_b - 3r = 0$ (۲)

$3\theta_b - 3\theta_c - 12r + 20 = 0$ (۳)

$\theta_b = -4.08$

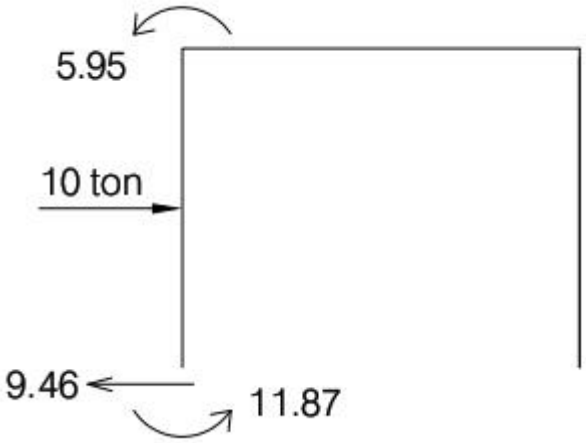
چون EIفرض بود این جواب ها واقعی نیست.

$\theta_b = 1.15$

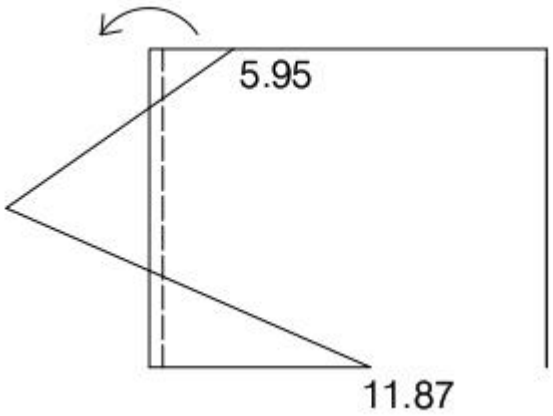
R=0.93

$m_{ab} = 4.08 - 3 \times 0.93 - 5 = -11.87$

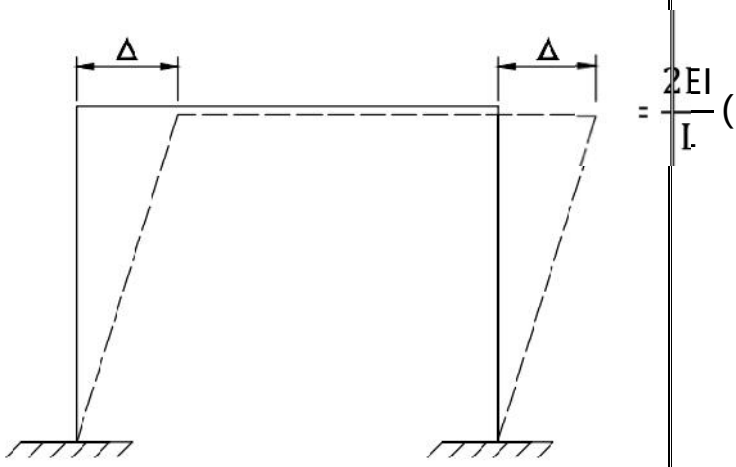
$m_{ba} = 2 \times ($

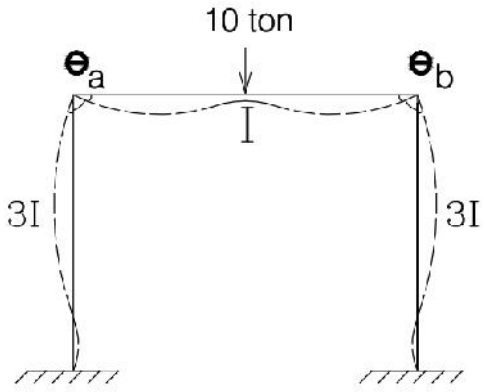



M=-11.87+9.46*2 در محل بار 10

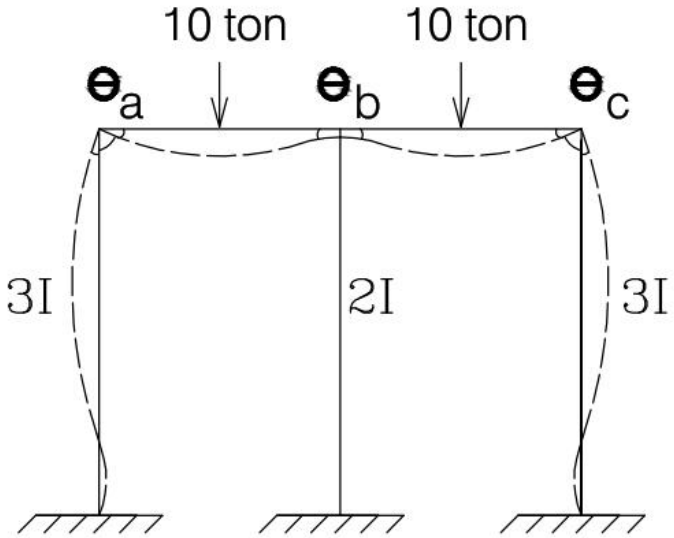



$$M_{ba} = \frac{2EI}{L}(2\theta_b + \theta_a - 3r) \pm m_{ba}^F$$

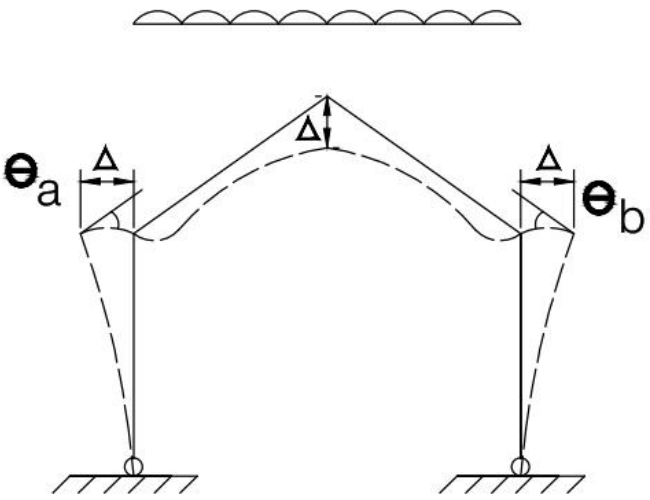




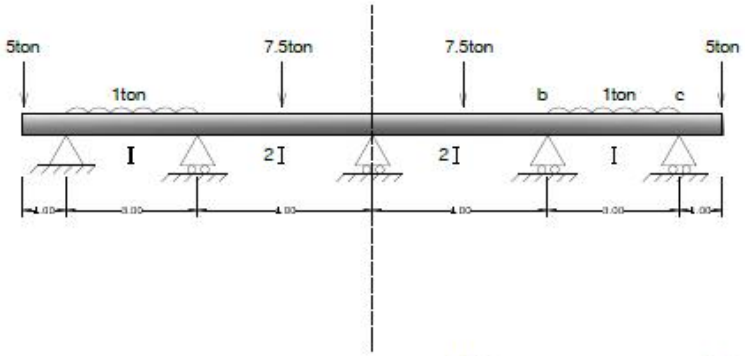

تنها درجه آزادی $|\theta_a| = |\theta_b|$

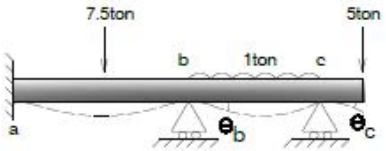


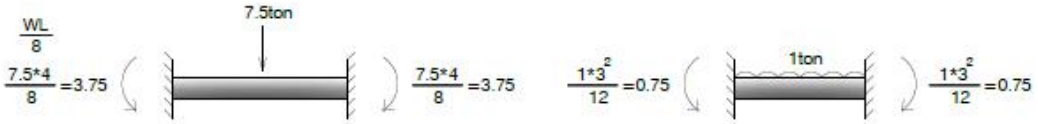

یک درجه آزادی $|\theta_a| = |\theta_b| = 0$



مثال:




$$m_{ab} = \frac{2E(2}{L}$$

$$m_{ba} = \frac{2E(2}{L}$$

$$m_{bc} = \frac{2E(I)}{L}$$

$$m_{cb} = \frac{2E(I)}{L}$$

فرض می کنیم EI=6

$$M_{ab} = 6\theta_b -$$

$$M_{ba} = 12\theta_b$$

$$M_{bc} = 8\theta_b -$$

$$M_{cb} = 8\theta_b -$$

b در گره = $M_{ba} + M_{bc} = 0$

c در گره = $M_{cb} = 5 \square 1$

$20\theta_b + 4\theta_c$

$4\theta_b + 8\theta_c +$

$-36\theta_b - 4.25 = 0 \square \theta_b = -\frac{10.25}{36}$

$\theta_b = -0.28$

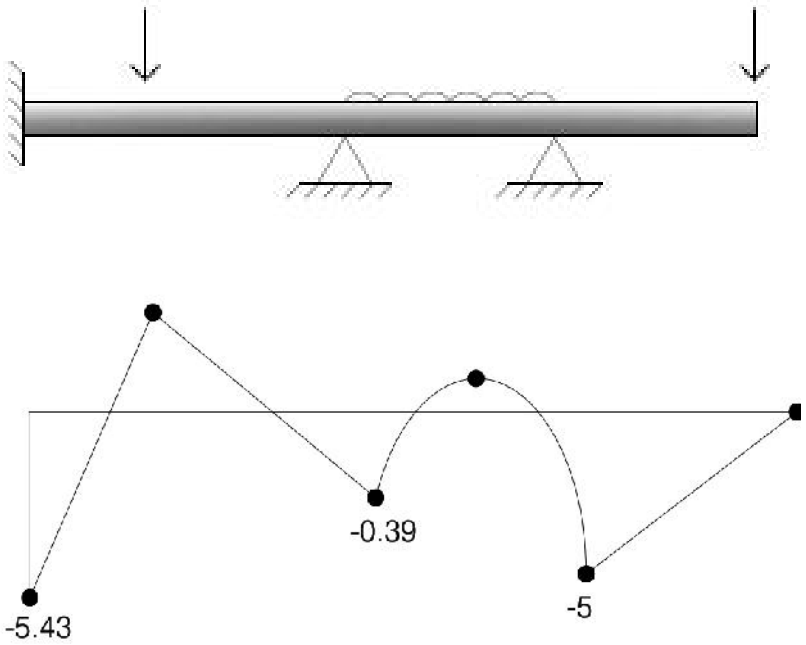
$\theta_c = \frac{-20 \square}{}$

$M_{ab} = 6 \square -$

$M_{ba} = 12 \square$

$M_{bc} = 8 \square -$

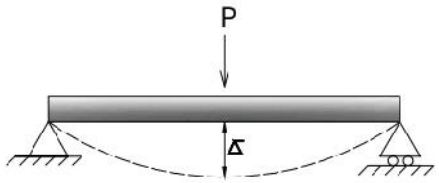
$M_{cb} = 8 \square 0$



روش های انرژی:

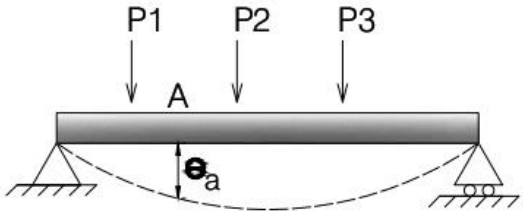
محاسبه خیز در تیرهای معین ۱-کار حقیقی

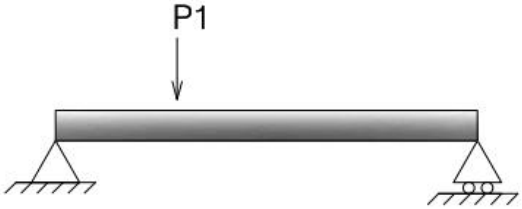
۲-کار مجازی

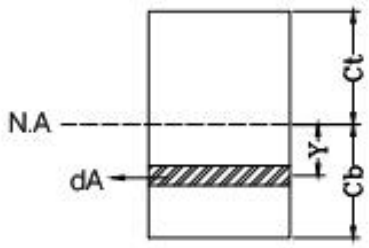


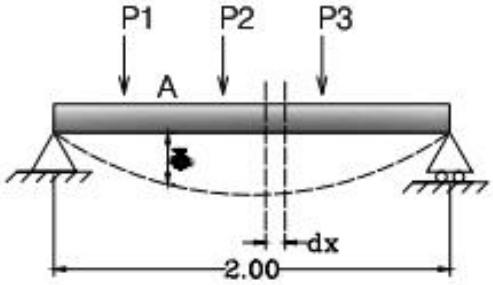

کار حقیقی

انرژی داخلی $w=p*s\delta = \int_0^L \frac{Mm}{EI} dx$



Mلنگر تیر اصلی  و m  لنگر تیر بار مجازی

نقش واحد سطح $d_A = \frac{my}{I}$

= در نیرویکل $d_A$

لنگر ناشی از بار واحد m ولنگر حاصل از بار خارجی M

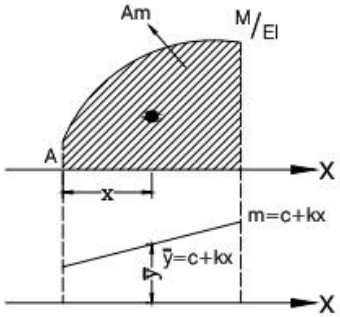
- ✓ ابتدا بارهای خارجی را حذف می کنیم
- ✓ بار واحدی به محل نقطهAاضافه می کنیم ومکانی ایجاد می شود.
- ✓ با جایگزینی بارهای خارجی نقطهA به اندازهδ  جابجا خواهد شد.
- ✓ کارداخلی انجام شده توسط تنش ناشی از بار واحد در تغییر شکل اضافی میله
- ✓ برابر کار خارجی انجام شده توسط بار واحد درتغییرمکانδ  می باشد .

تغییر طول قطعه ای به طول x $Edx = \frac{\delta}{E} dx = \frac{My}{I}\frac{1}{E} dx$

کار انجام شده در $dx\left(\frac{my}{I} dA\right)\left(\frac{My}{E} dx\right) = \frac{Mmy^2}{EI^2} dAdx$

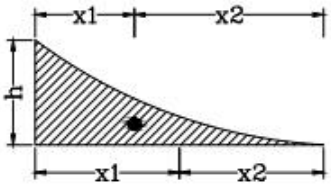
کل کار $\int \frac{Mmy^2}{I^2}.dAdx = \int \frac{Mm}{EI} dx \longrightarrow 1 * \delta = \int \frac{Mm}{EI} dx$

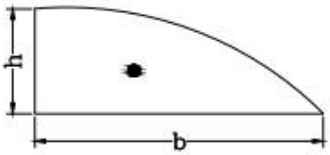
## روش عددی انتگرال گیری به روش مور:

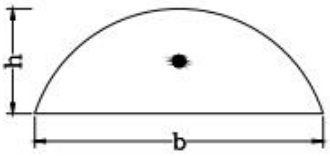


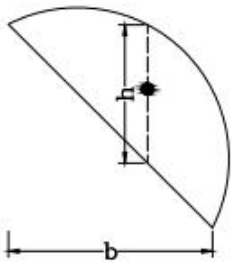

$$\int_A^B \frac{M}{EI}$$

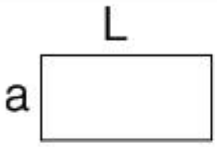
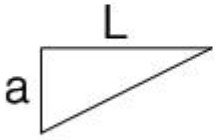
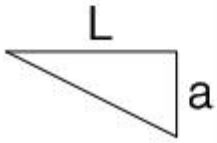
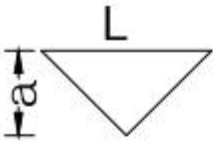
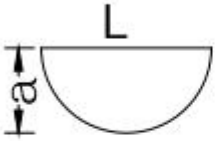
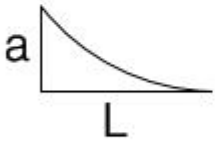
$=c\,A_m + k\,.\quad .\,A_m \rightarrow \;=(c+k\quad)A_m \rightarrow \;=\;\;.A_m$



| m \ m | | | | |
|---|---|---|---|---|
|  | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
|  | 0.5 | 0.333 | 0.167 | 0.25 |
|  | 0.5 | 0.167 | 0.333 | 0.25 |
|  | 0.5 | 0.25 | 0.25 | 0.333 |
|  | 0.667 | 0.333 | 0.333 | 0.417 |
|  | 0.333 | 0.25 | 0.083 | 0.146 |
| | 0.333 | 0.083 | 0.25 | 0.146 |

**روش پریز مویدال:**

L : طول بازه انتگرال گیری

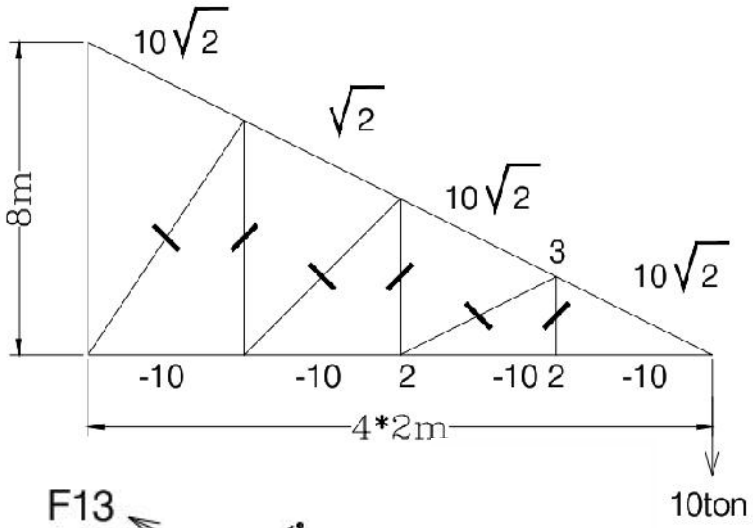
$A_0$ :حاصل ضرب MMدر ابتدای قطعه

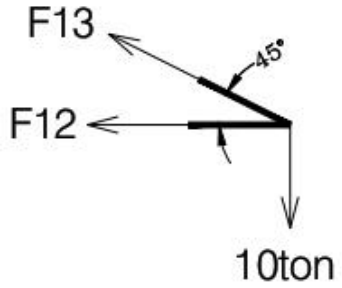
$A_1$ :حاصل ضرب MMدر وسط قطعه

$A_2$:حاصل ضرب MMدر انتهای قطعه

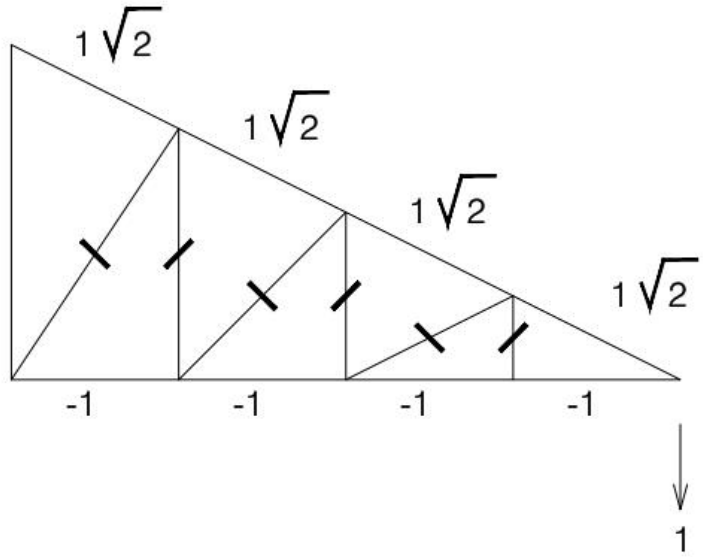
**چون درمقابل mناچیز محاسبه نمی شود.**

مثال:مطلوب است تغییر مکان انتهای خرپا




$$\sum F_Y = F_{13}\sin 45 - 10 = 0 \rightarrow F_{13} = \frac{10}{\sin 45} = 10\sqrt{2}$$




$\Delta = \frac{(\sqrt{2} * 1}{}$

مثبت یعنی در جهت بار است. $\Delta = \frac{120}{EA}$

قضایای کاستیلیانو:

در هر جسم الاستیک خطی در صورتی که درجه حرارت ثابت وتکیه گاه ها بدون نشست باشد مشتق جزئی اول انرژی داخلی نسبت به هر نیرویی که به سیستم موثر است برابر تغییر مکان الاستیک نقطه اثر نیرو در امتداد نیرو می باشد.

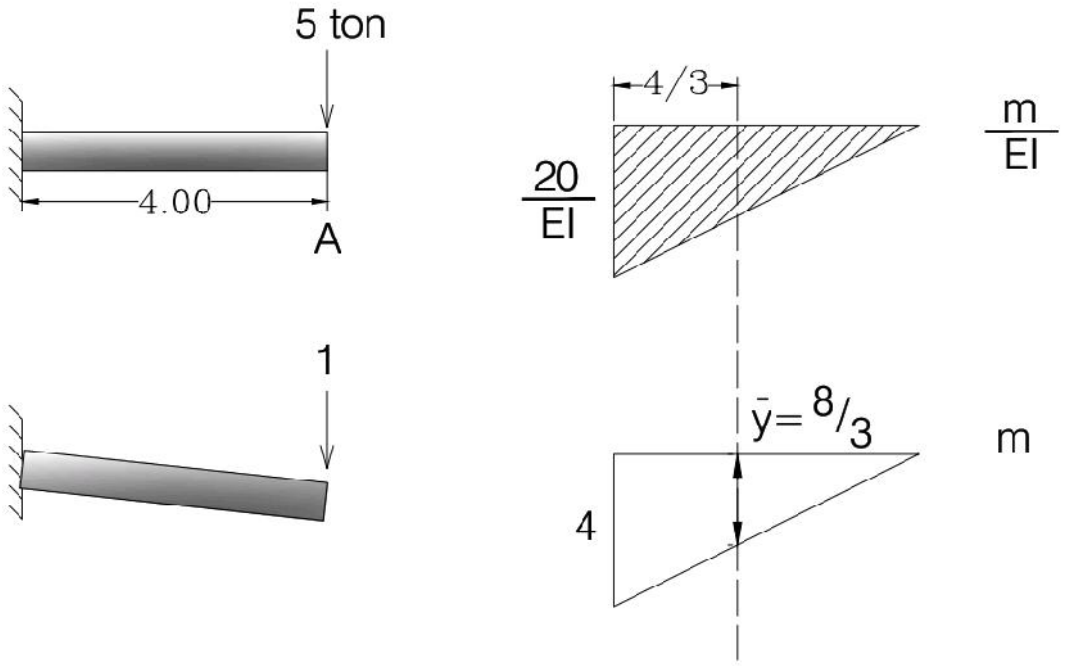
$$\text{تغییر مکان}\ \Delta P = \frac{\partial U_{\text{داخلی انرژی}}}{\partial F_{K_{\text{نیرو}}}}$$

$$\text{دوران} = \theta P =$$

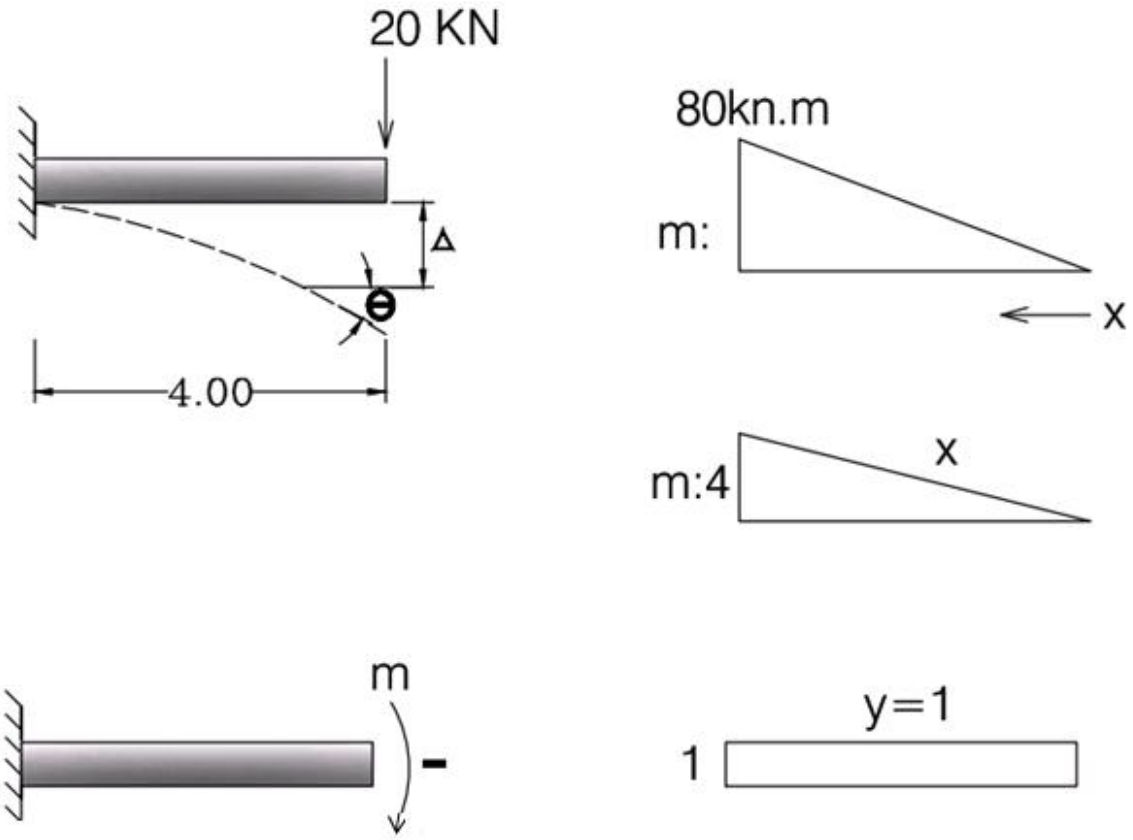
$$U =$$

$$\text{رابطه کلی}\ u = \int \frac{\sigma^2}{2E} dx$$

**مثال:خیز نقطه Aرامحاسبه کنید.**



## روش بار واحد پاروش کار مجازی




_20Xرا می توان با محاسبه معادله خط بدست آورد با Mدر فاصله X.

در صورتی که بخواهیم تغییر زاویه یک نقطه را به دست آوریم از لنگر واحد استفاده می کنیم.

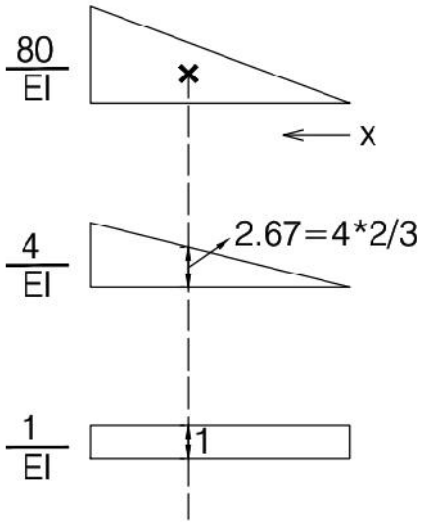
$$\Delta = \int \frac{mm}{EI} d$$

**با روش انتگرال گیری مور:**

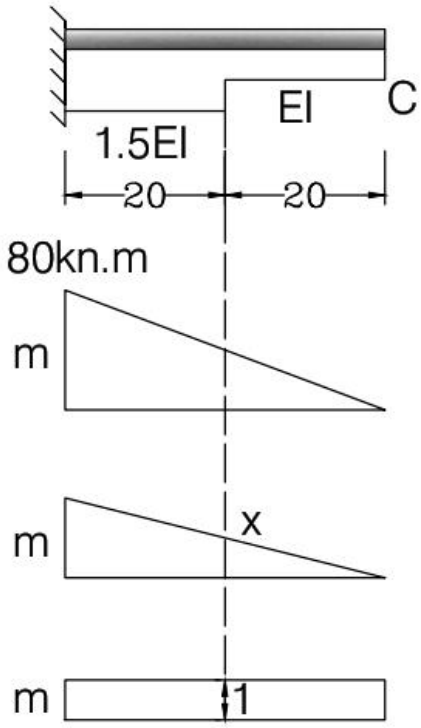
$$A_m = \frac{80 \times 4}{2EI} = \frac{160}{EI}$$

$$\Delta = \frac{160}{EI} \times 2.67 = \frac{426.67}{EI}$$

$$\theta = \frac{160}{EI} \times 1 = \frac{160}{EI}$$




$$\Delta_{BC} = \int_0^2 \frac{20x}{EI}\, dx = \frac{20}{EI}\left[\frac{X^3}{3}\right] = \frac{53.33}{EI}\,\mathrm{m}$$




$$= \int_0^{2} \frac{20}{}$$

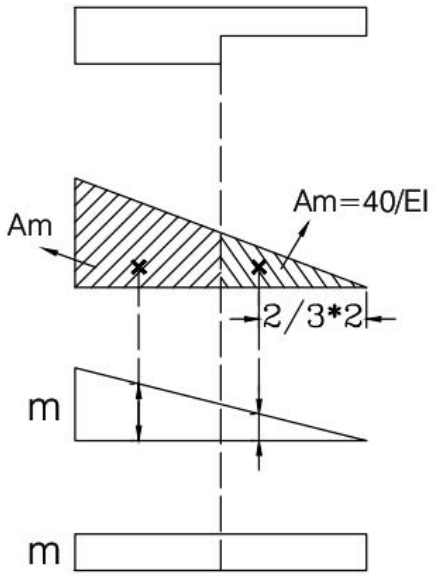
$$= \int_2^{4} \frac{20}{1}$$

$$= \int_2^{4} \frac{20}{1}$$

$$= \frac{248.89}{EI}$$

$$= \frac{40}{EI} + \frac{80}{EI}$$

## روش مساحت



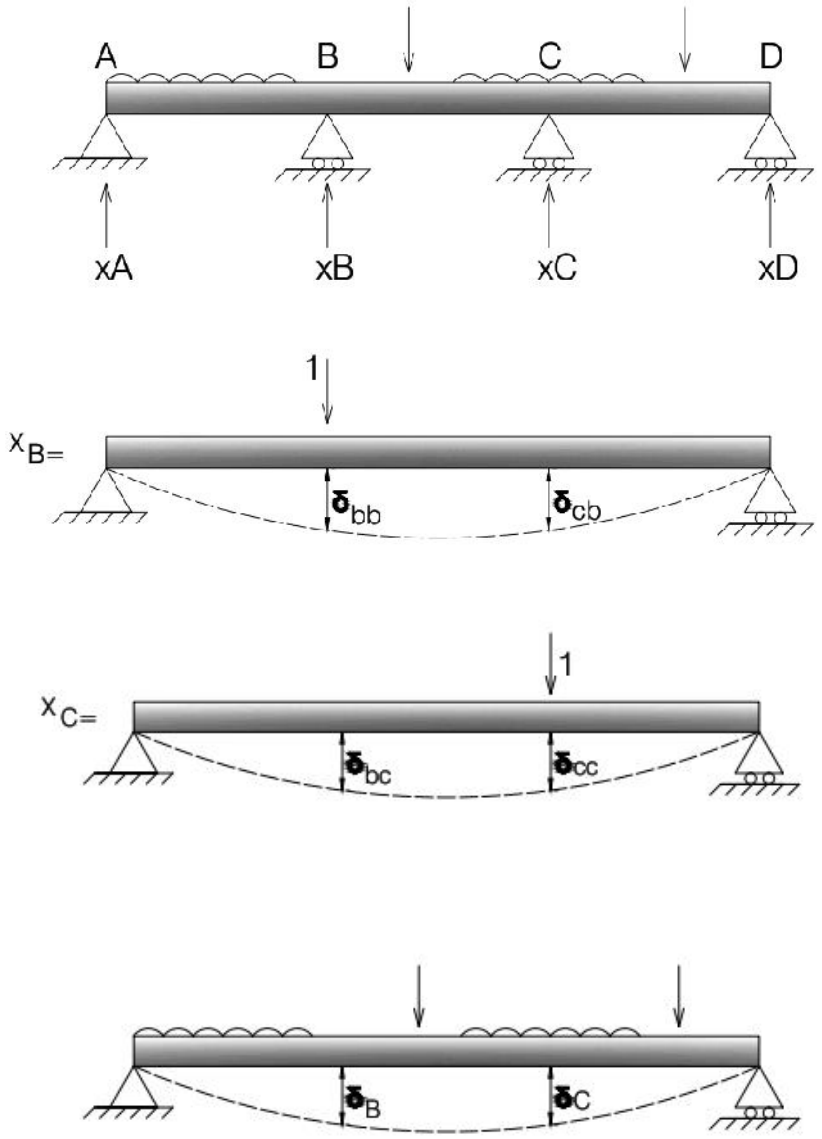

## قدم های تحلیل سازه های نامعین:

۱. حذف قیدهای اضافی (به تعداد درجات نامعین )وتبدیل سازه به سازه (سازه پایه)قید حذف شده می تواند عکس العمل تکیه گاهی یا نیروی داخلی باشد.

۲. محاسبه تغییر مکان در راستای قید حذف شده (جهت محاسبه می توان از روش های انرژی استفاده کرد)

۳. تعیین نیروهای لازم برای برگرداندن تکیه گاههابه وضعیت اولیه (یادوختن پیوندهای بریده شده)

سازگاری تغییر مکان هابه کمک کار مجاز




$$\delta_B + X_B \delta_{bb}$$
$$\delta_c + X_B \delta_{cb}$$
$$\begin{bmatrix} \delta_B \\ \delta_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_{bb} \\ \delta_{cb} \end{bmatrix}$$
$$[B] + [A][X]$$
$$\delta_{bc} = \delta_{cb}$$

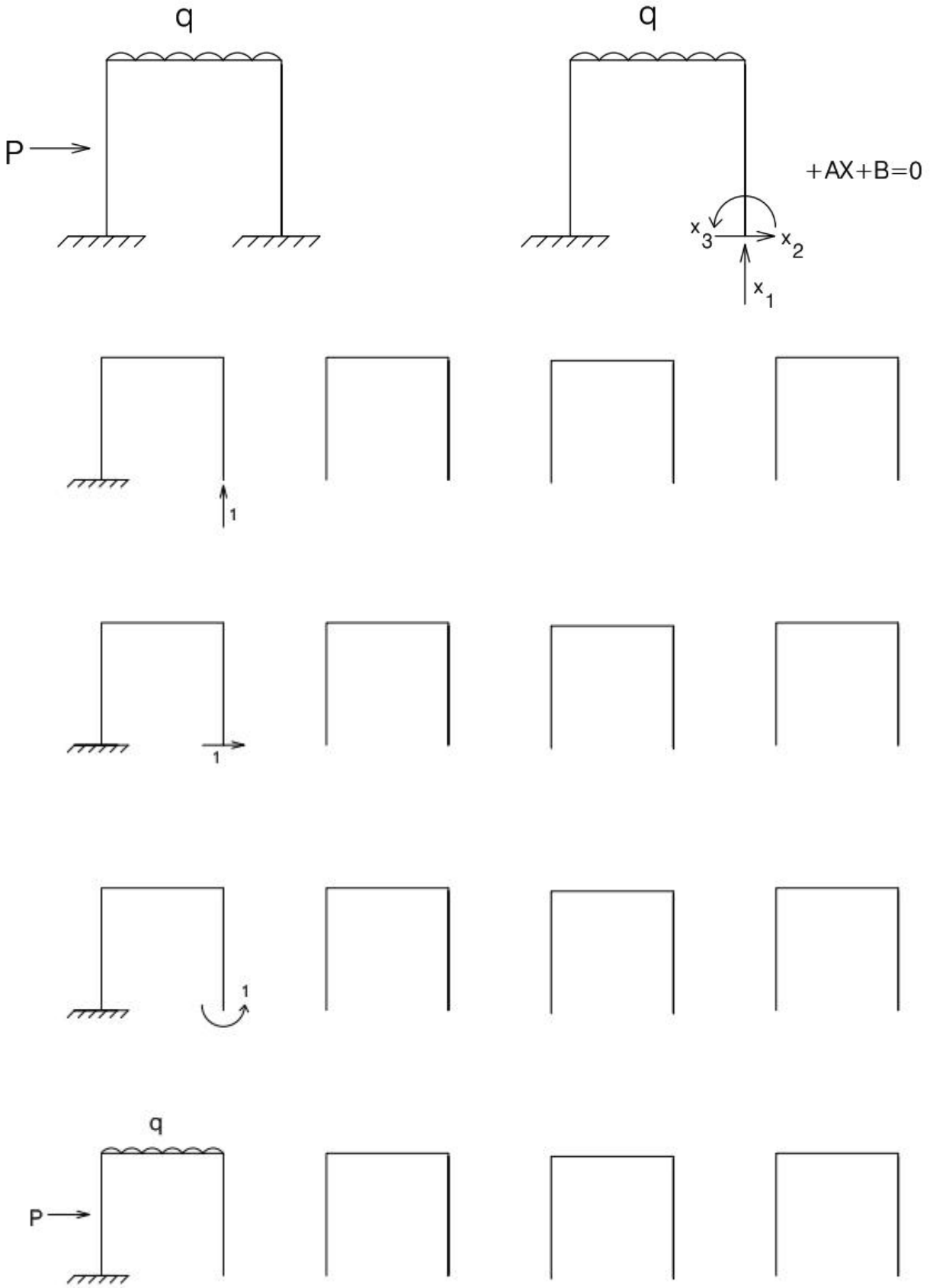
قضیه تبی اثر متقابل

Reciprocal beth

$\delta_{bb}$ و $\delta_{cc}$ را می توان با ضرب کردن دیاگرام ها ی بار واحد به خودشان محاسبه کرد.)

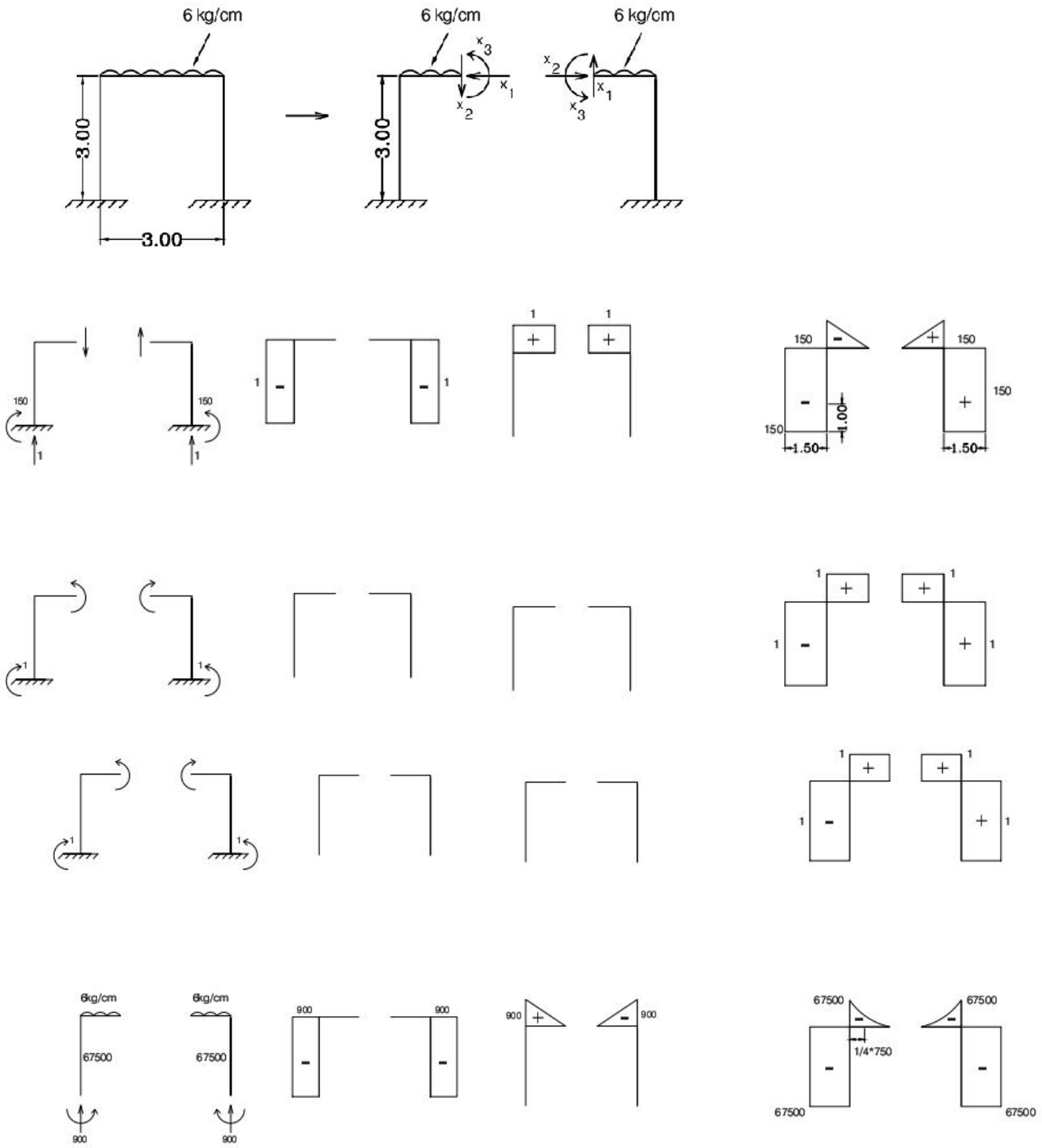
$\delta_{cb}$ و $\delta_{bc}$ از حاصل ضرب دیاگرام های بار واحد در یکدیگر بدست می آیند.)

$\delta_C$ و $\delta_B$ از حاصل ضرب دیاگرام بار واحد مربوطه در دیاگرام لنگر بارهای خارجی بدست می آیند.)


q
P
q
+AX+B=0
x3
x2
x1
1
1
1
q
P

$$A = \begin{bmatrix} 1x \\ \\ 2y \end{bmatrix}$$

سازه نا معین زیر را حل کنید.



$1 \square 1 = \frac{(150}{}$

$1 \square 2 = \frac{300*}{2}$

$1 \square 3 = \frac{300*}{2}$

$1 \square 4 = \frac{300*}{2}$

$2 \square 2 = \frac{(150}{}$

$$2 \square 3 = 150 \square 300 \square 1 - \frac{150 \square 150}{2} \square 1 + 0 = 0$$

$2 \square 4 = 0$

$3 \square 3 = \frac{(1 \square}{}$

$3 \square 4 =$

$AX + B = 0$

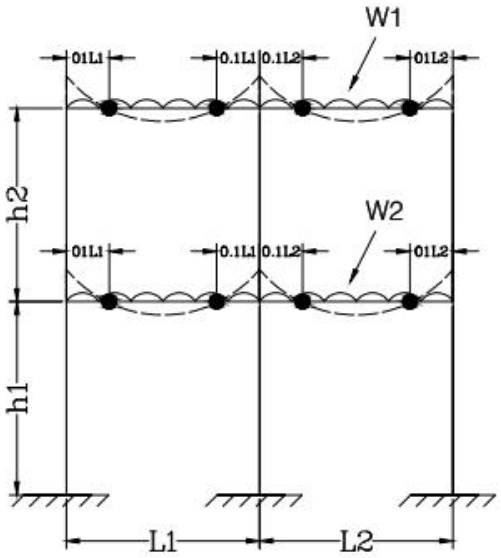
$AX = -B$

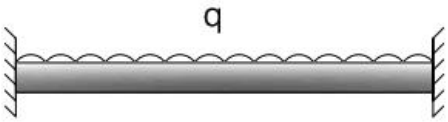
**تحلیل تقریبی قابها:**

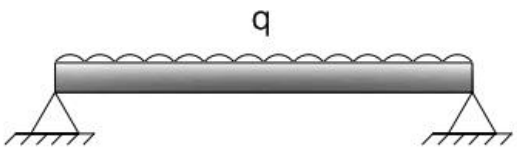
الف)بارهای قائم

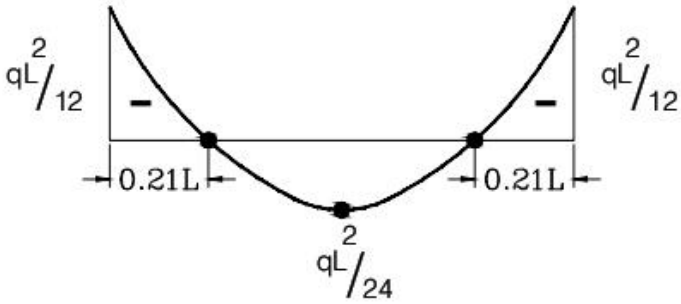
ب)بارهای جانبی ۱-روش قاب پرتال

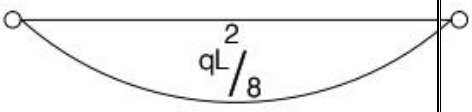
۲-روش کانتیلور



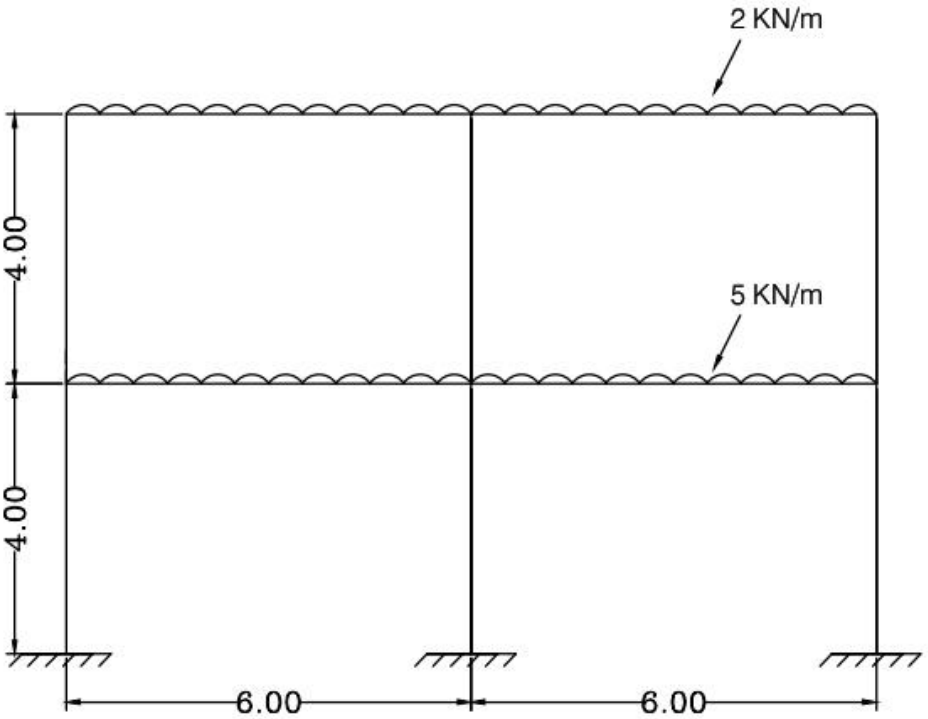



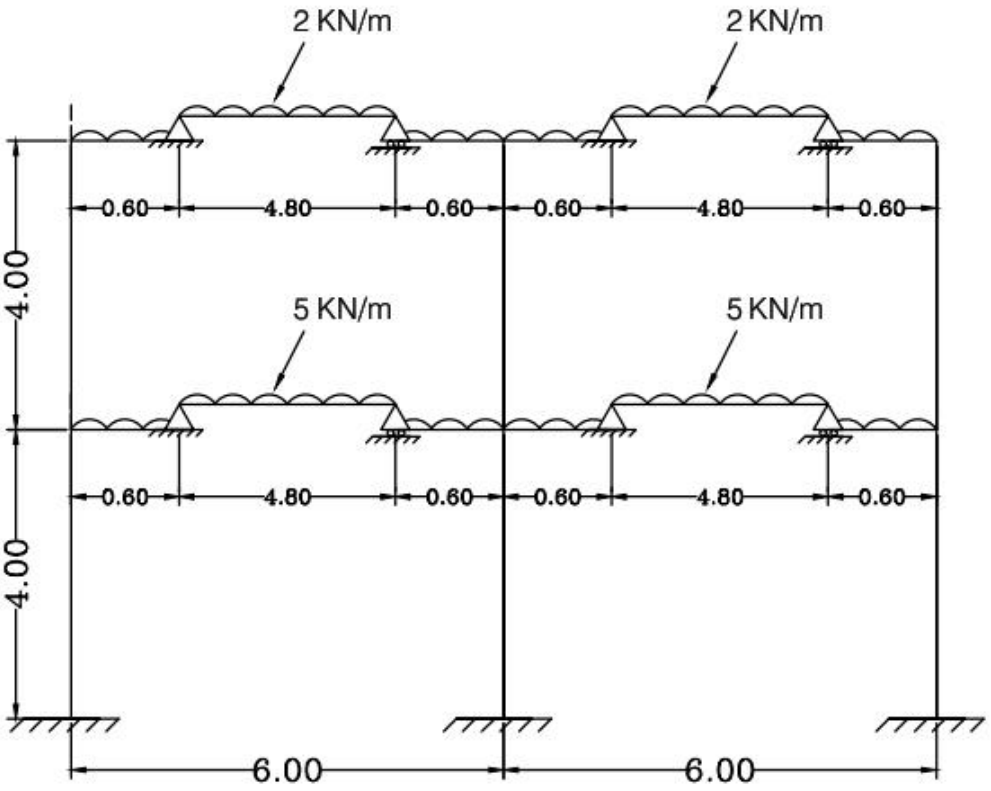



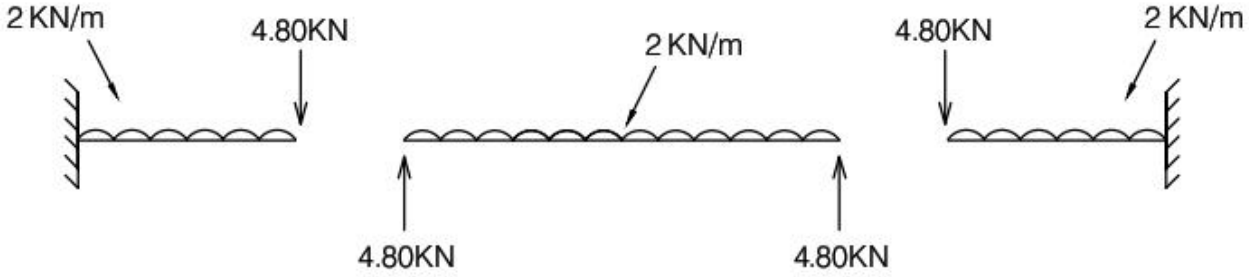
## تحلیل تقریبی قاب ها برای قاب قائم:

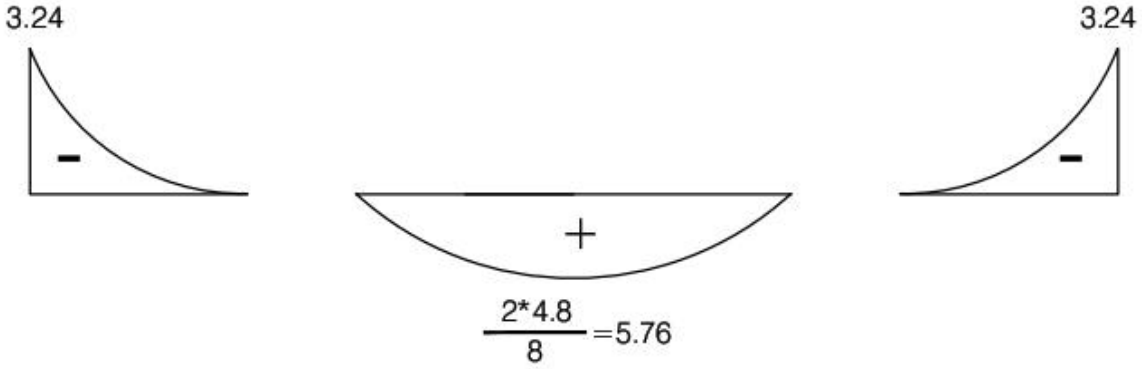
تحلیل تقریبی قاب ها برای قاب قائم:جهت تحلیل تقریبی قاب ها لازم است فرضیات ساده کننده ای به مساله اضافه شود یکی از راحت ترین فرضیاتی که می توان در نظر گرفت تبدیل محله نقطه عطف تیر به مفصل می باشد.نقطه عطف تیر مکانی از تیر است که جهت تقعر منحنی عوض می شودبه عبارتی دیگر علامت لنگر عوض می شودیا لنگر برابر صفر است .باید بتوانیم قبل از انجام تحلیل این محل را حدس بزنیم.در یک تیر دو سر گیردارنقطه ی عطف در فاصله ی ۰.۲۱طول از تکیه گاه ها قرار دارد ودر تیر نقطه عطف همان محل تکیه گاه می باشد،در یک قاب حالت بینابین فرض می شود ونقطه عطف در پیش بینی می شود ،بعد از انجام این فرض تیر داخل قاب به یک تیر ساده با۰.۸طول و۲تیر هر کدام با ۰.۱ تبدیل می شوند،دیاگرام لنگر تیر از ترکیب دیاگرام این ۳تیر بدست می آید.

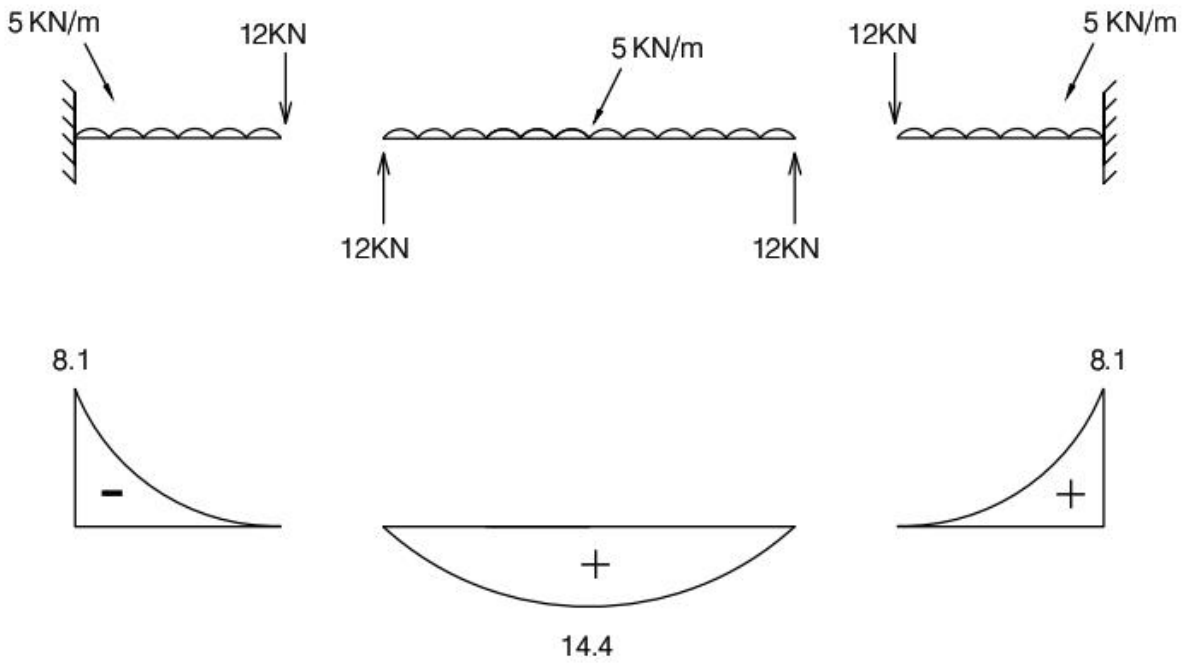
بعد از حل تیر ها می توانیم به ستون ها بپردازیم.

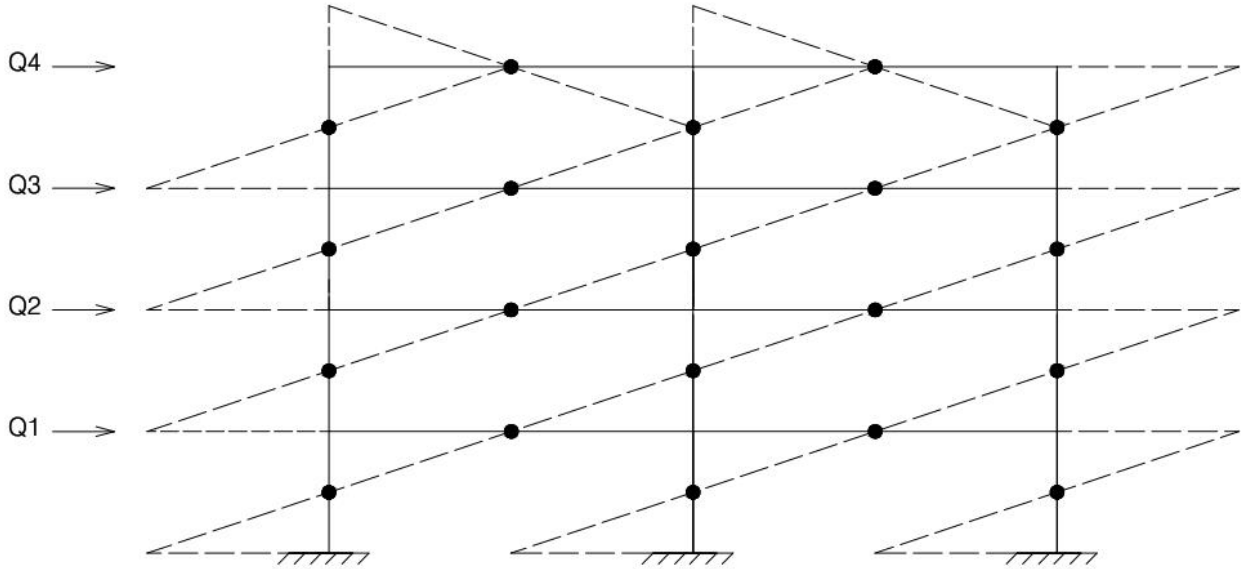


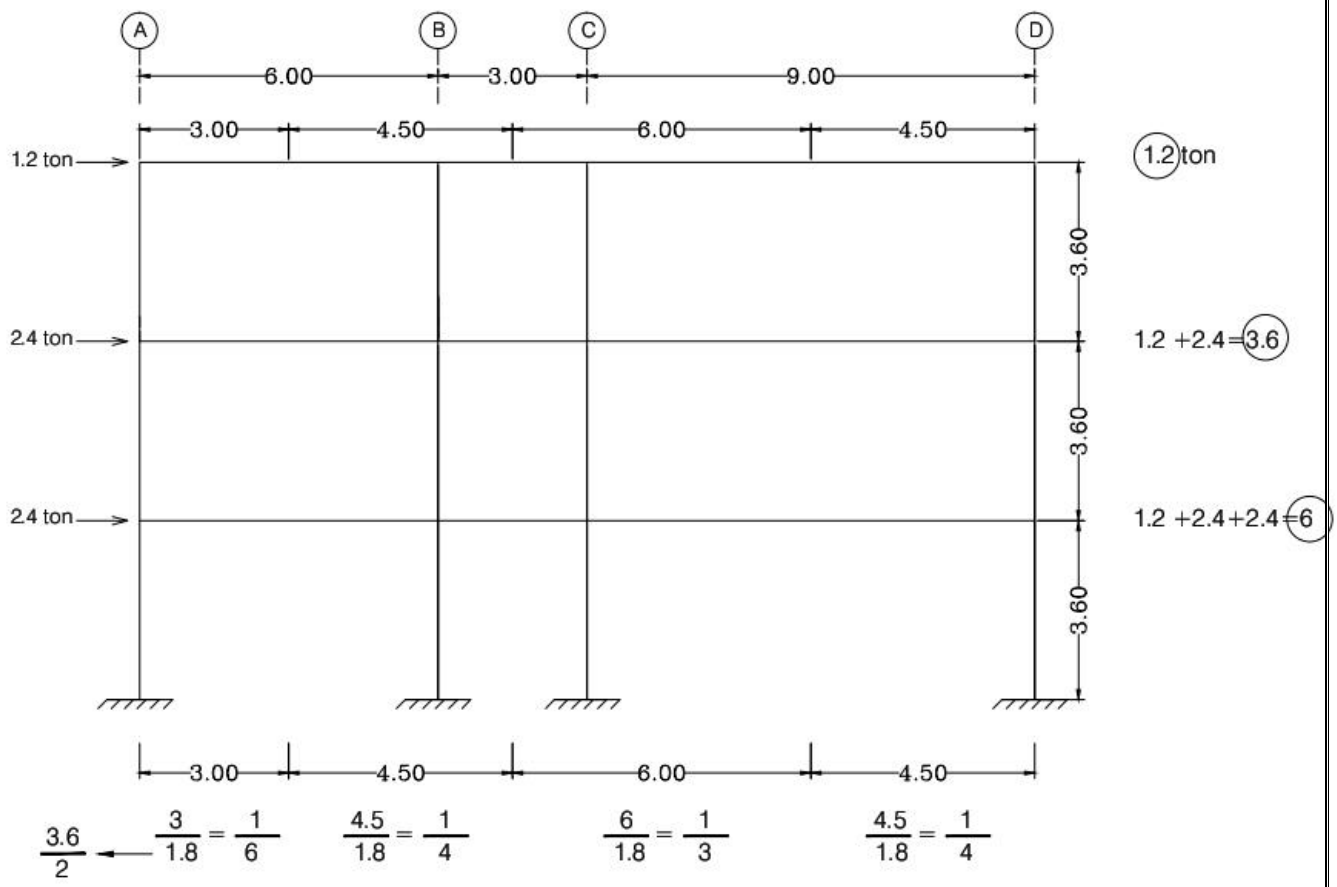

2 KN/m
2 KN/m
0.60
4.80
0.60
0.60
4.80
0.60
4.00
5 KN/m
5 KN/m
0.60
4.80
0.60
0.60
4.80
0.60
4.00
6.00
6.00


2 KN/m
4.80KN
2 KN/m
4.80KN
2 KN/m
4.80KN
4.80KN


3.24
3.24
-
-
+
2*4.8
8
=5.76


5 KN/m
12KN
5 KN/m
12KN
5 KN/m
12KN
12KN
8.1
8.1
-
+
+
14.4


Q4
Q3
Q2
Q1




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | m=0.36 | m=0.54-0.36=0.18 | m=0.72-0.18=0.54 | m=0.54-0.54=0 |
| $1.2 * \frac{3}{18} = 0.2$<br>$1.2 * \frac{4.5}{18} = 0.3$ | v=1.2/6=0.2<br>M=0.2*1.8=0.36<br>P=0.12 | v=1.2/4=0.3<br>M=0.3*1.8=0.54<br>P=0.12-0.12=0 | v=1/2/3=0.4<br>M=0.4*1.8=0.72<br>P=0.12-0-0.12=0 | v=1.2/4=0.3<br>M=0.3*1.8=0.54<br>P=0-0.12=0-0.12 |
| $1.2 * \frac{6}{18} = 0.4$<br>$1.2 * \frac{4.5}{18} = 0.3$ | m=1.8+0.36=1.44 | m=0.54+1.62-1.44=0.72 | m=2.16+0.72-0.72=2.16 | m=0 |
| | v=3.6/6=0.6<br>M=0.6*1.8=1.08<br>P=0.12+0.48-0=0.6 | v=3.6/4=0.9<br>M=0.9*1.8=1.62<br>P=0 | v=3.6/3=1.2<br>M=1.2*1.8=2.16<br>P=0 | v=3.6/4=0.9<br>M=0.9*1.8=1.62<br>P=-0.6 |
| | m=1.8+1.08=2.88 | m=1.44 | m=4.32 | |
| $6 * \frac{3}{18} = 1$<br>$6 * \frac{4.5}{18} = 1.5$<br>$6 * \frac{6}{18} = 2$<br>$6 * \frac{4.5}{18} = 2$ | v=1<br>M=1*1.8=1.8<br>P=1.56 | v=1.5<br>M=1.5*1.8=2.7<br>P=0 | v=2<br>M=2.7<br>P=0 | v=1.5<br>M=2.7<br>P=1.56 |

منابع:


۱) تحلیل سازه ها،تالیف پروفسور علی کاوه، نشر دانشگاهی

۲) تئوری مقدماتی سازه ها، ترجمه مجید بدیعی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (انتشارات)

۳) تحلیل سازه ها، شاپور طاحونی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴) تئوری ساختمان ها، تیموشنکو، انتشارات دانشگاه تهران

۵) تحلیل سازه ها، نادر فنایی

۶) تحلیل سازه ها-رهیافت متحد کلاسیک وماتریسی، تالیف : نویل و غالی ،ترجمه: عبدالرحیم جلالی، انتشارات دانشگاه تبریز

۷) اصول مقدماتی تئوری تحلیل سازه ها، تالیف کارد ستونسر، ترجمه کاوه وهمکاران

۸) سازه ها جلد ۱، ۲، ۳ تالیف مجید بدیعی، انتشارات انگیزه

9) Hibbeler, Russell C. *Structural Analysis, 6/E*. Pearson Education India, 2008.

۱۰)