



# حل تمرین درس تحلیل غیرارتمی

## ARTICLE No.15

www.civilearn.com

گروه آموزشی - مهندسی سیولرن

Author : Eng.Saeid SarvDalir

Published by : Civilearn Group



مقطع پلاستیک مقطع الاستیک لوله

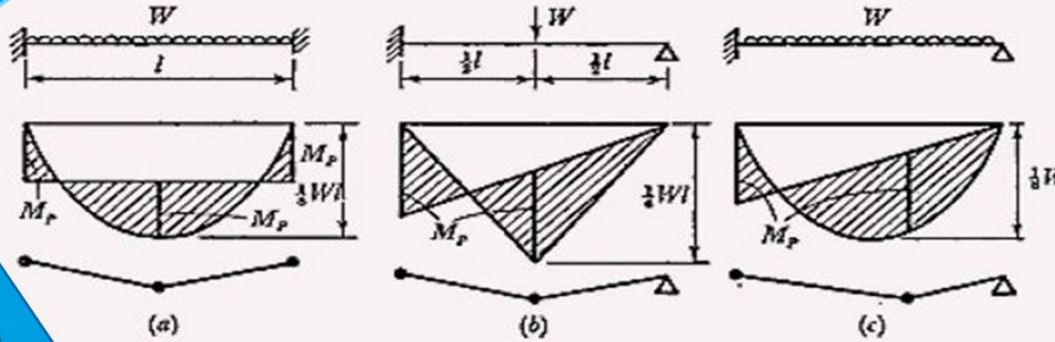


Fig. 2.7

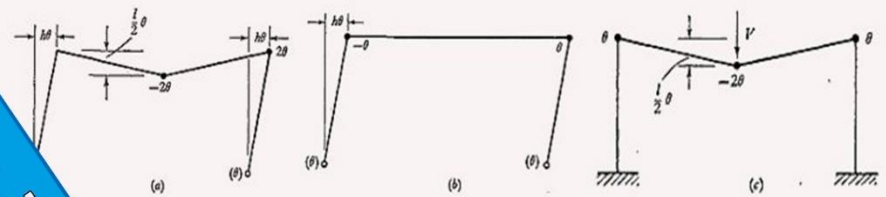


Fig. 2.10

مکانیزم ترک

مکانیزم جانبی

مکانیزم تیری

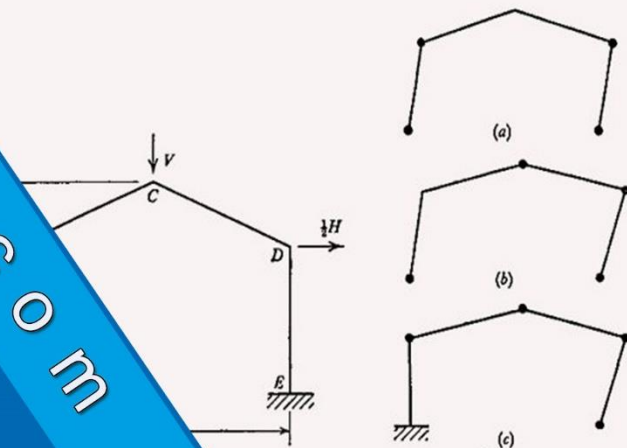


Fig. 2.57

طراحی سریع و هوشمند انواع سقفهای متداول در ایران

# SAZESAGHF

Arshia Iranian Software Group (A I G S)

نرم افزار سازه سقف اولین نرم افزار  
هوشمند برای محاسبات انواع سقفهای متداول در ایران  
(کامپوزیت عرشه فولادی - کامپوزیت معمولی - تیرچه بتنی و تیرچه کرومیت)

همراه با گزارش ویژه محاسبات و متره کامل



- اعضای محترم سازمان نظام مهندسی کشور
- مهندسین مشاور گرامی
- دفاتر فنی پیمانکاران محترم
- شرکت های محترمی که در ساخت و اجرای سقف های فوق فعالیت دارید

نرم افزار سازه سقف، نرم افزاری است کاملاً هوشمند و با ظرافت کار  
بسیار آسان که تمامی نکات آیین نامه ای برای طراحی کامل انواع  
سقف های متداول در ایران را در محاسبات شما بر نظر می گیرد

تلفیق هنر و تکنولوژی برای شما که با دانش روز حرکت می کنید

۰۹۱۲ ۸۸ ۷۶ ۱۰۰

تلفن سفارش:



Arshia Iranian Software Group (A I G S)

# کارامحاسب

ابزار کار یک محاسب



ترکعات مارگذاری  
آئین نامه ایران



انزارهای بسیار  
کاربردی



آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش  
سوم و چهارم



سازهای  
هوشمند  
کنترلهای



[www.Karamohaseb.com](http://www.Karamohaseb.com)



021-77480262



# ETABS 7 CONTROL

Assistant of Structure Designer

ETABS 2015 - ETABS 9.7



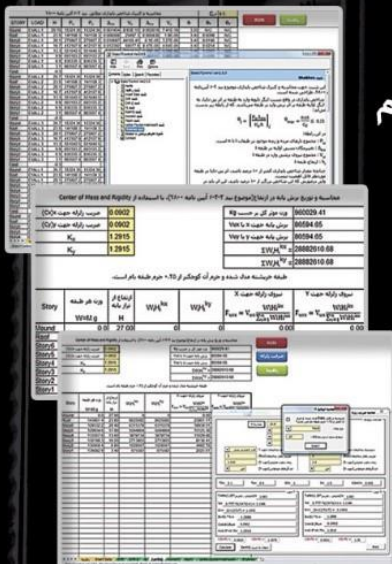
نرم افزار تخصصی کنترل طراحی سازه ها

قابلیت افزودن مشخصات محاسب و دفتر طراحی جهت چاپ در خروجی  
قابلیت افزودن مشخصات پروژه در کاور خروجی  
ایجاد دفترچه محاسبه با خروجی های شکیل و آماده ارائه به نظام مهندسی

بر اساس آخرین ویرایش مقررات ملی و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰

## ۷ کنترل متداول طراحی سازه با استفاده از خروجی های ETABS

- کنترل تغییر مکان نسبی سازه طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- محاسبه ضریب بزرگنمایی (Aj) و کنترل نامنظمی پیشگی طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- محاسبه و توزیع برش پایه ناشی از زلزله طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- محاسبه و کنترل لنگر واژگونی ناشی از زلزله طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- کنترل منظم بودن سازه از نظر جرم در ارتفاع و اعمال پیش از توافق طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم
- کنترل مهار شده بودن سازه از طریق محاسبه ضریب پایداری طبق مبحث ۹
- محاسبه و کنترل شاخص پایداری سازه طبق آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم

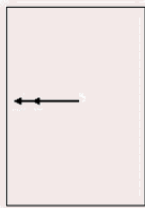


# حل تمرین درس تحلیل غیرارجاعی

بخش اول :  
مفصل پلاستیک

## مقدمه و کلیات

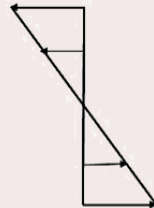
یک عضو خمشی مثل تیر ستون یا تیر را در نظر بگیرید. با افزایش مقدار لنگر تارهای بالایی و پایینی مقطع که تحت اثر بیشترین مقدار لنگر هستند، شروع به جاری شدن می کنند و به عبارتی از حالت کشسان به مومسان تبدیل می شوند (شکل). با افزایش مقدار لنگر، کم کم کلیه تارهای مقطع جاری می شوند که این مورد در شکل نمایش داده شده است. از اینجا به بعد مقطع توانایی تحمل لنگر بیشتری رو ندارد و درحقیقت مقطع درست مثل یک مفصل عمل می کند. که به آن مفصل پلاستیک گفته می شود و به لنگری که موجب ایجاد مفصل پلاستیک شده، لنگر پلاستیک گفته می شود.



(1)

$$M < M_y$$

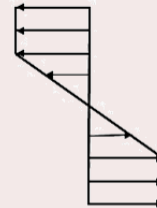
$$\sigma_{max} < \sigma_y$$



(2)

$$M = M_y$$

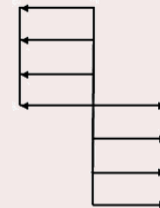
$$\sigma_{max} = \sigma_y$$



(3)

$$M > M_y$$

$$\sigma_{max} = \sigma_y$$

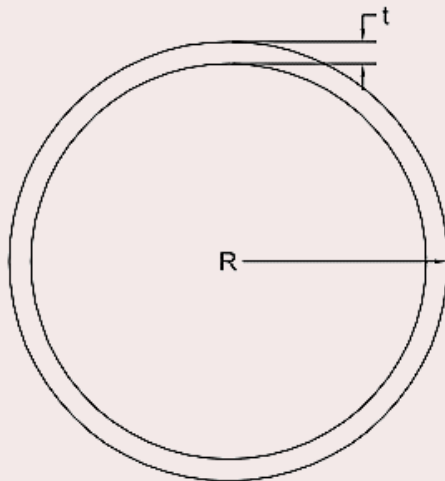


(4)

$$M < M_y$$

$$M = M_p$$

تمرین: محاسبه اساس مقطع الاستیک  $Z_e$  و پلاستیک مقاطع  $Z_p$



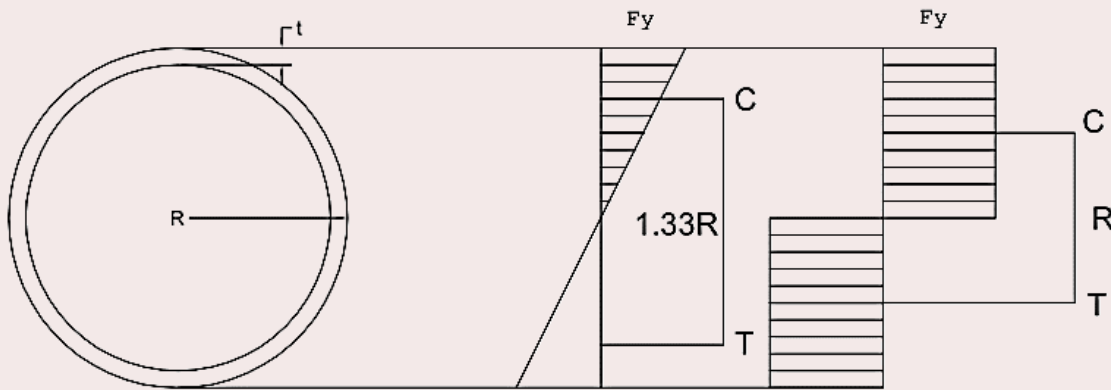
لوله:

$Z_p?$

$Z_e?$

ضریب شکل مقطع  $v?$

نوشتن تعادل برای مقطع در حالت خطی و غیر خطی:



لوله

مقطع الاستیک

مقطع پلاستیک

$$M_p = R \times A \times F_y = R \times \frac{1}{2} 2\pi R t \times F_y = \pi R^2 t F_y \quad \boxed{\text{لنگر پلاستیک}}$$

$$M_p = Z_p \times F_y \rightarrow Z_p = \pi R^2 t \quad \text{اساس مقطع پلاستیک}$$

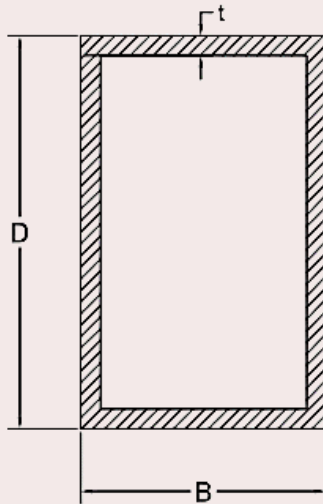
$$M_e = \frac{4}{3} R \times A \times F_y = \frac{4}{3} R \times \frac{1}{2} \frac{2\pi R t}{2} \times F_y = \frac{2}{3} \pi R^2 t F_y \quad \boxed{\text{لنگر الاستیک}}$$

$$M_e = Z_e \times F_y \rightarrow Z_e = \frac{2}{3} \pi R^2 t \quad \text{اساس مقطع الاستیک}$$

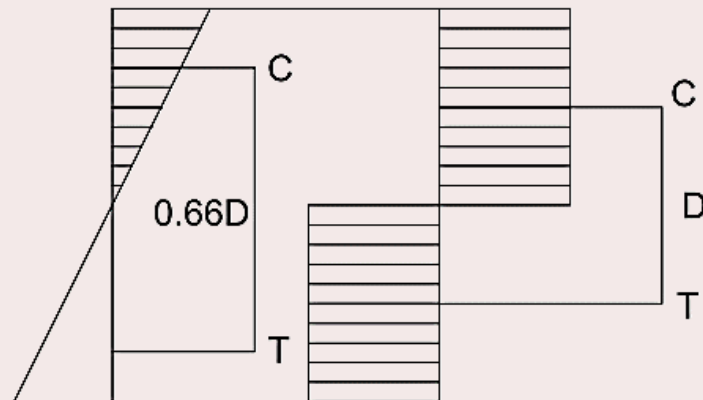
$$v = \frac{Z_p}{Z_e} = \frac{3}{2} \quad \boxed{\text{ضریب شکل مقطع}}$$

نکته : نسبت لنگر قابل تحمل مقطع در حالت پلاستیک  $M_p$  به لنگر قابل تحمل مقطع در حالت الاستیک  $M_e$  را ضریب شکل مقطع گویند که هر چه این ضریب شکل برای تیرهای سازه به ۱ نزدیک تر باشد مقاطع از نظر رفتار خمشی مناسب تر است. هر چه تمرکز مصالح حول محور خنثی بیشتر باشد ضریب شکل عدد بزرگتری خواهد بود.

تمرین: محاسبه اساس مقطع الاستیک  $Z_e$  و پلاستیک  $Z_p$  مقاطع



قوطی



مقطع الاستیک

مقطع پلاستیک

$$A = [B \times D] - \frac{(B-2t)(D-2t)}{2} \Rightarrow A = 2t[B+D-2t] \quad \text{محاسبات}$$

$$M_p = \frac{1}{2} A \times \sigma_y \times \frac{D}{2} = \frac{1}{2} 2t(B+D-2t) \times \frac{D}{2} \times \sigma_y$$

$$\Rightarrow M_p = \frac{D+}{2} (B+D-2t) \sigma_y$$

$$M_p = Z_p \sigma_y \Rightarrow \boxed{Z_p = \frac{D+}{2} (B+D-2t)}$$

$$M_e = \frac{1}{2} \times A \times \frac{1}{2} \sigma_y \times \frac{D}{2} = \frac{1}{4} \times [2t(B+D-2t)] \times D \times \sigma_y$$

$$\Rightarrow M_e = \frac{D+}{4} \times (B+D-2t) \sigma_y$$

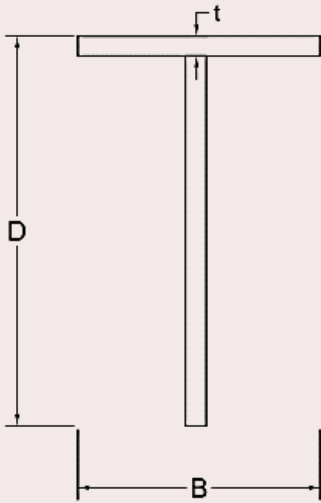
$$M_e = Z_e \times \sigma_y \Rightarrow \boxed{Z_e = \frac{D+}{4} (B+D-2t)}$$

$$\lambda = \frac{Z_p}{Z_e} = \frac{\frac{D+}{2} (B+D-2t)}{\frac{D+}{4} (B+D-2t)} = \frac{4}{2} = 2 \quad \text{نتیجه گیری ۱} \quad \text{متریب شکل مقطع } [1,5]$$

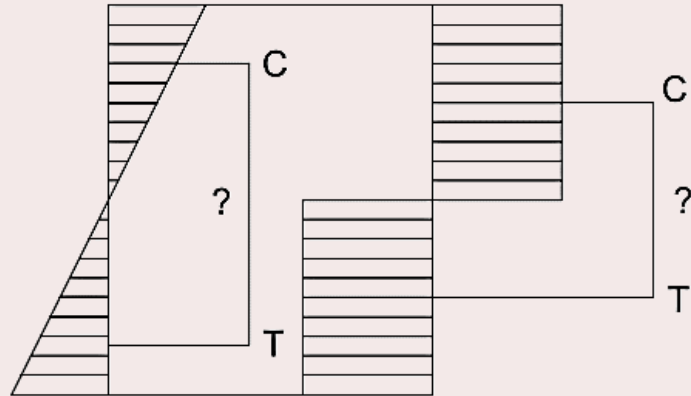
بیشتر هر چه متریب شکل به ۱ نزدیکتر باشد مقطع برای خمش مناسب‌تر است.



تمرین: محاسبه اساس مقطع الاستیک  $Z_e$  و پلاستیک مقاطع  $Z_p$



سپری

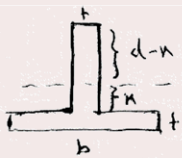


مقطع الاستیک

مقطع پلاستیک

در مقاطع نامتقارن باید محل اثر تار خنثی مشخص باشد تا بتوانیم تعادل را برای مقطع بنویسیم.

نکته: محل اثر تار خنثی جایی است که مساحت قسمت بالا و پایین با هم برابر باشند (مرکز سطح نیست).



محل اثر تار خنثی جایی است که مساحت قسمت بالا و پایین با هم برابر باشند.

$$b + n + t = (d - n) \times t \Rightarrow b + n = d - n \Rightarrow 2n = d - b$$

$$\Rightarrow n = \frac{d - b}{2}$$

$$M_p = \frac{1}{t} \times A \times \sigma_y \times \left( \frac{d-n}{t} + \frac{n+t}{t} \right) = \frac{1}{t} \times t \times (d-n) \times \frac{d+t}{2} \times \sigma_y$$

$$M_p = Z_p \times \sigma_y \Rightarrow \left[ Z_p = \frac{1}{t} + (d-n)(d+t) \right]$$

$$M_e = \frac{1}{t} \times \frac{1}{t} \times \sigma_y \times (d-n) \times t \times \left( \frac{t}{t} \frac{d-n}{1} + \frac{t}{t} \frac{n+t}{1} \right) = \frac{1}{t} + (d-n) \times \frac{t}{t} (d+t) \times \sigma_y$$

$$M_e = Z_e \times \sigma_y \Rightarrow Z_e = \frac{1}{t} + (d-n)(d+t)$$

$$\gamma = \frac{Z_p}{Z_e} = \frac{\frac{1}{t} + (d-n)(d+t)}{\frac{1}{t} + (d-n)(d+t)}$$

$$\Rightarrow \gamma = 1,0$$

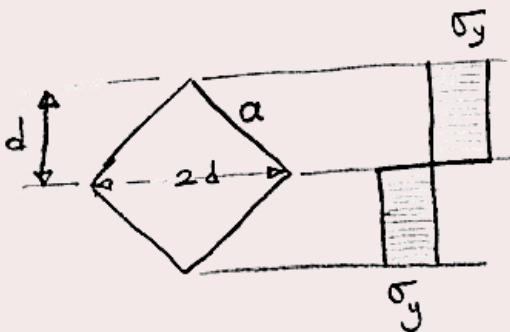
مربع شکل  
مقطع

با افزایش لنگر اعمالی به مقاطع از حالت لنگر الاستیک به لنگر پلاستیک، اگر تنش تسلیم در کشش بزرگتر از تنش تسلیم در فشار باشد محور خنثی به طرف تارهای کششی جابجا میشود و اگر تنش تسلیم در کشش کوچکتر از تنش تسلیم در فشار باشد محور خنثی به طرف تارهای فشاری جابجا می شود. اما در مقاطع متقارن مانند مستطیل و I شکل محل تار خنثی تغییر نمی کند.

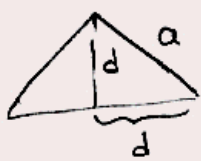
جداول پروفیل‌های ساختمانی برای انواع نیمرخ نورد شده، مقادیر اساس مقطع الاستیک را محاسبه و با علامت W با زیر نویس مربوط به محور خمش نشان داده است. هر چند در این جداول اساس مقطع پلاستیک به طور مشخص محاسبه نشده است، ولی گشتاور استاتیک نیم سطح مقطع با علامت  $S_x$  (برای خمش حول محور X) آورده شده است، که با دو برابر کردن آن می‌توان اساس مقطع پلاستیک  $Z_p$  را برای انواع نیمرخ‌ها تعیین نمود. برای نیمرخ‌های نورد شده آشکل مقدار ضریب شکل، برای خمش حول محور قوی حدود 1.12 و برای خمش حول محور ضعیف حدود 1.5 است.

تمرین: الزما مراجعه به کتاب

مساله ۱ - الف فصل کتاب کاهه



$$M_p = 2d \times \frac{1}{2} \times d \times \frac{d}{3} \times 2 \sigma_y = \frac{2}{3} d^3 \sigma_y$$



$$d^2 + d^2 = a^2 \rightarrow 2d^2 = a^2 \rightarrow d^2 = \frac{a^2}{2}$$

$$\rightarrow d = \frac{a}{\sqrt{2}} \rightarrow d^3 = \frac{a^3}{2\sqrt{2}}$$

$$\Rightarrow M_p = \frac{2}{3} \left( \frac{a^3}{2\sqrt{2}} \right) \sigma_y = \frac{a^3}{3\sqrt{2}} \sigma_y \Rightarrow Z_p = \frac{a^3}{3\sqrt{2}}$$

# حل تمرین درس تحلیل غیرارجاعی

بخش دوم :  
تیرهای ساده

## مقدمه و کلیات

چرا باید ضابطه تیر ضعیف\_ستون قوی را رعایت کنیم؟

همانطور که می دانید در صورت خرابی یک تیر، در المان های مجاور باز توزیع نیروها رخ داده و سازه می تواند پایداری خود را حفظ کند. اما آیا در ستون ها هم این اتفاق خواهد افتاد؟ قطعاً خیر! خرابی یک ستون می تواند موجب فروپاشی کل سازه شود. تمام آیین نامه های لرزه ای با در نظر گرفتن این موضوع بر رعایت اصل تیر ضعیف\_ستون قوی تاکید می کنند.

موقعیت تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها:

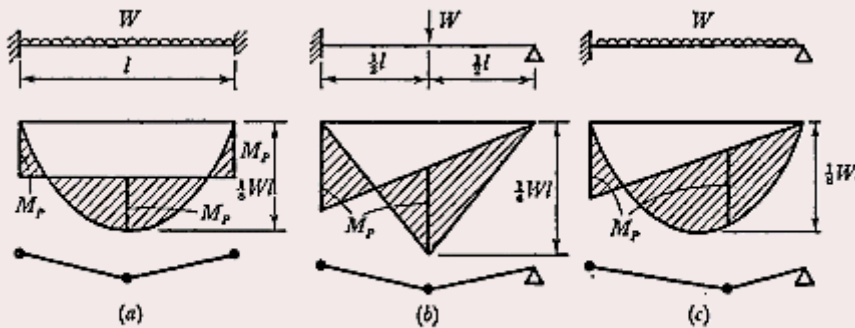
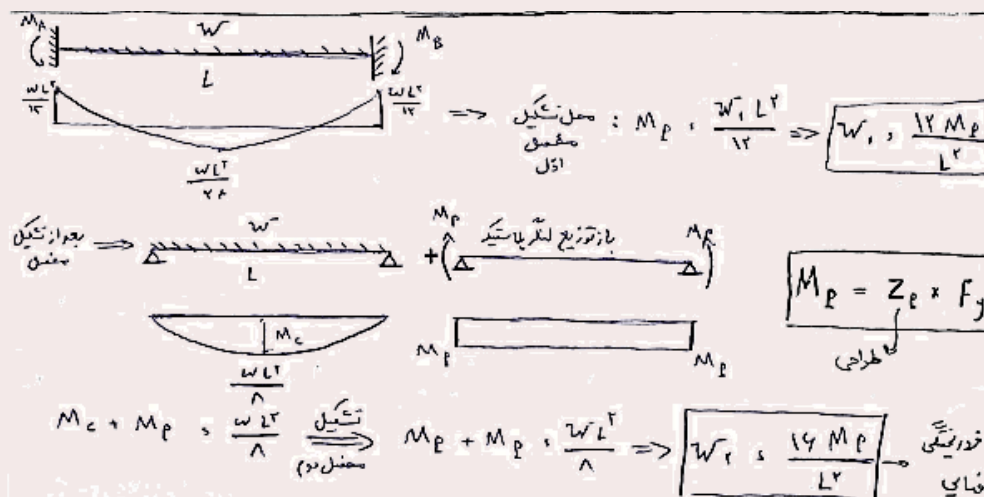
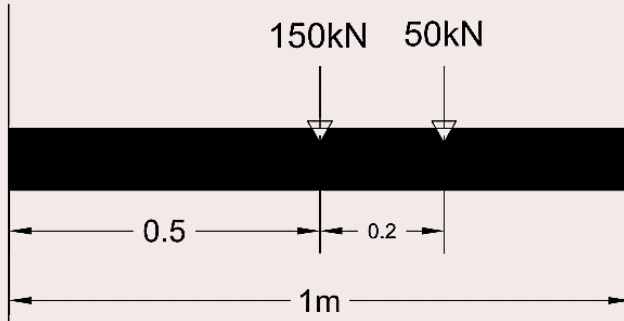


Fig. 2.10

محل از تیر که مقدار لنگر بیشتر از ظرفیت مقطع می شود، مفصل پلاستیک تشکیل شده و سازه ما یک درجه معین تر می شود. سپس عمل باز توزیع لنگر انجام شده و مجدداً با افزایش بار مفصل در محل لنگر بیشینه جدید تشکیل می شود. این روند تا جایی ادامه پیدا می کند تا سازه ناپایدار شود (فروپاشی کلی).



تمرین: مطلوب است محاسبه ضریب بار برای تیر شکل (مشخصات مقطع تیر از نوع I شکل درج شده است)



$$D=304 \text{ mm}$$

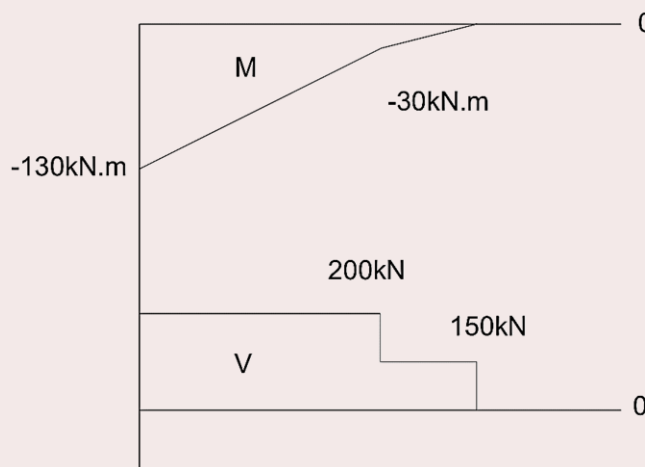
$$B=165 \text{ mm}$$

$$T_w= 6.1 \text{ mm}$$

$$T_f= 10.2 \text{ mm}$$

$$F_y = 250 \text{ kN/mm}^2$$

ابتدا ترسیم دایگرام آزاد لنگر و برش:



مطابق شکل مقدار لنگر بیشینه ۱۳۰ کیلونیوتون در متر می باشد.

اکنون نیاز است تا لنگر پلاستیک مقطع محاسبه شود:

$$M_p = [BT(D - T_f) + \left(\frac{D}{2} - T_f\right)^2 \times T_w] \times F_y = 61711956 \times 250 = 154279891 \text{ N.mm}$$

$$M_p = 154.3 \text{ kN.M}$$

$$\lambda = \frac{M_p}{M_{max}} = 1.187 \cong 1.2$$

ضریب بزرگنمایی بار جهت رسیدن به تسلیم خمشی در محل تکیه گاه

ضریب محاسبه شده جهت وضعیت خمش خالص بود، نیاز به کنترل و محاسبه تسلیم برشی نیز می باشد. مطابق معیار فون میسر ترکیبی از نیروی برشی و لنگر خمشی باید در محدوده ظرفیت تیر بگنجد.

اساس مقطع پلاستیک جان  $Z_w =$

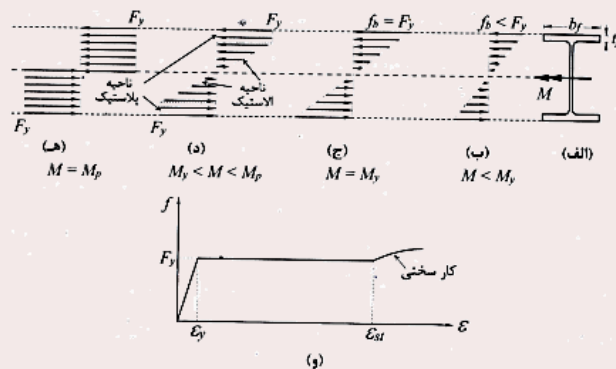
$$Z_w = \left(\frac{D}{2} - Tf\right)^2 \times Tw = 122654 \quad \tau = \frac{V}{A} = \frac{200000}{Aw} = 115.61 \quad \text{تنش برشی}$$

$$\frac{\tau}{F_y} = \frac{115.61}{250} = 0.6 \quad \text{مطابق با معیار فون میسر}$$

$$Mp' = Mp - Z_w \times \left(1 - \frac{\tau}{F_y}\right) \times F_y = 154.3 - = 141.2$$

$$\lambda = \frac{Mp'}{M_{max}} = 1.09 \cong 1.1 \quad \text{ضریب بزرگنمایی بار جهت رسیدن به تسلیم برشی جان در محل تکیه گاه}$$

یادآوری:



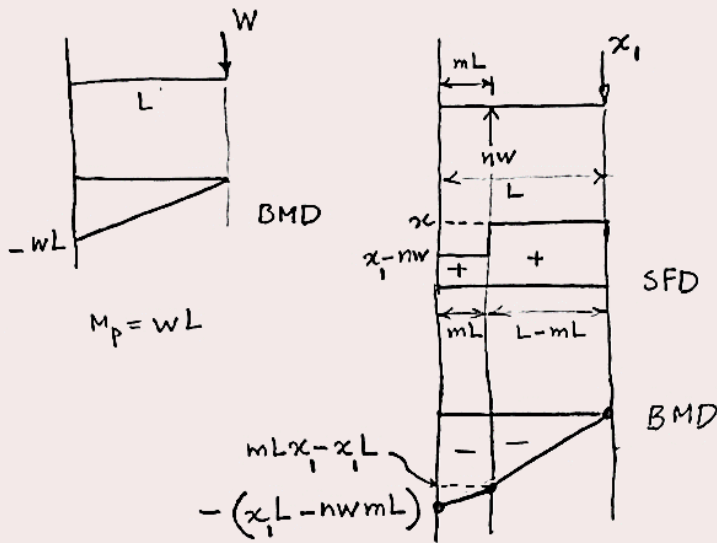
شکل ۳-۵- توزیع تنش در مقطع I شکل برای مقادیر مختلف M و نمودار تنش - کرنش ماده

چنانچه ماده تشکیل دهنده تیر، فولاد نرمه معمولی با نمودار تنش و کرنش ایده آل باشد برای مقطع I شکل نشان داده شده در تصویر ۳-۵ الف با افزایش لنگر خمشی حول محور X-X آن، حالات زیر قابل پیش بینی است.

- ۱- شدت لنگر به گونه ای است که مطابق شکل ۳-۵ ب هیچکدام از تارهای مقطع به تنش تسلیم نرسد.
- ۲- با افزایش لنگر، مطابق شکل ۳-۵ ج تنش در تارهای انتهایی تیر به حد تسلیم ( $F_y$ ) برسد. به لنگری که تولید تنش تسلیم در تارهای انتهایی نماید.  $M_y$  گویند.
- ۳- با افزایش لنگر مطابق شکل ۳-۵ د تارهای بیشتری از مقطع به تنش تسلیم می رسند ولی همچنان در حوالی تار خنثی توزیع تنش خطی، اما نواحی انتهایی کاملاً پلاستیک شده و جاری می شوند.
- ۴- با افزایش لنگر خمش مطابق شکل ۳-۵ ه حالتی به وجود خواهد آمد که تمام تارهای مقطع به تنش حد تسلیم  $F_y$  می رسند. در این حالت حداکثر لنگر مقاوم داخلی مقطع که به آن لنگر تسلیم می گویند و با  $M_p$  نمایش داده می شود در مقطع ایجاد می شود. این لنگر حداکثر لنگری است که مقطع قادر به تحمل آن است.

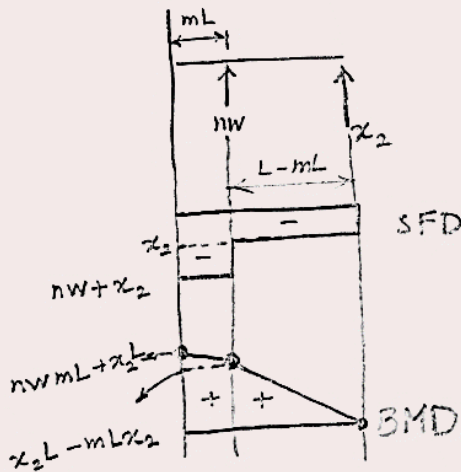
تمرین: الزما مراجعه به کتاب

مساله ۲۹ فصل ۱ کتاب کاروه



$$x_1 L - n w m L = M_p = W L \rightarrow x_1 = \frac{W L + n w m L}{L} = W + n w m$$

$$\rightarrow x_1 = W(1 + n m)$$

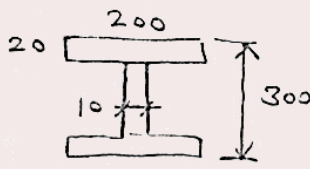


$$x_2 L - m L x_2 = M_p = W L$$

$$x_2 L (1 - m) = W L \rightarrow x_2 = \frac{W}{1 - m}$$

تمرین: الزما مراجعه به کتاب

مساله ۲۸ فصل ۱ کتاب کاوره



$$F = (D - 2T)t \cdot z$$

مات جانب

$$z = \frac{250 \times 10^3}{(300 - 2 \times 20) \times 10}$$

$$= 96.15 \text{ N/mm}^2$$

Mises معیار:  $\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_y^2 \rightarrow \frac{\sigma}{\sigma_y} = 0.7458$

$\tau = 96.15 \text{ N/mm}^2$   
 $\sigma_y = 250 \text{ N/mm}^2$

مدرک پلاستیک کاهش یافته = مدرک پلاستیک اولی - مدرک پلاستیک کن  $\times (1 - \frac{\sigma}{\sigma_y})$   
(مدرک برش)

مدرک پلاستیک  $= (\frac{D}{2} - T)^2 \cdot z \times (1 - 0.7458)$   
(الف)  $= (\frac{300}{2} - 20)^2 \times 10 \times (1 - 0.7458)$   
 $\approx 43000$

ب)  $\tau = 96.15 \rightarrow \frac{\sigma}{\sigma_y} = 0.8795$   
 $\sigma_y = 350$

مدرک پلاستیک  $= (\frac{300}{2} - 20)^2 \times 10 \times (1 - 0.8795) \approx 20000 \text{ m}^3$

در حضور برش  $M_p = M_f + M_w$   
 $\rightarrow z_p \cdot \sigma_y = z_f \cdot \sigma_y + z_w \cdot \sigma_y \rightarrow z_p = z_f + z_w$   
در حضور برش  $\rightarrow z_p \cdot \sigma_y = z_f \cdot \sigma_y + z_w \cdot \sigma \rightarrow z_p = z_f + z_w \cdot \frac{\sigma}{\sigma_y}$   
مدرک پلاستیک کاهش یافته  $\rightarrow z_p = z_p - z_w + z_w \cdot \frac{\sigma}{\sigma_y} = z_p - z_w (1 - \frac{\sigma}{\sigma_y})$



# حل تمرین درس تحلیل غیرارتجاعی

بخش سوم :

قاب ساده

## مقدمه و کلیات

روند تغییرات بار وارد به قاب یک دهانه ساده فولادی نسبت به تغییر مکان در شکل زیر نمایش داده شده است. (گام به گام با تشکیل مفصل پلاستیک تا فروپاشی کامل سازه)

2. SIMPLE BEAMS AND FRAMES

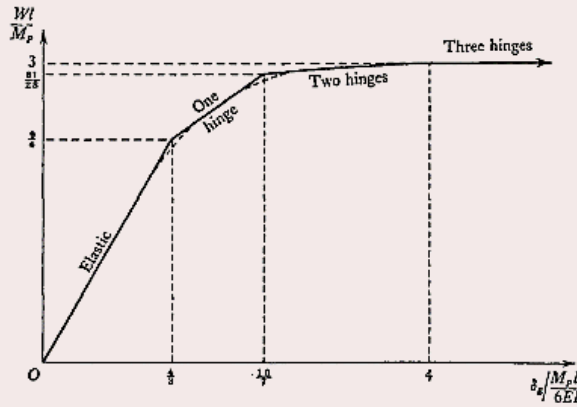
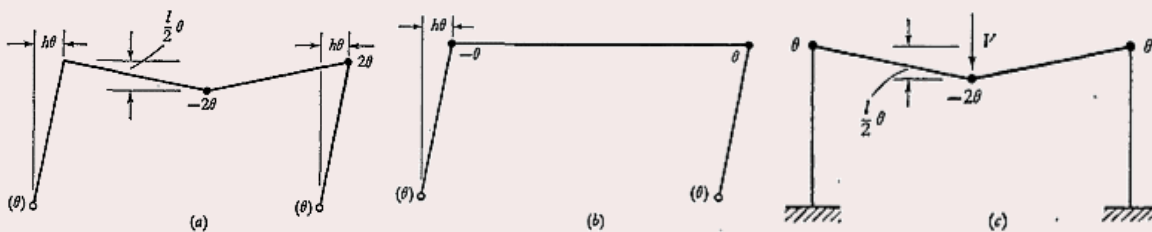


Fig. 2.7

قاب های خمشی برای تحمل نیروهای ثقلی و جانبی از طریق عملکرد خمشی و برشی تیر و ستون و اتصالات آنها اقدام به انتقال نیرو و لنگر به پی سازه می نمایند در صورتی که نیروی جانبی زیاد نباشد مقداری از این انرژی در جابجایی های مجاز سازه مستهلک می شود اما اگر نیروی جانبی وارد بر سازه زیاد باشد علاوه بر جابجایی سازه در قسمت هایی از تیر سازه مفصل پلاستیک به وجود می آید که با رفتن این قسمت ها به ناحیه غیر ارتجاعی و پذیرش تغییر شکل های بزرگ باعث استهلاک انرژی می شود و از شدت نیروی جانبی اعمالی خارجی به سازه می کاهد نحوه و محل به وجود آمدن مفصل پلاستیک در تیر نیز در انتقال مقدار لنگر خمشی و نیروی برشی به سازه نقش بسزایی دارد (نیک نفس، آرش و علاء الدین بهروش، ۱۳۹۳).

جهت تحلیل غیر خطی قاب ساده از روش مکانیزم استفاده می کنیم که ممکن است سه نوع مکانیزم برای قاب رخ دهد.

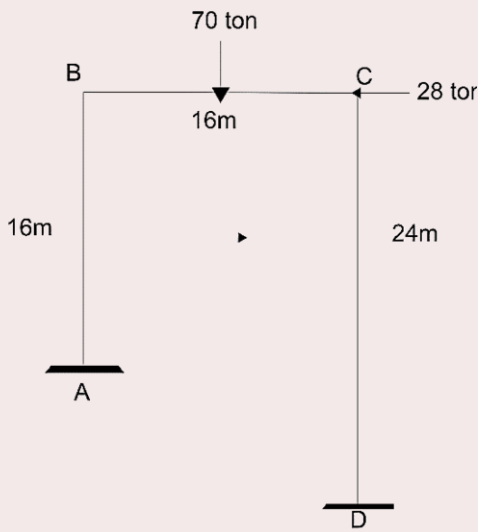


مکانیزم ترکیبی

مکانیزم جانبی

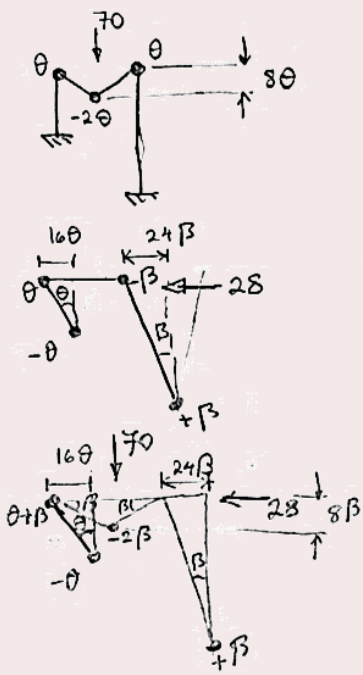
مکانیزم تیری

نکته: جهت محاسبه ظرفیت قاب هر سه حالت باید کنترل شوند.



تمرین: مطلوب است محاسبه لنگر نهایی قاب ساده زیر.

کنترل سه مکانیزم مطرح شده انجام می شود.  
لنگر بیشینه بدست آمده از حل سه مکانیزم  
ظرفیت نهایی قاب می باشد.



$$70 \times 8\theta = 4\theta M_p \rightarrow M_p = 140$$

مکانیزم توری

$$24\beta = 16\theta \rightarrow \theta = \frac{24}{16}\beta$$

مکانیزم جانبی

$$28 \times 24\beta = (2\beta + 2\theta) M_p = (2\beta + \frac{2 \times 24}{16}\beta) M_p$$

$$672\beta = 5\beta M_p \rightarrow M_p = 134.4$$

$$28 \times 24\beta + 70 \times 8\beta = (2\theta + 4\beta) M_p = (2 \times \frac{24}{16}\beta + 4\beta) M_p$$

مکانیزم ترکیبی

$$1232\beta = 7\beta M_p \rightarrow M_p = 176$$

بزرگترین  $M_p$  جواب ساده است.

$$M_p = 176$$

تمرین: مطلوب است محاسبه نمودار ظرفیت قاب زیر (محاسبات به صورت پارامتری انجام شود).

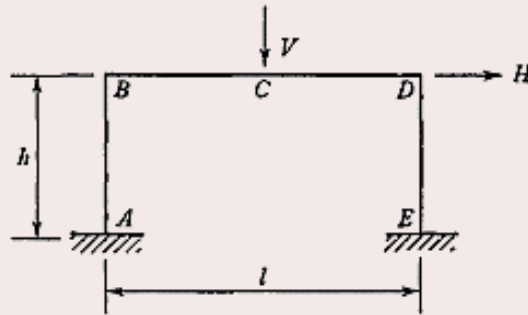
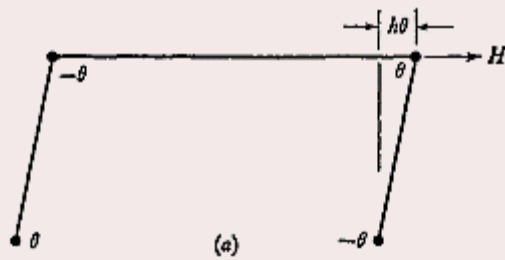
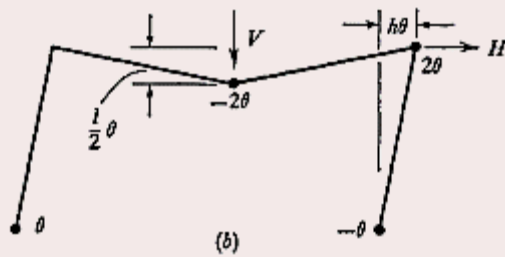


Fig. 2.42

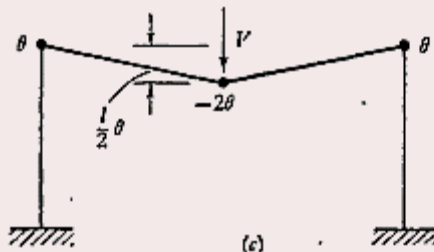
بررسی وقوع سه مکانیزم:



مکانیزم جانبی



مکانیزم ترکیبی



مکانیزم تیری

Fig. 2.43

$$\left. \begin{aligned} (a) \quad Hh &= 4M_p \\ (b) \quad Hh + \frac{1}{2}Vl &= 6M_p \\ (c) \quad \frac{1}{2}Vl &= 4M_p \end{aligned} \right\}$$

در نهایت سه معادله به دست می آید که ترسیم آن نمودار ظرفیت قاب می باشد. برای اینکار دو طرف معادلات را بر مقدار  $M_p$  تقسیم می کنیم.

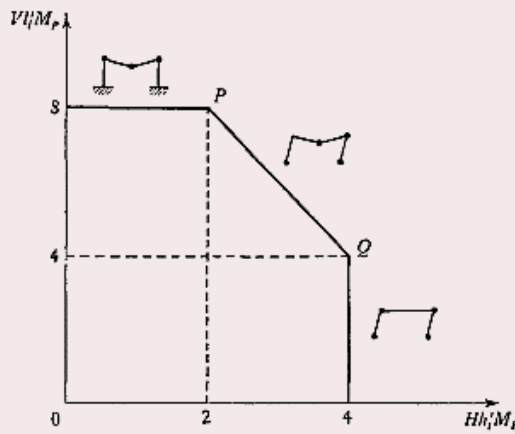


Fig. 2.44

تمرین: مطلوب است محاسبه نمودار ظرفیت قاب زیر (محاسبات به صورت عددی).

قاب ساده به روش مکانیزم (کار خارجی):

- ۱- جانبی
- ۲- ترکیبی

① کنترل مکانیزم ترکیبی

$$V \times S = M_{Pc} \times \theta + M_{Pb} (\theta + \alpha)$$

$$+ M_{Pc} \times \theta \Rightarrow \varepsilon V \theta = M_{Pc} \times \frac{\theta}{2} + M_{Pb} \times \frac{\theta}{2}$$

$$\Rightarrow \varepsilon V \theta = (M_{Pc} + M_{Pb}) \times \frac{\theta}{2}$$

$$\Rightarrow \varepsilon V = 200 \times \frac{\theta}{2} \Rightarrow \boxed{V = 100}$$

② مکانیزم جانبی:

$$\delta \theta, \varepsilon \beta \Rightarrow \beta = \frac{\delta}{2} \theta$$

$$H \times \delta \theta = M_{Pc} \times \theta + M_{Pc} \times \theta + M_{Pc} \times \beta + M_{Pc} \times \beta$$

$$\Rightarrow \delta H \theta = (2 \times 11 + 2 \times 11 \times \frac{\delta}{2}) \theta \Rightarrow \boxed{H = 224}$$

③ مکانیزم ترکیبی:

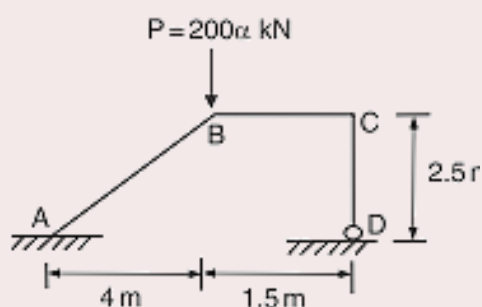
$$\beta = \frac{\delta}{2} \theta$$

$$\alpha = \frac{\delta}{2} \theta$$

$$H \times \frac{\delta}{2} \theta + V \times \frac{\delta}{2} \theta = M_{Pc} \times \theta + M_{Pb} (\theta + \frac{\delta}{2} \theta) + M_{Pc} (\frac{\delta}{2} \theta + \frac{\delta}{2} \theta)$$

$$+ M_{Pc} \times \frac{\delta}{2} \theta \Rightarrow \boxed{\varepsilon V + \delta H = 1700}$$

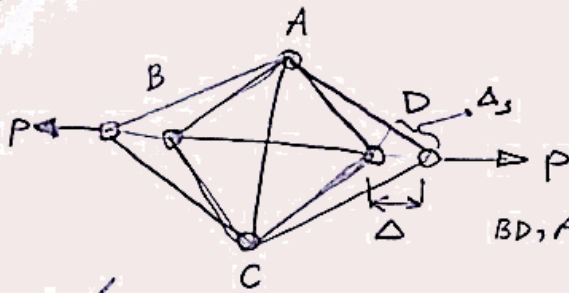
تمرین: کنترل نمایید مقادیر لنگر بدست آمده را برای قاب زیر در تمام شرایط وقوع مفصل پلاستیک تا فروپاشی کامل قاب.



Case	Structure	Joint A	Joint B	Joint C	Joint D
A		72.3	-98.5	100.0	0
B		0	-92.2	126.0	0
C		51.9	0	204.0	0
D		138.4	-180.4	0	0
E		0	0	218.2	0
F		0	-218.2	0	0
G		800	0	0	0
H		Collapse			

تمرین: الزما مراجعه به کتاب

مساله ۱ فصل ۳ م ۱۶۳ کتاب کاوه



مقائیم ۱

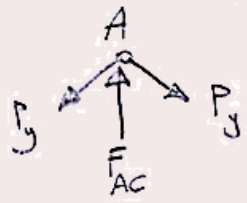
مقائیمی که در آن تسلیم میشوند.  
 $BD, AD, CD = BC, AB$

$$\begin{aligned}
 \text{کار خارجی} &= 2P \cdot \Delta \\
 \text{دایمی} &= 4P_y \cdot \Delta_s + 2P_y \cdot \Delta \\
 \Delta_s &= \Delta \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}
 \end{aligned}
 \left| \rightarrow 2P \cdot \Delta = 2P_y \cdot \Delta + 4P_y \times \frac{\Delta \sqrt{2}}{2} \right.$$

$$P = P_y + \sqrt{2}P_y \rightarrow \boxed{P = (1 + \sqrt{2})P_y}$$

Upper bound

equilibrium check

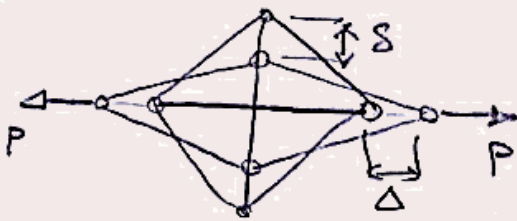


$$F_{AC} = 2P_y \times \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow F_{AC} = \sqrt{2}P_y > P_y$$

شرایط تسلیم یعنی برآورد از این بزرگتر است

$$P_{\text{Lower bound}} = \frac{P_{\text{Upper bound}}}{\sqrt{2}} = \frac{1 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}} P_y$$

$$1.71 P_y = \frac{1 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}} P_y \leq P_{\text{collapse}} \leq (1 + \sqrt{2}) P_y = 2.41 P_y$$



مکانیسم 2  
مکانیسم گردان AC و BD تسلیم شوند

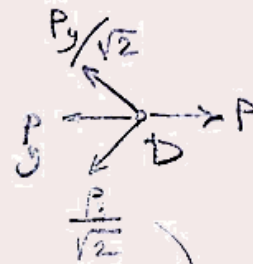
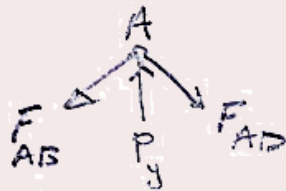
$\delta = \Delta$  درین سازه

کار درگاه =  $2P \cdot \Delta$

کار در اعضا =  $2P_y \cdot \Delta + 2P_y \cdot \Delta = 4P_y \Delta$   $\rightarrow 2P \Delta = 4P_y \Delta$

$P = 2P_y$

new upper bound



$F_{AB} = F_{AD}$

$2F_{AB} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = P_y \rightarrow F_{AB} = \frac{P_y}{\sqrt{2}}$

$P = 2 \cdot \frac{P_y}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + P_y = 2P_y \rightarrow P = 2P_y$

$\frac{1+\sqrt{2}}{\sqrt{2}} P_y \leq P_{collapse} \leq 2P_y$



# حل تمرین درس تحلیل غیرارجاعی

بخش چهارم :  
قاب شیبدار

## مقدمه و کلیات

در این نوع قاب نیز چون تعداد درجات نا معینی با قاب ساده برابر است، تعداد مفاصل پلاستیک و مکانیزم‌های خرابی با قاب ساده برابر می‌باشد. تفاوت اصلی این نوع قاب با قاب ساده در یک نوع از مکانیزم‌ها و نمودار ظرفیت آن می‌باشد.

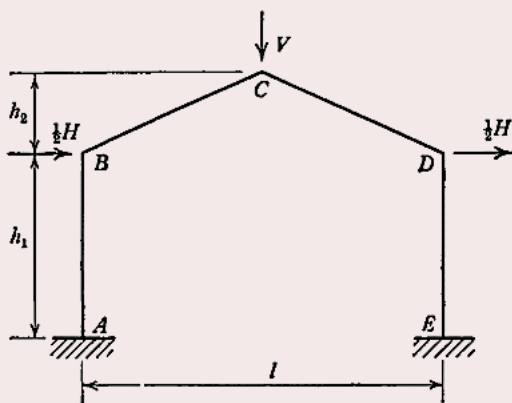


Fig. 2.56

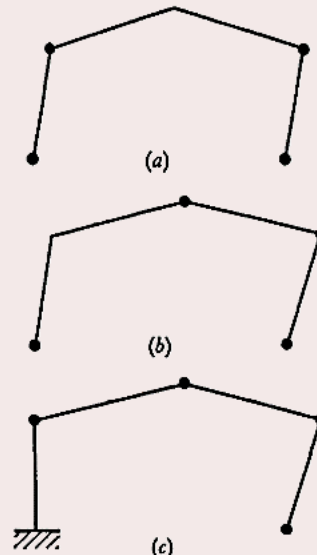


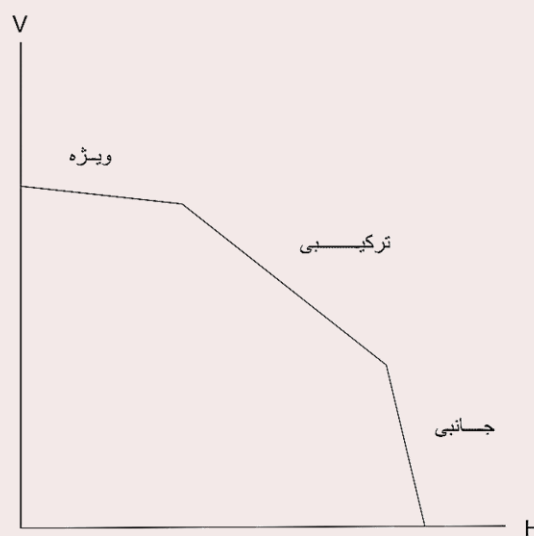
Fig. 2.57

جانبی

ترکیبی

ویژه (قاب شیب‌دار)

در حل معادلات بدست آمده برای قاب شیب‌دار یک اثر تقویتی نسبت به قاب ساده مشاهده می‌شود که برتری قاب شیب‌دار نسبت به قاب ساده را در مواجهه با بار ثقلی و جانبی نشان می‌دهد. نمودار ظرفیت قاب شیب‌دار به صورت زیر می‌باشد:



تمرین: مطلوب است محاسبه نمودار ظرفیت قاب معرفی شده در بخش قبل (محاسبات به صورت پارامتری انجام شود).

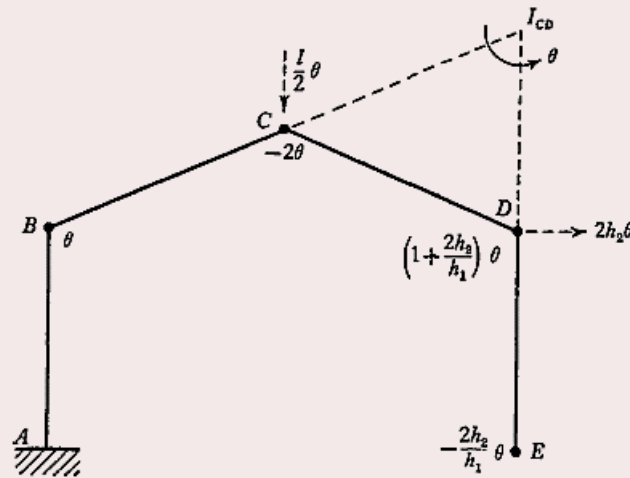
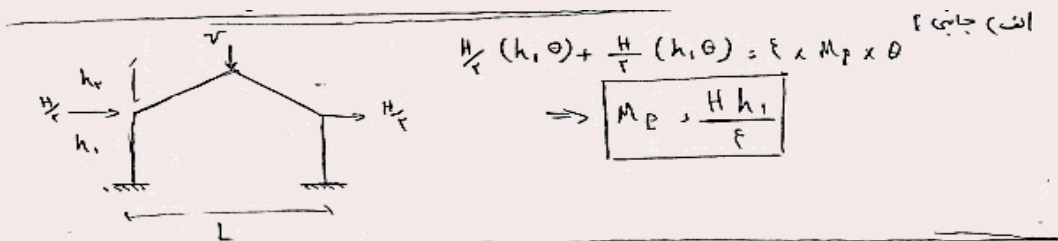


Fig. 2.58



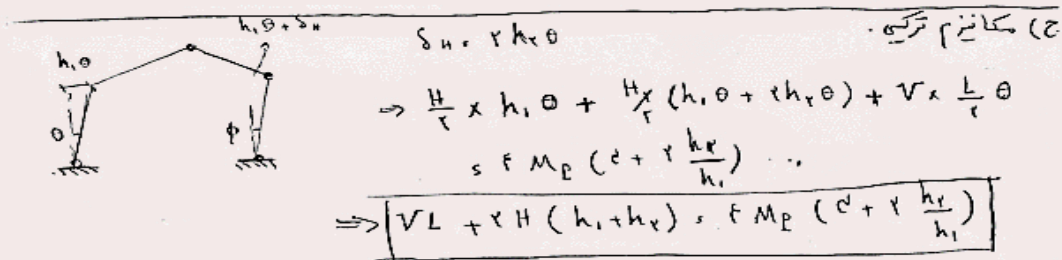
(ب) مکانیزم خاص:

$$\delta_V = \frac{L}{2} \times \theta \quad \delta_H = h_2 \times \theta \quad \phi = \frac{2h_2\theta}{h_1}$$

$$V \times \frac{L}{2} \theta + H_2 (2h_2\theta) = M_p \theta + 2M_p \theta + M_p (\theta + \phi) + M_p \phi$$

$$\Rightarrow \left[ \frac{V \times L}{2} + H h_2 = \epsilon \left( 1 + \frac{h_2}{h_1} \right) M_p \right]$$

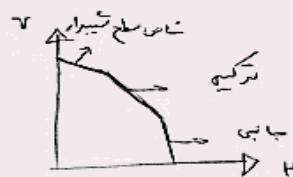
یک از تقریبی نسبت به حالت تیری است ← از روی تئوری را مستعمل می‌تند.



بررسی شوط تسلیم:  $\frac{M_A - M_P}{h_1} + \frac{2M_P}{h_1} = H \Rightarrow M_A = H \times a - M_P$

$\Rightarrow -M_P < M_A < M_P \Rightarrow \left[ 0 \leq H \times a \leq 2M_P \right]$

شوط مکانیزم قاب تسلیم وار  $\Rightarrow \left[ 0 \leq \delta H \leq 2V \right]$



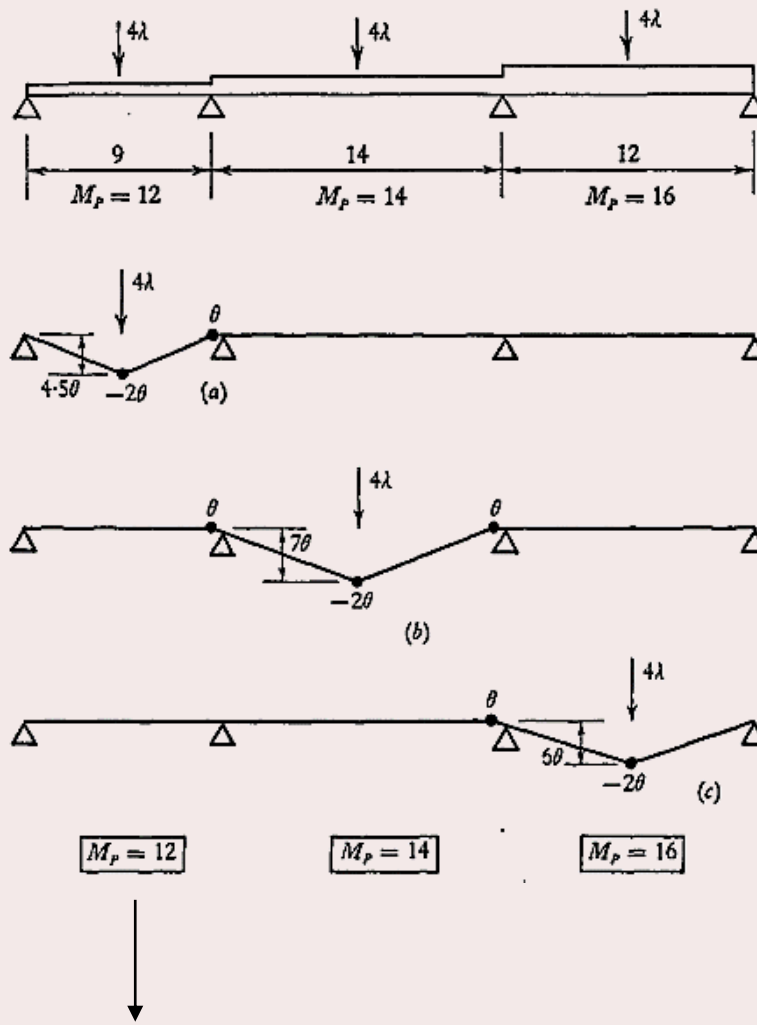
# حل تمرین درس تحلیل غیرارجاعی

بخش پنجم :

تیرهای غیر ساده (سرتاسری)

## مقدمه و کلیات

روند محاسبات برای تیرهای سرتاسری مانند تیر ساده می باشد، با این تفاوت که بایستی وضعیت لنگر نهایی برای هر دهانه جداگانه بررسی شود و لنگر حداقل بدست آمده پاسخ مساله خواهد بود. روند محاسبات برای دهانه های کناری و میانی در قالب شکل ارائه شده است.



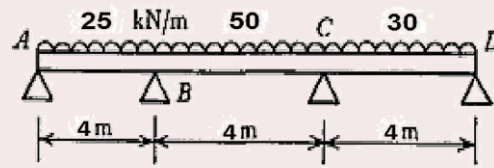
### لنگر فروپاشی

ضریب بار برای بار ۴ تن که به صورت متحرک می تواند روی تیر سرتاسری حرکت کند به صورت زیر به دست می آید.

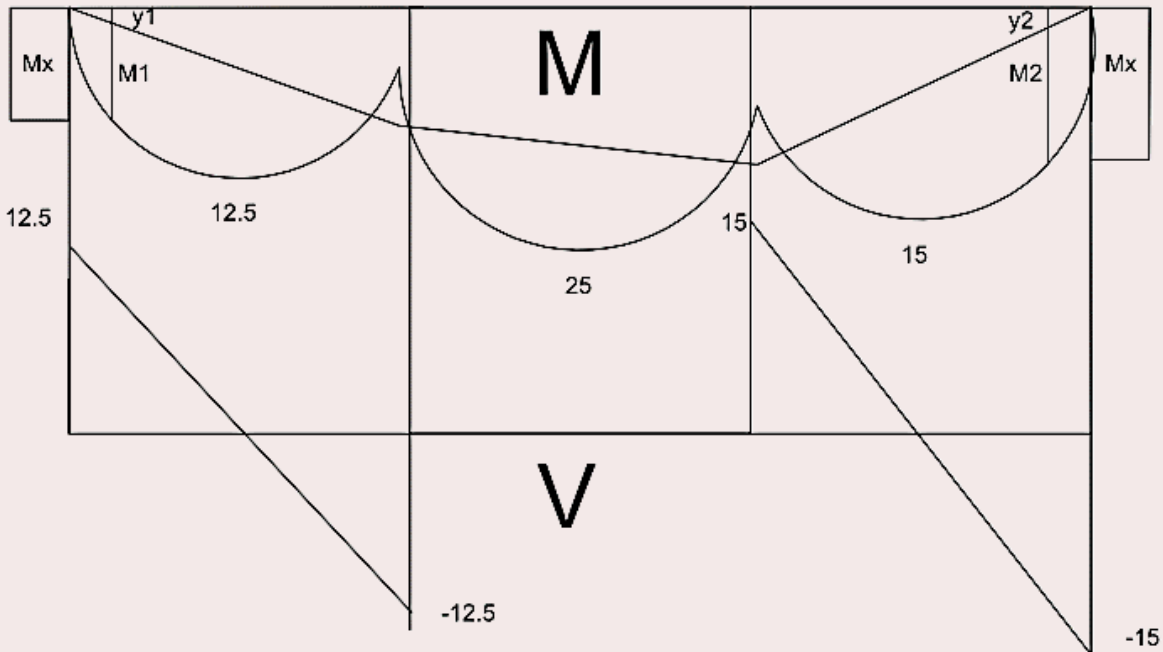
$$\left. \begin{aligned} (a) \quad 4\lambda(4.5\theta) &= (12)(3\theta) & (\lambda = 2.00); \\ (b) \quad 4\lambda(7\theta) &= (12)(\theta) + (14)(3\theta) & (\lambda = 1.93); \\ (c) \quad 4\lambda(6\theta) &= (14)(\theta) + (16)(2\theta) & (\lambda = 1.92). \end{aligned} \right\}$$

نکته: در تیرهای سرتاسری ضریب بار حداقل پاسخ مساله جهت رسیدن به آستانه فرو ریزش سازه می باشد.

تمرین: مطلوب است محاسبه لنگر تیر سرتاسری زیر تحت بار های داده شده.



حل: دهانه ها رو جدا کرده و مورد بررسی قرار می دهیم: دیاگرام آزاد هر دهانه و کل تیر به صورت سرتاسری ترسیم می شود:



برای دهانه اول سمت چپ:

1)  $Mx1 = M + y1$  اثبات به صورت هندسی

$$\frac{x}{y1} = \frac{4}{Mp} \rightarrow y1 = \frac{xMp}{4}$$

$$\frac{2-x}{Vx} = \frac{2}{12.5} \rightarrow Vx = 12.5 - 6.25x$$

معادله برآش برای دهانه اول

2)  $Mx = \int Vx dx = 12.5x - 3.125x^2$  اثبات به صورت ریاضی

$$\rightarrow 12.5x - 3.125x^2 = M + \frac{xMp}{4} \rightarrow M = -3.125x^2 + 12.5x - \frac{xMp}{4}$$

معادله لنگر بر اساس لنگر پلاستیک در دهانه اول بدست آمد. با مشتق گیری محل وقوع لنگر پلاستیک را بدست می آوریم:

$$\frac{dM}{dx} = 0 \rightarrow \boxed{x = 2 - 0.04Mp}$$

معادله لنگر را بدست آوردیم. محل وقوع لنگر بیشینه نیز بدست آمد. با قرار دادن  $M = Mp$  و  $x = 2 - 0.04Mp$  مقدار لنگر پلاستیک بدست می آید. پس داریم:

$$Mp = -3.125(2 - 0.04Mp)^2 + 12.5(2 - 0.04Mp) + (2 - 0.04Mp) \frac{Mp}{4}$$

از حل معادله فوق که درجه ۲ می باشد دو مقدار برای لنگر پلاستیک بدست می آید. با توجه به فلسفه مفصل پلاستیک در تیرها می بایست کمترین مقدار بدست آمده را انتخاب کنیم. پاسخ معادله :

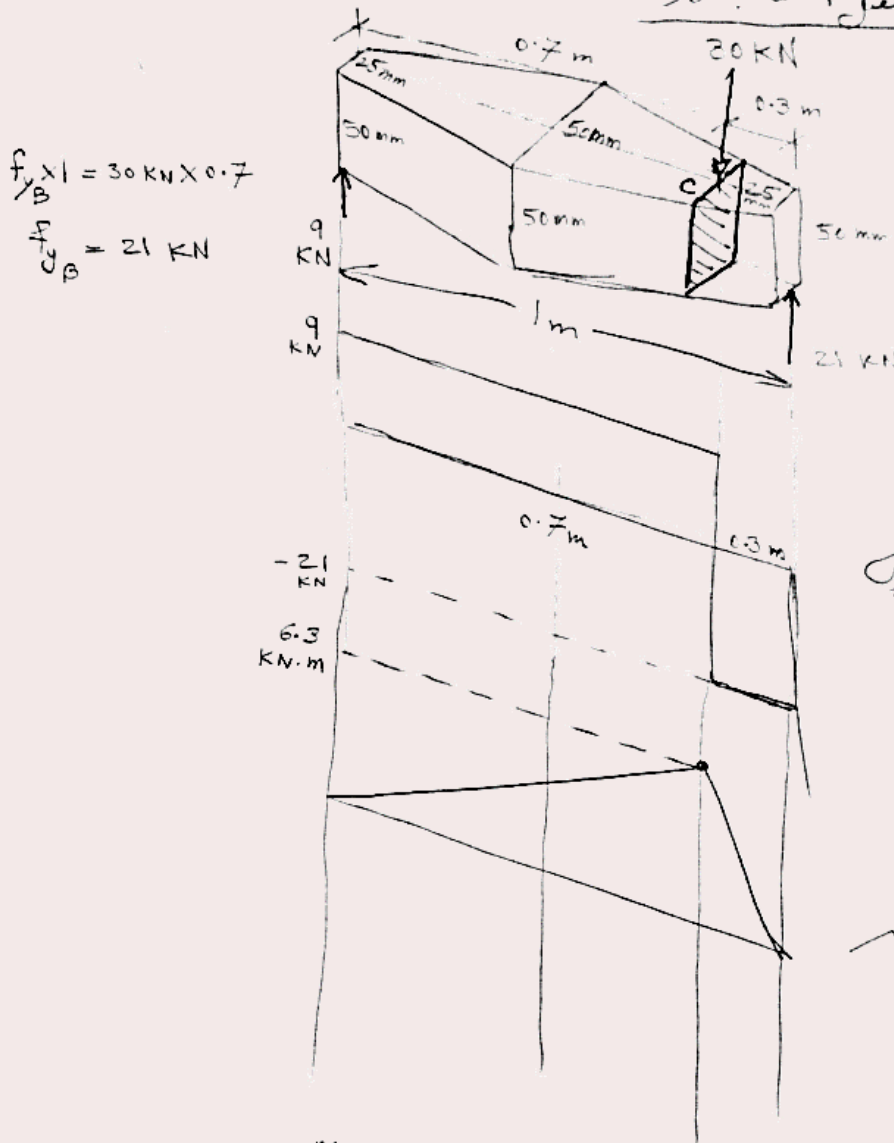
$$Mp = \begin{pmatrix} 291.4 \\ 8.6 \end{pmatrix} \rightarrow$$

با قرار دادن مقدار بدست آمده برای لنگر پلاستیک در رابطه  $x$  ، موقعیت محل تشکیل مفصل پلاستیک نیز بدست می آید.

مشابه این روند بایستی برای سایر دهانه ها انجام شود و لنگر حداقل بدست آید.

تمرین: الزما مراجعه به کتاب

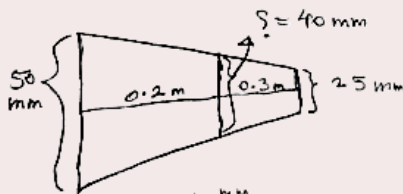
مساله ۶ فعلی کتاب کاوه



نمودار برش

نمودار W

$$M_p = 6.3 \text{ kN}\cdot\text{m} = Z_p \cdot \sigma_y = 6.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



$$\bar{y} = \frac{25 - 12.5}{500} = \frac{12.5}{500} = 0.025$$

$$25 - 200 \times 0.025 = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{موقع } C.G. = 40 \text{ mm}$$



$$Z_p = 40 \times 25 \times \frac{25}{2} \times 2 = 25000 \text{ mm}^3$$

$$25000 \times \sigma_y = 6.3 \times 10^6 \rightarrow \sigma_y = 252 \text{ N/mm}^2$$



# حل تمرین درس تحلیل غیرارجاعی

بخش ششم :

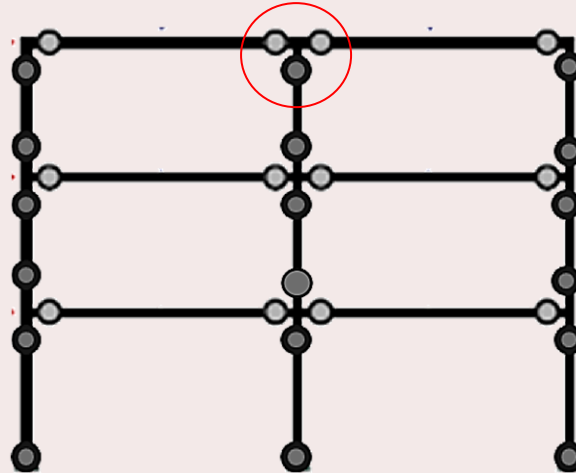
قاب غیر ساده (چند دهانه و چند طبقه)

## مقدمه و کلیات

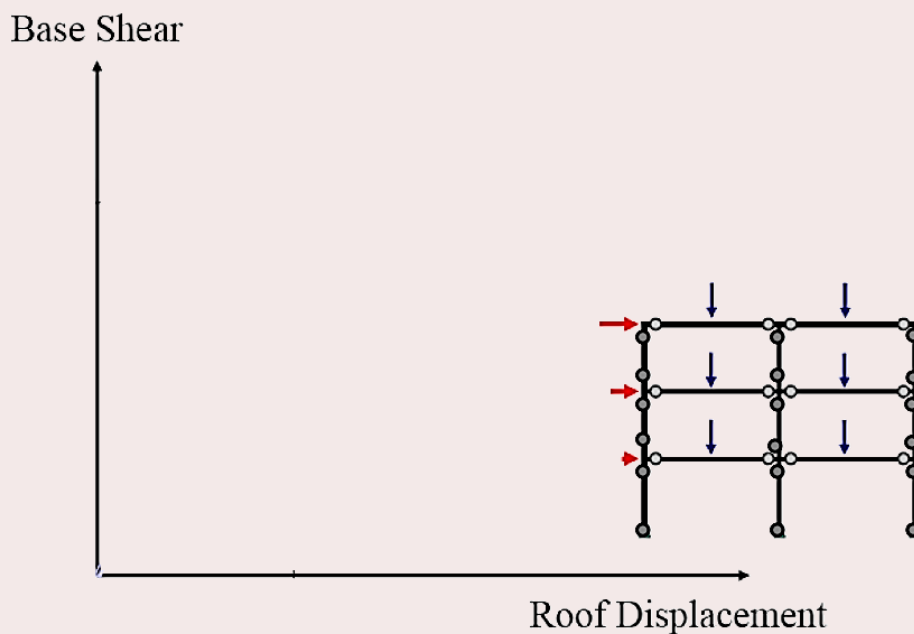
مقاطع بحرانی جهت تشکیل مفصل پلاستیک :

پای ستون ها - محل وارد شدن بارهای متمرکز - ابتدا و انتهای تیرها - محل اتصالات دو شاخه و سه شاخه

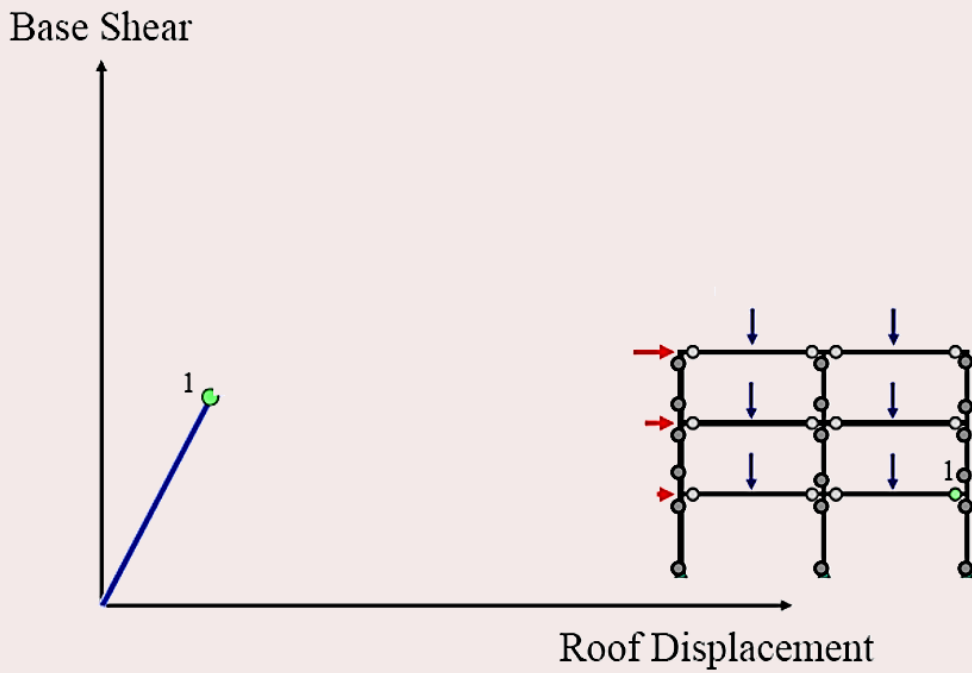
(مکانیزم دورانی در قاب غیر ساده)



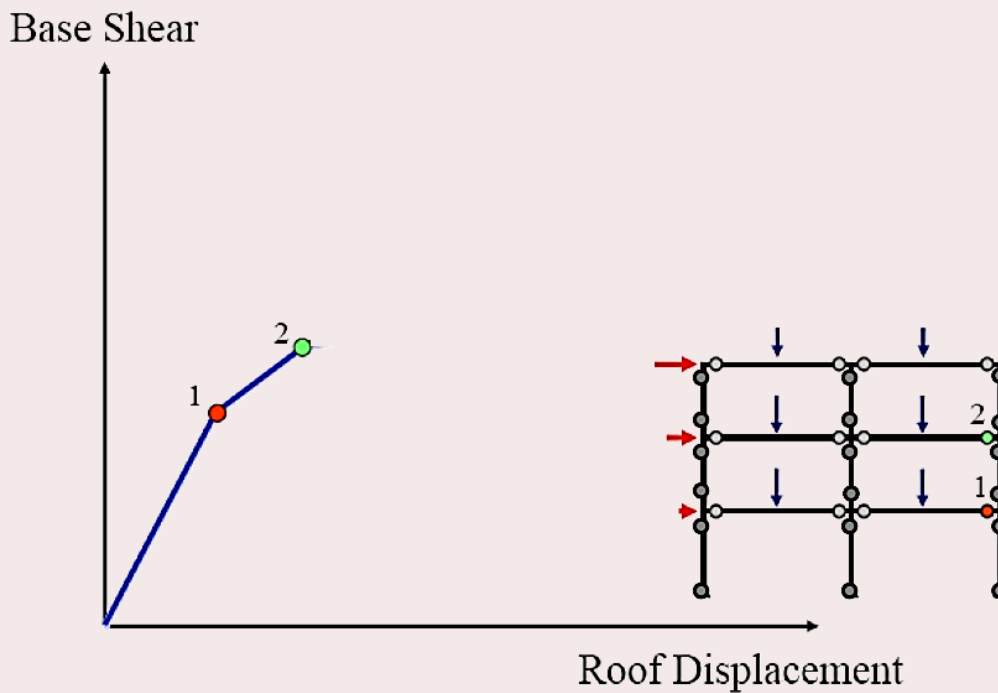
با توجه به اینکه انجام محاسبات این مقطع به صورت دستی بسیار سخت و زمان بر می باشد، از نرم افزارهای تحلیل و طراحی سازه ها مانند **SAP** و **ETABS** استفاده می کنیم (تحلیل پوشش اور). مراحل گام به گام کاری که نرم افزار ها انجام می دهند به صورت شکل در ادامه آمده است. جهت آشنایی با محاسبات دستی نیز دو مثال ساده در ادامه ارائه شده است.



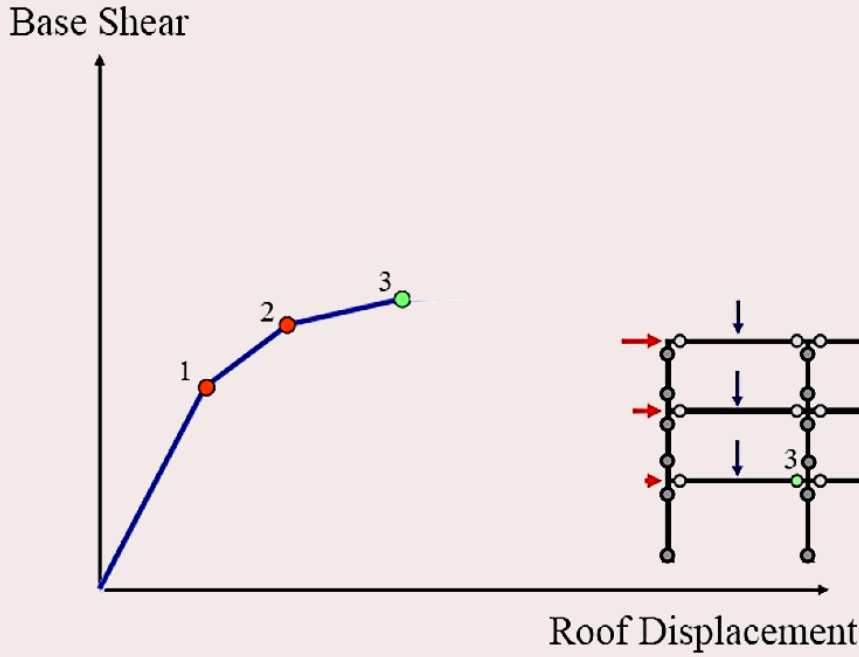
۱- تعریف نمودار نیرو تغییر مکان دو یا چند خطی به نرم افزار



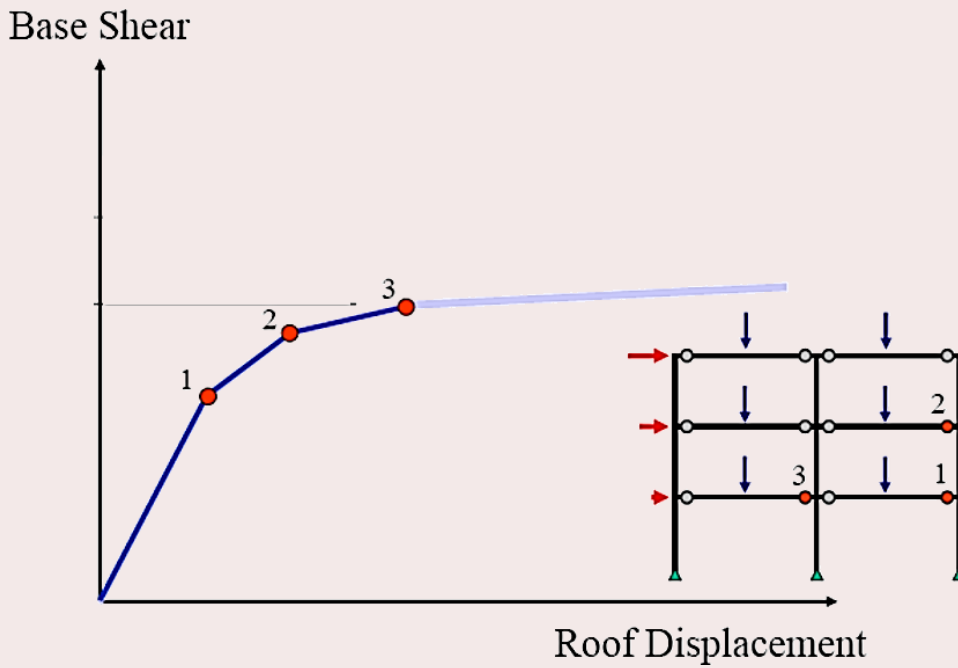
۲- افزایش بار تا تشکیل اولین مفصل پلاستیک



۳- افزایش بار تا تشکیل دومین مفصل پلاستیک



۴- افزایش بار تا تشکیل سومین مفصل پلاستیک

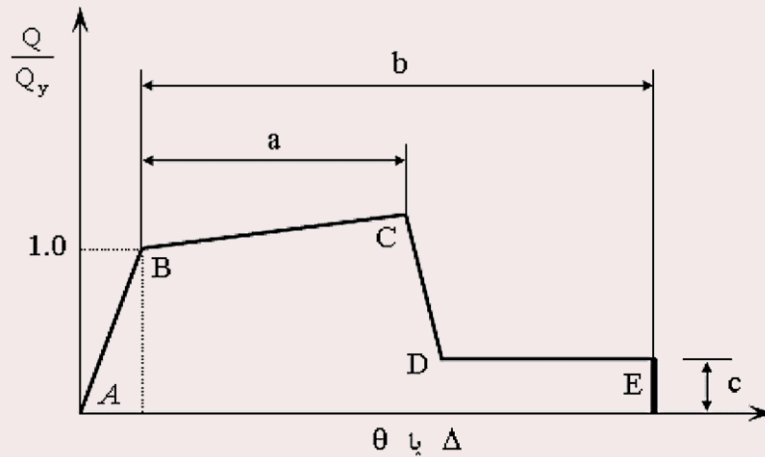


۲- ادامه روند تا پایان تحلیل

پایان تحلیل پوش اور: رسیدن به **تغییر مکان هدف** تعریف شده برای سازه مورد نظر و ترسیم نهایی نمودار نیرو تغییر مکان.

نیازمندی های انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی:

۱- تعریف نمودار نیرو و تغییر مکان اعضای سازه:



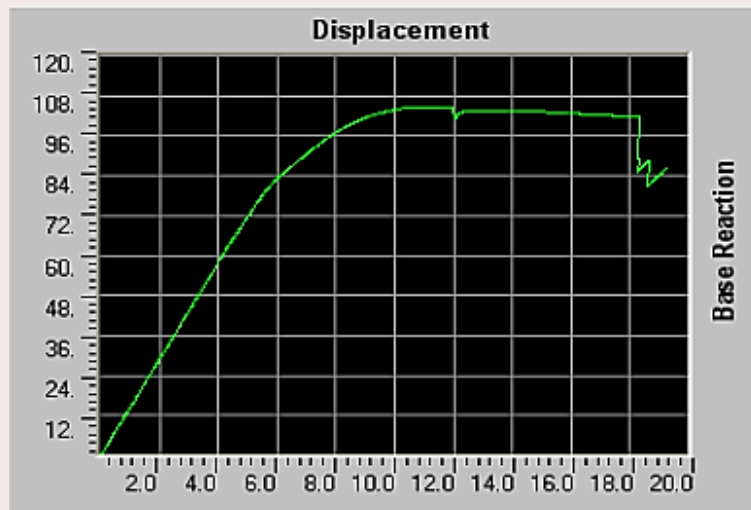
۲- تعریف الگوی بارگذاری جانبی در ارتفاع سازه:

توزیع بار متناسب با **مود اول ارتعاش سازه** و یا بر اساس **جرم طبقات** صورت می گیرد.

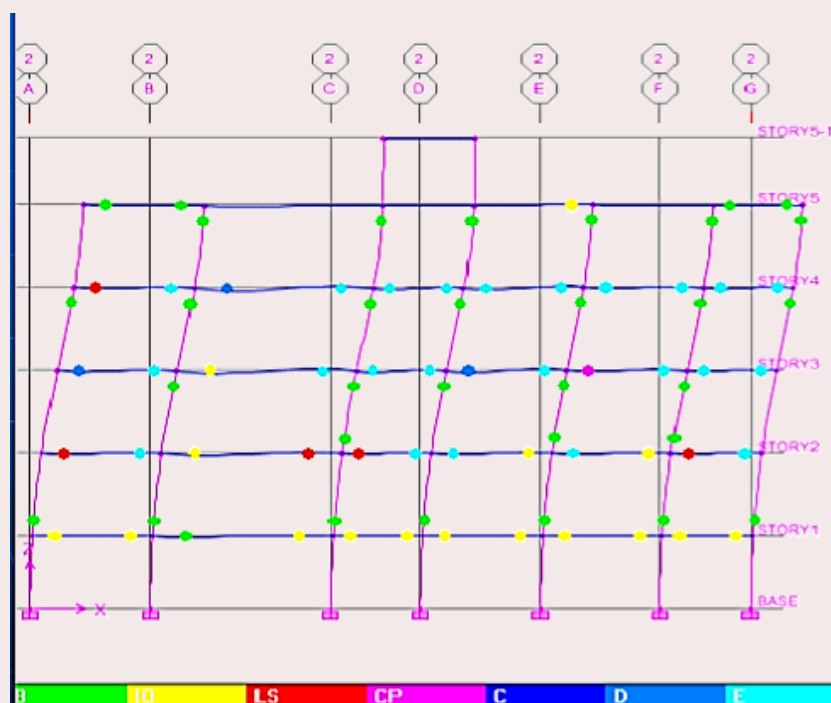
۳- تعیین تغییر مکان هدف (**تفاوت بین تحلیل استاتیکی خطی و غیر خطی**):

در **تحلیل خطی** سازه بایستی تا رسیدن به **نیروی هدف** (برش پایه) سالم بماند.

در **تحلیل غیر خطی** سازه بایستی تا رسیدن به **تغییر مکان هدف** سالم بماند.



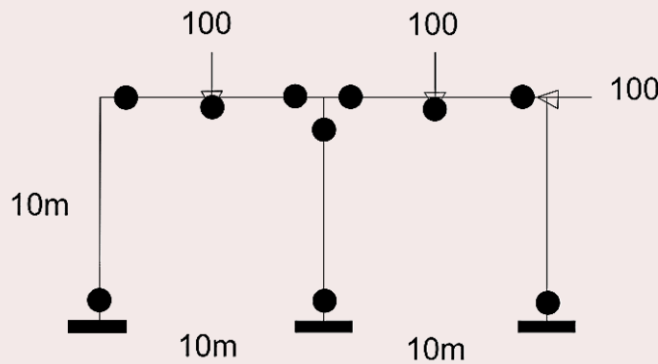
خروجی نرم افزار:



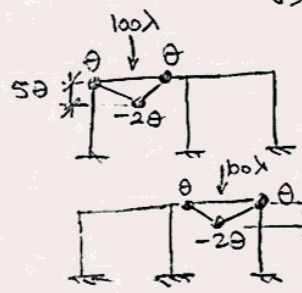
گره های مستعد تشکیل مفصل پلاستیک

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	E	TOTAL
0	0.0000	0.0000	260	0	0	0	0	0	0	0	260
1	0.5782	33.2075	259	1	0	0	0	0	0	0	260
2	0.8030	46.7770	231	29	0	0	0	0	0	0	260
3	1.4083	76.2565	227	33	0	0	0	0	0	0	260
4	1.9606	97.6927	222	38	0	0	0	0	0	0	260
5	2.5839	118.8801	220	19	21	0	0	0	0	0	260
6	3.4470	145.5701	215	10	35	0	0	0	0	0	260
7	4.0525	163.8806	207	13	38	2	0	0	0	0	260
8	4.7944	184.9822	200	20	12	28	0	0	0	0	260

تمرین: مطلوب است محاسبه ضریب بار فروریزش برای قاب دودهانه شکل. (مقاطع بحرانی در شکل مشخص شده است)

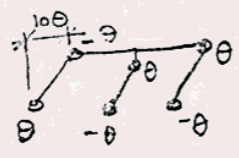


مقاطع بحرانی = 10  
درجه ناپدید = 6  
4 مکان مستقل  
2 تیر  
1 جایی  
ادوات ترکیبی



(a)  $(100\lambda)(5\theta) = 4\theta \times 250 \rightarrow \lambda = 2$

(b)  $(100\lambda)(5\theta) = 4\theta \times 250 \rightarrow \lambda = 2$



(c)  $(100\lambda)(10\theta) = 6\theta \times 250 \rightarrow \lambda = 1.5$

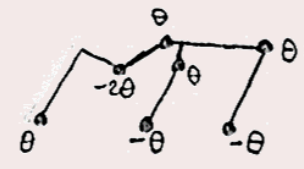
(a)  $500\lambda = 1000$

(c)  $600\lambda = 1500$

$1500\lambda = 2500$

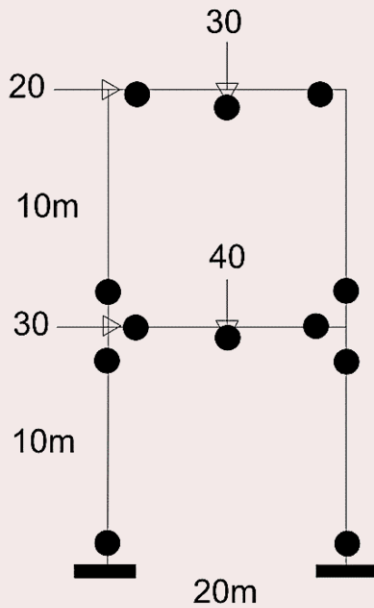
$-2 \times 250$

(d)  $1500\lambda = 2000 \rightarrow \lambda = 1.333$



ضریب حداقل پاسخ مسئله و ضریب بار فروریزش می باشد.

تمرین: مطلوب است محاسبه ضریب بار فروریزش برای قاب دوطبقة شکل. (مقاطع بحرانی در شکل مشخص شده است)



دوازده مقطع بحرانی وجود دارد :

درجه نامعینی قاب شش است:

مکانیزم های خرابی : ۶=۶-۱۲ شش مکانیزم خرابی ممکن است اتفاق بیفتد:

دو تیر وجود دارد ← دو مکانیزم تیری

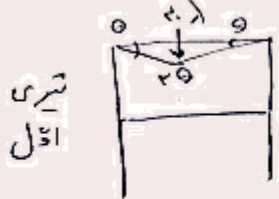
دو طبقه وجود دارد ← دو مکانیزم جانبی

دو اتصال سه شاخه وجود دارد ← دو مکانیزم دورانی

جمعا ۶ مکانیزم موثر

بررسی حالت های مختلف مکانیزم :

مکانیزم تیری :



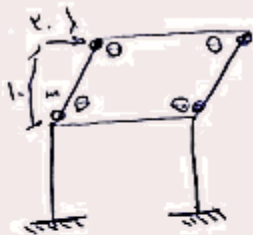
تیری  
اول

$$۲۰ \times \delta = M_p \times \theta_i \Rightarrow ۲۰ \times \delta \times ۱.۰ \theta = ۲۰ \times ۴ \theta$$

$$\Rightarrow \lambda = ۲,۶۷$$

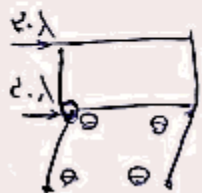
$$(تیری دوم) \quad ۴۰ \times \delta = ۲۰ \times ۴ \theta \Rightarrow \lambda = ۲$$

مکانیزم جانبی :



جانبی  
اول

$$۲۰ \times \delta \times ۱.۰ \theta = ۲۰ \times ۴ \theta \Rightarrow \lambda = ۴$$



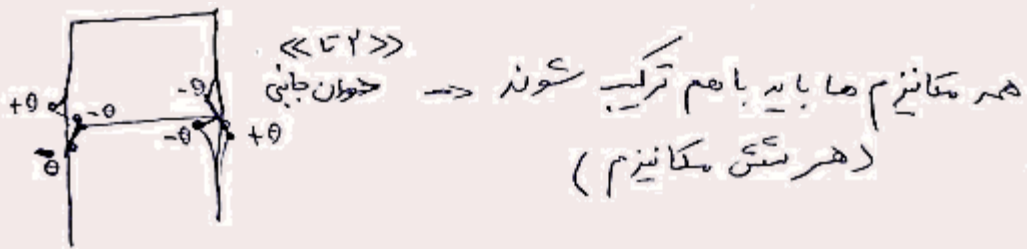
جانبی  
دوم

$$۲۰ \times \delta \times (۱.۰ \theta) + ۲۰ \times \delta \times (۱.۰ \theta) = ۲۰ \times ۴ \theta$$

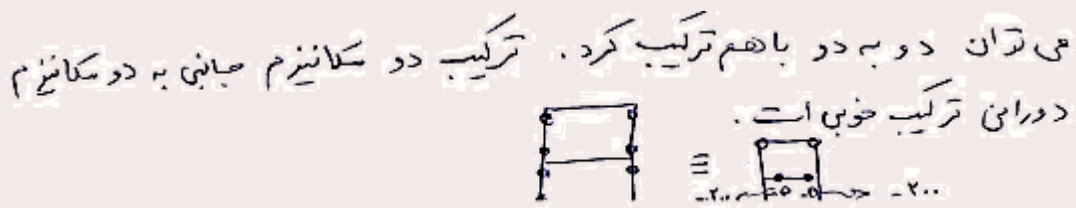
$$\Rightarrow \lambda = ۱,۶$$



مکانیزم دورانی :

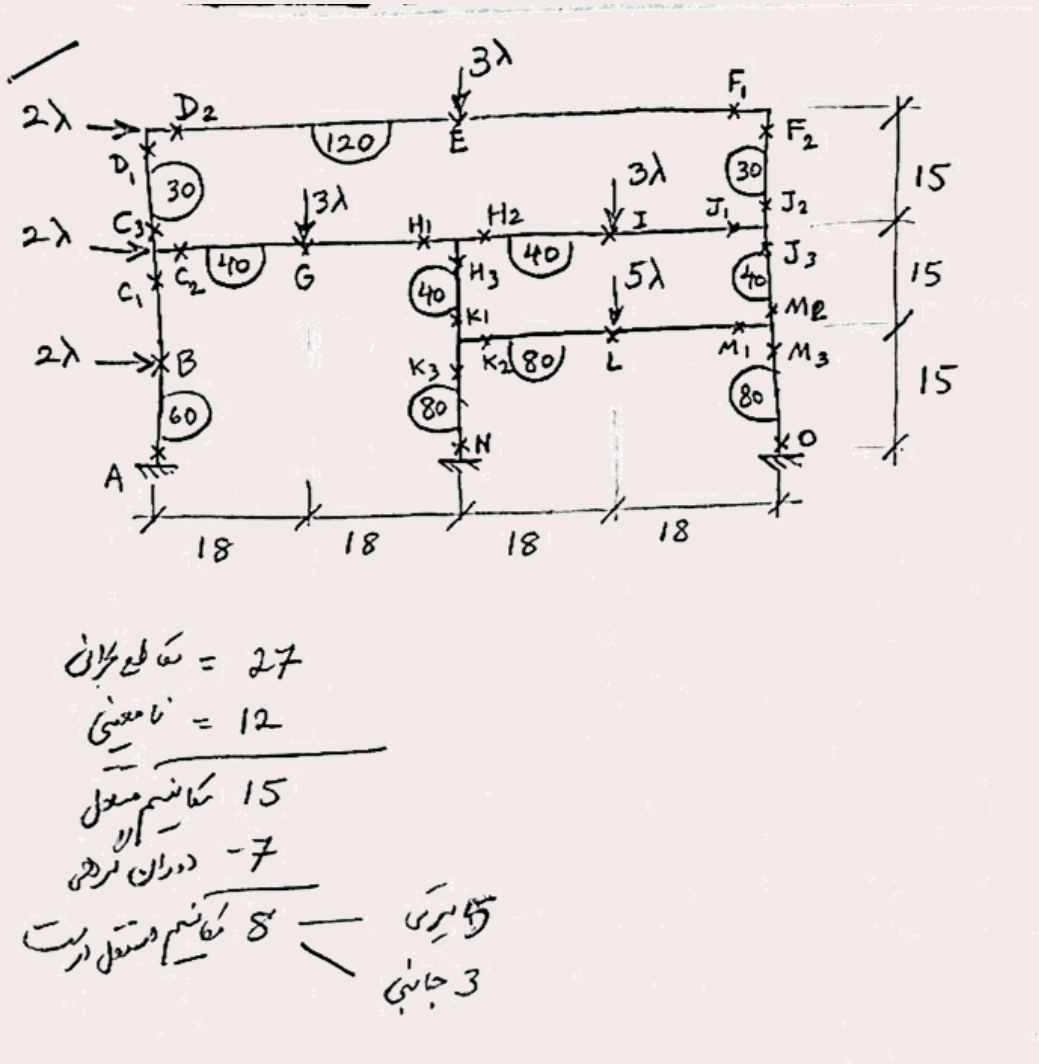


ترکیب مکانیزم ها :

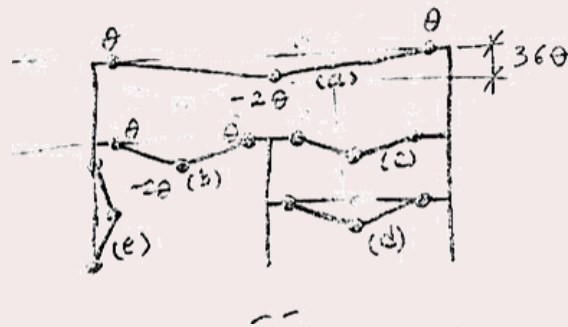


نکته: با بررسی تمام حالت های مکانیزم ضریب حداقل به دست آمده ضریب بار فرو ریزش قاب خواهد بود که کار بسیار وقت گیری می باشد.

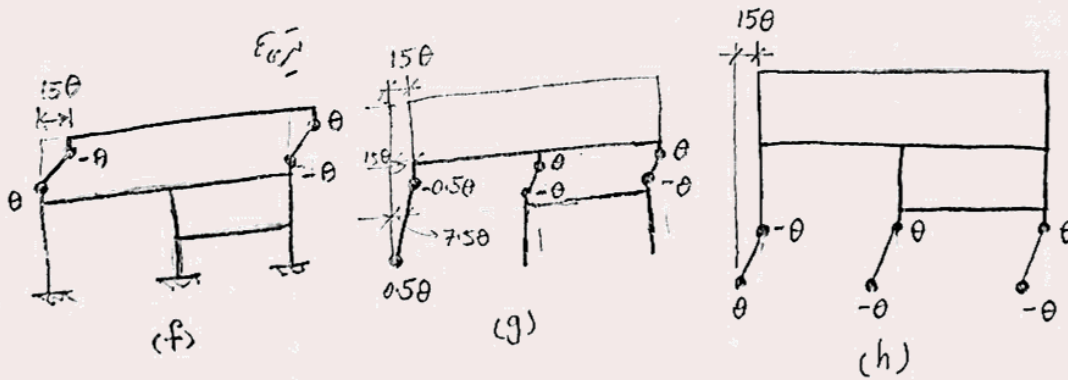
تمرین: مطلوب است محاسبه ضریب بار فروریزش برای قاب شکل. (مقاطع بحرانی در شکل مشخص شده است)



پنج مکانیزم تیری:



سه مکانیزم جانبی:



معادلات مکانیزم؟ می تری

$$\begin{aligned} (a) \quad (3\lambda)(36\theta) &= (120)(4\theta) \rightarrow 108\lambda = 480 \rightarrow \lambda = 4.444 \\ (b) \quad (3\lambda)(18\theta) &= (40)(4\theta) \rightarrow 54\lambda = 160 \rightarrow \lambda = 2.963 \\ (c) \quad (3\lambda)(18\theta) &= (40)(4\theta) \rightarrow 54\lambda = 160 \rightarrow \lambda = 2.963 \\ (d) \quad (5\lambda)(18\theta) &= (80)(4\theta) \rightarrow 90\lambda = 320 \rightarrow \lambda = 3.556 \\ (e) \quad (2\lambda)(15\theta) &= (60)(4\theta) \rightarrow 30\lambda = 240 \rightarrow \lambda = 8 \end{aligned}$$

معادلات مکانیزم جانبی

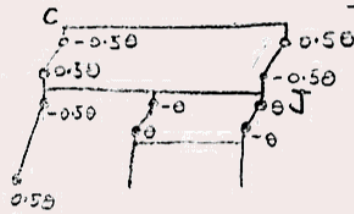
$$\begin{aligned} (f) \quad (2\lambda)(15\theta) &= (30)(4\theta) \rightarrow 30\lambda = 120 \rightarrow \lambda = 4 \\ (g) \quad (2\lambda)(15\theta + 15\theta + 7.5\theta) &= (60)(2 \times 0.5\theta) + (40)(4\theta) \rightarrow 75\lambda = 220 \rightarrow \lambda = 2.933 \\ (h) \quad (2\lambda)(15\theta + 15\theta + 15\theta) &= (60)(2\theta) + (80)(4\theta) \rightarrow 90\lambda = 440 \rightarrow \lambda = 4.889 \end{aligned}$$

ترکیب مکانیزم ها:

چند حالت مختلف را با هم ترکیب کرده و مورد بررسی قرار می دهیم تا بتوانیم پاسخ ها را مقایسه کنیم. مشاهده خواهد شد که به مقادیر ضرایب پایین تری نیز خواهیم رسید.

ترکیب مقاطع

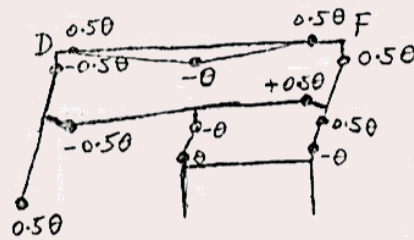
$$\begin{aligned} (f) \quad 0.5 \lambda &= 60 \\ (g) \quad 75 \lambda &= 220 \\ \hline 90 \lambda &= 280 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{دران } 0.5\theta \text{ گره } C & \quad -(0.5 \times 30 + 0.5 \times 60) + 0.5 \times 40 = -25 \\ \text{دران } 0.5\theta \text{ گره } J & \quad -(0.5 \times 20 + 0.5 \times 40) + 0.5 \times 40 = -15 \end{aligned}$$

$$(i) \quad 90 \lambda = 240 \rightarrow \lambda = 2.667$$

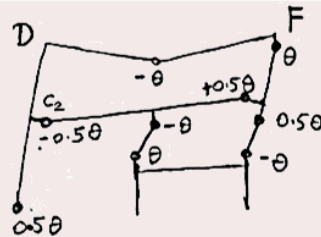
$$\begin{aligned} (i) \quad 90 \lambda &= 240 \\ 0.5(a) \quad 54 \lambda &= 240 \\ \hline 144 \lambda &= 480 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{دران } 0.5\theta \text{ گره } D & \quad -(0.5 \times 30 + 0.5 \times 120) = -75 \\ \text{دران } 0.5\theta \text{ گره } F & \quad -0.5 \times 120 + 0.5 \times 30 = -45 \end{aligned}$$

$$(j) \quad 144 \lambda = 360 \rightarrow 2.5$$

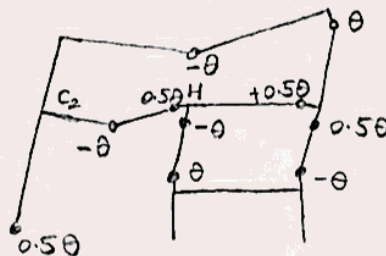
$$\begin{aligned} (j) \quad 144 \lambda &= 360 \\ 0.5(b) \quad 27 \lambda &= 80 \\ \hline 171 \lambda &= 440 \end{aligned}$$



$$c_2 \text{ مفصل گره} \quad -2 \times 0.5 \times 40 = -40$$

$$(k) \quad 171 \lambda = 400 \rightarrow \lambda = 2.339$$

$$\begin{aligned} (k) \quad 171 \lambda &= 400 \\ (c) \quad 54 \lambda &= 160 \\ \hline 225 \lambda &= 560 \end{aligned}$$



$$H \text{ دران } \theta \text{ گره} \quad -40 - 40 + 40 = -40$$

$$225 \lambda = 520 \rightarrow \lambda = 2.311$$

## منابع :

- کاوه، ع ، ۱۳۹۴، طرح و تحلیل پلاستیک قاب ها، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- نیک نفس، آرش و علاء الدین بهروش، ۱۳۹۳، حالت بهینه نحوه و محل ایجاد مفصل پلاستیک در قاب های خمشی فولادی، دومین کنگره بین المللی سازه ، معماری و توسعه شهری، تبریز.
- جزوه درسی تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش اور) ، موسی محمودی صاحبی ، عضو هیات علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران.
- آیین نامه ۲۸۰۰ .
- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان.
- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان.

## تهیه و تنظیم:

مهندس سعید سرودلیر

گروه آموزشی - مهندسی سیولرن  
مرجه طراحی و محاسبات ساختمان  
مرکز آموزشهای علمی - کاربردی مهندسی عمران

سیولرن

[www.Civilearn.com](http://www.Civilearn.com)

[Civilearn@gmail.com](mailto:Civilearn@gmail.com)

[Info@Civilearn.com](mailto:Info@Civilearn.com)

+98 912 88 76 100



سیولرن در تلگرام (به ما پیوندید)

گروه سیولرن ۱ (گروه تخصصی طراحی و محاسبات ساختمان)

<https://telegram.me/joinchat/BibZ5DwOZTbB9nSbNVqadw>

کانال سیولرن (انتشار محتوای سایت سیولرن و اطلاع رسانی‌ها و اخبار مربوطه)

<http://www.Telegram.me/Civilearn>

همچنین میتوانید در محیط تلگرام تایپ کنید @Civilearn

ارتباط با مدیریت سیولرن (مهندس امینی) در تلگرام @Atila\_Amini

ارتباط با مدیریت گروه های تلگرام (مهندس سرودلیر) در تلگرام @Saeid\_Sarvdalir

ادرس صفحات سیولرن در شبکه های اجتماعی

ما را دنبال کنید

<https://Facebook.com/Civilearn>

[https://Instagram.com/Civilearn\\_Group](https://Instagram.com/Civilearn_Group)

<https://ir.Linkdin.com/in/Civilearn>

<https://plus.Google.com/u/0/105826256029539623962>

[https://Twitter.com/Atila\\_Amini](https://Twitter.com/Atila_Amini)