

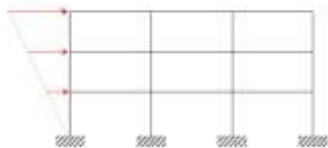
# فصل اول: مقدمه ای بر تحلیل غیرارجاعی

- ✓ مفهوم تحلیل غیرارجاعی و تفاوت آن با تحلیل کلاسیک
- ✓ منحنی تنش کرنش ایده آل و لزوم بکارگیری آن
- ✓ انواع رفتار غیرارجاعی در مصالح
- ✓ رفتار خمیری در خرپاها و اهمیت بررسی آن

9

## محدودیت های تحلیل سازه کلاسیک و امتیازات تحلیل خمیری

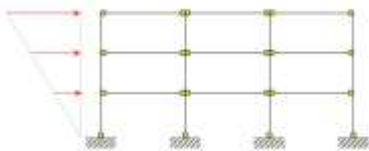
تحلیل کلاسیک:



- ✚ حل مسئله از معادلات تعادل و سازگاری
- ✚ فرض مصالح ارجاعی و تغییرشکل کوچک

$$K \times U = F \Rightarrow \dots$$

تحلیل خمیری:



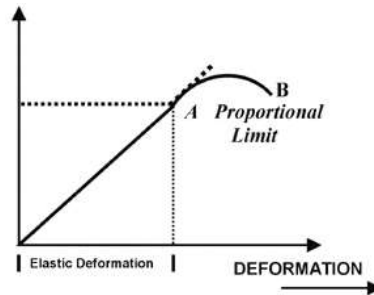
- ✚ آنقدر به سازه بار وارد میشود تا به حالت فروریختگی برسد.

10

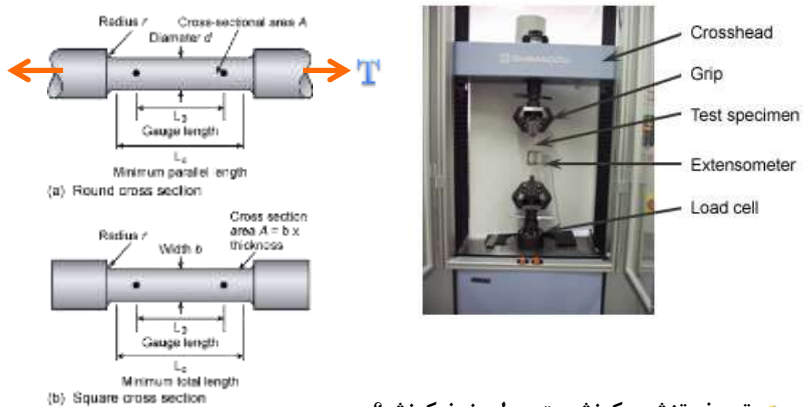
انواع تحلیل غیرارجاعی در کجا لازم است و کجا لازم نیست؟

## محدودیت های تحلیل سازه کلاسیک و امتیازات تحلیل خمیری

منحنی نیرو-تغییر مکان در حالات الاستیک و خمیری:



## نحوه ترسیم منحنی تنش- کرنش مصالح به کمک آزمایش

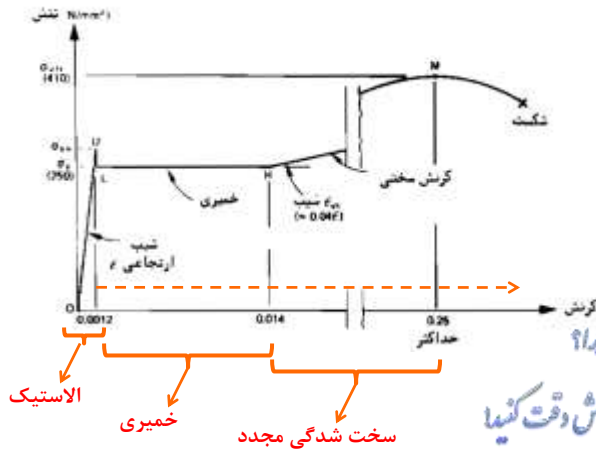


تعریف تنش و کرنش متوسط و نرخ کرنش؟

## مخنی شتایک تش - کرنش فولاد نرمه

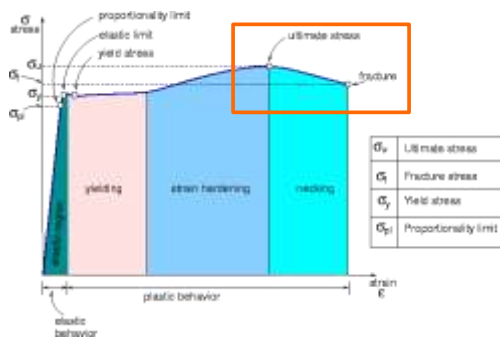
چرا فولاد نرمه!؟

تعریف پارامترهای اصلی



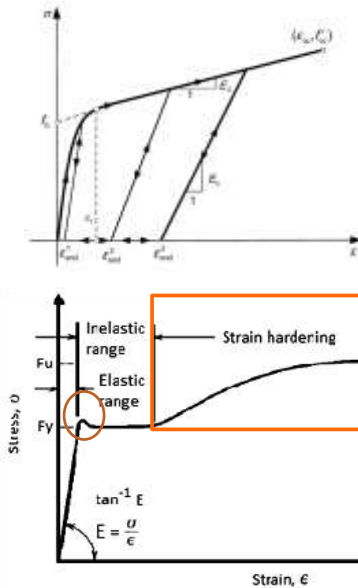
13

## پدیده باریک شدگی و عدم تناظر تش و کرنش حداکثر آزمایه شتابی



14

## ایده آل سازی منحنی تنش- کرنش فولاد برای تحلیل خمیری



فرضیات ساده کننده:

- ❖ حذف حد بالایی تسلیم
- ❖ حذف ناحیه سخت شدگی مجدد!
- ❖ حفظ سختی اولیه در باربرداری و بارگذاری مجدد

مشکل مدلسازی ناحیه

SE:

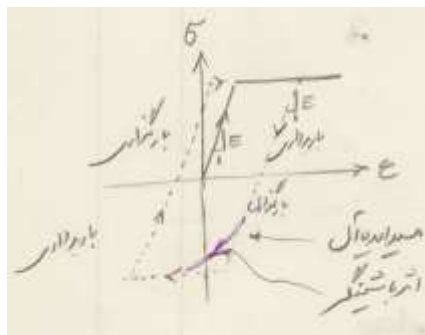
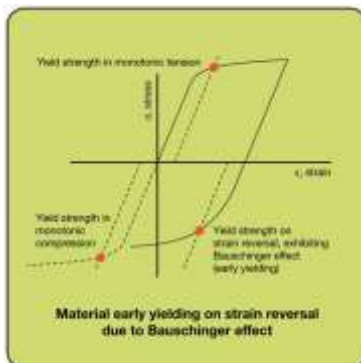
پیچیدگی + واگرایی  
فرض: تغییر ملایم شیب

15

## ایده آل سازی منحنی تنش- کرنش فولاد برای تحلیل خمیری

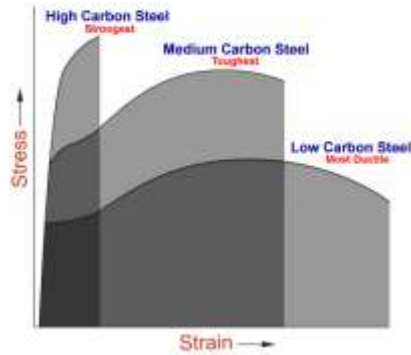
فرضیات ساده کننده:

- ❖ رفتار مشابه در کشش و فشار!
- ❖ حذف اثر باشینگر



16

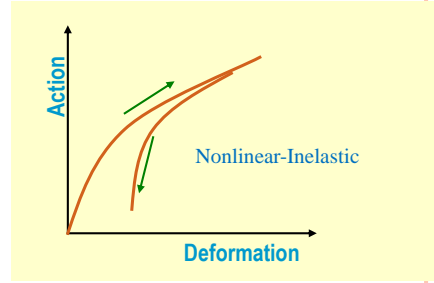
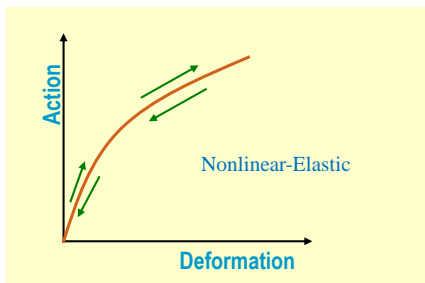
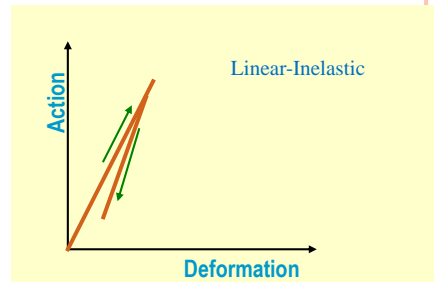
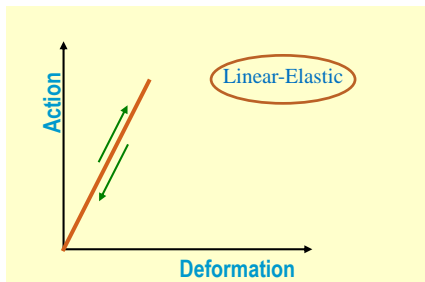
## آیا منحنی تنش-کرنش ایده آل شده را می توان برای انواع فولاد بکار برد؟



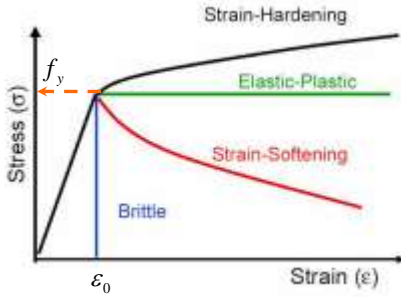
- ❖ تفاوت در پله تسلیم و کرنش نهایی
- ❖ مفهوم طاقت، شکل پذیری و مقاومت
- ❖ تشابه مدول بانگ
- ❖ در زلزله طاقت و شکل پذیری ... مطلوبتر است.
- ❖ در پیچ و مهره از فولاد... استفاده می شود چون...

17

## انواع رفتار مصالح بر حسب وقوع و عدم وقوع الاستیسه و خطی بودن



## انواع ساده شده ای از رفتارهای غیرالاستیک مصالح



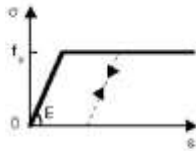
For hardening (or softening) models:

E: Stiffness of Elastic region

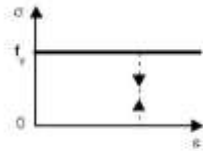
H: Stiffness of Inelastic region

$$\sigma < f_y : \epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\sigma > f_y : \epsilon = ?!$$



(a) Ideal elastic - plastic



(b) Ideal rigid - plastic

For ideal elastic-plastic model:

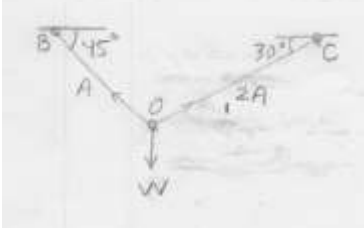
$$\sigma < f_y : \epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\sigma = f_y : \epsilon = \frac{f_y}{E} + \lambda$$

19

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاها (مثال اول)

مثال ۱: فرض کنید ستون یک وسیله الاستوپلاستیک کامل، با فروردین خرپای گسیل شده را در دست آوریم.



خرپا معین است پس برای تحلیل ...

تعداد در راستای افقی:

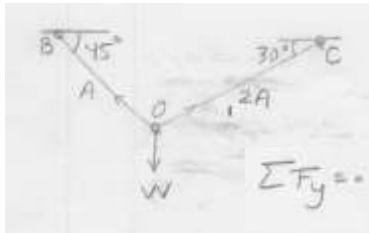
$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{OB} \cdot \cos 45^\circ = F_{OC} \cdot \cos 30^\circ$$

$$\rightarrow F_{OB} = 1.225 F_{OC} \quad (1)$$

نموده بررسی تحلیل غیرارتجاعی خرپا چیست؟

20

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال اول)



تعداد در راستای قائم:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{OB} \cdot \sin 45^\circ + F_{OC} \cdot \sin 30^\circ = W$$

$$(1) \rightarrow F_{OC} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{2} \right) = W \quad (2)$$

$$(1,2) \rightarrow F_{OC} = 0.732 W$$

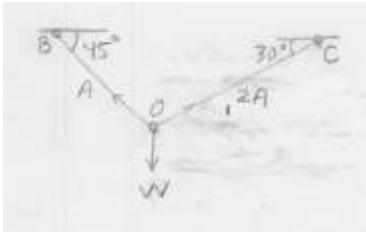
$$\rightarrow F_{OB} = 0.897 W$$

اما ملاک قضاوت نیرو نیست....!

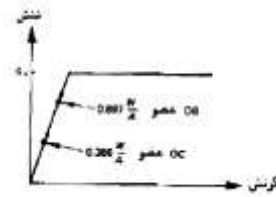
$$\rightarrow \sigma_{OB} = \frac{0.897 W}{A} \quad \sigma_{OC} = \frac{0.732 W}{2A}$$

21

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال اول)



وضعیت تنش در المانهای مورب:



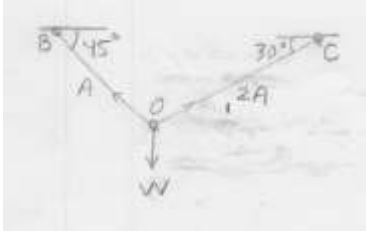
با افزایش بار، اول OB غیرالاستیک می شود:

بار متناظر با خمیری شدن OB:

$$0.897 \frac{W}{A} = \sigma_y \rightarrow W_c = 1.115 A \sigma_y$$

22

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال اول)



با خمیری شدن و ثبوت نیروی عضو OB، بار W دیگر نمی تواند افزایش پیدا کند چون معادلات تعادل نقض میشود: (یا از درک شهودی)

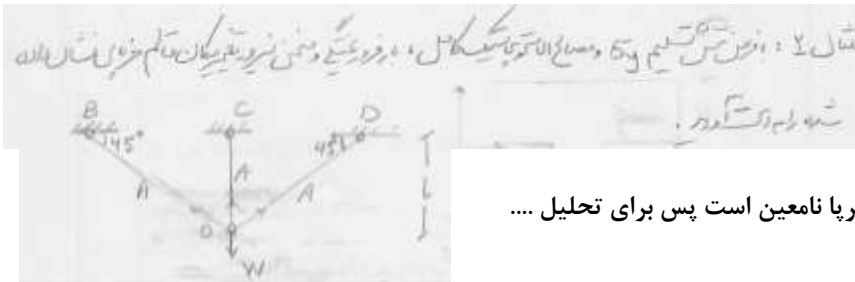
$$\begin{aligned}\Sigma F_x = 0 &\rightarrow F_{OB} \cos 45^\circ = F_{OC} \cos 30^\circ \\ \Sigma F_y = 0 &\rightarrow F_{OB} \sin 45^\circ + F_{OC} \sin 30^\circ = W\end{aligned}$$

نتیجه مهم:

در خرابی (سازه) معین فروریختگی وقتی رخ می دهد که اولین عضو به حد تنش نهایی برسد.

23

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال دوم)



خرپا نامعین است پس برای تحلیل ....

تعادل در راستای افقی و قائم:

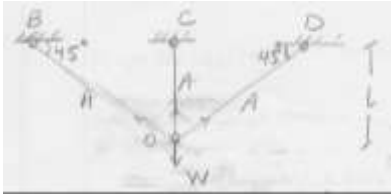
$$\begin{aligned}\Sigma F_y = 0 &\rightarrow F_{OB} \sin 45^\circ + F_{OC} + F_{OD} \sin 45^\circ = W \\ \Sigma F_x = 0 &\rightarrow F_{OB} = F_{OD}\end{aligned}$$

یک معادله کم داریم.

24



## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرابا (مثال دوم)



سازگاری تغییر شکل:

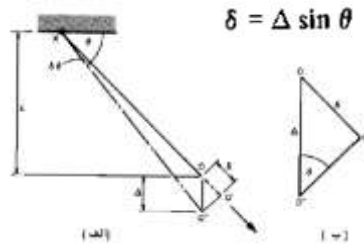
نقطه O باید در راستای قائم به سمت پایین بیا

از طرفی نیروهای داخلی اعضا را می توان  
به تغییر طول آنها ربط داد:

$$\left( \epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{P}{AE} \rightarrow P = AE \cdot \epsilon \right)$$

$$F_{OB} = \frac{AE}{L_{OB}} \delta = \frac{A}{L} \cdot \delta \cdot E = \frac{AE}{L} \cdot \Delta \cdot \sin^2 \theta$$

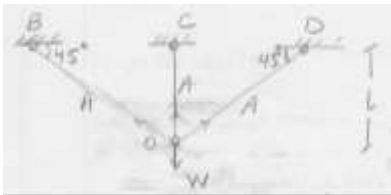
$$F_{OC} = \frac{AE}{L_{OC}} \Delta = \frac{A}{L} \cdot \Delta \cdot E = \frac{AE}{L} \cdot \Delta$$



$$\Rightarrow F_{OC} = 2F_{OB} = 2F_{OD}$$

25

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرابا (مثال دوم)



حال 3 معادله و 3 مجهول داریم:

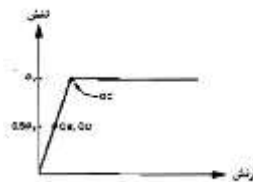
$$F_{OC} = 2F_{OB} = 2F_{OD}$$

$$F_{OB} \cdot \sin 45 + F_{OC} + F_{OD} \cdot \sin 45 = W$$

$$F_{OB} = F_{OC}$$

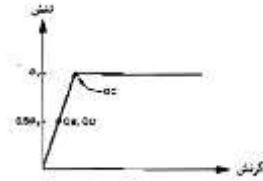
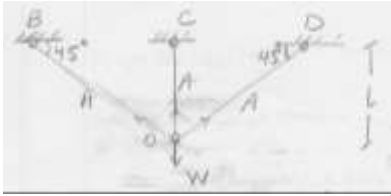
$$F_{OB} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} + 2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = W$$

$$\Rightarrow \begin{cases} F_{OB} = 0.293W \\ F_{OD} = 0.293W \\ F_{OC} = 0.585W \end{cases}$$



26

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خراباه (مثال دوم)



بار متناظر با شروع رفتار خمیری در سازه (عضو OC):

$$\sigma_y = \frac{0.585 W_1}{A} \rightarrow W_1 = 1.709 A \sigma_y$$

و جابجایی متناظر با شروع رفتار خمیری در سازه (عضو OC): (آیا رابطه قانون هوک قابل کاربرد است!!!!?)

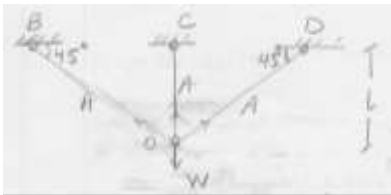
$$F_{OC} = \frac{AE}{L} \cdot \Delta \rightarrow \Delta_1 = \frac{L \sigma_y}{E}$$

$$F_{OC} = \sigma_y \cdot A$$

یک نقطه از منحنی بدست آمد.

27

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خراباه (مثال دوم)



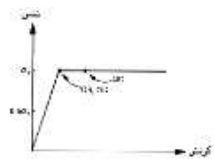
هنوز هم ظرفیت افزایش بار وجود دارد چون ...

روابط تعادل جدید در گره O:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{OB} = F_{OD}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow W - \sigma_y \cdot A = F_{OB} \cdot \sin 45 + F_{OD} \cdot \sin 45$$

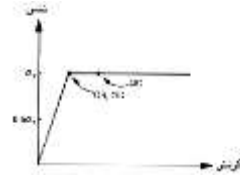
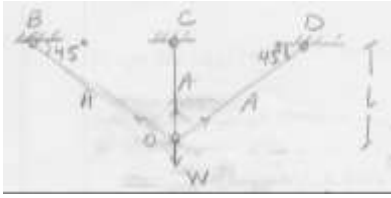
$$\rightarrow F_{OB} = F_{OD} = 0.707(W - A\sigma_y)$$



لحظه وقوع فرورویختگی:

28

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال دوم)



بار متناظر با شروع رفتار خمیری در اعضای مورب:

$$0.707 (W_2 - A\sigma_y) = A \cdot \sigma_y \quad \Rightarrow \quad W_C = 2.414 A \cdot \sigma_y$$

و جابجایی متناظر با شروع رفتار خمیری در اعضای مورب (رابطه قانون هوک در کدام عضو!!!!)

$$F_{OB} = \frac{AE}{l} \cdot \Delta \cdot \sin^2 \theta$$

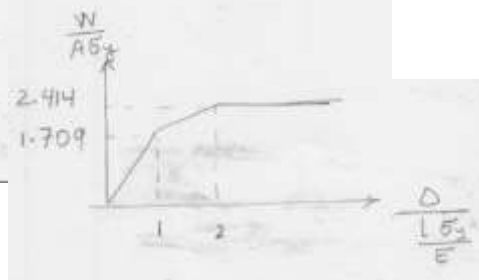
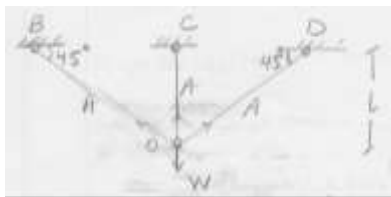
$$F_{OB} = A \cdot \sigma_y$$

$$\Delta_C = \frac{2.5 \sigma_y l}{E}$$

نقطه دوم هم بدست آمد.

29

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال دوم)



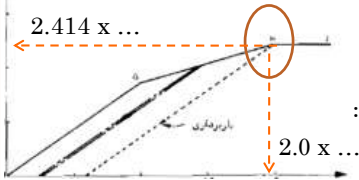
### نتیجه مثال و کاربرد

- ✓ با جاری شدن یک عضو از سازه نامعین لزوماً فروریزش رخ نمی دهد.
- ✓ با جاری شدن یک عضو، افزایش بار در اعضای الاستیک باز توزیع می شود.
- ✓ با جاری شدن هر عضو از سازه نامعین سختی کاهش می یابد و در نهایت....

30

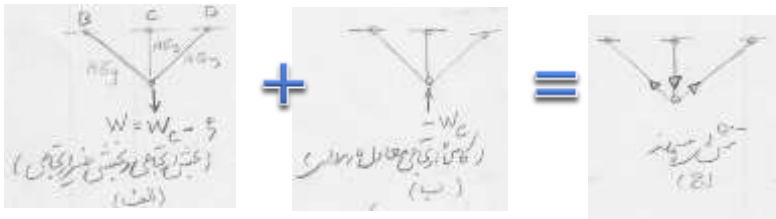
## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرابه (مثال سوم)

مثال ۳: اگر در مثال قبلی خطای قبل از رسیدن به بار  $W_c$  از روی سازه بردها را مسود، توزیع تنش در آن بهینتر خواهد بود.



✓ در صورت باربرداری رفتار ارتجاعی است.

✓ فرض میشود با اعمال  $W_c$  بار خالص موثر به صفر برسد:



31

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرابه (مثال سوم)

محاسبه تنشهای پسماند با استفاده از مفهوم شرایط اولیه :



$$F_{oc} = A \delta_y$$

$$F_{ob} = A \delta_y$$

+

$$F_{oc} = -0.585 W_c = -0.585 (2.414 A \delta_y)$$

$$F_{ob} = -0.293 W_c = -0.293 (2.414 A \delta_y)$$

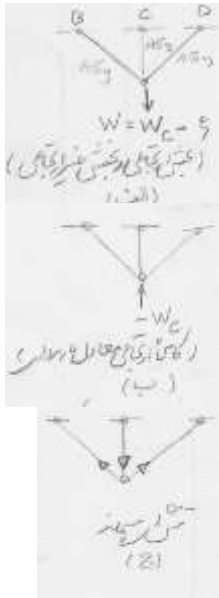
||

$$F_{oc} = A \delta_y - 0.585 \times 2.414 A \delta_y = -0.414 A \delta_y$$

$$F_{ob} = A \delta_y - 0.293 \times 2.414 A \delta_y = 0.293 A \delta_y$$

32

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال سوم)



کنترل تعادل تنشهای پسماند :

$$2 \times \left[ \frac{\sqrt{2}}{2} F_{OB} + F_{OC} \right] = \sqrt{2} (0.293 AS_y) - 0.414 AS_y = 0$$

(خود متعادلد)

تعیین جابجایی قائم پسماند :

$$\Delta_f = \Delta_{\text{ان}} + \Delta_{\text{ب}} \frac{F_{oc} l}{AE}$$

$$\frac{L \cdot 6y}{E}$$

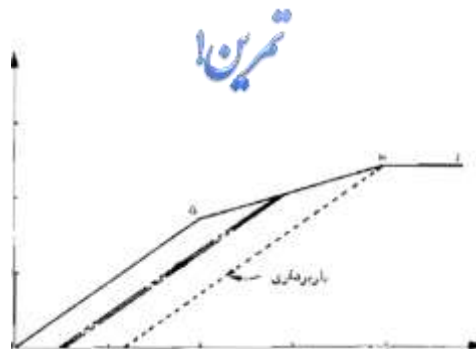
$$- \frac{L (0.293 \times 2.414 AS_y)}{AE} = 0.588 \frac{L \cdot 5y}{E}$$

33

## بررسی رفتار غیرالاستیک در خرپاه (مثال سوم)



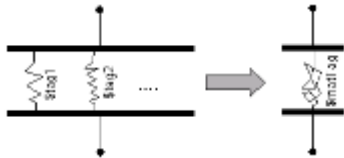
- ✓ با بارگذاری مجدد مسیر تغییرات نیروهای عضو تغییر میکند ولی ...
- ✓ برای سایر حالات باربرداری هم می توان همین نتیجه را گرفت.
- ✓ مسئله نقص اولیه هم بطور مشابه قابل بررسی است.



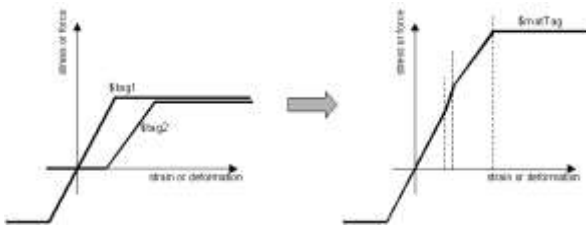
34

## نحوه تولید روابط تنش- کرنش چند خطی

الف) موازی کردن چند مصالح:



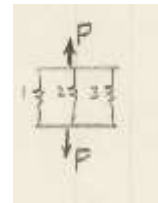
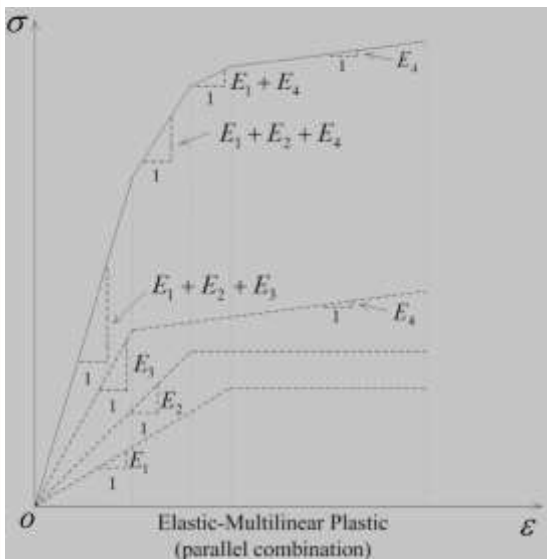
uniaxial Material Parallel \$matTag \$tag1 \$tag2 ...



35

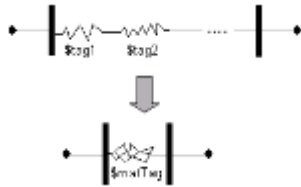
## نحوه تولید روابط تنش- کرنش چند خطی

سختی در هر تراز برابر مجموع سختی هاست.



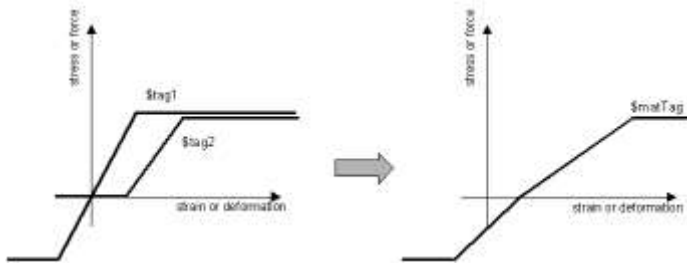
36

## نحوه تولید روابطش- کرنش چند خطی



(ب) سری کردن چند مصالح:

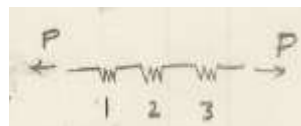
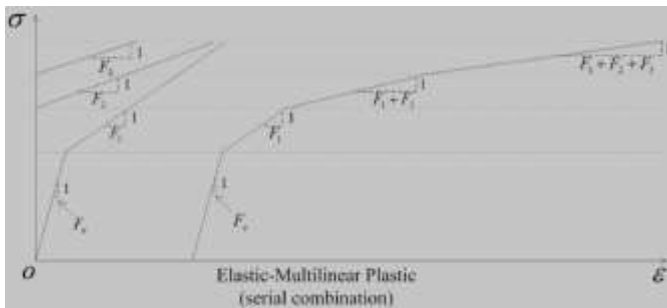
uniaxialMaterial Series \$matTag \$tag1 \$tag2 ...



37

## نحوه تولید روابطش- کرنش چند خطی

نرمی در هر تراز برابر مجموع نرمی هاست.



38