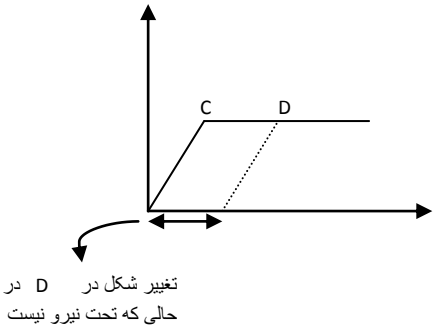
- **بار تسلیم :** میزان نیرویی که اگر وارد شود یکی از نقاط دستگاه ما به نقطه‌ی تسلیم می‌رسد.
- **بار نهایی :** میزان نیرویی که اگر وارد شود تمام از نقاط دستگاه ما از نقطه ی تسلیم می‌گذرد و موجب انهدام دستگاه می‌شود.
- **تذکر :** در مرحله‌ی پلاستیک، **بدون افزایش نیرو** شاهد افزایش طول هستیم.

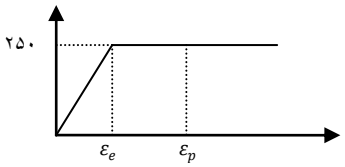
❖ ***مثال.*** *در مثال قبل اگر پس از اعمال بار* 75 kN *نیرو را به صفر برسانیم چه رخ می‌دهد؟*

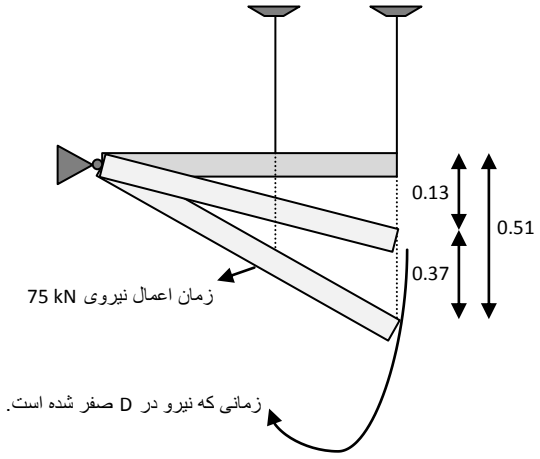


تغییر شکل در D در حالی که تحت نیرو نیست

می‌دانیم که هر دو میله کاهش طول خواهند داشت . میله‌ی C چون در مرحله‌ی کشسان است می‌خواهد به طول اولیه‌اش بازگردد، ولی میله‌ی D چون مومسان شده است نمی‌تواند به طول اولیه بازگردد و تنها می‌تواند بخشی از تغییر طول را جبران‌کند.

بنابراین باید با هم به تعادل برسند . مسئله را در دو بخش حل می کنیم. ابتدا زمانی که نیرو در میله‌ی D صفر می‌شود و سپس وقتی که در میله ی D نیروی فشاری به وجود می‌آید.





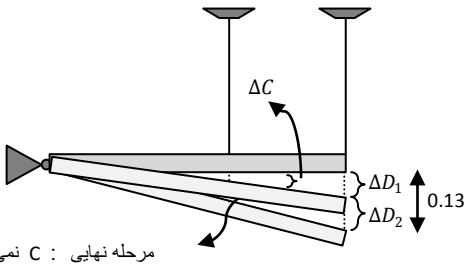
$$\delta_D = \delta_e + \delta_p = 0.515_{mm}$$

$$\sigma = E\varepsilon_e \;\rightarrow\; \delta_e = \frac{\sigma l}{E} = \frac{250\times10^{6}\times30\times10^{-2}}{200\times10^{9}}$$

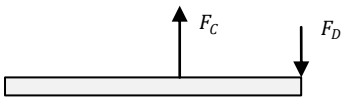
$$\delta_e = 0.375_{mm}$$

$$\delta_p = 0.13_{mm}$$

اینجا مرحله‌ایست که میله‌ی D تغییر شکل الاستیک خود را جبران کرده و نیرو در آن صفر شده ولی میله ی C هنوز تغییر شکل الاستیک خود را به طور کامل جبران نکرده و هنوز می‌خواهد بالاتر برود و به طول اولیه‌اش برسد، پس نیروی فشاری به میله‌ی D وارد می‌کند و باعث کاهش طول آن می‌شود.



مرحله نهایی : C نمی‌تواند به طول اولیه اش بازگردد، D هم تحت تنش فشاری قرار می گیرد و این‌گونه به تعادل می‌رسند.



$$\begin{cases} \sum M_B = 0 \;\rightarrow\; 0.6F_C - F_D = 0 \\ \Delta C = 0.6\Delta D_1 \\ \Delta D_1 = 0.13 - \Delta D_2 \end{cases}$$

تذکر : نیروی F_D سبب تغییر ΔD_2 است نه ΔD_1. بنابراین :

$$\Delta C = 0.6[0.13 - \Delta D_2]$$

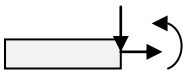
$$\frac{F_C l}{EA} = 0.6\left[0.13 - \frac{F_D l}{EA}\right]$$

از رابطه‌ی بالا نیروها بدست می‌آیند و از طریق آنها تنش‌ها و کرنش‌ها و در نهایت تغییر طول‌ها محاسبه می‌شوند.

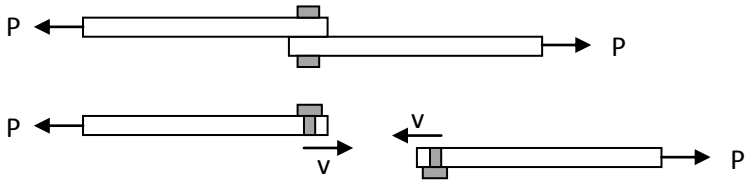
پس ما در آخرین مرحله با این که بار نداریم شاهد نیروی کششی F_C و نیروی فشاری F_D هستیم، که ایجاد تنش می‌کنند. به این تنش، ***تنش پسماند*** می‌گویند. که یکی از دلایل آن تنش های پلاستیک است که باعث می شود حتی با برداشتن بارها نیروها صفر نشود.

- **نکته :** تعداد رابطه‌های سازگاری همیشه برابر با تعداد درجات نامعینی است. بنابراین اگر دستگاه معین باشد نمی‌توان رابطه‌ای بین **تغییر شکل‌ها** از نظر هندسی پیدا کرد.

- **تذکر :** هر گاه جسمی را برش دهیم قسمت جداشده از جسم نقش **تکیه‌گاه گیردار** را برای قسمت مورد بررسی دارد . بنابراین دارای عکس‌العمل‌های زیر است :



- **نکته :** در مساله‌های پیچ و مهره تنشی که پیچ به میله ها وارد می‌کند گاهی باعث لهیدگی می شود که به آن **تنش لهیدگی** گفته می‌شود.



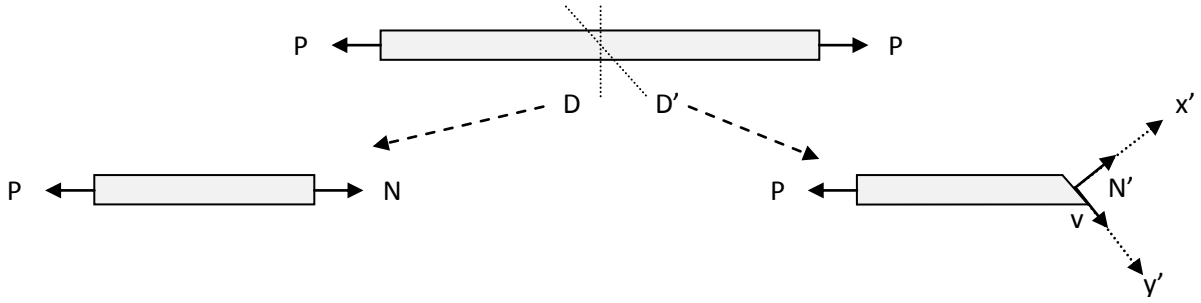
- **نکته :** تنش برای یک نقطه‌ی معین از سطح تعریف می‌شود، اما در حالت ماکروسکوپیک یک بردار عمود بر سطح به عنوان تنش میانگین در نظر می‌گیریم.

- **تانسور :** به کمیتی گفته می‌شود که در دستگاه‌های مختلف متفاوت است ولی ماهیت آن یکسان است.

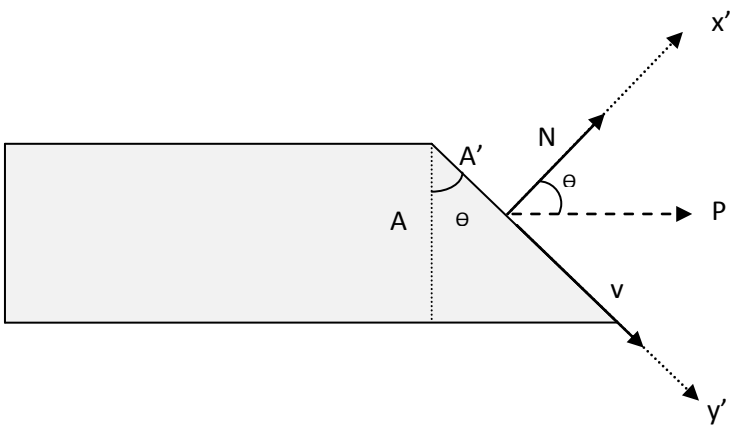
کمیت‌های اسکالر تنسرهای درجه صفر هستند. تنسرهای درجه یک مانند بردارها . مولفه‌های نیرو در دستگاه های مختلف متفاوتند ولی ماهیت یکسانی دارند. **تنش** که حاصل تقسیم دو بردار است، تنسر درجه دو می‌باشد که علاوه بر بردار نیرو باید بردار سطح مورد نظر هم تعریف شود.
بنابراین هنگامی که جسمی را برش می‌دهیم پس از تعیین نیروها در آن مقطع، برای یافتن تنش باید سطح مورد نظر را نیز تعیین کنیم.

تنش روی هر سطح سه مولفه دارد : یکی در امتداد محور عمود بر سطح (در جهت بردار نرمال سطح) و دوتای دیگر مماس بر سطح و عمود بر هم هستند.

حال میله‌ی زیر را در نظر بگیرید که آن را از مقطع D و D′ برش می‌زنیم وضعیت نیروها به شکلی به می‌بینید است :



در برش سمت راست N′ که بر سطح عمود است تنش نرمال ایجاد می‌کند و v که بر سطح مماس است تنش برشی. در برش سمت راست تنها تنش نرمال داریم



$$\cos\theta = \frac{N'}{P} = \frac{A}{A'}$$

$$\sigma_x = \frac{N}{A} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{x'} = \frac{P\cos\theta}{A/\cos\theta} = \frac{N'}{A'}$$

$$\sigma_{x'} = \frac{P\cos^2\theta}{A}$$

$$\boxed{\sigma_{x'} = \sigma_x \cos^2\theta}$$

با استفاده از این رابطه اگر تنش نرمال روی یک سطح را داشته باشیم، می توانیم تنش نرمال در سطح دیگر را به دست آوریم.

- **تذکر :** مساحت و سطح دو مفهوم جداگانه‌اند. مساحت یکی از مشخصه‌های سطح است، همانطور که بردار نرمال یکی از این مشخصه‌هاست.

- **خستگی :** اگر در جسمی تغییرات نیرویی مکرر داشته باشیم، خستگی در آن ایجاد می‌شود. مانند نیروی وارد بر پل که باعث خستگی فولاد خواهد شد. خستگی به میزان **تغییرات نیرو** و **تناوب** آن بستگی دارد.

تنش را می‌توان جریان نیرویی که ذرات مجاور به هم وارد می‌کنند در نظر گرفت. گاهی نظم این جریان به هم می‌خورد، مانند جایی که تغییر شکل ناگهانی داریم. گاهی هم تمرکز تنش داریم مانند نقطه اثر نیرو.

