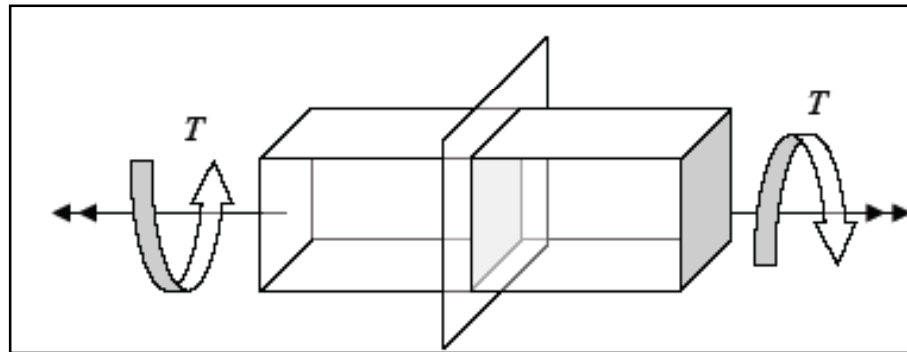


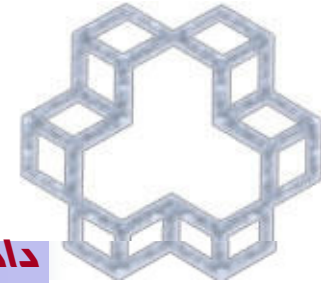
فصل اول



پیش در اعضای بین ارمه

جزوه بتن ۲

تدوین: سید بهرام بهشتی



تحلیل و طراحی برای پیچش

بر اساس مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان و ACI 318-05

فصول

مقدمه - تئوری پیچش

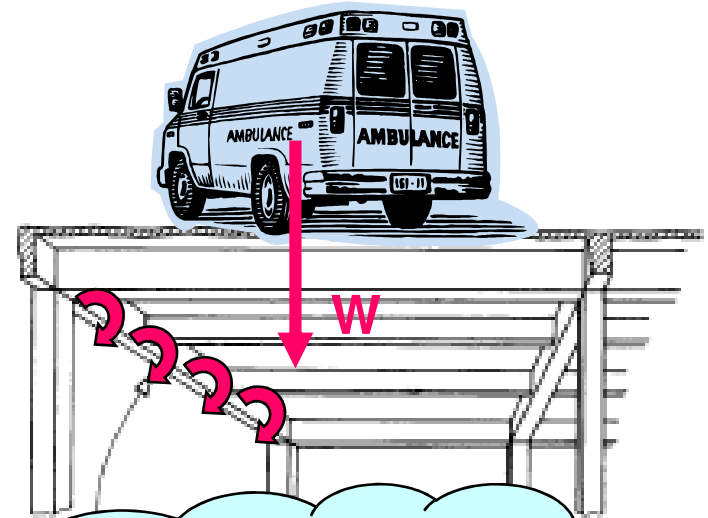
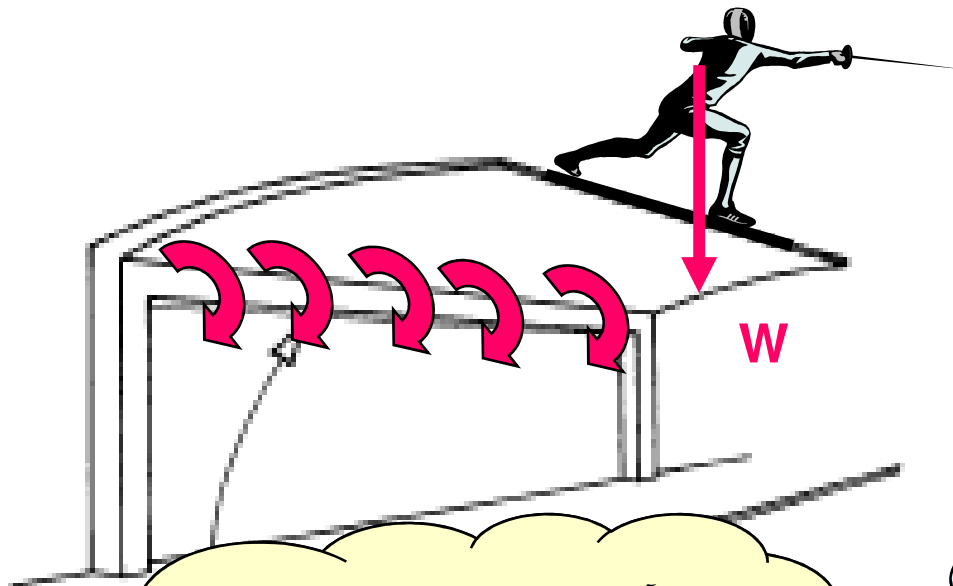
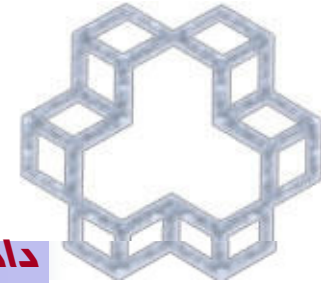
تأثیر پیچش بر سازه های بتن آرمه

پیچش در اعضای بتنی بدون آرماتور

پیچش در اعضای بتنی با آرماتور

ترکیب برش و پیچش

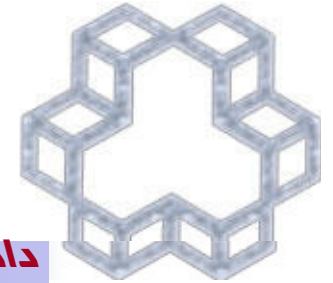
مثالهای حل شده



آیا این تیرهای کناری می تونن
پیچش حاصل از بارها رو تحمل
کنن!

جواب تو وقتی این فصل رو
خوب خوندم می دهم!





مقدمه

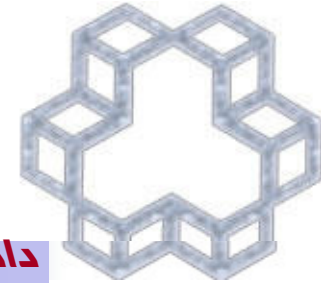
در تحلیل سازه ها اکثر اوقات از تاثیر پیچش صرفنظر می گردد و فقط خمش، برش و نیروهای محوری در نظر گرفته می شود. سوال اینجاست که پس چرا باید پیچش را در تحلیل در نظر بگیریم.

به چند دلیل:

- ۱- در تیرهای لبه و یا تیرهایی که از یکطرف متصل به تیر و یا دال می باشند، مقدار پیچش قابل ملاحظه است.
- ۲- حتی مقدار کم لنگر پیچشی می تواند تنشهای زیادی ایجاد نموده و سبب تغییر رفتار کل سازه شود.
- ۳- با استفاده از مدل‌های سه بعدی مشکل محاسبه مجزا لنگر پیچشی در محاسبات مرتفع شده است.
- ۴- ترکیب درست پیچش با دیگر کنشها تا کنون ناشناخته باقی مانده.
می توانیم رفتار اعضاء بتن آرمه تحت پیچش را در دو مرحله در نظر بگیریم:

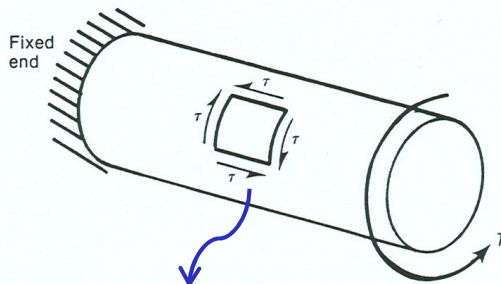
۱- مرحله پیش ترک

۲- مرحله پس ترک

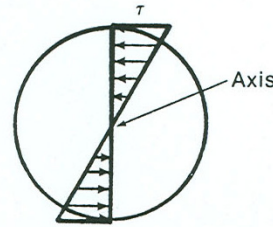


تئوری پیچش الاستیک

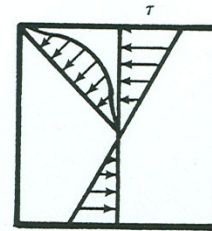
مقاطع توپر:



تنشهای برشی در اثر پیچش

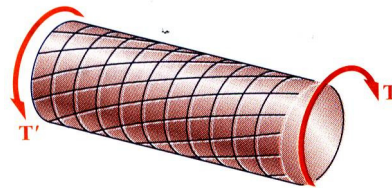


مقطع دایره

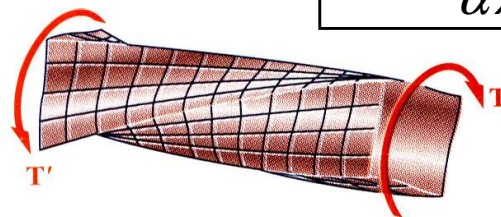


مقطع مربع

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J}$$



$$\tau_{\max} = \frac{T}{\alpha x^2 y}$$



پیچش در مقاطع دایره ای:

۱- مقاطع صفحه ای بعد از پیچش صفحه باقی می ماند.

۲- کرنش برشی بصورت خطی از محور پیچش افزایش می یابد.

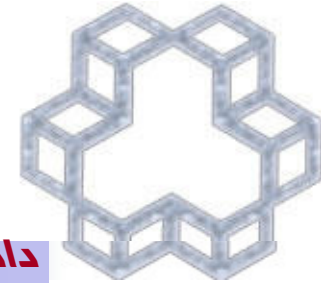
۳- در مقاطع دایره ای تنش برشی در مرکز صفر و بطور خطی افزایش یافته تا در محیط خارجی ماکزیمم گردد.

τ_{\max} = ماکزیمم تنش برشی

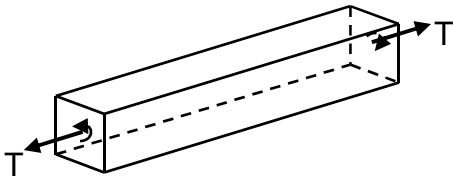
T = لنگر پیچشی

r = شعاع مقطع دایره ای

J = ممان اینرسی قطبی = $\pi r^4 / 2$



تنش ماکزیمم در مقاطع مستطیلی توپر

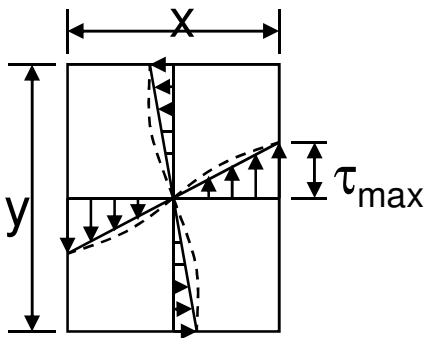


در مقاطع مربع بر اساس مطالعات سن ونان بعلت پدیده وارپینگ تنش حداکثر در دورترین نقطه اتفاق نمی افتد و مقدار آن در ضلع بزرگتر ماکزیمم و در گوشه ها صفر می گردد.

y/x	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	∞
α	0.208	0.219	0.246	0.267	0.290	1/3
β	0.141	0.196	0.229	0.263	0.291	1/3

$$\tau_{\max} = \frac{T}{\alpha x^2 y}$$

α و β ضرایب شکل می باشند



$$J = \beta x^3 y$$

$$J = \sum \beta x^3 y \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right)$$

$$\tau_{\max} = \frac{T x_m}{\sum \beta x^3 y \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right)}$$

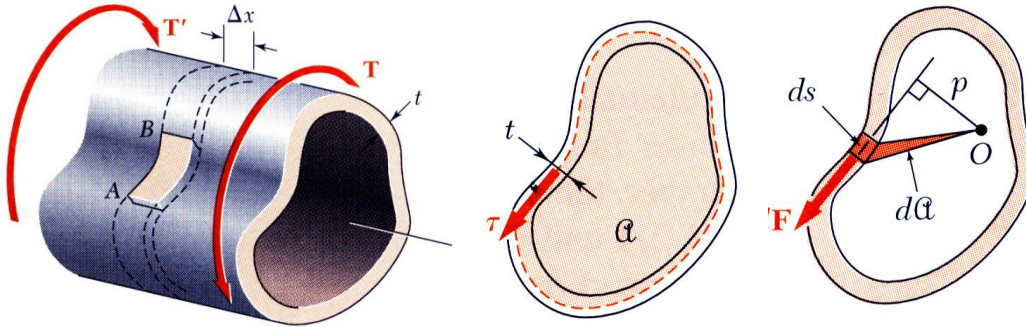
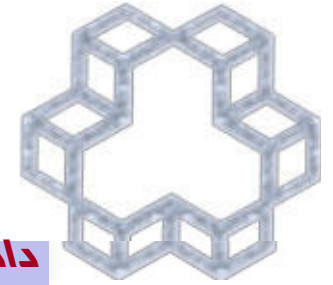
مقطع مستطیلی

مقطع مرکب مستطیلی

سختی پیچشی

$$k_t = \frac{T}{\theta} = \frac{GJ}{L}$$

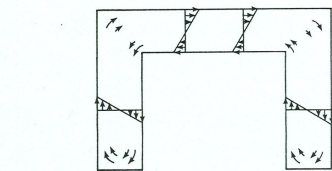
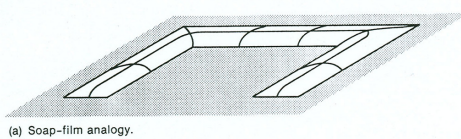
در یک عضو به طول L تحت لنگر پیچشی T در دو انتها، طبق تعریف سختی پیچشی k_t برابر است با لنگر پیچشی T به زاویه دوران نسبی θ بین دو انتهای آن



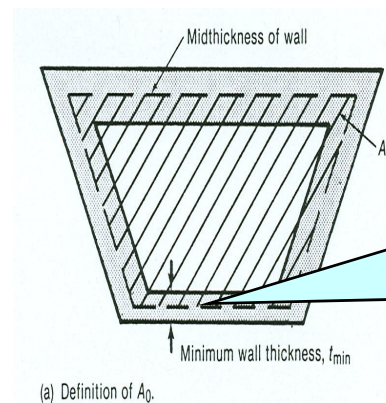
$$dM_0 = p dF = p \tau (t ds) = q (p ds) = 2q dA_0$$

$$T = \oint dM_0 = \oint 2q dA = 2qA$$

$$\tau = \frac{T}{2tA_0}$$



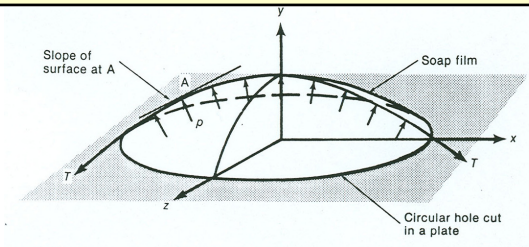
تشابه غشایی در مقطع ناودانی



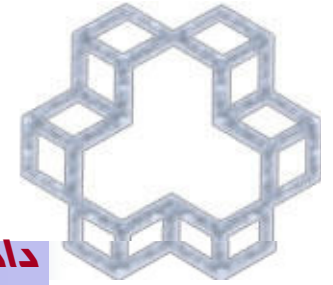
تشابه غشایی در مقطع توخالی

- معادلات محاسبه شیب در یک غشاء باد کرده مشابه معادلات تنش برشی در اثر پیچش است.
- جهت جریان برش عمود بر شیب وارد بر غشاء است.
- لنگر پیچشی متناسب با حجم زیر غشاء می باشد.
- تنش برشی با ضخامت نسبت عکس دارد.
- برای یک مقطع توخالی با جداره پیوسته شکل غشاء مشابه مقطع توپر متناظر است با این تفاوت که در محل توخالی باید یک صفحه صلب در نظر گرفت.
- روش تشابه غشایی برای پیچش الاستیک معتبر بوده و در پیچش کاملاً پلاستیک مقطع دارای برش پلاستیک ثابت بوده و لازم است از روش تشابه شنی که به شکل مخروط یا هرم است استفاده شود.

حداکثر تنش برشی در
حداقل ضخامت اتفاق
می افتد



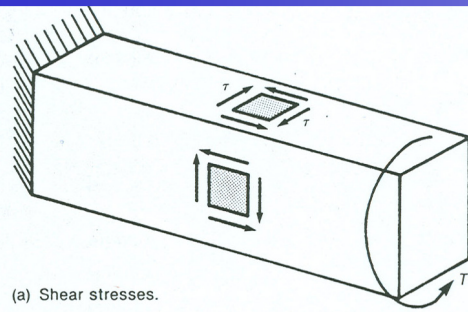
تشابه غشایی در یک میله با مقطع دایره ای



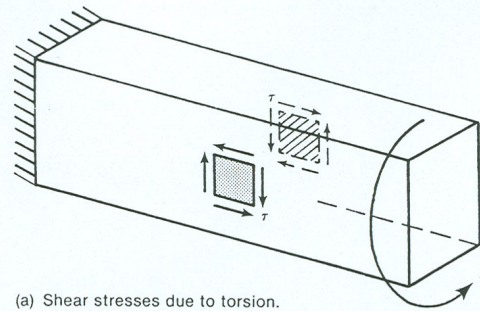
پیچش در اعضای بتنی بدون آرماتور

پیچش خالص: وقتی که تنشهای کششی اصلی (که در وسط ضلع بزرگتر یعنی دو وجه قائم زودتر اتفاق می افتد) به مقاومت کششی بتن رسید ترک آغاز شده و به سرعت به شکل اسپیرال گسترش می یابد و سبب شکست ترد تیر می گردد.

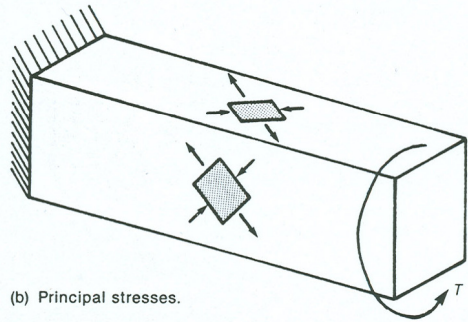
پیچش همراه با برش و خمش: در یک وجه تنشهای برشی حاصل از پیچش و برش هم جهت بوده ولذا یکدیگر را تقویت می نمایند و در وجه مقابل از یکدیگر کم می شوند. لذا ترک از وجه تقویت شده شروع شده و به سمت بخش کششی مقطع تحت خمش پیشرفت می نمایند. در این حال وقتی خمش قابل ملاحظه باشد، ترک عمودی می گردد (CD). در قسمت فشاری ترک متوقف می شود.



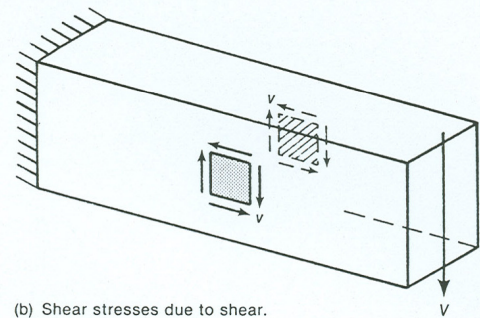
(a) Shear stresses.



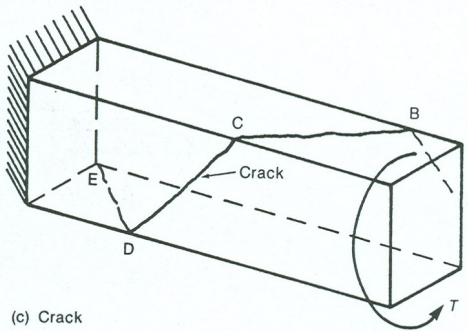
(a) Shear stresses due to torsion.



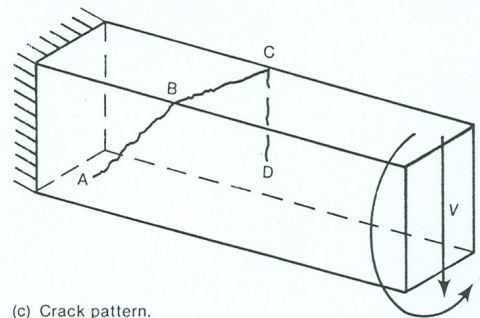
(b) Principal stresses.



(b) Shear stresses due to shear.



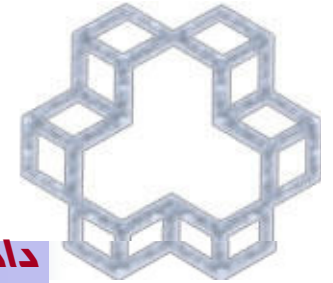
(c) Crack



(c) Crack pattern.

پیچش خالص

پیچش همراه با برش و خمش



پیچش در اعضای بتنی

۱- مرحله پیش ترک:

سه روش برای تحلیل رفتار مقطع تا ترک خوردگی وجود دارد.

$$T_e = \alpha x^2 y f'_t \quad (\alpha = 0.208)$$

الف- روش الاستیک بر اساس تحقیقات سن ونان در نیمه قرن گذشته:

نتایج حاصله حدود ۵۰ درصد خلاف جهت اطمینان است.

ب- روش پلاستیک که در سال ۱۹۵۵ توسط نیلاندر جهت رفع این تقریب بکار برده شد.

$$T_p = \alpha x^2 y f'_t \quad (\alpha = 1/2 - x/(6y))$$

دو مشکل اساسی در روش وجود دارد

یکی آنکه شکست از نوع پلاستیک نیست و دیگر آنکه اثر تمام ابعاد نمونه را در نظر نمی گیرد

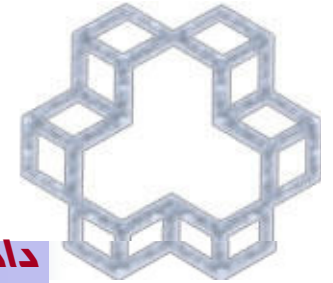
ج- روش خمش کج:

$$T_s = x^2 y f_r / 3$$

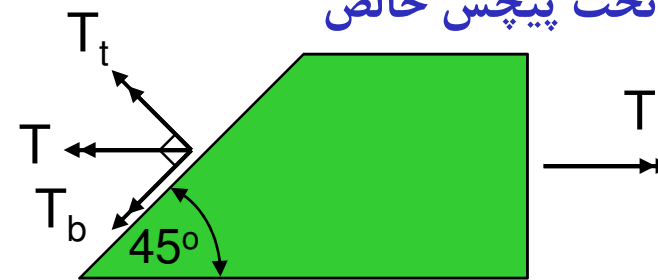
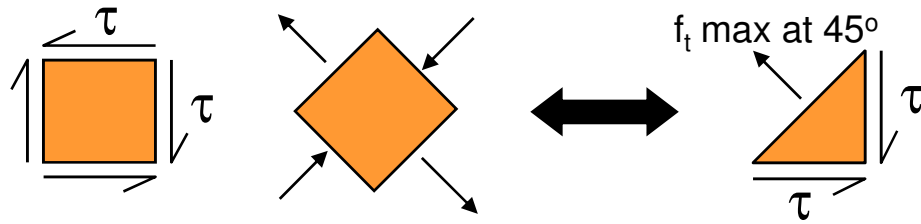
شکست بسیار شبیه شکست خمشی بتن غیر مسلح است.

۲- مرحله پس ترک:

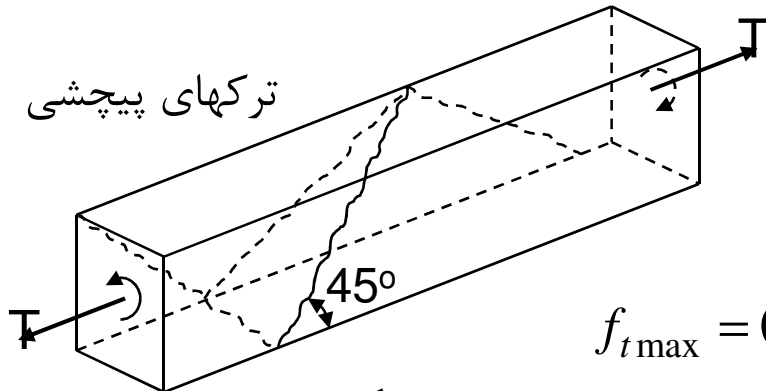
مدل تشابه خرابایی در سال ۱۹۲۹ توسط راش ارائه شد. وی نشان داد که مقاومت مقطع توپر بسیار نزدیک مقاومت مقطع توخال متناظر است.



مقاومت پیچشی مقاطع مستطیلی بتنی بدون آرماتور تحت پیچش خالص



ترکهای پیچشی



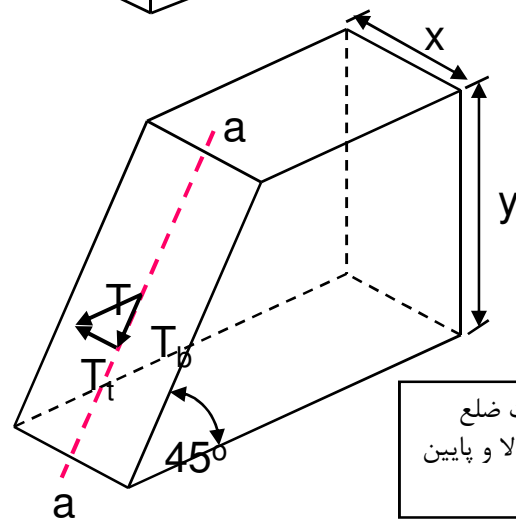
خمش: $T_b = T \cos 45^\circ$ پیچش: $T_t = T \sin 45^\circ$

ترک در بتن وقتی اتفاق می افتد که $f_{t,max} = 0.85 f_r = 0.5 \sqrt{f'_c}$

$f_r =$ مدول شکست بتن $= 0.63 \sqrt{f'_c}$

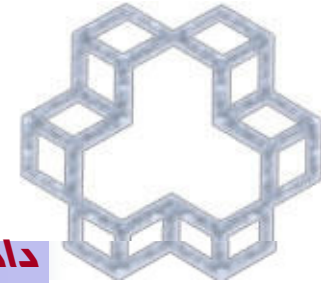
مدول مقطع : $S_{a-a} = I_{a-a} / (x/2) = \frac{1}{12} \left(\frac{y}{\cos 45^\circ} \right) x^3 \left(\frac{2}{x} \right) = \frac{x^2 y}{6 \cos 45^\circ}$

$$f_{t,max} = \frac{T_{b,cr}}{S_{a-a}} = T_{cr} \cos 45^\circ \frac{6 \cos 45^\circ}{x^2 y} = \frac{3 T_{cr}}{x^2 y} = 0.5 \sqrt{f'_c}$$

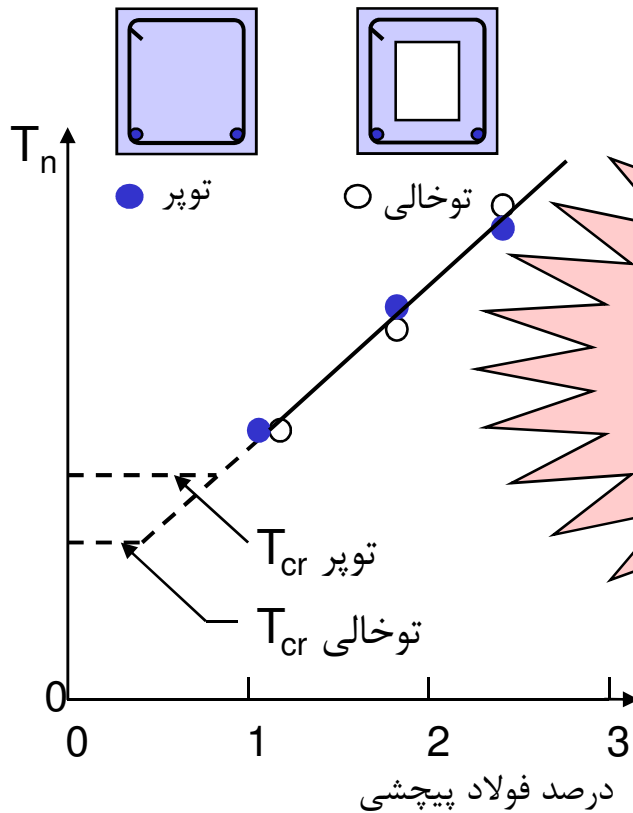


پس از آنکه ترک کششی در وسط ضلع بزرگتر اتفاق می افتد و سپس به سمت ضلع کوچکتر متمایل می گردد، و ترکی بسرعت در وجه مقابل ضلع بزرگتر دو سر بالا و پایین ترک را بهم متصل نموده و شکست پیچشی در بتن ناگهان اتفاق می افتد.

$$T_{cr} = 0.5 \sqrt{f'_c} \frac{x^2 y}{3}$$



مقاومت پیچشی اعضای بتن آرمه با مقاطع مستطیلی



اگرچه لنگر ترک خوردگی مقطع توخالی کمتر از مقطع توپر است ولی مقاومت نهایی هر دو مقطع با یک فولاد عرضی مساوی یکسان است لذا مقاومت عضو بتنی مسلح ترک خورده تحت پیچش خالص توسط پوسته بتنی شامل فولاد عرضی تحمل می شود. لذا در جهت اطمینان در مقاطع توپر از قسمت مرکزی مقطع صرفنظر کرده و مقطع توپر را با مقطع توخالی متناظر جایگزین می نماییم

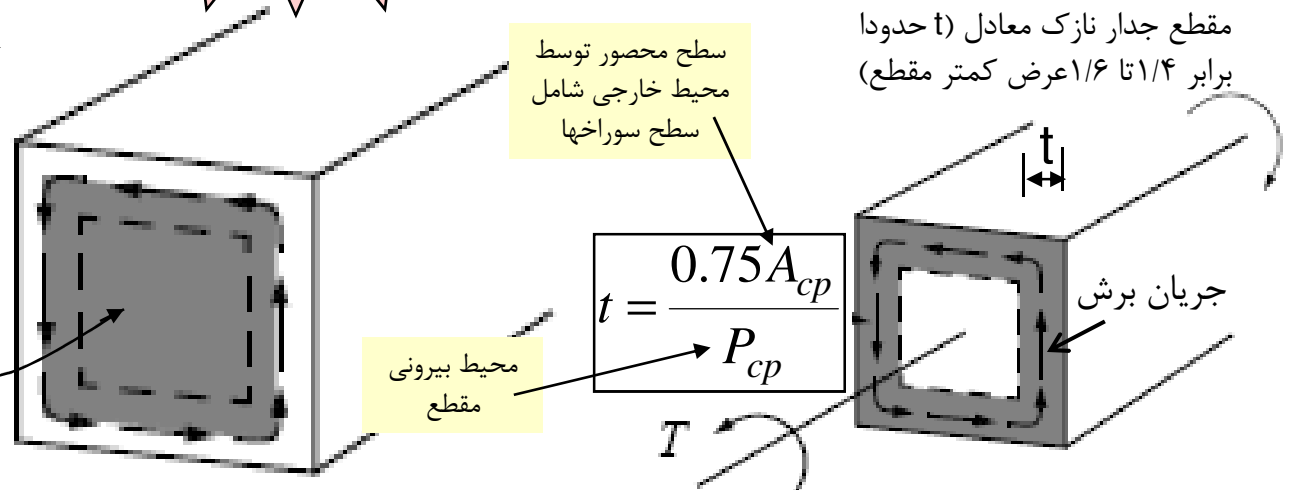
۱- تئوری خمش کج
۲- مدل خرابی فضایی
از سال ۱۹۹۵ ACI و آبا محاسبه مقاومت پیچشی را بر اساس مقاومت اعضای توخالی و مدل خرابی فضایی انجام می دهد. در تئوری خمش کج بخشی از پیچش توسط بتن تحمل می گردد ولی در روش دوم تمام لنگر توسط خرابی فضایی تحمل می گردد.

سطح محصور توسط محیط خارجی شامل سطح سوراخها

مقطع جدار نازک معادل (t) حدودا برابر ۱/۴ تا ۱/۶ عرض کمتر مقطع)

سطح محصور شده با جریان برش قبل از ترک خوردگی

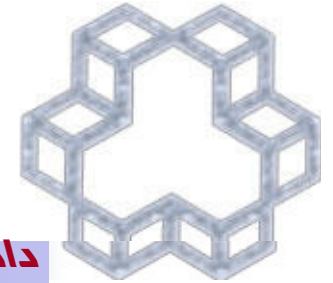
$$A_0 = \frac{2}{3} A_{cp}$$



محیط بیرونی مقطع

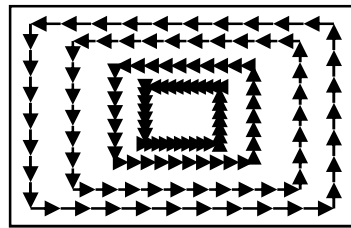
$$t = \frac{0.75 A_{cp}}{P_{cp}}$$

جریان برش

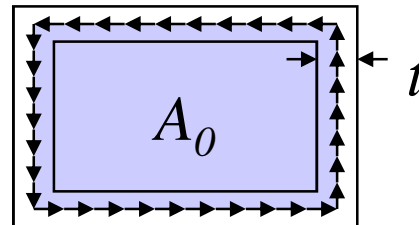


تنش برشی در مقطع جدار نازک

یا مقطع توخالی معادل



مقطع توپر



مقطع توخالی معادل



تبدیل
می شود

جریان برش: $q = \frac{T}{2A_0}$

تنش برشی: $\tau = \frac{q}{t}$

$$= \frac{T}{2A_0 t}$$

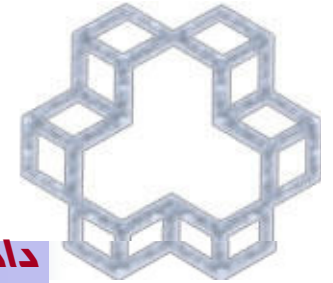
(T_{cr}) پیچش ترک خوردگی:

$$\tau_{cr} = \frac{T_{cr}}{2A_0 t} = 0.5 \phi_c \sqrt{f'_c} \quad t = \frac{0.75 A_{cp}}{P_{cp}}$$

$$T_{cr} = 0.5 \phi_c \sqrt{f'_c} (2A_0 t)$$

$$A_0 = \frac{2A_{cp}}{3}$$

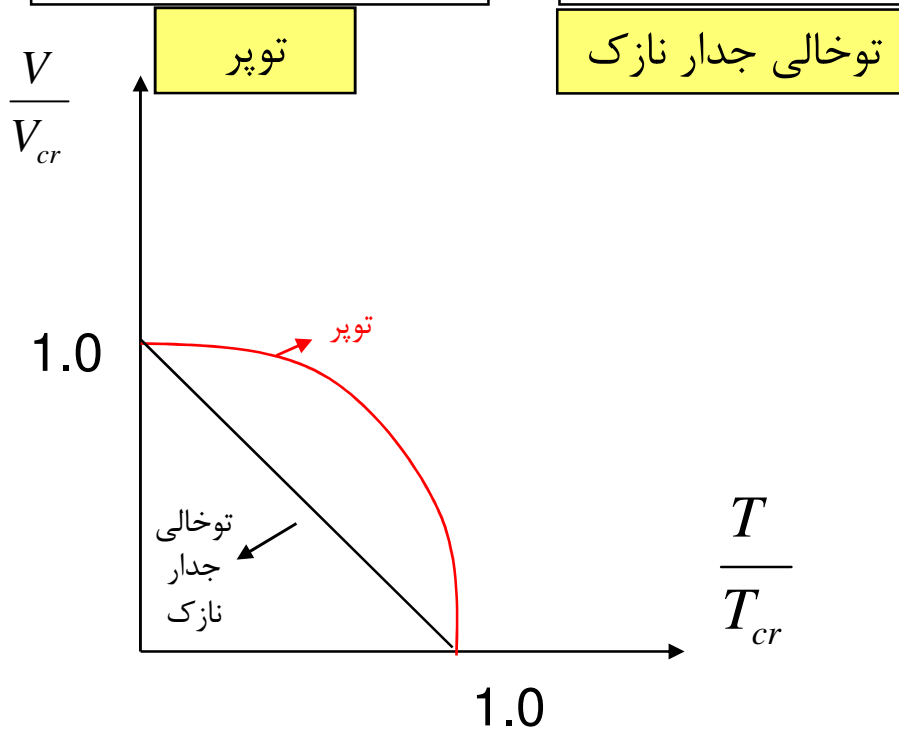
$$T_{cr} = 0.5 \phi_c \sqrt{f'_c} \frac{(A_{cp})^2}{P_{cp}}$$



ترکیب برش و پیچش در تعیین مقاومت ترک خوردگی مقاطع بتن آرمه

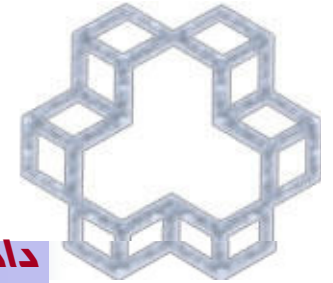
$$\left(\frac{V}{V_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_{cr}}\right)^2 = 1$$

$$\frac{V}{V_{cr}} + \frac{T}{T_{cr}} = 1$$



اثر همزمان برش و پیچش در تعیین مقاومت ترک خوردگی توسط معادله اثر متقابل برای مقاطع توپر و توخالی مقابل نمایش داده شده است. بسته به میزان ضخامت جداره، منحنی اثر متقابل بین دو منحنی خط راست و دایره قرار می گیرد.

ملاحظه می گردد که اثر پیچش در کاهش مقاومت ترک خوردگی حاصل از برش در مقاطع توخالی بیشتر از مقاطع توپر است. بطوریکه در مقاطع توپر وجود لنگر پیچشی معادل $T=0.25 T_{cr}$ سبب کاهش مقاومت برشی تا $V=0.97V_{cr}$ می گردد. در مقاطع توخالی میزان پیچش فوق سبب کاهش $V=0.75V_{cr}$ در مقاومت برشی می شود.



p_{cp} : محیط خارجی مقطع بتن آرمه :

A_{cp} : p_{cp} سطح محصور شده توسط

$$T_{cr} = 0.4\phi_c \sqrt{f'_c} \frac{(A_{cp})^2}{p_{cp}}$$

محاسبه لنگر ترک خوردگی براساس
مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان

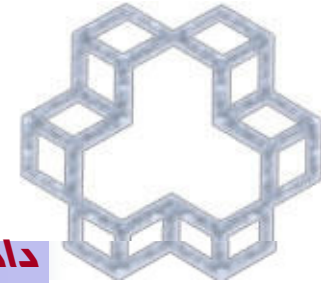
۹-۱۲-۷-۱ چنانچه لنگر پیچشی نهایی T_u که از تحلیل سازه بر اساس سختی ترک نخورده محاسبه شده است از $0.25T_{cr}$ کمتر باشد طراحی برای پیچش ضرورتی ندارد. (نیازی به ترکیب با برش مستقیم نیست).

$$T_u \leq \frac{T_{cr}}{4} \implies \text{از پیچش صرفنظر می گردد (۹-۱۲-۷-۱)}$$

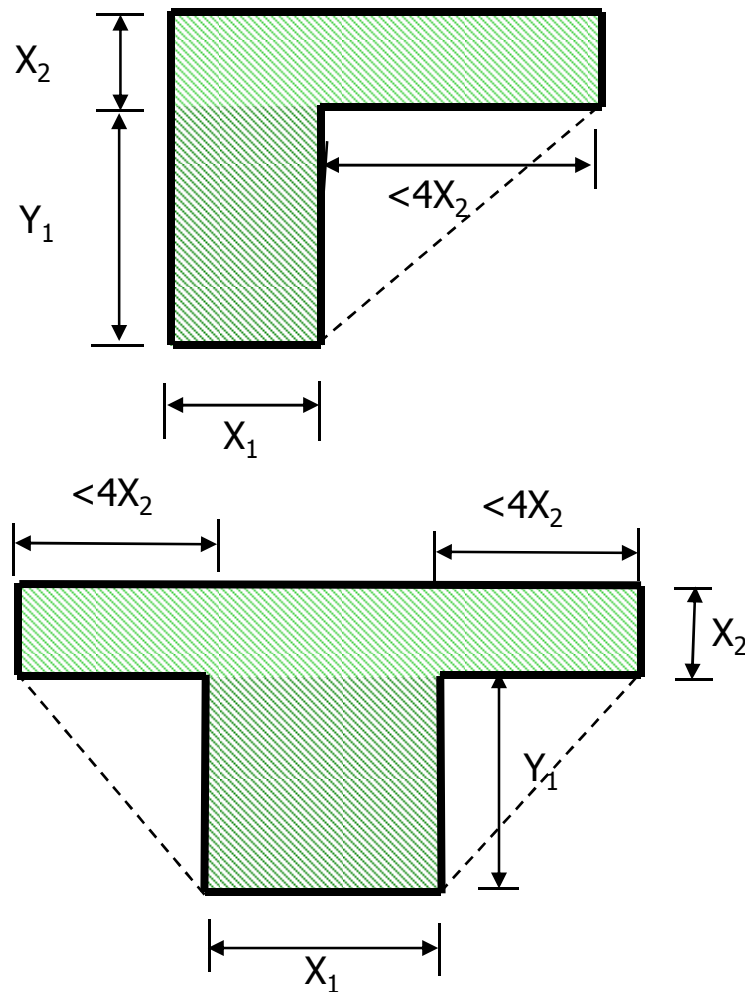
در آیین نامه ایران از اثر نیروی محوری و برش دربرآورد پیچش ترک خوردگی صرف نظر شده است. در مقایسه با **ACI** می توان از اثر برش که حدود ۳ درصد است صرفنظر نمود و اثر نیروی محوری را این چنین اعمال کرد:

$$T_{cr} = 0.4\phi_c \sqrt{f'_c} \frac{(A_{cp})^2}{p_{cp}} \sqrt{1 + \frac{3N_u}{A_g \phi_c \sqrt{f'_c}}}$$

N_u نیروی محوری است که در صورت فشاری بودن مثبت فرض می گردد.

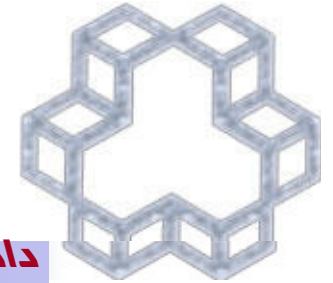


محاسبه A_{cp} و P_{cp} مقاطع پیچشی غیرمستطیلی

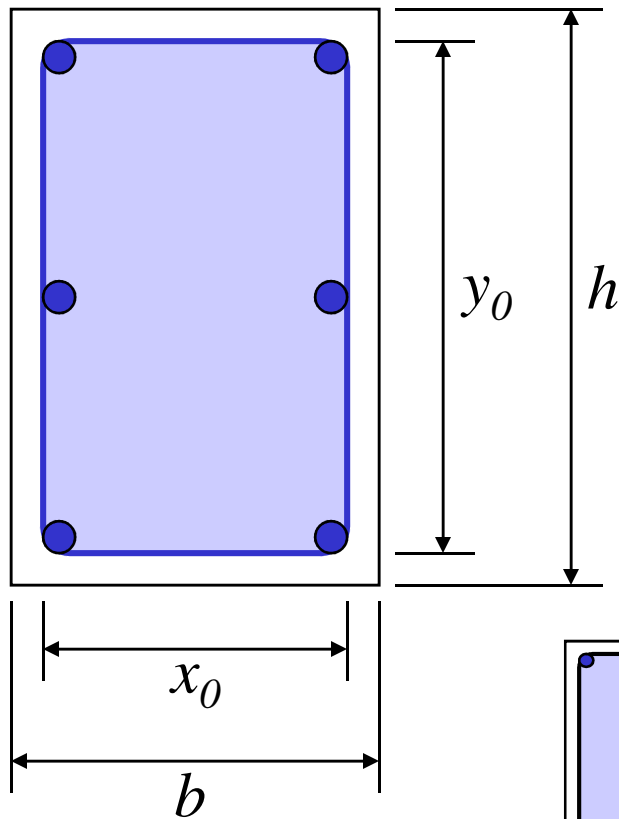


در این مورد مبحث ۹ دستورالعمل مشخصی ندارد. می توان آرما تور پیچشی را در بزرگترین و اصلی ترین مستطیل موجود در مقطع محاسبه نمود. یا بر اساس آیین نامه ACI (R13.2.4) مطابق شکل مقابل بخشی از دال را نیز در محاسبه پارامترهای فوق در نظر گرفت. در صورتیکه مقدار A_{cp}^2/p_{cp} با در نظر گرفتن بال کمتر از تیر تنهای بدون بال باشد، می باید از اثر بالها صرف نظر گردد.

در مقاطع توخالی چنانچه نسبت A_g/A_{cp} کمتر از ۰/۹۵ باشد، بجای A_{cp} در فرمول لنگر ترک خوردگی باید A_g را جایگزین نمود (p_{cp} تغییر نمی کند). A_g سطح خالص مقطع می باشد.



لنگر پیچشی مقاوم در اعضای بتن آرمه



مقطع ناخالص

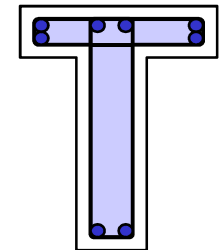
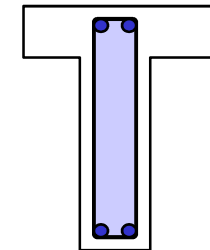
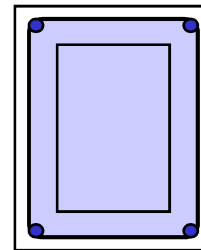
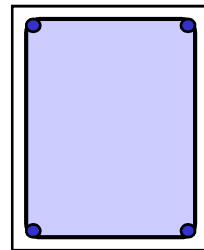
$$A_{oh} = x_0 y_0$$

محیط برشی

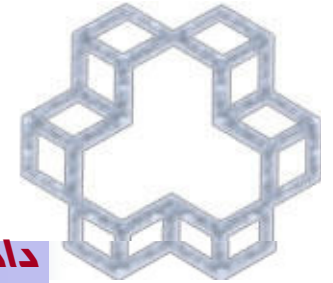
$$p_h = 2(x_0 + y_0)$$

$x_0, y_0 =$ فاصله مرکز به مرکز

خاموت بسته بیرونی



$A_{oh} =$ سطح سایه خورده

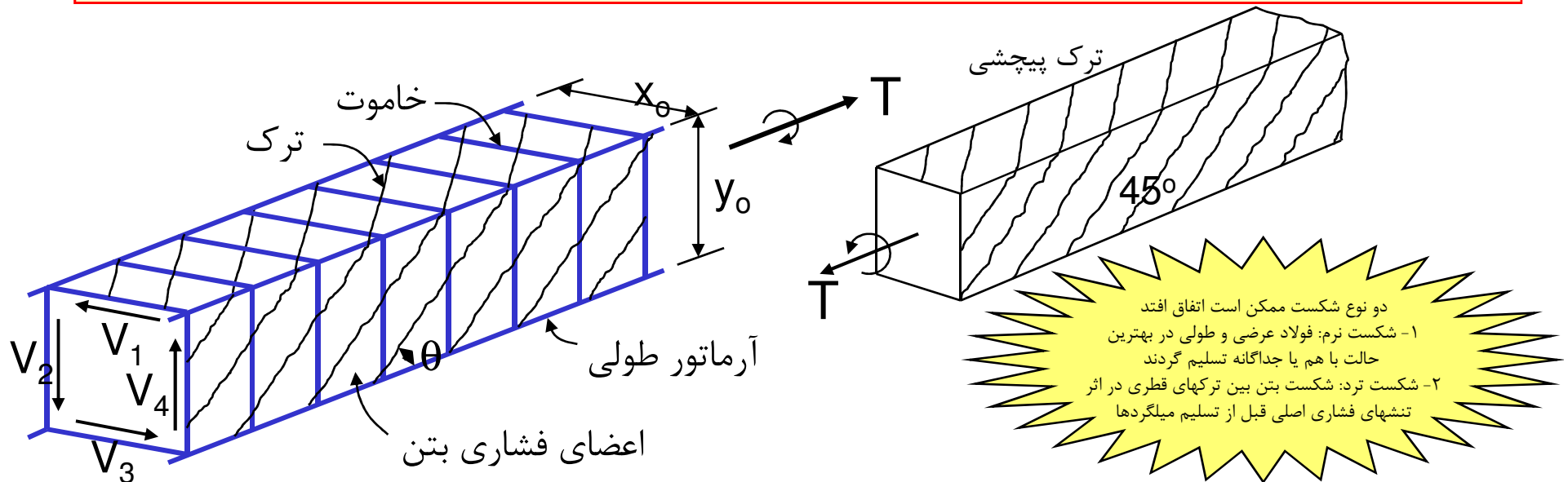


مدل سازی بر اساس مفهوم خرپای فضایی

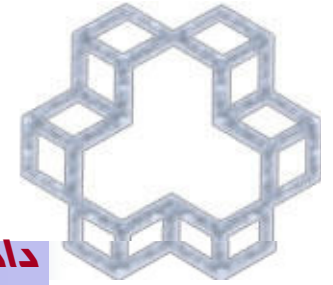
برش متحمل شده در مقطع جدارنازک معادل وقتی به مقداری برسد که تنشهای کششی در سطحی که به زاویه ۴۵ درجه قرار گرفته به مقاومت کشش بتن برسد، در چهار ضلع جانبی بصورت مارپیچ ترکهایی اتفاق می افتد که بتن بین این ترکها تحت فشار بوده و نقش اعضای مایل را در خرپای فضایی ایجاد شده بازی می کند به همراه میلگردهای عرضی و طولی در چهار گوش که به کشش کار می کنند ، پیچش وارده را تحمل می نمایند.

فرض بر آن است که کل پیچش توسط میلگردها حمل می گردد و از مقاومت پیچشی بتن صرفنظر می گردد. چرا که کل پیچش توسط نیروهای حاصل از سیلان میلگردها محاسبه شده و به مانند گذشته سهم بتن که حدود ۴۰ درصد مقاومت ترک خوردگی است از کل پیچش کم نمی شود.

مقاومت پیچشی = جمع پیچش حاصل از مقاومت برشی در چهار ضلع



در این خرپای معادل، خاموتها نقش اعضای قائم کششی، میلگردهای طولی نقش یالهای کششی و بتن فشاری نقش اعضای فشاری را بازی می کنند. بجهت وجود ترکهای کج در هر چهار ضلع می باید از خاموتهای بسته بدین منظور استفاده کرد.



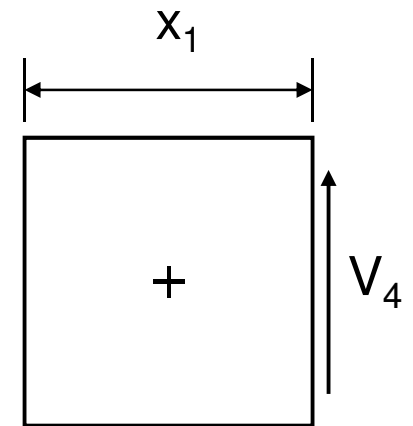
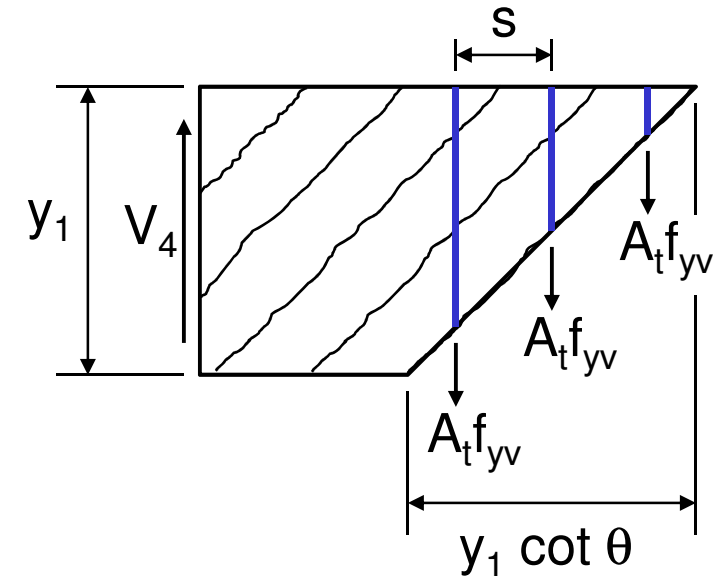
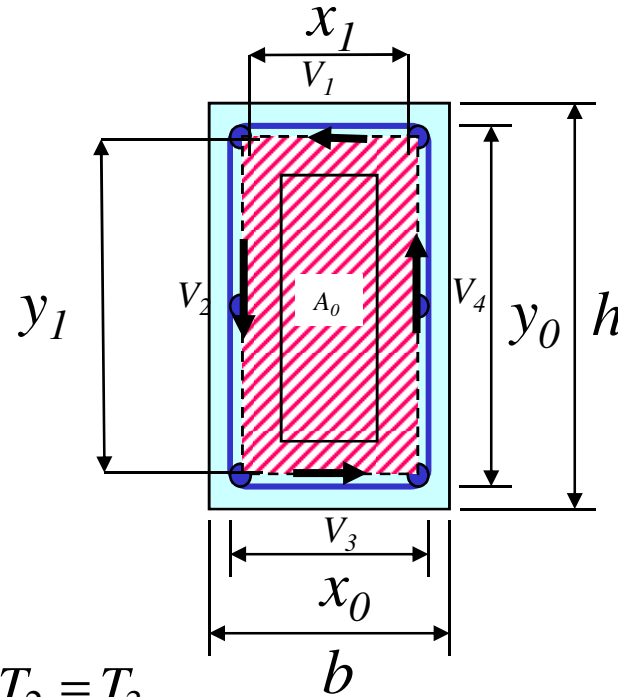
$$T_4 = \frac{V_4 x_1}{2}$$

$$V_4 = n A_t f_{yv}$$

$$n = \frac{y_1 \cot 45}{s} = \frac{y_1}{s}$$

$$V_4 = \frac{A_t f_{yv} y_1}{s}$$

$$T_4 = \frac{A_t f_{yv} x_1 y_1}{2s} = T_1 = T_2 = T_3$$

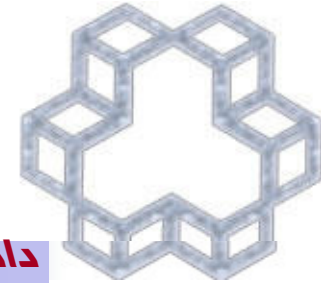


A_0 = سطح محصور شده توسط جریان برش

A_t = سطح یک ساق تنگ

f_{yv} = مقاومت تسلیم فولاد عرضی

n = تعداد تنگی که ترک را قطع می کند



$$T_n = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = \frac{2A_t f_{yv} x_1 y_1}{s} = \frac{2A_t f_{yv} A_0}{s}$$

محدود نمودن مقاومت تسلیم به جهت کنترل پهنای ترک قطری تحت بارهای سرویس است

ACI318-95: $T_n = \frac{2A_t f_{yv} A_0}{s}$ where $A_0 = 0.85A_{oh}$

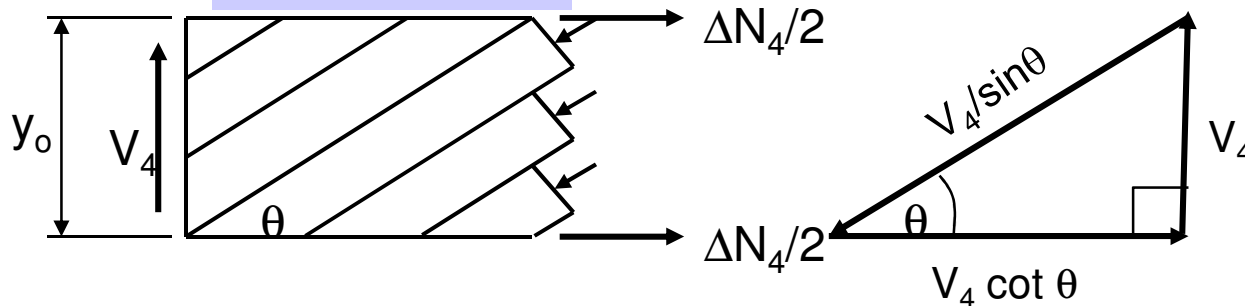
مبحث ۹ مقررات ملی

$$T_s = 2\phi_s A_0 A_t f_{yv} / s \longrightarrow$$

$$A_t / s = \frac{T_s}{2\phi_s A_0 f_{yv}}$$

$$f_{yv} \leq 400 \text{ MPa}$$

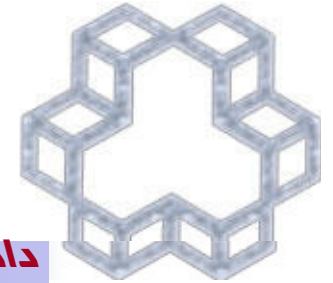
اعضای فشاری مایل



نیروی محوری در اثر پیچش:

$$\Delta N_4 = V_4 \cot \theta = \frac{A_t f_{yv} y_o}{s}$$

آزمایشات نشان می دهند که آرماتورهای طولی حدود ۱۵ درصد مقاومت پیچشی را بهبود می بخشند، چراکه این میلگردها فقط مولفه طولی نیروهای قطری ناشی از پیچش را تحمل میکنند. عملکرد مقاوم این میلگردها بیشتر به سبب عملکرد داول در آنها است.



: جمع فولاد طولی
چهار طرف

$$\Delta N = \Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3 + \Delta N_4$$

$$= \frac{A_t f_{yv}}{s} 2(x_o + y_o)$$

$$A_l f_{yl} = \frac{A_t f_{yv} \rho_h}{s} \longrightarrow \text{محیط تنگ}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \rho_h \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

f_{yl} = مقاومت تسلیم فولاد طولی

A_l = سطح کل فولاد طولی موردنیاز برای پیچش

نقش آرماتورهای طولی:

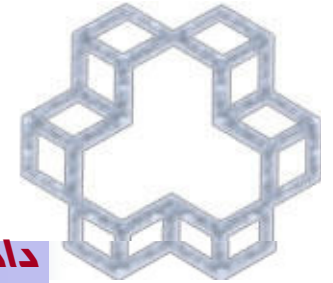
۱- جهت نگه داشتن و مهار نمودن آرماتورهای عرضی

۲- مقاومت داول

۳- کنترل باز شدگی ترکها

مساوی بودن مقاومت میلگردهای عرض و طولی معادل حجم مساوی آرماتورهای حلقه و طولی است.

فاصله این میلگردها از یکدیگر نباید بیش از ۳۰۰ میلیمتر باشد و باید دور تا دور مقطع در داخل محیط خاموت بسته پیچشی به طور یکنواخت به نحوی توزیع شوند که حداقل یک میلگرد طولی به قطر معادل $\frac{s}{16}$ یا بیشتر در هر گوشه خاموت های پیچشی قرار گیرد.



کنترل ابعاد مقطع برای ترکیب
برش و پیچش (کنترل عرض ترک)

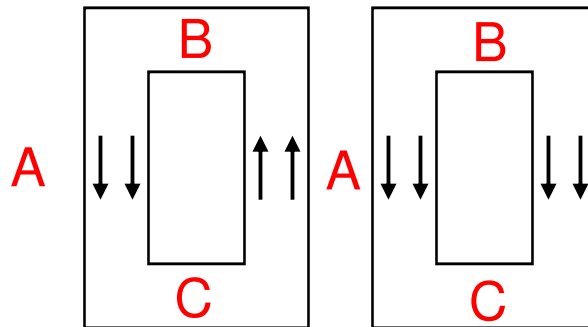
تنش برشی : $\tau_v = V / b_w d$

تنش پیچشی : $\tau_t = T / (2A_0 t)$

برای مقطع ترک خورده : $A_0 = 0.85A_{oh}$ $t = A_{oh} / p_h$ $p_h = 2(x_0 + y_0)$

$$A_{oh} = x_0 y_0$$

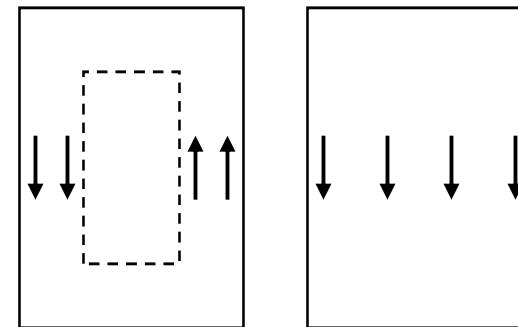
مقطع توخالی



تنشهای
پیچشی

تنشهای
برشی

مقطع توپر

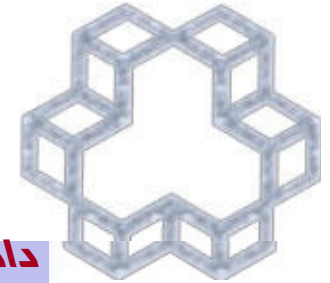


تنشهای
پیچشی

تنشهای
برشی

$$1 \quad \tau = \tau_u + \tau_v = \frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2} \leq \frac{\phi_c f'_c}{4}$$

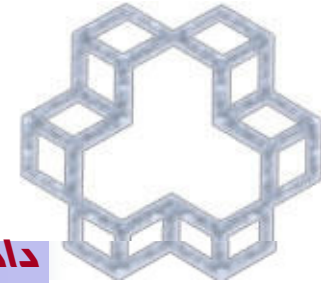
$$2 \quad \tau = \tau_u + \tau_v = \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \frac{\phi_c f'_c}{4}$$



کنترل ابعاد مقطع برای ترکیب برش و پیچش

نکاتی مفید از ACI 318-02

- در مقاطع توخالی تنشهای برشی در اثر هر دو برش مستقیم و یاپیچش در جداره در نقطه **A** اتفاق می افتد. اما در مقطع توپر تنشهای برشی در اثر پیچش در قسمت بیرونی مقطع توخالی معادل اتفاق می افتد در حالیکه تنشهای برشی ناشی از برش مستقیم در سر تاسر عرض مقطع پخش است. بنابراین استفاده از رابطه اول برای مقاطع توپر مقدار برش را بیش از اندازه نشان داده و بدین جهت از رابطه دوم استفاده می شود. (نکته: در آیین نامه قبل از ۱۹۹۵ کنترل شکست ترد توسط محدود نگه داشتن پیچش مقاوم فولاد کنترل می گردید)
- در واقع کنترل تنشهای برشی در بتن بدو علت می باشد:
 - ۱- کاهش ترکها ۲- ممانعت از خورد شدن بتن در اثر تنشهای فشاری کج در اثر همکاری برش و پیچش است. البته در ابتدا این رابطه برای کنترل ترک بدست آمد چراکه فقط در تنشهای برشی خیلی بالا مود خوردشدگی اتفاق می افتد.
- چنانچه ضخامت جداره در مقطع توخالی متغیر باشد رابطه ۱ باید برای جداره که سمت چپ آنرا ماکزیمم نماید کنترل شود. مثلاً اگر در نقطه **B** یا **C** ضخامت جداره کم باشد ممکن است بسته به مقدار پیچش اعمالی در مقایسه با برش (گرچه مقدار آن ناچیز است) مقدار تنش در آنها بحرانی تر گردد.
- اگر ضخامت جداره کمتر از A_{0h}/p_h باشد آیین نامه مقدر می دارد که از ضخامت واقعی جداره استفاده شود. لذا در رابطه ۱ جمله مربوط به پیچش باید با $T_u/(A_{0h}t)$ جایگزین گردد.



ضوابط مبحث ۹ برای پیچش

$$T_u \leq T_r = T_s$$

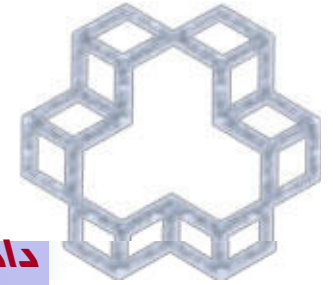
T_u = لنگر پیچشی مورد نیاز ضریبدار

T_s = مقاومت پیچشی نهایی تامین شده توسط آرماتورها *

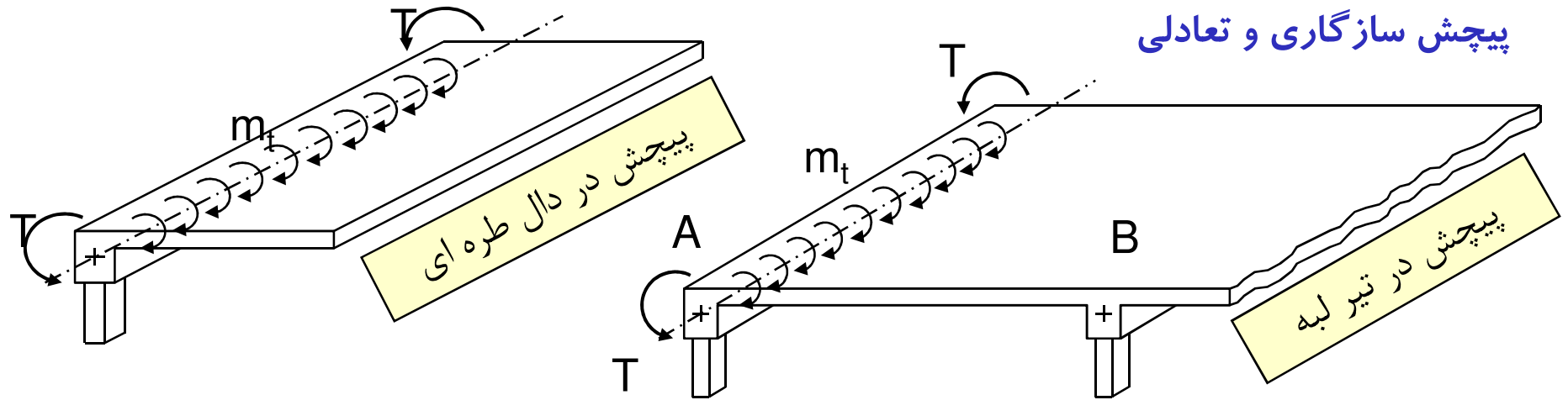
در این مبحث از کمک بتن برای تامین مقاومت پیچشی بعلت ترک خوردگی صرفنظر شده است
* این آرماتورها شامل : ۱- آرماتورهای طولی ۲- خاموتهای بسته عمود بر محور عضو ۳- یک قفسه آرماتور بسته از شبکه سیمی جوش شده عمود بر محور عضو ۴- ماریپیچ

۹-۱۲-۹-۳- تمامی مقاطعی را که در فاصله ای کمتر از d از بر داخلی تکیه گاه قرار دارند، می توان برای همان لنگر پیچشی T_u که در مقطع به فاصله d وجود دارد طراحی کرد، مشروط بر آنکه در این فاصله هیچ لنگر پیچشی متمرکزی موجود نباشد در این صورت مقطع بحرانی در مجاورت لبه ستون است.

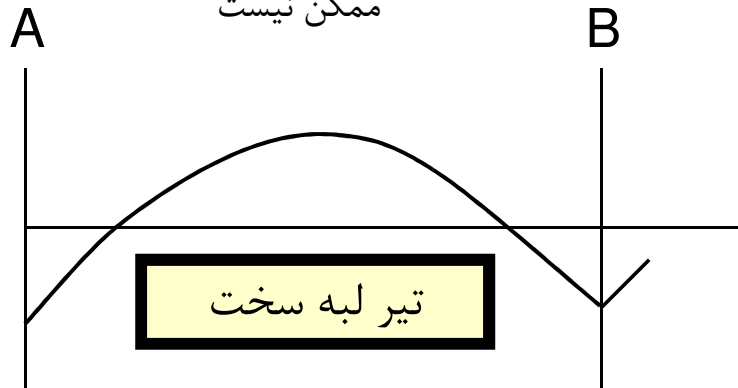
۹-۱۲-۱۰-۴- باید تمام میلگردهای پیچشی (فولادهای طولی بعلاوه خاموت های بسته) را حداقل در طولی برابر با بزرگترین بعد مقطع از نقطه ای که دیگر نیاز به مقاومت پیچشی نیست (یعنی $0.25 T_{cr}$) ادامه دهیم.



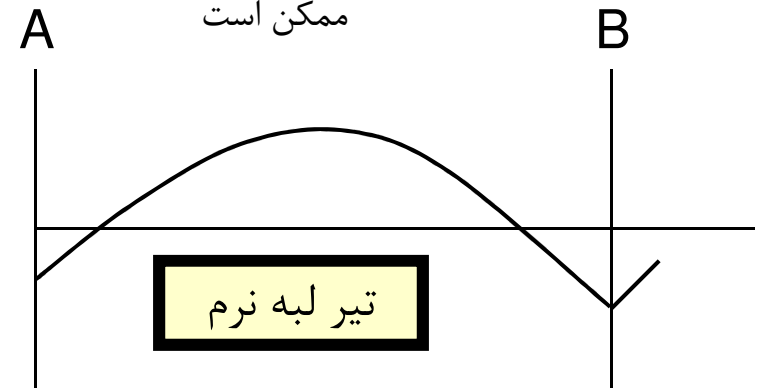
پیچش سازگاری و تعادلی

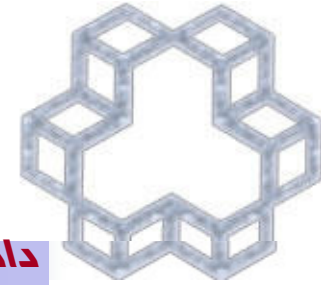


۱- پیچش معین
استاتیکی (تعادلی):
امکان بازپخش لنگرهای پیچشی
ممکن نیست

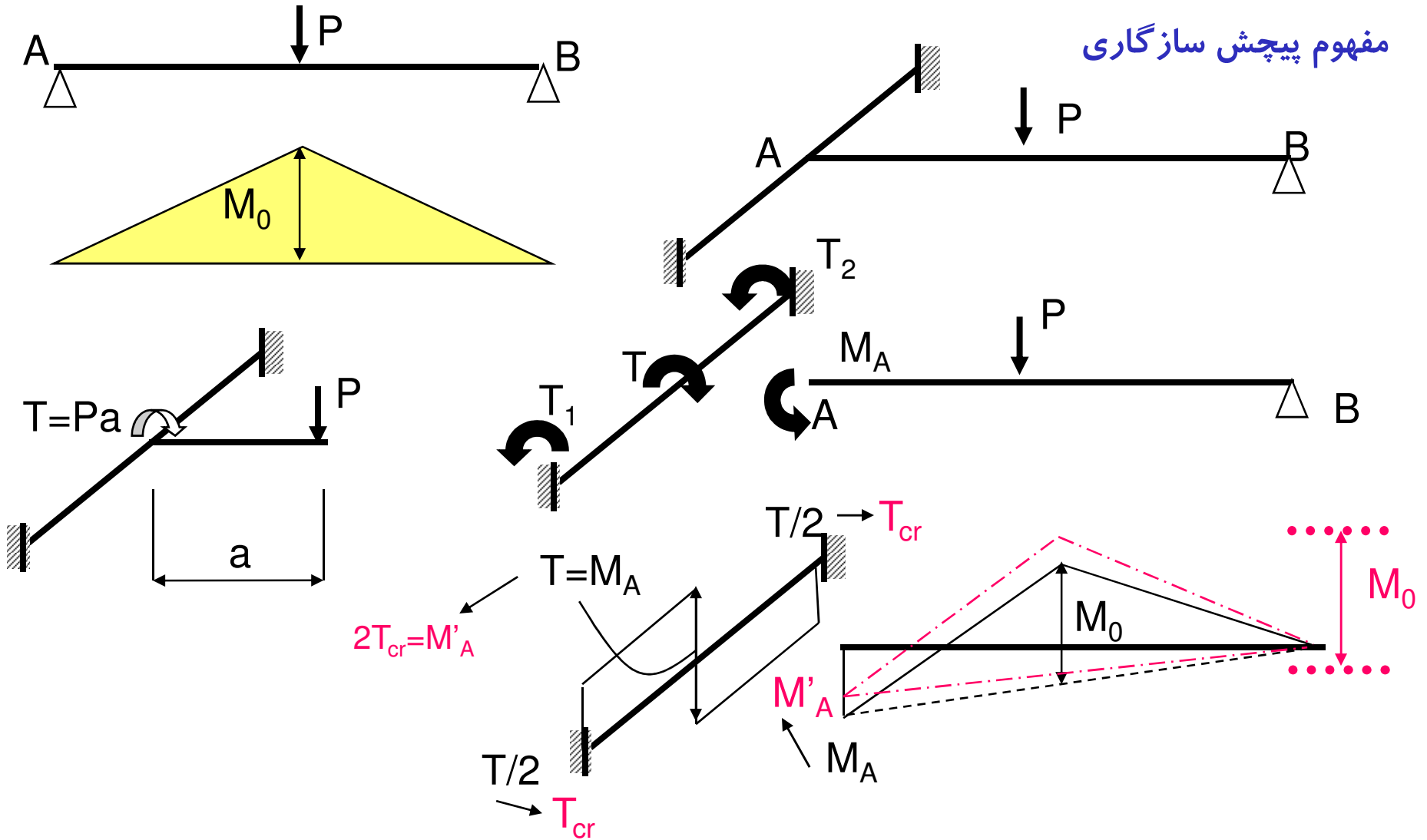


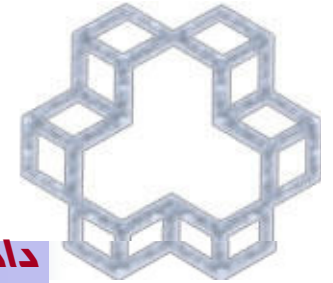
۲- پیچش نامعین استاتیکی
(سازگاری):
امکان بازپخش لنگرهای پیچشی
ممکن است



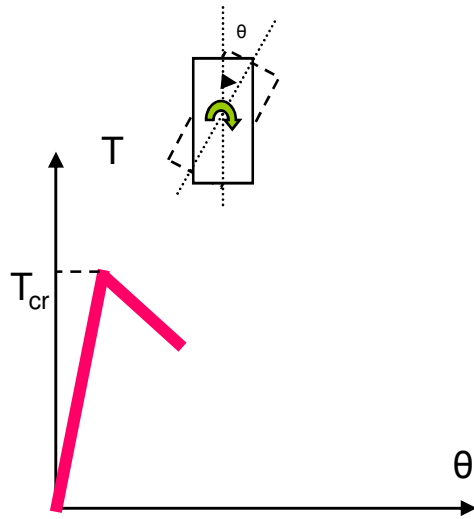


مفهوم پیش سازگاری



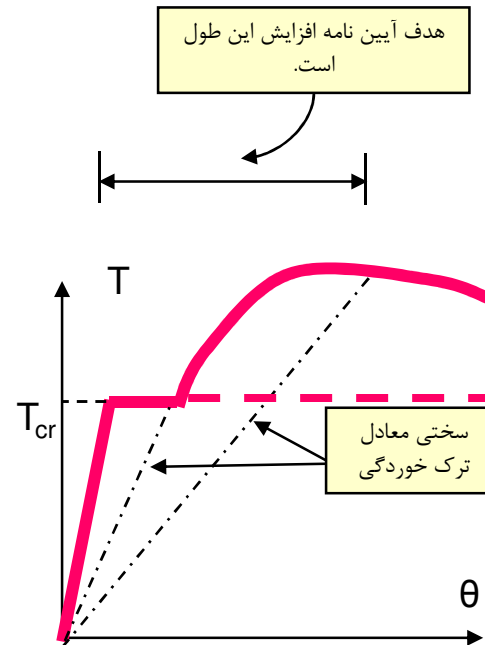


سختی پیچشی اعضای بتنی و فرضیات تحلیل



منحنی پیچش- لنگر برای مقطع بدون آرماتور پیچشی

مسئله به فولاد پیچشی می گردد



منحنی پیچش- لنگر برای مقطع با آرماتور پیچشی

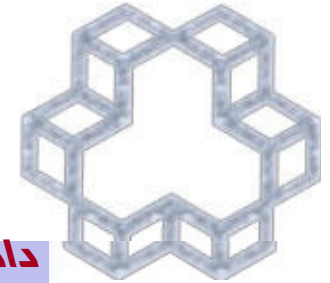
هدف آیین نامه افزایش این طول است.

- ۱- سختی ترک نخورده GJ تا پیش از ترک خوردن موثر است و حداکثر لنگر پیچشی قابل حصول T_{cr} است.
- ۲- در اثر ترک خوردن چرخش قابل ملاحظه ای در عضو حاصل می شود که منجر به توزیع مجدد نیروها می شود.

سختی معادل ترک خوردگی

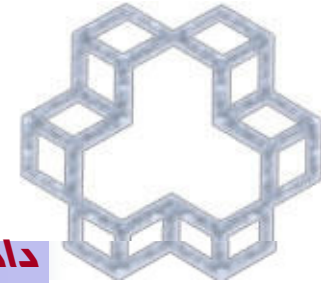
۳- علیرغم آنکه زیاد کردن فولاد پیچشی مقاومت پیچشی مقطع را بالا می برد اما اغلب استفاده از مقاومت اضافی قابل حصول غیر مقدر است زیرا مستلزم چرخشهای بزرگ و ترک خوردگی های زیاد خواهد بود.

۴- برای آنکه اعضای پیچشی پس از ترک خوردن دارای رفتار شکل پذیر باشند فولاد کافی برای تحمل T_{cr} باید استفاده گردد.

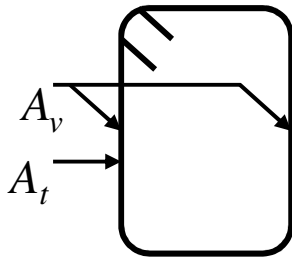


سختی پیچشی اعضای بتنی و فرضیات تحلیل

سختی پیچشی عنوان شده در بخش قبل برای مقطع ترک نخورده می باشد، در وضعیت فوق چنانچه لنگر پیچشی در پیچش سازگاری زیاد باشد مقطع ترک خورده و سختی فوق ناگهان کاهش می یابد و در اثر پیچش لنگر پیچشی کاهش می یابد. هدف آنست که بتوان با قرار دادن فولاد از کاهش ناگهانی سختی جلوگیری نمود. این افزایش سختی بستگی به مقدار فولاد پیچشی اضافه شده دارد. از آنجا که در ابتدای تحلیل مقدار فولاد معلوم نیست، لذا بسیاری از محاسبات سختی فوق را در موقع تحلیل نادیده می انگارند و بر اساس همان سختی الاستیک کل مقطع محاسبات را انجام می دهند. فولاد اضافه شده سبب جبران نقصان و افزایش مقاومت پیچشی مقطع می گردد. هدف اساسی در آیین نامه های جدید در طراحی پیچشی افزایش شکل پذیری و پخش ترکهای حاصل از پیچش است. بر اساس ضوابط آبا برای محاسبات پیچش سازگاری به دو روش می توان عمل نمود روش اول بدین گونه است که هر گونه فرضی منطقی برای محاسبه سختی خمشی و پیچشی ستونها، دیوارها، کفها و سیستم بام را مجاز می داند و سپس با پخش لنگرهای گیرداری بر اساس نسبت سختی خمش و پیچشی اعضا متصل سهم هر یک از اعضا از لنگرهای فوق تعیین می شود. در روش دوم در مواردی که امکان کاهش لنگر پیچشی در اثر باز پخش نیروهای داخلی در عضوی از یک سازه نامعین موجود باشد، می توان حداکثر لنگر پیچشی نهایی را به $0.67Tcr$ کاهش داد (در ACI از Tcr استفاده می شود) به شرطی که اثر لنگرها و برش های تعدیل شده در سایر اعضای مجاور با استفاده از روابط تعادل محاسبه و در طراحی به کار گرفته شود. لازم به ذکر است که در مقاطع توخالی مجاز به جایگزینی Ag به جای Acp نمی باشیم. در صورت استفاده از روش فوق و در صورت عدم استفاده از تحلیل دقیقتر می توان لنگر پیچشی نهایی ناشی از اثر دالها روی تیرهای باربر را با یک توزیع خطی یکنواخت جایگزین کرد. در هر صورت چنانچه محاسبات بر اساس سختی الاستیک مقدار پیچش را در مقطع مجاور ستون بین $0.25Tcr$ و $0.67Tcr$ بدست آورد می باید از مقدار محاسبه شده برای طراحی پیچش استفاده نمود. نکته جالب توجه آنستکه در مبحث ۹ از ۰/۳۳ کاهش لنگر ترک خوردگی در جهت اطمینان نسبت به ACI استفاده شده است.



ترکیب تنگهای برش و پیچش



$$\frac{A_{v+t}}{s_{v+t}} = \frac{A_v}{s_v} + \frac{2A_t}{s_t}$$

تحت اثر توام برش و پیچش باید مقطع را یکبار برای برش و یکبار برای پیچش طراحی نمود و سپس آرماتورهای محاسبه شده را جمع نموده و در مقطع قرار داد

$$\left(\frac{A_{v+t}}{s_{v+t}}\right)_{\min} = 0.35 \frac{b_w}{f_{yv}}$$

۹-۱۲-۶-۳-۴-چنانچه طراحی برای پیچش لازم باشد (بند ۹-۱۲-۷-۱) حداقل سطح آرماتور برشی و پیچشی بسته جمعاً چنین است :

حداکثر فاصله آرماتور عرضی برای قطع ترک اسپیرال = $s_{\max} \leq p_h / 8 \leq 30 \text{ cm}$ (۹-۱۲-۱۰-۵)

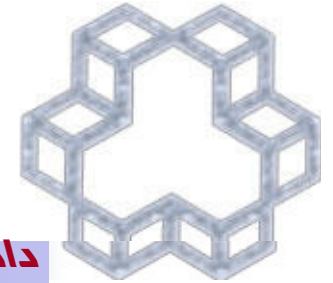
حداقل یک آرماتور طولی در هر گوشه خاموت های = $A_t \geq s / 16$

بسته پیچشی به سطح

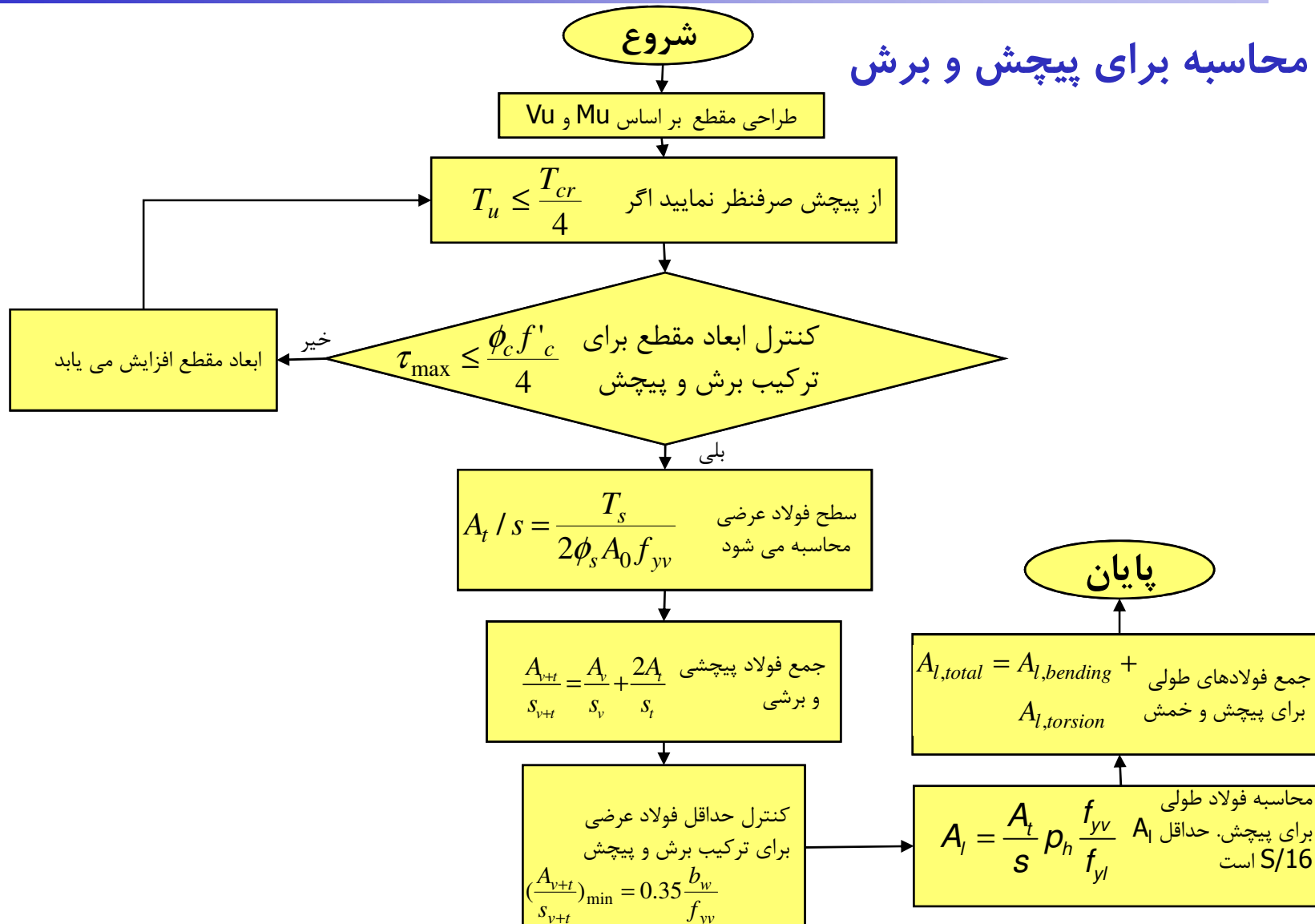
۹-۱۲-۱۰-۵- حداکثر فاصله افقی بین خاموت های بسته پیچشی نباید بیشتر از کمترین دو مقدار $P_h/8$ و ۳۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.

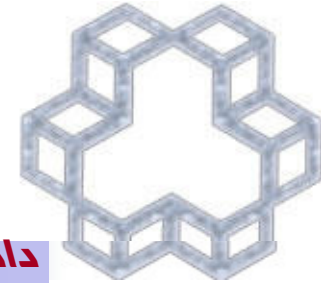
۹-۱۲-۸-۳-فاصله میلگردهای پیچشی طولی نباید بیش از ۳۰۰ میلیمتر از یکدیگر باشد.

۹-۱۲-۸-۴- در مقاطع توخالی تحت اثر پیچش، فاصله محورهای آرماتور پیچشی عرضی تا وجه درونی مقطع نباید کمتر از $A_{0h}/(2p_h)$ باشد.



دیاگرام محاسبه برای پیچش و برش





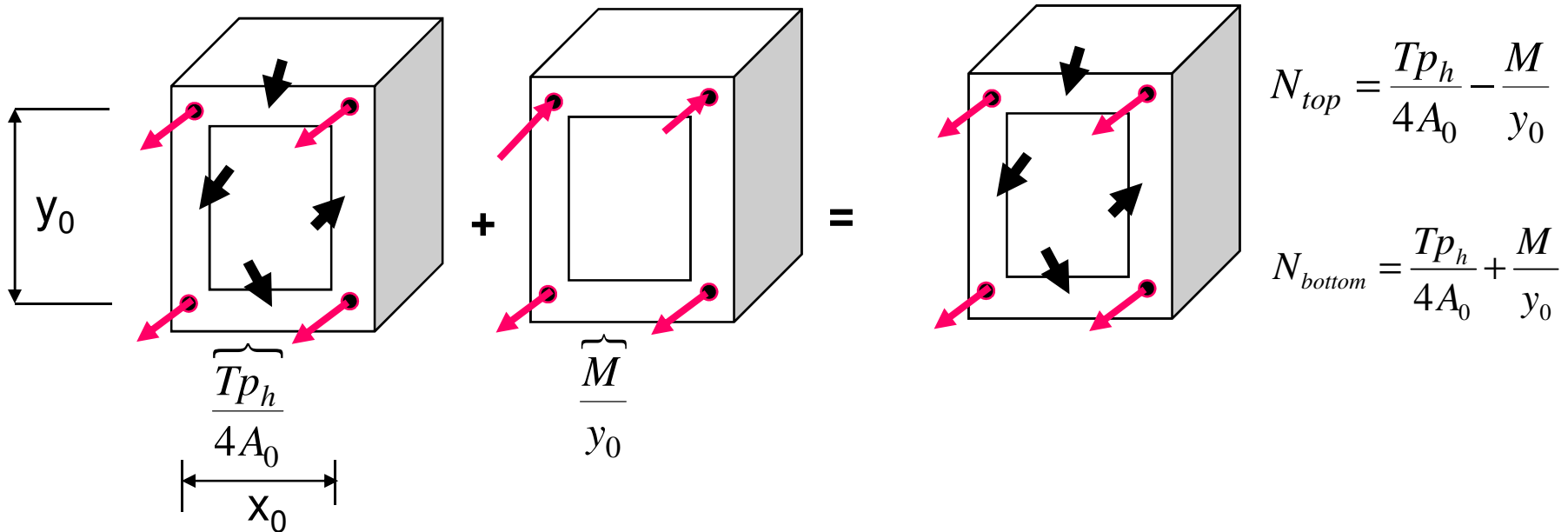
ترکیب خمش و پیچش

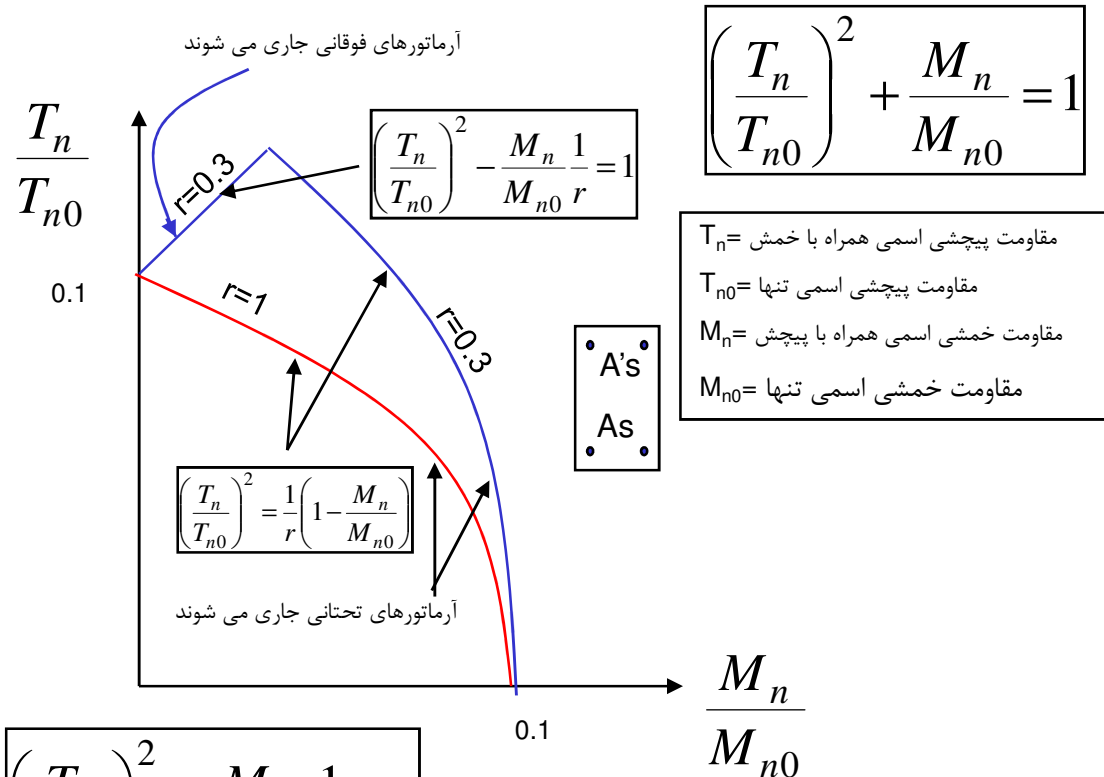
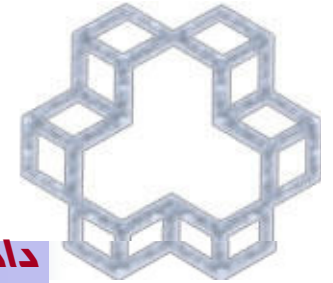
بر اساس تحقیقات Collins & Lampert دو مود شکست وجود دارد

۱- تسلیم هر دو فولادهای تحتانی و عرضی

۲- تسلیم هر دو فولادهای فوقانی و عرضی

$$\begin{aligned} \frac{N}{2} &= V_1 + V_4 \\ &= \frac{T}{2A_0} x_0 + \frac{T}{2A_0} y_0 \\ &= \frac{T}{2A_0} (x_0 + y_0) = \frac{Tp_{oh}}{4A_0} \end{aligned}$$





$$\left(\frac{T_n}{T_{n0}}\right)^2 - \frac{M_n}{M_{n0}} \frac{1}{r} = 1$$

$$r = \frac{A'_s f'_y}{A_s f_y}$$

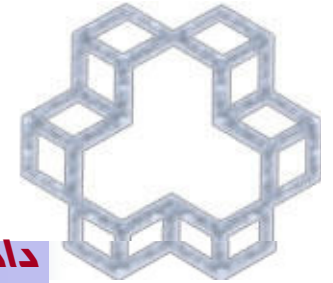
کوچکتر از واحد

به همین جهت مبحث ۹ اجازه می دهد که :
 ۹-۱۲-۹-۲- در منطقه فشاری عضو خمشی، فولادهای پیچشی طولی لازم را می توان به اندازه $\frac{M_u}{d\phi_s f_{yl}}$ کاهش داد. (M_u لنگر خمشی نهایی موثر در مقطع همزمان با T_u می باشد).

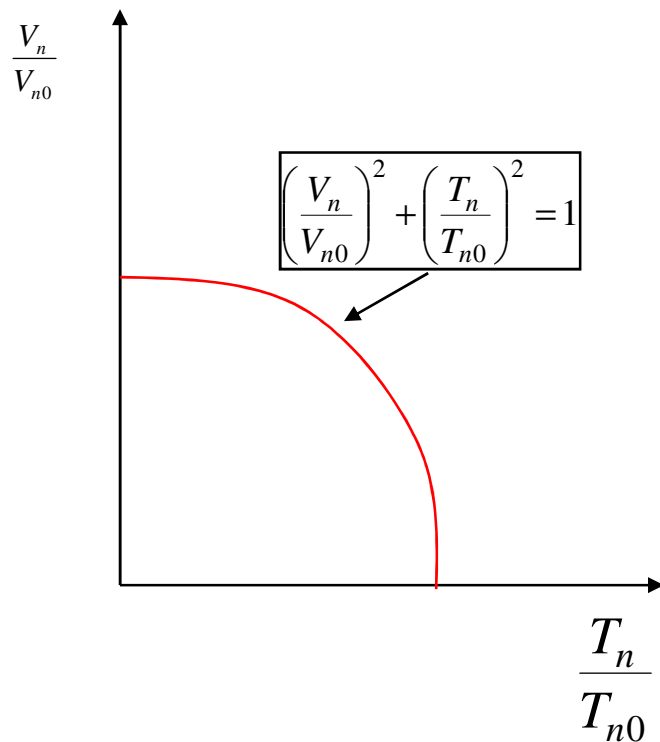
دو مد شکست دیده شده است

۱- جاری شدن فولادهای پایین و عرضی:
 معمولاً در حالتیکه فولاد مساوی در بالا و پایین تامین شده باشد در این مود قرار می گیرد. که معادله متقابل مقابل برای این حالت می باشد. در این وضعیت دو اثر خمش و پیچش در یک راستا سبب کاهش مقاومت مقطع می گردند و افزایش هر کدام سبب کاهش مقاومت مقطع در برابر کنش دیگر می گردد. در محدوده بیشتری از یک مقدار خمش (خمش زیاد) اگرچه مقدار فولاد فشاری کمتر از کشش است ولی ترکیب نیروی کشش حاصل از پیچش سبب عدم سیلان فولاد فشاری شده و شکست در این مود اتفاق می افتد.

۲- جاری شدن فولادهای بالا و عرضی
 در این وضعیت فولاد پایین بیشتر می باشد و مقدار لنگر خمشی وارد بر مقطع کم می باشد. همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش خمش مقاومت پیچشی افزایش می یابد.



ترکیب برش و پیچش



در مقاطع بدون فولاد در بال مقاومت مقطع تحت اثر توام برش و پیچش به شکل ربع دایره می باشد

T_n = مقاومت پیچشی اسمی همراه با برش

T_{n0} = مقاومت پیچشی اسمی تنها

V_n = مقاومت برشی اسمی همراه با پیچش

V_{n0} = مقاومت برشی اسمی تنها

در آیین نامه فعلی اثر دو مولفه جدا در نظر گرفته شده و سپس با هم جمع میگردد.