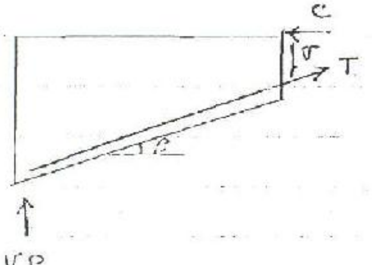
$$C = T = \frac{M_{fv}}{z} \simeq \frac{M_{fv}}{d}$$

$$V = V_f - T\tan\beta$$

$$\boxed{V = V_f - \frac{M_{fv}}{d}\tan\beta}$$

با زیاد کردن عمق خطا در جهت محافظه کارانه است



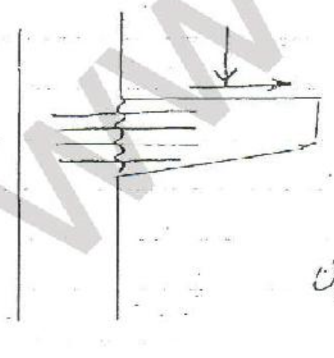
$$\boxed{V = V_f + \frac{M_{fv}}{d}\cdot\tan\beta}$$

در این حالت نمی توان از متغیر بودن عمق مقطع صرف نظر کرد

* مقاومت برشی دستک ها

اگر مقاطع عمیق باشند رفتار خمشی برشی متفاوت می شود مثل مکانیسم تیرهای عمیق ایجاد می شود

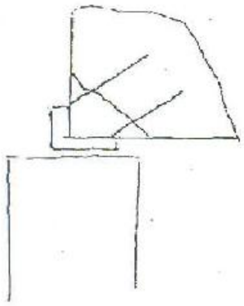
دستک ها در سازه های صنعتی و پیش ساخته کاربرد دارند

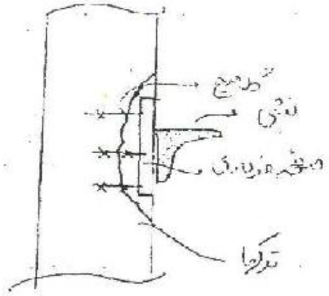


برش مقطع در راستای نیرو و موازی نیرو انجام می شود.

در واقع اگر خاموت قائم بگذاریم هیچ نقش برشی ایفا نمی کند چون ترک ها قائم اند در واقع از خاموت افقی استفاده می شود

www.ttmar.ir

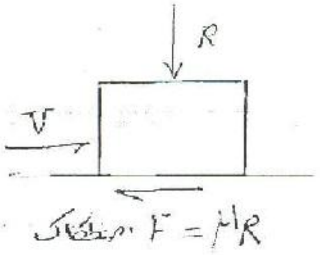



ترمیم
نبشی
صفحه فولادی
ترک‌ها

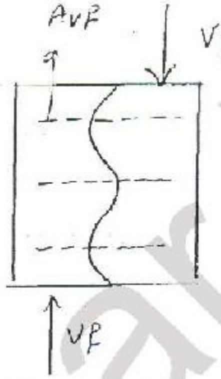
در ساختمانهای
بتنی ساخته با ستونهای
که بخواهیم تیر جدیدی
در آنها اتصال کنیم

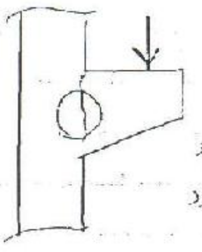
در این موارد از نوعی اپوکسی‌های مخصوص استفاده می‌شود

- تئوری اصطکاک - برشی 8

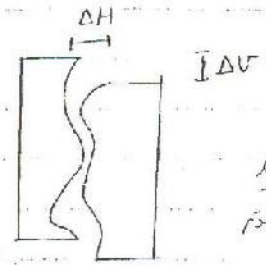


اگر نیروی برشی از مقاومت اصطکاکی بالاتر برود لغزش صورت می‌گیرد :



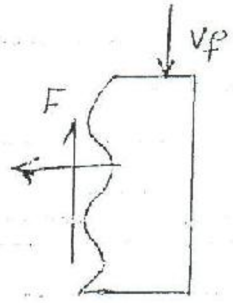


در اینجا هم یک لغزش داریم که اصطکاک به وجود آمده مانع لغزش می‌شود



برای دندانه‌های با اندازه ΔV در جهت قائم باید ΔH در جهت افقی هم داشته باشیم این رفتار را wedge action می‌گویند.

دندانه‌های برشی میلگردهای عمود بر ترک را به کشش وا می‌دارد و به تسلیم می‌رساند



مقاومت برشی اصطکاکی $V_r = A_{vf} \phi_s f_y \mu$

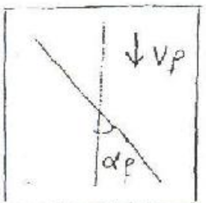
μ = ۱/۲۵ برای بتن یکپارچه ریخته شده

μ = ۹/۵ سطح قبلی را زبر کنیم تا دندانه‌ها ایجاد شود

μ = ۰/۶ بتن ریخته شده روی بتن سخت شده قبلی که سطح آن عمداً ناهموار نشده

μ = ۰/۶ بتن ریخته شده روی فولاد در حقیقت توسط گل‌میخ یا میلگرد جوش شده

فولاد برشی را مطابق شکل زیر می‌توان مایل هم کار گذاشت :



$$* \quad V_r = A_{vf}\,\phi_s f_y\,(\cos\alpha_f + \mu\sin\alpha_f)$$
$$\alpha_f \leq ۹۰°$$

اگر جهت نیروی برشی مایل [illegible] باعث [illegible] شود این فرم مناسب نیست

ضوابط

1- $f_y \leq ۴۰۰$ MPa — برای کنترل عرض ترک، پهنای ترک با سطح تنش در میلگرد متناسب است.

۲- $V_r \leq ۰/۲۵\,\phi_c f'_c A_{cv}$

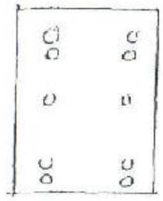
۳- $\underset{\text{تنش}}{V_r} \leq ۶/۵\,\phi_c A_{cv}$ — سطح برش — [illegible] — [illegible] تخریب می‌شود

فولادی که در مقطع می‌گذاریم به حد تسلیم می‌رسد تا میلگرد موثر باشد

اگر در مقطع کشش اضافه موجود باشد باید میلگرد اضافه طراحی کنیم و اضافه بر میلگرد قبلی کنیم

$$= \frac{N}{\phi_s f_y}$$ مساحت [illegible] اضافه می‌شود

اگر نیروی فشاری دائم هم داشتیم به طور محافظه کارانه از آن صرف‌نظر می‌کنیم ؛



آرایش فولادها باید
متقارن باشد

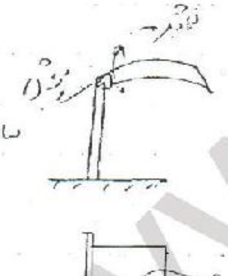
اگر میلگرد طولی نداشته
باشیم ممکن است ترک‌ها در گوشه‌ها بیشتر باشد

## * طراحی پیچشی 8

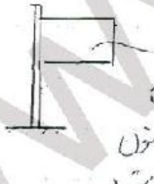
به طور کلی دو نوع پیچش در سازه‌ها اتفاق می‌افتد 8

۱- پیچش تعادلی - استاتیکی معین

۲- پیچش سازگاری - نامعین استاتیکی



همچنین روی تیر در تکیه‌گاه
ستون ایجاد لنگر پیچشی می‌کند



صفحه یا دال
اثر خمش بیشتر
است اما در ستون
پیچش ایجاد می‌شود.

پیچش تعادلی در اثر مکانیک نیروها به وجود می‌آید

در تعادل استاتیکی معین سختی اجزاء روی مقدار
نیروها تأثیری ندارد.

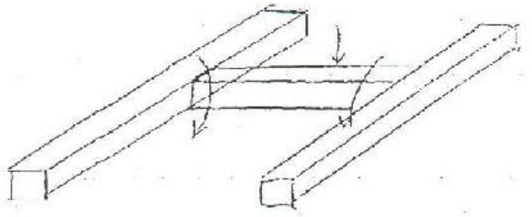
سختی پیچشی تیر ترک خورده به ترک نخورده حدود ۱۰
درصد است

اگر این سختی کم یا زیاد شود روی پیچش اثر ندارد چون در اثر شرایط تعادل استاتیکی به وجود آمده است

تیر باید برای کل پیچشی که به آن وارد می‌شود طراحی گردد

www.ttnar.ir

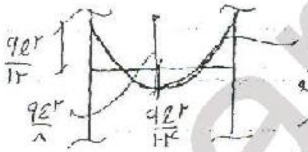
پیچش سازگاری در اثر نامعین بودن سیستم به وجود می‌آید ؟



حتی [illegible] معادل در تیر
در تیرهای ادامه پیچش

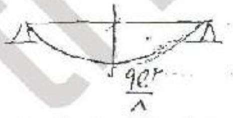
در تکیه‌گاه دو تیر اگر مفصل
داشته باشیم پیچش در تیر تکیه
گاهی شکل نمی‌گیرد
اگر مفصل نباشد به خاطر سازگاری تغییر شکلها پیچش به
وجود می‌آید

مقدار این نوع پیچش به سختی اعضا بستگی دارد
اگر شرایط تکیه‌گاهی گیردار نبوده باشد سختی مفصلی
با شیب به وجود می‌آید


$\frac{q\ell^2}{12}$
$\frac{q\ell^2}{8}$
$\frac{q\ell^2}{24}$
لنگر
در دو طرف
گیردار
تقسیم در وسط
صفر تکیه‌گاه

این لنگر در وسط دهانه
با تکیه‌گاه دو تیر باشد به سختی بستگی دارد

منحنی کل لنگر عوض نمی‌شود
فقط جابجا می‌شود.


$\frac{q\ell^2}{8}$

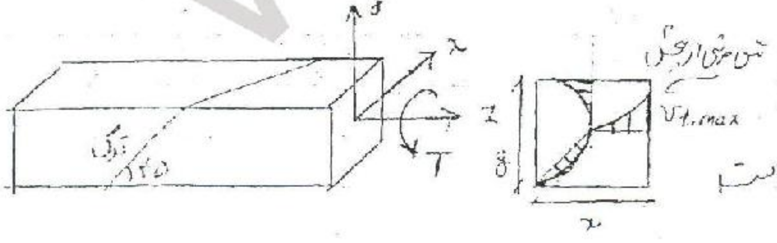
اگر دو سر مفصل کنیم
تحت همان بارگذاری
تا به سختی تکیه‌گاه
صفر می‌شود.

دهانه‌ها سختی گره‌ها بین ∞ و 0 است

جلوگیری از ترک خوردگی بتن تقریباً غیرممکن است

پیچش در ساختمان‌های بتن آرمه یک عامل مخرب است.

* مدل‌های پیچش .8


y
x
z
T
ترک
۴۵°
y
x
$v_{t,max}$

اعضای منشوری الاستیک تنش برشی از پیچش

اگر ترک داشته باشیم با زاویه ۴۵° است

هر چه نسبت ابعادی بزرگتر می‌شود تنش برشی افزایش می‌یابد

$$* \quad v_{t}, max = \frac{T}{\alpha x^2 y}$$

پیچش در واحد طول $\theta_t = \frac{T}{\beta G x^2 y}$ G مدول برشی بتن

برای بدست آوردن سختی مقطع در برابر پیچش باید تیر را به چند شکل تقسیم کنیم

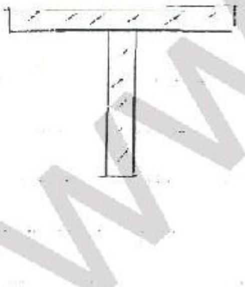
$$* \quad \frac{T}{\theta_t} \Rightarrow \underbrace{GC}_{\text{اساس هندسی مقطع } C} = G\beta x^2 y$$

- C مقطع مستطیلی $* \quad (1-0.63\frac{x}{y})\frac{x^3 y}{3}$

اگر مقطع T یا L یا هر شکلی مرکب از مستطیل بود داریم

$$* \quad C = \sum (1-0.63\, x/y)\frac{x^3 y}{3}$$

تقسیم‌بندی باید طوری باشد که مقدار $\sum$ max شود تقسیم‌بندی باید طوری باشد که کمترین جزء مشترک را به وجود بیاورد.



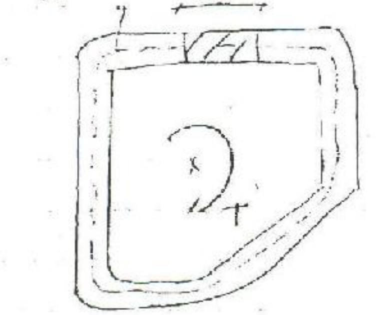
دو تا مستطیل

به نام خدا

۱۸ ج ۲٫۲۳

مقاطع جدار نازک

تئوری مقاطع مشوری
تئوری مقاطع جدار نازک



$A_0$ مساحت محصور در $P_0$

$$* \quad q = v_t\, t = \frac{T}{2A_0} \Rightarrow \underset{\text{تنش برشی}}{v_t} = \frac{T}{2A_0 t}$$

پیچش $\theta_t \quad \frac{T}{G(4A_0^2)} \oint \frac{ds}{t}$

سختی پیچشی $G_c = \frac{T}{\theta_t} = G \frac{4A_0^2}{\oint ds/t} \rightarrow \boxed{G_c = \frac{G(4A_0^2)\,t}{P_0}}$

$q$ جریان برش = نیروی برش واحد

$\tau$ = تنش برشی = نیروی برشی در واحد سطح

$\theta_t$ دوران پیچشی

سختی پیچشی = $G_c$

if $\underset{\text{در کل مقطع}}{t = cte} \Rightarrow \boxed{\oint \frac{ds}{t} = \frac{P_0}{t}}$

مناسب‌ترین آرایش فولادگذاری برای جلوگیری از ترک‌های برشی با زاویه ۴۵° عمود بر جهت ترک‌ها است

کارگذاشتن میلگرد با زاویه ۴۵° درجه در مقاطع مستطیلی دشوار است و می‌توانیم به جای خاموت حاصل از دو میلگرد عمود بر هم استفاده کنیم میلگردهای قائم همان میلگردهای عرضی یا خاموت‌ها اند

- آرایش میلگرد پیچشی چگونه باید باشد ؟

آیا می‌تواند خاموت باز باشد ؟

خیر چون ترک‌ها پیچشی اند باید بسته باشد

میلگردهای طولی پیچشی کجا باید باشد

— در تمام مقطع باید پخش شود

www.ttnar.ir

میلگرد طولی با میلگرد خمشی در بعضی جاها روی هم می افتد که مقدار میلگرد خمشی را با میلگرد پیچشی جمع می زنیم

میلگرد عرضی نیز با میلگرد عرضی برشی جمع زده می شود

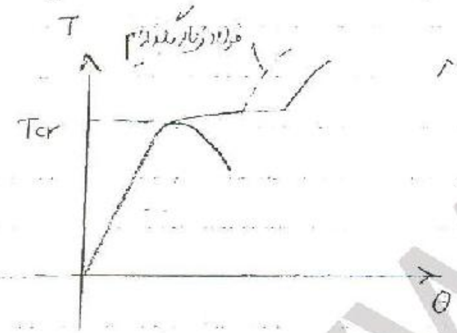
اگر عضو را تحت اثر پیچش T قرار داده بتدریج مقدار آن را اضافه کنیم

ابتدا کمی چرخش دارد اما سختی بالا است تا ترک پیچشی حاصل شود. ترک خوردن بتن همواره همراه است با

سختی بلافاصله کاهش یافته و سرتاسر مقطع را در بر می گیرد اگر مقطع فاقد فولاد پیچشی باشد به محض رسیدن به Tcr

پایداری از دست می رود و تخریب ترد برشی اتفاق می افتد

اگر مقدار مناسب فولاد پیچشی بگذاریم یعنی به حد تسلیم برسد فولادی که اضافه می کنیم از Tcr بیشتر باشد نباید



آن قدر هم بیشتر باشد که به حد تسلیم نرسد و تخریب شکل پذیر باشد

ولی ترک خورد سختی پیچشی خیلی پایین می آید و سختی باقیمانده

ناشی از میلگرد است. بعد از ترک خوردن سختی $\overset{\text{پیچشی}}{}$ حدود ۲۰ برابر

پایین می آید سپس تیر که تحت پیچش است مثل مفصل عمل می کند

— فولاد اضافه کردن در مقطع ترک خوردگی را عقب نمی اندازد. تنها کاری که می کند عرض ترک ها را کم خواهد کرد ولی شکل پذیری

را کاهش می دهد ؛

از یک حداقلی حق نداریم فولاد بگذاریم چون شکل پذیری را از دست می دهیم

* مقاومت پیچشی ترک خوردن چگونه محاسبه می شود؟ Tcr

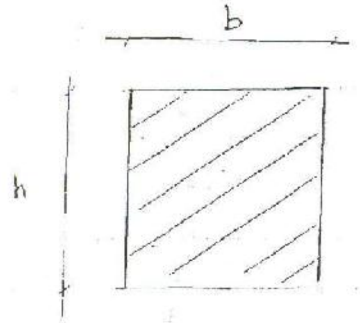
مدل آیین نامه کانادا برای محاسبه Tcr مقطع جدار نازک است پس خصوصیات مثل مقطع جدار نازک عمل می کند

چون جدار نازک بیرونی است که مقاومت را تحمل می کند. اگر از مقاومت هسته صرف نظر کنیم در جهت اطمینان عمل کردیم

پس یک مقطع جدار نازک را جایگزین مقطع اصلی می کنیم

- آیا میلگردها در مقاومت پیچشی ترک خوردن کمک می کنند؟

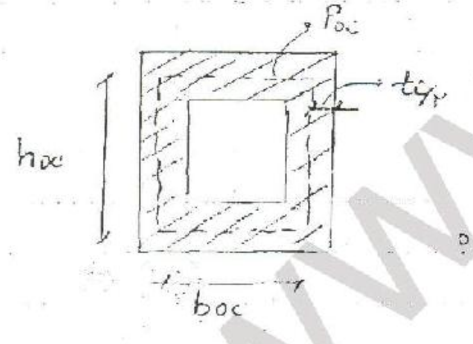
تا مقطع ترک نخورد پیچش چندانی در میلگردها ایجاد نمی شود.



Pc محیط مقطع بتنی

Ac مساحت مقطع

- با یک جدار نازک جایگزین می کنیم؟



Aoc – مساحت داخل Poc

ابعاد جدار نازک به گونه ای که مقاومت پیچشی با مقطع اصلی تقریباً برابر است.

$$\begin{cases} t_c = ۰/۷۵\,\frac{A_c}{P_c} \\ A_{oc} = \frac{۲}{۳} A_c \end{cases}$$

اگر مقطع تو خالی بود همان tc را می گیریم

www.ttmar.ir

$v_t$ تنش پیچشی ناشی از لنگر T

$$T = ۲A_{oc}\, t_c\, v_t$$

با آزمایش تنش ها در حد ترک خوردگی $v_t = ۰/۴\sqrt{f'_c}$

$$T_{cr} = ۲A_{oc}\, t_c * ۰/۴\sqrt{f'_c}$$

$$A_{oc} = ۲/۳\, A_c$$

$$\Rightarrow \boxed{T_{cr} = \frac{A_c^{۲}}{P_c} \cdot ۰/۴\sqrt{f'_c}}$$

طراحی $\boxed{T_{cr} = \frac{A_c^{۲}}{P_c} \cdot ۰/۲۸\lambda\phi_c\sqrt{f'_c}}$ مقاومت پیچشی ترک خوردن

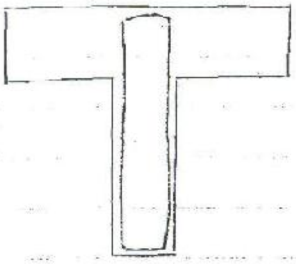
تا لحظه ترک خوردن تحت پیچش
$$\boxed{\begin{gathered} C_cC_{gross} = G \cdot \frac{۴A_{oc}^{۲}\, t_c}{P_{oc}} \\ G = ۱/۲\, E_c \end{gathered}}$$

* طراحی عملکرد پیچشی : مقاومت پیچشی ترک خورده با عملکرد 8

اگر $\overset{\text{لنگر پیچشی}}{T_f} = ۱/۴\, \overset{\text{ترک خورده}}{T_{cr}}$ نیازی به عملکرد پیچشی نیست

- لازم است برای تمامی Tf فولاد پیچشی بگذاریم ؛ $T_f > \frac{1}{4} T_{cr}$ اگر

در این حالت هم مقاومت پیچشی فقط در جان مطرح است



* تئوری پیچشی مقطع ترک خورده

- تئوری خرپای فضایی تحلیلی :

بتن بین ترک ها خرپای فشاری است روی محور بصورتیکه پیچش T اثر می کند :

بکارگیری عملکرد عرضی داریم به صورت خاموت بسته و بکارگیری میلگردهای طولی ؛ تحت اثر پیچش در مقطع دیوار نازک تنش برشی های داریم یک بتن فشاری با زاویه ۴۵ نسبت به ترک ها داریم که مقاومت فشاری آن به دو مولفه تقسیم می شود

مولفه مماسی آن با تنش برشی پیچشی در تعادل است و مولفه طولی آن با نیروی کششی در میلگرد طولی در تعادل است :

در جهت عمود بر مقطع مقدار تنش با تنش های برابر است ! پس تنش پیچشی خالص داریم و با رسم کردن ۴۵° داریم

با خاموت عرضی : تنش برشی پیچشی با مولفه های فشاری در تعادل است و میلگردهای عرضی با مولفه عرضی فشاری در حال تعادل اند

در این خرپا اعضای مورب آن فشاری است :

ادامه از اول ج :

۲ تئوری داریم : پیچش در مقاطع توپر مستطیلی
پیچش در " " جدار نازک

* رفتار پیچشی اعضای بتنی مسلح :

اگر یک مقطع مکعبی تحت اثر پیچش در نظر بگیریم می دانیم در گوشه ها تنش برشی کم است و در وسط ها max می شوند . max تنش پیچشی در وسط ضلع بزرگتر اتفاق می افتد هرچه به محور پیچشی نزدیک شویم تنش پیچشی کمتر می شود و بالعکس ؛ به طوریکه اکثر مقاومت پیچشی توسط جداره بیرونی مقطع تأمین می شود در حالیکه مقطع توپر می باشد

در المان ها که مطابق شکل در داخل عضو تحت پیچش در نظر گرفته ایم ، المان تحت برش خالص است و جهت تنش های اصلی کششی به صورت زیر است پس الگوی ترک خوردگی همین زاویه ی ۴۵° به صورت شکل است ، ترک ها عمود بر جهت تنش های کششی اصلی است

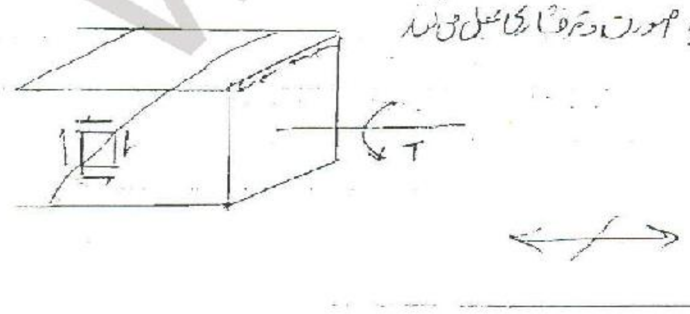
* ترک پیچشی ابتدا کجا به وجود می آید ؟ در وسط وجه بزرگتر با جهت ۴۵°

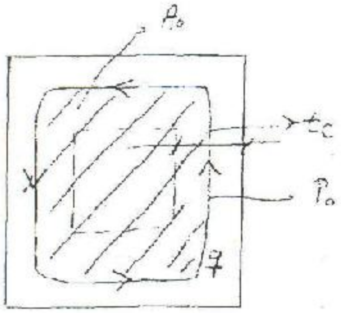
آیا این فقط در یک وجه به وجود می آید ؟ خیر در تمامی وجوه ، چون اساساً با ترک خوردن مقاومت پیچشی مقطع به شدت کم می شود ترک از وجه بزرگ آغاز می شود و در تمام وجه گسترش می یابد و سرتاسری است

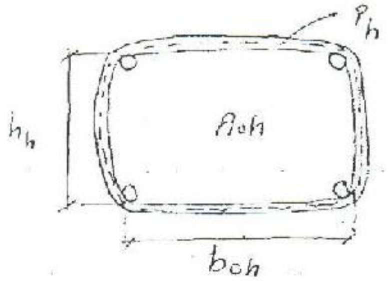
الگوی ترک خوردگی پیچشی مورب خواهد شد ، با زاویه ۴۵° ؛ سخت ترین جایی که ترک می خورد ؛ وجه بزرگ است

تنش هایی که بین ترک ها هستند را نیز فشاری اند ، حوله ، جهت ترک هم جهت تنش های فشاری اصلی است

وقتی که بتن در ترک فشاری است به صورت دستک فشاری عمل می کند







$*\quad A_l f_y = \frac{q}{\tan\alpha} \cdot P_0$

$*\quad T = ۲A_0 q$

$*\quad A_t f_y = q\cdot\tan\alpha$

$*\quad v_t = \frac{q}{t_0} = \frac{T}{۲A_0 t_0}$

اگر q را بین روابط فوق حذف کنیم داریم

$$\frac{A_t}{s\cdot\tan\alpha} = \frac{A_l \tan\alpha}{P_0}$$

$*\quad T = \frac{۲A_0 A_t f_y}{s\cdot\tan\alpha}$

$$T = ۲A_0 f_y \sqrt{\frac{A_t}{s}\cdot\frac{A_l}{P_0}}$$

فرض $\alpha = ۴۵^\circ \Rightarrow \boxed{\frac{A_t}{s} = \frac{A_l}{P_0}}$

www.ttnar.ir

$$T = \frac{2 A_o A_t f_y}{s}$$

مقاومت پیچشی
با فرض
میلگردها
در حالت ترک
خورده

$$T_r = \frac{2 A_o A_t \phi_s f_y}{s}$$

$$A_l = \frac{A_t \cdot P_h}{s}$$

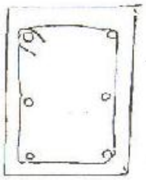
$$A_o = 0/85\, A_{oh}$$

www.ttnar.ir

- ضوابط آیین نامه‌ای :

$T_f < 0/25 T_{cr}$

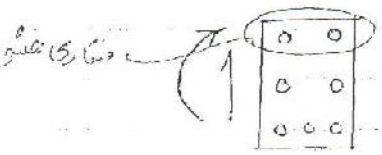
$T_f > 0/25 T_{cr}$ آرایش میلگردها باید به طور یکنواخت در مقطع توزیع شود :



فولادهای پیچشی به صورت خاموت بسته با خم ۱۳۵° باشد

قلاب باید ۱۳۵° باشد

- اگر در مقطع علاوه بر پیچش ، خمش هم داشتیم فولاد مورد نیاز خمش ، جداگانه حساب می شود و با فولاد پیچشی جمع می شود :



چون اثر خمش در طرف کشش داریم در طرف فشار :

آیین نامه‌ها اجازه می دهد

- از مقدار میلگرد کششی پیچشی در ناحیه تنش فشاری خمشی به اندازه $\frac{M_f}{0/9 d f_y}$ کم کنیم :

در پیچش هم مانند برش نباید بتن تخریب شود یعنی بتن سالم بماند و میلگرد تخریب شود باید سطح تنش در مقطع محدود باشد

$$* \quad \frac{V_f}{b_w d} + \frac{T_f P_h}{(A_{oh})^2} \leq 0/35 \lambda \phi_c f'_c$$

تنش برشی

تنش پیچشی

- حداقل فولاد :

اگر مقطع یک حداقل فولاد نداشته باشد به محض ترک خوردن به شکل ترد تخریب می شود :

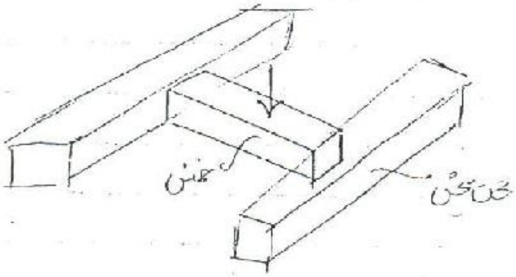
$* \quad A_{v\,min} = \frac{0/35 b_w s}{f_y}$ چون تنش پیچشی از جنس برش است

- مقاطع بحرانی برای پیچش به فاصله $d$ از بر تکیه‌گاه :

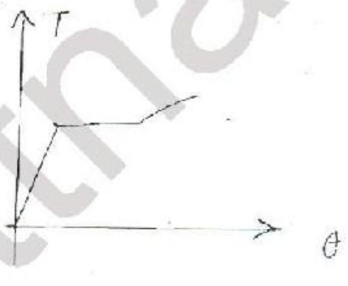
چون مقاومت در ناحیه نزدیک تکیه‌گاه افزایش می‌یابد :

* پیچش سازگاری :

- در اثر نامعین بودن سیستم به وجود می‌آید اگر سیستم معین شود این پیچش از بین می‌رود



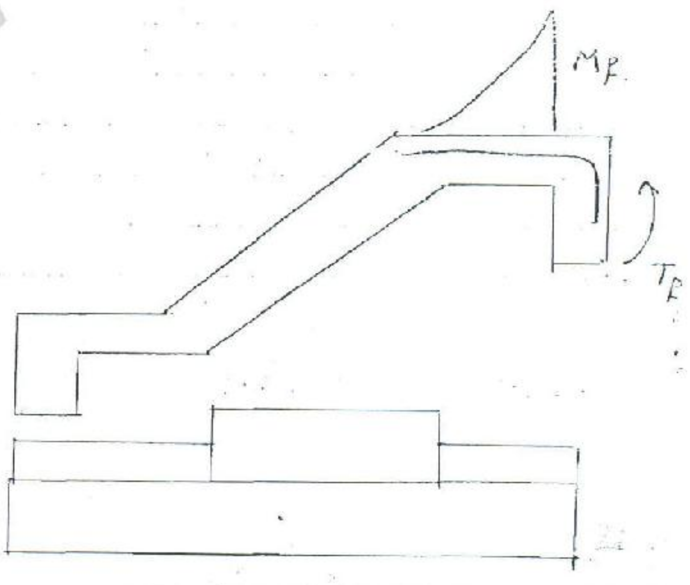
⊣ اتصال صلب گیردار به ⊢ تبدیل می‌شود چون سختی پیچشی ترک خورده حدود ۱۰ درصد سختی ترک نخورده است



آیین‌نامه کانادا اجازه داده اگر پیچش از نوع سازگاری بود می‌توانیم $T_f$ را به ($T_{cr}$ ۰/۶۷) کاهش دهیم

← طراحی برای ($۰/۶۷T_{cr}$) چون ترک حتماً اتفاق می‌افتد به این شرط که اثر باز توزیع را در آرایش جدید نیروها به حساب آوریم.

یعنی لنگر منفی کاهش و لنگر ⊕ افزایش می‌یابد



راه‌پله : تکیه در مقابل لنگرها مقاومت می‌کند در نتیجه دچار پیچش می‌شود

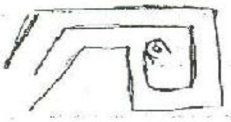
اگر بخواهیم تیر پاگرد را در برابر پیچش طراحی کنیم هزینه‌های سنگینی ایجاد می‌شود

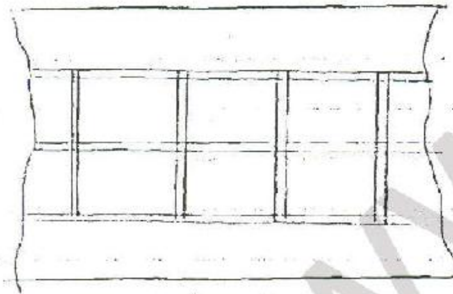
www.ttnar.ir

برای این که نیازی به طراحی پیچشی نباشد میلگرد را ۱۵۰ mm به داخل تکیه گاه می‌بریم تا شرایط تکیه گاه مفصلی ایجاد شود

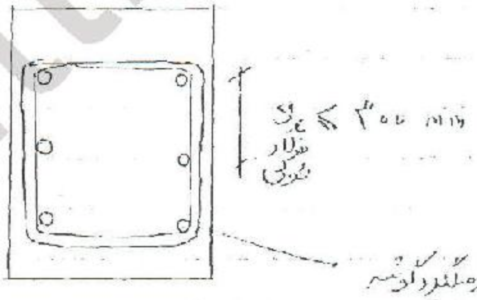
ولی این کار اشکال دارد اول این که یک مقدار پیچش خواهیم داشت ؛
ثانیاً ترک مرزی در ناحیه میانی اتفاق می‌افتد

— بهترین راه حل بستن میلگرد پیچشی بر مبنای ۰/۶۷ Tcr است و قلاب کامل کردن میلگرد ؟





$S \leq \frac{P_h}{8}$ ، ۲۰۰ mm



؛ $d_b \geq \frac{s}{16}$

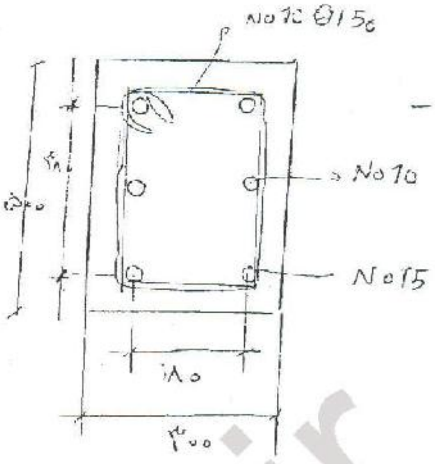
خاموت‌ها باید بسته و ۱۳۵° باشند ؟

تیر در ناحیه تکیه گاهی تحت فشار است پس نمی‌تواند قلوه کن شود می‌توان از گره ۹۰° استفاده کرد

مثال -

$T_r$ –
$GC_{gross}$ –
$T_r$ –
$GC_{cr}$ –

$f_y = ۴۰۰$
$f'_c = ۳۰$



حل -

$$1 - T_{cr} = \frac{A_c^۲}{P_c} * ۰/۳۴λ φ_c \sqrt{f'_c} \times 10^{-۶}$$

$$= ۱۸/۵ \ kN.m$$ ظرفیت پیچشی مقطع تا ترک خوردن

۲ - سختی قبل از ترک خوردن { مقطع جدار نازک / مقطع توپر

مدل مقطع توپر [illegible] ⇒

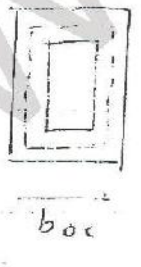
$$* \ C = (۱ - ۰/۶۳ \ x/y)(\frac{x^۳ y}{۳})$$
$$= ۲/۸۰ \times ۱۰^۹ \ mm^۴$$

x ضلع کوچک
y 〃 بزرگ

$$* \ G = \frac{E_c}{۲} = \frac{۵۰۰۰ \sqrt{f_c}}{۲} = ۱۳/۷ \times ۱۰^۳ \ MPa$$

$$* \ GC_g = ۳۸/۳ \times ۱۰^{۱۲} \ N.mm^۲$$

جدار نازک ⇒



$$t_c = ۰/۷۵ \frac{A_c}{P_c} = ۷۰/۳ \ mm$$

$$\begin{cases} b_{oc} = ۳۰۰ - ۷۰/۳ = ۲۲۹/۷ \ mm \\ h_{oc} = ۴۲۹/۷ \ mm \end{cases}$$

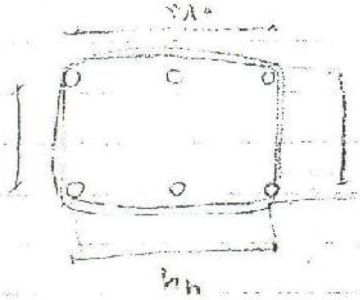
$$A_{oc} = b_{oc} * h_{oc} = ۹۸/۷ \times ۱۰^۳ \ mm^۲$$

$P_{oc} = ۱۳۱۹\ mm$ طول خط محیطی

$$* \quad G_cC_g = \frac{G_c(۴A_{oc}^۲)t_c}{P_{oc}} = ۲۸/۵ \times ۱۰^{۱۲}\ N\cdot mm^۲$$

- هردو قابل قبول است ؛

۳- $T_r = ?$



$b_h = ۱۸۰ + ۱۶ + ۱۱/۳ = ۲۰۷/۳\ mm$

$h_h = ۴۰۷/۳$

$A_{oh} = b_h \times h_h = ۸۴/۴ \times ۱۰^۳\ mm^۲$

$P_h = ۱۲۲۹\ mm$

$A_o \cong ۰/۸۵ A_{oh} = ۷۱/۷ \times ۱۰^۳\ mm^۲$

$A_t \cong ۱۰۰\ mm^۲$

$$* \quad T_r = \frac{۲A_oA_t\phi_s f_y}{s} = ۳۲/۵\ kN\cdot m$$

کنترل : ۱- فولاد طولی

ok $\left\{ \begin{array}{l} \text{لازم}\ A_l = \frac{A_t P_h}{s} = ۸۱۹\ mm^۲ \\ \text{موجود}\ A_l = ۴ \times ۲۰۰ + ۲ \times ۱۰۰ = ۱۰۰۰\ mm^۲ \end{array} \right.$

۲- حداقل خاموت

$$A_{v\,min} = \frac{۰/۳۵ \times ۳۰۰ \times ۱۵۰}{۴۰۰} = ۳۹/۴$$

موجود $A_v = ۲ \times ۱۰۰ = ۲۰۰ > ۳۹$ ✓

۳- ابعاد مقطع

$۰/۲۵\lambda\phi_c\sqrt{f'_c} = ۴/۵\ MPa$

$$\Rightarrow \frac{T_r P_h}{A_{oh}^۲} = ۵/۶۱\ MPa > ۴/۵$$ تغییر سطح مقطع بتن درست

مقطع تیر را طراحی می‌کنیم :

$$T_r \le ۰/۲۵\lambda\phi_c\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{oh}}{P_h}\right)^۲$$

$$T_r \le ۲۴/۱ \ kN.m$$

۴- [illegible]

$$t_s = \sqrt{\frac{A_t}{s}\cdot\frac{A_l}{P_o}} = ۰/۷۷۴ \ mm$$

$$G_s = \frac{E_s}{۲} = ۱۰۰ \ GPa$$

$$* \quad GC_{cr} = G_s \frac{۴A_o^۲ t_s}{P_o}$$

$$= ۱/۲۹ \times ۱۰^{۱۲} \ N.mm^۲$$

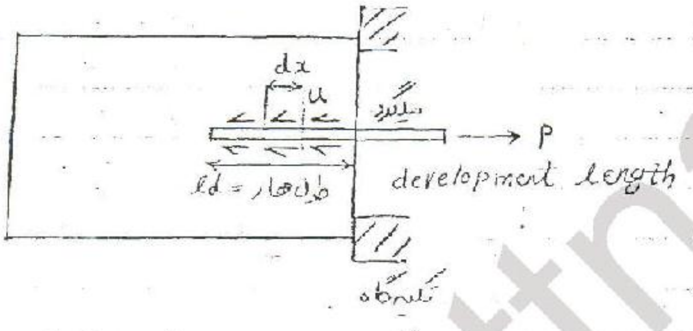
تقویت کافی باشد

www.ttmar.ir

## * پیوستگی بین بتن و میلگرد :

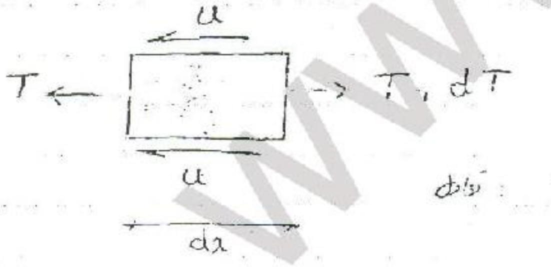
فرض براین است که میلگرد و بتن با هم کاری کنند و یک مقطع مرکب را تشکیل دهند و به هم رفتار مشترکی دارند. در این پیوستگی یک مسئله اساسی است که روی رفتار سازه تأثیر می‌گذارد :

- پیوستگی کششی ساده :


dx
u
میلگرد
P
ld = طول مهار
development length
تکیه‌گاه

میلگرد را که می‌خواهیم بیرون بکشیم یک مقاومتی اعمال می‌کند این مقاومت توسط تنش پیوستگی بین بتن و میلگرد تأمین می‌شود

قطعه‌ای به طول dx را جدا می‌کنیم :



تعادل : $T + u \pi d_b \cdot dx = T + dT$

$$\boxed{u = \frac{1}{\pi d_b} \frac{dT}{dx}}$$

تنش پیوستگی در هر نقطه متناسب با شیب تغییرات نیروی کششی در آنجا است

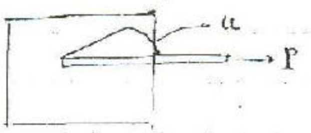
* اگر u یکنواخت باشد :

$$* \quad u \pi d_b l_d = P = A_s f_s = \pi \frac{d_b^2}{4} f_s$$

$$\boxed{u = \frac{d_b}{4 l_d} . f_s}$$

مقدار u به تنش وارد شده به میلگرد بستگی دارد
و با عکس طول مهاری متناسب است

فرض یکنواخت بودن u خیلی درست نیست چون مطالعات نشان داده u یکنواخت نیست



* طراحی u متوسط :

برای طراحی u متوسط کفایت می‌کند

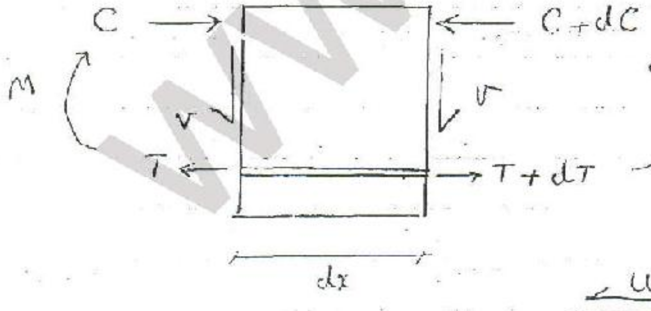
اگر میلگرد خیلی طولانی باشد ممکن است
حتی در انتهای میلگرد تنشی به وجود نیاید .

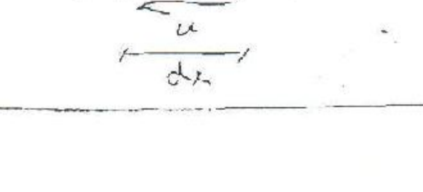
www.ttnar.ir

حالت دوم :

* پیوستگی تحت خمش

پیوستگی بین بتن و میلگرد تحت اثر خمش در مقطع





باز هم داریم * $u = \frac{1}{\pi d_b} \cdot \frac{dT}{dx}$

بازو لنگر Z

$$(T+dT)Z = M + dM$$
$$T \cdot Z = M$$
$$\Rightarrow \boxed{dT = \frac{dM}{Z}}$$

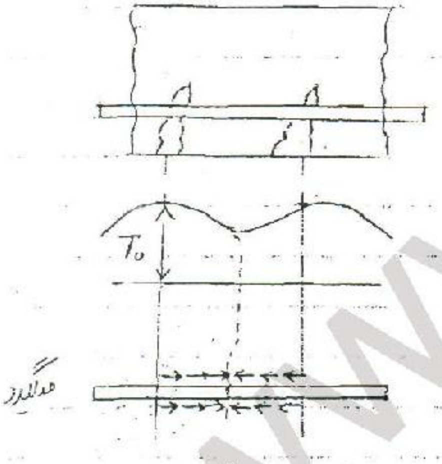
$$\Rightarrow u = \frac{1}{\pi d_b} \cdot \frac{1}{Z} \cdot \frac{dM}{dx}$$

در هر مقطع $\boxed{u = \frac{1}{\pi d_b} \cdot \frac{V}{Z}}$ تنش چسبندگی در اثر خمش

این تنش پیوستگی در اثر برش به وجود می‌آید.

* اثر ترک خمشی بر تنش پیوستگی :

- فرض کنیم تعداد ترک خمشی در طول قطعه ثابت است :



در جایی که ترک داریم نیروی کششی توسط ~~[illegible]~~ فولاد تحمل می‌شود اما در جایی که ترک نخورده مقداری از نیروی کششی توسط بتن هم تحمل می‌شود پس نیروی کششی موجود در میلگرد کاهش می‌یابد

در ناحیه‌ای که بتن در ترک قرار دارد باعث می‌شود تنش پیوستگی به وجود می‌آید که در بین خود بتن و میلگرد در هر حال تعادل است یا نیروهای بیرونی در حال تعادل باشند

پس اگر لنگر خمشی ثابت باشد ولی نیروی کششی متغیر داشته باشیم در اثر ترک تنش پیوستگی به وجود می‌آید.

* پیوستگی فشاری هم می توان در نظر گرفت اما روابط عوض می شود :

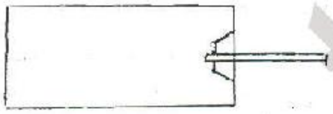
ولی یک تفاوت وجود دارد و آن هم اثر پواسن است وقتی میلگرد کشیده می شود قطرش کم شده و تنش پیوستگی تضعیف می شود اما در حالت فشار قطرش زیاد شده و تنش پیوستگی زیاد می شود

بنابراین طول مهاری لازم برای میلگرد فشاری از حالت کششی کمتر است :

* مدهای تخریب پیوستگی بین بتن و میلگرد :

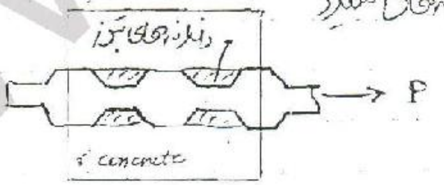
— تخریب پیوستگی در چندین حالت اتفاق می افتد :

۱ – قلوه کن شدن مخروطی



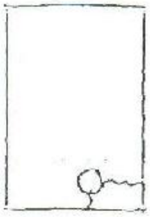
طول میلگرد داخل بتن کم است وقتی تحت اثر کشش قرار می گیرد برش ایجاد شده کمتر از تنش پیوستگی است و تخریب به صورت مخروط صورت می گیرد اگر کفشک بگذاریم کل این کفشک با بتن بیرون می آید

۲ – بریده شدن دندانه های بتن بین دندانه های میلگرد



۳ – شکافتن طولی splitting

www.ttnar.ir



بتن ترک می خورد در جهتی که کوتاهترین
فاصله تا میلگرد موجود است
اما معمولاً در دو جهت ترک می خورد
بتن گوشه را بیرون می اندازد و پیوستگی از بین
می رود

— در صورتی که فاصله cover کم باشد اتفاق می افتد
در سازه های بتن آرمه معمولی این حالت بیشتر اتفاق می افتد

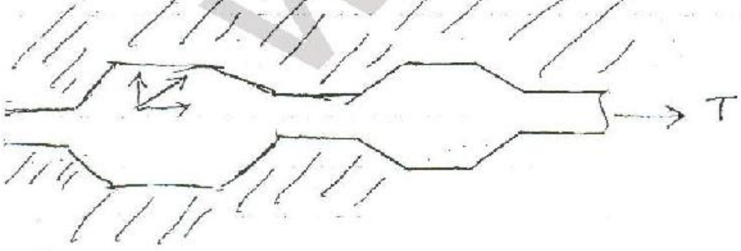
## ۴ - گسیخته شدن میلگرد :

هنگامی که طول ها خیلی زیاد باشد

طول های کامل طولی است که وقتی میلگرد تحت کشش قرار می گیرد به حد تسلیم برسد.

اگر طول های کامل را رعایت کنیم حالت اول دیگر نخواهیم داشت، معمولاً اول splitting رخ می دهد و در ادامه دری اتفاق می افتد

* گسیخته شدن در انتها یعنی میلگرد به تسلیم برسد اما ما داریم وقتی به تسلیم برسد میلگرد تخریب نمی شود بنابراین معمولاً این حالت کمتر اتفاق می افتد



* مکانیزم نیروها در پیوستگی :

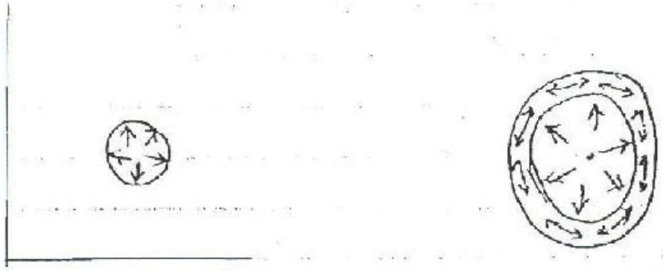
بتن نیرویی که روی میلگرد اثر می گذارد
میلگرد تغییر شکل می دهد

www.tnar.ir

میلگرد می خواهد رو به جلو حرکت کند اما بتن گیر ای می گذارد و عملکرد گوه ای شکل می گیرد

ترک قائم به علت رفتار گوه ای wedje action ایجاد می شود

اگر میلگرد کشیده شود بتن را به بیرون فشار می دهد و به خاطر سطح شیاردار میلگرد یک نیروی شعاعی به وجود می آید



اگر بتن بتواند دوران آن
فشار را تحمل می شود در دن
حلقه های آن کشش ایجاد
می شود

در بتن اطراف میلگرد کشش می افتد
تا زمانیکه کشش به وجود آمده از مقاومت کششی
بتن بیشتر شود ترک نداریم اما اگر بیشتر شد ترک
طولی به وجود می آید که همان شکافت طولی است

آیین CD Euro از روابط تجربی برای محاسبات استفاده می کند.

شکل آج دندانه ها براساس محاسبات صورت گرفته است اگر تیز باشد مقاومت را خیلی بالا می برد.

X- عوامل موثر بر پیوستگی بین بتن و میلگرد 8

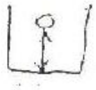
۱- c ضخامت کاور دور میلگرد
۲- $d_b$ قطر میلگرد برحسب قطر بیشتر شود پیوستگی پایین می آید.

مطالعات نشان داده که نسبت $\underline{c/d}$ بیشتر اثر را دارد !

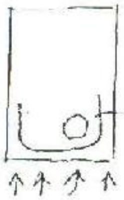
۳- $\ell$ طول مهار

www.ttmar.ir

۴- فشار جانبی
۵- خاموت
۶- عمق بتن زیر میلگرد افقی ←



وقتی بتن متراکم می‌شود حباب هوا و آب
به سمت بالا حرکت می‌کند و سنگدانه‌های سنگین
به سمت پایین حرکت می‌کنند در نتیجه زیر
میلگرد آب جمع می‌شود + حباب هوا
که باعث می‌شود بتن پیوستگی تضعیف شود



خاموت حرکت را قطع می‌کند
به هم می‌خورد و مقاومت
پیوستگی را بالا می‌برد

فشار مانع splitting شد
مقاومت را بالا می‌برد از طرفی
فشار ضریب اصطکاک را بالا می‌برد

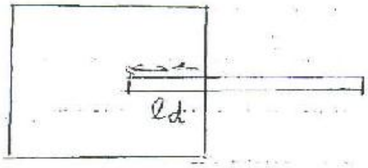
مثلاً CDA می‌گوید اگر عمق بتن زیر میلگرد از ۳۰۰ mm
بیشتر شد باید طول مهار را ۴۰٪ اضافه کرد
این مسئله در پی‌ها بیشتر رخ می‌دهد.

- طول مهار 8

$$\ell_{db} = \frac{f_y}{4}\,\frac{d_b}{u_u}$$

طول مهار پایه
basic development length

طول مهار طولی است که لازم است تا به
میلگرد به حد تسلیم برسد



$u_u$ تنش پیوستگی در حالت حدی یا
مقاومت پیوستگی حدی که با آزمایش تعیین می شود

$$\star \quad u_u = \frac{19.7\sqrt{f'_c}}{d_b} \quad \text{یا} \quad 5.25\ \text{MPa}$$

هرکدام کوچکتر بود

پیوستگی بین بتن و میلگرد تحت اثر دو مقدار یا آثاری مربوط می شود یکی خمشی یکی کشش ساده

- با آزمایش اثرات دو مقدار را مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که اگر ۸۰٪ مقادیر فوق را به عنوان مقاومت پیوستگی در نظر بگیرند اثر پیوستگی خمشی هم به حساب می آید.

$$\ell_{db} = \frac{f_y d_b}{4\,(0.8 \times 19.7\sqrt{f'_c}/d_b)} \quad \text{یا} \quad \frac{f_y d_b}{4\,(0.8 \times 5.52)}$$

هرکدام بزرگتر بود

$$\ell_{db} = \frac{0.02\,A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad \text{یا} \quad 0.0570\, d_b f_y$$

www.tinar.ir

آبا - کانادا $\underset{\text{کششی}}{\ell_{db}} = \dfrac{۰/۰۱۹\, A_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq ۰/۰۰۵۸\, d_b f_y$ $A_b$ مساحت یک میلگرد

در اینجا نیازی به اعمال ضرایب اطمینان نیست چون در محاسبه $A_b$ یا $A_s$ محاسبات با ضریب اطمینان انجام می‌شود :

- طول مهار را از ضرب ضرایب تصحیح در طول مهار پایه محاسبه می‌شود :

- میلگردهای کششی :

$\ell_d = \ell_{db}$ * ضرایب تصحیح

- ضرایب دو دسته‌اند : بزرگتر از یک و کوچکتر از یک :

الف - ضرایب بزرگتر از یک :

- اگر عمق بتن زیر میلگرد افقی از ۳۰۰ mm بیشتر باشد ۱٫۴ * چون کاهش پیوستگی می‌یابد

- اگر $f_y$ از ۴۰۰ MPa بیشتر باشد $۲ - \dfrac{۴۰۰}{f_y}$ *

- بتن سبک سازه‌ای ۱٫۳ *

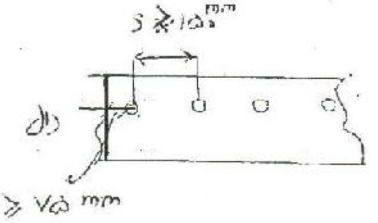
- بتن نیمه سبک سازه‌ای ۱٫۱۸ *

اگر هر دو عامل حضور داشته باشند هر دو را در هم ضرب می‌کنیم

www.ttmar.ir

ب ـ ضرایب کوچکتر از یک ؟ سبب طول مهاری کمتری مورد نیاز است

ـ وجود پوشش ضخیم بتن ۰/۸



ـ اگر فولاد کششی حقیقی از مقدار لازم بزرگتر باشد به نسبت $\frac{A_{s\ لازم}}{A_{s\ موجود}}$ می‌توان طول مهار را کاهش داد ؟

* اثر تجمعی ضرایب کاهش نباید از ۰/۶ کمتر شود ؟

ـ درصورتی که میلگرد با فولاد مارپیچ احاطه شده باشد که قطر مارپیچ $6^{mm}$ و طول گام آن $100^{mm}$ باشد
محصور در طول ها

۰/۷۵

چون خاصیت مقاومت پیوستگی را بالا می‌برد

* $l_d$ نباید از $300^{mm}$ کمتر شود

این رابطه برای میلگردهای تا قطر $35^{mm}$ استفاده می‌شود برای میلگردهای با قطر بیشتر روابط جداگانه وجود دارد

* * *

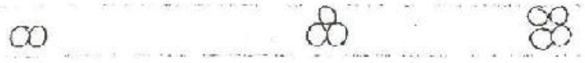
* فولاد فشاری $l_{db} = \frac{0/24\, d_b f_y}{\sqrt{f'_c}} \geq 0/044\, d_b f_y$ یا $200^{mm}$

- اثر تجمعی ضرایب نباید از ۰/۶ کوچکتر شود ؟

الف - فولاد فراهم شده از فولاد لازم بیشتر باشد ؟ $\frac{A_s\ req}{A_s\ prov}$

ب - اگر فولاد در ستون با خاموت مارپیچ که قطر لااقل ۶mm و طول گام ها حداکثر ۱۰۰mm باشد ؟ ۰/۷۵

* دسته میلگرد ؟



طول مهاری عوض نمی شود　　٪۲۰　　٪۳۳　　باید طول مهاری را اضافه کنیم تا کاهش سطح تماس جبران شود.

بیشتر در ستون ها داریم

در حالت ۳ یا ۴ تایی سطح تماس میلگرد کمتر است نسبت به ۲ تا جدا ؟

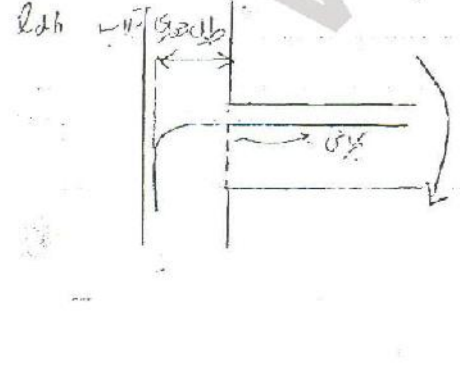
- هنگام قطع میلگردهای دسته ای اولی را که قطع نمودیم دومی را ۴۰ برابر قطر بیشتر ادامه بعد قطع می کنیم

* مهار میلگردها اگر با مهار ساده نشد می توان از قلاب یا وسایل مکانیکی استفاده کرد ؟

قلاب دو نوع است　۹۰°　۱۸۰°

با قلاب کردن طول مهار کم می شود
چون درگیری مکانیکی ایجاد می کند

- در صورتی از قلاب استفاده می کنیم که امکان وجود جای لازم برای طول مهار ساده وجود نداشته باشد ؟



- طول مهار از هر دو طرف مقطع بحرانی باید حساب شود
مقطع بحرانی بر تکیه گاه است ؟
بیشتر از قلاب ۹۰° استفاده می شود.

*

در دال ها

* $l_{dh} = l_{hb}$ * ضرایب تصحیح $\geq \begin{cases} 8d_b \\ 150^{mm} \end{cases}$ $l_{bh}$ طول پایه قلاب از آزمایش

نباید کمتر از ۸db و ۱۵cm باشد

* $l_{hb} = \frac{100 d_b}{\sqrt{f'_c}}$

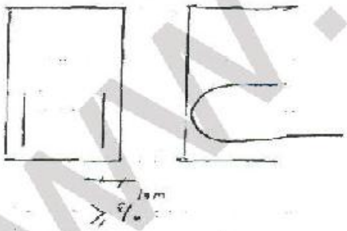
قلاب فقط به کشش کار می کند چون تحت کشش
نوع قلاب درگیری کافی فراهم می کند

— قلاب ها مخصوص میلگردهای کششی اند

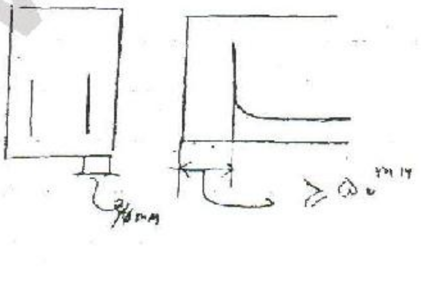
* ضرایب تصحیح

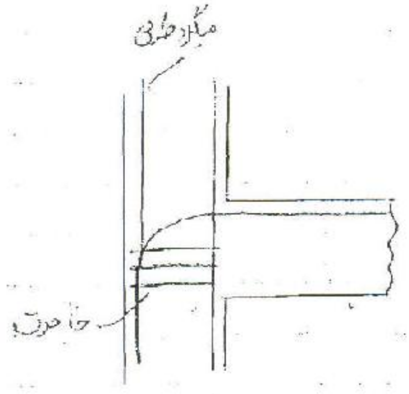
۱- $f_y/400$

۲- اگر قلاب ۱۸۰° داشته
باشیم و پوشش کناری وجه
قلاب از ۶۰mm کمتر نباشد
می توان ۳۰٪ طول قلاب
را کاهش داد ۰/۷



۳- قلاب ۹۰° ۰/۷





۴ - اگر دنباله قلاب ۹۰ توسط ۳ خاموت احاطه شود ؟

۰/۸

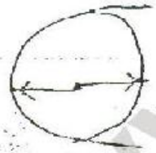
مشروط براین که فاصله ۳ خاموت از هم از 3db بیشتر نباشد و پوشش بتن روی $\overset{\text{کناری}}{\wedge}$ دنباله لااقل ۶۰mm باشد

۵ـ بتن سبک با ماده ای ۱/۳

۶ـ $\frac{A_s \text{ لازم}}{A_s \text{ موجود}}$

طول اتصال مهاری در هم تنیدگی وجود ندارد

* قلاب کردن ضوابط دارد چون تیز خم کردن باعث ایجاد تنش های بزرگ در محل خم شدن می گردد ؟ و از طرفی باعث ترک خوردن بتن مهار می شود !

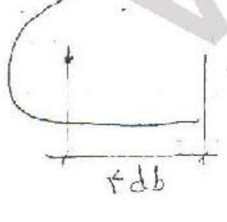


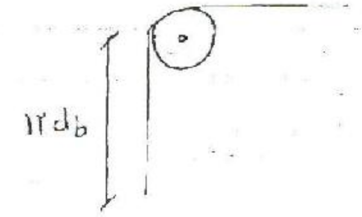
D → ۶ تا ۱۰ db

*

میلگرد بیش از ۲۵ D = 6db

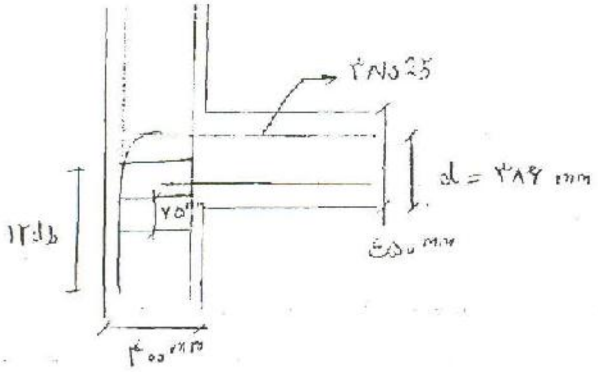
*

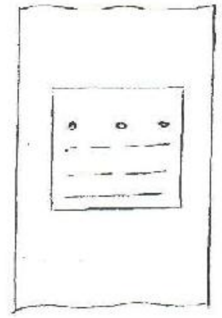




مثال –

$f_y = ۴۰۰$
$f'_c = ۳۰$





عمق تیر ستون > ۳۰۰ mm $\Longrightarrow$ $l_d = ۱/۴ \times ۰/۰۱۹ \times \frac{A_b F_y}{\sqrt{f'_c}} = ۱۱۹۰$ mm

این مقدار وجود ندارد پس از قلابها داخل ستون می توان استفاده کرد

$l_{hb} = ۱۰۰ \frac{d_b}{\sqrt{f'_c}} = ۵۶۳$ mm    این مقدار فضا وجود ندارد

باید از ضرایب کاهش استفاده کرد :

با توجه به ۳ ضابطه
[illegible]
$۴۰۰ - ۳۰۰ = ۱۰۰$

$l_{dh} = ۰/۸ \times ۰/۷ \times ۵۶۳ = ۳۱۵$ mm

$۴۰۰ - (۴۰ + ۱۱/۳) = ۳۴۸/۷ > ۳۱۵$ ✓

$S = ۷۵ < ۳(۲۵)$

* طول مهاری    $۰/۲۴ \frac{f_y d_b}{\sqrt{f'_c}} = ۵۴۱$ mm

این طول وجود ندارد از قلاب [illegible] نمی توان استفاده کرد پس باید [illegible] تا سطح ستون را [illegible] آورد.

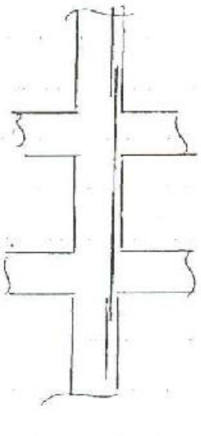
طول وصله $= ۲۴۰ = ۰/۲۴ f_s \frac{(۲۵/۴)}{\sqrt{۲۰}} \Rightarrow \boxed{f_s = ۲۷۶ \text{ MPa}}$

[illegible] $۲۴۰ = ۰/۲۴ (۴۰۰) \frac{(d_b)}{\sqrt{۲۰}} \Rightarrow d_b = ۱۱/۸ \text{ mm}$

۸۴،۳،۶ به نام خدا ج ۲۴

## وصله میلگردها 8

گاهی اوقات ناچار می‌شویم میلگردها را وصله بزنیم میلگردها در شاخه‌های ۶ و ۱۲ متری اند موقع اجرا نمی‌توان از شاخه‌های بلند استفاده کرد برای ادامه میلگردهای طولی از وصله استفاده کرد !



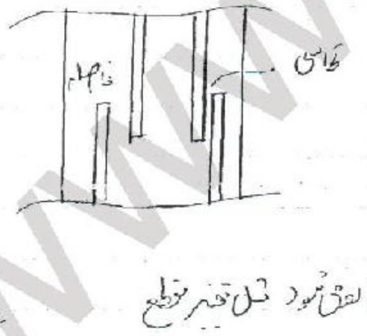
در ستونها زیاد اتفاق می‌افتد

وصله هم به صورت مکانیکی قابل انجام
است هم جوشی

مکانیکی با رزوه کردن سر میلگردها و پیچ مهره
انجام می‌شود
یا دو سر میلگردها را جوش لب به لب می‌دهند

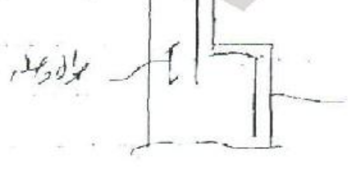
از همه متداول‌تر وصله پوششی است که دو میلگرد را کنار هم قرار می‌دهند

– وصله پوششی یا به صورت تماسی است یا با فاصله از هم ؟



– این فاصله نباید بیشتر $\min\begin{cases}150^{mm}\\ \frac{1}{5}\times \text{طول وصله}\end{cases}$

وصله‌ها عموماً تماسی اند ولی در بعضی جاها از فاصله دار استفاده می‌شود مثل تغییر مقطع



قاعدتاً طول وصله باید طول مهار کامل باشد

تست‌های متعدد روی انواع نمونه‌ها این مطلب را تأیید کرده که رفتار میلگرد در وصله شبیه مهار کامل است !

البته در محل وصله انتقال نیرو از یک میلگرد به میلگرد دیگری هم باید انجام شود پس عملی درست نیست که مهار کامل در نظر بگیریم !

$$l_s = O * l_d$$

* ضرایب اعمالی — ۱
— ۱/۳
— ۱/۷

- وصله‌ها به ۳ کلاس (کلاس) تقسیم می‌شوند — کلاس A ۱
— کلاس B ۱/۳
— کلاس C ۱/۷

- این که چه کلاسی از وصله استفاده شود به بحرانی بودن محل وصله بستگی دارد !

- ضوابط این بخش بر حسب مقدار تنش در میلگرد و تعداد میلگردهای وصله است در جدول ۳-۹ ص ۴۰۲

- تنش در حالت حدی نهایی محاسبه شده در میلگردها ۵۰٪ $f_y$ است

— اگر $\frac{A_s \text{موجود}}{A_s \text{لازم}} > 2$

کنترل تنش در وصله‌ها

- مطالعات نشان داده ضوابط طول وصله بیش از حد محافظه‌کارانه است و آخرین تغییر آیین‌نامه‌ها این بوده که وصله کلاس C را حذف کردند، به جای آن B گذاشتند در بارهای قطع تأثیر ندارد

یکی از موارد آسیب‌پذیر در هنگام زلزله در بتن آرمه طول وصله است، نه فقط در پای ستون که طول وصله ممکن است کم باشد !

www.ttmar.ir