یک حداقل ضخامت پوشش را باید روی میلگردها داد که از میلگرد در مقابل خوردگی ، آتش سوزی محافظت می کند

و یکپارچگی مقطع را تامین می کند

در جدول مقادیر حداقل آمده است :

مثلاً برای پی ساختمان پوشش باید ۷۵mm باشد

مثلاً برای تیرهای عمیق و ستونها ۴۰mm باید حداقل باشد

مثلاً برای دالها ۲۰mm است :

- اگر این ضخامت نادیده گرفته شود در دوام و پایداری سازه ضربه می زند

* در نزدیکی [illegible] ساختمان راه آهن تهران - [illegible] متوجه شدند که قبل از عبور از روی پل ها ، حدود ۶۰ پل تیرچه ستون تخریب شدند با بررسی فهمیدند که طراحی ها که درست بود مصالح مقاومت مشکل نداشت ، میلگردها زنگ زده شده بود ولی فهمیدند که ضخامت پوشش روی میلگردها کمتر از مقادیر مجاز بود با بررسی فهمیدند که این تیرها هنگام ساخت در تماس با زمین بودند چون پیش ساخته بودند و این نکته توجه نشده بود [illegible] برای پایداری برای این تیرها : قرار است تخریب شدند و برای زمین عمیق باید حداقل ۷۸mm پوشش بتنی قرار می دادند آب و هوای جنوب مرطوب است + کلر + یون های نمک باعث تسریع تخریب شده و پل ها از دور خارج شد

: — فاصله ی میلگردها :

شکل ۱-۵ کتاب

می‌توانیم از چندین لایه میلگرد در هر لایه استفاده کرد

با چند میلگرد کنار هم ۳/۴ حداکثر اندازه سنگدانه

- مواردی پیش می‌آید که تعداد میلگردها زیاد است چه کنیم ؟

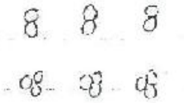
- از چند لایه استفاده کنیم. تعداد لایه‌ها بستگی به ارتفاع دارد باید کم باشد اگر زیاد گردد روش محاسبه را باید عوض کرد

برای تیری به عمق ۵۰cm حداکثر ۲ لایه قابل استفاده است چون میلگرد که به تار خنثی نزدیک می‌شود کارایی

خود را از دست می‌دهد

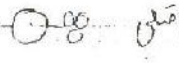
- می‌توان از میلگردها به شکل دسته استفاده کرد

دسته ۲ تایی و ۳ تایی و ۴ تایی



مشکل دسته کردن میلگردها در وصله کردن است چون تعداد میلگردها ۲ برابر می‌شود
و وصل کردن دسته‌ای نیز [illegible] می‌شود

در محاسبات به جای دسته یک دایره می‌اندازیم با همان مساحت به مرکز ۳ تایی یا ۲ تایی قبلی



- برای افزایش ظرفیت می‌توان میلگرد بیشتری گذاشت

۴- f_y , f_c'

f_y معمولی ۴۰۰ MPa است که بیشترین تولید را دارد

برای ضخامت دیوار A2 استفاده می‌شود

f'_c مناسب برای تیرها ۲۰ تا ۳۰ MPa است

در طراحی خمشی مقدار مقاومت خمشی به مقاومت بتن خیلی حساس نیست. این تمایل به استفاده از مقاومت های بالا وجود ندارد

۵ـ ρ نسبت فولاد

از نظر هندسی باید بین ρ_{min} و ρ_{max} باشد اما اگر فولاد کمی در مقطع بگذاریم مقطع بزرگ می شود اگر فولاد زیادی بگذاریم مقطع کوچک می شود و در نتیجه جاگذاری مشکل. به لحاظ اجرایی تمایل به مقطع بزرگتر است و به لحاظ معماری تمایل به مقطع کوچک. ۰ از طرفی خیز باید کم باشد اگر مقطع را کوچک کنیم خیز زیاد می شود چون سختی کم می شود

از طرفی بزرگ کردن مقطع و کاهش ρ مطلوب و از طرفی نامطلوب است.

برای هر مسئله خاص باید شرایط را بررسی کرد

— دیده شده که ρ حدود $\frac{1}{2}\rho_{max}$ به طراحی مناسب می انجامد

یعنی مقطع نه شلوغ می شود که بتن ریزی مشکل شود از طرفی چندان هم کوچک نمی شود که خیز زیاد باشد

این عدد قانون نیست تجربی است. گاهی اوقات مجبور می شویم ρ_{max} بگذاریم یا حتی فولاد فشاری می گذاریم

۶ـ d ، b ابعاد

مقاومت خمشی با مجذور مقطع d متناسب است اما با عرض مقطع مستقیم ارتباط دارد

www.ttmar.ir

اگر دست ما باز بود که ضوابط عمق را زیاد کنیم سعی می‌کنیم عمق را زیاد کنیم چون ۱۰ ٪ افزایش عمق ۲۰ ٪ خمش را زیاد می‌کند

* نسبت $\frac{d}{b}$ حدود ۱٫۵ تا ۲٫۵ حد خوبی است.

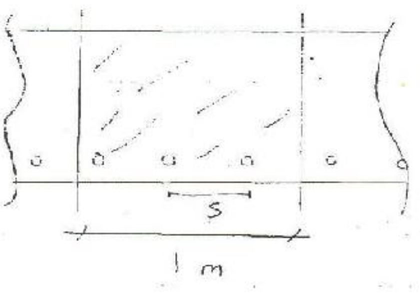
اگر ابعاد را بزرگ کنیم سختی زیاد می‌شود، خیز کم می‌شود توی قالب خلوت می‌شود به لحاظ اجرایی مناسب است اما از نظر معماری قابل قبول نیست از نظر اقتصادی هزینه‌ها را افزایش می‌دهد

۷- ضوابط زلزله

پهنای تیر از ۲۵ cm کمتر نباشد چون در برابر زلزله از شکل‌پذیری خوبی برخوردار نخواهد بود

www.ttmar.ir

- طراحی دال های یکطرفه :

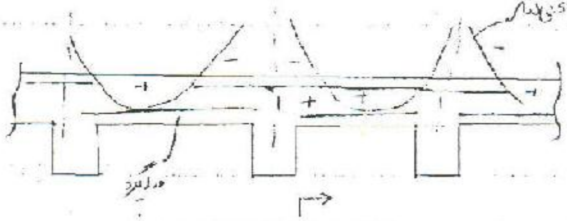


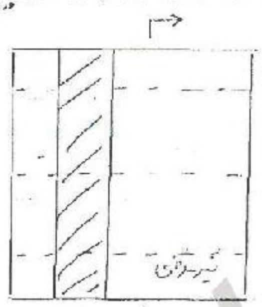
ص ۱۷۵ کتاب

$$* \; A_s = \frac{1000}{s} \cdot A_b$$

این رابطه را به صورت
یک جدول ارائه کرده است

- نحوه فولادگذاری :





- مقطع بحرانی مقطعی است که بیشترین لنگر به آن وارد شود

در لنگر مثبت میلگرد پایین
قرار میگیرد

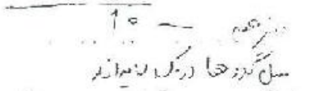
در تکیه‌گاه که لنگر منفی است میلگردکشی بالا
قرار میگیرد

- در آیین نامه میلگردها را در نوع آرماتور به صورت مستقیم straight فولادهای مستقیم
bent خم شده

در فولادگذاری خم شده چون در تکیه‌گاه لنگر منفی می‌شود به میلگرد پایینی نیست میلگردهای پایین را خم می‌کنند و بالا ادامه

می‌دهند اگرچه از نظر اجرایی مشکل است ولی از نظر اقتصادی به صرفه است آن مقطع تحمل ایجاد می‌کند

ضریب اطمینان کم شده را استفاده‌ای از آن است   ص ۱۸۱



در تکیه‌گاه لنگر زیاد است و میلگرد زیادی می‌خواهیم اما از تکیه‌گاه

که دور می‌شویم مقدار لنگر کاهش می‌یابد و در نقطه عطف دیگر صفر است

که در اینجا میلگرد
قطع شده است

پس مقدار میلگرد لازم در نقطه عطف صفر است

حال که در مقاطع مختلف میلگردها را تعیین کردیم تا کجا ادامه دهیم

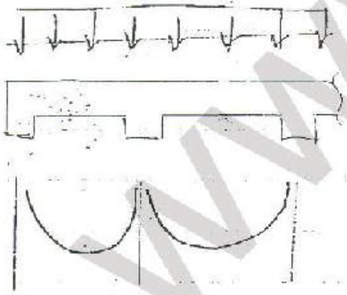
یک راه این است که مقطع به مقطع طراحی کنیم

اما راه حل ساده‌تر استفاده از دستورالعمل‌هاست   ص ۱۸۲   برای دال‌ها و تیرهای یک طرفه دستورالعمل داده است

برای تیرها در ص ۲۰۱ آمده است

* باید مقدار لنگر را تعیین کنیم که به دو صورت امکان‌پذیر است ؟

آنالیز سازه و یا دستورالعمل‌ها

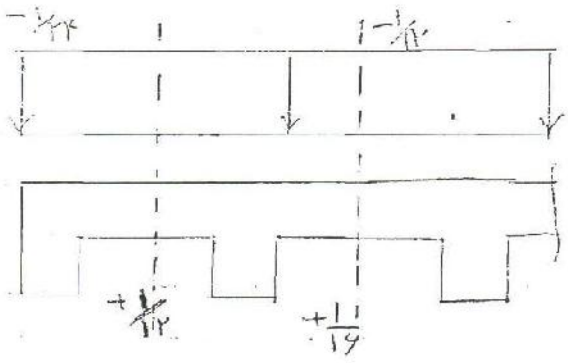


برای آنالیز سازه باید منحنی لنگر را بدست بیاوریم

این دال را باید به قاب تبدیل کرد یا تیر

اگر به قاب تبدیل کنیم ستون‌ها و تیرها متقاطع و قرینه حالت تماس باشند

اگر به تیر تبدیل کنیم باز هم آن فرض‌ها اشتباه است



می توان از ضرایب استفاده کنیم

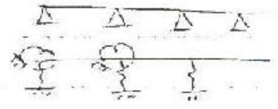
ضرایب را $w_u l_n^2$ ضرب کنیم

l_n دهانه خالص

w_u بارگذاری

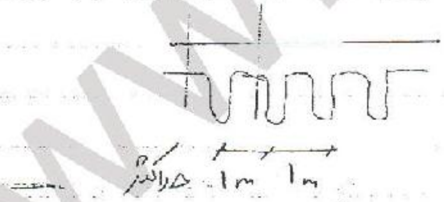
- تعداد دهانه باید حداقل ۲ باشد و اختلاف دهانه‌هایشان از ۲۰ ٪ نباشد و بار به صورت یکنواخت باشد و بار زنده محدود از ۳ برابر حداکثر نرود

- آیین نامه اجازه می دهد که اگر ضخامت دال ثابت و دهانه‌ها مساوی و طول دهانه‌ها از ۳ متر بیشتر نباشد به جای اینکه با تیرچه ساده باشد از مدل تیر می توان استفاده کرد؛



در سیستم تیر - دال فاصله تیرها ۴ الی ۵ متر است (تیرچه‌ای)

Joist = تیرچه



سیستم تیرچه - دال متفاوت است

حداکثر فاصله تیرچه‌ها 1 متر است

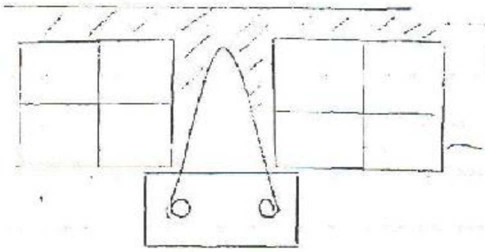
در نتیجه عمق تیرچه‌ها کمتر است

معمولاً ضخامت دال روی تیرچه 8^{cm} است

- سیستم تیرچه را می توان هم به صورت تیر T طراحی کرد.

باحتی می توان آنها را ادامه داد که در جهت اطمینان است

مقطع جان تیر



میلگرد در تیرچه ها [illegible] ساخته می شود

اقتصادی است

عایق صوت و حرارت است

آیا سیستم تیرچه بلوک سیستم سازه ای مناسب است

بله

آیا در برابر زلزله رفتار خوبی دارد

بله چون یک شبکه بتن و میلگرد داریم که پیوستگی با هم دارند

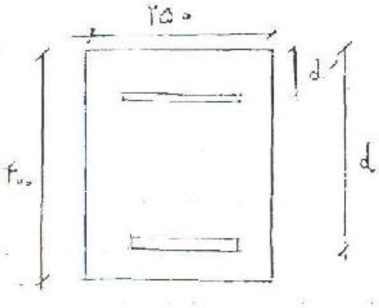
سیستم تیر ـ دال یکی از مناسب ترین سیستم ها است به خاطر استحکام - کارایی خیلی بیشتر از تیرچه بلوک است اما گران است

ساختمان های اداری معتبر از این استفاده می کنند

* طراحی تیر با مقطع مستطیلی دارای فولاد کششی ؟

استفاده از طراحی روش مقاومت نهایی است که max فولاد کششی را در نظر گرفته باشیم

نوع شکستی ها از فولادی در حالت متعادل است .



مثال ۸

$M = ۲۲۷\ kN.m$

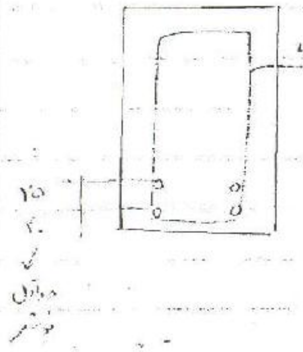
$f_y = f'_y = ۴۰۰\ MPa$

$f'_c = ۲۵\ MPa$

حل ـ حداکثر مقاومت بازای $\bar{\rho}$ که فولاد فشاری نداشته باشیم :

نیاز به d داریم : $\bar{\rho} = ۰٫۰۲۳ \quad , \quad K_r = ۵٫۸۱\ MPa$

فرض می‌کنیم میلگرد نمره ۳۰ داریم ، با قطر ۲۹٫۹



خاموت ۱۰

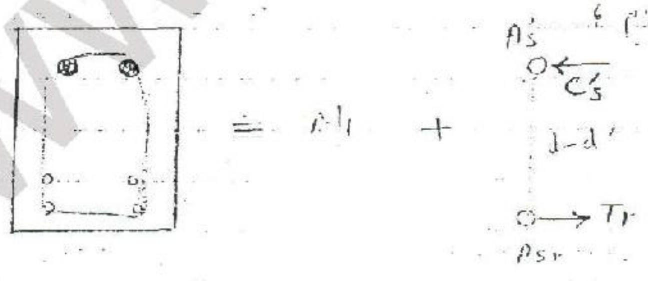
$$\rightarrow d = ۴۰۰ - \left(\frac{۲۵}{۲} + ۴۰ + ۱۱٫۳ + ۲۹٫۹\right) = ۳۰۶\ mm$$

$$\rightarrow A_{s1} = ۰٫۰۲۳\,(۲۵۰)(۳۰۶) = ۱۷۶۰\ mm^2$$

$$\rightarrow M_r = K_r\, b d^2 \times 10^{-6} = ۱۳۶\ kN.m$$

* مشاهده می‌شود که M_r هنوز به ۲۲۷ نرسیده با حداکثر [illegible] :

ـ پس نیاز به فولاد فشاری داریم :



$M_۲ = M_۴ - M_۱ = ۹۱\ kN.m$

$\Rightarrow d' = ۴۰ + ۱۱,۳ + \frac{۲۹,۹}{۲} = ۶۵\ mm$

$* \quad M_۲ = A_{s۲}\, \phi_s\, f_y\, (d - d')$

$\Rightarrow A_{s۲} = ۱۱۱۰\ mm^۲$

$\Rightarrow$ کل $A_s = A_{s۱} + A_{s۲} = ۲۸۲۰\ mm^۲$

محاسبه A'_s *

$C_c = T_۱$

$۰,۸۵\, \phi_c\, f'_c\, b\, a = A_{s۱}\, \phi_s\, f_y \longrightarrow a = ۱۵۷,۴\ mm$

$c = \frac{a}{\beta_۱} = ۱۸۴\ mm$

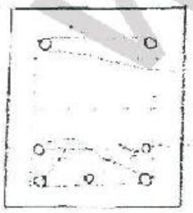
$* \quad \varepsilon'_s = ۰,۰۰۳ \frac{(c-d')}{c} = ۰,۰۰۱۹۴ < ۰,۰۰۲ = \varepsilon'_y$

پس فولاد فشاری به تسلیم نرسیده است :

[illegible] $\Longrightarrow f'_s = \varepsilon'_s\, E_s = ۳۸۸\ MPa$

$* \quad C_s = T_۲ \Rightarrow A'_s\, \phi_s\, f'_s = A_{s۲}\, \phi_s\, f_y$

$\Rightarrow \underset{\text{لازم}}{A'_s} = ۱۱۴۴\ mm^۲$



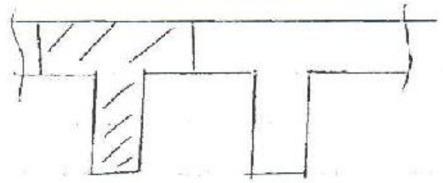
$\underset{\text{موجود}}{A'_s} = ۱۴۰۰\ mm^۲$

موجود $A_s = ۲۹۰۰ >$ لازم A_s

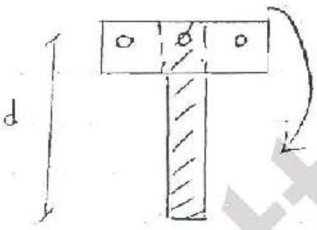
$\Rightarrow M_r = ۲۶۲ > ۲۲۷\ kN.m$

- طرح تیرهای T :

یا به صورت تیرهای مجزا بکار می روند مثل پل ها یا به صورت یکپارچه وجود دارند مثل سیستم های تیر - دال



- دو حالت را درنظر می گیریم :



۱- لنگر منفی :

در این حالت بال تیر در کشش می افتد
و ما هم از مقاومت کششی بتن صرفنظر می کنیم
طرح تیر شکل فقط بر مبنای ساق خواهد بود

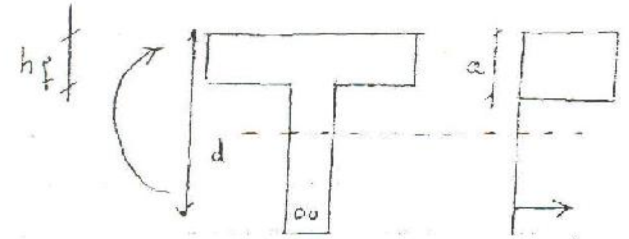
... عملکرد لنگر منفی باید در کل پهنای بال قرار داد چون ما از مقاومت کششی صرفنظر کرده ایم اما با مرخواص آن

مرحله ای جدا است

- آیین نامه اره دهانه را برای توزیع میلگرد درنظر می گیرد و اگر از پهنای بال کمتر شد توزیع میلگرد در کل بال صورت

می گیرد :

۲- لنگر مثبت :

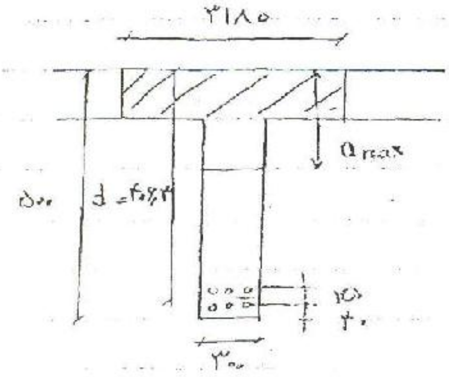


ـ همگرد در جان قرار گیرد

* مستطیل تنش داریم در حالت داریم S

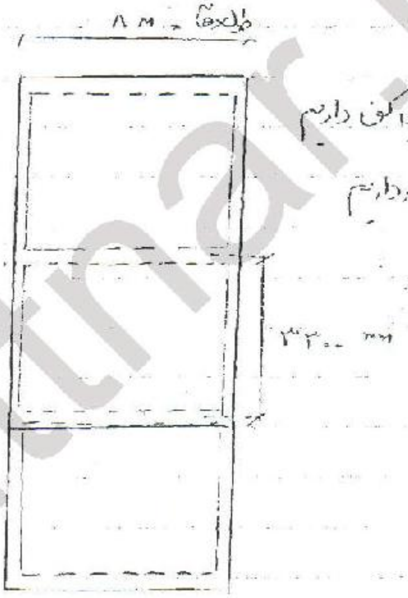
ـ a < hf . مستطیل تنش در بال خواهد بود ، طراحی مثل یک مقطع مستطیلی خواهد بود به پهنای بال .

ـ a > hf مقطع باید به صورت T طراحی شود


۳۱۸۰
a max
۵۰۰
d = ۴۰۶/۳
۱۲۵
۴۰
۳۰۰

مثال : یک کف داریم

۳ دهانه داریم


۸ m = طول دهانه
۳۲۰۰ mm

M_f = ۵۱۴ kN·m

f'_c = ۲۵

f_y = ۴۰۰

حل ـ کل‌های تیر T شوند عرض مؤثر بخشی از آن ترتیب است براساس دستورالعمل آیین نامه

۱ـ عرض مؤثر بال کمترین ۳ مقدار زیر است :

ـ ۰/۴ l = ۳۲۰۰ mm

ـ ۲۴hf + bw = ۳۱۸۰   پس کمترین مقدار ۳۱۸۰

ـ ۳۲۰۰ = فاصله محور تا محور

$$\begin{array}{r} ۲۴ \\ ۱۲ \\ \hline ۴۸ \\ ۲۴۰ \\ \hline ۲۸۸ - ۴۰ \end{array}$$

برای طراحی مقطع فرض می‌کنیم ... استفاده می‌کنیم :

فرض $d \approx ۴۰۰ \ mm$

الف ـ کنترل تعادل فولاد

رابطه تعادل (بالانس)
$$C_{max} = \frac{۶۰۰}{۶۰۰+f_y} \cdot d = ۲۴۰ \ mm$$

$$a_{max} = \beta_1 C_{max} = ۰/۸۵ \cdot ۲۴۰ = ۲۰۴ \ mm > h_f = ۱۲۰$$

نیروی فشاری max
$$C_{max} = \left[۱۲۰ (۲۱۸۰ - ۴۰۰) + (۴۰۰)(۲۰۴) \right] (۰/۸۵)(۰/۶)(۲۰)$$
$$= ۴/۱۵ \times ۱۰^۶ \ N$$

* $$A_{s \, max} = \frac{۴/۱۵ \times ۱۰^۶}{۰/۸۵ \times ۴۰۰} = ۱۲۲۰۰ \ mm^۲$$

* $$A_{s \, min} = \frac{۱/۴}{f_y} b_w d = ۴۲۰ \ mm^۲$$

* ـ M_r برای حالت $a = h_f$:
$$M_r = b h_f (۰/۸۵)(\phi_c) f'_c \left(d - \frac{h_f}{۲}\right)$$
$$= ۱۳۲۶ \ kN \cdot m >> ۵۱۴ = M_f$$

ـ پس بازای ۵۱۴ a داخل بال می‌افتد ، $a < h_f$ پس تیر مستطیلی به عرض b داریم :

$*\quad K_r = \dfrac{M_r}{bd^2} = ۱٫۰۱\ \text{MPa}$

$\Rightarrow ۱٫۰۱ = \rho \phi_s f_y \left(1 - \dfrac{\rho \phi_s f_y}{۱٫۷\, \phi_c f'_c}\right)$

ρ از جدول خوانده می‌شود
یا از معادله درجه ۲ حل می‌شود

$\Rightarrow \rho = ۰٫۰۰۳۱۳$

$\Rightarrow A_s = ۰٫۰۰۳۱۳\ (۴۱۸۰)(۴۰۰)$

$= ۳۹۸۰\ \text{mm}^2 < A_{s\,max}$

بزرگتر از $A_{s\,min}$

۶ تا میلگرد
شماره ۳۰

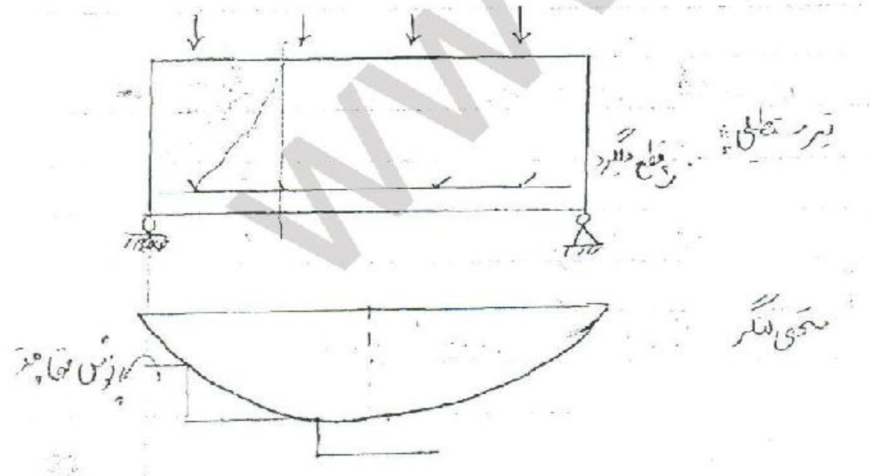
$۶\ \text{No}.30 \longrightarrow A_s = ۴۲۰۰\ \text{mm}^2$

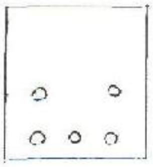
$M_r = ۵۴۸\ \text{KN.m} > ۵۱۴$

$\Rightarrow$ پوشش $= (۴۰ + ۱۱٫۳ + \dfrac{۲۵}{۲}) - ۵۰۰ = ۴۰۷٫۴$

+ خاموت + فاصله میلگردها

* نقاط قطع میلگردهای طولی 8





مقطع تیر وسط

وقتی از وسط به سمت تکیه گاه می رویم

مقدار لنگر کاهش می یابد و ممکن است ۲ تا از میلگردها را نیاز نداشته باشیم

در محل تکیه گاه نیرو صفر است میلگردی نمی خواهیم باید min قرار دهیم ولی از ۲ تا کمتر نمی توان گذاشت

پوش مقاومت ، مقاومت ناشی از میلگرد گذاری را به ما می دهد

- حال باید ببینیم میلگردها را کجا باید قطع کرد ؟

اگر به میلگردی نیاز نداریم آیا می توان در همان نقطه قطع کرد ؟

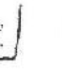
- خیر باید یک مقدار ادامه داده بعد قطع کنیم !

میلگرد را تا محلی که در داخل بتن رفته و تا به محل گیرش برسد باید ادامه دهیم

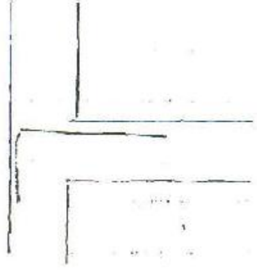
- بدترین حالت این است که ترک 45° باشد و کل مقطع را قطع کند در نتیجه طول اضافه می شود d

از نظر آیین نامه باید به اندازه d یا $12d_b$ هرکدام بزرگتر بود میلگرد را ادامه داده بعد قطع کنیم که d_b قطر میلگرد است . در جمع کردن هم این قاعده استوار است !

d یا $12d_b$ ادامه

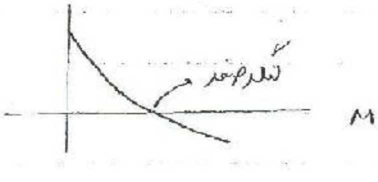
اگر از دسته میلگرد استفاده می کنیم باید به تدریج قطع کنیم از داخلی ترین لایه شروع می کنیم بقیه را به اندازه ۴۰ برابر قطرشان ادامه داده و دوتا را قطع می کنیم و سری  اول دوتای بالا بعد وسطی پایین را به اندازه ۴۰ برابر قطرش ادامه داده بعد قطع می کنیم

_ اتصال ساده گیردار :



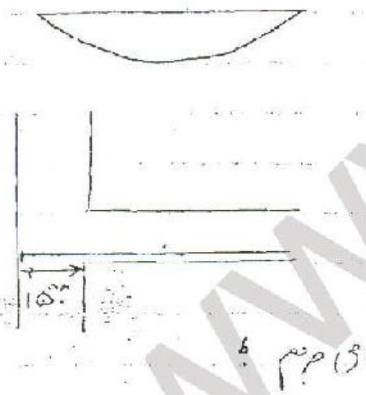
در اتصال گیردار میلگردها را چقدر به داخل ببریم ؟

بایستی یک مقدار میلگرد بگذاریم اما حق نداریم در نقطه عطف همه را قطع کنیم باید یک مقدار بگذاریم طبق آیین نامه.

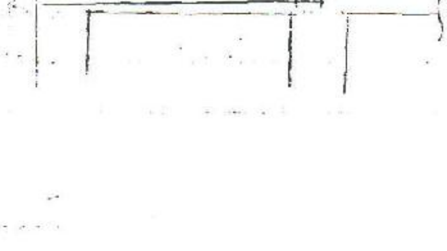


_ اتصال مفصلی :

حداقل $\frac{1}{4}$ فولادهای لنگر مثبت را با اندازه ۱۵۰mm بایستی به داخل تکیه‌گاه ادامه دهیم یا



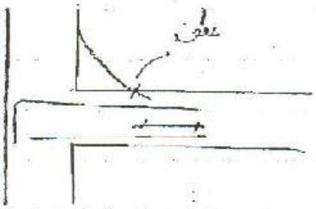
اگر پیوسته باشد حداقل $\frac{1}{4}$ میلگردهای لنگر مثبت را به داخل تکیه‌گاه ببریم :



- اگر تکیه‌گاه در برابر زلزله مقاومت می‌کند مثلاً در تکیه‌گاه ادامه فولادها باید حداقل ld «طول مهاری» باشد چون در برابر زلزله لنگر مثبت در تکیه‌گاه‌ها به وجود می‌آید؟

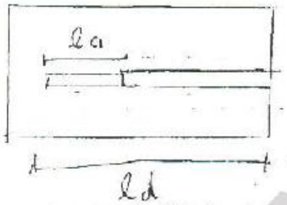
- در اتصال گیردار حداقل $\frac{1}{3}$ فولادهای لنگر منفی باید در دهانه به آن سوی نقطه عطف ادامه یابند به اندازه

d یا 12db یا $\frac{l_n}{16}$ دهانه هرکدام بزرگتر بود.



- وقتی لنگر مثبت نقطه عطف دارد یا به عبارتی منحنی لنگر نقطه عطف دارد در وسط تکیه‌گاه مقاومت کافی فراهم است

اما با ادامه فولادگذاری چون مقاومت با تنش ارتباط دارد



در نقطه‌ای که لنگر صفر می‌شود باید

$$l_d \leq l_a + \frac{M_r}{V_p}$$

میلگرد را باید به اندازه la تا آن سوی نقطه عطف ادامه داد و بعد قطع کرد

V_p نیروی برشی

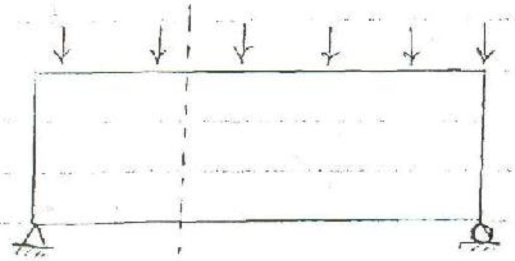
- اما نباید la را از d یا 12db بیشتر گرفت

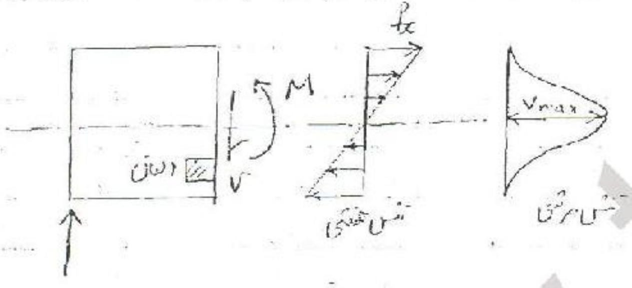
میلگردی که داخل بتن است باید تنش تسلیم را تحمل کند اما برای رسیدن به تسلیم باید طول مهاری داشته باشد که طولی که لازم است تا میلگرد به تسلیم برسد را طول مهار کامل گویند
اگر طول مهار از مهار کامل کمتر باشد نمی‌توان از ظرفیت میلگرد استفاده کرد.

فصل سوم

- برش 8

در اعضای بتنی ترک‌های اصلی که تشکیل می‌گردد عبارتند از برش، خمش، بار محوری، پیچش :

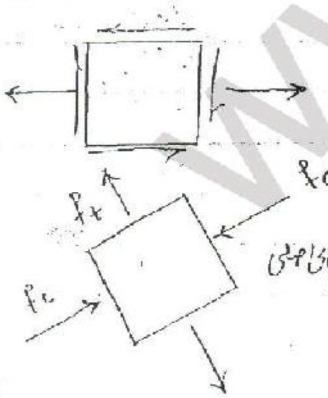



ft
M
V
المان
تنش خمشی
vmax
تنش برشی

$$v = \frac{VQ}{Ib} \quad , \quad f_x = \frac{My}{I}$$

max تنش‌های خمشی در تارهای دور اتفاق می‌افتد، min آن یعنی 0 روی تار خنثی.

در مورد برش max آن روی تار خنثی است، min آن یعنی صفر در تارهای دور اتفاق می‌افتد.

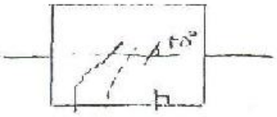

ft
fc
fc
تنش‌های اصلی

- اگر این المان را بگیریم در حالتی می‌بینیم که تنش‌های برشی ظاهر می‌شوند :
- در مورد بتن فرض می‌شود که بتن تحت تنش کششی max ترک خواهد خورد

یعنی در این المان ترک در امتداد fc و عمود بر ft خواهد بود

در حال تار خنثی اگر ترکی بخواهد اتفاق بیفتد زاویه آن نسبت به محور 45° است

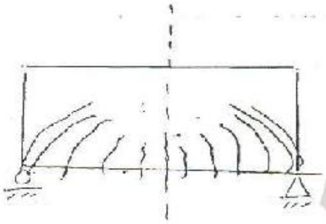
در تارهای پایین برش صفر است و ترک‌ها در امتداد قائم خواهند بود



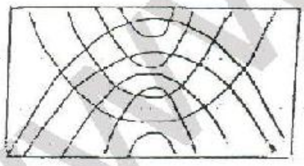
- در دهانه در محل تکیه‌گاه خمش صفر و برش max است
هر چه به تکیه‌گاه نزدیک می‌شویم ترک‌ها مایل‌تر می‌شوند

- در وسط دهانه خمش max است و برش صفر است پس ترک‌ها قائم‌اند !

هر چه از تکیه‌گاه به وسط دهانه نزدیک شویم ترک‌ها قائم‌تر می‌شوند !



- الگوی ترک خوردگی همین تنش‌های اصلی است تنش کششی اصلی در جهت عمود بر ترک، تنش فشاری اصلی در جهت ترک‌ها است !



جهت تنش‌های
اصلی ناشی
تنش‌های کششی

بتنی که بین دو ترک قرار دارد به صورت
فشاری عمل می‌کند . «دستک فشاری»

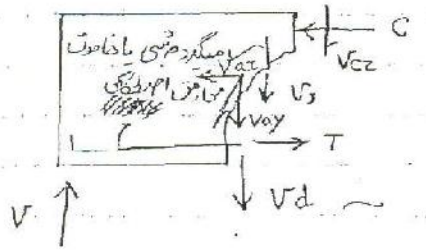
* ترک‌ها - خالص یا برشی
- خمشی - برشی

در ناحیه جان ترک‌های مورب داریم که در تیرهایی که جان بزرگی دارند برعکس حالت خمشی ترک‌های برشی به وجود می‌آید .

اکثر ترک‌های ایجاد شده در تیرها خمشی - برشی اند .

- مکانیسم انتقال برش :

اگر مقطعی فرض کنیم که یکی از این ترک‌ها را قطع کند :



~ مقاومت قلابی

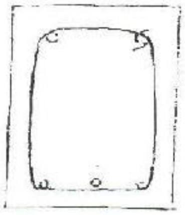
میلگرد طولی در برابر جابجایی مقاومت می‌کند
که آن را مقاومت قلابی گویند dowel

$$V = V_{cz} + V_{ay} + V_d + V_s$$

در ابتدا هیچ ترکی وجود ندارد پس کل مقاومت
توسط بتن تحمل می‌شود گرچه Vs هم وجود دارد اما ناچیز است !
به گونه‌ای که کل مقاومت را بتن تحمل می‌کند
البته این مقاومت برشی کم خواهد بود چون تابع مقاومت کششی
بتن است که آن نیز کم است

به محض اینکه ترک خوردگی اتفاق افتاد تیر آهسته ترک پیشرفت می‌کند تا به حد تعادل برسد در این حالت مقاومت میلگرد برشی
به کار می‌افتد و مقدار قابل توجهی است
اگر بتن ترک نخورد Vs کوچک خواهد بود .
به تدریج Vd هم زیاد می‌شود چون متناسب با تغییر شکل است

میلگرد برشی مقاومت برشی زیادی را به ما خواهد داد چون متناسب با تغییر شکل آن است
و میلگرد برشی شکل‌پذیری مقطع را زیاد می‌کند اگر نگذاریم در اثر برش تخریب ترد اتفاق خواهد افتاد .
isp



V_d هم زیاد می‌شود چون میلگرد طولی را می‌خواهد بیرون
بزند اما خاموت نمی‌گذارد

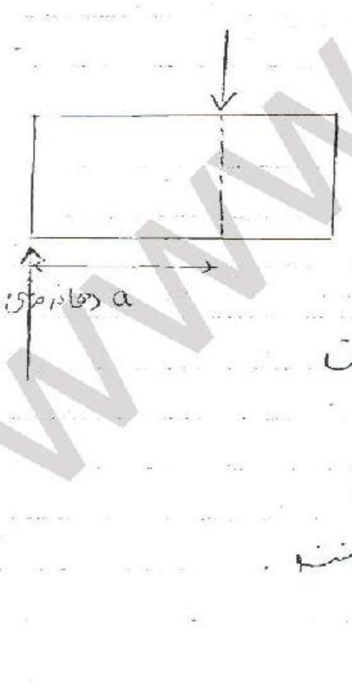
— مدهای تخریب برشی :

تنش خمشی $f_x = F_1 \frac{M}{bd^2}$

تنش برشی $v = F_2 \frac{V}{bd}$

* $\frac{f_x}{v} = \frac{F_1 \frac{M}{bd^2}}{F_2 \frac{V}{bd}} = F_3 \cdot \frac{M}{Vd}$ اگر این نسبت بزرگ باشد
خمش حاکم می‌شود

پارامتر مهم در الگوی ترک خوردگی $\frac{M}{Vd}$ است ؛



در این ناحیه $\frac{M}{V} = a \Rightarrow \frac{M}{Vd} = \frac{a}{d}$

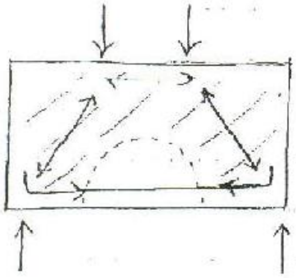
— پارامتر اصلی که در الگوی ترک خوردگی اثر می‌گذارد نسبت $\frac{a}{d}$ است
که آن را نسبت دهانه برشی به عمق گویند ؛

این پارامتر به صورت کلی در رفتار و نحوه تخریب انواع تیرها تأثیرگذار است .

- $\frac{a}{d} < 1$: تیر خیلی عمیق

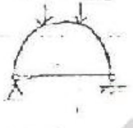
- $1 < \frac{a}{d} < ۲٫۵$: تیر عمیق

- $\frac{a}{d} > ۲٫۵$: تیر معمولی



- حالت اول :

اینجا اگر بار وارد شود ترک ندارد به تدریج شروع به ترک خوردن می کند ولی ترک ها به وجود می آورد یک مکانیسمی به نام قوس بسته کشش به وجود می آید



قوس در برابر نیروی جانبی مقاومت خواهد کرد

در حالت عمیق مقاومت های خیلی بالا است و چون تیر به طور فشاری در متن متصل می شود مقاومت برشی و خمشی بالا است

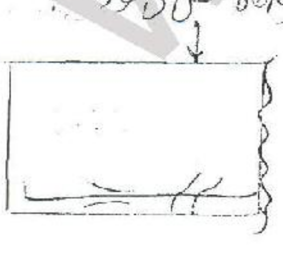
در تیرهای خیلی عمیق قوس بسته داریم :

تخریب تیر خیلی عمیق با ترک های برشی - خمشی است چون کمک می کند قوس بسته کش دار شکل بگیرد

این تخریب یا با تخریب کشش میلگردها که کششی شکل می گیرد یا تخریب بتن فشاری .

ACI 02 الزام کرده از روش جدیدی استفاده شود .

- در تیر عمیق هم مقاومت بالا داریم اما قوس بسته نداریم نیروی فشاری به تکیه گاه منتقل می شود :

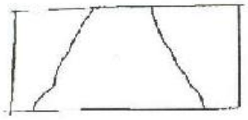


تخریب پیوستگی میلگرد کششی با بتن
تخریب برشی - خمشی

- حالت سوم ؛

اگر $\frac{a}{d}$ حدود ۵ باشد تنش برشی زیادتر است یعنی ترک‌های مایل به وجود می‌آید

اگر $5 < \frac{a}{d}$ باشد ترک‌های خمشی حاکم خواهد بود و ترک‌ها تیزتر خواهند بود



حدود ۵

بزرگتر از ۵ در وسط اتفاق می‌افتد

* چه نوع تیری را مطالعه می‌کنیم ؟

تیر معمولی

* مقاومت برشی

در مقاومت برشی مجموع $V_{cz} + V_{ay} + V_d$ را V_c می‌نامند

- پس دو مقاومت داریم V_s و V_c !

- V_c مقاومت برشی بتن بدون میلگرد ؛

- مقاومت برشی جان « خالص »

- مقاومت برشی - خمشی « در ناحیه غیرجان »

با آزمایشات معلوم شده ؛

* جان $v_{cw} = \frac{V_{cw}}{bd} = ۰/۳\sqrt{f'_c}$ MPa

تنش برشی جان

مقاومت خمشی - برشی :

$$* \quad f'_t = \frac{1}{2} f_x + \sqrt{\left(\frac{1}{2} f_x\right)^2 + \underset{\text{برشی}}{v}^2} \quad \text{این رابطه درست صادق نیست}$$

f_x ~ خمشی

اگر تخریب بتن تحت خمش - برش اتفاق بیفتد

چون این روابط دقیق صادق نیست
از تست آزمایشگاهی کمک گیرند

با ساده‌سازی روابط :

$$* \quad f_x \propto \frac{f_s}{n}$$

f_s تنش کششی میلگرد
n نسبت مدول فولاد به بتن

$$= F_1 \frac{M}{n \rho b d^2}$$

F_1 ضریب تناسب

$$* \quad \underset{\text{برشی}}{v} = F_2 \frac{V}{bd}$$

$$f'_t \propto \sqrt{f'_c}$$

$$E_c \propto \sqrt{f'_c}$$

بدون بعد $\quad Y = \frac{V}{bd\sqrt{f'_c}} \quad ; \quad X = \frac{\rho V d}{\sqrt{f'_c}\, M}$

$$* \quad \frac{V_{cr}}{bd\sqrt{f'_c}} = 0/16 + 17 \frac{\rho}{\sqrt{f'_c}} \cdot \frac{Vd}{M}$$

- Y نشان دهنده تنش برشی
- X تابع تنش خمشی

V_{cr} مقاومت برشی ترک خورده
V برش
M خمش

این رابطه مقاومت برشی را در حضور خمش می دهد که باید

$$---- \leqslant \underbrace{۰/۳\sqrt{f'_c}\;bd}_{\text{مقاومت برشی خاص}}$$

* جایی که $M = ۰$ است $\underline{\frac{Vd}{M}}$ را $\underline{\text{یک}}$ می گیرند :

مقاومت اسمی برشی مربوط به آرماتور (عامل ایجاد ترک مایل) $V_{cn} = (۰/۱۶\sqrt{f'_c} + ۱۷\rho\frac{Vd}{M})\,bd \leqslant ۰/۳\sqrt{f'_c}\;bd$

— مطالعات بعدی مشخص کرده که عبارت * $۱۷\rho\frac{Vd}{M} \simeq ۰/۰۱\sqrt{f'_c}$

$$\Rightarrow \boxed{V_{cn} = ۰/۱۷\sqrt{f'_c}\;bd}$$ جدا برای حالت

نقش برشی در بال ها خیلی کم است مقاومت برشی بال ها به شکل مقطع کاملا قابل صرفنظر است

: — برای طراحی نیاز به مقاومت با ضریب هستیم :

آیین نامه آبا
کانادا

$$V_c = \text{۰/۲}\ \Phi_c \sqrt{f'_c}\ b_w . d$$

۰/۱۷ ← ۰/۲

ACI

$$V_c = \Phi V_{cn}$$

ACI02 $\Phi = \text{۰/۷۵}$
ACI99 $\Phi = \text{۰/۸۵}$

ACI02 ضریب اطمینان را که افزایش داد ضریب بار را کاهش داد ؟

در آیین نامه کانادا
ضریب λ

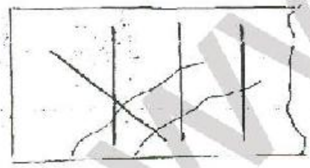
$$V_c = \text{۰/۲}\ \lambda\ \Phi_c \sqrt{f'_c}\ b_w . d$$

N
MPa
mm

$\lambda = 1$ بتن معمولی :
$\lambda = \text{۰/۸۵}$ بتن نیمه سبک ماسه ای
$\lambda = \text{۰/۷۵}$ بتن سبک ماسه ای

V مقاومت برشی $= V_c + V_s$
در جهت وارد — بتن — فولاد

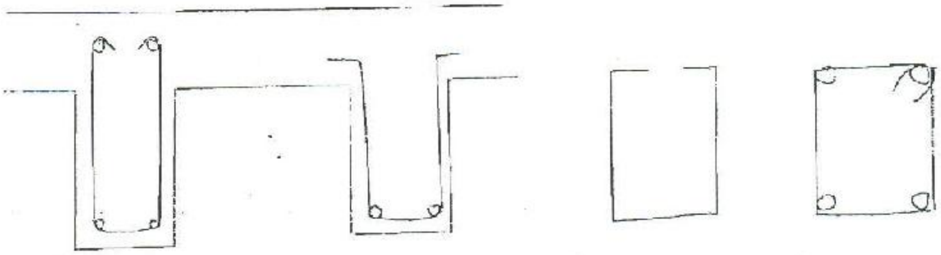
* حال باید مقاومت برشی فولاد را بیابیم :



فولاد برشی باید در مقابل این ترک ها مقاومت کند
باید از جدا شدن دو قسمت تیر ممانعت کند

فولاد برشی می تواند به صورت میله های قائم یا مایل باشد

ولی مایل مؤثرتر است به شرطی که جهت ترک ها مایل باشد و جهت ترک تغییر نکند



همراه با قلابها است ولی گره لازم است می‌تواند °۱۳۵ و یا °۹۰ باشد ولی °۱۳۵ گیرداری بهتری ایجاد می‌کند

می‌تواند خاموت U یا بسته «تنگ» باشد ولی معمولاً بسته بهتر است

close

- برای زلزله بسته بهتر است چون نیروی عرضی زلزله دائماً عوض می‌شود تناوباً میلگردها به فشاری [illegible] هر دو طرف میلگرد فشاری داشته باشیم باید خاموت بسته باشد چون میلگرد فشاری احتمال کمانش دارد و کاور پوشش نمی‌تواند از کمانش جلوگیری کند حتماً باید خاموت بسته باشد تا جلوی کمانش را بگیرد.

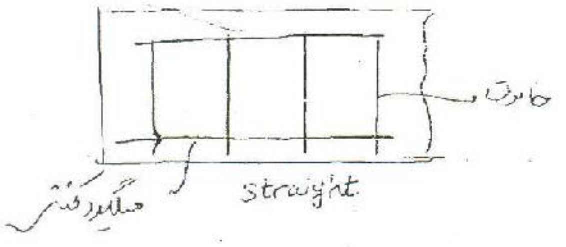
از طرفی خاموت بسته شکل‌پذیری مقطع را افزایش می‌دهد.

- خاموت بسته می‌تواند گره °۹۰ و یا °۱۳۵ باشد که °۱۳۵ بهتر است ولی آیین‌نامه ACI روی این مطلب تأکید ندارد.

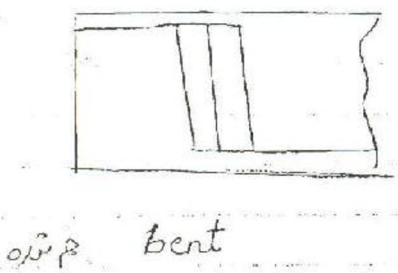
- فولادگذاری در برش 8

- خاموت

- میلگرد خم شده



خاموت می تواند مایل یا قائم باشد
مایل ها اجرا را سخت می کند
از طرفی ترک مایل برای تک جهت ترک مناسب است
اگر جهت ترک عوض شود دیگر کار نمی کند.



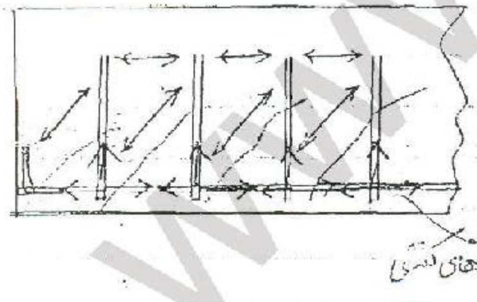
در تکیه گاه بالا
میلگرد نیاز داریم
در مورد تکیه گاه
میلگرد پایین را بالا بیاوریم

_ فولاد طولی خم شده صرفاً مرجحی است؛ اما ایراد آن این است که

اگر جهت نیروی برشی عوض شود کار نخواهد کرد؛ در جاهایی که زلزله هست یا خطر زلزله هست از خم شده استفاده نمی شود

نقطه ضعف اصلی خاموت قائم این است که مصرف فولاد را زیاد می کند.

* مکانیسم مقاومت برشی فولاد:



بتن بین ترک ها به صورت
قطرهای فشاری عمل می کند

پس می توان فرض کرد در حالت نهایی تیر به یک خرپا تبدیل شده است؛ به صورت یک خرپای ساده عمل می کند که

اعضای عمودی آن خاموت ها اند که به صورت قطری فشاری اند و اعضای کششی میلگردهای طولی کششی اند.

۱- آیا مدل خرپا دقیق است؟

خیر. زیرا گره ها باید مفصل باشند - اعضای آن باید یک بعدی باشند
این روش یک روش حدی است Limit Analysis
در آنالیز حدی سیستم های فرضی رفتار واقعی حد بالا و حد پایین آن را بررسی می کنند فرضیات روش حدی مدل خرپا
یک مدل حد پایین است یعنی مقاومتی که به ما می دهد کمتر از مقاومت حقیقی است
روش حدی در بتن قدیمی ترین روش است (حدود ۱۰۰ سال پیش).

در برشی اصلاً از تئوری مقاومت مصالح استفاده نکردیم از روش حدی رفتیم.

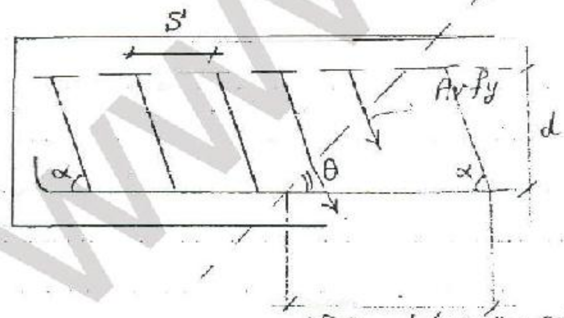
در مقاومت برشی میلگردهای طولی هم شرکت می کنند فقط میلگردهای عرضی نیستند اما در محاسبات فقط

میلگردهای عرضی را محاسبه می کنیم با این فرض که میلگردهای طولی رفتار مناسب را بوجود می آورند؟

هرجا در رابطه با برش لازم شد که روی میلگردهای طولی محاسبه انجام گیرد آیین نامه ذکر کرده است؟

ما فقط خاموت ها را طراحی می کنیم.

* برای این کار از قطع زدن خرپا استفاده می کنیم؟



* در این قطع مقطع خاموت ها به کشش تسلیم می افتند

$$* \quad N \cdot S = d(\cot g\theta + \cot\alpha)$$

$$* \quad N = \frac{d(\cot g\theta + \cot g\alpha)}{S}$$

$$V_{sn} = N \cdot A_v \cdot \overset{f_v}{f_y} \cdot \sin\alpha$$

$$V_{sn} = \frac{A_v f_v d}{s} \sin\alpha \left(\cot\theta + \cot\alpha\right)$$

ما مسلم که میلگردها به حد تسلیم می‌رسند
و از ظرفیت آن‌ها تمام استفاده کنیم

_ در کل اینجا ما که ترک سرتاسری فرض شده است اگر زاویه ترک را ۴۵° بگیریم :

$$* \quad \boxed{V_{sn} = \frac{A_v F_y d}{s} \left(\sin\alpha + \cos\alpha\right)}$$

_ اگر خاموت قائم استفاده کنیم :

$$\boxed{V_{sn} = \frac{A_v f_y d}{s}}$$

_ مقاومت برشی با ضریب s

$$\begin{cases} V_s = \dfrac{A_v \Phi_s f_y d}{s} \left(\sin\alpha + \cos\alpha\right) \\ \\ V_s = \dfrac{A_v \Phi_s f_y d}{s} \end{cases}$$

* اگر میلگرد طولی از نوع خم شده باشد مقاومتی که بدست آمد را در $\frac{3}{4}$ ضرب می‌کنیم

و ۲۵ ٪ مقاومت را در نظر می‌گیریم

– آیین fy را به ۴۰۰ mpa محدود می‌کند که دلیل اصلی آن کنترل ترک و جلوگیری از تخریب ترد برشی است

از طرفی پهنای ترک هم کنترل می‌شود ؛

– خاموت باید به صورت ۹۰ یا ۱۳۵ خم شود موقع خم خوردن نباید ترک بخورد فولادی که fy بالا دارد ممکن است ترک بخورد ؛

– حداقل فولاد برشی

فولاد برشی همیشه لازم نیست

if $V_f \leqslant \frac{1}{2} V_c$ نیازی به فولاد برشی نیست
نیروی برشی
مقاومت برشی مقطع
اگر بیشتر شد نیاز هست

$$* \quad A_{v_{min}} = 0/35\,\frac{b_w\, s}{f_y}$$

اگر فولاد برشی از این کمتر شد باید این مقدار را قرار دهیم

در خاموت U ⟶ کل سطح مقطع برشی Av
که دو ساق داریم Av هر دو ساق است

www.tinar.ir

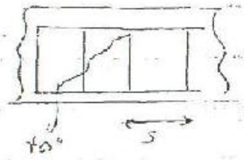
۱- $V_f \le V_c/2$

۲- $V_f > V_c/2$ در این صورت $A_{v\,min} = 0.35\,\frac{b_w\, s}{f_y}$

۳- $* \; V_s \le 2V_c$
$\le 0.4\,\lambda \Phi_c \sqrt{f'_c}\, b_w.d$ در غیر این صورت اگر $V_s > 2V_c$ شد:

[illegible] $S_{max} = \begin{cases} 0.5d \\ 600\,mm \end{cases}$ min این دو مقدار

۴- $2V_c < V_s \le 4V_c$



خاموت

حداکثر فولادی که در مقطع می‌گذاریم نباید از ۴ برابر مقاومت مقطع بیشتر شود

$* \quad 4V_c = 0.8\,\lambda \Phi_c \sqrt{f'_c}\,.b_w.\,d$

اگر $V_s = 4V_c$ شد، داریم: $S_{max} = \begin{cases} 0.25d \\ 300\,mm \end{cases}$ min این دو

* حداکثر تنش برشی 8

حداکثر تنش برشی را محدود کردند تا خرابی ترد اتفاق نیفتد

$* \quad \frac{V_f}{b_w\, d} \le 0.25\,\lambda \Phi_c \sqrt{f'_c}$ اگر این رابطه برقرار نبود یا باید مقطع را بزرگ کرد یا نیرو را کاهش داد

$* \quad V_s = 0.3\,\lambda \Phi_c \sqrt{f'_c}\; b_w d$ اگر فولاد از نوع طولی خم شده باشد داریم

* خاموت مایل   S $S \leq \frac{1}{۲} d (1 + \cot\alpha)$

* فولاد طولی خم شده $S \leq \frac{۳}{۸} d (1 + \cot\alpha)$

حداقل فاصله خاموت ها را ۷۵^{mm} می‌گیرند " آیین نامه نیست "
علت توصیه این حد حرکت بتن ریزی است

* مقطع بحرانی برش

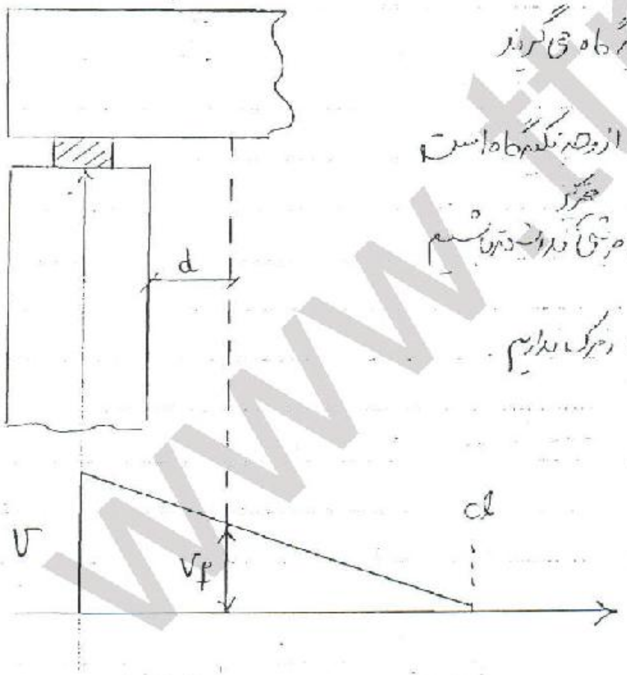
معمولاً max برش در تکیه گاه اتفاق می افتد

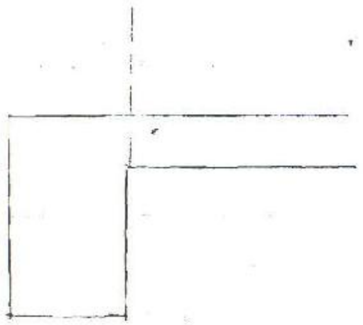
معمولاً مقطع بحرانی را به فاصله d از تکیه گاه می گیرند

براساس تجربه و آنالیز مقطع بحرانی به فاصله d از وجه تکیه گاه است

این دارای شرط است که در این فاصله نیروی برشی متمرکز نداشته باشیم

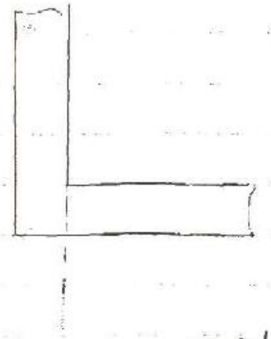
چون در فاصله d مقطع تحت فشار است ترک نداریم.

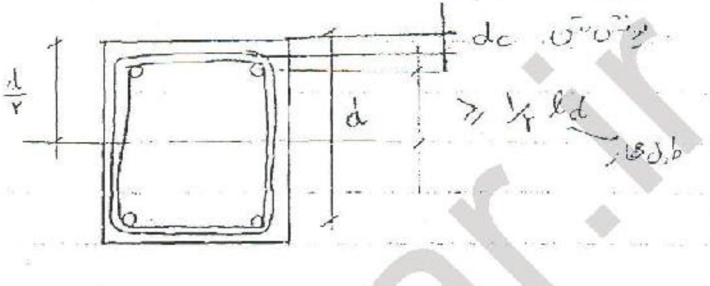




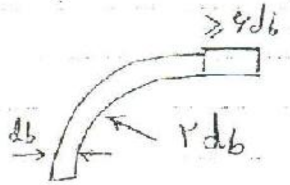
در این حالت هر دو تکیه‌گاه دارای گیرند

* طول مهار فولاد برشی ۵




d_c پوشش بتن
$\frac{d}{2}$
d
$\geq \frac{1}{2} l_d$
طول مهار

برای این‌که فولاد برشی به حد تسلیم برسد باید طول مهاری آن کنترل شود


$\geq 6d_b$
d_b
$2d_b$

– ما می‌توانیم خاموت را به صورت زیر خم کنیم باید یک شرایطی را رعایت کنیم

" برای میلگردهای تا ۱۵ "

– دنباله گیره حداقل باید $6d_b$ باشد تا کار گیره را انجام دهد

$$\frac{d}{2} \geq \frac{l_d}{2} + d_c + 2d_b$$

گیره ۹۰° ⌐

$$\boxed{d \geq l_d + 2d_c + 6d_b}$$

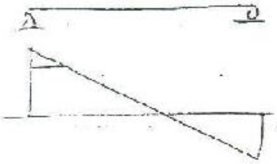
– گیره ۱۳۵° ⌐ $\frac{l_d}{2}$ به $\frac{l_d/2}{1.5}$ تبدیل می‌شود چون این گیره مهار بهتری به وجود می‌آورد

$$\boxed{d \geq 0.66 l_d + 2d_c + 6d_b}$$

جدول ۲-۱

در مقاومت در برابر زلزله خاموت نقش موثری دارد

برای طراحی در برابر برش منحنی برش را رسم کرده به فاصله d از وجه تکیه گاه نیروی برشی را می یابیم :



در یک ناحیه $V_f < \frac{1}{2}V_c$
است که به خاموت نیازی
نیست. یک جایی است که
min خاموت را می خواهیم
یک جایی هست که از min بیشتر نیاز هست
در مناطق مختلف از نظر برش پیدا می شود .

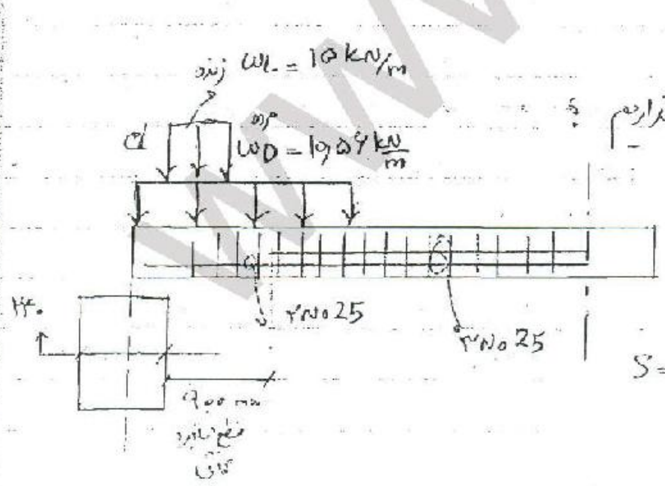
میزان V_s $\quad V_f - V_c$

نیروی برشی — مقاومت مقطع

نزدیک تکیه گاه فاصله
خاموت ها کم است

در جایی که خاموت لازم نیست ما min آن را نگه می داریم
که علت اصلی آن زلزله است .

— اولین خاموت را به فاصله $S/2$ از وجه تکیه گاه می گذاریم :


زنده $w_L = 15 \, kN/m$
مرده $w_D = 19.56 \, \frac{kN}{m}$
d
۲No25
۳No25
۳۴۰
900 mm
مقطع تیر

— مثال :

$f'_c = 20 MPa$

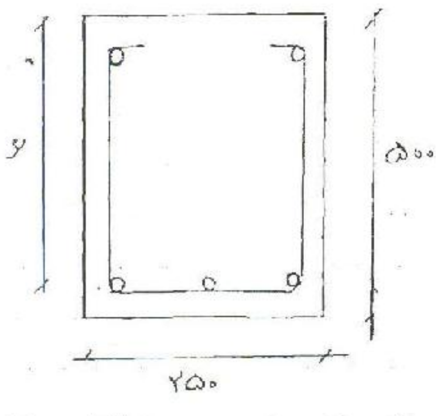
بتن معمولی است

خاموت [illegible] ساده به قطر 6^{mm}

فاصله [illegible] یکنواخت بوده و برابر $S = 190^{mm}$

دهانه $= 6^m$

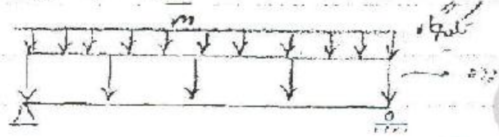
حل : کنترل طراحی



بار مرده = ۱٫۲۵ (۱۰٫۵۶) = ۱۳٫۲ $\frac{kN}{m}$

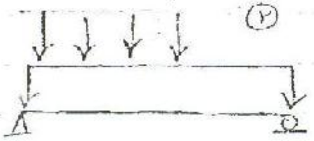
بار زنده = ۱٫۵ (۱۵) = ۲۲٫۵ $\frac{kN}{m}$

نیروی برشی با ضریب ⟶



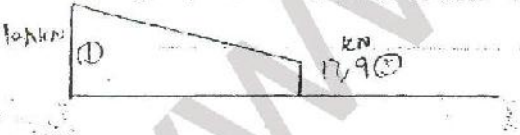
آرایش بار مرده همواره یکنواخت است
در حقیقت از نظر بیشترین برش در تکیه‌گاه
صفر در وسط تیر

آرایشی که max برش را در تکیه‌گاه به وجود آورد آرایشی است که کل بار اعمال باشد



برای max برش در وسط دهانه باید بار زنده نصف دهانه را بپوشاند

حالت ①
② ,



* ۱۲۰ + ۳۸۶ = ۵۰۶ mm « مقطع بحرانی در فاصله d از تکیه‌گاه (بر ستون) »

$\Longrightarrow$ $\boxed{V_f = ۹۳٫۶\ kN}$

* V_c

$V_c = ۰٫۲\ \lambda\ \phi_c \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$
= ۷۳٫۴ kN

* کنترل ابعاد مقطع $\quad V_s = ۴V_c = ۲۵۴$ KN حداکثر مجاز

* « حداقل آرماتور برشی $\quad A_{v\,min} = ۰/۳۵ b_w \cdot \frac{S}{f_y} = ۴۱/۶ \text{ mm}^۲$

دو ساقه $A_v = ۲(A_\phi) = ۲(۲۸/۳) = ۵۶/۶ > ۴۱/۶$ اوکی

max $S = \frac{A_v \phi_s f_y d}{V_s} = ۲۵۴$ mm

$V_s = ۹۲/۶ - ۶۳/۴ = ۲۹/۲ < \underset{مجاز}{V_s}$ اوکی

max $S < S$ موجود تامین کافی

* جایی که مقدار طولی را قطع می‌کنیم باید ۲۰٪ مقاومت مقطع را بیشتر در نظر بگیریم یا

در رابطه مقاومت برشی کنترل شود.

* کنترل فاصله چون $۲V_c = ۱۲۸/۴ > V_s$

$$\begin{cases} ۰/۵d = ۱۹۴ \text{ mm} \\ ۶۰۰ \text{ mm} \end{cases} \Longrightarrow ۱۹۰ < ۱۹۴ \checkmark$$

* طول مهار

$$d_{min} = \underset{\phi_s A_v f_y \frac{d}{s}}{۱۳۹} + \overset{آیین‌نامه}{۶(۶)} + \overset{پوشش}{۲(۴۰)} = ۲۵۵ \text{ mm} < ۳۸۶ \checkmark$$

* محل قطع میلگردها :

$V_r = V_c + V_s = ۱۰۳$ KN

در ۳۵٪ $\frac{۲}{۳} V_r = ۶۸/۶$ KN

$V_f = ۷۶/۷ > \frac{۲}{۳} V_r$

✓ ارزیابی شود

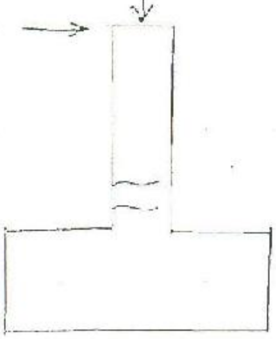
$\Rightarrow V_c + V_s =$ ۹۳٫۴ + ۲(۲۴٫۳) = ۱۴۲

[illegible] ۲
اعضاء ترکیبی
$\Rightarrow V_f <$ $\frac{۲}{۳}$ (۱۴۲) = ۹۴٫۴ ✓

۸۳،۲،۹ به نام خدا ج ۱۶

* مقاومت برشی مقاطع بتنی که در معرض بار محوری قرار دارند :

مقاومت باید توسط آزمایش تعیین شود



اگر نیروی جانبی
داشته باشیم ترک‌های
برشی ایجاد می‌شود.
اما اگر نیروی محوری فشاری
داشته باشیم ترک‌ها به هم
می‌دوزد و مقاومت برشی را زیاد
می‌کند مثل خاموت ولی نیروی محوری
کششی مقاومت برشی کم می‌شود

* فشار محوری :

$$V_{cn} = \left(0.16\sqrt{f'_c} + 17\rho\frac{Vd}{M}\right) bd \leq 0.3\sqrt{f'_c}\, bd$$

رابطه را برای فشار محوری با قرار دادن M_m به جای M اصلاح کردند

$$* \quad M_m = M - N\left(\frac{4h-d}{8}\right)$$

با عبارت M را کم کردند در نتیجه مقاومت برشی زیاد می‌شود.

- حد بالای V_{cn} را هم اصلاح کردند :

$$* \quad V_{cn} \leq 0.3\sqrt{f'_c}\,\left(1+\sqrt{1+0.3\frac{N}{bd}}\right) bd$$

حد بالا هم در حقیقت بالا رفته است :

اگر مقطع ستونی را که تحت بار فشاری است بدون نیروی فشاری ترسیم کنیم محافظه‌کارانه خواهد بود.

فشاری با
ضریب

$$V_c = 0/2\,\lambda\,\phi_c\sqrt{f'_c}\left(\frac{1 - 3N_f}{A_g f'_c}\right) b_w d \qquad N<0$$

N بار محوری با ضریب N

A_g مساحت کل مقطع بتنی mm^2

نیروی فشاری منفی را علامت می گذارند

* کشش محوری :

به ایجاد ترک های بیشتر کمک می کند و مقاومت را کاهش می دهد

$$V_c = 0/2\,\lambda\,\phi_c\sqrt{f'_c}\left(1 - \frac{N_f}{N_r}\right) b d$$

برای اینکه کوچک است
N کششی مثبت است

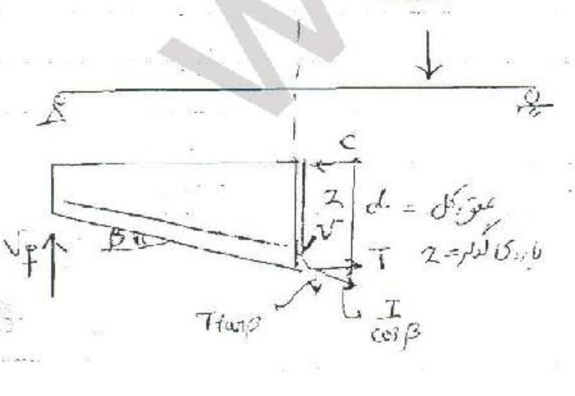
N_r مقاومت محوری با ضریب
به حد کشش حاکم در مقطع بستگی دارد

به خاطر حجم محاسبات N_r را آیین نامه می دهد

$$N_r = 0/4\,\lambda\,\phi_c\sqrt{f'_c}\;A_g$$

* اعضای با عمق متغیر :

β ، زاویه تغییرات مقطع تیر



C
z
d = عمق کل
V
T
z = بازوی لنگر
V_f
β
$T\tan\beta$
$\frac{T}{\cos\beta}$