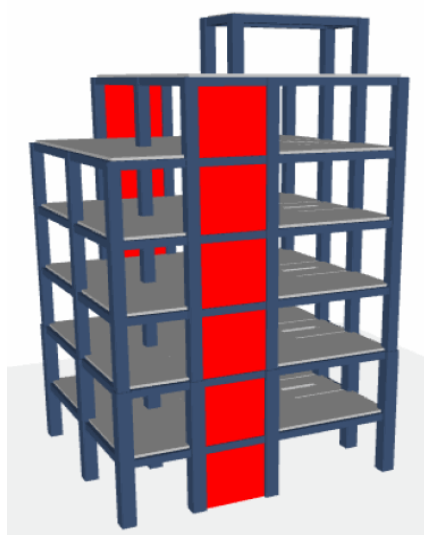


بایستی

راهنمای گام به گام

# طراحی سازه های بتن آرمه ۱

(براساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آیین نامه بتن ایران)



نگارش:

سید سعید حسینی ورزنده

دانشجوی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تابستان ۱۳۹۵

(حق چاپ محفوظ است و کپی کردن بدون اجازه شرعاً حرام است)

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
<b>فصل اول: خواص فولاد و بتن و اصول و مبانی طراحی</b>	<b>۱</b>
(۱-۱) مقدمه	۱
(۲-۱) مصالح و اجزای بتن	۱
(۱-۲-۱) سیمان	۱
(۱-۱-۲-۱) سیمان های پرتلند	۲
(۲-۱-۲-۱) سیمان های ویژه	۳
(۲-۲-۱) سنگدانه	۴
(۳-۲-۱) آب	۴
(۴-۲-۱) مواد افزودنی	۵
(۳-۱) طرح اختلاط	۵
(۴-۱) مقاومت فشتری بتن	۶
(۵-۱) ضوابط پذیرش بتن های مصرفی در کارگاه	۶
(۶-۱) مقاومت کششی بتن	۷
(۷-۱) عمل آوری	۷
(۸-۱) تغییر شکل های بتن	۸
(۱-۸-۱) جمع شدگی بتن	۸
(۲-۸-۱) خزش بتن	۸

۹ ..... (۳-۸-۱) تغییر شکل های بتن

۱۰ ..... (۹-۱) درزهای بتن

۱۰ ..... (۱۰-۱) ضخامت مناسب برای پوشش بتن روی میلگردها

۱۱ ..... (۱۱-۱) تسلیح بتن

۱۱ ..... (۱-۱۱-۱) میلگردهای فولادی

۱۱ ..... (۲-۱۱-۱) میلگردهای کامپوزیتی

۱۲ ..... (۳-۱۱-۱) فولاد پیش تنیدگی

۱۲ ..... (۱۲-۱) اصول تحلیل و طراحی

۱۲ ..... (۱-۱۲-۱) مشخصات مکانیکی مصالح

۱۲ ..... (۲-۱۲-۱) اثر ترک خوردگی

۱۳ ..... (۳-۱۲-۱) روش های تحلیل سازه

۱۴ ..... (۴-۱۲-۱) اعضای سازه ای

۱۴ ..... (۵-۱۲-۱) اهداف طراحی

۱۴ ..... (۶-۱۲-۱) روش های طراحی

۱۵ ..... (۷-۱۲-۱) طراحی در حالت حدی نهایی مقاومت

۱۶ ..... (۱-۷-۱۲-۱) نیروی ایجاد شده در مقطع در حالت حدی نهایی

۱۶ ..... (۲-۷-۱۲-۱) نیروی مقاوم

۱۶ ..... (۸-۱۲-۱) کنترل در حالت بهره برداری

۱۷ ..... فصل دوم: طراحی اعضا تحت خمش

۱۷	۱-۲) فرضیات محاسباتی
۱۷	۲-۲) نمودارهای محاسباتی
۱۷	۳-۲) بررسی رفتار تیر بتن آرمه تحت خمش
۲۰	۴-۲) انواع گسیختگی عضو خمشی
۲۰	۵-۲) تعاریف و بلوک فشاری معادل
۲۱	۶-۲) نسبت فولاد متناظر با شکست متعادل (گام به گام)
۲۲	۷-۲) طراحی تیر مستطیلی با فولاد کششی تنها (گام به گام)
۲۴	۸-۲) محاسبه لنگر مقاوم مقطع مستطیل با فولاد کششی تنها (گام به گام)
۲۴	۹-۲) طراحی مقطع مستطیل با فولاد مضاعف (گام به گام)
۲۵	۱۰-۲) محاسبه لنگر مقاوم مقطع مستطیلی با فولاد کششی و فشاری (گام به گام)
۲۷	۱۱-۲) طراحی مقاطع T شکل (گام به گام)
۲۸	۱۲-۲) محاسبه لنگر مقاوم مقطع T با فولاد کششی تنها (گام به گام)
۲۹	۱۳-۲) محاسبه لنگر مقاوم مقطع T شکل با فولاد مضاعف (گام به گام)
۳۱	۱۴-۲) تفاوت آبا با مبحث نهم در مبحث خمش
۳۱	مثال های حل شده
۳۷	<b>فصل سوم: طراحی اعضا تحت برش</b>
۳۷	۱-۳) مقدمه
۳۹	۲-۳) رفتار تیرهای بتن مسلح تحت برش



۳-۳	تحلیل برش در تیرهای بتن مسلح با مدل خریایی	۴۰
۴-۳	طراحی برشی مقاطع بتن آرمه (گام به گام)	۴۱
۵-۳	برش اصطکاکی (گام به گام)	۴۵
۶-۳	تفاوت آبا با مبحث نهم در مبحث برش	۴۶
۴۷	مثال حل شده	
۴۸	<b>فصل چهارم: طراحی اعضا تحت پیچش</b>	
۴-۱	مقدمه	۴۸
۴-۲	طراحی مقاطع تحت پیچش خالص (گام به گام)	۵۰
۴-۳	طراحی مقاطع تحت پیچش و برش و خمش (گام به گام)	۵۱
۵۳	مثال حل شده	
۴-۴	تفاوت آبا با مبحث نهم در مبحث پیچش	۵۶
۵۶	<b>فصل پنجم: طراحی اعضا تحت کشش</b>	
۵-۱	مقدمه	۵۶
۵-۲	طراحی اعضا کششی (گام به گام)	۵۶
۵۷	مثال حل شده	
۵۸	<b>فصل ششم: مهار و وصله میلگردها</b>	
۶-۱	مقدمه	۵۸
۶-۲	طول گیرایی مستقیم میلگردهای کششی (گام به گام)	۵۹

۳-۶ طول گیرایی مستقیم میلگردهای فشاری (گام به گام) ..... ۶۰

۴-۶ طول گیرایی میلگردهای قلابدار در کشش (گام به گام) ..... ۶۰

۵-۶ ضوابط مهار آرماتورهای برشی در جان ..... ۶۱

۶-۶ وصله میلگردها ..... ۶۲

۶-۶-۱ وصله پوششی میلگردهای کششی ..... ۶۲

۶-۶-۲ وصله پوششی میلگردهای فشاری ..... ۶۲

۶-۷ ضوابط قطع آرماتورهای خمشی ..... ۶۳

۶-۷-۱ ضوابط کلی قطع میلگردها برای لنگر خمشی مثبت و منفی ..... ۶۳

۶-۷-۲ ضوابط خاص قطع آرماتور خمشی مثبت ..... ۶۴

۶-۷-۳ ضوابط خاص قطع آرماتور خمشی منفی ..... ۶۴

۶-۷-۴ روش گام به گام قطع میلگردها (گام به گام) ..... ۶۵

مثال حل شده ..... ۶۶

۸-۶ تفاوت آبا با مبحث نهم در مبحث مهار و وصله آرماتور ..... ۷۰

منابع و مراجع ..... ۷۰

## \* فصل دوم: طراحی اعضا تحت خمش \*

(۱-۲) فرضیات محاسباتی:

طرح و محاسبه مقاطع بتن مسلح به روش مادی انجمنی مقادیر و با توجه به تیرهای داخلی ایجاد شده تحت ترکیبات بارهای مربوطه، با استفاده از فرضیات زیر انجام می‌گیرد:

۱- فرضیه ناپدید شدن مقطع و عمود بر بار بعد از تغییر شکل عضو نیز مقطع و عمود باقی می‌ماند. بر اساس این اصل در هر مقطع توزیع کرنش در ارتفاع مقطع، خطی در نظر گرفته می‌شود. این فرض در مقاطع خمشی با ارتفاع زیاد (تیرهای عمیق) که شامل تیرهای بالین ارتفاع مقطع به دهانه آزاد بزرگتر از ۵۰٪ می‌باشد، مورد قبول نیست.

۲- به گونه لگزش و جابه‌جایی بین تیرها و میلگردها ایجاد نمی‌شود. به عبارت دیگر تغییر شکل هر میلگرد فکری و غلاف بتنی در آن یکسان است.

۳- بعد از گذر تغییر شکل خمشی (کرنش) بتن در صورتین تا فشاری

( $\epsilon_{cu}$ ) مطابق جدول زیر است:

C70 و بالاتر	C60	C55	C12 تا C50 (در بتن)
0.0028	0.0030	0.0032	0.0035

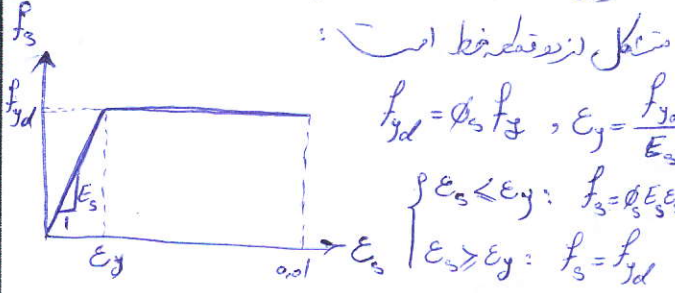
۴- به جای مجموعه میلگردهای موجود در قسمت کششی یا فشاری بتناج می‌توان یک میلگرد فرضی با سطح معادل مجموعه در مرکز نقل آنجا قرار داد و مشروط به آنکه آشیانه ایجاد شده در مورد تغییر شکل کمتر از

۱۵ درصد باشد.

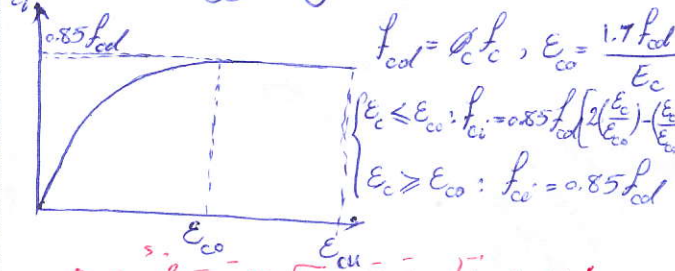
۵- نمودارهای تنش-کرنش واقعی بتن و فولاد با نمودارهای محاسبه جایگزین می‌آید.

(۲-۲) نمودارهای محاسبه:

(الف) فولاد: برای فولاد های قریه و فولاد های که به طور طبیعی سخت بوده و با نور گرم ساخته می‌شوند. از نمودار الاستیک



(ب) بتن: معنی تنش-کرنش واقعی برای بتن وجود ندارد و شکل آن بستگی به سرعت بارگذاری، مقاومت خمشی و طرح اقطاع انتخابی و عوامل دیگر دارد. برای تحمیل در محاسبات می‌توان از نمودارهای تنش-کرنش محاسبه (اندر آل) استفاده کرد که نمونه‌ای از آن‌ها نمودار رسمی - مشکل است:

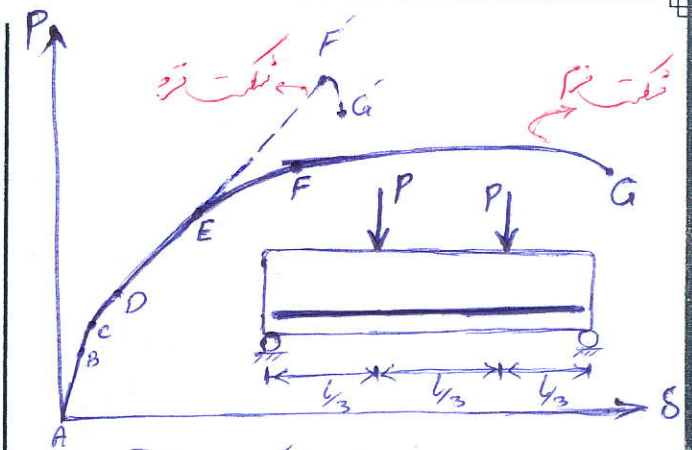


(۳-۲) بررسی رفتار تیر بتن آرمه تحت خمش:

تحت بررسی رفتار اعضا بتن آرمه تحت خمش، بررسی رفتار یک تیر بتنی دو سر ساده تحت دو بار متمرکز در یک سوم دهانه صاف است. توجه به نمودارهای لنگر خمشی و نیروی برشی این تیر نشان می‌دهد که تیر در یک سوم میانه طول خود تحت

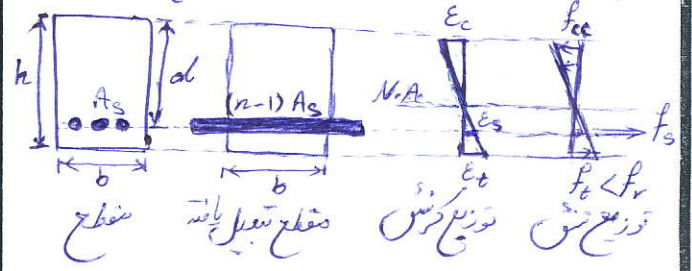
خمش خالص قرار دارد.





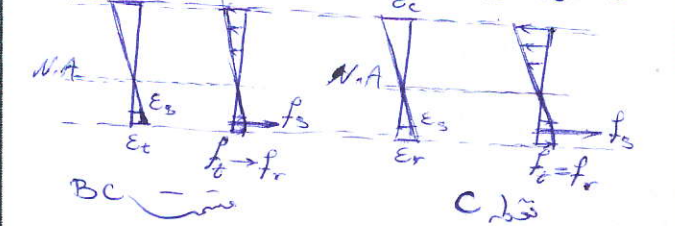
مختی باز تغییر مکان فوق مربوط به یک تیرین آورده است که بر اساس تجربیات در بارهای خاص رسم شده است همان بود که از شکل مشاهده می شود این مختی دارای صفت های مختلفی است که در ادامه به توضیح رفتار اجزای این مختی پرداخته می شود:

**الف) رفتار خطی مقطع در حالت ترک نخورده (A-B)**  
 این حالت در ابتدای بارگذاری رخ می آید، در این زمان به دلیل کم بودن حداکثر تنش در منطقه کشش بتن، در مقطع ترک خوردگی ایجاد شده و مقطع کاملاً به صورت خمی محل می لند، در این حالت می توانیم از روابط مقاومت مصالح و استناد از مقطع تبدیل یافته برای محاسبه تنش ها اقدام کنیم. برای تبدیل مقطع از منسوب  $n$  در نسبت مدول الاستیسیته مصالح تبدیل شونده به مصالح نحای است استناد می شود.



نقطه ترک

**ب) ظهور تغییر شکل های پلاستیک در وقت کشش:**  
 سمت BC از مختی P-8 می آید و مشخص است که مقطع ترک نخورده است، اما تنش در درون بار کششی مقطع به مقاومت کشش بتن تحت کشش ناشی از تنش (مدول کششی،  $f_r$ ) نزدیک می شود، نقطه C می آید آغاز ترک خوردگی مقطع من آورده است، بارهای در آن ترک خوردگی مقطع اتفاق می افتد، بار ترک خوردگی ( $P_{cr}$ ) و لنگر منظر با آن را لنگر ترک خوردگی ( $M_{cr}$ ) نامیده می شود.

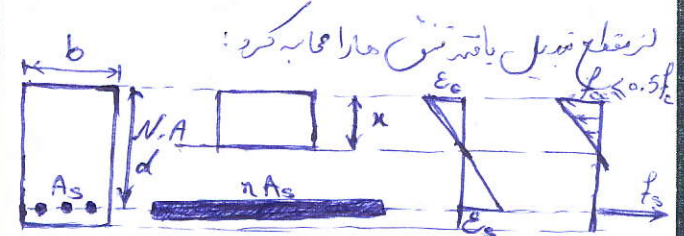


**ج) افزایش ترک ها:** سمت CD از مختی P-8 بیان کرده مختی است که در نقطه ترک ها در سمت میانی تیر افزایش می یابد. در حقیقت به محض وقوع اولین ترک خوردگی در مقطع، تنش کششی مقطع به فولاد منتقل می شود و با تغییر جزئی در بار، این وضعیت به سایر سمت ها گریز می یابد. در زمان بار، میلند و در نتیجه تحت افزایش کمی در میزان بار، تعداد ترک ها افزایش می یابد. افزایش مقدار ترک ها در مختی P-8 رفتار غیر خطی ایجاد می لند، به صورتی که نسبت مختی P-8 در سمت CD نسبتاً کاهش می یابد که این به سبب کاهش درختی کشش مقطع است.

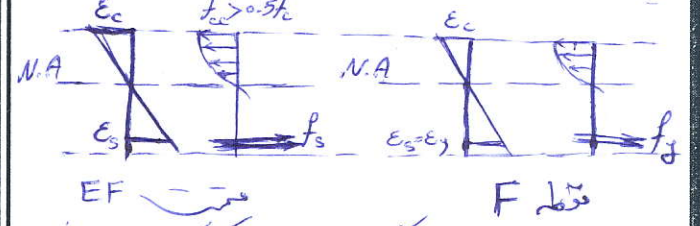
**د) باز شدن ترک ها و رفتار خطی مقطع در فاصله فشاری:**  
 سمت DE از مختی P-8 و مختی از رفتار تیر کششی تحت بار نشان می دهد که با افزایش بار، دیگر تعداد



ترک ها افزایش یافته و فقط محکم ترک حاصل می شود  
 در این حالت تقریباً تمام نیروی کششی مقطع به وسیله فولادها  
 کششی تحمل می شود و فقط ناصیه بسیار محدودی از بتن مقطع در محاسبات  
 تارفتنی صفت اندکی از نیروی کششی مقطع را تحمل می کند. در  
 صفت شاری بتن، حداکثر تنش در محددترین تارفتاری هنوز  
 به محدوده  $f_{yk} \leq 0.5$  (حد الاستیک بتن) فرسیده است و می توانیم  
 رفتار بتن فشاری را با ترتیب خوبی خطی در نظر بگیریم. این رفتار  
 معروف به رفتار الاستوپلاستیک برای مقطع بتن در این است  
 در این حالت نیز می توان با صرف نظر از بتن کششی و استاده



فیدج شدن و بیج کردن مقطع تبدیل یافته  
 (ه) رفتار غیر خطی بتن در رفتار الاستیک فولاد؟  
 صفت EF از صفتی P-S معروف و صفتی است که با  
 نزدیک شدن بار و لنگر خمشی، تنش حداکثر در محددترین تارفتاری  
 بتن  $f_{yk} \leq 0.5$  میسر شده و بنابراین رفتار بتن در این خطی نیست  
 این در حالی است که تنش فولاد در ناصیه کششی هنوز به حد تسلیم نرسیده



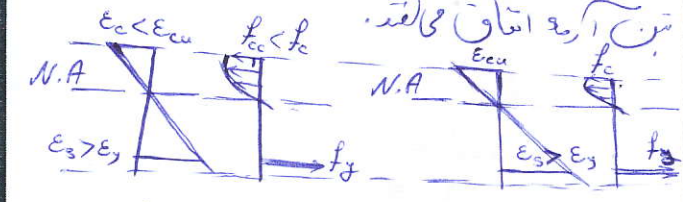
مقطع F از صفتی P-S میانه و صفتی است که در تنش تیر در ناصیه  
 فولاد کششی به کرنش تسلیم فولاد رسیده است و همچنان قسمت  
 فشاری آن در ناصیه غیر خطی است. در این حالت به دلیل  
 افزایش نیروی کششی سوزش کارایی هر تارفتاری

بسیار بالا حرکت کرده است.

### و) تشدید رفتار غیر خطی بتن و جاری شدن فولاد؟

صفت FG از صفتی P-S میان گرو صفتی است که با  
 جاری شدن فولاد کرنش در فولاد (افزایش می یابد ولی تنش  
 کششی و در نتیجه آن نیروی کششی ثابت است و به دلیل  
 تعادل مقطع نیروی فشاری نیز ثابت است. فقط با  
 افزایش کرنش بتن رفتار فشاری بتن بیشتر غیر خطی می شود  
 و به دلیل (افزایش تنش فشاری و ثابت ماندن نیروی فشاری  
 تارفتنی به طرف بالا حرکت می کند. در ناصیه FG به دلیل تسلیم  
 فولاد کششی تغییر مکان قابل ملاحظه ای در برترین آرمه اتفاق  
 می افتد ولی به دلیل ثابت بودن نیروی های کششی و فشاری  
 در میزان بار یا لنگر مناسط با آن تغییری پدید نمی شود.

سراخام در نقطه و از صفتی P-S بار سیرین کرنش دورترین  
 تارفتاری به کرنش صفت بتن  $(\epsilon_{cu})$  رسید نقطه که بتن  
 تحت حداکثر تنش فشاری  $(f_{yk})$  است خرد می شود و با کاهش  
 سطح مقطع بتن فشاری و ضعیف شدن حداکثر تارفتاری ساقط شدن  
 می کنند و با خرد شدن بتن فشاری قسمت خمشی تیر



ممكن است رفتار دیگری برای مقاطع خمشی بتن آرمه تصور کرد  
 که با صفتی خطی نشان داده شده است در این حالت ممکن  
 است بتن به حد جاری شدن فرسودگی از آن کرنش بتن  
 به  $\epsilon_{cu}$  برسد. در این هنگام قسمتی از بتن خرد می شود و به



بیرون برتاب می شود و در لحظه کوتاهی کل بتن فشاری با فشاری بلند به صورت انفجاری متلاشی می شود و بدون اینکه رفتار شکل پذیری در تیر بتن اگر چه به وجود آید.

## ۲-۴) انواع گسستگی عضو خمشی:

همان طور که مشاهده شد دو نوع شکست خمشی برای اعضا بتن آرمه اتفاق می افتد:

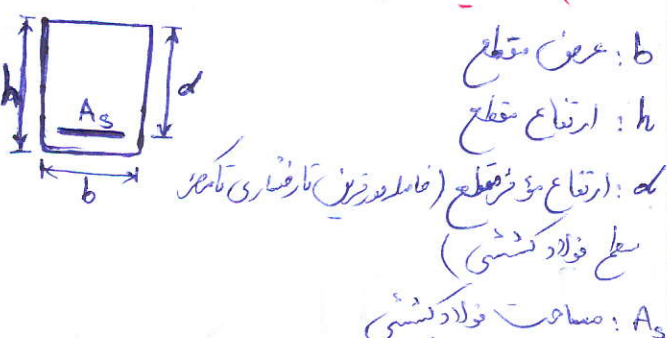
۱) شکست شکل پذیر یا نرم: در این نوع شکست ابتدا سازه های کششی به مزه جاری شدن می رسند و پس از آن بتن فشاری به حد گسستگی می رسد. به این نوع شکست شکست کششی نیز می گویند. در این نوع شکست با جاری شدن فولاد و افزایش تغییر مکان تیر و اندازه ترک ها مهارتی برای شکست قریب الوقوع وجود دارد و فرصت کافی برای تحلیل سازه ها و جابه اندازی

۲) شکست غیر شکل پذیر یا ترد: در این نوع شکست ابتدا بتن ناچاره فشاری به حد  $f_{cu}$  می رسد و بعد از آن (بدون جاری شدن فولاد) شکست تیر اتفاق می افتد. این نوع شکست ناگهانی و بدون هشدار قبلی است. به این شکست شکست فشاری یا آکومینان فولاد کششی کم باشد جاری شدن فولادها با نیروی کمتری انجام می شود و شکست نرم اتفاق می افتد و آکومینان فولاد کششی زیاد باشد جاری شدن فولادها با نیروی بیشتری انجام می شود و شکست لنز نوع ترد است. کم بودن و زیاد بودن فولادها بایک وضعیت مندی به نام فولاد متعادل ( $A_{sb}$ ) منبجده می شود که عبارت است از مقدار فولادی که اگر در یک مقطع مشخص قرار

داشته شود در همان لحظه ای که فولاد به حد جاری شدن می رسد

تن به حد گسستگی می رسد و شکست متعادل اتفاق می افتد. حال اگر مقدار فولاد یک مقطع کمتر از فولاد متعادل (بالا نشود) باشد شکست نرم و آکومینان باشد شکست ترد اتفاق می افتد. به این دلیل به مقطعی که شکست نرم دارد کمتر فولاد (تحت مسلح) و به مقطعی که شکست ترد دارد بیشتر فولاد (توق مسلح) گویند.

## ۲-۵) تعاریف و بلوک فشاری متعادل:



ص: نسبت سطح مقطع فولاد کششی به سطح مقطع مؤثر  $(\rho = \frac{A_s}{b \cdot d})$

$$f_{cd} = f_c \cdot \gamma_c : \text{مقاومت مشخصه طرح بتن}$$

$$f_{yd} = f_s \cdot \gamma_s : \text{مقاومت مشخصه طرح فولاد}$$

$x$ : فاصله دورترین تار فشاری تا محور خمشی

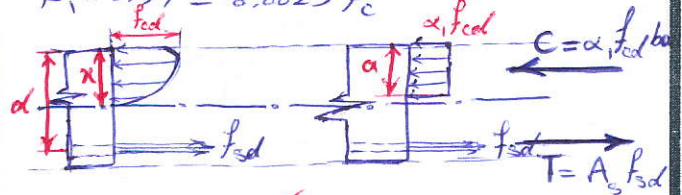
در طراحی به روش حالات حدی گاهی مقاومت توزیع تنش در ارتفاع مقطع همانند شکل مربوط به توده شکست تیرینی (توده  $\sigma$ ) است. برای محاسبه گشتاور مقاوم مقطع نیاز داریم مقدار ضروی فشاری و محل اثر آن در مقطع را بدست آوریم. برای این کار اگر از استرالایزیری استفاده نماییم حل مسائل خیلی دشواری می شود به این دلیل از همان ابقای توسعه روش های محاسبه مقاومت گاهی سعی بر این بوده است که بلوک تنش سهمی را بایک شکل هندسی ساده تر که از لحاظ استاتیکی متعادل آن باشد جایگزین کنند (مهرت ها و مرکز سطح خاکی)



یکی از این اشکال ساده‌ترین شکل مستطیلی می‌باشد که اولین بار توسط ویتنی (Whitney) پیشنهاد شد. ارتفاع بلوک تنشی مستطیلی (a) به صورت نسبتی از ارتفاع تارشی بیان می‌شود.  $(a = \beta_1 x)$  و شدت تنش آن به صورت  $f_{bc} = \alpha_1 f_{cd}$  بیان می‌شود. سبب عدم مقررات ملی ساختمان مقادیر  $\alpha_1$  و  $\beta_1$  را به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c$$

$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c$$



**۶-۲) نسبت فولاد و بتن با نسبت متعادل:** همان طور که گفته شد نسبت متعادل کلی است که با رسیدن کرنش تشاری در صورتی که تارشی بتن به  $\epsilon_{cu}$  کرنش مربوط به فولاد کششی به حد تسلیم ( $f_y$ ) برسد.

**گام اول:** (فصل ۱۰،  $\alpha_1, \beta_1, f_{cd}$  و  $f_{sd}$ )

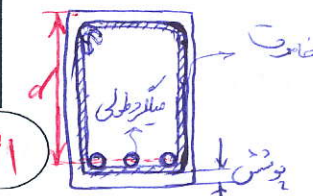
$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c \\ \beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} f_{cd} = \phi_c f_c = 0.65 f_c \\ f_{sd} = \phi_s f_y = 0.85 f_y \end{array} \right.$$

\* معمولاً در این مسائل مشخصات مصالح ( $f_y$  و  $f_c$ ) معلوم است

معین ابعاد مقطع متعادل است و اگر ارتفاع مؤثر مشخص نبود به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

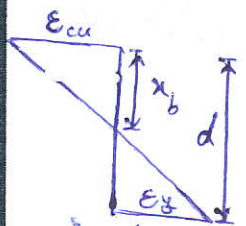
$$d = h - \left( \text{نصف قطر میلگرد} \right) - \left( \text{قطر ضروت} \right) - \left( \text{ضخامت پوشش} \right)$$

$$\rightarrow d \approx h - 4.5^{cm} - 1^{cm} - 1.5^{cm}$$



$$d \approx h - 7^{cm}$$

**گام دوم:** (تعیین محل تارشی)



$$\frac{\epsilon_{cu}}{x_b} = \frac{\epsilon_{cu} + \epsilon_s}{d}$$

$$\Rightarrow x_b = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \frac{f_y}{E_s}} d$$

توزیع کرنش در حالت تعادل

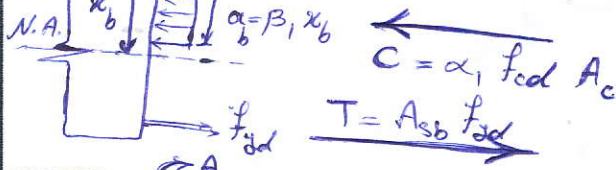
رابطه فوق برای تمام مقاطع و مقادیرهای بتن مختلف صادق است. با فرض  $E_s = 200 \text{ GPa}$  و اینکه در اکثر مسائل  $f_c$  کوچکتر از  $50 \text{ MPa}$  یا استناد از جدول ۲-۱ (معمولاً افزون)

$$\epsilon_{cu} = 0.0035 \text{ است. حال داریم:}$$

$$x_b = \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{f_y}{2 \times 10^5}} d \rightarrow x_b = \frac{700}{700 + f_y} d$$

در اینجا  $f_y$  در  $\text{MPa}$  است.

**گام سوم:** (محاسبه مقدار فولاد متعادل)



$$C = T$$

$$\alpha_1 f_{cd} A_c = A_s f_{sd}$$

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_{cd}}{f_{sd}} A_c$$

مقطع متعادل

در اینجا  $A_s$  سطح مقطع فولاد متعادل است و  $A_c$  سطح

مت تشاری بتن است که با محوری به مولدات تارشی و به فاصله

$\alpha_1 = \beta_1 x_b$  از مرکز تشاری قرار دارد، محصور شده است

در مقطع مستطیل داریم:

$$\rightarrow A_s = \frac{\alpha_1 \beta_1 f_{cd}}{f_{sd}} \left( \frac{700}{700 + f_y} \right) b \cdot d$$

$$\rho_b = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{\alpha_1 \beta_1 f_{cd}}{f_{sd}} \left( \frac{700}{700 + f_y} \right)$$



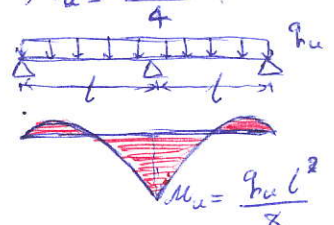
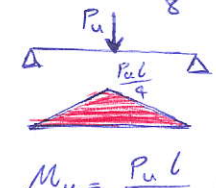
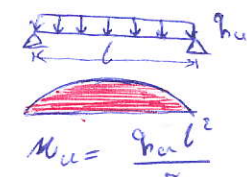
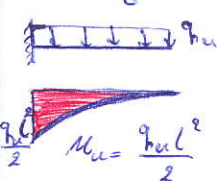
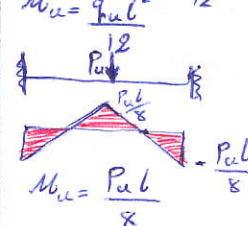
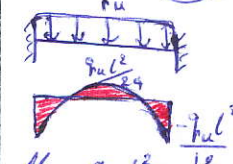
## ۷-۲) طراحی تیر مستطیلی با فولاد کششی تنه:

در این مسائل مقادیر مصالح ( $f_c$  و  $f_y$ ) مشخص است و هدف پیدا کردن مقدار فولاد مورد نیاز است:

### گام اول: (محاسبه $M_u$ )

اگر در صورت سوال مقدار  $M_u$  معلوم نبود باید با توجه به بارگذاری داده شده مقدار  $M_u$  محاسبه شود.  $M_u$  حداکثر گشتی ایجاد شده در تیر تحت بارهای خاص است. (معمولاً بار مرده ای که در صورت سوال داده می شود بعین در نظر گرفته می شود و تیر را به صورت یک بار گسترده بر روی تیر در نظر می گیریم.)

در زیر نمودار گشتی تیر پرکاربرد آمده است:



### گام دوم: (تعیین ابعاد مقطع)

وقتی دست طراح برای انتخاب طویل باز باشد، بهترین ابعاد برای انتخاب شوند که  $\epsilon \geq 0.004$  شود. با این فرض در هنگام انتخاب فولاد کششی جاری شده است و نکته زیر اتفاق می افتد:

$$\epsilon_s \geq 0.004 \rightarrow \frac{x}{d} \leq 0.467$$

$$\Rightarrow bd^2 \geq \frac{M_u}{0.467 \alpha_1 \beta_1 f_{cd} (1 - 0.23 \beta_1)}$$

با فرض  $\alpha_1 = 0.8$  و  $\beta_1 = 0.9$  داریم:

$$bd^2 \geq \frac{M_u}{0.25 f_{cd}}$$

اگر به دلیل الزامات معماری مجبور به استفاده مصالح کوچکتر هستیم باید فولاد بیشتری در مقطع بگذاریم و برای ایند

شکل نرم حاصل شود حداکثر به اندازه فولاد حداقل

می توانیم در مقطع قرار دهیم. حال داریم:

$$P = P_b \rightarrow (bd^2)_{min} = \frac{M_u}{P_b f_{cd} (1 - 0.5 P_b \frac{f_{cd}}{\alpha_1 f_{cd}})}$$

با فرض  $\alpha_1 = 0.8$  و  $\beta_1 = 0.9$  و  $f_y = 400$  داریم:

$$(bd^2)_{min} = \frac{M_u}{0.35 f_{cd}}$$

به شکلور عانت ضوابط مربوط به بجه برتری معیست معقرا

صلی ساختمان حداقل ارتفاع کل (h) را به صورت جدول زیر

ارائه کرده است:

تیر یک سر سازه	تیر یک سر سازه گیر بر سازه	تیر دو سر سازه	تیر یک سر سازه
$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

در عمل با استفاده از جدول فوق مقدار  $h$  را حدت می زنیم و

مقدار  $b$  را تقریباً  $0.5h$  در نظر می گیریم (بهتر است  $b$  کمتر

از  $250 \text{ mm}$  و بیشتر از  $500 \text{ mm}$  نباشد) پس روابط فوق را

چک می کنیم.

اگر در صورت سوال مقدار  $h$  معلوم بود با توجه به صفحه ۱۲ جزوه

مقدار  $b$  را تقریباً  $b = 7 \text{ cm}$  فرض می کنیم.



**کام سوم:** محاسبه  $(f_{cd}, \beta_1, \alpha_1)$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c \\ \beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} f_{cd} = 0.65 f_c \\ f_{yd} = 0.85 f_y \end{array} \right.$$

اگر مقدار  $\rho_{min}$  و  $\rho_{max}$  باشد طراحی صحیح است و

$A_s$  محاسبه شده مورد قبول است و اگر نه:

اگر  $\rho < \rho_{min}$   $\rho^* = \min \{ \rho_{min}, 1.33 \rho \}$

اگر  $\rho > \rho_{max}$   $\rho \leq 0.025$

مقطع کنافه نلرو و باید ابعاد تغییر کند

نکته: اگر در هنگام محاسبه  $A_s$  زیر بار کامل منفی شود مقطع

کنافه نلرو و باید ابعاد تغییر کند

نکته ۲: اگر ابعاد مقطع در صورت سوال داده شده بود و طول

این گام مقطع کنافه نداشت می توانیم فولاد فشاری بگذاریم

ولی در طراحی واقعی که خودمان ابعاد را مشخص می کنیم باید

ابعاد بزرگتری انتخاب کنیم

**کام هفتم:** انتخاب میلگرد و آرایش آن در مقطع

با توجه به  $A_s$  که محاسبه شده است و نمودار انتخاب کنیم

پس می توانیم محاسبه تعداد میلگرد مناسب را انتخاب کنیم

اگر مقطع تحت لنگر خمشی مثبت باشد میلگرد های کششی را در

پایین مقطع و اگر تحت لنگر خمشی منفی باشد در بالای مقطع

قرار می دهیم. قطر و تعداد میلگرد ها باید طوری باشد که بتوانیم با

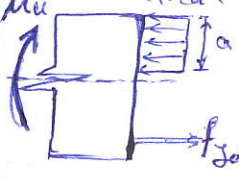
قرار دادن آنها در مقطع علاوه بر حداقل پوشش لازم (45 mm)

عوارض زیر نیز برآورده شود:

ناممکن آرایش میلگردهای طولی و عرضی و منفی میلگردها

**کام چهارم:** محاسبه مقدار فولاد کششی

مقابل:  $\alpha_1 f_{cd} \cdot a \cdot b = A_s f_{yd}$



$$a = \frac{A_s f_{yd}}{\alpha_1 f_{cd} \cdot b}$$

مقابل:  $M_u = A_s f_{yd} (d - \frac{a}{2})$

نلرو:  $M_u = A_s f_{yd} (d - \frac{0.5 A_s f_{yd}}{\alpha_1 f_{cd} b})$

با حل معادله درجه دوم فوق  $A_s$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_{cd} b \cdot d}{f_{yd}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{\alpha_1 f_{cd} b \cdot d^2}} \right)$$

**کام نهم:** محاسبه  $\rho_{min}$  و  $\rho_{max}$

به منظور جلوگیری از شکست ترک نسبت فولاد کششی باید کمتر از

$\rho_{max} = \min \{ \rho_b, 0.025 \}$  باشد:

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 \beta_1 f_{cd}}{f_{yd}} \left( \frac{700}{700 + f_y} \right)$$

اگر مقدار فولاد خیلی کم باشد به طوری که تفاوت خمشی نهایی مقطع

کمتر از لنگر ترک خوردگی باشد بایز اولین ترک خمشی کل

مقطع می شکند بدون دلیل صحیح عدم مقابله ملی ساختمان

مقابل فولاد کششی را به صورت زیر تعیین می کنند:

$$\rho_{min} = \max \left\{ \frac{1.4}{f_y}, \frac{0.25 \sqrt{f_c}}{f_y} \right\}$$

**کام دهم:** بررسی روابط آیین نامه

ایجاد نسبت فولاد کششی (ص) را محاسبه می کنیم:  $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$



## ۸-۲) محاسبه لنگر مقاوم مقطع مستطیل با فولاد کششی-تنجیه

در این مسائل مشمول مصالح ( $f_c$  و  $f_y$ ) و ابعاد مقطع ( $b$ ,  $h$  یا  $d$ ) و مقدار فولاد کششی ( $A_s$  یا  $\rho$ ) معلوم است و هدف پیدا کردن لنگر مقاوم مقطع ( $M_r$ ) است.

### کام اول: (محاسبه $\alpha_1$ , $\beta_1$ , $f_{cd}$ و $f_{yd}$ )

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c \\ \beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} f_{cd} = 0.65 f_c \\ f_{yd} = 0.85 f_y \end{array} \right.$$

### کام دوم: (محاسبه $\rho$ و تعیین نوع شکست)

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad \text{و} \quad \rho_b = \frac{\alpha_1 \beta_1 f_{cd}}{f_{yd}} \left( \frac{700}{700 + f_y} \right)$$

اگر  $\rho < \rho_b$  هر باشد شکست لزوم نرم است و فولاد کششی جاری می شود و اگر  $\rho > \rho_b$  هر باشد شکست لزوم ترد است و فولاد کششی به حد جاری شدن نمی رسد.

### کام سوم: (محاسبه تنش در فولاد کششی)

اگر شکست نرم باشد  $f_{sd} = f_{yd}$  است.

اگر شکست ترد باشد داریم:

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \frac{d-x}{x} \quad \text{و} \quad f_{sd} = \phi_s \epsilon_s \epsilon_s$$

$$\frac{\epsilon_{cu} = 0.0035}{\epsilon_s = 2 \times 10^{-3} MPa} \quad f_{sd} = 0.85 \times 700 \left( \frac{d-x}{x} \right)$$

حال بر اساس نوع شکست دو حالت مختلف داریم:

### الف) شکست نرم: $c \leftarrow a$

### کام چهارم: (محاسبه $\alpha$ )

$$c = T \rightarrow \alpha_1 f_{cd} b \cdot \alpha = A_s \cdot f_{sd}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{A_s \cdot f_{sd}}{\alpha_1 f_{cd} \cdot b}$$

### کام پنجم: (محاسبه $M_r$ )

$$M_r = A_s f_{sd} \left( d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

### ب) شکست ترد:

### کام چهارم: (محاسبه $\alpha$ )

$$\alpha_1 f_{cd} b \cdot \alpha = A_s \cdot f_{sd}$$

$$\alpha_1 \beta_1 f_{cd} b \cdot x = A_s \left[ 595 \left( \frac{d-x}{x} \right) \right]$$

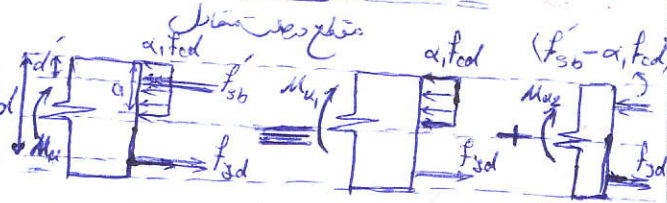
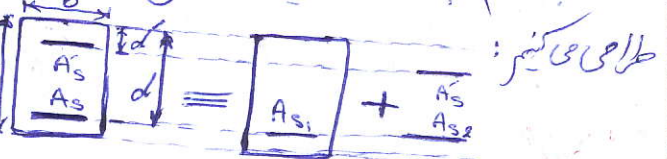
و معادله فوق فقط  $x$  مجهول است که با محاسبه آن  $\alpha = \beta_1 x$  بدست می آید:

### کام پنجم: (محاسبه $M_r$ )

$$M_r = A_s f_{sd} \left( d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

## ۹-۲) طراحی مقطع مستطیل با فولاد فشاری (مضامف):

اگر طبق کام ششم بند ۲-۷ (صفحه ۲۴ جزوه) نیاز به فولاد فشاری داشته باشیم (یا اینکه مقطع داده شده در سوال کفایت نداشته باشد) به صورت زیر فولاد کششی و فشاری را طراحی می کنیم:



### کام اول: (تاسوم): این مراحل همانند کام اول تاسوم بند ۲-۷ (صفحات ۲۲ و ۲۴ جزوه) محل می شود. معمولاً در این

مسائل ابعاد مقطع معلوم است و نیازی به کام دوم نیست.

و  $d$  و  $d'$  را می توانیم به صورت زیر در نظر بگیریم:

$$d \approx h - 7 \text{ cm}, \quad d' \approx 7 \text{ cm}$$



### کام چهارم: (محاسبه $\rho$ )

$$\rho = \frac{\alpha_1 B_1 f_{cd}}{f_{yd}} \left( \frac{700}{700 + f_{yd}} \right)$$

### کام پنجم: (محاسبه $M_{rb}$ )

$$M_{rb} = \rho b d^2 f_{yd} \left( 1 - \frac{\rho b f_{yd}}{2 \alpha_1 f_{cd}} \right)$$

### کام ششم: (محاسبه $A_{s1}$ و $A_{s2}$ )

$$A_{s1} = \rho b d \quad \text{و} \quad A_{s2} = \frac{M_{u2}}{f_{yd} (d - d')}$$

### کام هفتم: (انتخاب فولاد کششی و محاسبه $\Delta A_s$ )

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

برای  $A_s$  محاسبه شده طبق کلمه هفتم بند ۲-۷ (مفرد ۲۴ فزود)

فولاد کششی انتخاب می کنیم و در مقطع طولی هم به همین طریقی برای شکت معادل انجام دادیم اگر مقدار فولاد کششی اندکی افزایش یابد شکت ترمیمی شود به این دلیل باید مقدار اضافی کششی از انتخاب فولاد داشت محاسبه کنیم و به فولاد فشاری اضافه کنیم تا شکت همبافت

$$\Delta A_s = A_{sprov} - A_s$$

نسبت باقی مانده کششی از انتخاب فولاد کششی

### کام هشتم: (محاسبه $f_{sb}$ و $A'_s$ )

همین طریقی را در حالت تعادل انجام داده ایم تنش سیلندرهای فشاری در این حالت ( $f_{sb}$ ) با استفاده از توزیع کرنش در

$$f_{sb} = 700 - \frac{d'}{d} (700 + f_{yd}) \leq f_{yd}$$

$$A'_s = (A_{s2} + \Delta A_s) \frac{f_{yd}}{f_{sb}}$$

### کام نهم: (انتخاب آرماتور فشاری و آرماتور در مقطع)

با استفاده از  $A'_s$  محاسبه شده و همانند کام هفتم بند ۲-۷ (مفرد ۲۴ فزود) فولاد فشاری را انتخاب می کنیم و در مقطع قرار می دهیم با این تفاوت که اگر مقطع تحت کشش منفی بود سیلندر ها را در پایین قرار می دهیم و اگر تحت کشش مثبت بود سیلندر ها را بالا می گذاریم

### کام دهم: (بررسی جاری شدن فولاد کششی)

برای اطمینان از جاری شدن فولاد کششی و شکت فشرده مقطع

$$\sigma = \frac{A_{sprov}}{b \cdot d} \quad \text{و} \quad \sigma' = \frac{A'_{sprov}}{b \cdot d}$$

$$0.85 f_{yd} \leq \sigma + \sigma' \leq 0.85 f_{yd}$$

### ۱۰-۲ محاسبه لنگر مقاوم مقطع مستطیلی با فولاد کششی و فشاری

در این مسائل مشغول به حل (نمودارها) و به عبارتی  $(b, d)$  و مقدار فولاد کششی و فشاری ( $A_s$  و  $A'_s$ ) معلوم است و هدف پیدا کردن لنگر مقاوم مقطع ( $M_r$ ) است

### کام اول: (محاسبه $\alpha_1$ و $B_1$ و $f_{cd}$ و $f_{yd}$ )

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c \\ B_1 = 0.97 - 0.0025 f_c \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} f_{cd} = 0.65 f_c \\ f_{yd} = 0.85 f_y \end{array} \right.$$

### کام دوم: (محاسبه $\rho$ و $\rho'$ )

$$\rho = \frac{\alpha_1 B_1 f_{cd}}{f_{yd}} \left( \frac{700}{700 + f_{yd}} \right) \quad \rho' = \frac{A_s}{b d} \quad \rho' = \frac{A'_s}{b d}$$

### کام سوم: (بررسی تسلیم شدن فولاد کششی)

$$f_{sb} = 700 - \frac{d'}{d} (700 + f_{yd}) \leq f_{yd}$$



اگر رابطه زیر برقرار باشد فولاد کششی تسلیم می شود:

$$p \leq p_b + p' \frac{f_{sb}}{f_y}$$

**کام پنجم:** (بررسی تسلیم فولاد فشاری)

اگر رابطه زیر برقرار باشد فولاد فشاری تسلیم می شود:

$$p - p' \left(1 - \frac{\alpha_1 f_{cd}}{f_{sd}}\right) \geq \alpha_1 p_1 \frac{f_{cd}}{f_{sd}} \left(\frac{T_{oo}}{T_{oo} - f_y}\right) \frac{d'}{d}$$

\* با توجه به تسلیم شدن یا نشدن فولاد فشاری یا کششی ۴

حالت مختلف به وجود می آید که در زیر بررسی می شوند:

الف) فولاد کششی و فشاری هر دو تسلیم شوند:

**کام پنجم:** (محاسبه  $\alpha$ )

معادله:

$$A_s f_{sd} = \alpha_1 f_{cd} b \cdot \alpha + A_s' (f_{sd} - \alpha_1 f_{cd})$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{A_s f_{sd} - A_s' (f_{sd} - \alpha_1 f_{cd})}{\alpha_1 f_{cd} \cdot b}$$

**کام ششم:** (محاسبه  $M_r$ )

معادله:

$$M_r = \alpha_1 f_{cd} b a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' (f_{sd} - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

ب) فولاد کششی تسلیم شود و فشاری تسلیم نشود:

**کام پنجم:** (محاسبه تنش فولاد فشاری)

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \left(\frac{x - d'}{x}\right)$$

با فرض  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $E_{cu} = 0.0035$

$$f_{sd}' = 0.85 \times T_{oo} \left(1 - \frac{d'}{x}\right)$$

**کام ششم:** (محاسبه  $\alpha$ )

$$A_s f_{sd} = \alpha_1 p_1 f_{cd} b x + A_s' \left[595 \left(1 - \frac{d'}{x}\right) - \alpha_1 f_{cd}\right]$$

در رابطه فوق  $x$  مجهول است و به دست می آید و حال داریم:

$$\alpha = p_1 x \quad \text{و} \quad f_{sd}' = 595 \left(1 - \frac{d'}{x}\right) \leq f_y$$

**کام ششم:** (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = \alpha_1 f_{cd} b a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' (f_{sd}' - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

ج) فولاد کششی تسلیم نشود و فشاری تسلیم شود:

**کام پنجم:** (محاسبه تنش فولاد کششی)

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \left(\frac{\alpha d - x}{x}\right)$$

با فرض  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $E_{cu} = 0.0035$

$$f_{sd} = 0.85 \times T_{oo} \left(\frac{\alpha d}{x} - 1\right)$$

**کام ششم:** (محاسبه  $\alpha$ )

$$A_s \left[595 \left(\frac{\alpha d}{x} - 1\right)\right] = \alpha_1 p_1 f_{cd} b x + A_s' (f_{sd} - \alpha_1 f_{cd})$$

در رابطه فوق تنها  $x$  مجهول است و به دست می آید و حال داریم:

$$\alpha = p_1 x \quad \text{و} \quad f_{sd} = 595 \left(\frac{\alpha d}{x} - 1\right)$$

**کام ششم:** (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = \alpha_1 f_{cd} b a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' (f_{sd} - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

د) فولاد کششی و فشاری هر دو تسلیم نشوند:

**کام پنجم:** (محاسبه تنش فولاد کششی و فشاری)

بر اساس کام پنجم نسبت های "ب" و "ج" داریم:

$$f_{sd} = 0.85 \times T_{oo} \left(\frac{\alpha d}{x} - 1\right) \quad \text{و} \quad f_{sd}' = 0.85 \times T_{oo} \left(1 - \frac{d'}{x}\right)$$

**کام ششم:** (محاسبه  $\alpha$ )

$$A_s \left[595 \left(\frac{\alpha d}{x} - 1\right)\right] = \alpha_1 p_1 f_{cd} b x + A_s' \left[595 \left(1 - \frac{d'}{x}\right) - \alpha_1 f_{cd}\right]$$

**کام ششم:** (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = \alpha_1 f_{cd} b a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' (f_{sd}' - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

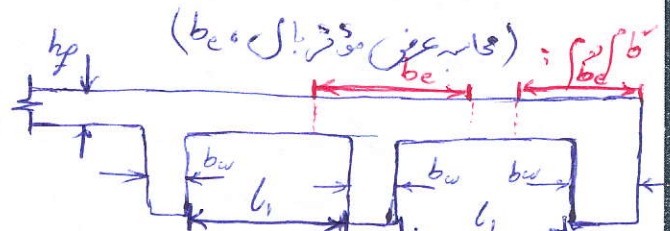


## ۱۱-۲) طراحی مقاطع T شکل:

در شرایطی که پدشس با همان شکل از دال (ناو) بتن مسلح و تیرهای حماله باشد و فولادهای اتصال به نحو مناسب تعبیه شوند به طوری که تغییر شکل تیر با بخشی از دال یکسان باشد بخشی از دال در مقاومت بخشی شرکت نماید مقطع حاصله T شکل خواهد بود. در طراحی مقاطع T شکل می توانیم به روش زیر عمل کنیم:

**گام اول:** (محاسبه  $M_u$ )

برای این کار مانند گام اول بند ۷-۲ (صفحه ۲۲) جزوه عمل می کنیم



برای تیرهای T شکل متقارن (تیرهای میانی):

$$b_e = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.25 l_n \\ 0.4 l_n \end{array} \right\} \text{ برای تیرهای میانی} \quad \text{و} \quad b_e = \min \{ 6h_f + b_w, l_1 + b_w \}$$

$l_n$ : فاصله آزاد تیر (بر تا بر تکیه جاه ها)

برای تیرهای L شکل (تیرهای کناری):

$$b_e = \min \left\{ 6h_f + b_w, \frac{l_1}{2} + b_w, \frac{l_n}{12} \right\}$$

برای تیرهای T شکل مجزا:

در این تیرها اگر  $h_f < \frac{b_w}{2}$  باشد بال بخشی

در تیرهای T شکل مجزا و اگر  $h_f \geq \frac{b_w}{2}$  باشد قسمتی از دال با عرض مؤثر  $b_e$  به صورت زیر لنگر بخشی را تحمل می کنند.

$$b_e = \min \{ b, 4b_w \}$$

**گام سوم:** (تعیین محل تارخشی)

ابتدا مقدار لنگری که باعث می شود تارخشی تقریباً در محل اتصال بال به جان قرار گیرد محاسبه می کنیم:

$$M_{rf} = \alpha_1 f_{cd} b_e h_f \left( \alpha - \frac{h_f}{2} \right)$$

اگر  $M_u > M_{rf}$  تارخشی در جان است

اگر  $M_u < M_{rf}$  تارخشی در بال است

اگر تارخشی در بال قرار گیرد زیر تارخشی ترک می خورد

و عملکرد تیرها مانند تیر مستطیل با عرض  $b$  می شود و برای

طراحی طبق بند ۷-۲ (صفحه ۲۲ جزوه) انجام می شود (اگر نیاز

به فولاد فشاری باشد طبق بند ۹-۲ (صفحه ۲۴ جزوه) عمل می کنیم)

اگر تارخشی در جان قرار گیرد عملکرد تیر T شکل است و طبق

مراحل زیر طراحی را انجام می دهیم:



**گام چهارم:** (محاسبه  $A_{sf}$ )

$$\alpha_1 f_{cd} h_f (b_e - b_w) = A_{sf} f_{cd}$$

$$\Rightarrow A_{sf} = \frac{\alpha_1 f_{cd} h_f (b_e - b_w)}{f_{cd}}$$

(محاسبه  $M_{rw}$  و  $M_{rf}$ )

$$M_{rf} = A_{sf} f_{cd} \left( \alpha - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$M_{rw} = M_u - M_{rf}$$

**گام پنجم:** (طراحی مستطیل جان)

مستطیل  $b_w \times d$  را در نظر می گیریم و تحت لنگر  $M_{rw}$  قرار دهیم و

طبق بند ۷-۲ (صفحه ۲۲ جزوه) مقدار فولاد کششی را بدست می آوریم



و آن را  $A_{sw}$  می نامیم. (اگر نیاز به فولاد فشاری باشد طبق بند ۲-۹ عمل می کنیم)

**کام هفتم:** (محاسبه  $\rho_w, \rho_f, \rho_b$ )

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot d}, \quad \rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d}, \quad \rho_b = \frac{A'_s}{b_w \cdot d}$$

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 B_1 f_{cd}}{f_{yd}} \left( \frac{700}{700 + f_y} \right)$$

**کام هشتم:** (بررسی جاری شدن فولاد کششی)

$$\rho = \min \left\{ \frac{1.4}{f_y}, \frac{0.25 \sqrt{f_c}}{f_y} \right\}$$

$$\bar{\rho}_{max} = \bar{\rho}_b = \rho_f + \rho_b$$

$$\text{if } \rho_{min} \leq \rho_w \leq \bar{\rho}_{max} \quad \text{O.K.}$$

$$\left( \begin{aligned} \text{اگر فولاد فشاری داشته باشیم:} \\ f'_{sb} = 700 - \frac{\alpha}{2} (700 + f_y) \leq f_y \\ \bar{\rho}_{max} = \rho_f + \rho_b + \rho \frac{f'_{sb}}{f_y} \end{aligned} \right)$$

**کام نهم:** (انتخاب فولاد و آرایش آن در مقطع)

طبق کام هفتم بند ۲-۷ (صفحه ۲۷ جزوه) عملکردهای کششی (و در صورت لزوم فشاری) را انتخاب می کنیم و عملکردهای کششی در این مقطع و عملکردهای فشاری را در بالای مقطع قرار می دهیم.

**نکته ۱:** اگر مقطع T شکل تحت کشش کششی متقی باشد باید

بزرگترین  $\rho$  مورد و عملکرد مقطع همانند یک مقطع مستطیل با عرض

بسط است و طبق بندهای ۲-۷ و ۲-۹ طراحی می شود.

**نکته ۲:** در تیرهای T شکل اگر مقدار فولاد محاسبه شده زیاد باشد و نتوانیم در یک سازه قرار دهیم مجبوریم در چند سازه تقسیم

با این کار ارتفاع مؤثر مقطع ( $d$ ) کاهش می یابد و نیاز به

فولاد بیشتری داریم برای مقابله با این مشکل یا باید عرض

تیر ( $b_w$ ) را افزایش دهیم که با این کار وزن تیر

بیشتر افزایش می یابد و یا اینکه یک پاشنه در سمت خمایی

تیر تعبیه کنیم که گاه تیر به شکل I درمی آید. از نظر طراحی

محاسبه تیرهای I شکل نیز مشابه مقاطع T است زیرا

پاشنه خمایی ترک می خورد و فقط فولاد آن در مقاومت

شرکت می کند و شبیه مقطع T شکل می شود.

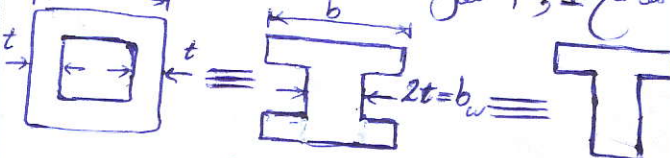
در رابطه اعمال بارهای نامتوازن مثل سوارهای موتر بر

پل ها یا تیرهای کناری که کنگره های پهنی قابل ملاحظه ای

قلند می شود می توان از مقاطع قوطی شکل استفاده کرد این

مقاطع و مقاطع U شکل نیز به سادگی قابل تبدیل به

مقاطع I و T شکل هستند.



**۲-۱۲) محاسبه کنگره مقاوم مقطع T با فولاد کششی نهی:**

**کام اول:** (محاسبه  $\alpha_1, B_1, \rho_{cd}, \rho_{sd}$ )

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha_1 &= 0.85 - 0.0015 f_c & \rho_{cd} &= 0.65 f_c \\ B_1 &= 0.97 - 0.0025 f_c & \rho_{sd} &= 0.85 f_y \end{aligned} \right.$$

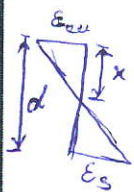
**کام دوم:** (محاسبه عرض مؤثر مقطع)

بر اساس کام دوم بند ۲-۱۱ (صفحه ۲۷ جزوه) عرض مؤثر

مقطع T شکل را محاسبه می کنیم



**کام سوم:** (محاسبه محل تار کشی)  
**کام پنجم:** (محاسبه تنش فولاد کششی)



$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \frac{d-x}{x}$$

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa} \quad \epsilon_{cu} = 0.0035$$

$$f_{sd} = 0.85 \times 700 \left( \frac{d}{x} - 1 \right)$$

**کام ششم:** (محاسبه  $\alpha$ )

$$A_s \left( 595 \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \right) = \alpha_1 f_{cd} [h_f (b - b_w) + b_w \beta_1 x]$$

در معادله فوق نقطه  $x$  مجهول است و محاسبه می نمود:

$$\alpha = \beta_1 x \quad , \quad f_{sd} = 595 \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \leq f_y$$

**کام هفتم:** (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = \alpha_1 f_{cd} \left[ h_f (b - b_w) \left( d - \frac{h_f}{2} \right) + b_w \alpha \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

**۱۳-۲) محاسبه گستره مقاومت مقطع T شکل با فولاد و مصالح:**

نیازنی که فولاد و مصالح داریم در اکثر موارد محل تار کشی در جان فلز درز و اگر تار کشی در جان فلز بگذرد به دلیل کرنش اندک فولاد و مصالح تنش بسیار کمی در آنها به وجود می آید و می توانیم از آنها صرف نظر کنیم و مانند بند قبلی گستره مقاومت را بدست آوریم. مراحل زیر با فرض تکیه گاه یخ تار کشی در جان تنظیم شده است:

**کام اول:** (محاسبه  $\alpha_1$ ،  $\beta_1$ ،  $f_{cd}$  و  $f_{yd}$ )

$$\begin{cases} \alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c \\ \beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c \end{cases} \quad \begin{cases} f_{cd} = 0.65 f_c \\ f_{yd} = 0.85 f_y \end{cases}$$

**کام دوم:** (محاسبه عرض مؤثر بال)

بر اساس کام سوم بند ۲-۱۱ (صفحه ۲۷ جزوه) عرض مؤثر مقطع را محاسبه می کنیم.

**کام سوم:** (محاسبه محل تار کشی)  

$$A_{sf} = \frac{\alpha_1 f_{cd} h_f b_e}{f_{sd}}$$

if:  $A_s \leq A_{sf} \rightarrow$  تار کشی در جان فلز درز

if:  $A_s > A_{sf} \rightarrow$  تار کشی در جان فلز درز

الف) اگر تار کشی در جان باشد:

**کام چهارم:** (محاسبه  $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{A_s f_{sd}}{\alpha_1 f_{cd} b_e}$$

**کام پنجم:** (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = A_s f_{sd} \left( d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

ب) اگر تار کشی در جان باشد:

**کام چهارم:** (بررسی جاری شدن فولاد کششی)

$$A_{sf} = \frac{\alpha_1 f_{cd} h_f (b_e - b_w)}{f_{sd}} \quad , \quad f = \frac{A_s f}{b_w d}$$

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 \beta_1 f_{cd}}{f_{yd}} \left( \frac{700}{700 + f_y} \right) \quad , \quad \rho = \frac{A_s}{b_w d}$$

if:  $\rho \leq \rho_b + \rho_f \rightarrow$  فولاد کششی جاری نمی شود

ب-۱) اگر فولاد کششی جاری شود:

**کام پنجم:** (محاسبه  $M_{rf}$ )

$$M_{rf} = A_{sf} f_{sd} \left( d - \frac{h_f}{2} \right)$$

**کام ششم:** (محاسبه  $M_{rw}$ )

$$A_{sw} = A_s - A_{sf} \quad , \quad \alpha = \frac{A_{sw} f_{sd}}{\alpha_1 f_{cd} b_w}$$

$$M_{rw} = A_{sw} f_{sd} \left( d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

**کام هفتم:** (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = M_{rf} + M_{rw}$$



کام هشتم: (محاسبه  $\alpha$ )

$$A_s f_{yd} = \alpha_1 f_{cd} [(b_e - b_w) h_f + b_w \beta_1 x] + A'_s [595 (1 - \frac{d'}{x}) - \alpha_1 f_{cd}]$$

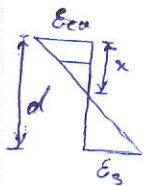
در رابطه فوق فقط  $x$  مجهول است و محاسبه می شود:

$$\alpha = \beta_1 x, \quad f'_{sd} = 595 (1 - \frac{d'}{x}) \leq f_y$$

$$A_{sf} = A_s - A'_s \quad (\text{محاسبه } M_r)$$

$$M_r = A_{sf} f_{yd} (d - \frac{h_f}{2}) + A_{sw} f_{yd} (d - \frac{a}{2}) + A'_s (f'_{sd} - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

ج) فولاد کششی تسلیم نشود و فشاری تسلیم شود:



کام نهم: (محاسبه تنش فولاد کششی)

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} (\frac{d - x}{x})$$

با فرض  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $\epsilon_{cu} = 0.0035$

$$f_{sd} = 0.85 \times 700 (\frac{d}{x} - 1)$$

کام دهم: (محاسبه  $\alpha$ )

$$A_s [595 (\frac{d}{x} - 1)] = \alpha_1 f_{cd} [(b - b_w) h_f + b_w \beta_1 x] + A'_s (f'_{sd} - \alpha_1 f_{cd})$$

در رابطه فوق فقط  $x$  مجهول است و محاسبه می شود:

$$\alpha = \beta_1 x, \quad f'_{sd} = 595 (\frac{d}{x} - 1) \leq f_y$$

کام یازدهم: (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = \alpha_1 f_{cd} [(b - b_w) h_f (d - \frac{h_f}{2}) + b_w a (d - \frac{a}{2})] + A'_s (f'_{sd} - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

د) فولاد کششی و فشاری هر دو تسلیم شوند:

کام شانزدهم: (محاسبه تنش فولاد کششی و فشاری)

$$f_{sd} = 0.85 \times 700 (\frac{d}{x} - 1), \quad f'_{sd} = 0.85 \times 700 (1 - \frac{d'}{x})$$

کام هیجدهم: (محاسبه  $\alpha$ )

$$A_s f_{sd} = \alpha_1 f_{cd} [(b - b_w) h_f + b_w \beta_1 x] + A'_s (f'_{sd} - \alpha_1 f_{cd})$$

در رابطه فوق  $f_{sd}$  و  $f'_{sd}$  را بر حسب  $x$  می توانیم در خواص مجهول قرار دهیم

$$\alpha = \beta_1 x$$

$$f_{sd} = 595 (\frac{d}{x} - 1) \leq f_y, \quad f'_{sd} = 595 (1 - \frac{d'}{x}) \leq f_y$$

کام نوزدهم: (محاسبه  $M_r$ )

$$M_r = \alpha_1 f_{cd} [(b - b_w) h_f (d - \frac{h_f}{2}) + b_w a (d - \frac{a}{2})] + A'_s (f'_{sd} - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

کام سیزدهم: (محاسبه  $p_b$ ,  $p_r$  و  $p'$ )

$$A_{sf} = \frac{\alpha_1 f_{cd} (b_e - b_w) h_f}{f_{yd}}, \quad p_b = \frac{A_{sf}}{b_w d}$$

$$p_b = \frac{\alpha_1 \beta_1 f_{cd}}{f_{yd}} (\frac{700}{700 + f_y}), \quad p_r = \frac{A_s}{b_w d}, \quad p' = \frac{A'_s}{b_w d}$$

کام چهارم: (بررسی جاری شدن فولاد کششی)

$$f_{sb} = 700 - \frac{d'}{d} (700 + f_y) \leq f_y$$

اگر رابطه زیر برقرار باشد فولاد کششی جاری می شود:

$$p \leq p_b + p_r + p' \frac{f_{sb}}{f_y}$$

کام پنجم: (بررسی تسلیم شدن فولاد فشاری)

اگر رابطه زیر برقرار باشد فولاد فشاری تسلیم می شود:

$$p - p_r - p' (1 - \frac{\alpha_1 f_{cd}}{f_{yd}}) \geq \alpha_1 \beta_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} (\frac{700}{700 + f_y}) \frac{d'}{d}$$

\* با توجه به تسلیم شدن یا شدن فولاد فشاری یا کششی

۴ حالت اتفاق می افتد که در زیر بررسی می شوند:

الف) فولاد کششی و فشاری هر دو تسلیم شوند:

کام شانزدهم: (محاسبه  $\alpha$ )

$$\alpha = \frac{(A_s - A_{sf}) f_{yd} - A'_s (f'_{sd} - \alpha_1 f_{cd})}{\alpha_1 f_{cd} b_w}$$

کام هجدهم: (محاسبه  $M_r$ )

$$A_{sw} = A_s - A_{sf}$$

$$M_r = A_{sf} f_{yd} (d - \frac{h_f}{2}) + A_{sw} f_{yd} (d - \frac{a}{2}) + A'_s (f'_{sd} - \alpha_1 f_{cd}) (d - d')$$

ب) فولاد کششی تسلیم نشود و فشاری تسلیم شود:

کام شانزدهم: (محاسبه تنش فولاد فشاری)

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} (\frac{x - d'}{x})$$

با فرض  $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $\epsilon_{cu} = 0.0035$

$$f'_{sd} = 0.85 \times 700 (1 - \frac{d'}{x})$$



## ۱۴- تفاوت اسبب منقسم با آیین نامه بتن ایران: (محاسبه $p$ و $p'$ در حد مرز)

$$p = \frac{0.7975 \times 0.8825 \times 22.75}{340} \times \frac{700}{700 + 400} = 0.03$$

$$d = 600 - 150 = 450 \text{ mm}$$

$$A_s = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 32^2 = 6433.98 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 20^2 = 1256.64 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{6433.98}{300 \times 450} = 0.0476, \quad p' = \frac{1256.64}{300 \times 450} = 0.0093$$

کام منقسم: (بررسی تسلیم شدن فولاد کششی)

$$f_{sb} = 700 - \frac{65}{450} (700 + 400) = 541 > 400$$

$$\rightarrow f_{sb} = 400 \text{ MPa}$$

$$0.0476 \leq 0.03 + 0.0093 \times \frac{400}{400} = 0.0393$$

پس فولاد کششی تسلیم نمی شود.

کام همگام: (بررسی تسلیم شدن فولاد فشاری)

$$p - p' (1 - \frac{\alpha_1 f_{cd}}{f_{yd}}) = 0.0476 - 0.0093 (1 - \frac{0.7975 \times 22.75}{340})$$

$$= 0.7975 \times 0.8825 \times \frac{22.75}{340} \times \frac{700}{700 + 400} \times \frac{65}{450}$$

$$0.0388 > 0.0043 \quad \text{فولاد فشاری تسلیم نمی شود.}$$

\* چون کشش تسلیم نمی شود فشاری تسلیم می شود حالت "ج" است

کام منقسم: (محاسبه تنش فولاد کششی)

$$f_{sd} = 0.85 \times 700 \left( \frac{450}{x} - 1 \right)$$

کام منقسم: (محاسبه  $\alpha$ )

$$6433.98 \left[ 595 \left( \frac{450}{x} - 1 \right) \right] = 0.7975 \times 0.8825 \times 22.75 \times 300 \times$$

$$+ 1256.64 (340 - 0.7975 \times 22.75)$$

$$\Rightarrow x = 302.89 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0.8825 \times 302.89 = 267.3 \text{ mm}$$

$$f_{sd} = 595 \left( \frac{450}{302.89} - 1 \right) = 288.72 \text{ MPa}$$

آیین نامه بتن ایران نامیده شده است (آیا) مربوط

به سال ۱۳۷۹ است که با معیار عس مقدمات

علی ساختمان و پایش ۹۲ اندکی تفاوت دارد، در

زیر تفاوت های آبا با معیار عس در طراحی منشی

اعضا ذکر می شود:

- در آبا  $\alpha_c = 0.6$  در نظر گرفته می شود.

- در آبا  $\alpha_s = 0.85$  فرض می شود.

- در آبا مقطع  $B_1$  به صورت زیر است:

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & f_c \leq 30 \\ 0.85 - 0.008(f_c - 30) & 30 < f_c \leq 65 \\ 0.65 & f_c > 65 \end{cases}$$

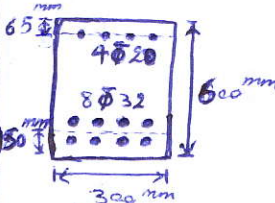
- در آبا حداکثر کشش فشاری بتن ( $\epsilon_{cu}$ ) برابر 0.003

(این فرض باعث می شود که در تمام روابط عدد 700 به 600 تبدیل شود)

- همچنین در آیین نامه بتن ایران حداکثر تنش فولاد

کششی را به 0.025 محدود کرده است.

مثال ۱: فکر مقاومت مقطع منطقی زیر را بدست آورید:



$$f_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

حل: با توجه به بند ۲-۱۰ (صفحه ۲۵ جزوه) ماعل زیر

را انجام می دهیم:

کام اول: (محاسبه  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $f_{cd}$  و  $f_{sd}$ )

$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 \times 35 = 0.7975$$

$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 \times 35 = 0.8825$$

$$f_{cd} = 0.65 \times 35 = 22.75 \text{ MPa}$$

$$f_{sd} = 0.85 \times 400 = 340 \text{ MPa}$$

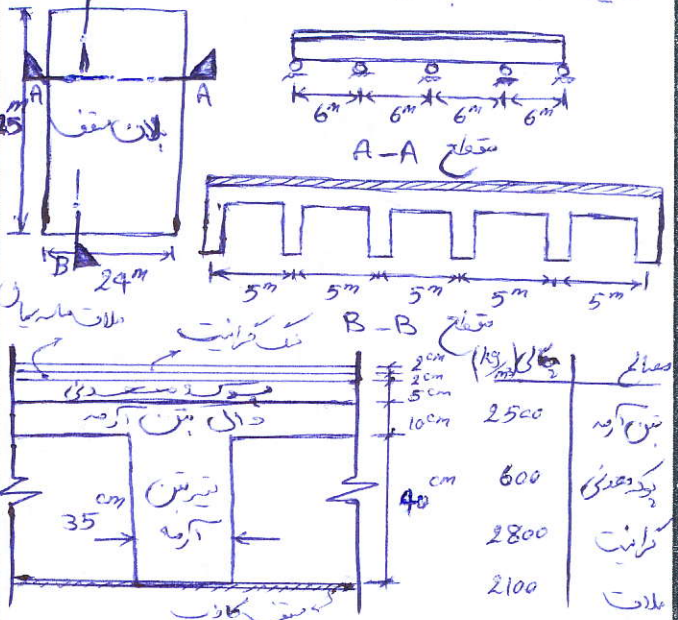


## کام هفتم: (محاسبه لنگر معادل)

$$M_p = 0.7975 \times 22.75 \times 300 \times \frac{267.3}{2} (450 - \frac{267.3}{2}) + 1256.64 (340 - 0.7975 \times 22.75) (450 - 65)$$

$$\rightarrow M_p = 615.97 \times 10^6 \text{ N.m} = 615.97 \text{ kN.m}$$

**مثال ۲:** برطراحی سقف یک ساختمان اداری به ابعاد  $24 \times 25$  متر لژیتهایی به دهانه  $6$  متر و به فاصله محور تا محور  $5$  متر از یکدیگر استفاده شده است (همانند شکل زیر) در صورتی که تیرها با دال سقف به صورت یکپارچه بین تیرها شوند و جزئیات سقف به صورت زیر باشد مقدار فولاد مورد نیاز در تیرها را محاسبه کنید. ( $f_c = 30 \text{ MPa}$ ,  $f_y = 400 \text{ MPa}$ )



بار معادل سقف کاذب به همراه طبقه بندی هارا  $150 \text{ kg/m}^2$  در نظر بگیرید. همچنین مقدار سربار زنده را  $300 \text{ kg/m}^2$  بپذیرد.

**جواب:** معادلی که در ادامه می شود تیرها از نوع آنشکل هستند پس برای طراحی کلی لژیتهای آنشکل می باشد مطابق بند ۱۱-۲ (صفحه ۱۷ جزوه) عمل می کنیم.

## کام اول: (محاسبه $M_u$ )

ابتدا براساس جزئیات داده شده بار کمره خطی وارده برین تیر را محاسبه می کنیم و سپس با استفاده از روش بخش لنگر  $M_u$  را محاسبه می کنیم.

معمایه وزن واحد سطح	معمایه سطح
$0.1 \times 2500 = 250 \text{ kg/m}^2$	دال بتن آرمه
$0.05 \times 600 = 30 \text{ kg/m}^2$	پوکه معدنی
$0.02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$	ملات سارسیما
$0.02 \times 2800 = 56 \text{ kg/m}^2$	سنگ گرانیت
$150 \text{ kg/m}^2$	بار معادل سقف کاذب و طبقه بندی ها
$528 \text{ kg/m}^2$	مجموع

$$q_D = 0.35 \times 0.4 \times 2500 = 350 \text{ kg/m}$$

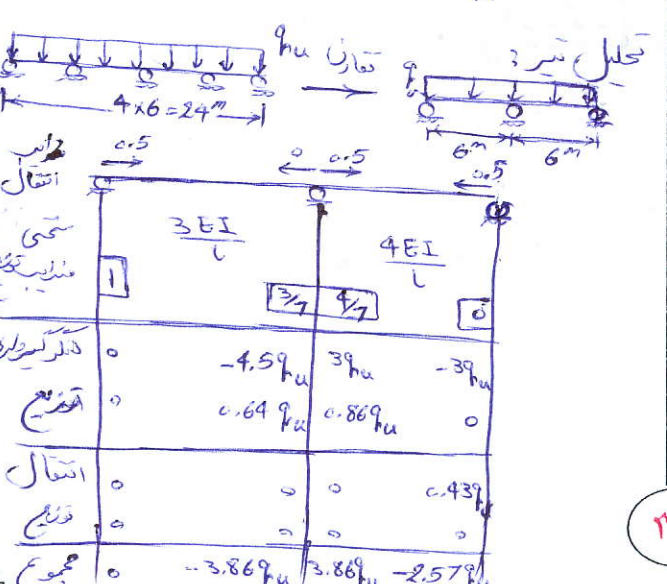
$$q_D = 528 \times 5 = 2990 \text{ kg} = 29.9 \text{ kN/m}$$

$$q_L = 300 \times 5 = 1500 \text{ kg} = 15 \text{ kN/m}$$

(\* 5 متر عرض بار کمره هر تیر می باشد است.)

$$q_u = 1.25 q_D + 1.5 q_L = 1.25 \times 29.9 + 1.5 \times 15$$

$$\Rightarrow q_u = 59.875 \text{ kN/m}$$





کام دوم: (محاسبه  $b_e$ )

$$b_e = \min \left\{ \begin{aligned} &16 \times 100 + 350 = 1950 \text{ mm} \\ &b_1 + b_w = 5000 \text{ mm} \\ &0.25 l_n = 0.25 \times 6000 = 1500 \text{ mm} \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow b_e = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 500 - 70 = 430 \text{ mm}$$

کام سوم: (محاسبه  $M_{rp}$ )

$$M_{rp} = 0.805 \times 19.5 \times 1500 \times 100 (430 - 50) \times 10^{-6}$$

$$\Rightarrow M_{rp} = 894.76 \text{ kN.m}$$

$$M_u^+ < M_{rp} \rightarrow \text{تأثیرش در پل قابل فرورد است}$$

پس عملکرد تیر مستطیلی است و باید طبق بند ۲-۵ (صفحه ۲۲ جزوه)

اداره طراحی را انجام دهیم: کام چهارم: (محاسبه  $A_s$ )

$$A_s = \frac{0.805 \times 19.5 \times 1500 \times 430}{340} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 166.45 \times 10^6}{0.805 \times 19.5 \times 1500 \times 430}} \right)$$

$$\Rightarrow A_s = 1161.14 \text{ mm}^2$$

کام پنجم: (محاسبه  $\rho_{min}$  و  $\rho_{max}$ )

$$\rho_b = \frac{0.805 \times 0.875 \times 19.5}{340} \left( \frac{700}{700 + 400} \right) = 0.0263$$

$$\rho_{max} = \min \{ 0.025, 0.0263 \} = 0.025$$

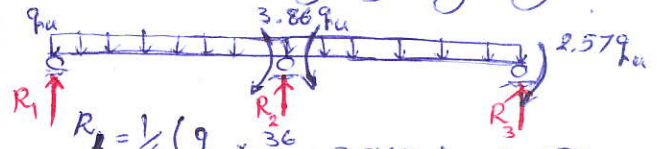
$$\rho_{min} = \max \left\{ \begin{aligned} &\frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035 \\ &\frac{0.25 \sqrt{30}}{400} = 0.0034 \end{aligned} \right\} = 0.0035$$

کام ششم: (بررسی ضوابط آیین نامه)

$$\rho = \frac{1161.14}{350 \times 430} = 0.00771$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \sim \text{o.k.}$$

محاسبه عکس العمل برای تیرهای گانجی:

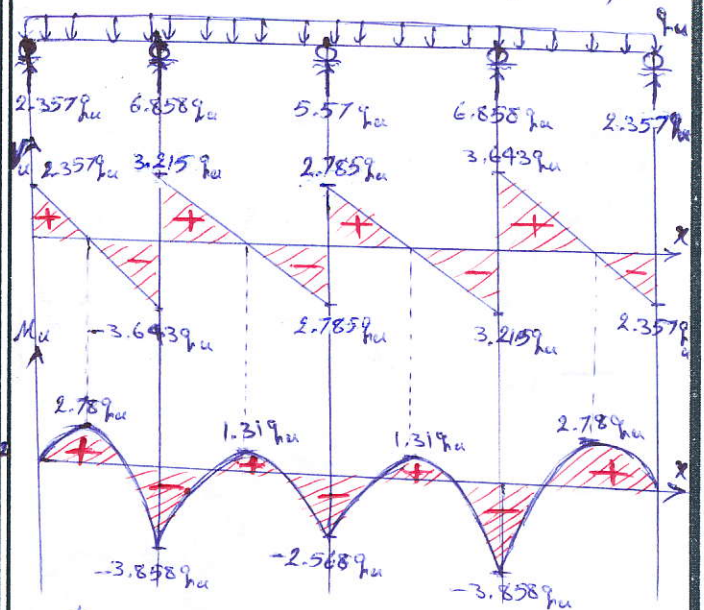


$$R_1 = \frac{1}{6} \left( q_u \times \frac{36}{2} - 3.86 q_u \right) = 2.357 q_u$$

$$R_3 = \frac{1}{6} \left( q_u \times \frac{36}{2} + 2.57 q_u - 3.86 q_u \right) = 2.785 q_u$$

$$R_2 = 6.858 q_u$$

رسم دیاگرام های نیروی برشی و لنگر خمشی:



$$M_u^+ = 2.78 q_u = 2.78 \times 59.875 = 166.45 \text{ kN.m}$$

$$M_u^- = 3.858 q_u = 3.858 \times 59.875 = 231.1 \text{ kN.m}$$

\* در صورت گاهی که لنگر خمشی مثبت است عملکرد تیر T

شکل است و برای لنگر  $M_u^+$  طراحی می کنیم در قسمت قائم

که لنگر خمشی منفی است عملکرد تیر مستطیلی است و طراحی طبق

بند ۲-۵ (صفحه ۲۲ جزوه) انجام می شود.

الف) طراحی برای لنگر خمشی مثبت ( $M_u^+$ )

$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 \times 30 = 0.805$$

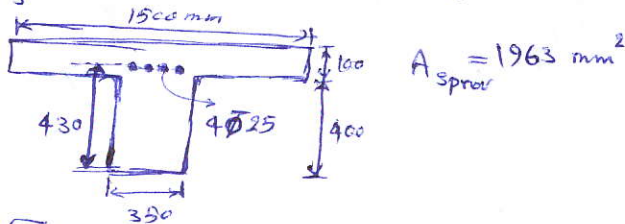
$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 \times 30 = 0.895$$

$$f_{cd} = 0.65 \times 30 = 19.5 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = 340 \text{ MPa}$$



**کام هفتم:** انتخاب میلگرد و آرایش آن در مقطع

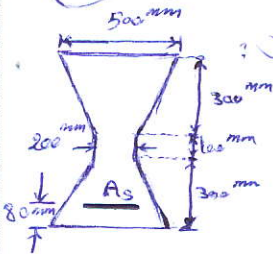
$A_s = 1817.81 \text{ mm}^2 \rightarrow \therefore \text{use } 4 \Phi 25$



فاصله آزاد بین میلگردها  $= \frac{350 - 2(45 + 10) - 4 \times 25}{3} = 46.6 \text{ mm}$

$46.6 \text{ mm} > \max\{25, 25\} = 25 \text{ mm} \text{ o.k.}$

**مثال ۳:** برای کاهش وزن بتن مسلح از مقطع زیر



استفاده شده است. مطلوب است:

الف) محاسبه مقدار فولاد متعادل

ب) و لنگر مقاوم متناظر با این

میلگرد فولاد ( $M_{rb}$ )



ج) اگر میلگرد کاهش بتن به شکل های بلند و پست

میزان نصف فولاد کششی محاسبه شده در صورت قبل فولاد

تزاری در مقطع قرار دهم ( $d = 80 \text{ mm}$ ) میلگرد مقاوم مقطع

میلگرد مقاوم افزایش می یابد و حداکثر میلگرد رزده کمتر از رزده

محاسبه می توانیم قرار دهم.

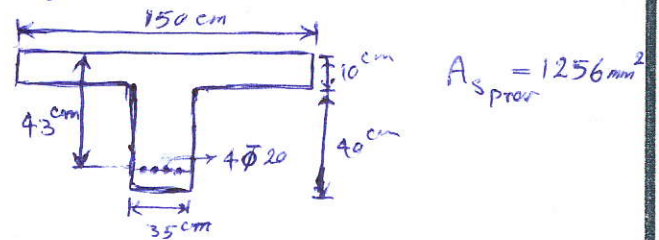
( $f_c = 25 \text{ MPa}$  ,  $f_y = 420 \text{ MPa}$ )

**جواب:** چون شکل مقطع متبیلی یا T شکل نیست

می توانیم شرایط مربوط به آنجا استفاده کنیم و باید با استفاده از

**کام هشتم:** انتخاب میلگرد و آرایش آن در مقطع

$A_s = 1161.14 \text{ mm}^2 \rightarrow \therefore \text{use } 4 \Phi 20$



فاصله آزاد بین میلگردها  $= \frac{350 - 2(45 + 10) - 4 \times 20}{3} = 53.3 \text{ mm}$

$53.3 \text{ mm} > \max\{25, 20\} = 25 \text{ mm} \text{ o.k.}$

ب) طراحی برای لنگر خمشی منفی ( $M_u$ )

**کام نهم:** ( $M_u$ )

$M_u = 231 \text{ K.N.m}$

این مقدار قبل محاسبه شده اند

**کام دهم:** (تعیین ابعاد مقطع)

ابعاد مقطع در صورت سوال داده شده است و نیازی به این

$d = 500 - 70 = 430 \text{ mm}$

کام نهم: فقط در نظر

**کام یازدهم:** (محاسبه  $\rho_{min}$ ,  $\rho_{max}$ ,  $\rho_{bal}$  و  $\rho_{opt}$ )

این مقادیر قبل محاسبه شده اند

**کام چهارم:** (محاسبه فولاد کششی)

$A_s = \frac{0.805 \times 19.5 \times 350 \times 430}{340} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 231 \times 10^6}{0.805 \times 19.5 \times 350 \times 430^2}} \right)$

$\rightarrow A_s = 1817.81 \text{ mm}^2$

**کام پنجم:** (محاسبه  $\rho_{min}$  و  $\rho_{max}$ )

این مقادیر قبل محاسبه شده اند:

$\rho_{min} = 0.0035$

$\rho_{max} = 0.025$

**کام ششم:** (بررسی ضوابط سیم هم)

$\rho = 0.012$  و  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$  o.k.



(الف) برای محاسبه  $A_{sb}$  براساس بند ۲-۶ (مختار ۲ الف)

عملی کنیم:

**کار اول:** (محاسبه  $\alpha_1$  و  $\beta_1$  و  $f_{cd}$  و  $f_{sd}$ )

$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 \times 25 = 0.8125$$

$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 \times 25 = 0.9075$$

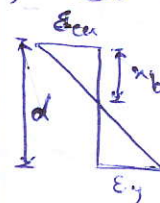
$$f_{cd} = 0.65 \times 25 = 16.25 \text{ MPa}$$

$$f_{sd} = 0.85 \times 420 = 357 \text{ MPa}$$

**کار دوم:** (تعیین محل نازشی)

در حالت تعادل کرنش ضرایب  $\epsilon_{cu}$  است و کرنش

فولاد کششی  $\epsilon_s$  است پس این خطی برین کرنش ها داریم:

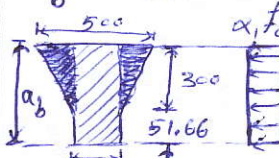


$$x_b = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} d$$

$$\Rightarrow x_b = \frac{700}{700 + 420} \times 620 = 387.5 \text{ mm}$$

**کار سوم:** (محاسبه متکامل فولاد متعادل)

$$a_b = 0.9075 \times 387.5 = 351.66 \text{ mm}$$



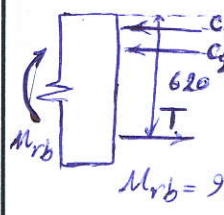
توازن:  $C_1 + C_2 = T$

$$C_1 = 0.8125 \times 16.25 \times 200 \times 300 = 792.187 \times 10^3 \text{ N}$$

$$C_2 = 0.8125 \times 16.25 \times 150 \times 300 = 594.14 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\Rightarrow A_{sb} = \frac{C_1 + C_2}{f_{sd}} = \frac{1522.7 \times 10^3}{357} = 4265.36 \text{ mm}^2$$

**کار چهارم:** (محاسبه  $M_{rb}$ )



$$M_{rb} = C_2 (620 - 175.83) + C_1 (620 - 100)$$

$$M_{rb} = 928.6 \times 10^3 \times 444.17 + 594.14 \times 10^3 \times 520$$

$$\Rightarrow M_{rb} = 721.4 \times 10^6 = 721.4 \text{ kN.m}$$

(ب)

**کار اول:** (محاسبه  $M_{u1}$ )

وزن بار مرده

$$q_u = A_g \times \gamma_c = [2 \times 0.3 \times 0.35 + 0.2 \times 0.1] \times 25$$

$$= 5.75 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1.25 q_D + 1.5 q_L = 1.25 (12 + 5.75) + 1.5 \times 20$$

$$\Rightarrow q_u = 52.1875 \text{ kN/m}$$

تیر به سراده است و

$$M_{u1} = q_u \frac{l^2}{8}$$

$$M_{u1} = 52.1875 \times \frac{8^2}{8} = 417.5 \text{ kN.m}$$

چون  $M_{u1}$  کوچکتر از  $M_{rb}$  است پس نیاز به فولاد ضرایب

نکریم و فولاد کششی جاری می شود.

**کار دوم:** (تعیین محل نازشی)

برای آنکه بهینه نازشی در سمت ذوزنچه ای است یا مستطیلی

ابتدا کرنش را باعث می شود نازشی تقریباً در محل اتصال آنها

باشد را پیدا می کنیم. ( $M_{r0}$ )

$$C_1 = 594.14 \times 10^3 \text{ N}$$

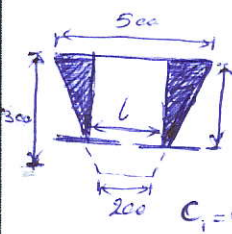
$$C_2 = 0.8125 \times 16.25 \times 200 \times 300 = 792.187 \times 10^3 \text{ N}$$

$$M_{r0} = (594.14 \times 10^3 \times 520 + 792.187 \times 10^3 \times 470) \times 10^{-6}$$

$$\Rightarrow M_{r0} = 681.28 \text{ kN.m}$$

چون  $M_{u1}$  کوچکتر از  $M_{r0}$  است پس نازشی در سمت

ذوزنچه ای قرار دارد.



**کار سوم:** (محاسبه  $A_s$ )

ماتریه

$$l = 500 - \frac{200a}{300}$$

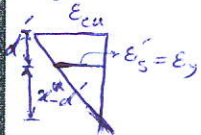
$$C_1 = 0.8125 \times 16.25 \times a \left( \frac{2}{3} a \right) = 8.8 a^2$$

$$C_2 = 0.8125 \times 16.25 \times a \left( 500 - \frac{2}{3} a \right) = 13.2 a \left( 500 - \frac{2}{3} a \right)$$



**کام دوم:** (بررسی جاری شدن فولاد فشاری)

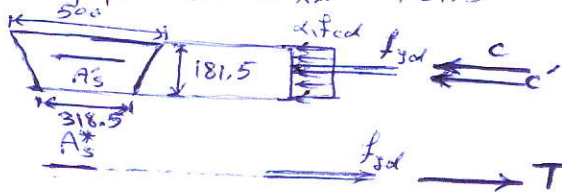
ابتدا حد تحمل فولاد کششی که باعث جاری شدن فولاد فشاری می شود محاسبه می کنیم و با  $A_s$  مقایسه می کنیم.



$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \left( \frac{x-d'}{x} \right)$$

$$\Rightarrow x^* = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} - \epsilon_y} d' = \frac{700}{700 - 420} \times 80 = 200 \text{ mm}$$

$$\alpha^* = \beta_1 x^* = 0.9075 \times 200 = 181.5 \text{ mm}$$



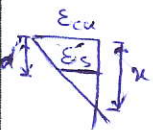
$$\text{توازن: } T = C + C' + f_{yd} A_s$$

$$A_s^* = \frac{0.8125 \times 16.25}{357} \left( 181.5 \times \frac{500 + 318.5}{2} \right) + A_s \left( 1 - \frac{0.8125 \times 16.25}{357} \right)$$

$$\Rightarrow A_s^* = 3069.25 \text{ mm}^2$$

چون  $A_s$  کمتر از  $A_s^*$  است پس فولاد فشاری جاری نمی شود.

**کام سوم:** (محاسبه تنش فولاد فشاری)



$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \left( \frac{x-d'}{x} \right)$$

$$\Rightarrow f_{sd} = 595 \left( 1 - \frac{d'}{x} \right) \leq f_{yd}$$

**کام چهارم:** (محاسبه  $\alpha$ )

طبق کلام سوم سمت چپ داریم:

$$C_1 = 8.8 \alpha^2 \text{ و } C_2 = 13.2 \alpha \left( 500 - \frac{2}{3} \alpha \right)$$

$$C = A_s' (f_{yd} - \alpha f_{sd}) = 1031.56 \times \left[ 595 \left( 1 - \frac{0.9075 \times 80}{\alpha} \right) - 13.2 \right]$$

$$\Rightarrow C = 613778.2 \left( 1 - \frac{72.6}{\alpha} \right) - 13619.8$$

$$T = A_s f_{yd} = 2063.13 \times 357 = 736537.41$$

$$\text{توازن: } T = C_1 + C_2 + C'$$

و معادله فوق فقط  $\alpha$  مجهول است و داریم:

$$\alpha = 93.15 \text{ mm}$$

$$\text{توازن: } C_1 + C_2 = T \rightarrow$$

$$8.8 \alpha^2 + 13.2 \alpha \left( 500 - \frac{2}{3} \alpha \right) = 357 A_s$$

$$\Rightarrow \alpha = 0.0541 A_s \quad (1)$$

$$\text{حد تحمل: } M_u = C_1 \left( 620 - \frac{\alpha}{3} \right) + C_2 \left( 620 - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$417.5 \times 10^6 = 8.8 \alpha^2 \left( 620 - \frac{\alpha}{3} \right) + 13.2 \alpha \left( 500 - \frac{2}{3} \alpha \right) \left( 620 - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$\alpha = 111.57 \text{ mm}$$

در معادله فوق فقط  $\alpha$  مجهول است و داریم:

$$(1) \quad A_s = \frac{111.57}{0.0541} = 2063.13 \text{ mm}^2$$

$$\therefore \text{Use } 4 \Phi 26$$

$$A_{s \text{ prov}} = 2123.7 \text{ mm}^2$$

چون مقدار  $A_s$  کمتر از  $A_{sb}$  است

پس کنترل تقاطع لازم است

$$\text{فاصله کاردار بین ستون ها} = \frac{420 - 2(45 + 10) - 4 \times 26}{3} = 68.6 \text{ mm}$$

$$68.6 \text{ mm} > \max \{ 25, 26 \} = 26 \text{ mm} \quad \text{o.k.}$$

(ج)

**کام اول:** (بررسی جاری شدن فولاد کششی)

$$A_s = 2063.13 \text{ mm}^2 \text{ و } A_s' = 1031.56 \text{ mm}^2$$

چون طراحی بر اساس گشت فشر انجام شده است و همچنین سمت فشاری تقویت شده است حتی فولاد کششی جاری می شود. حال برای اطمینان رابطه زیر را در تقاطع قابل استاده

هستند بررسی می کنیم:

$$f_{sb}' = 700 - \frac{d'}{\alpha} (700 + f_{yd}) \leq f_{yd} \rightarrow$$

$$f_{sb}' = 700 - \frac{80}{620} (700 + 420) = 555 \sim f_{sb}' = 420 \text{ MPa}$$

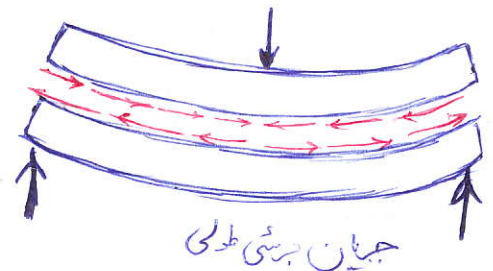
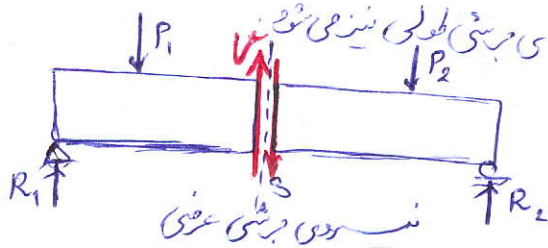
$$\text{فولاد کششی جاری می شود} \rightarrow f_{sb}' \leq f_{yd}$$

$$2063.3 < 4265.3 + 1031.56 \times \frac{420}{420} \quad \text{o.k.}$$

## \* فصل دوم: طراحی اعضا تحت برش \*

۱-۳) مقدمه: یک تیر ساده با مقطع ثابت در تحت اثر یک بار متمرکز دلخواه

است مورد مطالعه قرار می گیرد. در مقطع دلخواه S، نیروی برشی و گشتاد برش را می توانیم محاسبه کنیم. این تنش برشی باعث ایجاد تنش های محاسی (برشی) در مقطع فوق الذکر می شود. نیروی برشی علاوه بر تنش های برشی محاسی، باعث ایجاد تنش های برشی طولی نیز می شود.



چنانچه برشی طولی آرد الان واقع در محور قشری چنین چیزی می باشد و طبق اصول مقاومت مصالح تنش های کششی یا فشاری بر روی وجود این المان وجود ندارد و فقط بر روی وجه قائم این المان به علت تعادل نیروها تنش های برشی در خلاف جهت یکدیگر به وجود می آید. آرد این تنش ها تنش های برشی این المان باشند باعث معطل آن می شوند و پس باید روی وجه قائم این تنش های برشی خلاف جهت هم وجود داشته باشند.

کام پنجم: (محاسبه  $M_2$ )  
پانزدهمین معادل تنش در محل فولاد کششی داریم:

$$M_{r2} = C_1(620 - \frac{a}{3}) + C_2(620 - \frac{a}{2}) + C'(620 - 80)$$

$$a = 93.15 \rightarrow M_{r2} = 419.48 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$M_{r1} = M_u = 417.5 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

$$\frac{M_{r2}}{M_{r1}} = 1.005 \rightarrow \text{افزایش گشتاد} = 0.5\%$$

همان طور که ملاحظه می شود زمانی که فولاد کششی تسلیم می شود فولاد فشاری (تنشی) در مقاومت خمشی مقطع ندارد و می توانیم از فولاد فشاری صرف نظر کنیم.

کام ششم: (محاسبه مقدار بار زنده متمرکز)

در اثر بار متمرکز گشتاد خمشی در وسط تیر به انداز  $\frac{P_u l}{4}$  افزایش می یابد. حال داریم:

$$M_{r2} = M_u + \frac{P_u l}{4}$$

$$419.48 = 417.5 + \frac{P_u \times 8}{4} \rightarrow P_u = 0.99 \text{ kN}$$

$$P_u = 1.5 P_L \rightarrow P_L = 0.66 \text{ kN} = 660 \text{ N}$$

همان طور که ملاحظه می شود با قرار دادن فولاد فشاری (مواکنش به انداز 660 نیوتن) بار زنده می توانیم در وسط دهانه قرار دهیم (تقریباً به انداز وزن یک انسان معمولی (67 kg)).



جدول ۱: انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن

رتبه‌بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن ( $N/mm^2$ )				
	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰ و ۳۵	۴۰ و بیشتر
الف	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
ب	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵
ج	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵

جدول ۲: رتبه‌بندی کارگاه‌ها بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت

شرایط تولید و کنترل			وضعیت کنترل کیفیت		
			الف	ب	ج
توزین یا پیمانه کردن سیمان	وزنی	وزنی	حجمی	وزنی	حجمی
توزین یا پیمانه کردن سنگدانه	وزنی	وزنی	حجمی	حجمی	حجمی
کنترل دانه‌بندی سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل	کنترل شده	بدون کنترل
کنترل رطوبت سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل	کنترل شده	بدون کنترل
نظارت بر تولید	در سطح عالی	در سطح خوب	در سطح ضعیف	در سطح خوب	در سطح ضعیف
امکانات آزمایشگاهی	موجود است	موجود است	در سطح محدود	موجود است	در سطح محدود
تداوم در آزمایش	مداوم	گاهی اوقات	در سطح محدود	گاهی اوقات	در سطح محدود
نیروی متخصص تولید بتن	وجود دارد	وجود دارد	در سطح محدود	وجود دارد	در سطح محدود



