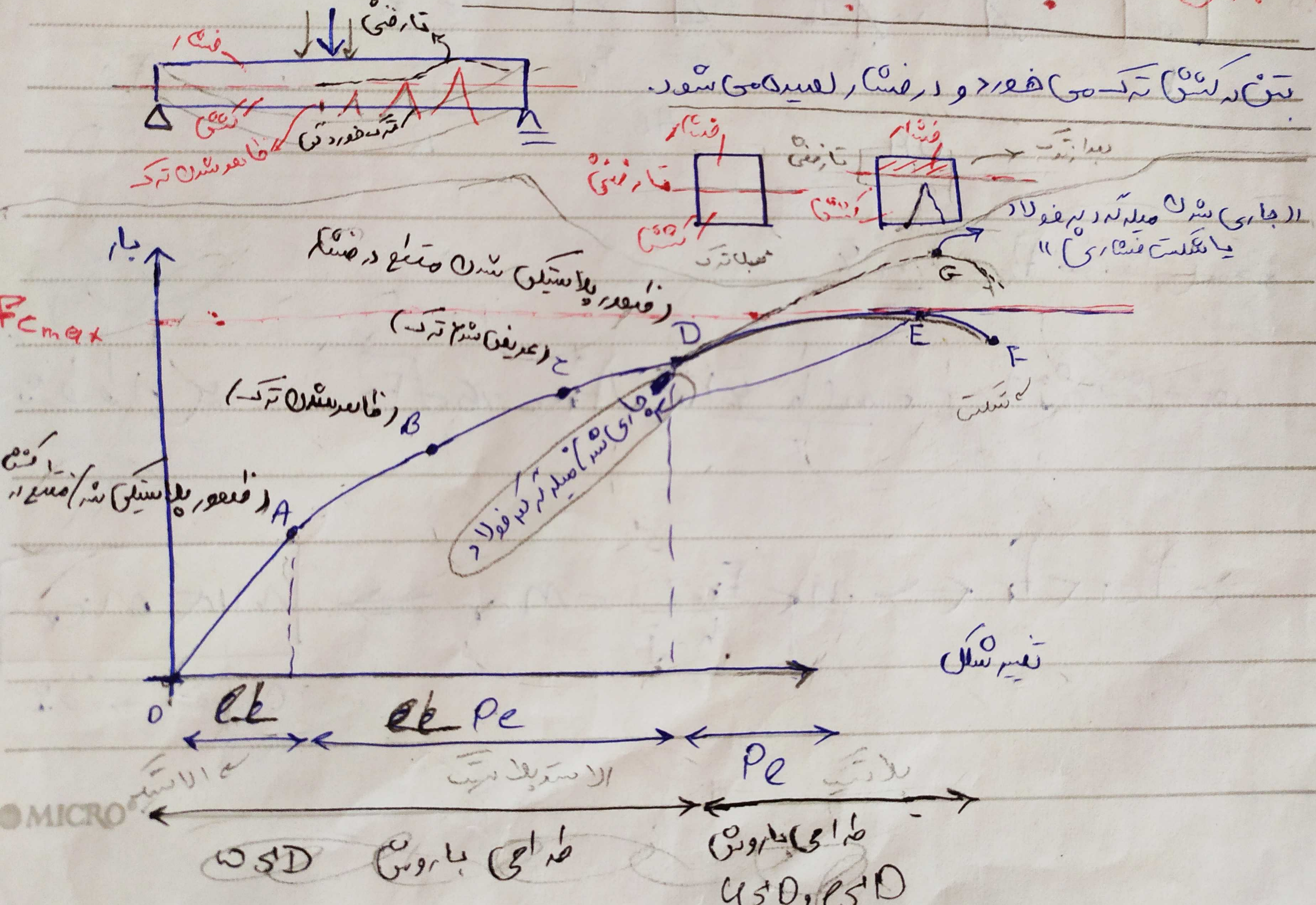
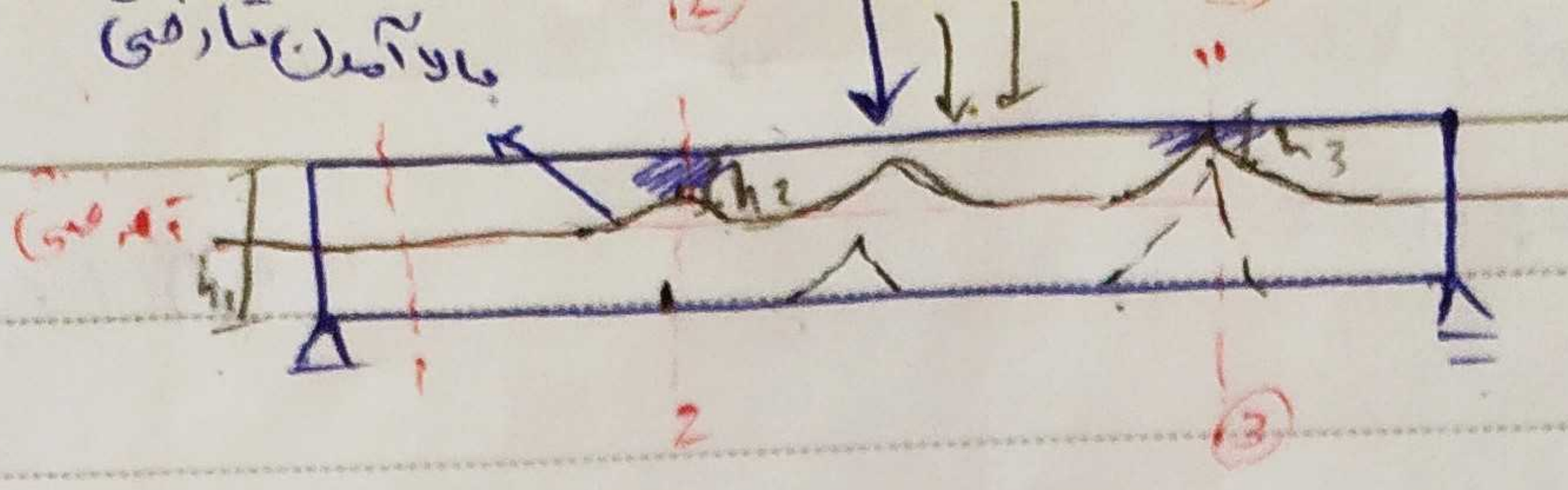
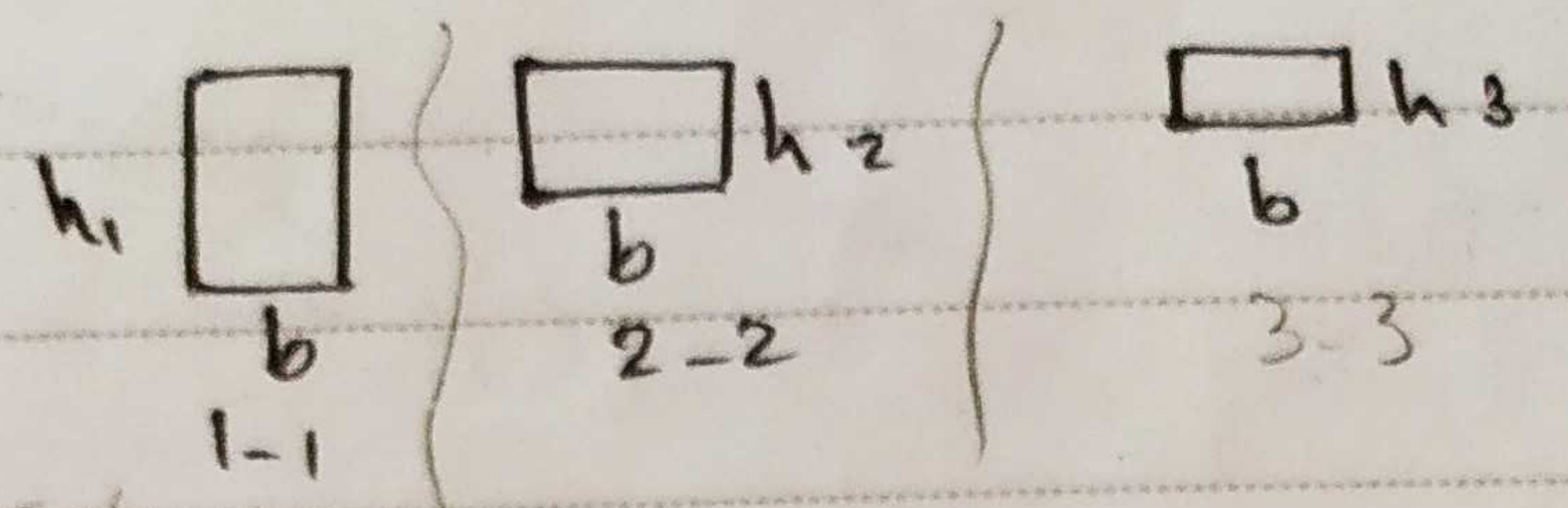
## * بررسی رفتار یک تیر تحت خمش و کنترل ترک خوردگی :

بتن در کشش ترک می خورد و در فشار لهیده می شود.


تار خنثی
فشار
کشش
ترک خوردگی
ظاهر شدن ترک
فشار
تار خنثی
کشش
محل ترک
فشار
تار خنثی
کشش
بعد از ترک
«جاری شدن میلگرد فولاد
یا شکست فشاری»
G
بار
Fcmax
(ظهور پلاستیک شدن مقطع در فشار
(عریض شدن ترک)
C
D
E
F
شکست
(ظاهر شدن ترک)
B
(ظهور پلاستیک شدن مقطع در کشش
A
جاری شدن میلگرد فولاد
تغییر شکل
O
el
el Pe
Pe
الاستیک
الاستوپلاستیک
پلاستیک
طراحی با روش WSD
طراحی با روش
USD, LSD


بالا آمدن تار خنثی
تار خنثی
h1
h2
h3
2
3

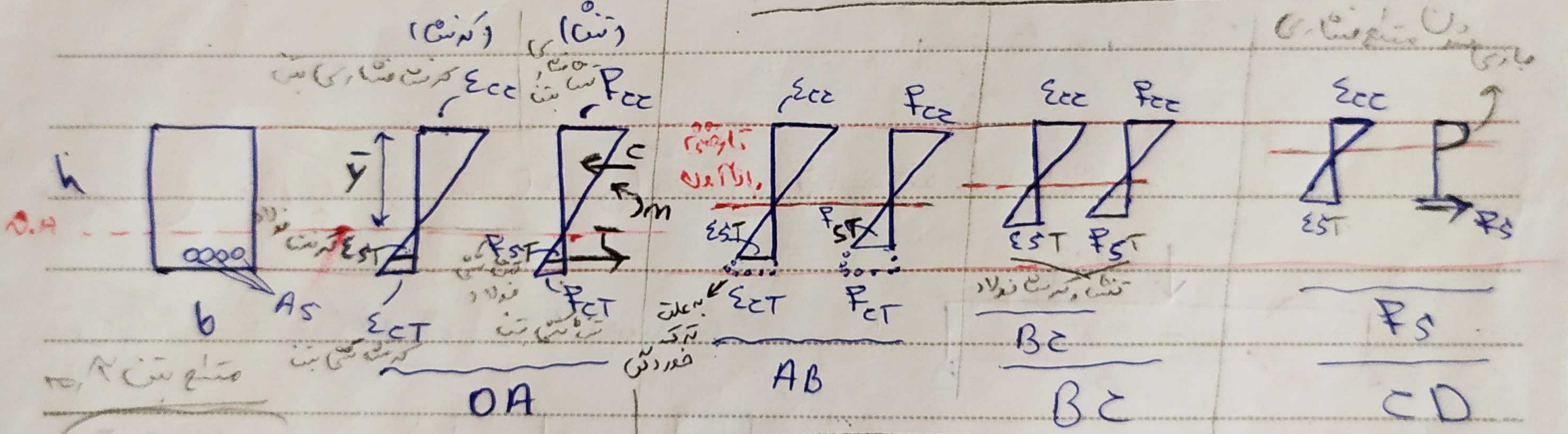

h1
b
1-1
h2
b
2-2
h3
b
3-3

وقتی که ترک می‌خورد آن قسمت ترک خورده از مقطع خارج می‌شود و ~~[illegible]~~ به شکل‌های

نشان داده شده به صورت فوق در می‌آید و تار خنثی روی ترک به سمت فشار بالا می‌آید

و سطح مقطع فشاری کم تر می‌شود تا به حالت D در روی دیاگرام ۱ صفحه قبل در آید.

⊗ دیاگرام ۱ تنش و دیاگرام ۲ کرنش مقطع بتن آرمه


(کرنش)
(تنش)
ε_cc کرنش فشاری بتن
f_cc تنش فشاری بتن
h
ȳ
C
M
T
ε_sT
f_sT
ε_cT کرنش کششی بتن
f_cT
As
b
بالا آمدن تار خنثی
ناحیه ترک خورده
تنش کرنش فولاد
BC
f_s
OA
AB
BC
CD

| C: مجموع نیروی فشاری | T: مجموع نیروی کششی | M: لنگر مقاوم مقطع |
|---|---|---|
| $\varepsilon_{cc}$ کرنش فشاری بتن | $f_{cc}$ تنش فشاری بتن | |
| $\varepsilon_{cT}$ کرنش کششی بتن | $f_{cT}$ تنش کششی بتن | |
| $\varepsilon_{sT}$ کرنش کششی میلگرد | $f_{sT}$ تنش کششی میلگرد | |

تنش فشاری موجود بتن $f_{cc} = \frac{M\bar{y}}{I}$

از نوع تنش خمشی می‌باشد.

شرط طراحی: تنش کششی موجود بتن $f_{cT} = \frac{M(h-\bar{y})}{I} < f_r = 0.6\sqrt{f_c}$ تنش مجاز

اساس مقطع کششی S

$$\Rightarrow f_{cT} < f_r \Longleftrightarrow M < \frac{f_r \cdot I}{h-\bar{y}} = M_{cr} \Longrightarrow \boxed{M < M_{cr}}$$

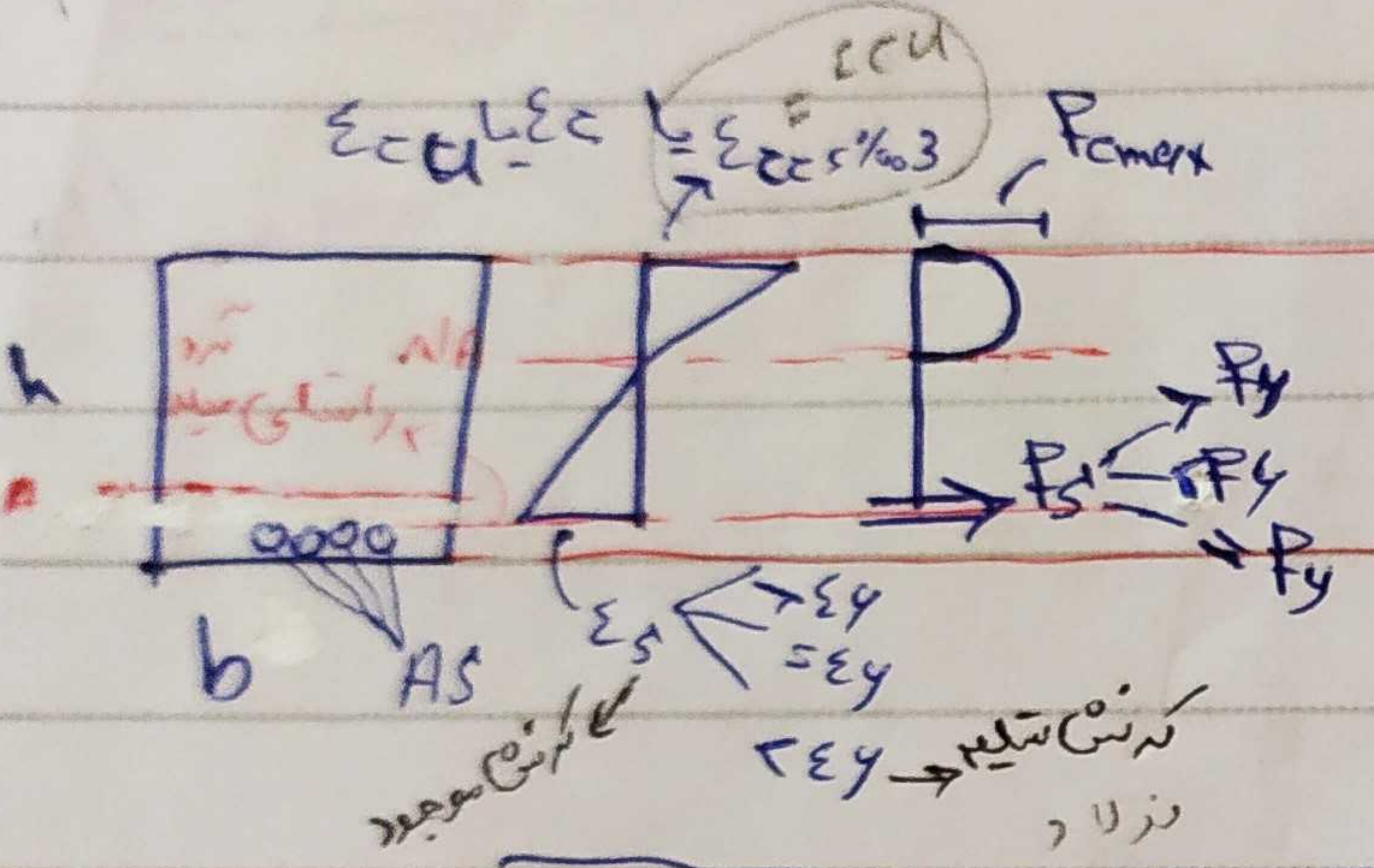
شرط ترک نخوردن

$$f = \frac{M}{S} \Rightarrow M = f \cdot S$$

شرط ترک خوردن $f_{cT} \geq f_r \Rightarrow M \geq M_{cr}$

$M = M_{cr}$ اولین لنگری که باعث ترک در مقطع سازه (بدون در نظر گرفتن آرماتور) می‌شود.

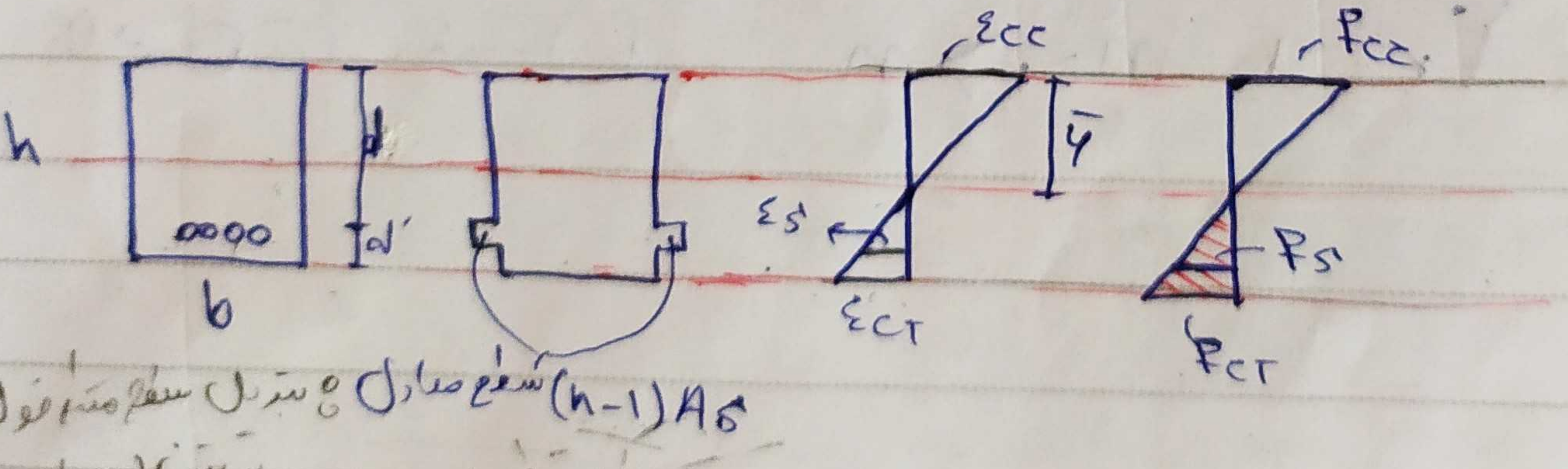
در دیاگرام صفحه قبل در شاخه OA ترک نمی‌خورد و در شاخه AD ترک می‌خورد.


$\varepsilon_{cu}$ یا $\varepsilon_c \leq$ یا $\varepsilon_{cc} \leq 3‰ = \varepsilon_{cu}$
$f_{cmax}$
h
NA
تار خنثی
b
As
$\varepsilon_s$
$>\varepsilon_y$
$=\varepsilon_y$
$<\varepsilon_y$
کرنش موجود
کرنش تسلیم فولاد
$f_y$
$f_s$
$f_y$
$f_y$

$DE \simeq EF \simeq DG$

## کنترل ترک خوردگی:

الف) زمانی که مقطع ترک نخورده باشد (Uncracke):


h
b
d
d'
$\varepsilon_{cc}$
y
$\varepsilon_s$
$\varepsilon_{cT}$
$f_{cc}$
$f_s$
$f_{cT}$

$(n-1)A_s$ مقطع معادل و تبدیل سطح مقطع فولاد به بتن (مقطع تبدیل یافته)

یک سطح مقطع $nA_s$ داریم، $(n-1)$ برابر $A_s$ نیاز داریم.

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\begin{cases} E_s = 2\times10^5 \text{ MPa} \\ E_c = 5000\sqrt{f'_c} \end{cases}$$

مبحث ۹ [illegible]

Subject :

Date

**محاسبات:** 1- محاسبه سطح مقطع تبدیل یافته: $(n-1)A_s'$

2- محاسبه تار خنثی $\bar{y} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$

3- محاسبه ممان اینرسی تبدیل یافته $I_t$

$$I_t = \frac{bh^3}{12} + b.h\left(h/2 - \bar{y}\right)^2 + (n-1)A_s'\left(d-\bar{y}\right)^2$$

4) محاسبه تنش های موجود در مقطع

$$f_{cc} = \frac{M\bar{y}}{I_t}$$

$$f_{cT} = \frac{M(h-\bar{y})}{I_t}$$

$$f_{ST} = \frac{n.\overset{M}{\cancel{m}}(d-\bar{y})}{I_t}$$

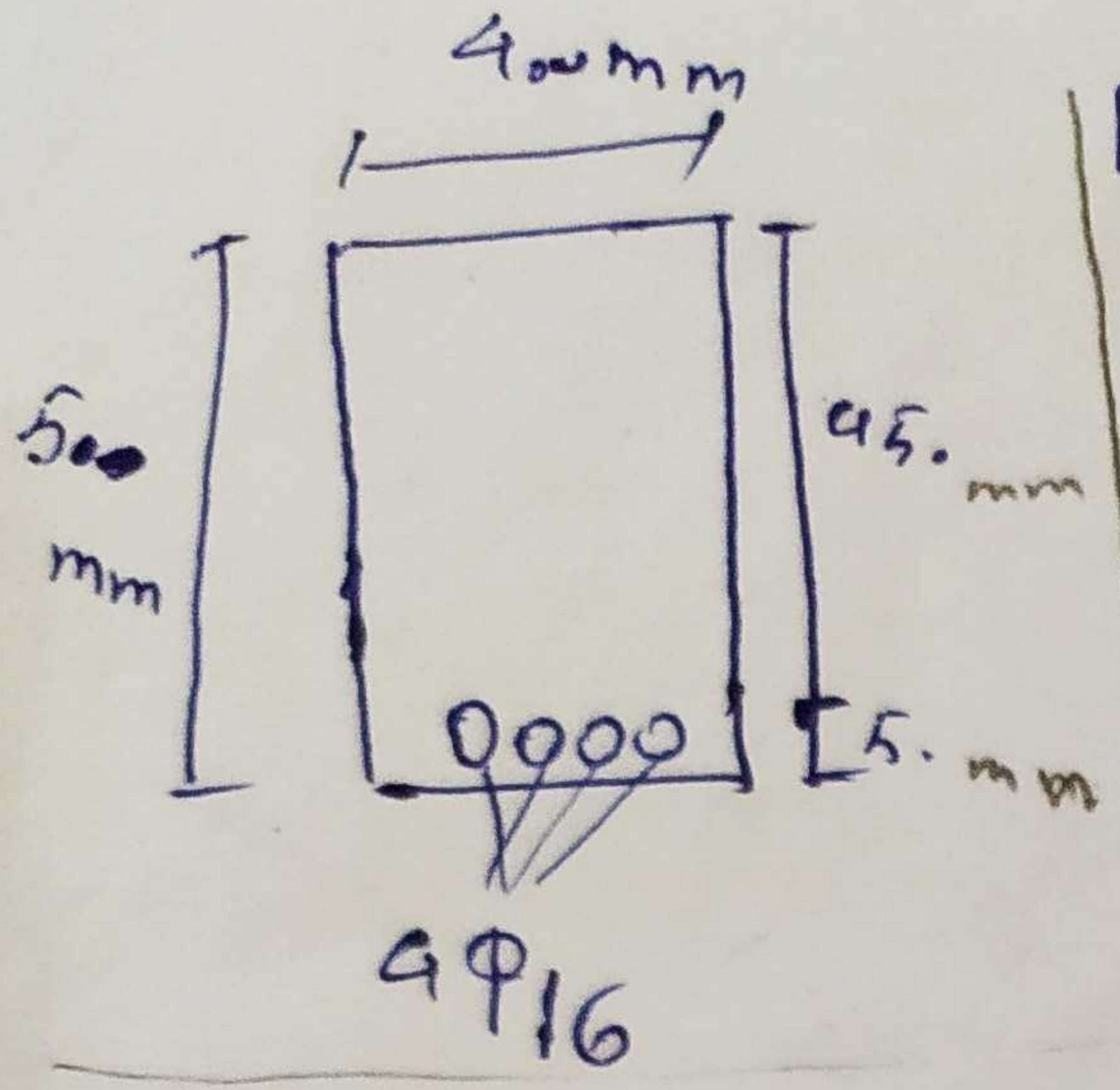
$$\boxed{f_r = /6\sqrt{f_c}}$$

مقاومت مشخصه فشاری بتن

5) کنترل ترک نخوردن $\boxed{f_{cT} < f_r}$ یا $M_{cr} > M$

(3')

**مثال ۱)** مقطع بتن آرمه زیر، بررسی کنید که زمانی که تیر ترک می‌خورد آیا شرط ترک خوردگی مقطع وجود دارد یا خیر؟



$E_s = 2\times10^5$ MPa , $M = 15$ kN.m $= 15\times10^6$ N.mm

$E_c = 5000\sqrt{f_c}$

$f_c = 30$ MPa

حل

$$E_c = 5000\sqrt{f_c} = 5000\sqrt{30} = 27386{,}12 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2\times10^5}{27386{,}12} = 7{,}30$$

گام اول: $nA_s = 7{,}30\left(4\pi(8^2)\right) = 5873{,}39 \text{ mm}^2$

گام دوم: $\frac{1}{2}bx^2 - nA_s(d-x) = 0 \Rightarrow 200x^2 - 5873{,}39(450-x) = 0$

$$\Rightarrow \boxed{x = 101{,}20}$$

گام سوم: $I_{cr} = \frac{1}{3}bx^3 + nA_s(d-x)^2 = \frac{400(101{,}20)^3}{3} + 5873{,}39(450-101{,}2)^2$

$$\Rightarrow I_{cr} = 852756248{,}8 \text{ mm}^4$$

گام چهارم:

$f_r = /6\sqrt{f_c} = 3{,}28 \text{ MPa} \left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$f_{cT} = \frac{M(h-x)}{I_{cr}} = \frac{15\times10^6(500-101{,}2)}{852756248{,}8} = 7{,}014$

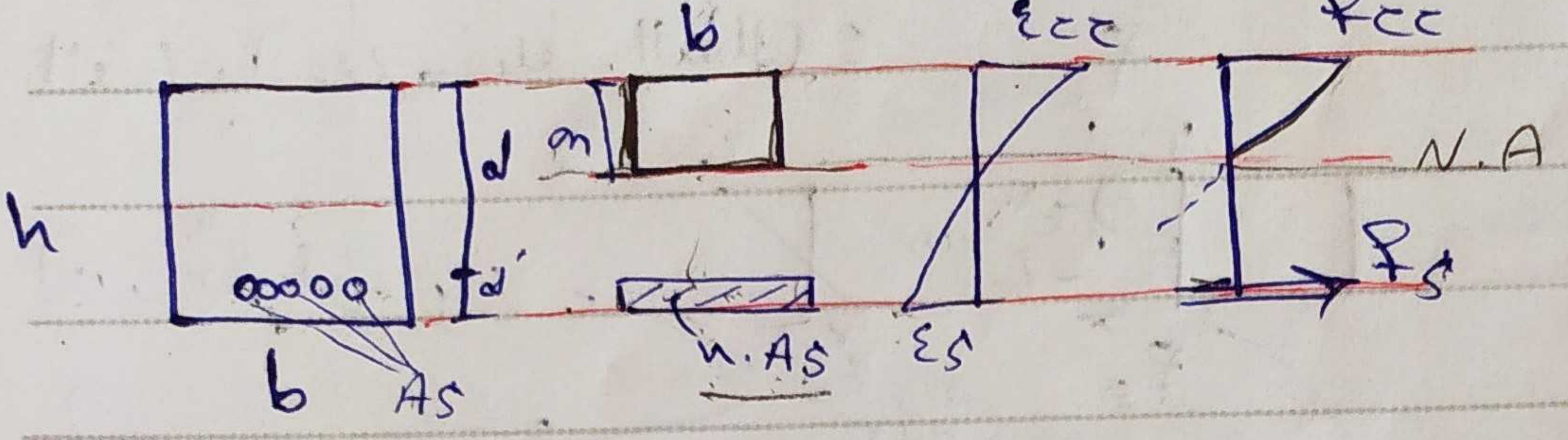
$\Rightarrow \boxed{f_{cT} > f_r \Rightarrow \text{ترک می‌خورد}}$

③

Subject: 9

Date

## ب) زمانی که بتن ترک بخورد (Creake) :



محاسبات

$n = \frac{E_s}{E_c}$

1- محاسبه سطح مقطع تبدیل یافته: **nAs**

2- محاسبه موقعیت تار خنثی:

$$\frac{1}{2}bx^2 - nA_s(d-x) = 0 \rightarrow \boxed{x}$$

3- محاسبه ممان اینرسی ترک خورده تبدیل یافته $I_{cr}$

$$I_{cr} = 1/3\, bx^3 + nA_s(d-x)^2$$

4- محاسبه تنش های موجود در مقطع

$$f_{cc} = \frac{M \cdot x}{I_{cr}}$$

$$f_{ST} = n \cdot \frac{M(d-x)}{I_{cr}}$$

$$f_{CT} = \frac{M(h-x)}{I_{cr}}$$

5- شرط ترک خوردگی: $M > M_{cr}$ یا $f_{CT} > f_r$

$$f_r = 0/6\sqrt{f_c}$$

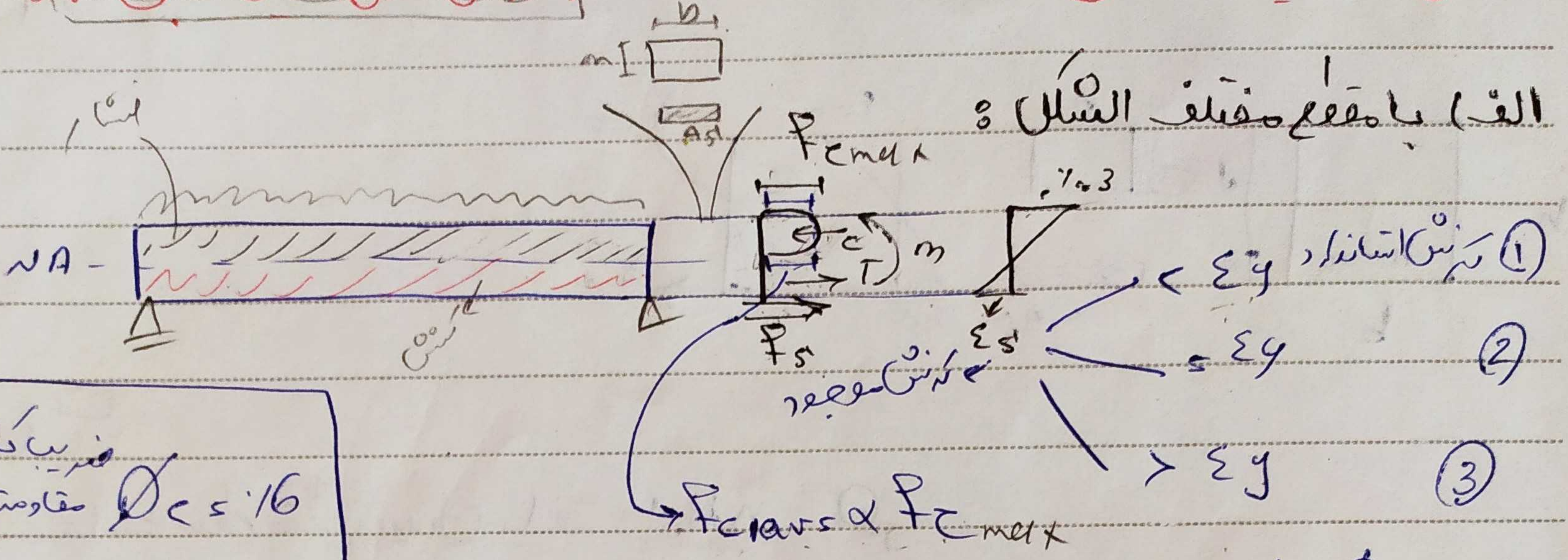
$\frac{8.2}{\text{جلسه}}$ ۹

عبارات/ محاسبات اینرسی

Subject : * فصل چهارم * Date

## بررسی و تحلیل و طراحی تیر تحت خمش به روش حالت های حدی نهایی مطابق آبا

### الف) با مقطع مستطیل الشکل:



فشار
NA
کشش
b
d
As
$f_{c\max}$
C
T
m
‰3
$f_s$
$\varepsilon_s$
کرنش موجود
① کرنش استاندارد $< \varepsilon_y$
② $= \varepsilon_y$
③ $> \varepsilon_y$

$f_{c\,avr} = \alpha f_{c\max}$

ضریب کاهش مقاومت بتن $\phi_c = .6$

*مقدارهای $\phi_c$ و $\phi_s$ ثابتند.

فشار (نیرو) $C = \alpha \underbrace{\phi_c f_c}_{\text{تنش}} \underbrace{\int dA}_{\text{مساحت مقطع}} \approx \alpha \phi_c f_c b a$

کشش (نیرو) $T = A_s \phi_s f_s = A_s \cdot \underbrace{\phi_s}_{\text{ثابت}} \varepsilon_s \underbrace{E_s}_{\text{ثابت}}$

تنش = $E \times \varepsilon$ کرنش

ضریب کاهش مقاومت فولاد $\phi_s = .85$

برای کشش T دو متغیر وجود دارد $(A_s, \varepsilon_s)$ برای اینکه T ثابت باشد اگر $\varepsilon_s$ را زیاد کنیم باید $A_s$ کم شود یا اگر $\varepsilon_s$ کم شود (نسبت به $\varepsilon_y$ (استاندارد)) باید $A_s$ را زیاد کنیم پس شکست های زیر به وجود می آید که یکی $\varepsilon_s$ بالاست و دیگری پایین است (نسبت به کرنش استاندارد)

① شکست نرم ~ کششی ~ شکل پذیر ~ هشدار دهنده

$$\begin{cases} \varepsilon_c = ‰3 \\ \varepsilon_s > \varepsilon_y \end{cases}$$

کم فولاد ($A_s$ کم می شود)

③ شکست ترد ~ فشاری ~ شکننده

$$\begin{cases} \varepsilon_c = ‰3 \\ \varepsilon_s < \varepsilon_y \end{cases}$$

پر فولاد ($A_s$ زیاد می شود)

(غیر قابل قبول ٪0)

* بتن و میلگرد همزمان به انفجار می‌رسند

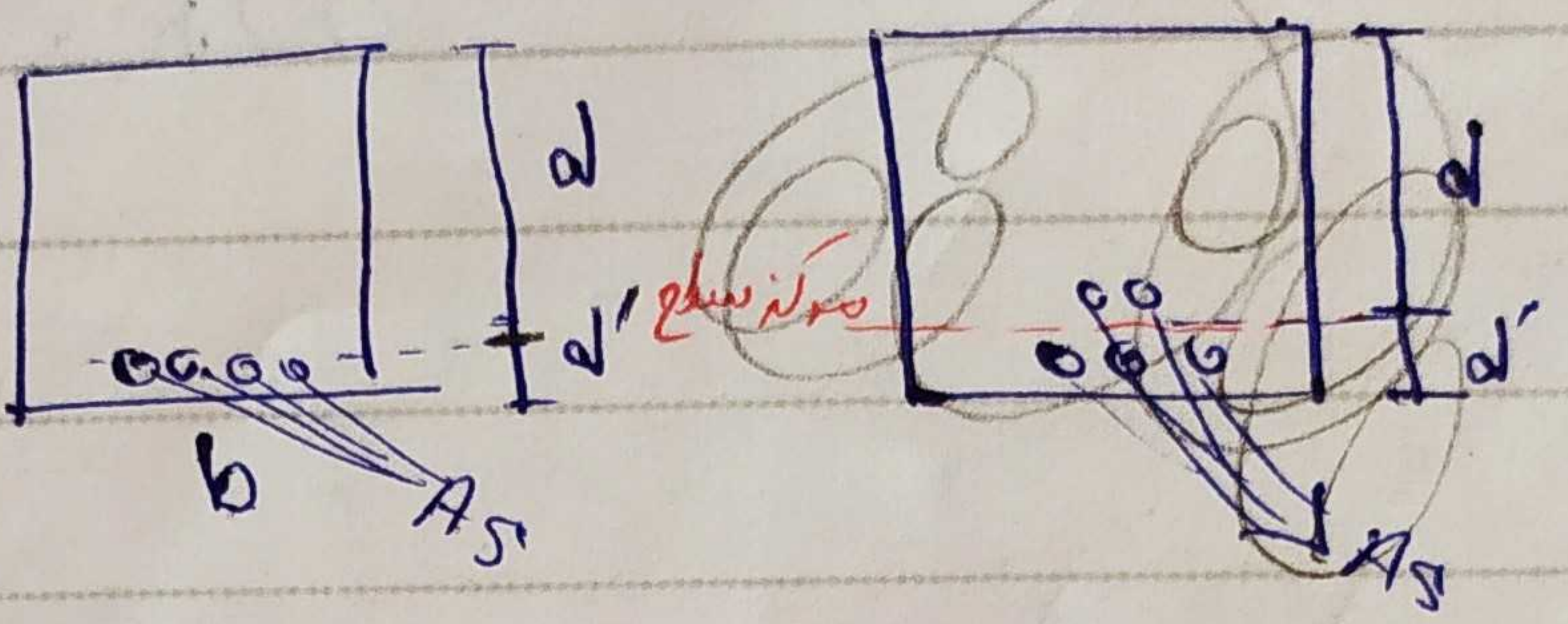
② حالت متعادل
حالت بالانس

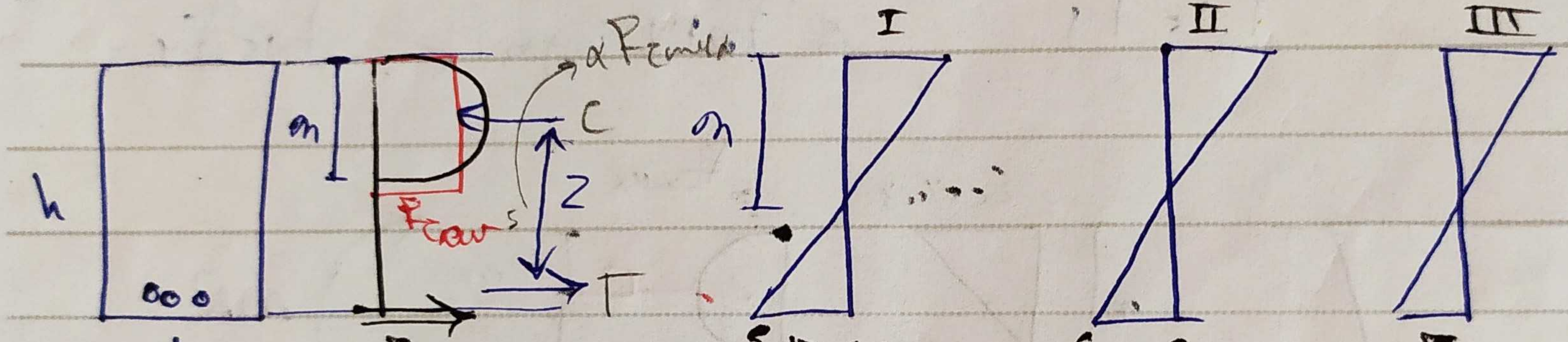
$\varepsilon_c = \%0.3$

$\varepsilon_s = \varepsilon_y = \varepsilon_{sb}$ → بالانس

* بهترین حالت، ① و ② است که در حالت ① طراحی می‌کنیم و در حالت ② کنترل می‌کنیم.

میله گرد کششی در صد $\rho = \dfrac{A_s}{bd}$





| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $\varepsilon_s > \varepsilon_y$<br>$f_s = f_y$ | | $\varepsilon_s = \varepsilon_y$<br>$f_s = f_y = f_{sb}$ | | $\varepsilon_s < \varepsilon_y$<br>$f_s < f_y$ |
| $A_s$ | < | $A_{s_b}$ | < | $A_s$ |
| $a$ | < | $a_b$ | < | $a$ |
| $\rho$ | < | $\rho_b$ | < | $\rho$ |
| $M.R$ | ??<br>بیشتر <<br>یا > | $M.R_b$ | ?? | $M.R$ |
| طراحی | | کنترل | | غیر قابل قبول |

چرا؟؟ ⟸ $a$

تمرین

برای اثبات مقایسه $a$

$$\begin{cases} C = \alpha\phi_c f_s \cdot b\,a \\ T = A_s\phi_s f_y \end{cases} \rightarrow C = T$$

متغیر

ثابت

برای اثبات مقایسه MR

$MR = CZ$
$= TZ$
$= (A_s\phi_s f_y(Z))$

[illegible] تفاوت که

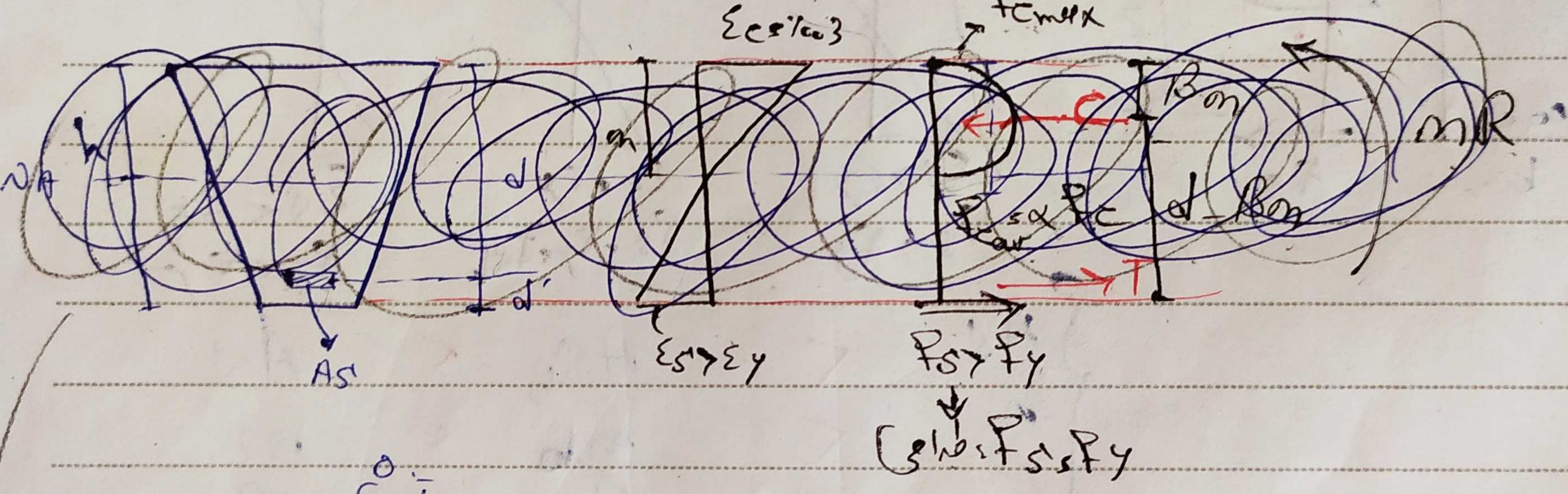
ـ زمانی که شکست نرم باشد

شرط شکست نرم: $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ و $f_s > f_y$ و $a < a_b$ و $A_s < A_{sb}$

و $\rho < \rho_b$ و

~~[illegible] شرط‌های بالا لازم و کافی است~~

~~$f_s = f_y$ : for Disgn ← $f_s > f_y$~~

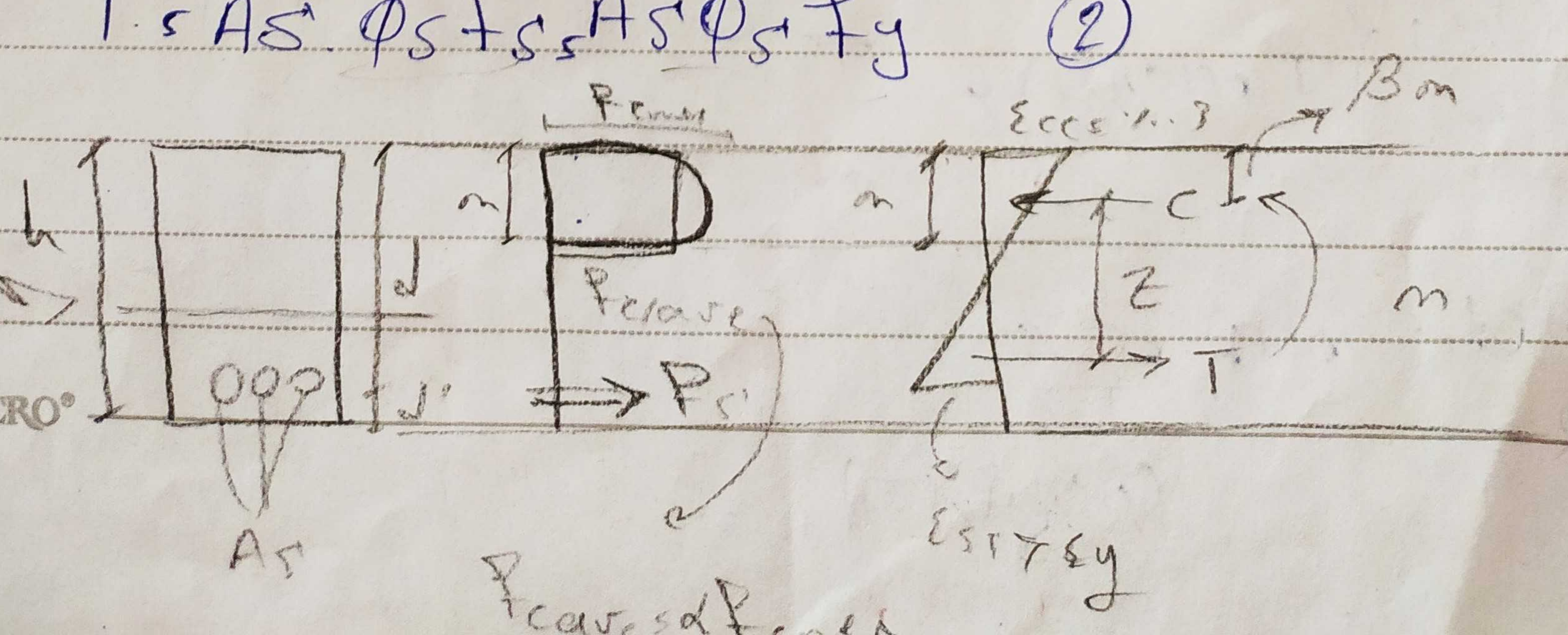

$\varepsilon_{cs} = 0.003$
$f_{c\max}$
$a$
$c$
$\beta a$
$M_R$
NA
$h$
$d$
$d'$
$A_s$
$f_{cav} = \alpha f_c$
$d - \beta a$
$T$
$\varepsilon_s > \varepsilon_y$
$f_s > f_y$
$f_s = f_y$ :طراحی

$$C = \overbrace{\alpha\,\varphi_c f_c}^{\text{تنش}} \times \int dA \simeq \alpha\,\varphi_c f_c\,\underbrace{\overset{\text{مستطیل}}{b \cdot a}}_{A_c} \quad ①$$

$A_c$ = مساحت مقطع بلوک فشاری

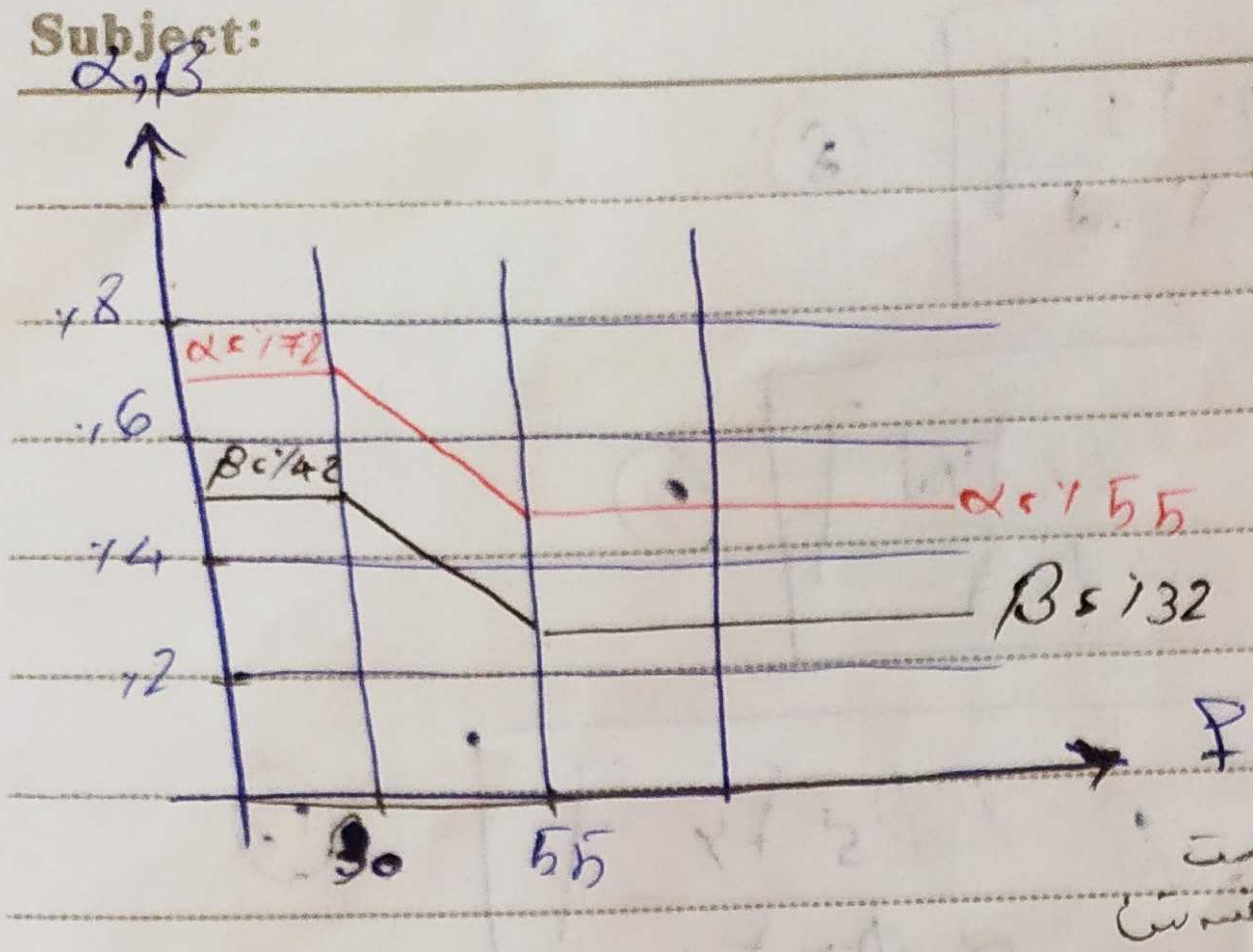
$b$ : متوسط عرض مقطع (بیشتر به مقطع بتن تحت فشار دارد)

$$T = A_s \cdot \varphi_s f_s = A_s \varphi_s f_y \quad ②$$


$h$
$d$
$d'$
$A_s$
$f_{c\max}$
$a$
$f_{cave}$
$f_s$
$\varepsilon_{cs} = 0.003$
$\beta a$
$C$
$z$
$T$
$m$
$\varepsilon_s > \varepsilon_y$
$f_{cave} = \alpha f_{c\max}$

(5) 11 8

Subject: Data:



ضرایب α , β :

(در آبا، ما ثابتاه)

$$\begin{cases} C = b\,a\,\alpha\,\phi_c f_c & ① \\ T = A_s\,\phi_s\,f_y & ② \end{cases}$$

اصل استاتیکی تعادل: $T - C = 0 \rightarrow \underline{T = C}$ ③

$\Sigma F_x = 0$

$\Rightarrow \boxed{\alpha \phi_c f_c \cdot b \cdot a = A_s \phi_s f_y} \longrightarrow$ ⑤ , ④ رابطه استفاده می‌شود.

$\Rightarrow \boxed{a = \dfrac{A_s \cdot \phi_s f_y}{\alpha \phi_c f_c b}}$ ④

فاصله تار خنثی تا دورترین تار فشاری

$\rho = \dfrac{A_s}{b \cdot d}$

⑤ $\boxed{A_s = \dfrac{\alpha \cdot \phi_c f_c \cdot b \cdot a}{\phi_s f_y}}$ مساحت مقطع فشاری

$\boxed{A_s = \rho \cdot b \cdot d}$ ⑥

⑥ , ④ $\Rightarrow \boxed{a = \dfrac{\rho \cdot \phi_s \cdot f_y \cdot d}{\alpha \cdot \phi_c \cdot f_c}}$ ④'

Z بازوی ت و ۲

$$M_R = \overbrace{T(d - \beta a)}^{Z} = \overbrace{C(d - \beta a)}^{}$$

$$\Rightarrow \boxed{M_R = \underbrace{A_s \phi_s f_y}_{T}(d - \beta a)}$$ ⑦

شرط ۲ لمی

MICRO®

(7) ، (۴) $\Rightarrow$

$$\boxed{M.R = A_s.\phi_s.f_y\left[d - \beta\frac{A_s\phi_s f_y}{\alpha\phi_c f_c.d}\right]}$$ (۸)

(۸)

(7) ، (۴) $\Rightarrow$

$$\boxed{M.R = \rho.b.d\,\phi_s f_y\left[d - \beta\frac{\rho\phi_s f_y d}{\alpha\phi_c f_c}\right]}$$ (۹)

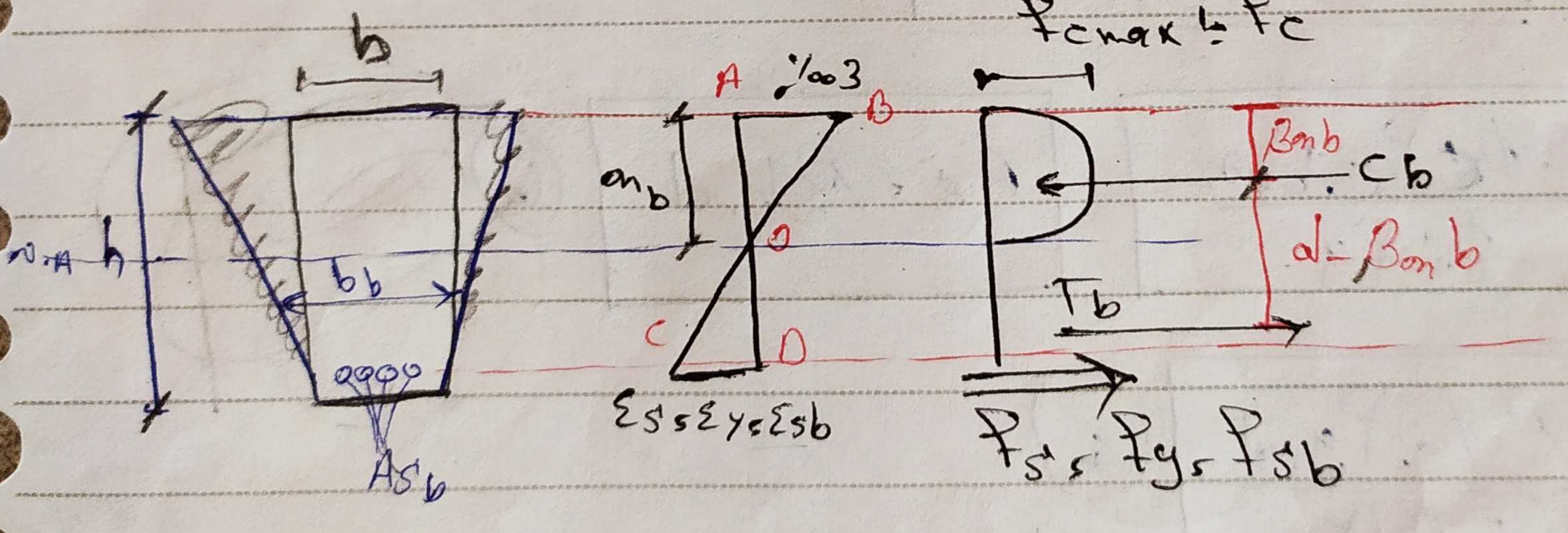
d فاکتور $\Rightarrow$ رابطه (۹)

$$\boxed{M.R = \rho.b.d^2.\phi_s f_y\left[1 - \beta\frac{\rho\phi_s f_y}{\alpha\phi_c f_c}\right]}$$ (۱۰)

* اگر به جای T در فرمول اول MR ، C قرار دهیم دوباره به فرمول ۱۰ می رسیم.

* محاسبه لنگر مقاوم خمشی زمانی که شکست متعادل یا بالانس باشد.

حالت 2: $\varepsilon_s = \varepsilon_y = \varepsilon_{sb}$ و $f_s = f_y = f_{sb}$ و $a = a_b$ و $A_s = A_{sb}$


b
h
N.A
$b_b$
$A_{sb}$
A
‰3
B
$a_b$
O
C
D
$\varepsilon_s = \varepsilon_y = \varepsilon_{sb}$
$f_{cmax}$ یا $f_c$
$\beta a_b$
$C_b$
$d - \beta a_b$
$T_b$
$f_s = f_y = f_{sb}$

برآیند
نیروی
کششی و
فشاری
در حالت بالانس

$$T_b = \underbrace{\phi_s f_y}_{\text{تنش}}\,\underbrace{A_{sb}}_{\text{مساحت}} \quad (11)$$

$$C_b = \alpha\phi_c f_{cb}\,a_b.b \quad (12)$$

⑥ 12

تعادل استاتیکی

**Subject:** **Data:**

$C_b - T_b = 0 \rightarrow \boxed{C_b = T_b}$

$$\boxed{A_{sb} = \frac{\alpha \phi_c f_c . b . a_b}{\phi_s f_y}}$$ ①

مساحت فشاری بالانس

$OAB \sim BCD \rightarrow \frac{a_b}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_y}$

$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$

$E_s \rightarrow 2 \times 10^5 \ MPa$

$$\Rightarrow \boxed{a_b = \frac{600 d}{600 + f_y}}$$ ⑬ ②

⇒ فاصله تار خنثی تا دورترین تار فشاری در حالت بالانس

$$①, ② \Rightarrow \boxed{A_{sb} = \frac{\alpha \phi_c f_c . b . d}{\phi_s . f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}}$$ ⑭ ③

طرفین را به b.d تقسیم می‌کنیم

$$③ \Rightarrow \boxed{\rho_b = \frac{\alpha \phi_c f_c}{\phi_s f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}}$$ ⑮ ④ ⇒ درصد میلگرد بالانس

بازوی مقاوم Z

لنگر مقاوم $M_{R_b} = T_b (d - \beta a_b) = C (d - \beta a_b)$ ⑤

$$\rightarrow \boxed{M_{R_b} = A_{sb} \phi_s f_y (d - \beta a_b)}$$ ⑯ ⑥

$A_{sb} = \rho_b . b . d$ ، رابطه ②

$$\Rightarrow M_{R_b} = \rho_b . b . d . \phi_s f_y \left(d - \beta \frac{600 d}{600 + f_y}\right)$$ ⑦

خلاصه نویسی

$$\Rightarrow \boxed{M_{R_b} = \rho_b . b . d^2 \phi_s . f_y \left(1 - \beta \frac{600}{600 + f_y}\right)}$$ ⑰ ⑧

لنگر مقاوم حالت بالانس

ubject :

Date

حالت سوم: زمانی که شکست ترد است: $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ ، $f_s < f_{sb}$ ، $\rho > \rho_b$ و ---

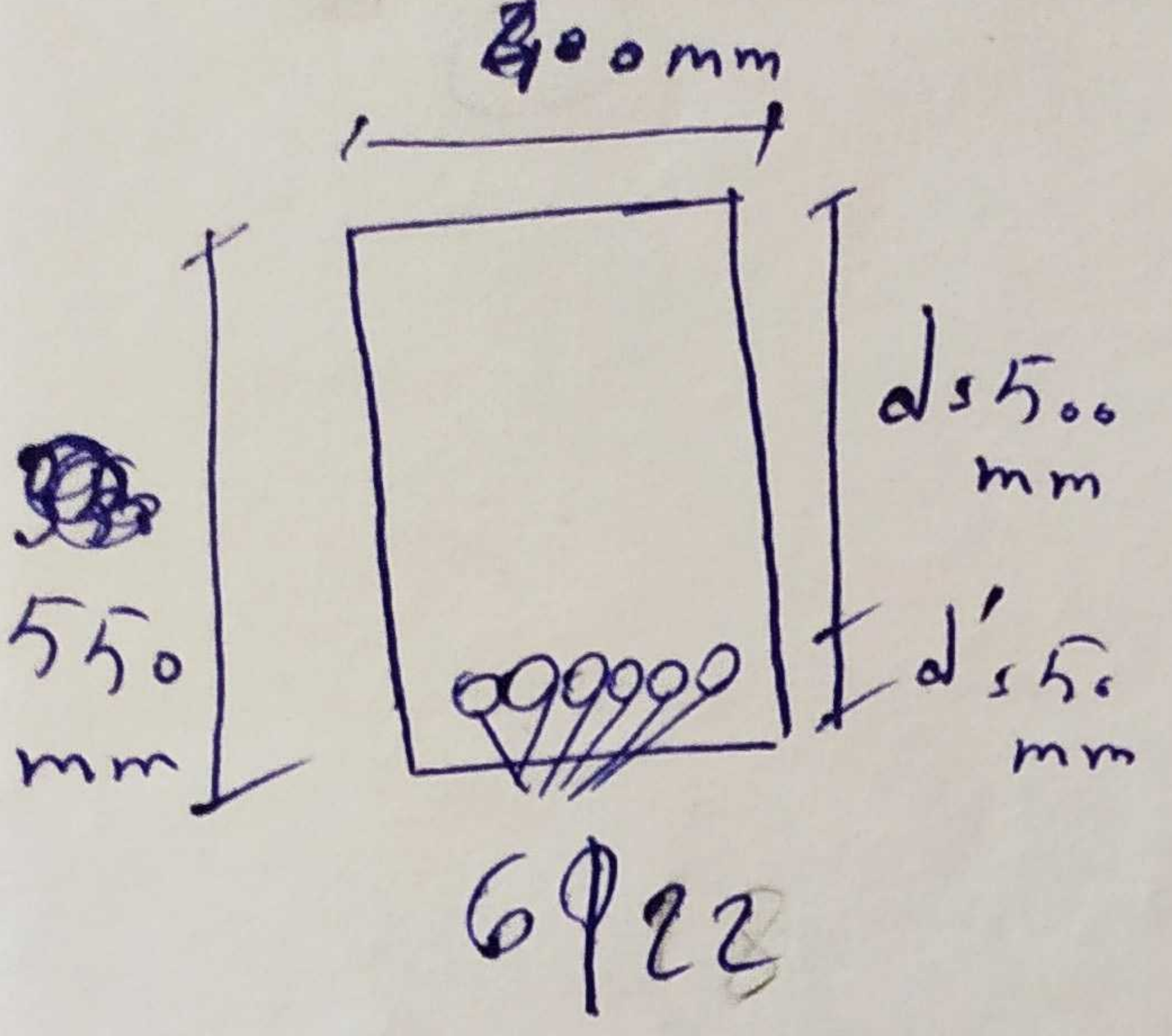
غیر قابل قبول

[redacted] راه حل :

۱- یا باید ابعاد را افزایش دهیم.

2- باید میلگرد فشاری تعبیه کنیم.

(۶) مقطع تیر شکل زیر را در نظر بگیرید، با مشخصات داده شده محاسبه کنید که به شکست متعادل یا کششی [redacted] ، [redacted]

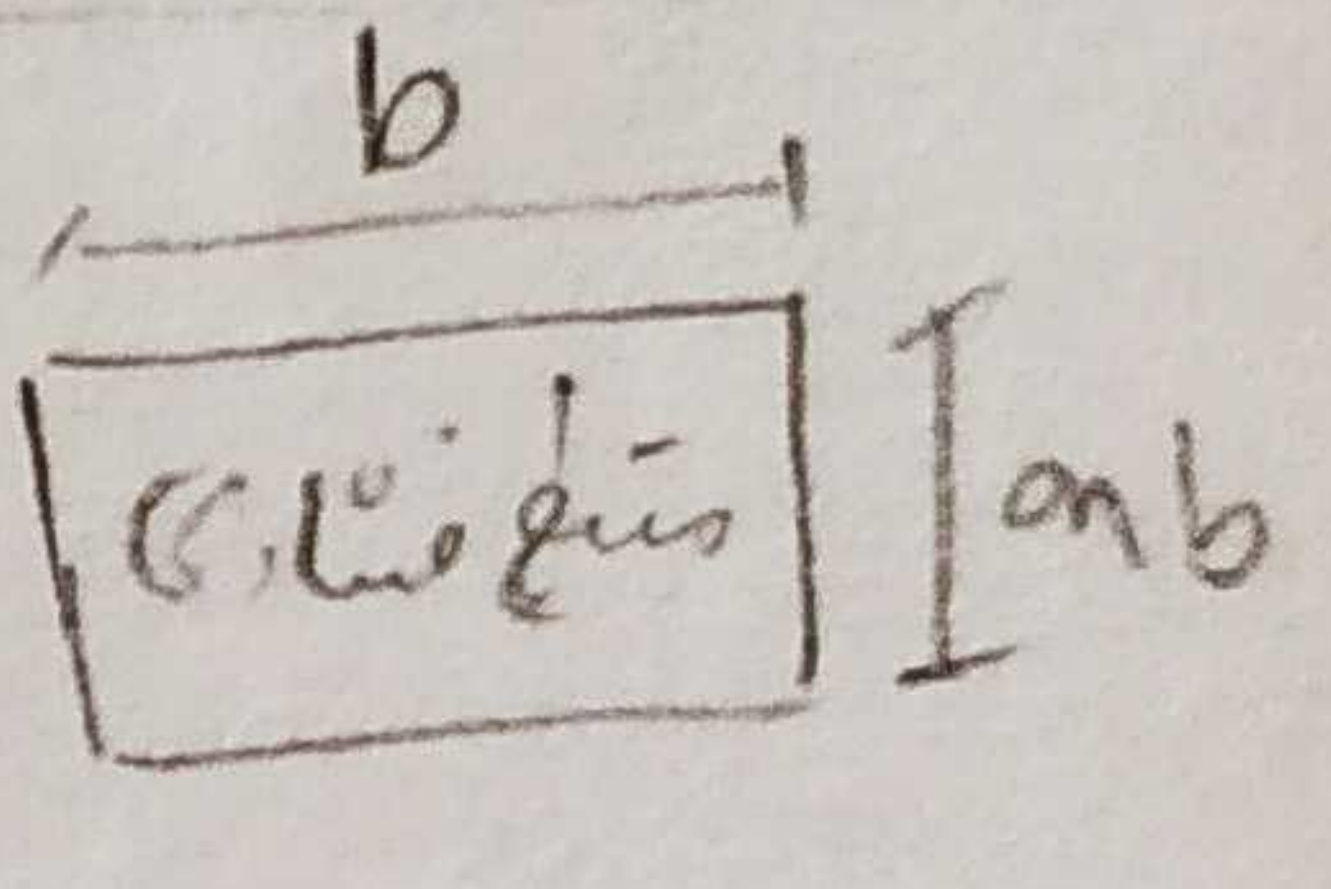


$f_y = 300$ mPa

$f_c = 25$ mPa $\rightarrow < 30 \Rightarrow \alpha = 0.72$

حل

سطح مقطع میلگرد کششی $A_s = \frac{6\pi(22)^2}{4} = 2280,79 \text{ mm}^2$



(دورترین تار فشاری) بالانس $a_{nb} = \frac{600}{600+f_y} \times d = 333,33$ mm

(مساحت مقطع فشاری) بالانس $A_{cb} = b \times a_{nb} = \overset{166666,66}{[redacted]} \text{ mm}^2$

مساحت مقطع بالانس $A_{sb} = \frac{\alpha \varphi_c f_c \boxed{A_{cb}}}{\varphi_s f_y} = \frac{0.72 \times 0.6 \times 25 \times 166666,66}{0.85 \times 300} = \overset{5647}{[redacted]} \text{ mm}^2$

$\Rightarrow A_s < A_{sb} \Rightarrow 2280,79 < \overset{5647 \text{ mm}^2}{[redacted]}$

شکست نرم

6/2

$$\Rightarrow M_R = \rho b d^2 \phi_s f_y \left[1 - \beta \frac{\rho \phi_s f_y}{\alpha \phi_c f_c}\right]$$

شرط مقاوم شکست ترد

---

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{228.179}{400 \times 500} = 0/0091$$

$\phi_s = 0/85$ , $\beta = 0/42$ , $\alpha = 0/72$ $\Rightarrow f_c = 25 (30$

$$\Rightarrow M_R = 0/011 \times 400 \times (500)^2 \times 0/85 \times 300 \left[1 - \frac{0/42 \times 0/011 \times 0/85 \times 300}{0/72 \times 0/6 \times 30}\right]$$

$$\Rightarrow M_R = 21164676,32\ N.m = 211,65\ kN.m$$

---

الگوریتم:

① $A_s \Rightarrow$ مساحت میلگرد کششی

② $c_{nb} \Rightarrow$ فاصله تار خنثی تا دورترین تار فشاری بالانس

③ $A_{cb} \Rightarrow$ مساحت مقطع فشاری بالانس

④ $A_{sb} \Rightarrow$ مساحت میلگرد کششی بالانس

⑤ $\Rightarrow$ مقایسه $A_s , A_{sb} \Rightarrow$ نوع شکست: نرم | بالانس $\Rightarrow$ تعیین ۲ و ۳ منفی نباید صفر باشد

$\phi_s = /85$

$\phi_c = /6$

$\uparrow$

$f_{yd} = \phi_s f_y$ ، $f_{cd} = \phi_c f_c$ } شده ۱.

## روش طراحی تیر بتن آرمه مستطیلی تک آرمه (کششی) تحت خمش :

(۱) محاسبه میلگردهای لازم $(A_s)$ : تک آرمه

با دو روش
- ۱- روش آنالیز دقیق
- 2- روش تقریبی .

روش یکم : آنالیز دقیق : نوع شکست کششی باشد (لازم)

$$M_R = A_s f_{yd}\left[d - /5\frac{A_s \phi_s f_y}{/85 f_{cd}\, b}\right]$$

لنگر خمشی نهایی از بار $\rightarrow$ $M_R > M_u$ شرط مقاوم خمشی

مبنای طراحی $M_R = M_u$ .

$$M_u = A_s f_{yd} d - /5\frac{A_s^2 (f_{yd})^2}{/85 f_{cd}\, b}$$

$$\boxed{m = \frac{f_y}{\phi_c f_c} = \frac{\phi_s f_y}{/85\, \phi_c f_c}}$$

$$\Rightarrow A_s = \frac{/85 f_{cd} . b . d}{f_{yd}}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{/85 f_{cd} . b . d^2}}\right] \quad ①$$

$$A_s = \frac{b . d}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{M_c}}\right] \quad ②$$

$$\boxed{M_c = /85 f_{cd} . b . d^2}$$

Subject: Data:

درصد میلگرد کششی $$\boxed{\rho = \frac{1}{m}\sqrt{1-\frac{2m_u}{m_c}}}$$

[redacted]

*اگر $m_c < 2m_u$ باشد داخل √ منفی خواهد شد بدین معناست شکست تیر داشت

و باید ابعاد مقطع را اضافه کنیم یا اینکه میلگرد فشاری تعبیه کنیم.

*اگر $m_c > 2m_u$ علائم شکست نرم یا هشدار دهنده باشد.

---

## روش دوم: روش تقریبی

شکست نرم $M_R = A_s \phi_s f_y (d - 0/5a)$ ⟶ $a = \frac{A_s f_{yd}}{0/85 f_{cd} \cdot b}$

$M_R = M_u$ → معادله (2) $\Leftrightarrow A_s = \frac{M_u}{f_{yd}(d - 0/5a)}$

$d - 0/5a = 0/85d$ → فرض اول

(با فرض اول) اولیه $A_{s1} = \frac{M_u}{f_{yd}(0/85d)}$

اولیه $a_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{0/85 f_{cd} \cdot b}$

---

ثانویه $A_{s2} = \frac{M_u}{f_{yd}(d - 0/5a_1)}$

$a_2 = \frac{A_{s2} \cdot f_{yd}}{0/85 f_{cd} \cdot b}$

$As'_n \rightarrow$ مورد قبول

* این سیکل را ادامه می دهیم تا $\boxed{\rho_{n-1} = \rho_n}$ با ۱٪ تقریب.

## ۲* محاسبهٔ ابعاد مقطع (حداقل) b×h :

معمولاً $h = d + d'$ .

$$M_R = \rho . b . d^2 f_{yd}(1 - 0/5 \rho m)$$

$$\underbrace{(bd^2)}_{\text{حداقل}} = \overset{\text{حداقل}}{M_R} = \frac{M_u}{\underbrace{\overset{}{\rho}_{max} f_{yd}(1 - 0/5 \rho_{max} m)}_{\text{حداکثر}}}$$

$$\Rightarrow (b.d^2)_{min} = \frac{M_u}{\rho_{max} f_{yd}(1 - 0/5 \rho_{max} m)}$$

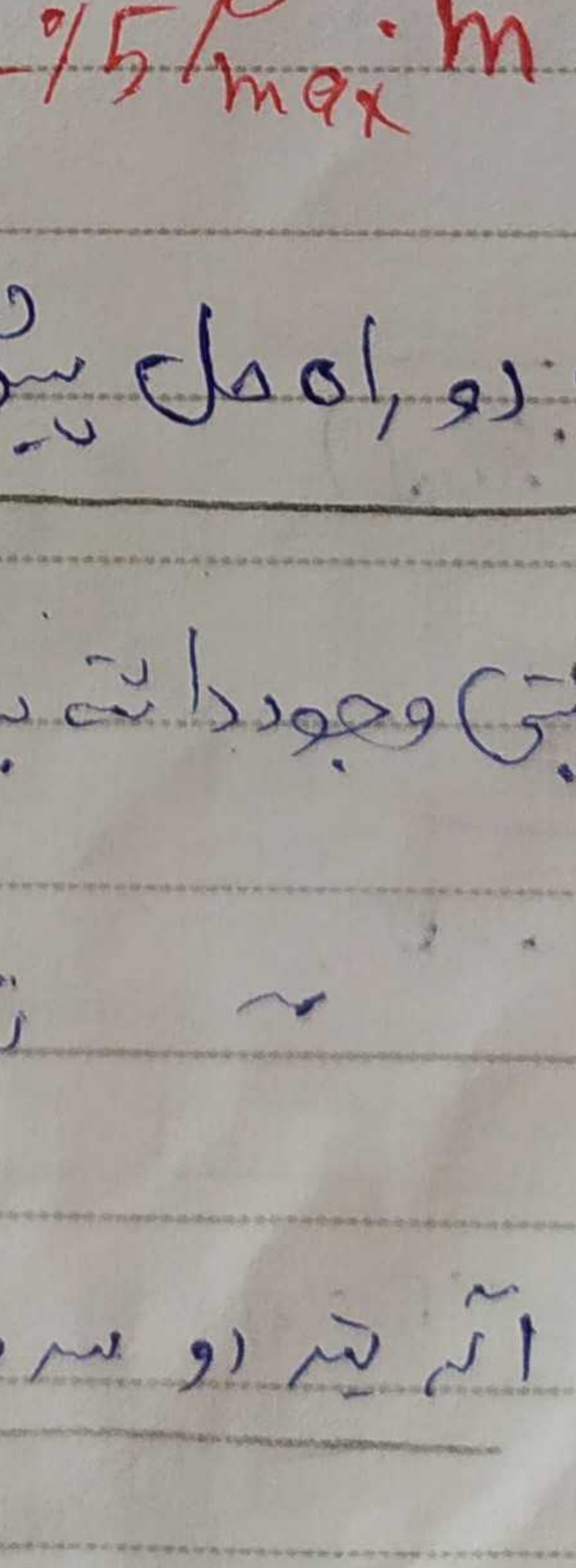
* برای محاسبهٔ h دو راه حل پیشنهاد می شود:

۱- اگر بین h و L نسبتی وجود داشته باشد، راحت حساب می شود.

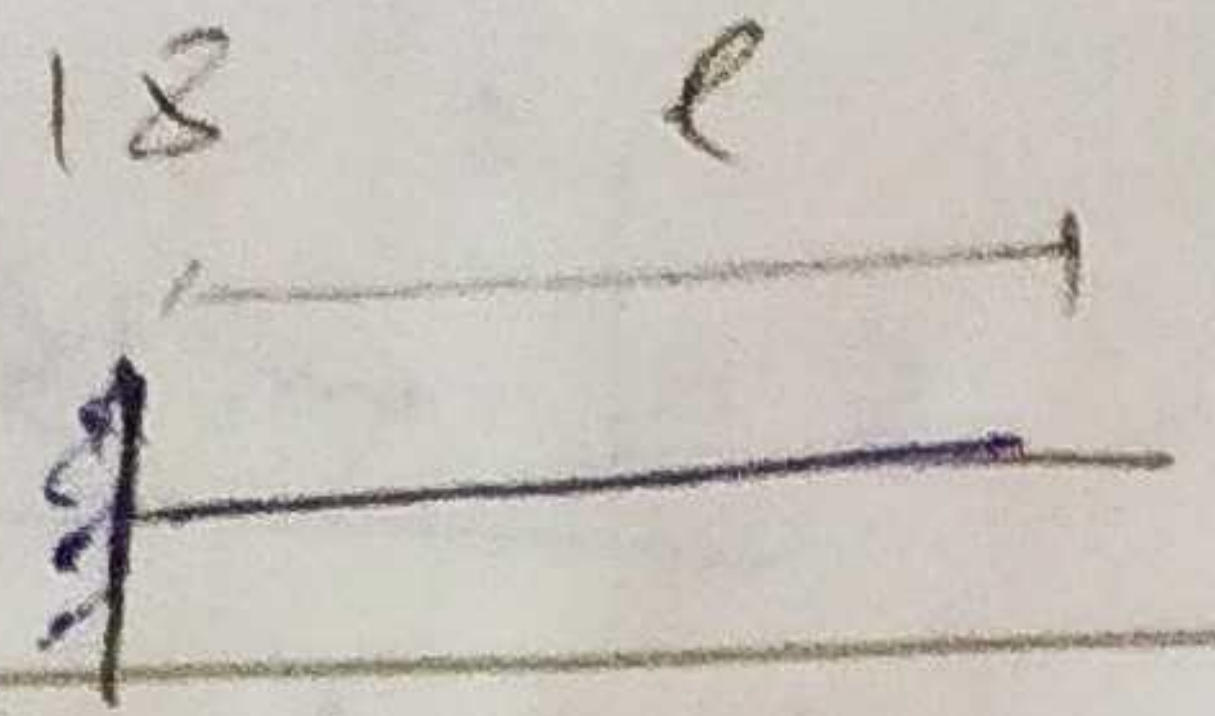
2- 〃 〃 〃 〃 نباشد باید از تغییریافت مفروضی کمک گرفت

برای حالت اول: الف) اگر تیر دو سر مفصل باشد:

$$h_{min} \geq \frac{\alpha . l}{16} \geq 300 \text{ mm}$$

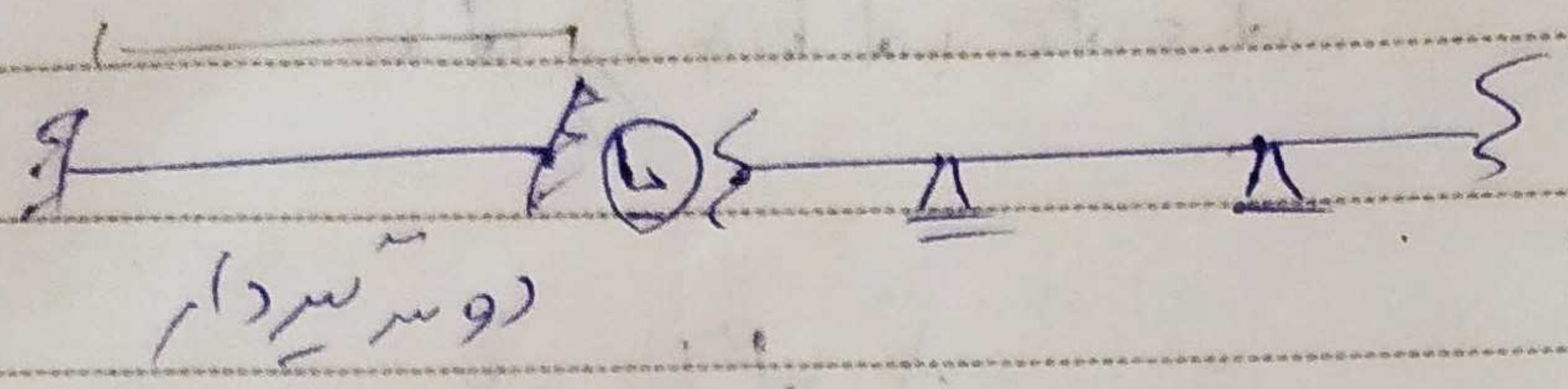


(12)



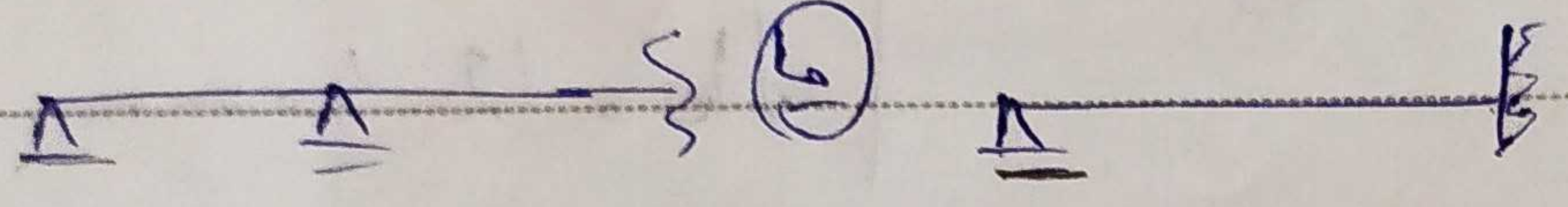
Subject: Data:

② تیر یک سر گیردار $h_{min} \geq \frac{\alpha . l}{8} \geq 300\,mm$



③ $h_{min} \geq \frac{\alpha . l}{21} \geq 300\,mm$

④



$$h_{min} \geq \frac{\alpha l}{18.5} \geq 300\,mm$$

$$\boxed{\alpha = \text{٫}4 + \frac{f_y}{670}}$$

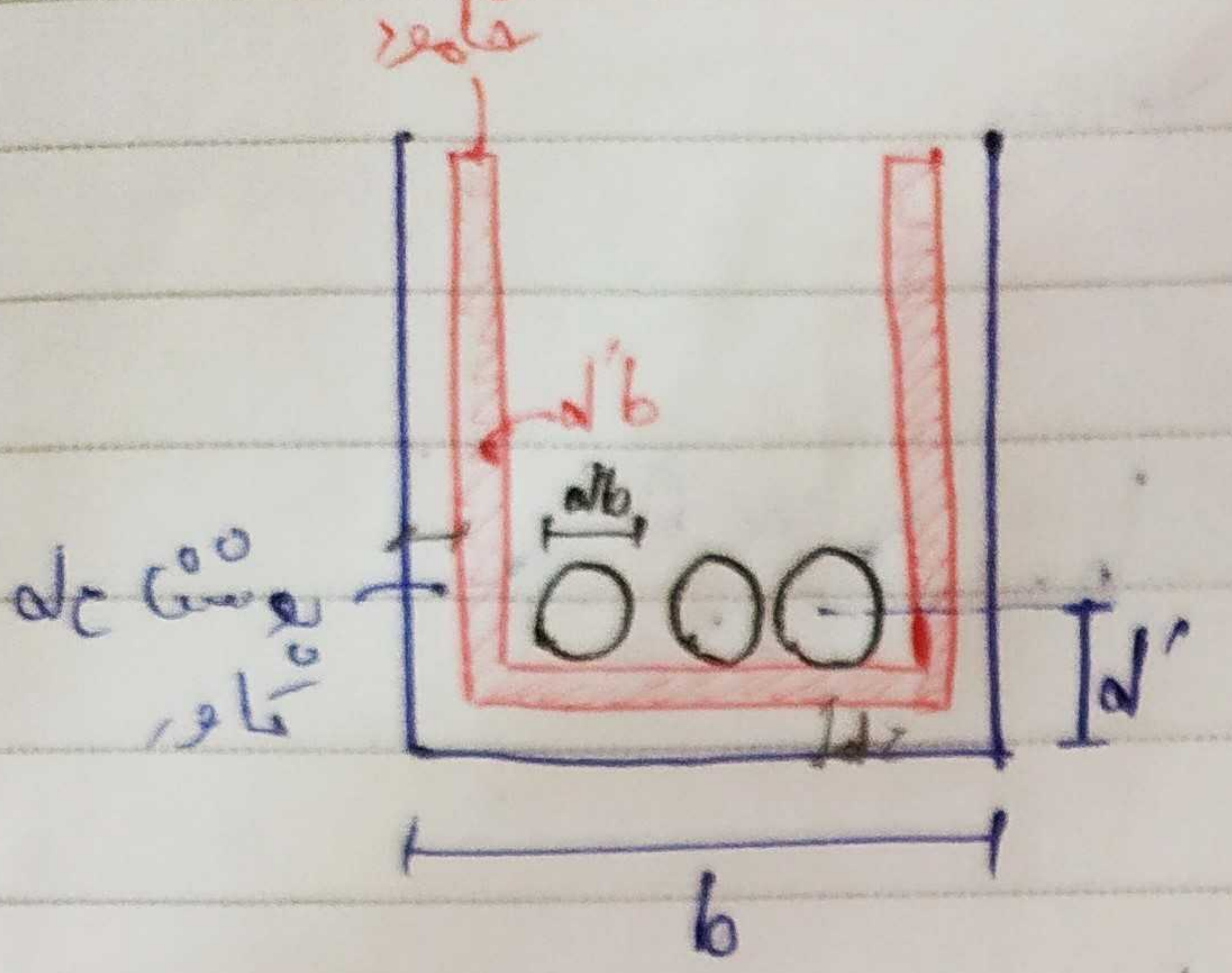
* طبق آبا حداقل ابعاد مقطع : $\boxed{b \times h = 300 \times 300\ mm}$

* بعد از هر فقره تعیین h با توضیحات بالا) برای محاسبه d از رابطه زیر استفاده می کنیم :

$$\boxed{d = h - d'}$$

## محاسبه d ؟

* h = d + d′ ؛ محاسبه d′ :



$d' = d_c + d'_b + \frac{1}{2} d_b$

اختیاری:
- $d'_b = 8-14$ mm → قطر میلگرد خاموت
- $d_b = 12-40$ mm → قطر میلگرد اصلی

dc کاور (پوشش) میلگرد:
- [redacted]
- متوسط = 45
- شدید = 50 mm
- بسیار شدید = 65 m
- فوق العاده شدید = 75 mm

[redacted]

* محیط متوسط: تماس با رطوبت و خشک یا یخ بندان

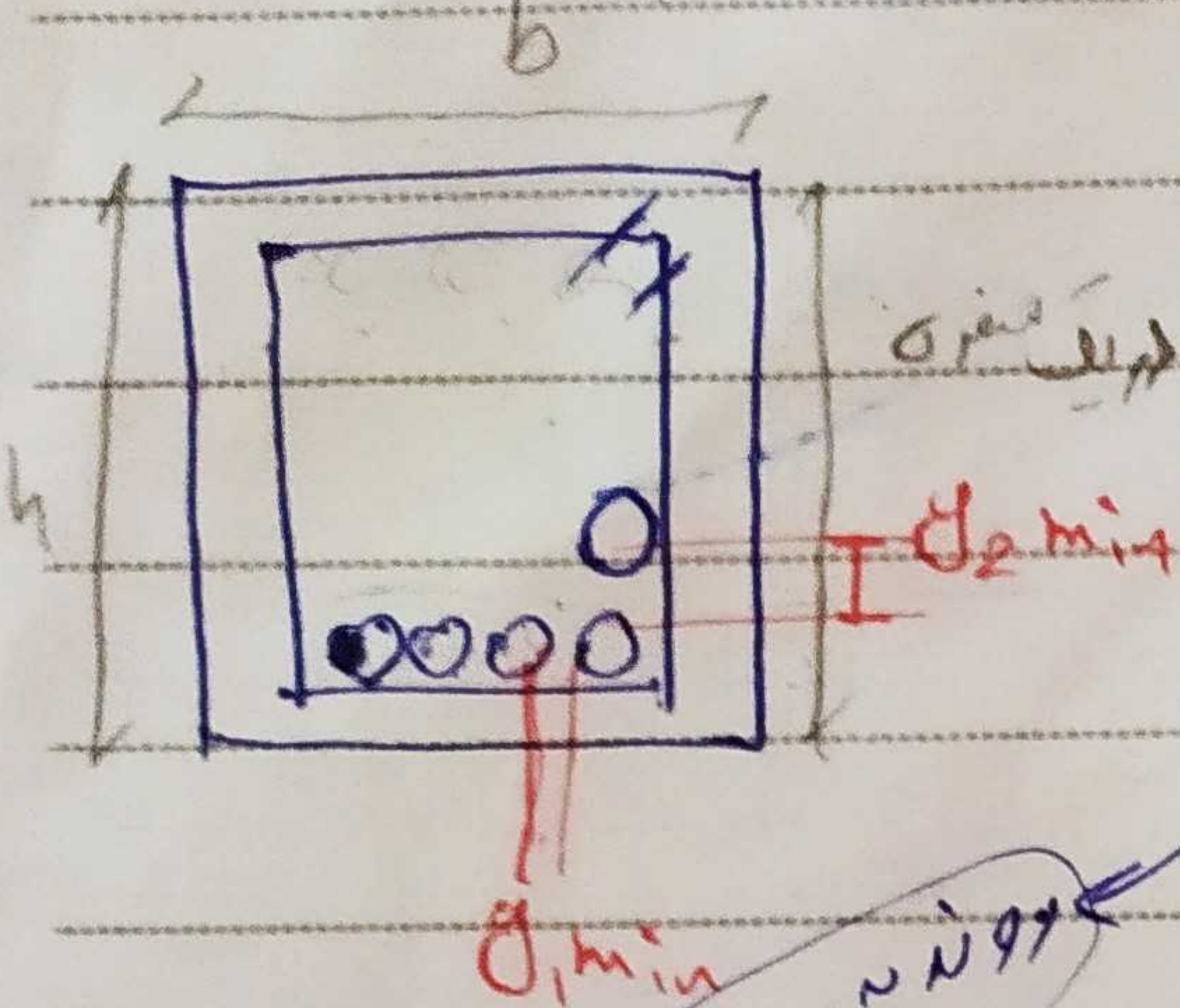
- شدید: محیط سولفاته - تر و خشک است - یخ بندان
- بسیار شدید: سولفاته و سایش - کم بود ناسید
- فوق العاده شدید: کانال های فاضلاب و عمر به داشته باشد.

* برای تیر و ستون اعداد صادق است

Subject: اول Data:

* کنترل تک سفره‌ای: کنترل تعداد میلگردهایی که در یک سفره قرار می‌گیرند.

اضافه بر آن‌ها را در سفره‌های بالاتر قرار می‌دهیم.



تعداد میلگردها در یک سفره

$$n = b - \frac{2(d_c + d'_b) + g_{1min}}{d_b + g_{2min}}$$

گرد به سمت کم

قطر بزرگترین میلگرد مصرفی در مقطع

$$g_{1min} \geq \max \begin{cases} 1.33\, D_{max} \\ 25\ mm \\ d_b \end{cases}$$

$D_{max}$ → بزرگترین بعد شن ($22^{mm}$ ساختمانی)

$d_b$ → قطر بزرگترین میلگرد

$$g_{2min} \geq \max \begin{cases} 1.33\, D_{max} \\ 25\ mm \end{cases}$$

MICRO®

Subject :

Date

## کنترل دوم:

* محاسبه حداقل میلگردهای مصرفی: $(A_{s\,min})$

$A_{s\,min} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$ ⟹ $A_{s\,min} < \underset{\text{محاسباتی}}{A_s} < A_{sb}$

$A_{sb} = A_{s\,max}$

$$\rho_{min} = \max \begin{cases} 1{,}4/f_y \\ \dfrac{{,}25\sqrt{f_c}}{f_y} \end{cases}$$

⟵ $\rho_{min} < \underset{\text{محاسباتی}}{\rho} < \rho_b = \rho_{max}$

* نتیجه‌گیری:

شکست نرم ↓ کششی

شکست متعادل ↓ ف ف همزمان (max)

$$\begin{cases} A_{sb} = A_{s\,max} \\ \rho_b = \rho_{b\,max} \\ M_{Rb} = M_{R\,max} \end{cases}$$

$\rho_{min} \le \rho \le \rho_b$ یا $\rho_{max}$

$A_{s\,min} < A_s < A_{sb}$ یا $A_{s\,max}$

$M_{R\,min} < M_R < M_{Rb}$ یا $M_{R\,max}$

* اگر $A_s$ کوچکتر از $A_{s\,min}$ شد: $A_s = A_{s\,min}$ . یا در مورد $\rho$ یا $M_R$ .

## کنترل سوم:

● بدست آوردن ابعاد AS محاسباتی AS اجرایی را بدست می‌آوریم (سوال؟)

$$A_s\text{ محاسباتی} = \frac{{,}85 f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} \left[ \sqrt{1 - \frac{2M_u}{{,}85 f_{cd} \times b \times d^2}} + 1 \right]$$

به طور مثال use $\varphi 20$ ⟶ $\dfrac{A_s\text{ محاسباتی}}{A_s\text{ میلگرد}} = 4{,}6$ عدد ⟶

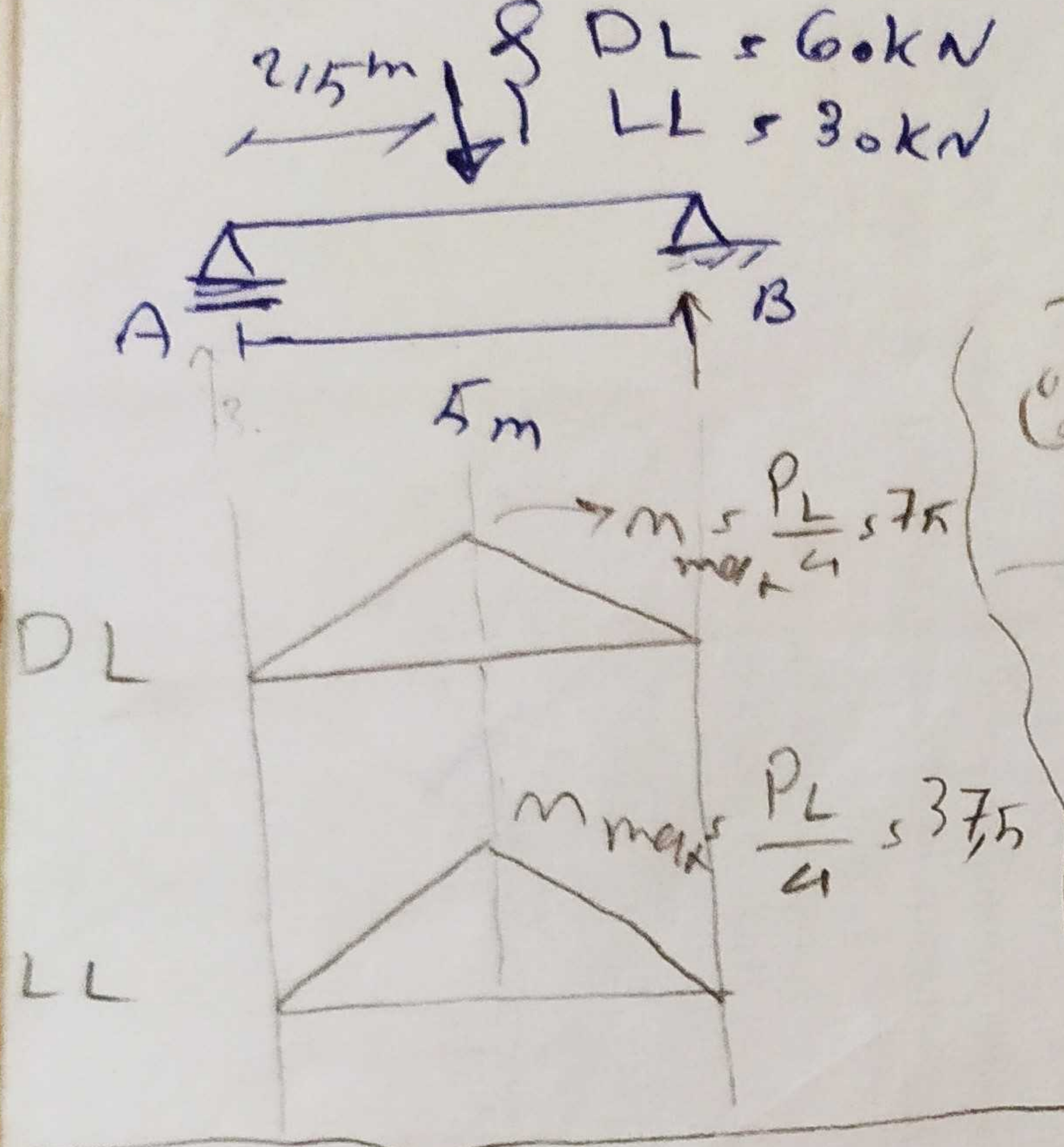
* چون به بالا روند می‌کنیم یا 4 میلگرد $\varphi 20$ و یک میلگرد نازکتر انتخاب می‌کنیم

به طور مثال: $5\varphi 20$ (یا) $4\varphi 20 + 1\varphi 12$

As اجرایی

## مثال طراحی عضو تک آرمه :

عضو خمشی زیر را در نظر بگیرید. با مشخصات داده شده، مقطع تیر را طراحی کنید.



$f_c = 30\,\text{mPa}$

$f_y = 300\,\text{mPa}$

مشخصات مقطع

$d_c = 45\,\text{mm}$

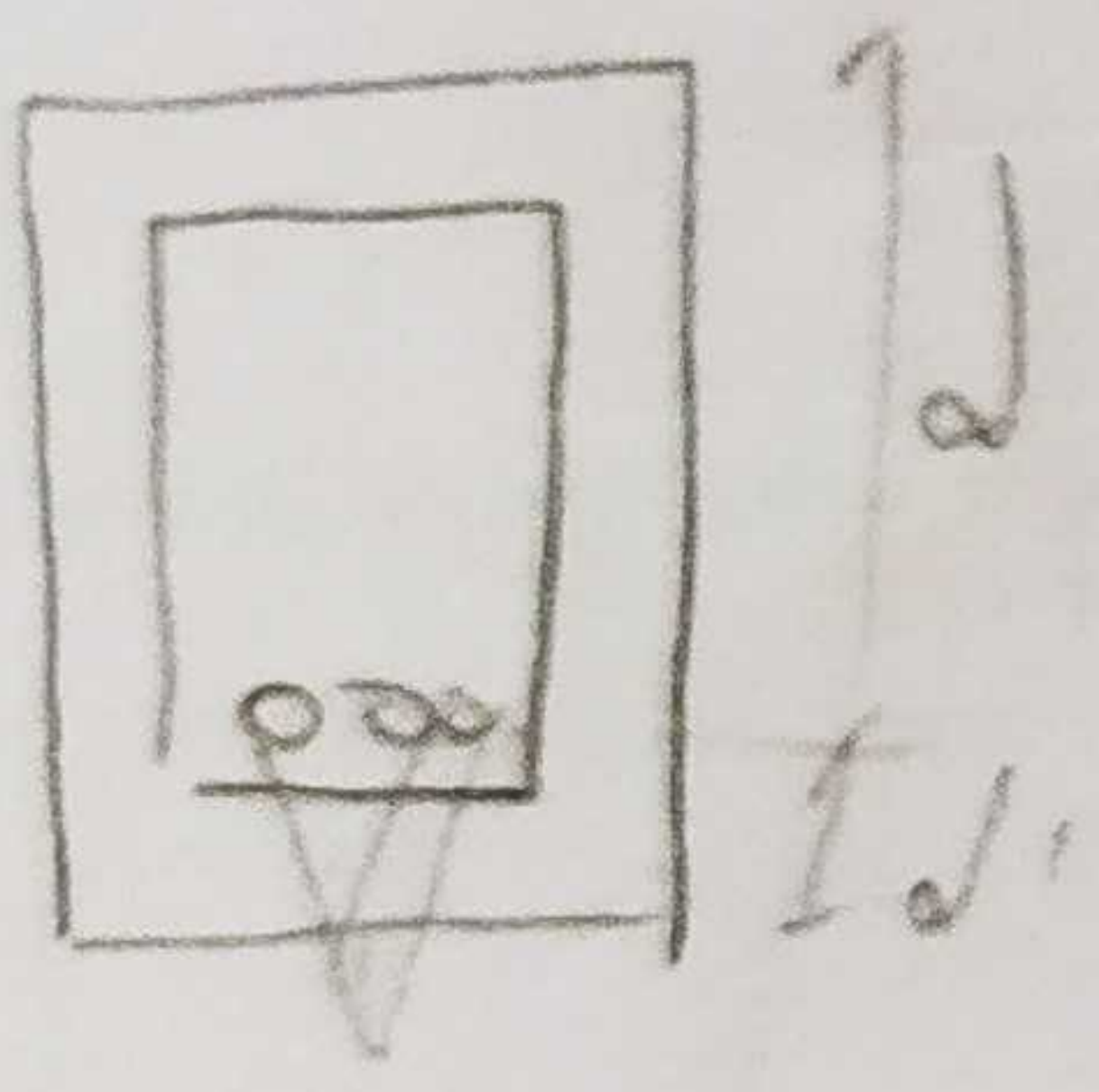
طراحی عضو: طراحی مناسب ابعاد و میلگردهای کششی

**گام اول:** محاسبه حداکثر لنگر ناشی از بارگذاری:

$$M_u = 1{,}25\,M_{DL} + 1{,}5\,M_L$$

$$\Rightarrow M_u = 1{,}25(75) + 1{,}5(37{,}5) = 150 \ \text{kN.m}$$

**گام دوم:** محاسبه $d'$ :



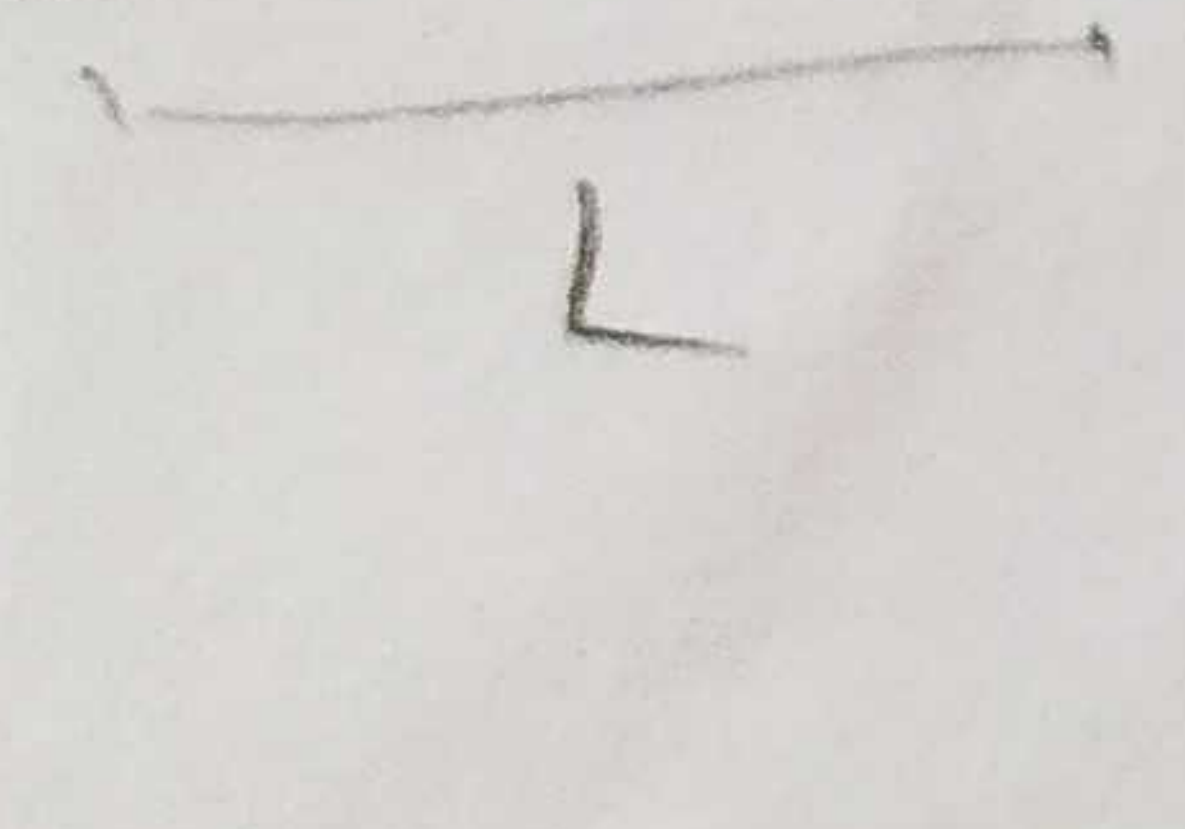
صورت مثال — db: انتخاب طراح

$$\Rightarrow d' = d_c + d_b + \frac{d_b}{2} = 45 + 10 + \frac{20}{2} = 65$$

انتخابی طراح ($d_b$)

**گام سوم:** محاسبه حداقل ارتفاع ($h_{min}$):

$$\alpha = /4 + \frac{f_y}{670} = /4 + \frac{300}{670} = /84$$



$$\Rightarrow h_{min} = \frac{\alpha L}{16} = \frac{/84 \times \overset{L(mm)}{5000}}{16} = 262{,}5 \simeq \underset{\text{انتخاب}}{\underline{300}}\ \text{mm}$$

$$\Rightarrow d = h_{min} - d' = 300 - 65 = 235\,\text{mm}$$

(14")

یار ۲: محاسبه حداقل عرض مقطع ($b_{min}$):

$$(bd^2)_{min} = \frac{Mu}{\rho_b f_{yd}(1-/5\rho_b . m)}$$

$Mu = 150 \, kN.m$

$$\rho_b = \frac{\alpha\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \times \frac{600}{600+f_y} = \frac{/72\times/6\times30}{/85\times300}\times\frac{600}{900} = /033$$

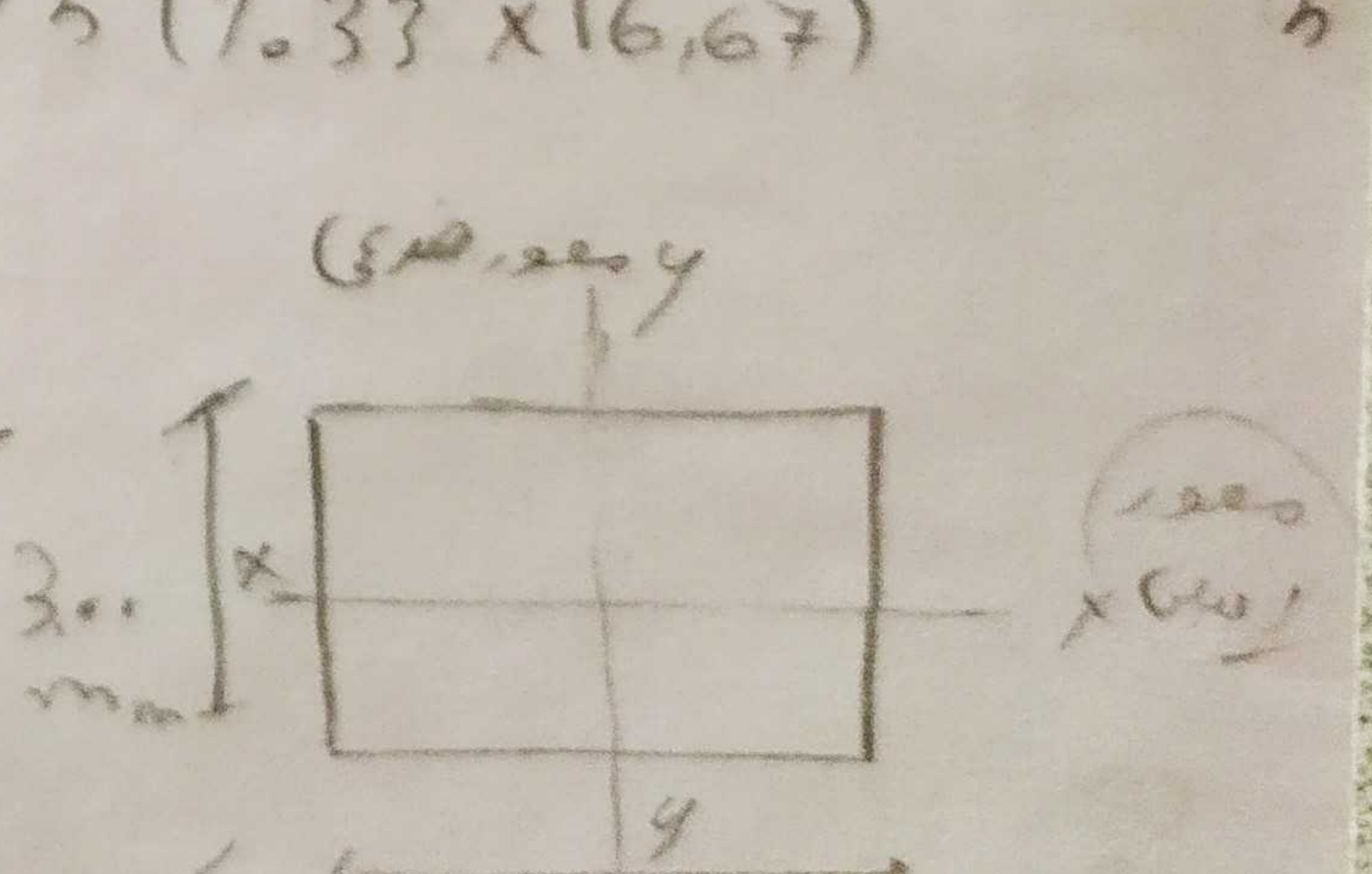
$f_c = 30 \Rightarrow \boxed{\alpha = /72}$

$f_{yd} = \phi_s f_y = /85 \times 300 = 255 \; MPa = \frac{N}{mm^2}$

$$m = \frac{f_y}{f_{cd}} = \frac{300}{/6\times30} = 16,67$$

$$\Rightarrow b(235)^2 = \frac{150\times10^{6} \rightarrow N.mm}{/033\times255(1-/5(/033\times16,67))} = 24588502,5$$

$\Rightarrow b = 445,25 \cong 450 \; mm \Rightarrow$



افقی: چون ممان اینرسی حول محور قوی بیشتر است و تیر قابل تحمل است.

(14")

قبلا با فرض $d_{min}$، $b_{min}$ را حساب کردیم که غیرقابل قبول بود.

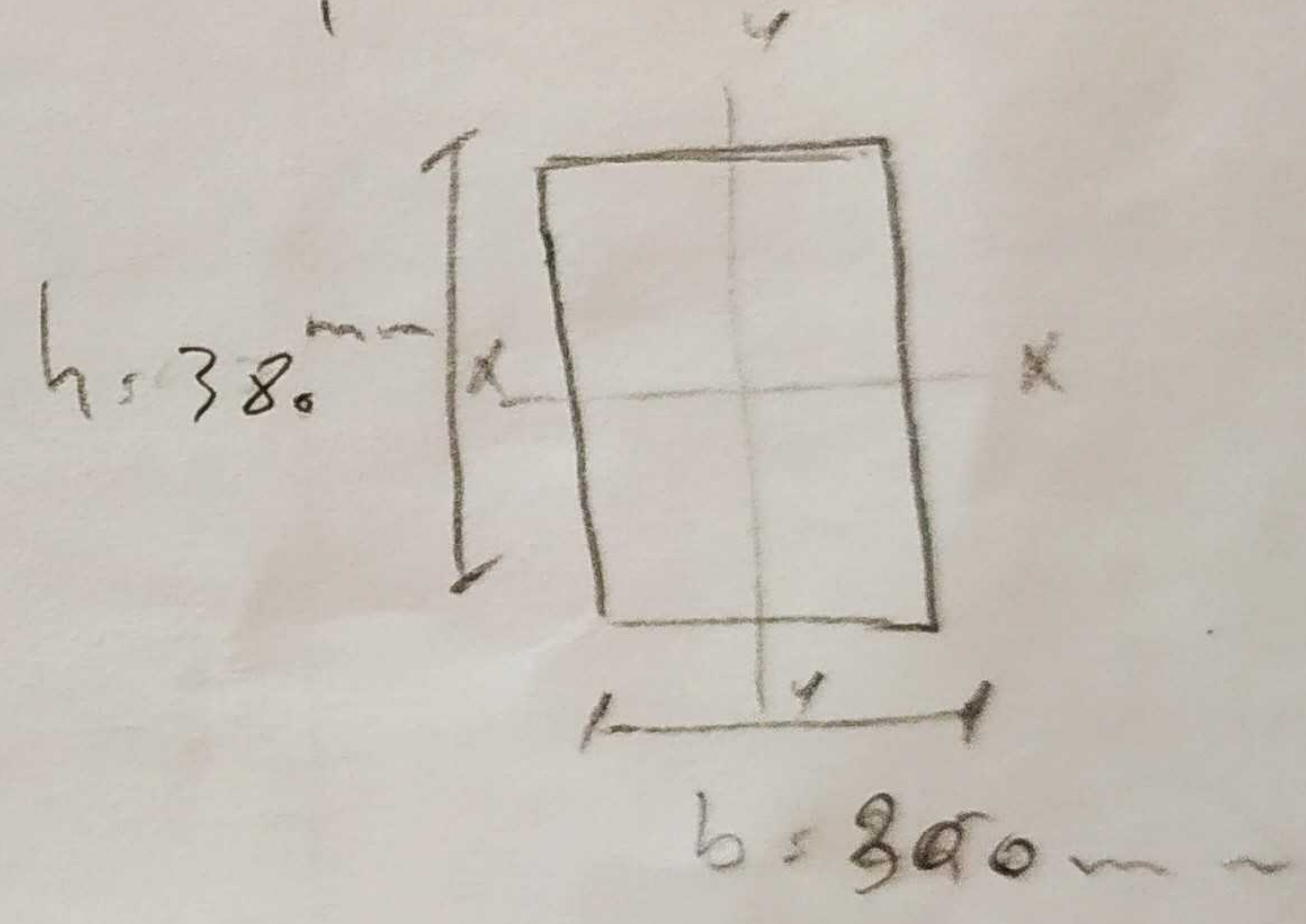
حال با فرض $b_{min}$، $d_{min}$ را تقریب می‌زنیم:

$$\underline{b_{min}=300\,mm} \Rightarrow (300)d^2=\frac{M_u}{\rho_b f_{yd}(1-/5\rho_b \cdot m)}=245885021{,}5$$

$$\Rightarrow \left| \begin{array}{l} d_{min}=313{,}61\simeq 315\,mm \\ d'=65\,mm \end{array} \right\} h=d+d'=380\,mm$$

$$\left| \begin{array}{l} b=300\,mm \\ d=315\,m \\ d'=65\,m \\ h=380\,mm \end{array} \right.$$

قق



---

تا اینجا: محاسبه $A_s$ (مقدار دستی) از روش دقیق

$$A_s=\frac{/85 f_{cd}\times b\times d}{f_{yd}}\left[1-\sqrt{1-\frac{2M_u}{/85\times/6\times f_c\times bd^2}}\right]$$

$$\Rightarrow A_s=\frac{/85\times/6\times30\times250\times315}{/85\times300}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times150\times10^6}{/85\times/6\times30\times250\times(315)^2}}\right]$$

$\Rightarrow A_s=2562\,mm^2 \Rightarrow$ محاسباتی

$14^{4}$

گام ششم : محاسبه میلگرد اجرایی : از میلگرد $\Phi_{26}$ استفاده شده است:

$A_{\Phi_{26}} = \pi(13)^2 = 530,93 \, mm^2$

$\Rightarrow \quad A_{s\,\text{اجرایی}} = \frac{A_{s\,\text{محاسباتی}}}{A_{\Phi_{26}}} = \frac{2562,}{530,93} = 4,82$

$\Rightarrow \quad A_{s\,\text{اجرایی}} = 5\Phi_{26} = 2654 \, mm^2$ غ ق ق
بالادست

$A_{s\,\text{اجرایی}} = 4\Phi_{26} + 1\Phi_{24} = 2576,10 \, mm^2$ ق ق

---

گام هفتم : کنترل شکست :

$\rho_{min} < \rho_{\text{اجرایی}} < \rho_b = \rho_{max}$

$\rho_{\text{اجرایی}} = \frac{A_{s\,\text{اجرایی}}}{b \times d} = \%032$

$\rho_{min} = max \begin{cases} \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 4,6 \times 10^{-3} \\ \frac{\%25\sqrt{f_c}}{f_y} = 4,56 \times 10^{-3} \end{cases}$

$\rho = \rho_{max} = \%033 \Rightarrow$ محاسبه شده در گام ۳ صفحه ۲

$\rho_{min} < \rho_{\text{اجرایی}} < \rho_{max}$

$\downarrow$

$\%0.04 < \%032 < \%0.33$

طراحی درست است

ج، ۲۲۵

$\boxed{14^{4}}$

گام ششم: محاسبه میلگرد اجرایی: از میلگرد $\Phi_{26}$ استفاده شده است:

$$A_{\Phi_{26}} = \pi (13)^2 = 530{,}93\ mm^2$$

$$\Rightarrow A_{s\ \text{اجرایی}} = \frac{A_{s\ \text{محاسباتی}}}{A_{\Phi_{26}}} = \frac{2562}{530{,}93} = 4{,}82$$

$$\Rightarrow A_{s\ \text{اجرایی}} = 5\Phi_{26} = 2654\ mm^2$$ غ قاق / بالادست

$$A_{s\ \text{اجرایی}} = 4\Phi_{26} + 1\Phi_{24} = \underline{2576{,}10\ mm^2}$$ قاق

---

گام هفتم: کنترل شکست:

$$\rho_{min} < \rho_{\text{اجرایی}} < \rho_b = \rho_{max}$$

$$\rho_{\text{اجرایی}} = \frac{A_{s\ \text{اجرایی}}}{b \times d} = \%032$$

$$\rho_{min} = max \begin{cases} \frac{1{,}4}{f_y} = \frac{1{,}4}{300} = \underset{max}{4{,}6\times10^{-3}} \\ \frac{\%25\sqrt{f_c}}{f_y} = 4{,}56\times10^{-3} \end{cases}$$

$$\rho_b = \rho_{max} = \%033 \Rightarrow$$ محاسبه شده در گام دوم

$$\rho_{min} < \rho_{\text{اجرایی}} < \rho_{max}$$

$$\downarrow$$

$$\%0.4 < \%032 < \%0.33.$$

طراحی درست است

7,22α

$14^5$

## شتم : کنترل تک سفره بودن :

$$N = \frac{b - 2(d_c + d_b') + y_{1min}}{d_b + y_{2min}}$$

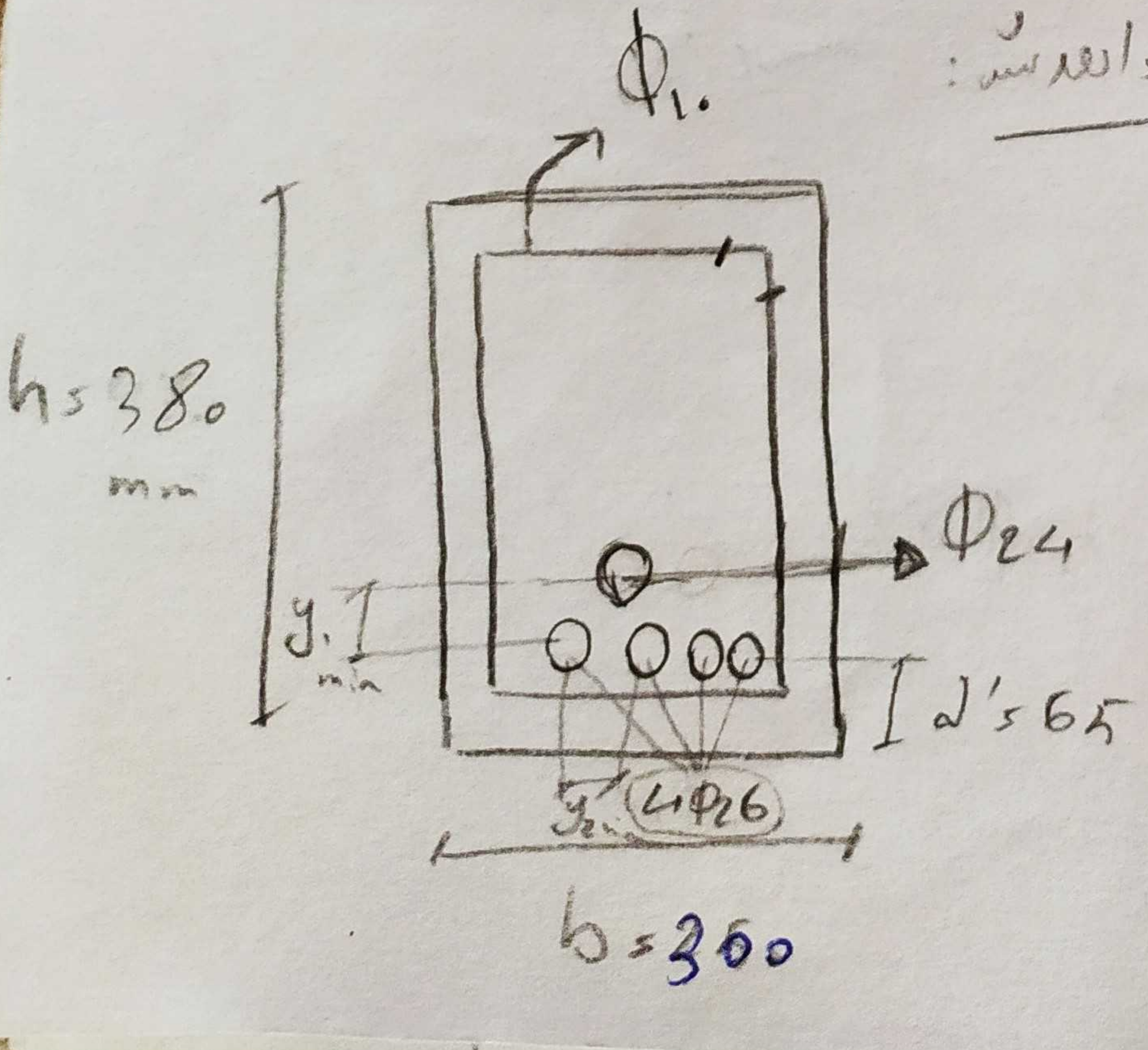
N تعداد میلگرد در یک سفره

$$y_{1min} = \max\begin{cases} 1{,}33\,\overset{22mm}{D_{max}} = 29{,}26 \ \checkmark \\ 25 \\ 26 = d_b \end{cases}$$

$$y_{2min} = \max\begin{cases} 29{,}26 \ \checkmark \\ 25\ mm \end{cases}$$

$$\Rightarrow N = \frac{250 - 2(45 + 10) + 29{,}26}{20 + 29{,}26} \simeq 4{,}55 = 4$$

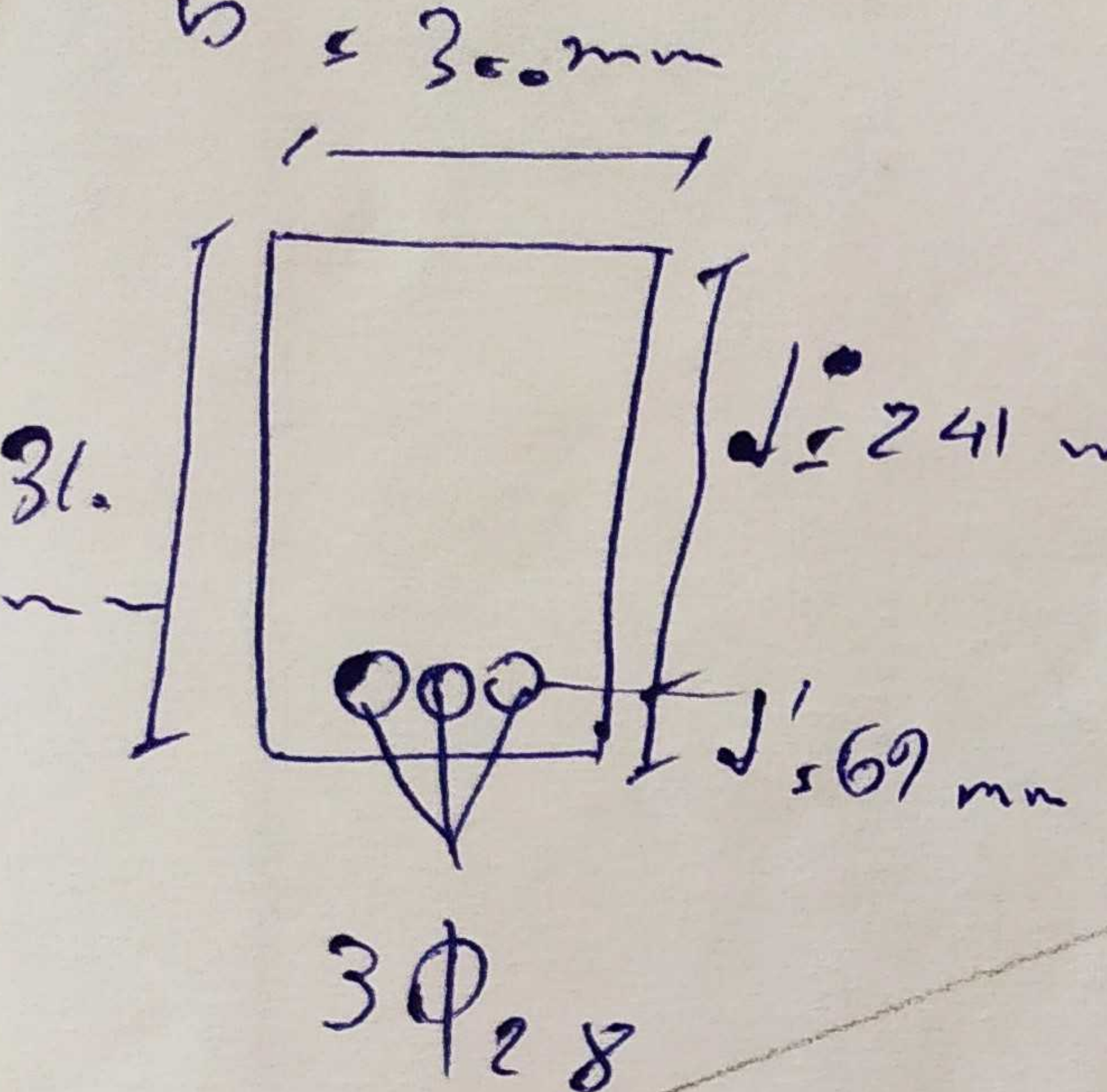
میلگرد در یک سفره : دو سفره‌ای نخواهد شد :



Φ10
h=380 mm
Φ24
$y_{1 min}$
d'=65
$y_{2 min}$
4Φ26
b=300

## کنترل شکل‌پذیری تیر تک ۲ و ۳ :

مقطع مستطیل شکل تحت خمش زیر را در نظر بگیرید، مطلوب است، کنترل شکل‌پذیری، محاسبه مقدار ρ و ρmax در شکست نرم.



$f_y = 400$ MPa

$f_c = 25$ MPa

$d'_b = 10$ mm

کنترل شکل‌پذیری: هدف اول: نوع شکست:

محاسبه $\rho_{max}$ ، $\rho_{min}$ ، $\rho$

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{3(\pi(14)^2)}{300 \times 241} = /025$$

$$\rho_{min} = max \begin{cases} \frac{1/4}{f_y} = \frac{1/4}{400} = 3/5 \times 10^{-3} \quad ✓ \\ \\ \frac{/25\sqrt{f_c}}{f_y} = 3/02 \times 10^{-3} \end{cases}$$

$$\rho_b = \frac{\alpha \Phi_c f_c}{\Phi_s f_y} \times \frac{600}{600+f_y} = \frac{/72 \times /6 \times 25}{/85 \times 300} \times \frac{300}{900} = /01$$

$f_c = 25 \rightarrow \beta = /412$

## تحلیل و طراحی تیر تحت خمش با مقطع مستطیلی دوبل آرمه:

منظور از دوبل آرمه:

میلگرد کششی توام با میلگرد فشاری. [redacted]

اگر $\rho > \rho_b$ باشد شکست ترد است یا ابعاد افزایش یابد (غیر اصولی - سنگین شدن قیمت)

پس [redacted] میلگرد فشاری قرار می‌دهیم.

لنگر مقاوم خمشی

یا زمانی که $M_R = M_u > M_{R\max}$ : طبق این شرایط مقطع باید دوبل آرمه شود.

([redacted] اگر شکست نرم باشد)

* در حالت طراحی نیاز به میلگرد فشاری نداریم ولی به جهت موارد زیر میلگرد فشاری [redacted] تعبیه میشود

موارد اجرایی

1- [redacted] اجرایی (خاموت) 2- امکان تغییر جهت لنگر (بخاطر زلزله) عوض شدن جای کشش و فشار

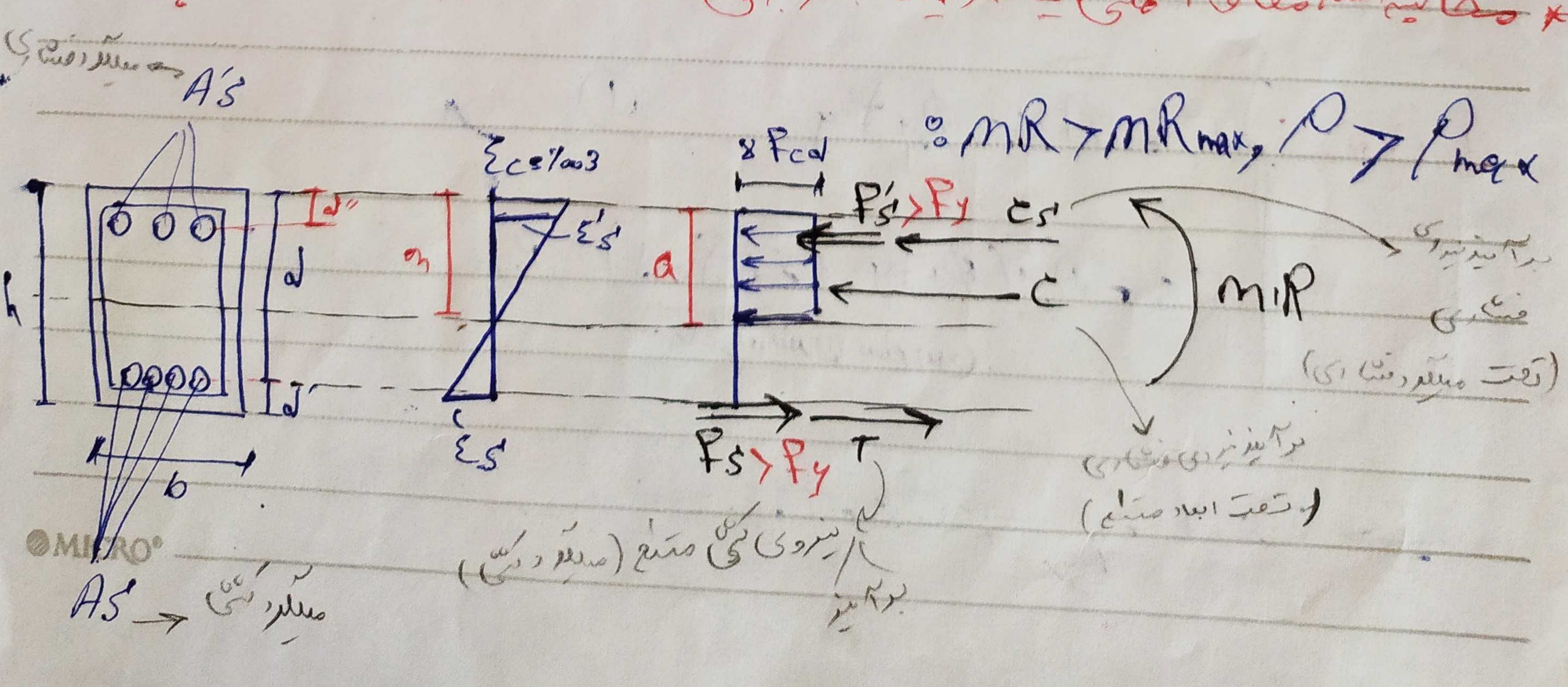
3- میلگرد فشاری تعبیه می‌کنیم به خاطر تغییر شکل دراز مدت.

در حالت فشاری باشد

[redacted] 4- شکل پذیری (انعطاف پذیری): کرنش میلگرد بیشتر است و حالت کشش ایجاد می‌کند

* محاسبه لنگر مقاوم خمشی یا ظرفیت باربری $M_R$ تیر تحت خمش دوبل آرمه:

: $M_R > M_{R\max}$, $\rho > \rho_{\max}$


میلگرد فشاری
A's
h
d'
d
d'
b
As
میلگرد کششی
$\varepsilon_c = 0.003$
$\varepsilon'_s$
c
$\varepsilon_s$
a
8 fcd
$f'_s > f_y$
$C_s'$
C
$M_R$
$f_s > f_y$
T
برآیند نیروی فشاری (تحت میلگرد فشاری)
برآیند نیروی فشاری (تحت ابعاد مقطع)
نیروی کششی مقطع (میلگرد کششی)
برآیند

فرضیه‌ها: 1- میلگرد کششی و فشاری به جاری شدن رسیده‌اند. ($f_s > f_y$)

2- از یک تیپ میلگرد استفاده شود (کرنش‌های برابر دارند)

$$\begin{cases}\varepsilon_y = \varepsilon'_y \\ f_y = f'_y\end{cases}$$

کششی ↓   فشاری ↓

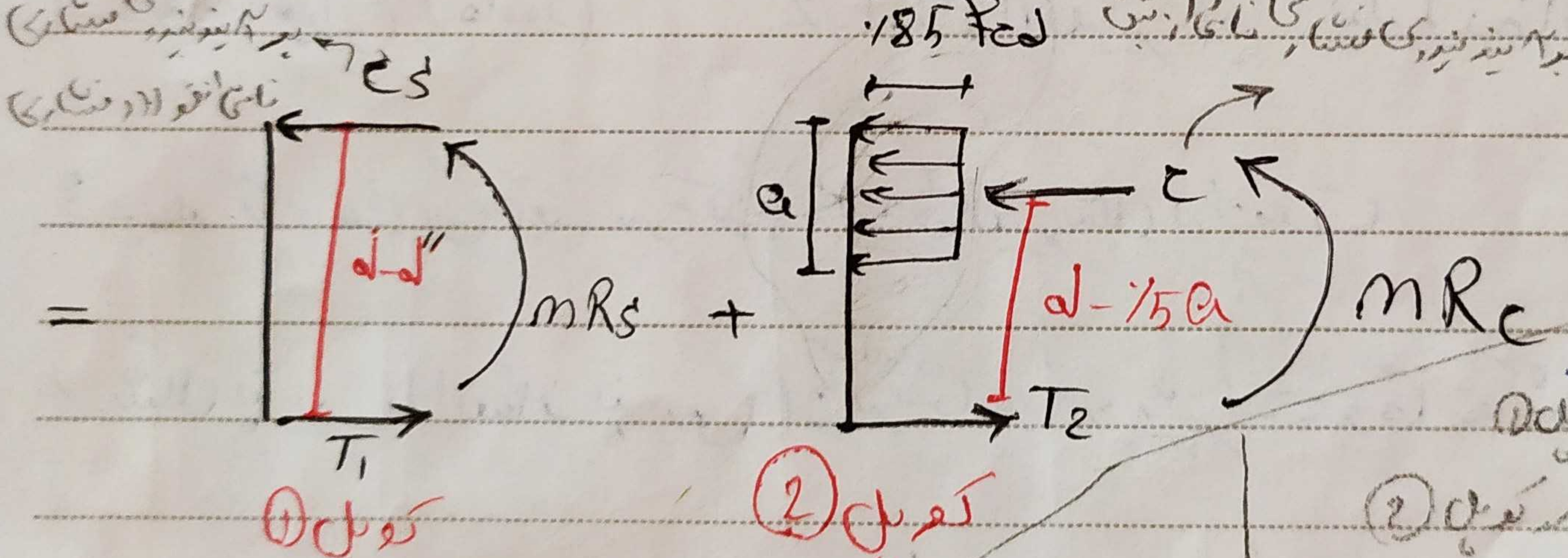
3- $d' = d''$

4- با فرض اینکه $T = T_1 + T_2$ ← برآیند نیروی کششی (ناشی از فولاد)

5- $A_s = A_{ss} + A_{sc}$ ← مساحت میلگرد کششی

6- $M_R = M_{Rs} + M_{Rc}$ ← ممان مقاوم خمشی

با توجه به فرضیات بالا دیاگرام تنش شکل قبل به صورت زیر تبدیل می‌شود:


برآیند نیروی فشاری ناشی از فولاد فشاری
$C_s$
$d-d'$
$M_{Rs}$
$T_1$
=
+
$0.85 f_{cd}$
برآیند نیروی فشاری ناشی از بتن
a
C
$d - 0.5a$
$M_{Rc}$
$T_2$
کوپل 1
کوپل 2

$T_1$: برآیند نیروی کششی در کوپل 1

$T_2$: برآیند نیروی کششی در کوپل 2

$A_{ss}$: سطح مقطع میلگرد کششی در کوپل 1

$A_{sc}$: 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 کوپل 2

$C_s$: برآیند نیروی فشاری ناشی از میلگرد فشاری

C: برآیند نیروی فشاری ناشی از بتن

$M_{Rs}$: ممان مقاوم خمشی کوپل 1

$M_{Rc}$: 〃 〃 〃 〃 〃 2

$A_s$: مساحت کل میلگرد کششی

$A'_s$: مساحت کل میلگرد فشاری

$M_R$: ممان کل مقاوم خمشی

a: فاصله تار خنثی تا دورترین تار فشرده

از کوپل 1:

$$\begin{cases} T_1 = A_{ss}\cdot\phi_s f_y & ① \\ C_s = A'_s(\phi_s f_y - \underline{0.85 f_{cd}}) & ② \end{cases}$$

به خاطر کم شدن سطح بتن

$$\Rightarrow C_s - T_1 = 0 \Rightarrow C_s = T_1 \quad (2')$$

(16) 22

①,②,② Date

$$\Rightarrow A'_s = \frac{A_{ss} \cdot f_{yd}}{f_{yd} - /85 f_{cd}} \quad ③ \longrightarrow$$ مساحت میلگرد فشاری

④' لنگر مقاوم مربوط کوپل ①

$$M_{Rs} = T_1 (d - d'') = C_s' (d - d'') \longrightarrow$$

$$\begin{cases} M_{Rs} = A'_s (f_{yd} - /85 f_{cd})(d - d'') \quad ④ \Rightarrow \underline{④',②} \\ M_{Rs} = A_{ss} f_{yd} (d - d'') \quad ⑤ \Rightarrow \underline{④',①} \end{cases}$$

$$④ \Rightarrow A'_s = \frac{M_{Rs}}{(f_{yd} - /85 f_{cd})(d - d'')} \quad ⑥ \longrightarrow$$ با لنگر ۲ میلگرد فشاری (بیشتر)

$$⑤ \Rightarrow A_{ss} = \frac{M_{Rs}}{f_{yd}(d - d'')} \quad ⑦ \longrightarrow$$ مساحت میلگرد کششی در کوپل ①

بازوی کوپل ②: $$\begin{cases} T_2 = A_{sc} \cdot \phi_s f_y \quad ⑧ \text{ یا } T_2 = (A_s - A_{ss}) \phi_s f_y \quad ⑨ \\ C = /85 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot a \quad ⑩ \end{cases}$$

$$T_2 - C = 0 \Longrightarrow \underline{C = T_2} \quad ⑩'$$

$$⑨,⑩,⑩' \Rightarrow a = \frac{A_{sc} \cdot f_{yd}}{/85 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad ⑪ \text{ یا } a = \frac{(A_s - A_{ss}) f_{yd}}{/85 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad ⑪'$$

$$⑧ \Rightarrow M_{Rc} = A_{sc} \cdot f_{yd} \underbrace{(d - /5a)}_{\text{بازوی کوپل}} \quad ⑫$$

(9)

$$\Rightarrow M_{Rc} = (A_s' - A_{s1}') f_{yd} (d - 0.5a) \quad ⑬$$

(10)

$$\Rightarrow M_{Rc} = 0.85 f_{cd} \cdot b \cdot a (d - 0.5a) \quad ⑭$$

$$\underbrace{M_R = M_{Rs'} + M_{Rc}}_{\substack{M_{Rs'}:\ ④,⑤ \\ M_{Rc}:\ ⑫,⑬,⑭}} \rightarrow \begin{cases} ④ + ⑫ \\ ⑤ + ⑫ \\ ④ + ⑬ \\ ⑤ + ⑬ \\ ④ + ⑭ \\ ⑤ + ⑭ \end{cases}$$

۶ حالت

---

* شرط های جاری شدن میلگردها :

برای اینکه با حالت تک ۳ معادله‌ای حل گرفته شود

الف) شرط جاری شدن میلگرد کششی : $\rho \leq \bar{\rho}_b$

ب) " " " فشاری : $\rho \geq \bar{\rho}_{min}$

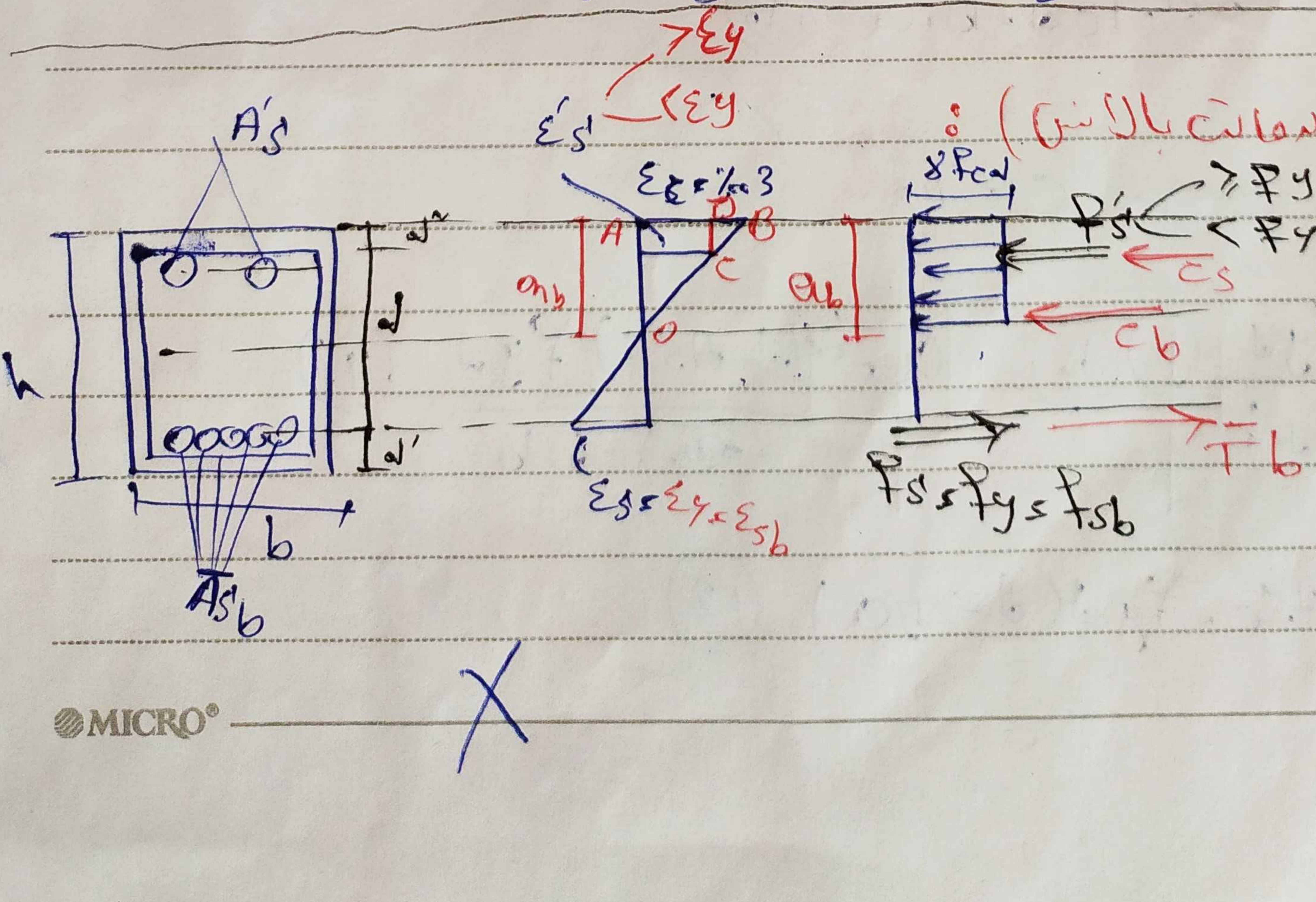
$\bar{\rho}_b$ ، $\bar{M}_{R_b}$ ، $\bar{A}_{s_b}$

* در طراحی (دوبل ۲ مجهول) تمام پارامترهای بالانس) معلوم است – طراحی دوبل تیر با تک ۳ معادله‌ای گرفته نشود

[redacted]

---

محاسبه $\bar{\rho}_b$ (حالت بالانس) :



$A_s'$
$d'$
$d$
$h$
$d'$
$b$
$\bar{A}_{s_b}$
$> \varepsilon_y$
$< \varepsilon_y$
$\varepsilon_s'$
$\varepsilon_c = 0.003$
A
B
C
D
O
$a_b$
$a_b$
$\varepsilon_s = \varepsilon_y = \varepsilon_{sb}$
$0.85 f_{cd}$
$f_s'$
$\geq f_y$
$< f_y$
$C_s$
$C_b$
$T_b$
$f_s = f_y = f_{sb}$

[illegible]

اگر رابطه بالا را بر $f_y \cdot b \cdot d$ تقسیم می کنیم

$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b \cdot d}$ درصد میلگرد کششی در حالت بالانس

$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} \rightarrow$ درصد میلگرد فشاری

$f'_s$ تنش فشاری در میلگرد فشاری

درصد میلگرد کششی در حالت بالانس

$$\Rightarrow \bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \left( \frac{f'_s}{f_y} \right) \Longrightarrow$$

شرط جاری شدن میلگرد کششی

$$\begin{cases} \rho \leq \bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \left( \frac{f'_s}{f_y} \right) \\ \text{یا} \quad \rho - \rho_b \leq \rho' \left( f'_s / f_y \right) \end{cases}$$

$A_{s\,min}\,\phi_s\,f_y$ … $\frac{}{600-f_y}$ .

مقدارهای بالا را بر $b \cdot d \cdot \phi_s \cdot f_y$ می کنیم :

$$\boxed{\bar{\rho}_{min} = \%6\,\beta_1 \frac{f_c}{f_y}\,\frac{600}{600-f_y}\cdot\frac{d''}{d} + \rho'}$$

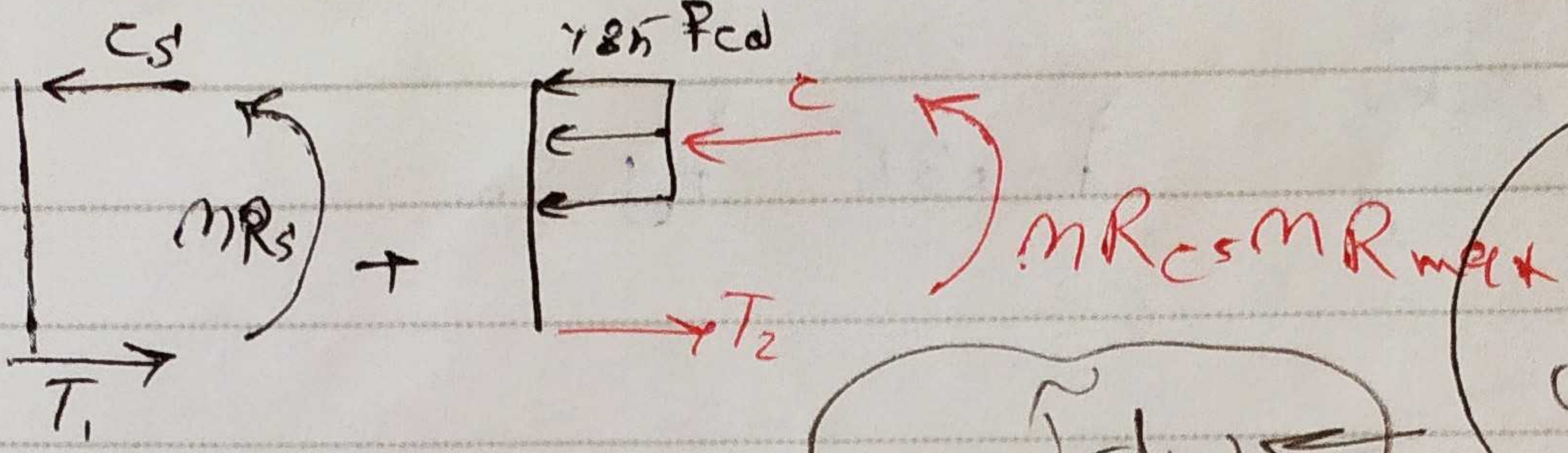
$30 < f_c < 55\ mPa$

$\Rightarrow \beta_1 = /85 - /008(f_c - 30)$

$f_c < 30\ mPa \Rightarrow \beta_1 = /85$

شرط جاری شدن میلگرد : $\rho \geqslant \bar{\rho}_{min}$

* اگر در یک مسئله حالت ③ و ④ اتفاق افتد بهتر است ابعاد را افزایش دهیم.



* محاسبه‌ی $A_s'$ و $A_s$ 8

$A_s' \downarrow$ میلگرد فشاری

$A_s \downarrow$ میلگرد کششی

$\Leftarrow$ دوبل آرمه

اگر $M_R = M_u < M_{R\max}$ تک آرمه نیاز به قسمت اول رابطه ۲ بالا است

و اگر $M_R = M_u > M_{R\max}$ دوبل آرمه می‌باشد و نیاز به قسمت اول است.

$M_{R2}$ [illegible]

$M_{Rb}$ تک آرمه

$$M_u - M_{R\max} = M_{Rs} \quad ①$$

$$A_{ss} = \frac{M_{Rs}}{F_{yd}(d-d'')} \quad ⑤$$

سطح مقطع میلگرد فشاری

$$* A_s' = \frac{M_{Rs}}{(F_{yd} - 0.85 F_{cd})(d-d'')} \quad ③ \Longrightarrow \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} \quad ④$$

درصد میلگرد فشاری $\leftarrow$

تک آرمه $M_{Rb}$

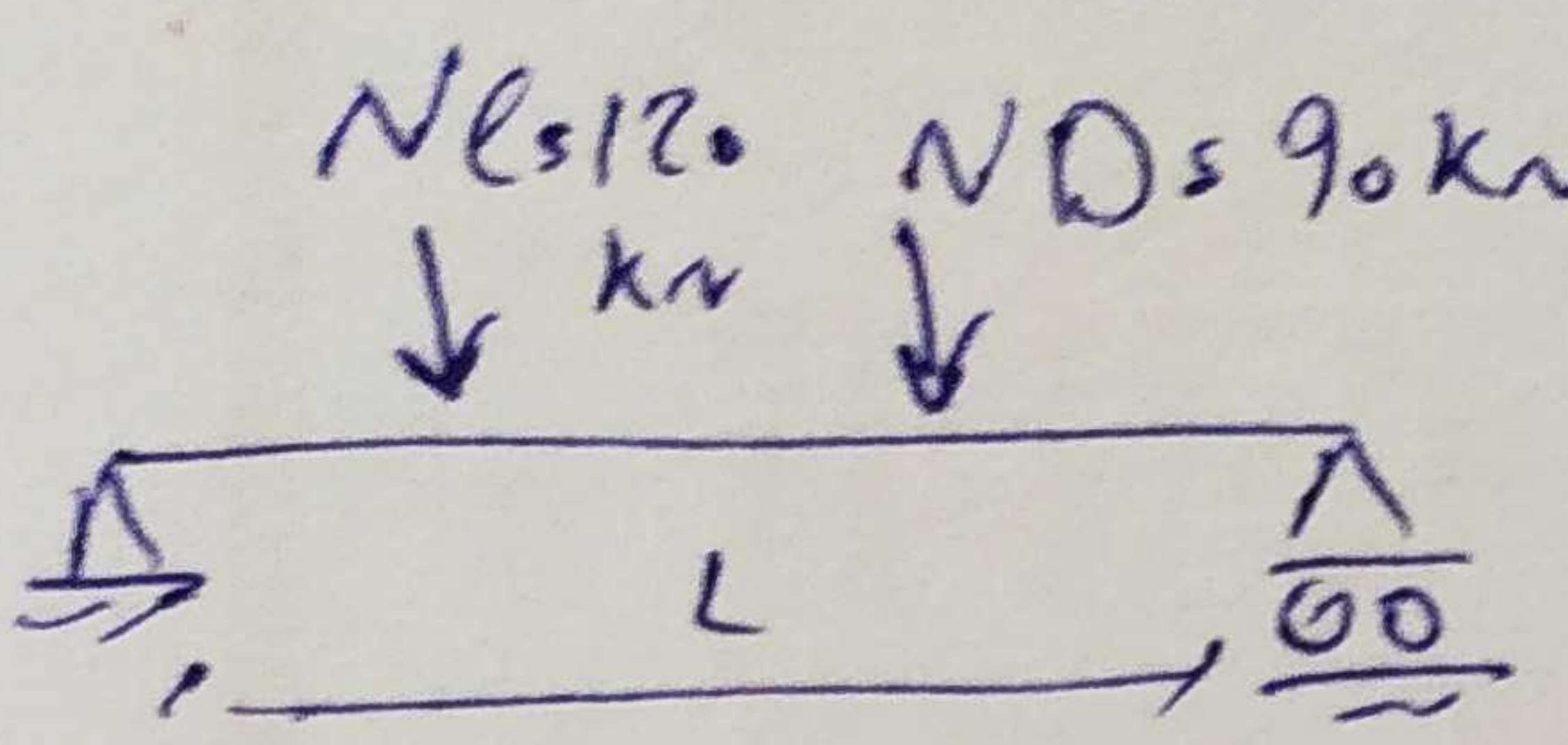
$$M_{R\max} = \rho_b \cdot b \cdot d^2 F_{yd}\left(1 - \beta \frac{600}{600+F_y}\right) \longrightarrow \text{تک آرمه} \quad ②$$

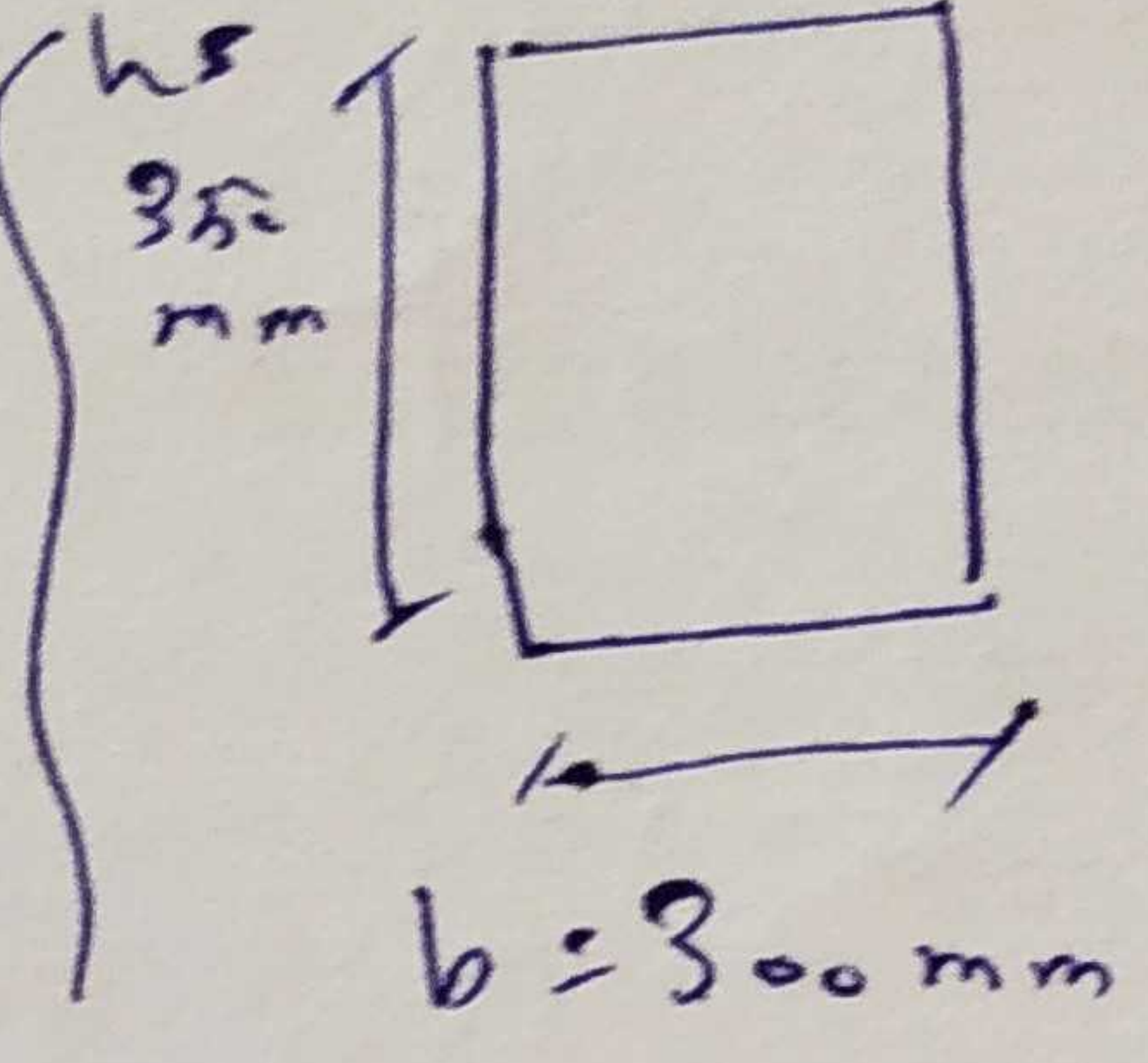
$$A_{s\max} = \rho_b \cdot b \cdot d \quad ⑥$$

$$\begin{cases} A_s = A_{ss} + A_{s\max} \quad ⑦ \\ A_s'' \longrightarrow \text{از فرمول * بدست می‌آید.} \end{cases}$$

## مثال ۵ طراحی تیر مستطیلی دوبل آرمه :

در تیر دو سر مفصل زیر با بارهای داده شده، میلگردهای لازم را طراحی کنید. ($d_c = 35$ mm).





$F_y = 300$ MPa

$f_c = 30$ MPa

$(M_{max})_D = 67.5$ kN.m

$(M_{max})_L = 90$ kN.m

---

حل / گام اول: محاسبه حداکثر لنگر نهایی از بارگذاری:

$M_u = 1.2 M_D + 1.5 M_{LL} = 1.2(67.5) + 1.5(90) = 219.37$ kN.m

---

گام دوم: محاسبه عمق مفید (d)

$d' = d_c + d_b' + \frac{d_b}{2} = 35 + 10 + \frac{20}{2} = 55$ mm

$d = h - d' = 350 - 55 = 295$ mm

---

گام سوم: محاسبه میلگرد کششی تک آرمه:

$$A_s = \frac{0.85 f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{0.85 f_{cd} \cdot b d^2}}\right] =$$ زیر رادیکال منفی خواهد شد

← دو راهکار

۱- افزایش ابعاد مقطع ← غیر اقتصادی

۲- طراحی دوبل آرمه ← اقتصادی ✓

(19")

چهار، ۳: طراحی دوبل آرمه :

1) تعریف $\rho_b = \frac{\alpha \phi_c f_c}{\phi_s f_y} \times \frac{600}{600+f_y} = \frac{/72 \times /6 \times 30}{/85 \times 300} \times \frac{600}{900} = /034$

---

2) $A_{s_{max}} = \rho_b . b . d = /034 \times 300 \times 295 = 3009\ mm^2$

---

3) فاصله ی تار خنثی تا دورترین تار فشاری یا همان عمق بلوک فشاری $a_{max} = \frac{A_{s_{max}} \times \phi_s f_y}{/85 f_{cd} . b_1} = \frac{3009 \times /85 \times 300}{/85 \times /6 \times 30 \times 300}$

$\Longrightarrow a_{max} = 167,7\ mm$

---

4) تعریف $M_{R_{max}} = M_B = \rho_b . b . d^2 . f_{yd} \left(1 - \beta \frac{600}{600+f_y}\right)$

$\Longrightarrow M_b = /034 \times 300 \times 300^2 \times /85 \times 300 \left(1 - \frac{/42 \times 600}{900}\right) = 162,21$ kN.m

---

5) $M_{R_S} = M_u - M_{R_{max}} = 219,37 - 162,21 = 57,16$ kN.m

---

6) میلگرد فشاری $A'_s = \frac{M_{R_S}}{(f_{yd} - /85 f_{cd})(d-d')} = \frac{57,16 \times 10^6}{(/85 \times 300 - /85 \times /6 \times 30) \times (295 - 55)}$

(19ام) $\Rightarrow A_s' = 993,6 \ mm^2$

---

⑦ $A_s' = A_{s1}' + A_{s\,max}$

کل میلگرد کششی

$$A_{s1}' = \frac{MR_1}{F_{yd}(d-d'')} = \frac{57,16 \times 10^6}{0/85 \times 300\,(d-d'')} = 933,6 \ mm^2$$

$\Rightarrow A_s' = 3009 + 933,6 = 3942,98 \ mm^2$

کل میلگرد کششی

---

⑧ محاسبه میلگرد کششی و فولادهای اجرایی :

* برای میلگرد فشاری : از $\Phi_{22}$ استفاده شده است :

$A_{\Phi_{22}} = \pi(11)^2 = 380,22 \ mm^2 \Rightarrow A_s'$ اجرایی $= 3\Phi_{22} = 1140,04 \ mm^2$

* برای میلگرد کششی $(A_s')$ : از $\Phi_{32}$ استفاده شده است :

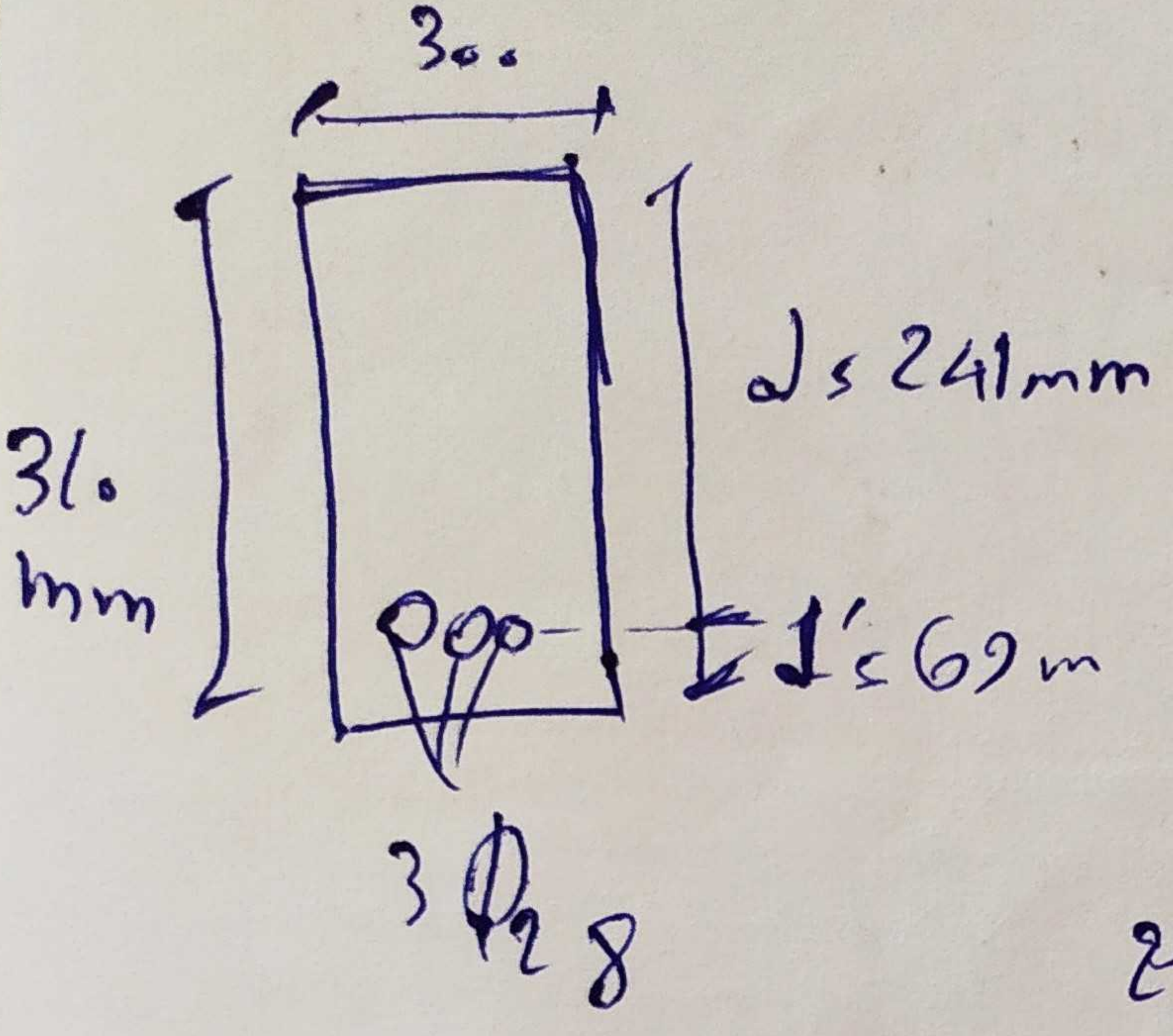
$A_{\Phi_{32}} = \pi(16)^2 = 804,24 \ mm^2$

$\Rightarrow A_s'$ اجرایی $= 5\Phi_{32} = 4021,24 \ mm^2$

19

محدود ۲ مثال کنترل (مثال ۲ تک آرمه) به صورت دوبل آرمه:

مقطع مستطیلی شکل تحت خمش زیر را در نظر بگیرید، مطلوب است کنترل طراحی تک آرمه:



$F_y = 400$ mPa

$F_c = 25$ mPa

$d'_b = 10$ mm

مقطع $M_u = 60$ kN.m

---

در مثال قبل با توجه به اینکه $\rho_{موجود} > \rho_b$ شده بود، شکست ترد بود

برای حل این مشکل، میلگرد فشاری تعبیه می کنیم: طراحی دوبل آرمه:

①

$\rho_b = \%1$ مثال قبل

② $As_{max} = \rho_b . b . d' = 723 \ mm^2$

③ $a_{max} = \frac{As_{max} . \Phi_s F_y}{.85 F_c d . b} = 64,27$ mm

④ $MR_{max} = M_b = \rho_b . b d^2 F_{yd} (1 - \frac{\beta 600}{600 + F_y})$

$\Rightarrow MR_{max} = 44,31$ kN.m

⑤ $MR_{s'} = Mu - MR_{max} = 15,69$ kNm

---

⑥ میلگرد فشاری $A'_s = \dfrac{MR_s}{(f_{yd} - .85 f_{cd})(d - d'')}$

$\Rightarrow A'_s = 278,74\ mm^2$

---

⑦ $A_s = A_{ss'} + A_{s\,max} = 268,30 + 723 = 991,29$

$A_{ss'} = \dfrac{MR_{s'}}{f_{yd}(d - d'')} = 268,30$

---

⑧ محاسبه میلگردهای کششی و فشاری اجرایی:

⊗ $A_s$ اجرایی: Use $\Phi_{22}$:

$A\Phi_{22} = \pi(11)^2 = 380,22\ mm^2$

$\Rightarrow A_s$ اجرایی $= 3\Phi_{22} = 114,02\ mm^2$

⊗ $A'_s$ اجرایی: Use 14:

$A\Phi_{14} = 153,9\ mm^2$

$\Rightarrow A'_s$ اجرایی $= 2\Phi_{14} = 307,87\ mm^2 \Rightarrow$ محاسبه تنش‌ها در مقطع نهایی انجام دهید