فصل نهم : ۹

قابلیت بهره برداری سازه های بتن آرمه

- ☑ تغییر شکل ها
- ☑ ممان اینرسی موثر
- ☑ خواص هندسی مقطع ترک خورده
- ☑ ترک خوردن تیر و محدودیت آیین نامه

وابستگی طراحی به دو دسته از حالتهای حدی می باشد
- حالت حد نهایی تامین ایمنی
- حالت حدی بهره برداری : رفتار رضایت بخش هنگام استفاده تحت بار بهره برداری

* عموما" طراحی ابتدا برای مقاومت انجام گرفته و سپس حالت حدی بهره برداری کنترل می گردد .

ضوابط مهم از معیارهای بهره برداری عبارتند از
۱- کنترل تغییر شکل ها
۲- کنترل ترک

تغییر شکل ها

تغییر شکل اعضای بتن آرمه در دو بخش بررسی می گردد
- تغییر شکل آنی (کوتاه مدت) : در اثر بارگذاری
- تغییر شکل دراز مدت : ناشی از جمع شدگی (افت و خزش تحت اثر بار ثابت

تغییر شکل آنی :

* رفتار سازه تحت اثر بار بهره برداری تقریبا" الاستیک می باشد.

رابطه عمومی ماکزیمم تغییر شکل

$$\Delta = \frac{KwL^4}{EI} = K_1 \frac{ML^2}{EI}$$

(این فرمول کلی برای تک دهانه است)

Δ = عموما" تغییر شکل وسط دهانه (ماکزیمم تغییر شکل)

W : بار گسترده روی دهانه

L : طول دهانه

EI : صلبیت خمشی

M : ممان ماکزیمم

K و K_1 : ضریب ثابت ⇐ به توزیع بار ، شرایط تکیه گاهی و تغییرات EI (در صورت وجود) بستگی دارد

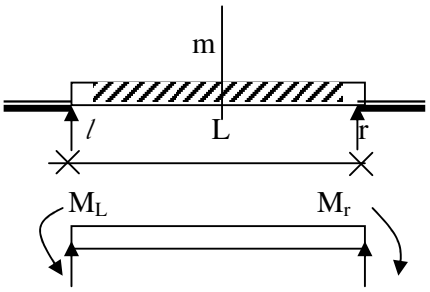
$$K_1 = \frac{5}{48} \quad , \quad K = \frac{5}{384}$$

.برای تیر ساده تحت بار گسترده یکنواخت

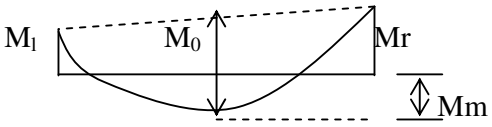
$$\Delta = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5ML^2}{48EI}$$

حالت معمول تیر یکسره با مقطع ثابت بار گسترده یکنواخت W می باشد .

* در تحلیل تیرها ممانهای تکیه گاهی و وسط دهانه معلوم می باشند.

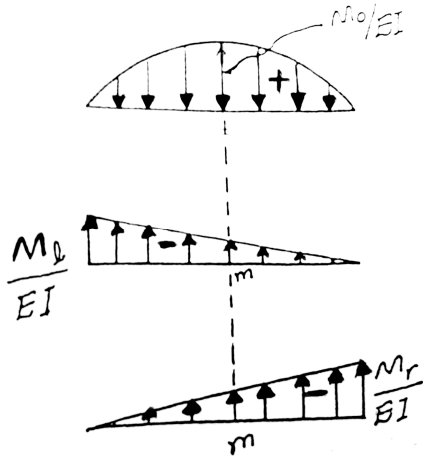


$$M_0 = \frac{wL^2}{8} \quad , \quad M_0 = \frac{M_r + M_L}{2}$$



دیاگرام ممان

با استفاده از روش تیر فرضی :



$$\Delta_{m_1} = \frac{5}{48}\frac{M_0 L^2}{EI}$$

تغییر شکل وسط دهانه از ترکیب

$$\Delta_{m_2} = -\frac{M_l L^2}{16EI}$$

سه حالت بارگذاری الا ستیک

$$\Delta_{m_3} = -\frac{M_r L^2}{16EI}$$

در تصاویر مقابل به دست می آید

$$\Delta_m = \frac{5}{48}\frac{M_0 L^2}{EI} - \frac{M_l L^2}{16EI} - \frac{M_r L^2}{16EI}$$

$$\Delta_m = \frac{5}{48}\frac{L^2}{EI}\left[M_0 - (0.6)(M_L + M_r)\right]$$

با توجه به اینکه از دیاگرام ممان

$$M_m = M_0 - 1/2\,(M_L + M_r)$$

لذا در رابطه ΔM ، M_0 را با استفاده از رابطه بالا حذف می کنیم.

$$\Delta_m = \frac{5}{48}\frac{L^2}{EI}\left[M_0 - (0.1)(M_L + M_r)\right] \qquad (2)$$

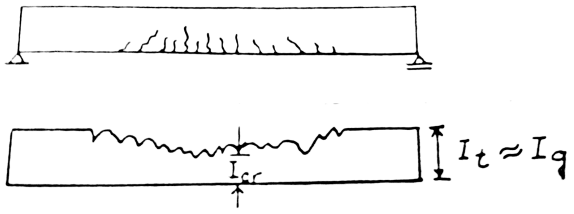
مقدار EI در تیرهای بتن آرمه :

E_C = مدول الاستیسیته بتن

$$E_C = 5000\sqrt{F_C}$$

ممان اینرسی موثر Ie

استفاده از ممان اینرسی مناسب در روابط تغییر شکل یاد شده از مشکلات اساسی می باشد . اگر کل تیر در شرایط ترک نخوردگی باشد ، ممان اینرسی کل مقطع ؛ I_g (ممان اینرسی ترک نخورده بدون در نظر گرفتن اثر میلگردها) می تواند استفاده شود . هر چند تحت بار بهره برداری بتن در نواحی که ممان خمشی از حد ترک خوردگی تجاوز کند ، ترک می خورد . به طوریکه اینرسی واقعی در طول تیر مطابق تصویر زیر متغیر خواهد بود.



ممان های بالا میزان گسترش ترک ها را افزایش می دهد و طبعاً" ممان اینرسی واقعی کاهش پیدا می کند . تعیین تغییرات ممان اینرسی در تیرهای ترک خورده کار نسبتاً" دشواری است . در عمل برای محاسبه تغییر شکل می توان طبق پیشنهاد آبا ،ممان اینرسی موثر « I_e » را در روابط تغییر شکل به کار گرفت .

ترک خورده ↗

$$I_e = I_{cr} + (I_g - I_{cr}) (M_{cr} / M_a)^3 \leqslant I_g \quad ....(3)$$

بنا به تعریف ممان اینرسی موثر « I_e » یک تیر مقداری است که تغییر شکل تیر با چنین ممان اینرسی تحت اثر بار مشخص برابر است با تغییر شکل تیر اصلی آن تیر با ممان اینرسی متغیر .

تعریف I_e ممان اینرسی موثر فقط برای تیرهای ساده وکنسول است .

M_{Cr} = ممان ترک دهنده بر حسب N. mm

$$M_{Cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$f_r = 0.6\sqrt{f_c}$$

I_g : ممان اینرسی کل مقطع بتنی چون محور خمشی با صرفنظر کردن از میلگردها (mm^4)

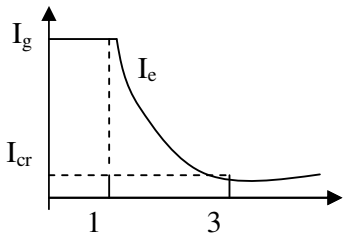
I_{Cr} : ممان اینرسی مقطع ترک خورده تبدیل یافته به بتنی (mm^4)

M_a : ممان خمشی حداکثر در مقطع مورد نظر تحت بار بهره برداری (N-NM)

y_t : فاصله تار خارجی کششی تا تار خنثی کل مقطع بتنی (MM)

F_C: مقاومت مشخصه فشاری بتن (بر مبناء نمونه های استوانه ای) N/mm^2

رابطه ۳ بر اساس نتایج آزمایشات متعدد به دست آمده و برای تیرهای ساده و ؟ به کار می رود . با رجوع به نمودار زیر می توان ملاحظه کرد که مقدار I_e به یزرگی ممان بستگی دارد . برای ممانهای کوچک ($M_a < M_{Cr}$) تیر به صورت ترک نخورده و $I_e = I_g$ می باشد . برای ممانهای بزرگ (مثلا بگوییم ($[M_a > 3\ M_{Cr}]$) تیر در سرتا سر به صورت ترک خورده و $I_e \approx I_{cr}$ خواهد بود . برای ممان های خمشی در بین این دو محدوده ، رابطه ۳ به کار گرفته خواهد شد .



ممان اینرسی موثر برای دهانه های پیوسته

رابطه ۳ برای محاسبه I_e در تیرهای با تکیه گاه های ساده و کنسول می باشد
مناطق ممان منفی یک تیر پیوسته ممکن است دارای مقدار I_e متفاوت با مناطق ممان مثبت باشد.

* متغیر بودن I_e ناشی از تغییرات ابعاد مقطع ، تغییرات نسبت فولاد ، اختلاف اثر ترک خوردگی حاصل می گردد . برای مثال در تیرهای پیوسته T شکل مقادیر I_{cr} تحت اثر ممانهای منفی و مثبت تفاوت زیادی دارند .
آیین نامه بتن ایران پیشنهاد می نماید که در دهانه های پیوسته مقدار متوسط I_e بر پایه معادله (۳) برای مقاطع بحرانی ممانهای مثبت و منفی به دست آمده ملاک قرار گیرد.
برای تیر پیوسته از یک انتها :

I_e (متوسط) $= 0.85\ I_{em} + 0.15\ I_e$ انتهای پیوسته ..... (5)

برای تیر پیوسته از دو انتها :

I_e (متوسط) $= 0.5\ I_{em} + 0.25\ (I_{el} + I_{er})$ .... (6)

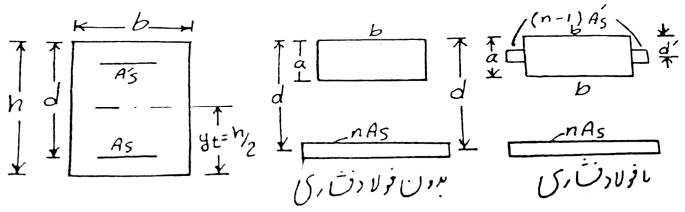
(ممان اینرسی موثر بر اساس ممان اینرسی وسط دهانه
برای حالتی که چند دهانه است از رابطه (5) و (6) به دست آورد.)

I_{em} : ممان اینرسی موثر مقطع وسط دهانه

I_{er}وI_{er} : ممان اینرسی موثر مقاطع تکیه گاهی

خواص هندسی مقطع ترک خورده

الف) مقطع مستطیلی



$$I_g = \frac{bh^3}{12} \qquad r = \frac{(n-1)A'_s}{n\,A_s} \qquad B = \frac{b}{n\,A_s}$$

بدون فولاد فشاری :

$$a = \frac{(\sqrt{(2d.B+1)}-1}{B}$$

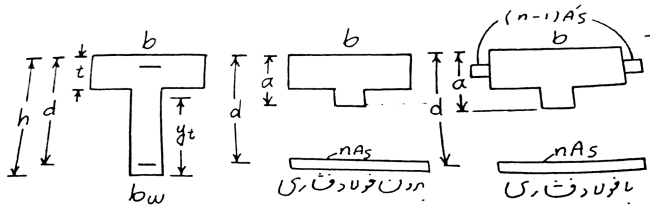
$$I_{Cr} = b.\frac{a^3}{3} + n\,A_s\,(d-a)^2$$

با فولاد فشاری :

$$a = \frac{\sqrt{2dB(1+\frac{r.d'}{d}) + (1+r^2)} - (1+r)}{B}$$

$$I_{Cr} = \frac{b.a^3}{3} + nA_s(d-a)^2 + (n-1)A'_s(a-d')^2$$

ب) مقطع T شکل



$$c = b_w \Big/ (nA_s) \quad ; \quad f = t(b-b_w) \Big/ nA_s \qquad y_t = h - 0.5((b-b_w)t^2 + b_w h^2) \Big/ ((b-b_w)t + b_w h)$$

$$I_g = \frac{(b-b_w)t^3}{12} + \frac{b_w h^3}{12} + (b-b_w).t.(h-\frac{t}{2}-y_t)^2 + b_w h(y_t - \frac{h}{2})^2$$

بدون فولاد فشاری :

$$a = \frac{\sqrt{C(2d+t.f) + (1+f)^2} - (1+f)}{C}$$

اگر $a \leqslant t$ باشد به روابط مقطع مستطیلی مراجعه می شود: $I_{Cr} = \frac{(b-b_w).t^3}{12} + \frac{b_w a^3}{3} + (b-b_w).t.(a-\frac{t}{2})^2 + nA_s(d-a)^2$

با فولاد فشاری :

$$a = \frac{\sqrt{C(2d+t.f+2rd') + (1+f+r)^2} - (1+f+r)}{C}$$

اگر $a \leqslant t$ باشد به روابط مستطیل مراجعه شود، درغیر اینصورت :

$$I_{Cr} = \frac{(b-b_w).t^3}{12} + \frac{b_w a^3}{3} + (b-b_w).t.(a-\frac{t}{2})^2 + nA_s(d-a)^2 + (n-1)A'_s(a-d')^2$$

Ig : ممان اینرسی کل بدون در نظر گرفتن فولاد و Icr : ممان اینرسی مقطع ترک خورده تبدیل یافته

* فقط Ie موثر است که در واقع در برگیرنده تغییرات ممان در مقطع ترک خورده است.

تغییر شکل دراز مدت

تحت اثر بار ثابت ، تغییر شکل با گذشت زمان افزایش می یابد دلیل عمده تاثیر خزش و جمع شدگی(انقباض) بتن می باشد.

همانطور که در سازه های بتن آرمه ۱ اشاره شد ، عواملی که بر خزش و انقباض موثر می باشند عبارتند از : تنش در بتن ، میزان فولاد ، شرایط به عمل آوری ، سن بتن در زمان بارگذاری و شرایط گیرداری

با توجه به اینکه تغییر شکل های دراز مدت وابسته به عوامل متعددی بوده و با اثرات متقابل بر یکدیگر می باشند ، راه حل عملی و رضایت بخش این است که تغییر شکل ناشی از تمامی عوامل وابسته به زمان به طور یکی و به صورت ضریبی از تغییر شکل اولیه محاسبه گردد.طبق آبا تغییر شکل اضافی دراز مدت Δ_t را می توان با ضرب نمودن تغییر شکل آنی حاصل از بار ماندگار = Δ_i در ضریب λ بدست آورد.

بار مرده + قسمتی از بارزنده

$$\Delta_t = \Delta_{cp} + \Delta_{sh}$$

دراز مدت $\Delta_t = \lambda \Delta i$

$$\lambda = \frac{\xi}{1+50\rho'}$$

$$\rho' = \frac{A'_S}{bd}$$

p' نسبت فولاد فشاری و برابر مقدار وسط دهانه برای دهانه های ساده در تکیه گاه برای تیرهای طره ای(کنسول) و برای تیرهای سرتاسری λ برای ناحیه ممان مثبت .

معرف به (ایتاء)

تابع زمان ξ به صورت جدول زیر نشان داده شده است .

جدول ۱

مدت زمان بارگذاری	تابع زمان ξ
برای ۵ سال یا بیشتر	2
برای ۱۲ ماه	1.4
برای ۶ ماه	1.2
برای ۳ ماه	1.0

* همانطور که در رابطه λ ملاحظه می شود ، وجود فولاد فشاری به میزان قابل ملاحظه ای از تغییر شکل بتن جلوگیری می نماید.

عدم وجود فولاد فشاری ، بتن بدون هیچ مانعی به انقباض و خزش طبیعی خود ادامه می دهد

محدودیت آیین نامه در مورد تغیر شکل تیرها(حد مجاز)

در مورد تیرها و دالها ملاحظات مربوط به قابلیت بهره برداری حکم می کند که میزان تغییر شکل تیرها از حدی تجاوز نکند . تغییر شکل زیاده از حد تیرها و دالها موجب ترک خوردن پوشش روکاری روی تیریا دال می گردد و علاوه بر آن ممکن است در افراد استفاده کننده از بنا ایجاد ترس و وحشت بنماید. به همین جهت آبا میزان تغییر شکل در تیرها و دالها را محدود می کنند. میزان محدودیت بستگی به نوع و شرایط بهره برداری از آن دارد.

جدول ۲ : محدودیت تغییر شکل در تیرها

نوع عضو	تغییر شکل موردنظر	محدودیت تغییرشکل
۱- بام هایی (فقط طبقه آخر) که به عناصر که از تغییرشکل های بزرگ آسیب می بینند متصل نبوده و یا آنها را حمل نمی کنند.	تغییر شکل آنی تیر در زیر اثر بارزنده	$\frac{L}{180}$
۲- سقف هایی که به عناصر که از تغییر شکل های بزرگ آسیب می بینند متصل نبوده و یا آنها را حمل نمی کنند.	تغییر شکل آنی تیر در زیر اثر بارزنده	$\frac{L}{360}$
۳- بام ها یا سقف هایی که به عناصر غیره سازه ای متصل هستندیا آنها را نگهداری می کنند و تغییر شکل زیاد ممکن است آسیبی در این عناصر ایجاد کند.	قسمتی از تغییر شکل که در اثر اضافه کردن بار مربوط به عناصرغیر سازه ای (مثلاً دیوار تقسیم) به وجود می آید + اضافه تغییر شکل درازمدت + تغییر شکل ناشی از بارزنده	$\frac{L}{480}$
۴- بام یا سقف هایی که به عناصر غیرسازه ای متصل هستند یا آنها را نگهداری می کنند ولی اضافه تغییر شکل آسیبی در این عناصر ایجاد نمی کند.	قسمتی از تغییر شکل که در اثر اضافه کردن بار مربوط به عناصر سازه ای به وجود می آید + اضافه تغییر شکل درازمدت + تغییر شکل ناشی از بارزنده	$\frac{L}{240}$

روشهای ساده برای کنترل تغییر شکل در اعضاکم اهمیت تر

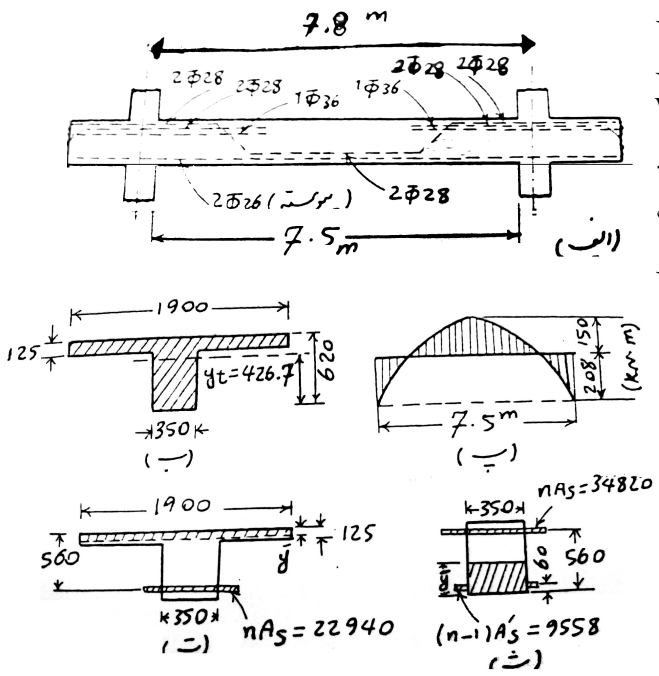
(ساختمانهای متعارف تحت بارگذاریهای معمول)

در اعضای کم اهمیت تر می توان با محدود نمودن نسبت ارتفاع به دهانه تیر ازرضایت بخش بودن تغییر شکل اطمینان حاصل نمود . طبق آبا اگر حداقل ارتفاع از مقادیر مندرج در جدول زیر بیشتر باشد محاسبه تغییر شکل الزامی نیست.

عضو	با تکیه گاه های ساده	با تکیه گاه های پیوسته از یک طرف	با تکیه گاه های پیوسته از دو طرف	کنسول
تیر	$\frac{L}{16}$	$\frac{L}{18.5}$	$\frac{L}{21}$	$\frac{L}{8}$

مقادیر داده شده در جدول بر مبناء $F_y = 400\ N/mm^2$ می باشد . برای F_y غیر از $400\ N/mm^2$ ، مقادیر داده شده باید در ضریب $0.4 + \frac{f_y}{670}$ ضرب شود.

مثال : تیر نشان داده شده در تصویر مقابل قسمتی از یک سیستم سقف می باشد بار مرده وزنده وارد بر تیر در شرایط بهره برداری به ترتیب برابر است با W_D = 16.4 KN/m و W_L = 32.8 KN/m می باشد . فرض می شود ۲۰٪ بار زنده در طول ۵ سال به صورت پایدار باشد و ۸۰٪ آن به طور لحظه ای وارد شود. در دیاگرام پ ممان خمشی تیر تحت اثر بار مرده و زنده کل در شرایط بهره برداری نشان داده شده است . تیر دیوارهای تقسیم را حل می کند که در صورت ایجاد تغییر شکل قابل توجه در آن ، به دیوارهای تقسیم آسیب می رسد.



مطلوبست ، اولا" : تغییر شکل آنی حداکثر تیر ناشی از بار مرده و زنده ثانیا" : تغییر شکل درازمدت ثالثا" : تعیین آن قسمت از تغییر شکل که سبب آسیب رساندن به دیوارهای تقسیم می شود.(تغییر شکل درازمدت .زنده. دیوار)

$E_S = 2\times 10^5 \ {}^{N}\!/_{mm^2}$ $\qquad F_y = 300 \ {}^{N}\!/_{mm^2}$ $\qquad F_C = 20 \ {}^{N}\!/_{mm^2}$

تعیین I_e متوسط

I_e(متوسط)$= 0.5\ I_{em} + 0.25\ (I_{el} + I_{er})$

$$I_e = I_{Cr} + (I_g - I_{cr})\left(\frac{M_{Cr}}{M_a}\right)^3 \le I_g$$

$$E_C = 5000\sqrt{F_C} = 5000\sqrt{20} \quad \Rightarrow \quad E_C = 0.2\times 10^5 \ N/mm^2$$

$$n = \frac{E_S}{E_C} = \frac{2\times 10^5}{0.2\times 10^5} = 10$$

$$F_r = 0.6\sqrt{F_C} = 0.6\sqrt{20} = 2.68 \ N/mm^2$$

تعیین I_{em} (ناحیه ممان خمشی مثبت) : در این ناحیه تیر به صورت مقطع شکل عمل می کند.

$A_S = 2\ (531 + 616) = 2294 \ \ mm^2$

$nA_S = 22940 \ mm^2$

$$C = \frac{b_W}{nA_S} = \frac{350}{22940} = 0.01526$$

$$f = \frac{t\,(b - b_w)}{nA_S} = \frac{125\,(1900 - 350)}{22940} = 8.45$$

$$y_t = h - 0.5\frac{(b - b_w)t^2 + b_w h^2}{(b - b_w)t + b_w h}$$

$$y_t = 620 - 0.5\frac{(1400-350)125^2 + 350(620)^2}{(1400-350)125 + 350(620)} = 426.7\,mm$$

$$Ig = \frac{(b-b_W)t^3}{12} + \frac{b_W h^3}{12} + (b-b_W)t\ (h - t/2 - y_t)^2 + b_W h(y_t - \frac{h}{2})^2$$

$$Ig = \frac{(1400-350)125^3}{12} + \frac{350(620)^3}{12} + (1400-350)125\ (620 - \frac{125}{2} - 426.7)^2 + 350\times 620(426.7 - \frac{620}{2})^2$$

$I_g = 1.3474 \times 10^{10}\ mm^4$

بدون فولاد فشاری

$$a = \frac{\sqrt{C(2d + t.f) + (1+f)^2} - (1+f)}{C}$$

$$a = \frac{\sqrt{0.01526(2\times 560 + 125\times 8.45) + (1+8.45)^2} - (1+8.45)}{0.01526}$$

a= 106 .1 < t ⟹ از رابطه مستطیلی استفاده شود

125

$$I_{Cr} = b.\frac{a^3}{3} + n A_s (d-a)^2$$

$$I_{Cr} = \frac{1900(106.1)^3}{3} + 22940(560-106.1)^2 = 5483\times 10^6\ mm^4$$

$M_{cr} = f_r I_g / y_t = (2.68 \times 1.3474 \times 10^{10}) / 426.7 \times 10^{-6}$

$M_{Cr} = 84.6$ kn.m $\qquad M_a = 150$ kN.m

$I_e = I_{cr} + (Ig - I_{Cr})(M_{Cr}/Ma)^3$

$I_e = 5483 \times 10^6 + (1.3474\times 10^{10} - 5483 \times 10^6)(\frac{84.6}{150})^3 \quad => \quad I_e = 691\ 7\times 10^6\ mm^4$

تعیین $I_{er} = I_{El}$ (در ناحیه ممان منفی) ؛ در این ناحیه تیر به صورت مقطع مستطیل عمل می کند.

$Y_t = 620 / 2 = 310$ mm

$I_g = 350\ (620)^3 / 12 = 6951 \times 10^6\ mm^4$

با فولاد فشاری

$B = 350 / 34820 = 0.01005 \qquad r = (n-1)\ A's / nAs = 9558 / 34820 = 0.2745$

$b_W \quad nA_S$

$$a=\frac{\sqrt{2dB(1+\frac{r.d'}{d})+(1+r^2)}-(1+r)}{B}$$

$$a=\frac{\sqrt{2(560\times0.01005)(1+0.2745.\frac{60}{560})+(1+0.2745^2)}-(1+0.2745)}{0.01005}\Rightarrow a=234.9\ mm$$

$$I_{Cr}=\frac{b.a^3}{3}+nA_s(d-a)^2+(n-1)A'_s(a-d')^2$$

$$I_{Cr}=\frac{350(234.9)a^3}{3}+34820(560-234.9)^2+9558(234.9\ 60)^2\ \Rightarrow I_{Cr}=5484\times10^6\ mm^4$$

$$M_{Cr}=\frac{f_r I_g}{y_t}=(\frac{2.68\times6951\times106}{310})\times10^{-6}$$

$M_{cr}=60$ kN.m $\qquad$ $M_a=208$ kN.m

$I_{er}=I_{el}=I_{cr}+(I_g-I_{Cr})(M_{Cr}/M_a)^3$

$\Rightarrow I_{er}=I_{el}=5484\times10^6+(6951-5484)\times10^6\times(60/208)^3$

$I_{er}=I_{el}=5519\times10^6$ mm^4

(متوسط) $I_e=0.5\ I_{em}+0.25\ (I_{el}+I_{er})$

$I_e=0.5\ (6917\times10^6)+0.25\ (2\times5519\times10^6)=6218\times10^6$ mm^4

$$\Delta_m=\frac{5L^2}{48EI}[M_m-(0.1)(M_L+M_r)]$$

$$\Delta_m=\frac{5(7800)^2}{48\times0.2\times10^5\times6218\times10^6}[150-0.1(208+208)]\times10^6$$

$\Delta_m=5.5$ mm $\qquad$ تغییر شکل آنی ناشی از بار مرده و کل بار زنده در وسط دهانه تیر

ثانیاً: تغییر شکل دراز مدت ؟

$\Delta_t=\lambda\Delta_i$

$$\lambda=\frac{\xi}{1+50\rho'}\quad,\quad \xi=2$$

$\rho'=0$ در وسط دهانه $\Rightarrow$ $\lambda=\frac{2}{1+0}=2$

Δ_i : تغییر شکل آنی ناشی از بار مرده + 20% بار زنده (بار ماندگار)

Δ_i =?

$W=W_D+0.2\ W_L=16.4+0.2\ (32.8)=23$ kN.m

به ازاء کل بار $W_T=W_D+W_L=16.4+32.8=49.2$

$$M_m = \frac{23}{49.2}(150) = 70.1\ KN.m$$

$$M_r = M_L = \frac{23}{49.2}(208) = 97.2\ KN.m$$

$$\Delta' = \Delta_m = \frac{5(7800)^2}{48\times 0.2\times 10^5 \times 6218\times 10^6}\left[70.1 - 0.1\ (97.2+97.2)\right]\times 10^6$$

$$\Delta' = \Delta_m = 2.6 \text{ mm}$$

$$\Delta_t = \lambda\, \Delta_i = 2 \times 2.6 = 5.2 \text{ mm}$$

ثالثاً :

می بایستی از تغییر مکان کل (Δtot) تغییر مکان آنی آن قسمت از بار مرده که قبل از مساحت دیوارهای تقسیم وارد می شوند (شامل وزن خود تیر و دال بتن آرمه و غیره) کسر نماییم.

کل تغییر شکل= (تغییر شکل آنی + تغییر شکل دراز مدت)

$$\Delta_{Tot} = 5.5 + 5.2 = 10.7 \quad \text{mm}$$

فرض می کنیم این قسمت شامل ۷۰٪ بار مرده باشد و آن ۳۰٪ شامل وزن دیوارهای جداکننده است .

$$W'_D = 0.7\ W_D = 0.7\ (16.4) = 11.5 \quad \text{KN.M}$$

$$\frac{11.5}{49.2}(5.5) = 103\ mm$$

تغییر شکلی که ممکن است سبب آسیب رساندن به دیوارهای تقسیم شود = Δ''

$$\Delta'' = \Delta tot - 1.3 = 10.7 - 1.3 = 9.4 \quad \text{mm}$$

$$L / 480 = 7800 / 480 = 16.3$$

$$\Delta'' = 9.4 \text{ mm} < 16.3 \text{ mm}$$

ترک خوردن تیرها و محدودیت آیین نامه

* تیرها در منطقه ممان خمشی زیاد ، در ناحیه کششی ترک می خورد.

* میزان ترک خوردگی در یک تیر ، با عرض ماکزیمم دهانه ترک ها مشخص می شود.

* باز شدن زیاده از حد ترکها باعث منظره نامطلوب ، نفوذ بخار آب و هوا به سطح فولاد و فراهم نمودن زمینه زنگ زدگی فولاد می گردد .

* ترک خوردن تیرها به علت عدم توانایی بتن در تحمل کشش زیاده از حد در نتیجه تعداد ترکها و میزان ترکها بستگی به مقدار کشش ایجاد شده در بتن دارد.

* میزان کشش به وجود آمده در ناحیه کششی تیر را می توان با ملاحظه تنش ایجاد شده در فولاد کششی اندازه گرفت:

در نتیجه میزان ترک خوردگی یک تیر رابطه مستقیم با تنش موجود در فولاد کششی دارد.

* عرض دهانه ترک علاوه بر میزان تنش موجود در فولاد کششی بستگی به کیفیت چسبندگی بتن و فولاد نیز دارد .

* در صورت چسبندگی مناسب ، تیر ممکن است در ناحیه وسیع تری ترک بخورد ، اما بر خلاف تعداد ترکها ، عرض دهانه آنها چندان زیاد نیست.

* آزمایشات متعدد نشان می دهند که عرض ترکها در تیرها علاوه بر میزان تنش در فولاد به ضخامت پوشش بتنی محافظ میلگرد و همچنین با مقدار سطح بتنی که ناحیه کششی اطراف فولاد را پوشانده است ، نسبت مستقیم دارد .

آیین نامه بتن ایران رابطه زیر را برای محاسبه عرض ترک در تیرها و دالهای یکطرفه پیشنهاد می نماید.

$$W = 13\times10^{-6}\, f_s \sqrt[3]{d_c A}\ \ mm$$

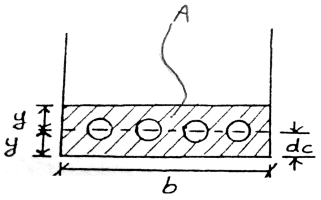
W : عرض ماکزیمم دهانه ترک بر حسب (mm)

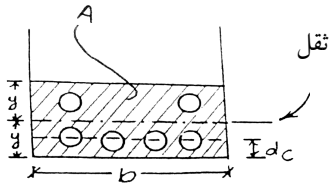
f_s: مقدار تنش در فولاد کششی بر حسب N/mm^2

d_c : فاصله آخرین تار بتن کششی از مرکز آخرین ردیف میلگرد کششی بر حسب mm

A: سطح بتن کششی موثر که اطراف یک میلگرد کششی را احاطه نموده است بر حسب mm^2

* **سطح بتن کششی موثر** بنا به تعریف عبارتست از سطحی از مقطع تیر که از یک سمت به آخرین تار کششی بتن محدود گشته و سمت دیگر آن به موازات این تار بوده و مرکز ثقل این سطح منطبق بر مرکز ثقل گروه فولاد کششی باشد.





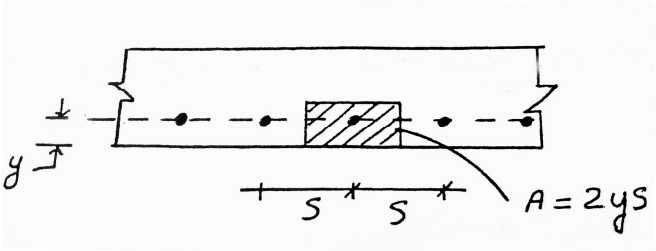
*سطح هاشور زده ، سطح بتن کششی موثر بر گروه فولاد کششی می باشد.

* سطح بتن کششی موثر بر یک میله فولادی از تقسیم این سطح بر تعداد فولادهای کششی به دست می آید.

$$A = \frac{2\times y\times b}{m} \quad \leftarrow \quad \text{تعداد فولادهای کششی / سطح هاشور خورده} = A$$

* در صورتیکه قطر میلگردهای کششی متفاوت باشد ، تعداد میلگردها (m) مساوی سطح مقطع کل میلگردها تقسیم بر سطح مقطع قطورترین میلگرد مصرفی می باشد. (حتی اگر غیر رُ ند هم باشد، همان مقدار را لحاظ می کنیم.)

* مقدار A در دالها مطابق شکل زیر برابر با $A= 2ys$ است.



* آیین نامه بتن ایران در غیاب محاسبات دقیق تر ، مقدار f_s را مساوی $0.6\ fy$ توصیه می نماید. (توصیه می شود محاسبه گردد.)

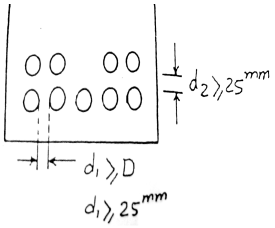
* عرض ترک محاسبه شده نباید از مقادیر مندرج در جدول ۳ بیشتر باشد.

* در دالهای دو طرفه یا دالهای تخت محاسبه عرض ترک خوردگی الزامی نمی باشد.

* در نواحی ممان منفی تیرهای T یکسره که در این قسمت بال فوقانی تیر T در کشش قرار می گیرد به جای متمرکز نمودن میلگردهای کششی در بالای جان، آیین نامه بتن ایران مقرر می دارد که میلگردهای کششی در محدوده ای مساوی عرض موثر بال یا $\frac{1}{10}$ طول دهانه(هرکدام که کوچکترند) توزیع گردد در صورتیکه عرض موثر بال بزرگتر از $\frac{1}{10}$ باشد، تعدادی میلگرد طولی اضافی حدوداً ۲ برابر میلگردهای حرارتی در دالها منظور می شود.

بعضی از محدودیت های آیین نامه در مورد تیرها

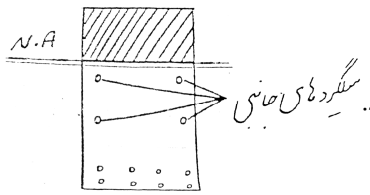
۱- فاصله میلگردهای طولی از یکدیگر باید حداقل برابر قطر میلگرد یا 1.33 برابر قطر بزرگترین دانه شنی . در هر حال این فاصله نباید از 25 mm کمتر باشد. چنانچه میلگردها در دو لایه قرار می گیرند.



اولاً : فاصله این میلگردها نباید کمتر از 25 mm در نظر گرفته شود.

ثانیاً : میلگردهای لایه فوقانی باید درست در روی میلگردهای تحتانی قرار گیرند.

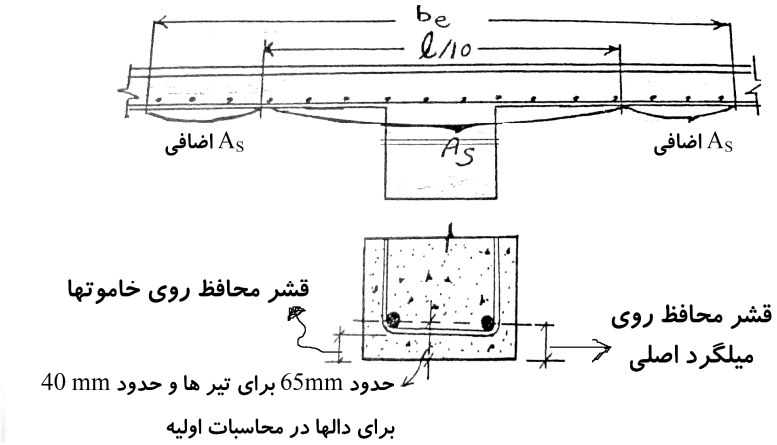
۲- چنانچه ارتفاع تیر از 90 cm تجاوز کند ، علاوه بر فولاد کششی ، باید در ناحیه بتن کششی در دو سمت جان تیر نیز فولاد قرار داد . میزان این فولاد ها $150 < (d - 750)$ میلی متر مربع در هر متر ارتفاع ، در هر یک از گونه های طرفین تیر در ناحیه ای به ارتفاع d/2 از میلگرد کششی تیر در نظر گرفته شود.



* مقدار این میلگردها لزومی ندارد بیشتر از نصف میلگرد کششی تیر در نظر گرفته شود.

* فاصله این میلگردها از یکدیگر نباید بیشتر از d /6 یا 300 mm اختیار شود.

* این میلگردها را می توان در محاسبات مقاومت در نظر گرفت.



✓ حداقل قشر بتن محافظ روی میلگرد : ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها نباید کمتر از مقدار زیر باشد .

۱- قطر میلگردها

۲- بزرگترین اندازه سنگدانه ها تا 32 mm و یا 5mm بیشتر از بزرگترین اندازه سنگدانه های بزرگتر از 32 mm

۳- ارقام درج شده در جدول 4

جدول ۳

مقادیر حداکثر **عرض** ترک طبق آیین نامه بتن ایران

شرایط رطوبتی	حداکثر عرض ترک mm
۱- بتن در تماس با هوای داخل ساختمان (تیرها و دالها که در نما دیده نمی شوند)	0.4
۲- بتن در تماس با هوای خارج ساختمان (تیرها و دالها که در نما دیده می شوند)	0.35
۳- بتن در شرایط محیطی مهاجم ، نواحی در تماس دائم با آب	0.25
٤- بتن در شرایط محیطی بسیار مهاجم ، نواحی خشک و ترشونده ، ناحیه پا ششی در سازه های دریایی	0.15

جدول 4 مقدار حداقل پوشش بتن بر حسب mm

نوع قطعه	نوع شرایط محیطی				
	ملایم	متوسط	شدید	بسیار شدید	فوق العاده شدید
تیرها و ستونها	۳۵	۴۵	۵۰	۶۵	۷۵
دیوارها و تیرچه	۲۰	۳۰	۳۵	۵۰	۶۰
پوسته ها و صفحات پلیسه ای	۱۵	۲۵	۳۰	۴۵	۵۵

مقادیر داده شده در جدول را می توان به اندازه 5 mm برای بتنهای رده C , C35 و با 10 mm برای بتنهای رده بالاتر کاهش داد ، مشروط بر آنکه ضخامت پوشش به هر حال از 15 mm کمتر نشود. مقادیر معرفی شده در جدول رابابد برای میلگردهای با قطر بیشتر از 36 mm به مقدار 10mm افزایش داد.

انواع شرایط محیطی ذکر شده در جدول ۴ به شرح زیر طبقه بندی می شوند :

الف : شرایط محیطی ملایم : به شرایطی اطلاق می شود که در آن هیچ نوع عامل مهاجم از قبیل رطوبت ، تعریق ترو خشک شدن متناوب ، یخ زدگی ، تماس با خاک مهاجم یا غیر مهاجم ، مواد خورنده ، فرسایش شدید ، عبور وسایل نقلیه و ضربه موجود نباشد، یا قطعه در مقابل اینگونه عوامل به نحوی مطلوب محافظت شده باشد.

ب: شرایط محیطی متوسط : به شرایطی اطلاق می شود که در آن قطعات بتنی در معرض رطوبت و گاهی تعریق قرار می گیرند. قطعاتی که به طور دائم با خاکهای غیرمهاجم یا آب تماس دارند یا زیر آب با PH بزرگتر از 4.5 قرار می گیرند دارای شرایط محیطی متوسط تلقی می شوند.

پ : شرایط محیطی شدید : به شرایطی اطلاق می شود که در آن قطعات بتنی در معرض رطوبت یا تعریق شدید با تر خشک شدن متناوب یا یخ زدگی نه چندان شدید قرار می گیرند.قطعاتی که در معرض ترشح آب دریا باشند یا در آب غوطه ور شوند طوری که یک وجه آنها در تماس با هوا قرار گیرد ، قطعات واقع در هوای دارای نمک و نیز قطعاتی که سطح آنها در معرض خوردگی ناشی از مصرف مواد یخ زدا قرار می گیرد دارای شرایط محیطی شدید محسوب می شوند .

ت : شرایط محیطی بسیار شدید :

به شرایطی اطلاق می شود که در آن قطعات بتنی در معرض گازها ، مایعات ، مواد خورنده یا رطوبت همراه با یخ زدگی شدید قرار می گیرند.

از قبیل نمونه های ذکر شده در مورد شرایط محیطی شدید در صورتیکه عوامل مذکور حادتر باشند .

ث : شرایط محیطی فوق العاده شدید :

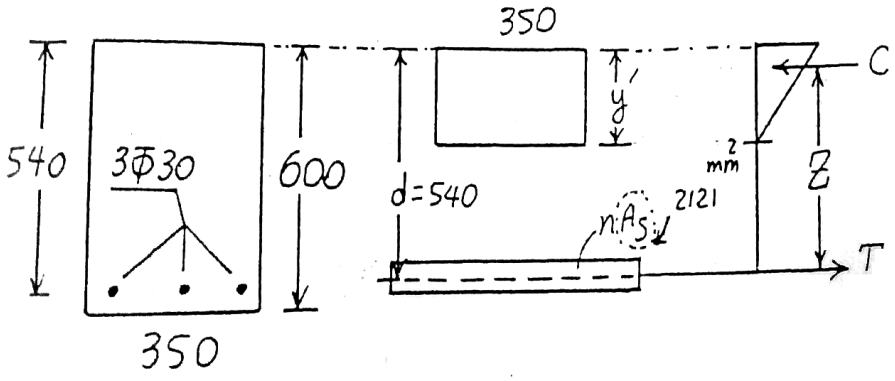
به شرایطی اطلاق می شود که در آن قطعات بتنی در معرض فرسایش شدید ، عبور وسایل نقلیه یا آی جاری با PH حداکثر قرار می گیرند.

رویه بتنی محافظت نشده پارکینگها و قطعات موجود در آبی که اجسام صلبی را با خود جابجا می کند دارای شرایط محیطی فوق العاده شدید تلقی می شوند.

مثال : بر مقطع نشان داده شده ، ممان بهره برداری $M = 230\ KN.M$ وارد می شود. مطلوبست کنترل عرض ترک؟
تیر در تماس با هوای معمولی قرار دارد.

$F_C = 20\ N/mm^2$

$F_y = 300\ /mm^2$



$E_C = 2.2 \times 10^4\ {}_{N/mm^2}$ $\Rightarrow E_C = 5000\sqrt{}\ F_C = 5000\sqrt{20}$

$$n = \frac{E_S}{E_C} = \frac{2\times10^5}{2.2\times10^4} = 9.1$$

$nA_s = 9.1 \times 2121 = 19297\ \ mm^2$

$$350\,y'(\frac{y'}{2}) = 19297(540 - y') \ \Rightarrow\ y' = 218\,mm$$

$M = TZ = F_C\,(A_S)\,Z$

$$F_S = \frac{230\times10^6}{2121(540\ (^{218}/_{3}))} = 232\ \ {}^{N}/_{mm^2}$$

$$A = \frac{2\,y\,b}{3} = \frac{2(60)\,(350)}{3} = 14000 \qquad d_c = 60mm$$

$$W = 13\times10^{-6}\,f_S\sqrt[3]{d_C.A} = 13\times10^{-6}\,(232)\sqrt[3]{60\times14000}$$

$W = 0.28\ mm\ < 0.35\ \ mm$ O.K. ✓