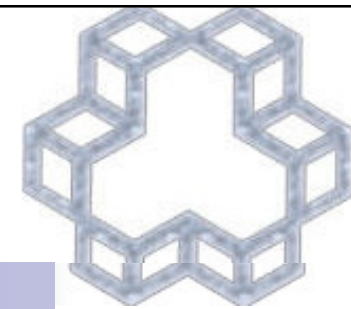
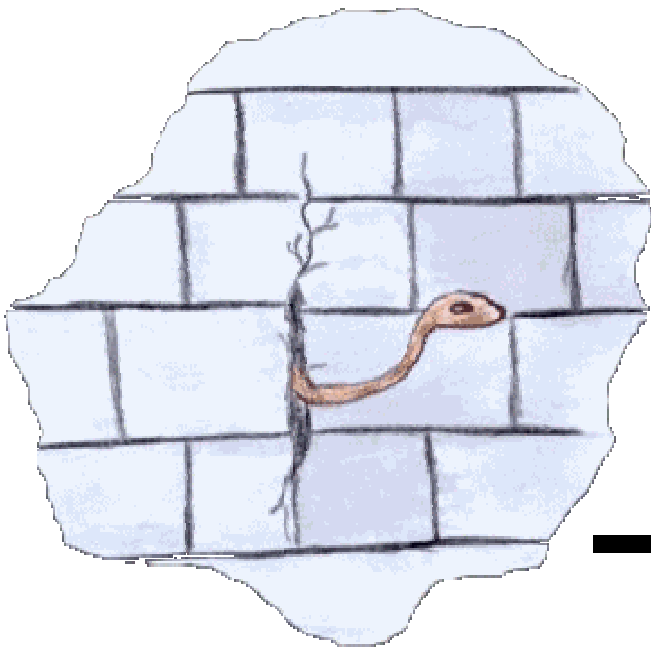


فصل پنجم خدمت پاپیری

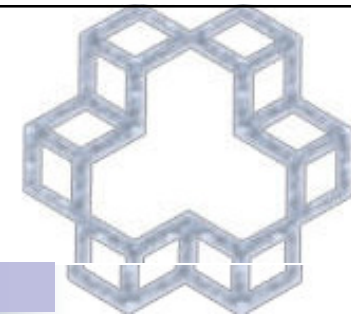
1- ترك خوردگی
2- تغییر شکل



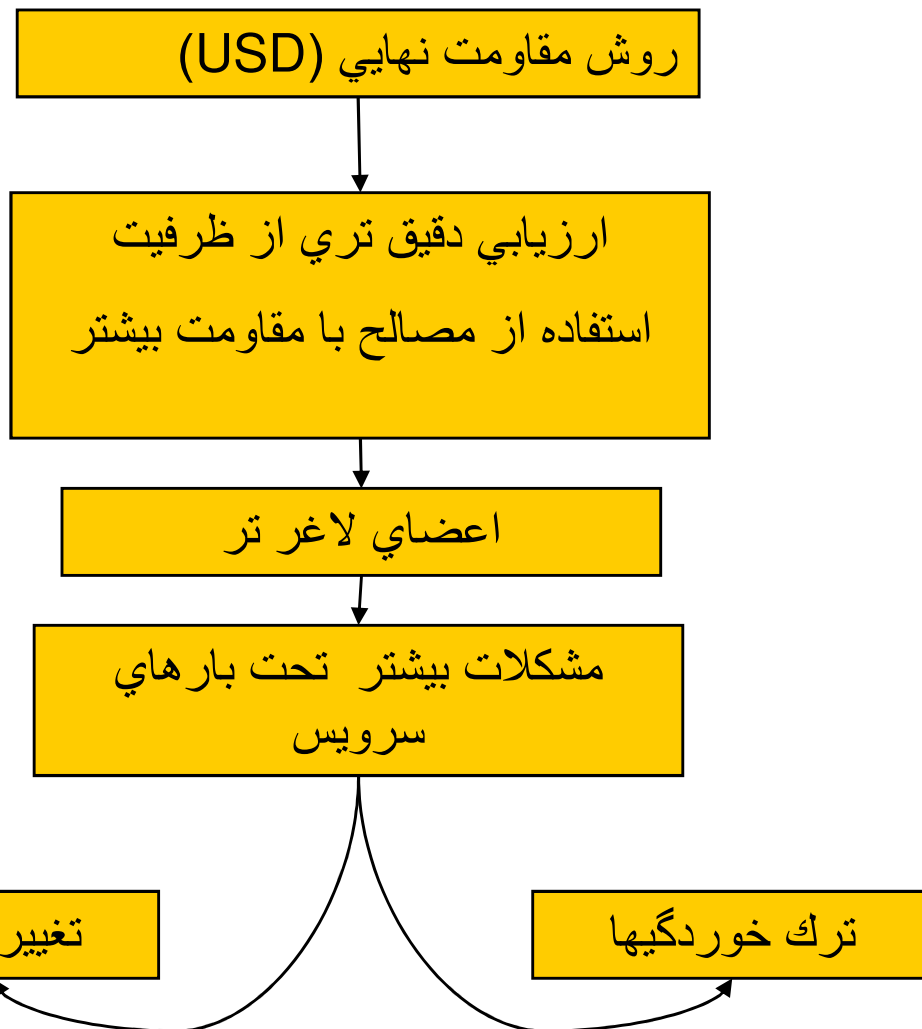
بدون اینکه خیس بشم می توئم از رودخانه عبور کنم؟



یکی از موارد با اهمیت در بحث خدمت پذیری تغییر شکل است



کلیات

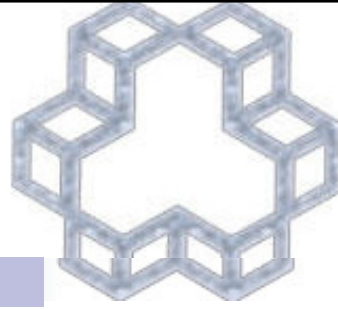


گذشته (قبل از 1960): **Working Stress Design (WSD)**

استفاده از بتنهایی با مقاومت حدود 10 تا 20 MPa و میلگردهای با مقاومت تسلیم 230-280 MPa و کاربرد روش محافظه کارانه تنشهای مجاز سبب طراحی مقاطع سخت با تغییر شکلهای کوچک می گردید. لذا نگرانی زیادی در ارتباط با کنترل تغییر شکل وجود نداشت.

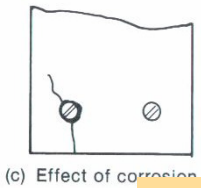
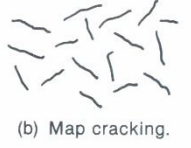
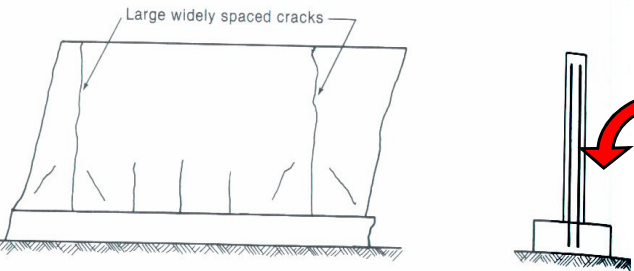
امروزه: **Ultimate Stress Design (USD)**

استفاده معمول از میلگردهای با مقاومت 400 MPa و بتن با مقاومت 20-60 MPa و کاربرد روش مقاومت نهایی امکان استفاده از مقاطع کوچکتر را ممکن ساخته است.



عوامل ایجاد ترک:

بارها چون: لنگر، برش، ..
 2- تغییر شکلهای اعمالی
 ناشی از اثراتی چون:
 حرارت، افت



ایجاد ترک
 حرارتی

ایجاد ترک
 در مجاورت
 میلگرد

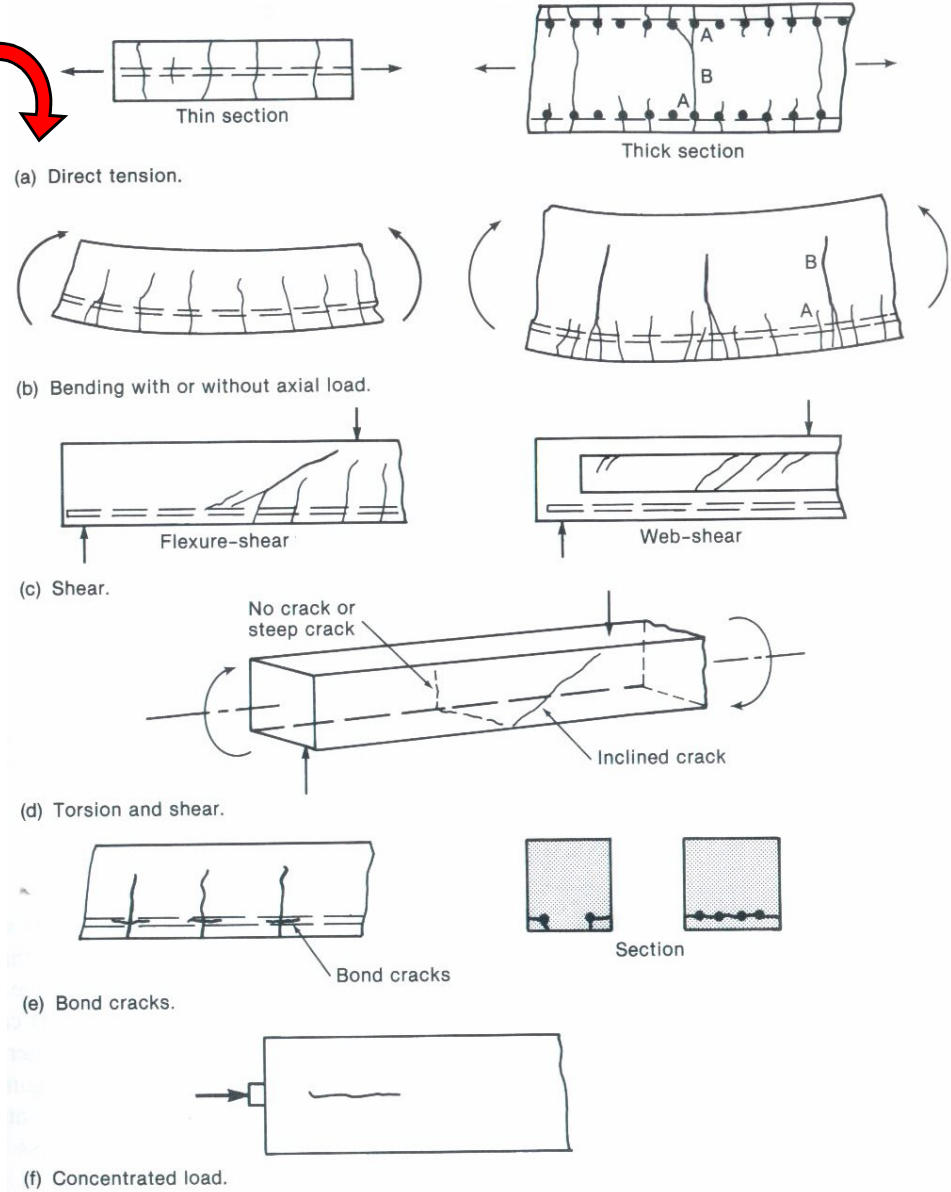
اعمال تغییر شکل

انواع حالات حدی خدمت پذیری:

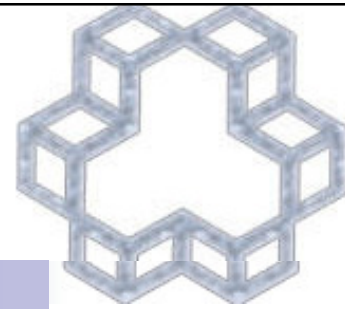
- عرض ترک زیاد
- تغییر مکان زیاد
- ارتعاش غیر دلخواه
- خستگی

دلایل کنترل عرض ترک:

- 1- ظاهر
- 2- نفوذ رطوبت و فرار آب
- 3- نفوذ مواد خورنده و لذا تولید گاز در اثر خوردگی

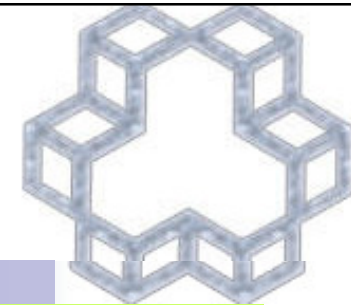


اعمال بار



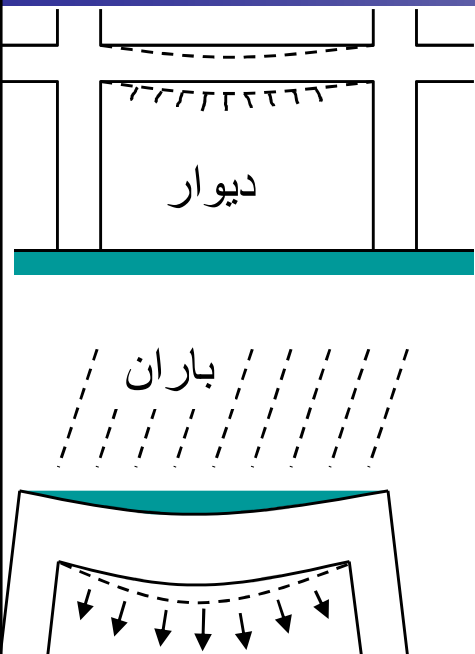
• فصول

- خدمت پذيري چیست؟
- ترك خوردگي در اعضاي بتن آرمه
- ضوابط آيين نامه آبا و ACI در ارتباط با ترك خوردگي
- تغيير شكلها براي مقاطع الاستيك
- تغيير شكلهاي آني
- تغيير شكلهاي ناشي از افت و وارفتگي
- ضوابط آيين نامه آبا و ACI در ارتباط با تغيير شكل

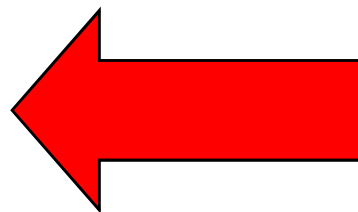


خدمت پذيري چيست؟

- ارضاي عملکرد مطلوب تحت بارهاي خدمت را گویند. به عبارت دیگر تغییر شکلها و سایر عوامل مانند عرض ترك ها تحت بارهاي سرویس از مقدار مجاز تجاوز نماید.
- در صورت عدم رعایت ضوابط مربوطه:
 - 1- آسیب به نازك كاريها و تزئینات داخلي
 - 2- لرزش زیاد سبب آسیب به ساکنان و ماشین آلات حساس مي گردد.
 - 3- ترك خوردگي سبب خورندگي و زنگ زدگي آرماتورها مي شود.
 - 4- جمع شدگي آب روي پشت بام و لذا افزایش بار وارده
 - 5- ظاهر ناخوشايند

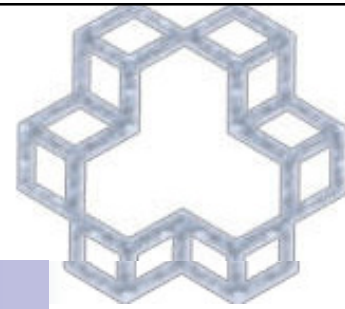


هدف ما جلوگیری از ترك نیست بلکه کنترل عرض آن است.



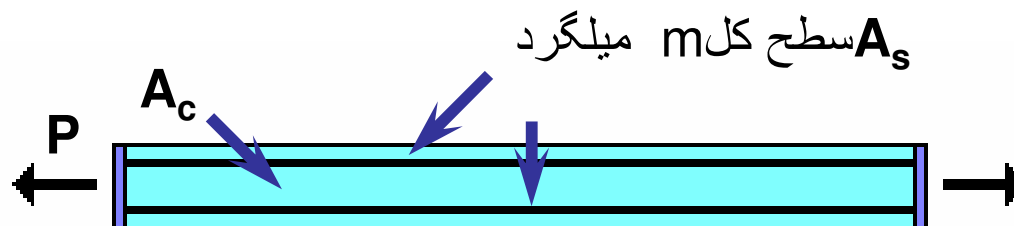
ترك خوردگي در اعضاي بتن آرمه

بتن در برابر کشش ضعیف است لذا بسیاری از سازه های بتن آرمه تحت بارهای سرویس ترك بر می دارند.
ترك ممکن است:
نوع قابل رویت آسیب رساننده است
برای طول عمر سازه مضر است
برای سازه های مرتعش خطرناک است.



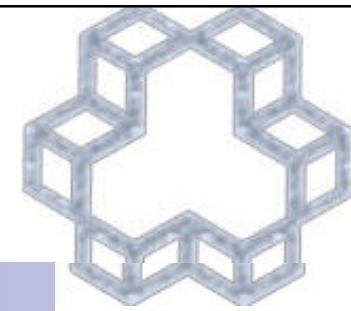
ترك خوردگي اعضاء كششي

- در اين بخش فقط اثر كشش مستقيم را بررسي مي كنيم. در فصل بعد به ترك حاصل از خمش مي پردازيم (تئوري Parsons و Watstein).
- مدل مورد مطالعه عضو منشوري است با ميلگرد گذاري متقارن.



چند پرسش:

- 1- كجا و در چه سطح از بار اولين ترك اتفاق مي افتد؟
- 2- در محدوده ترك چه اتفاقي مي افتد؟
- 3- كجا تركها اتفاق مي افتند؟
- 4- فاصله تركها چقدر است؟
- 5- مقدار تنش و کرنش در طول ميلگردها چگونه تغيير مي كند؟



$$\rho = A_s / A_c$$

$$n = E_s / E_c$$

مقاومت کششی بتن f_t

$$P = F_c + F_s$$

$$= A_c \sigma_{ct} + A_s \epsilon E_s$$

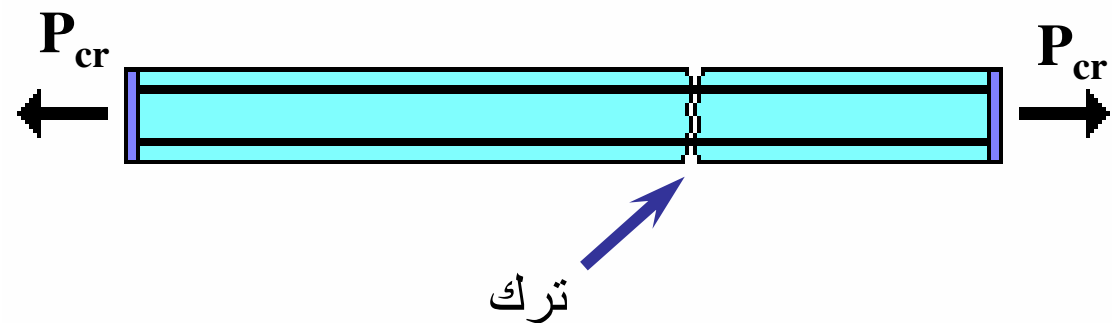
$$= A_c \sigma_{ct} + A_s \frac{\sigma_{ct} E_s}{E_c}$$

$$= A_c \sigma_{ct} (1 + \rho n)$$

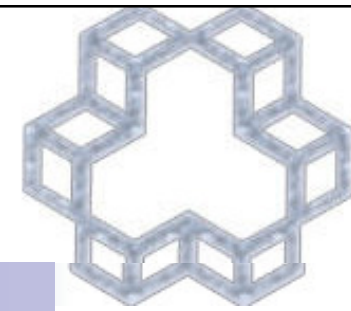
$$P_{cr} = A_c f_t (1 + \rho n)$$

1- اولین ترک در P_{cr}

وقتی ضعیف ترین مقطع به مقاومت کششی بتن برسد ترک اتفاق می افتاد. درست قبل از ترک خوردگی بتن و فولاد بطور مشترک بار را تحمل می نمایند.

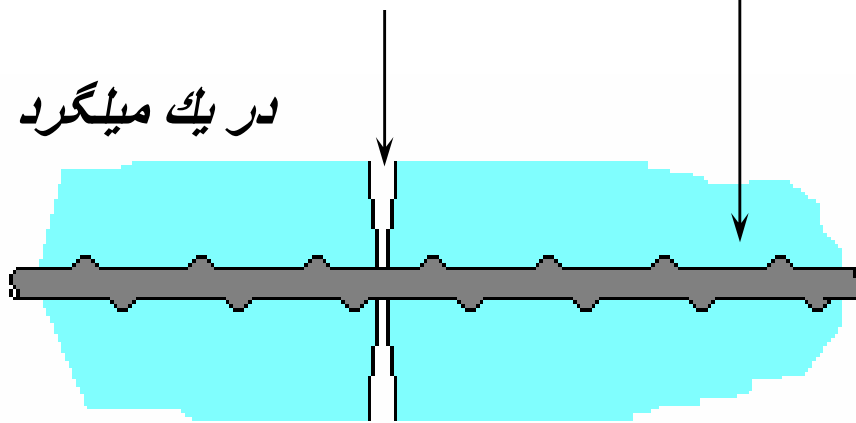


بعلت کوچک بودن ρn در محاسبات P_{cr} را معادل $A_c f_t$ در نظر می گیرند



2- چه اتفاقی در محل ترك مي افتد

در محلي دور از ترك فولاد و بتن با هم نيرو را تحمل مي كنند
 ميلگرد همه بار را در عرض ترك تحمل مي كند



انتقال بار از ميلگرد به بتن توسط چسبندگي u , در طول l_{tr} در هر طرف ترك اتفاق مي افتد:
 بطور تقريب:

$$m (\pi d_b / l_{tr}) u = P_{cr} = A_c f_t$$

اما: $A_c = A_s / \rho$

$$= (m \pi d_b^2 / 4) / \rho$$

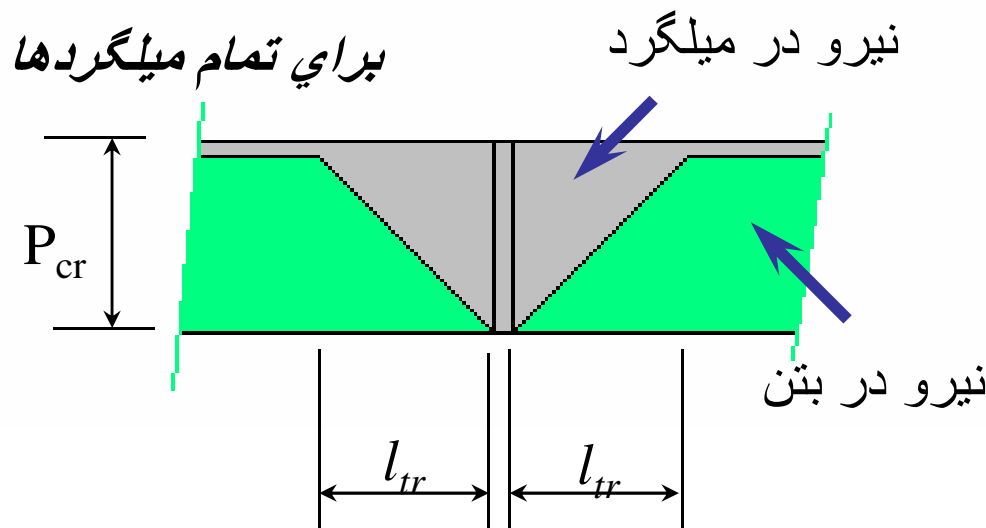
So $l_{tr} = (f_t / u) (d_b / (4 \rho))$

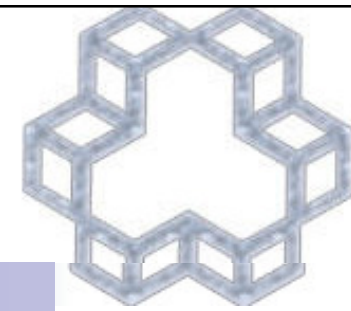
تحقيقات نشان مي دهد:

$$f_t / u = 0.55$$

تقريباً

$$l_{tr} = 0.55 d_b / (4 \rho)$$





ترکهای بعدی چگونه اتفاق می افتند

اگر A_s بسیار کوچک باشد یعنی $P_{cr} > A_s f_{sy}$ در لحظه P_{cr} فولاد جاری شده و مقطع بسرعت می شکند. لذا:

$$A_c f_t (1 + pn) > A_s f_{sy} \quad \text{or} \quad \rho < f_t / (f_{sy} - n f_t)$$

لذا بطور تقریب $\rho_{crit} = f_t / f_{sy}$ و ترک بیشتری اتفاق نمی افتد و ترک فوق به باز شدن ادامه داده تا سبب شکست منشور گردد.

اگر ρ از ρ_{crit} تجاوز نماید، ترک بعدی در باری کمی بیشتر اتفاق می افتد.

باید توجه داشت از آنجا که تنش در بتن در محدوده l_{tr} کمتر از مقاومت ترک خوردگی است لذا ترک نمی تواند نزدیک تر از l_{tr} به اولین ترک باشد.

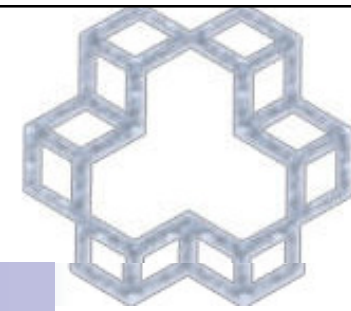
$$S_{min} = l_{tr} \cdot$$

لذا :

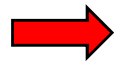
هرگاه طول ترک نخورده از $2 l_{tr}$ تجاوز نماید ترکهای بعدی در باری اندکی بیشتر اتفاق می افتد. یعنی:

$$S_{max} = 2 l_{tr} \cdot$$

هرگاه هیچ فاصله ترکی از S_{max} تجاوز نکند گفته می شود که ترک کاملاً فراگیر است. در این حال ترک اضافی حتی با افزایش بار اتفاق نمی افتد.

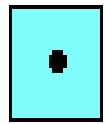


$$S_{\min} < S < S_{\max}$$



$$S_{\text{average}} = 1.5 l_{tr}$$

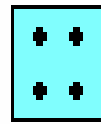
متوسط فاصله ترك چقدر است؟



150 x 150, 1 ϕ 20

$$\rho = 314 / 22500 = 0.014$$

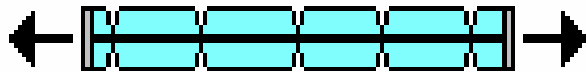
$$l_{tr} = 0.55 * 20 / (4 * 0.014) = 200 \text{ mm}$$



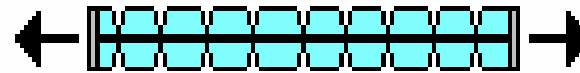
150 x 150, 4 ϕ 10

$$\rho = 314 / 22500 = 0.014$$

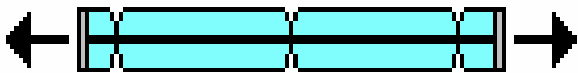
$$l_{tr} = 0.55 * 10 / (4 * 0.014) = 100 \text{ mm}$$



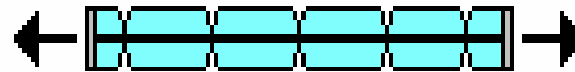
$$s = 200 \text{ mm}$$



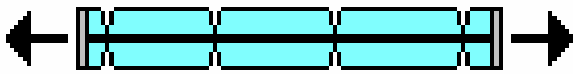
$$s = 100 \text{ mm}$$



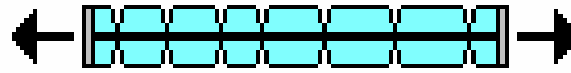
$$s = 400 \text{ mm}$$



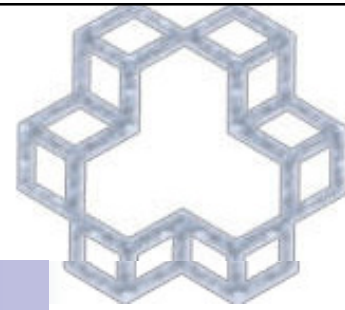
$$s = 200 \text{ mm}$$



$$200 < s < 400$$

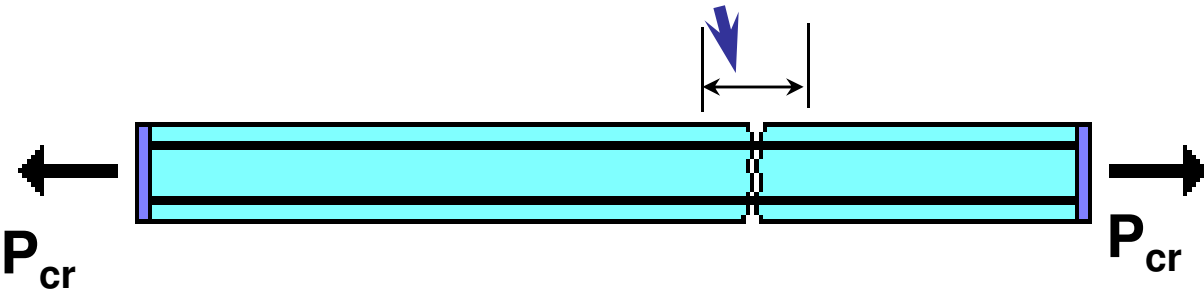


$$100 < s < 200$$



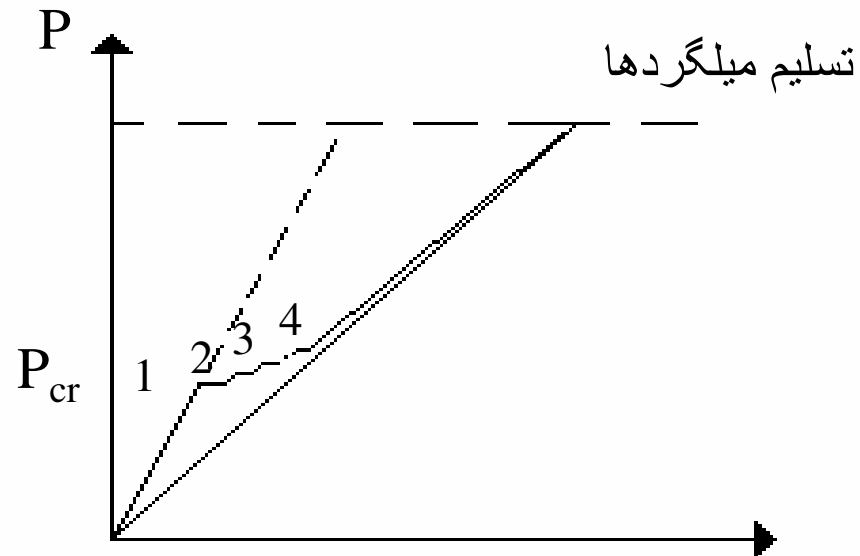
افزایش طول اضافی ناشی از کشیدگی در طول $2l_{pr}$ به وقوع می پیوندد. این افزایش همراه با افزایش بار نخواهد بود.

میزان افزایش طول منشور چه مقدار می باشد؟

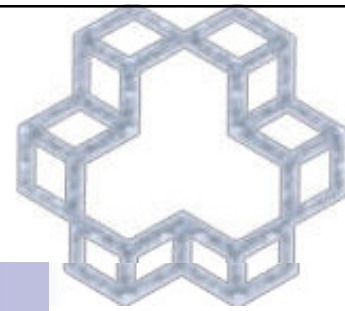


رابطه نیرو و تغییر مکان در منشور

توجه کنید که چگونه هر ترك در افزایش طول نقش دارد



(کشیدگی میله Δ)

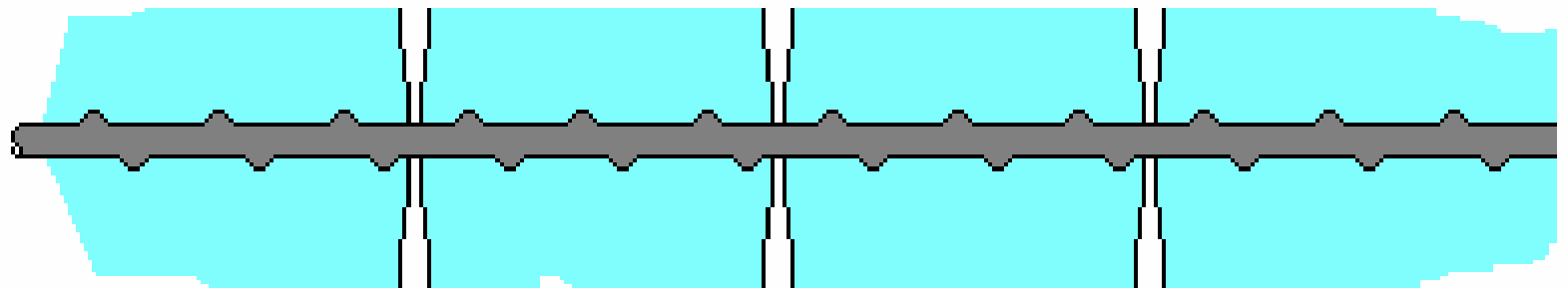


ماکزیم عرض ترك چگونه حساب می شود.

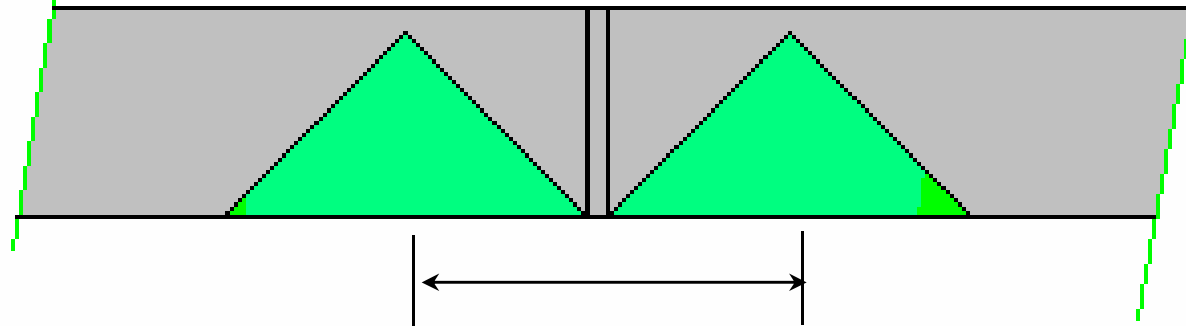
فرض کنیم ترکها در ماکزیم فاصله اتفاق افتاده یعنی

$$s = s_{max} = 2 l_{tr} :$$

حداکثر عرض ترك ← | | →



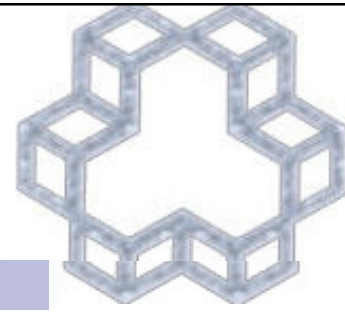
..... بر اساس کشیدگی در این طول میله محاسبه می شود



... بر اساس متوسط تنش در میلهگرد از این منحنی بدست می آید.

لذا:

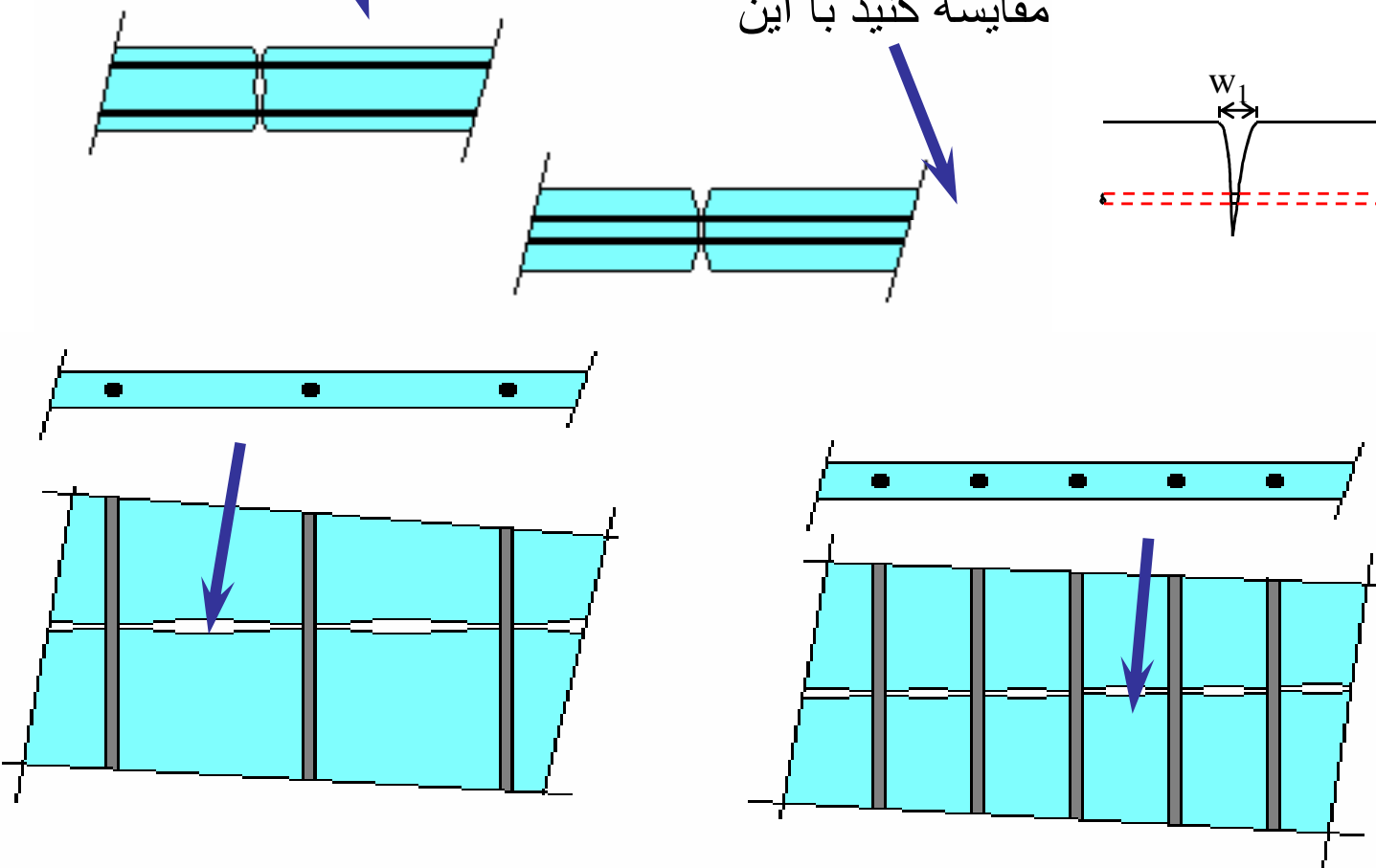
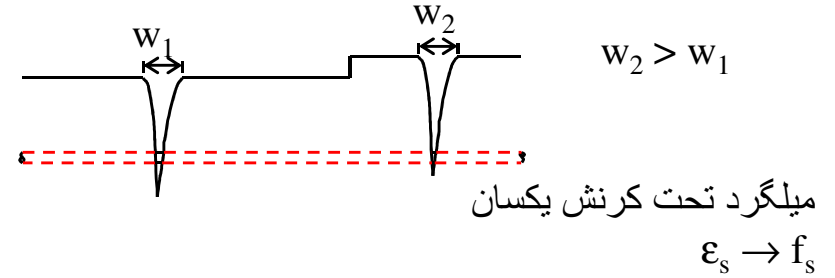
$w =$ عرض ترك
متوسط \times فاصله تركها
گرنش در میلهگرد



تأثیر ضخامت پوشش آرماتور

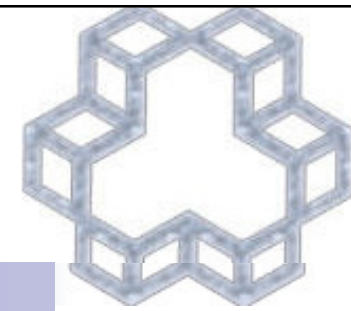
عرض ترک کمتر برای پوشش کوچکتر

مقایسه کنید با این



اثر فاصله آرماتورها

هرچه فاصله آرماتورها بیشتر باشد عرض ترکها بیشتر است

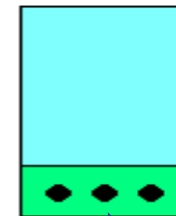


ترك خوردگي در اعضاء خمشي

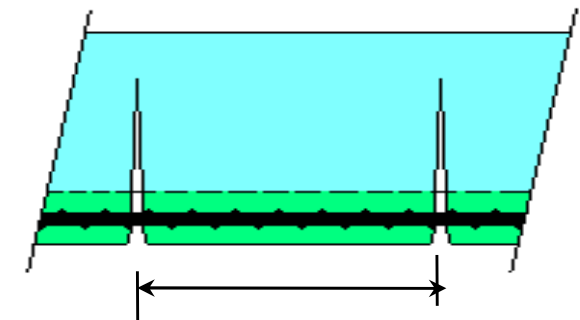
آيا مي توان ترك خوردگي
در اعضاء خمشي را
مشابه ترك خوردگي در يك
منشور تحت كشي دانست؟



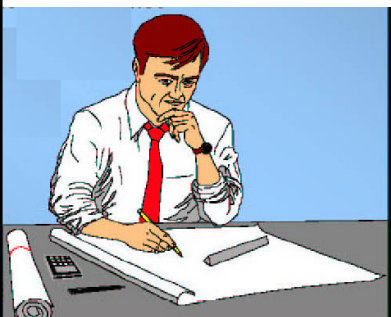
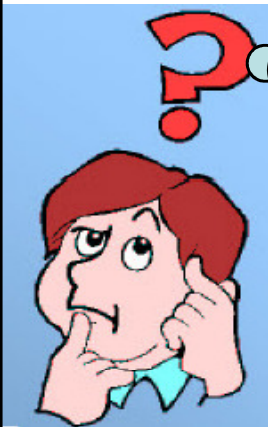
بله! اما با چند
اصلاح و مشابه
سازي



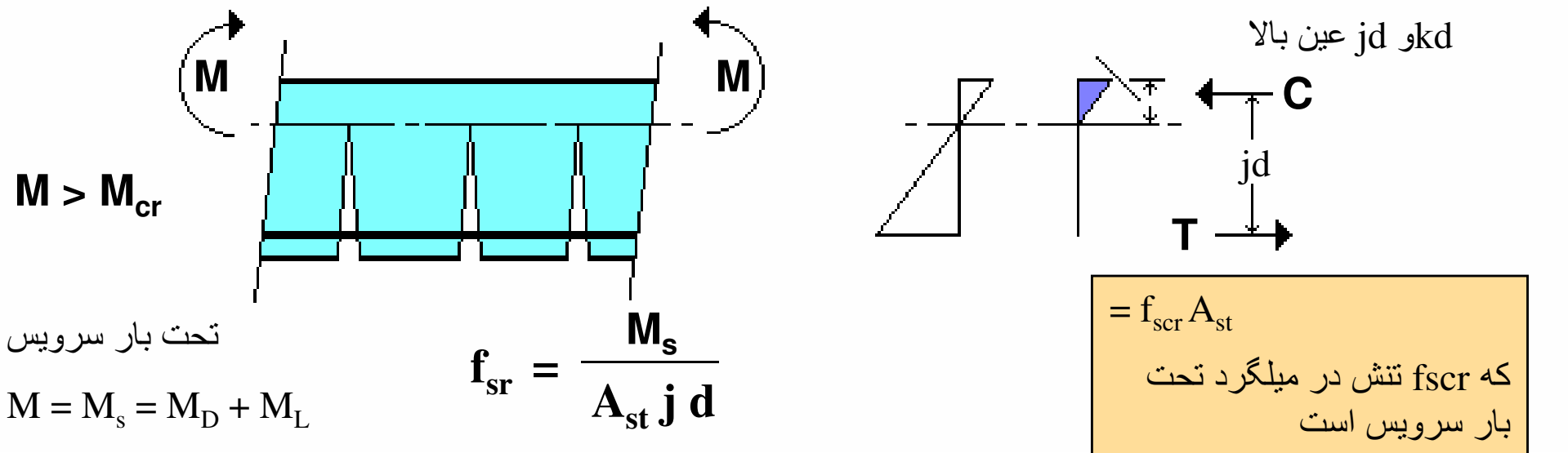
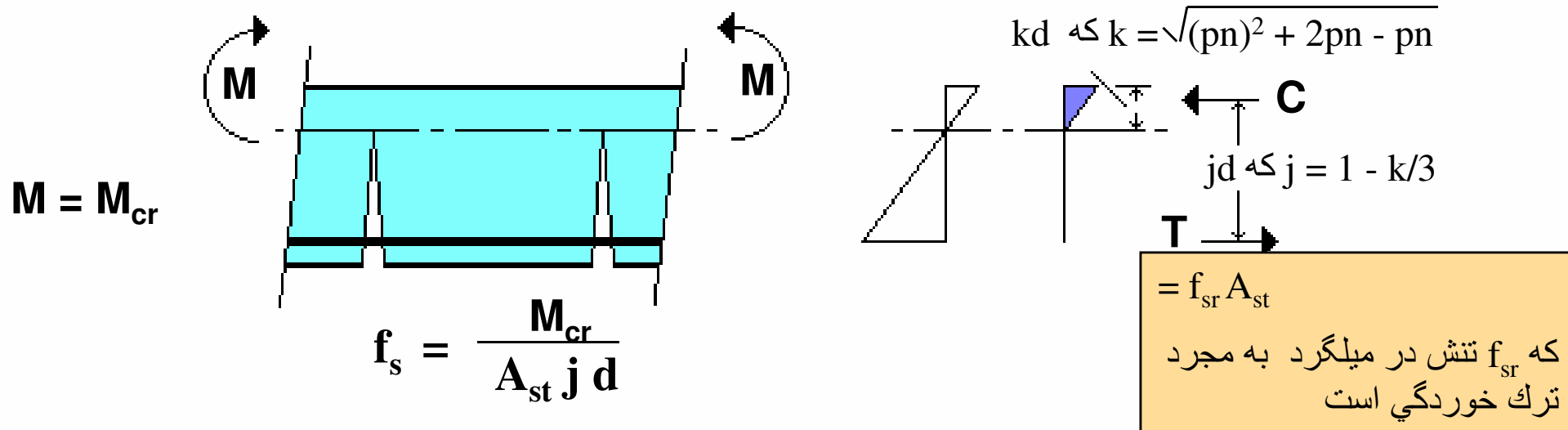
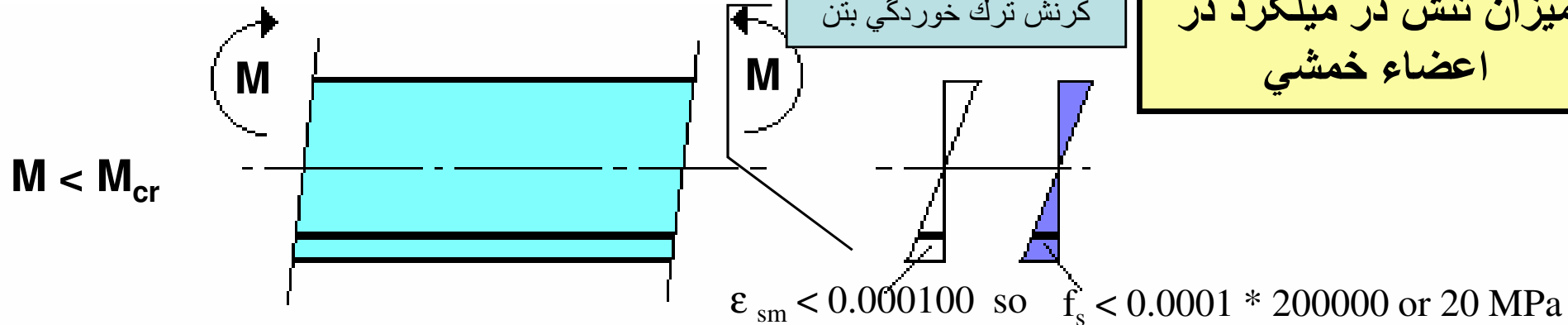
منشور كشي
مي تواند بر
اساس اين سطح
تخمين گردد.

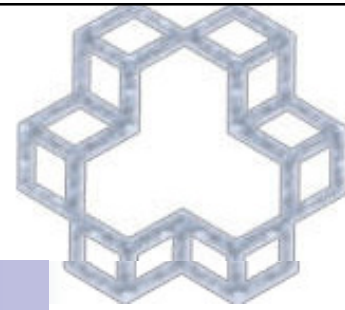


ترك بستگي به
گراديان کرنش در
مقطع عرضي دارد.

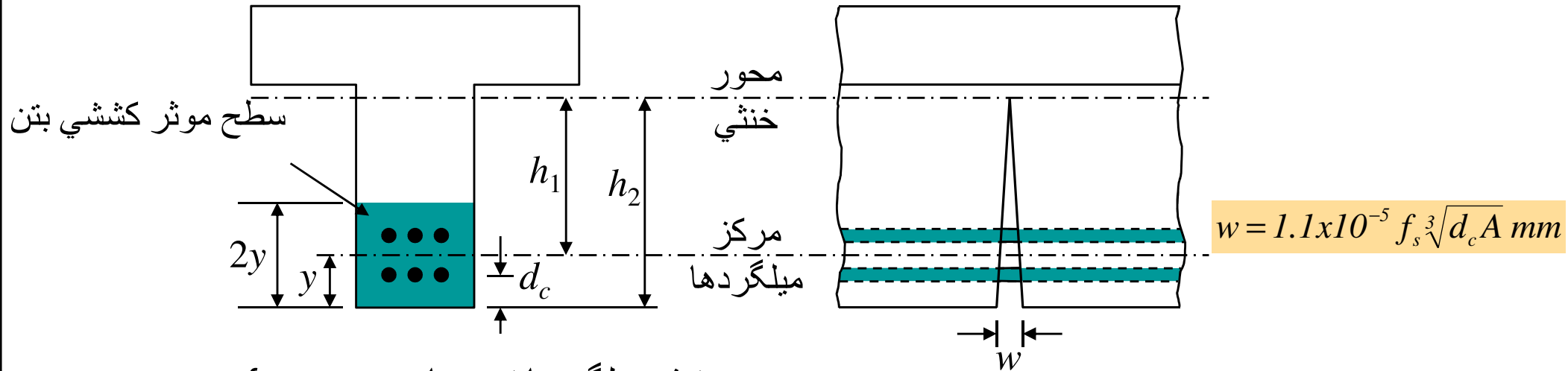


میزان تنش در میلگرد در
اعضاء خمشی





معادله Gerely-Lutz برای عرض ترك برای اعضاي خمشی



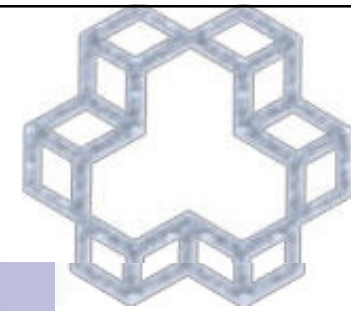
f_s = تنش میلگردها تحت بار خدمت

در شرایط محیطی ملایم، متوسط و شدید مقدار تنش f_s به $2/3 f_y$ و در شرایط محیطی خیلی شدید و فوق العاده شدید مقدار این تنش به $1/2 f_y$ محدود می شود.

d_c = پوشش بتن تا مرکز اولین ردیف میلگرد = mm

A = سطح بتن حول یک میلگرد = mm^2

$$= \frac{\text{کل سطح موثر}}{\text{تعداد میلگردها}} = \frac{2 y b_w}{n}$$



$$w = 1.3 \times 10^{-5} f_s \sqrt[3]{d_c A}$$

ضوابط آبا براي کنترل عرض ترك

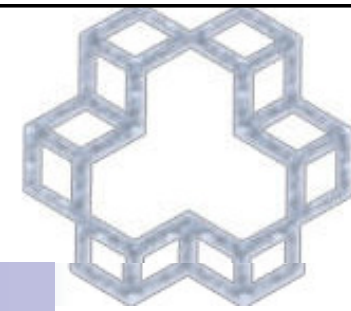
مقدار فوق نبايد از مقادير جدول زير بيشتر گردد.

جهت کنترل عرض ترك

از ميلگردهاي آجار بايد استفاده نمود

از ميلگردهاي با قطرهاي پايين استفاده نمود.

حداكثر عرض ترك (mm)	شرائط رطوبتي محيط
۰/۳۵	ملايم يا متوسط
۰/۲	شدید
۰/۱	خيلي شديد و فوق العاده شديد



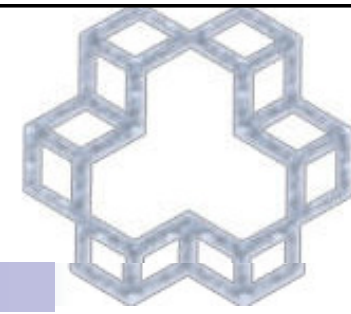
ضوابط ACI برای کنترل عرض ترک

برای تیرها $\beta = 1.20$

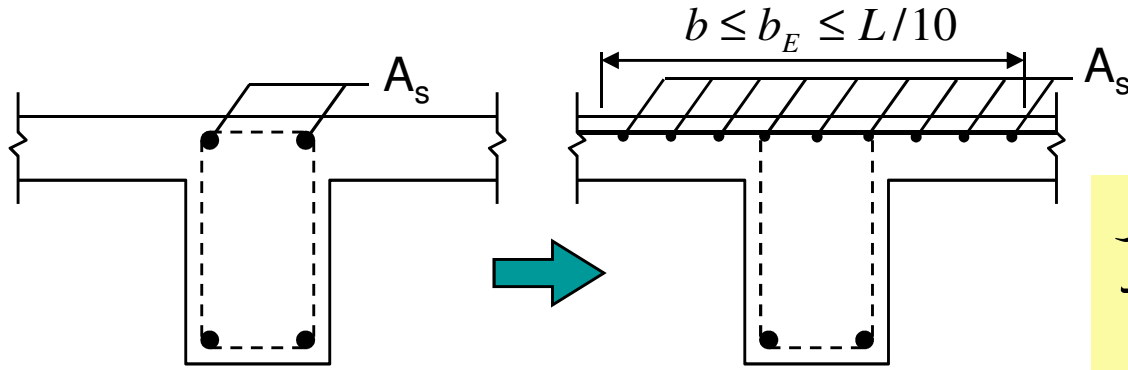
z را به شکل مقابل تعریف می کند $\rightarrow z = f_s \sqrt[3]{d_c A} = \frac{w}{c\beta}$

تیرهای داخلی $z \geq 30000 \text{ N/mm}$ ($w \leq 0.41 \text{ mm}$)

تیرهای خارجی $z \geq 25000 \text{ N/mm}$ ($w \leq 0.34 \text{ mm}$)



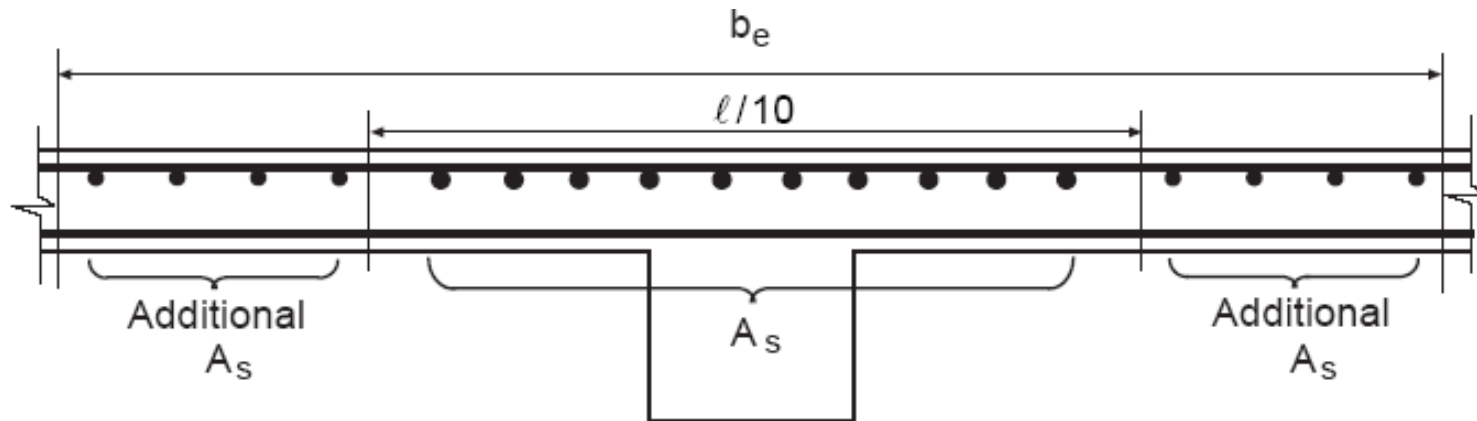
باله‌های تیر T شکل در کشش

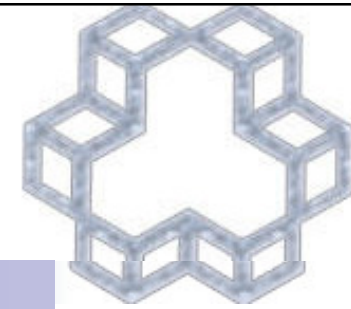


در مناطق لنگر منفي قرار دادن ميلگرد در ناحيه جان سبب افزايش عرض ترك در دال مجاور مي گردد.

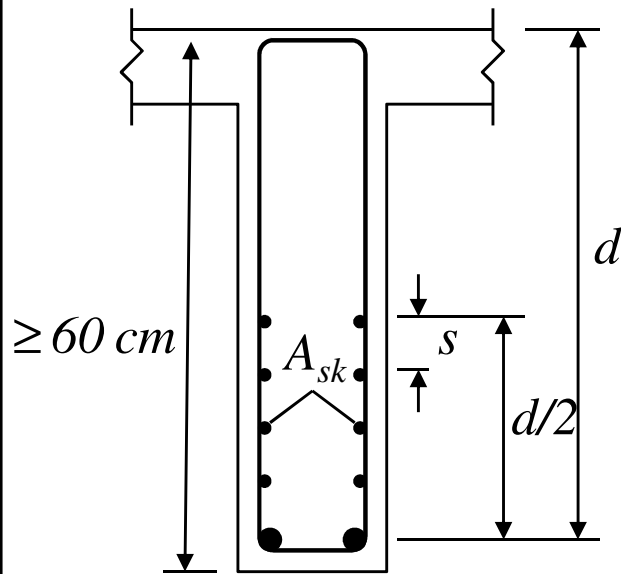
سطح ميلگرد فوق بايد در عرض b توزيع گردد. چنانچه $L/10$ کمتر از b_e باشد، A_s در $L/10$ توزيع شده و ميلگردهاي اضافي به اندازه دو برابر حرارتي در حد فاصل گذاشته شود.

در تيرهاي T شكل اصلي، در پخش ميلگردهاي بالا در ناحيه لنگر خمشي منفي جهت كنترل ترك خوردگي بايد دو ملاحظه ذيل را مد نظر قرار داد. 1-فاصله زياد پخش ميلگردها در كل عرض موثر ممكن است سبب زياد شدن عرض تركها در ناحيه دال گردد. 2-فاصله نزديك در ناحيه جان تير سبب مي گردد كه ناحيه خارج از آن بدون محافظ گردد. لذا آيين نامه با قرار دادن شرط عرض $L/10$ جهت پخش ميلگردها سعي نموده است تا فاصله ميلگردها را تحت كنترل در آورد.





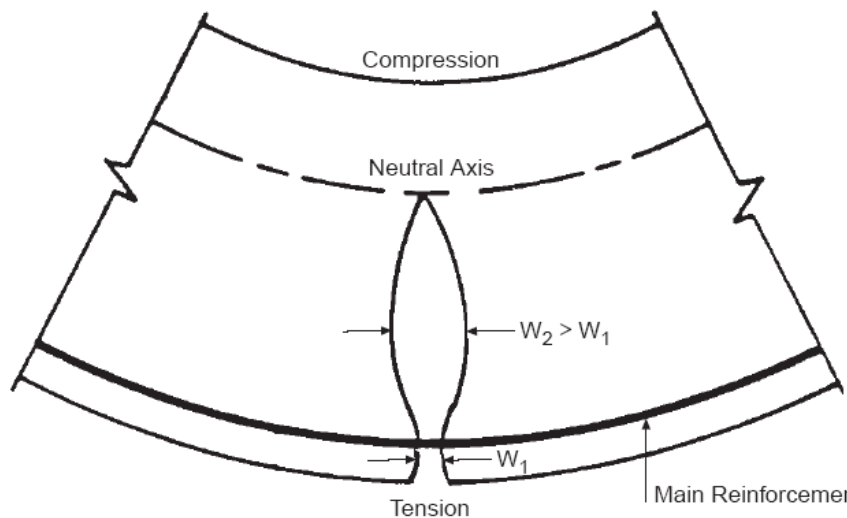
میلگردهای اضافی در گونه تیر عمیق: ($h > 600 \text{ mm}$)



۹-۱۴-۳-۱-۵ در اعضاء خمشی عمیق، جهت کنترل عرض ترکها در جان که می تواند دارای عرضی بزرگتر از عرض ترکهای حاصل از خمش باشد، آیین نامه مقرر می دارد که میلگردهای اضافی در کناره های عمودی بخش کششی جان قرار داده شود

این میلگردهای اضافی در ارتفاع $d/2$ قرار داده می شوند. لزومی ندارد مقدار کل این آرماتورهای گونه از نصف میلگردهای کششی بیشتر باشد.

در صورت لزوم می توان از افزایش مقاومت خمشی ناشی از وجود این میلگردها در محاسبات استفاده نمود.



$$A_{sk} \geq d - 750 \geq 150 \text{ mm}^2 / m$$

در شرایط محیطی ملایم

$$A_{sk} \geq 300 \text{ mm}^2 / m$$

در شرایط محیطی شدید

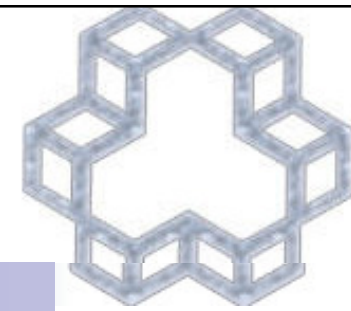
$$A_{sk} \geq 500 \text{ mm}^2 / m$$

در شرایط محیطی خیلی شدید

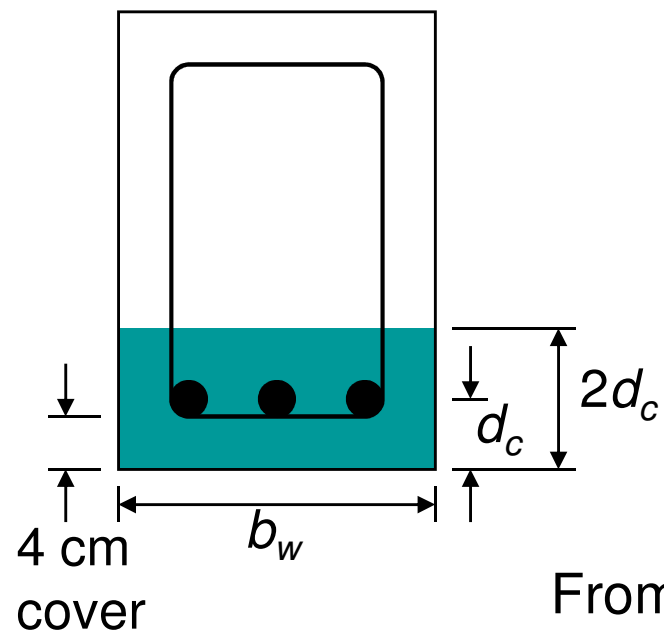
$$S_{max} \leq \frac{d}{6} \leq 300 \text{ mm}$$

و فوق العاده شدید

A_{sk} سطح مقطع مورد نیاز در هر یک از گونه های طرفین تیر بر حسب میلیمتر مربع در هر متر ارتفاع می باشد.



حداقل تعداد میلگرد در يك لايه



كل سطح كششي $= 2 d_c b_w$

سطح كششي براي هر ميله

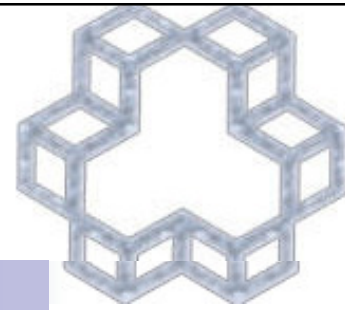
$$A = \frac{2 d_c b_w}{m}$$

تعداد ميلگرد ها در يك لايه $m =$

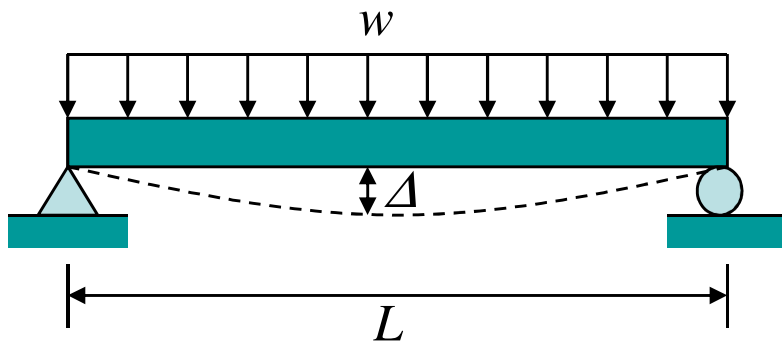
$$\text{From } z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \rightarrow \left(\frac{z}{f_s} \right)^3 = \frac{2 d_c^2 b_w}{m} \rightarrow m = \frac{2 d_c^2 b_w}{(z/f_s)^3}$$

$$m = \frac{2 d_c^2 b_w}{(77000 w / f_s)^3}$$

بر اساس ABA

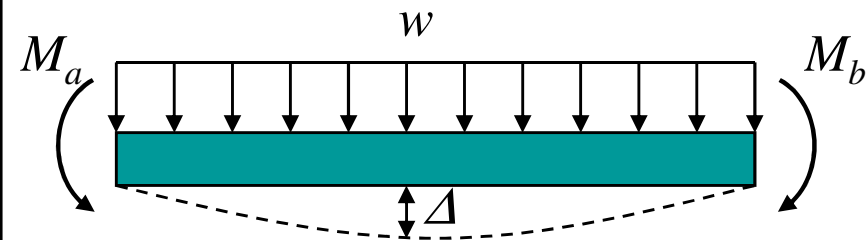


تغییر شکل الاستیک اعضا خمشی

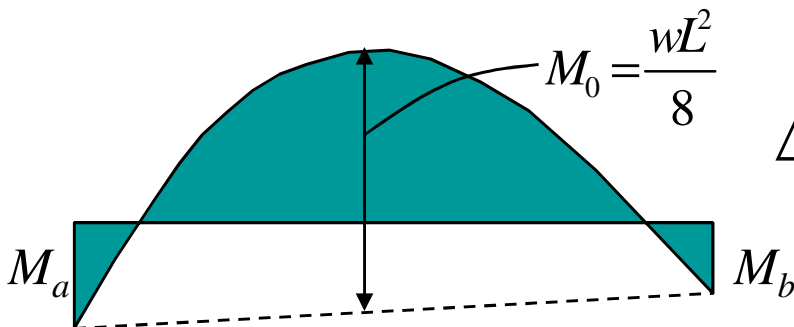


$$\Delta = \frac{5wL^4}{384EI}$$

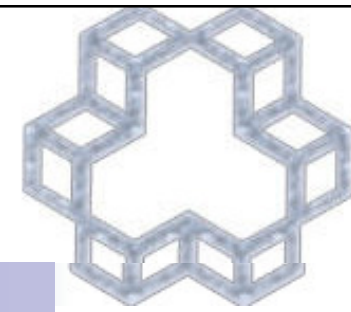
تیر ساده (حالت ایده آل)



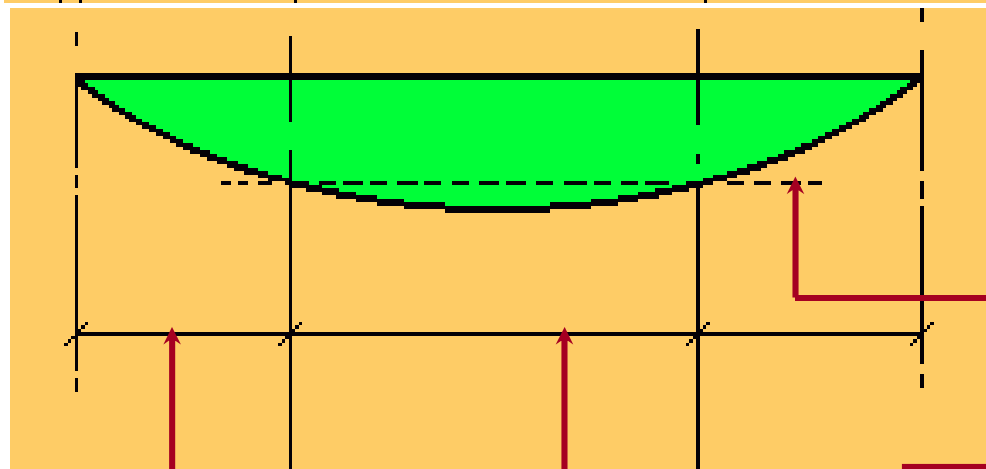
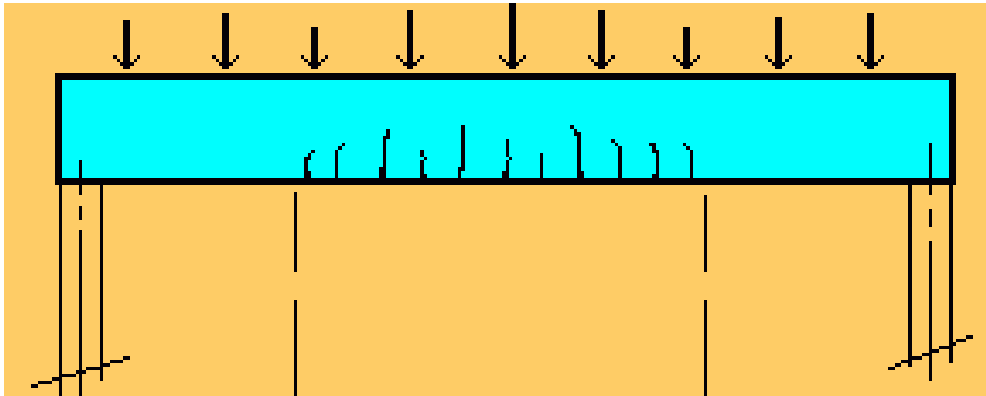
تیر سراسری با تکیه گاههای یکسره (حالت واقعی)



$$\Delta_{\max} = \frac{L^2}{48EI} [5M_0 - 3(M_a + M_b)] \Rightarrow \beta_a \frac{ML^2}{EI}$$



تغییر شکل تیر ترك خوردده

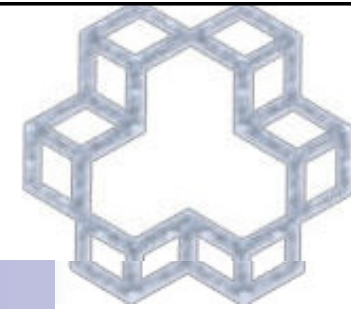


لنگر ترك خوردگي

M_{cr}

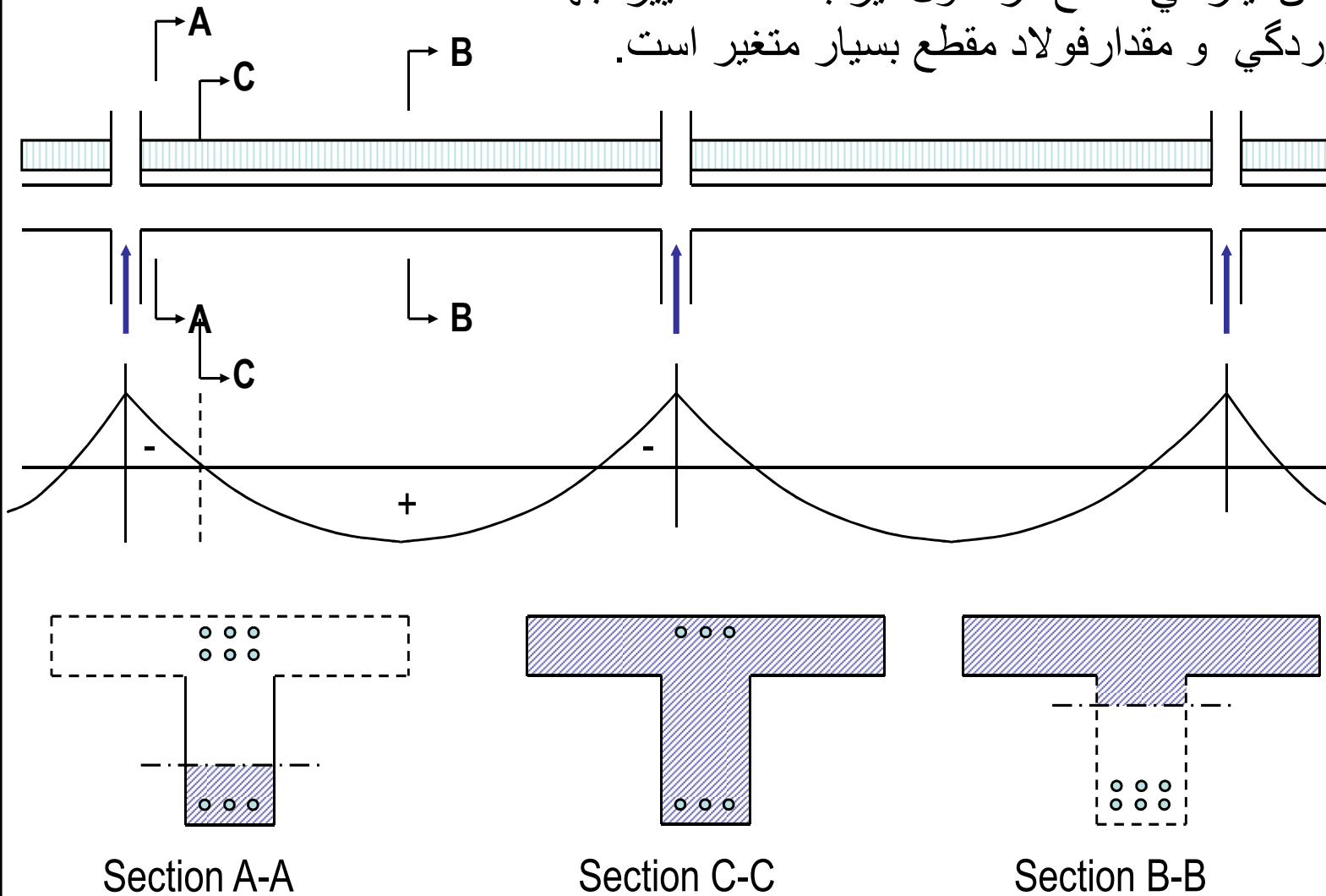
محدوده کاهش سختي به علت
ترك خوردگي

سختي كاملي در دو انتها تير موجود است



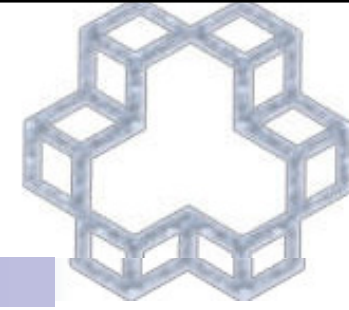
ممان اینرسی موثر برای تیر پیوسته با مقطع T شکل

ملاحظه می گردد که ممان اینرسی مقطع در طول تیر به علت تغییر جهت لنگر و لذا نوع ترک خوردگی و مقدار فولاد مقطع بسیار متغیر است.



اگرچه در يك تحليل ارتجاعي نیروهاي داخلي به مقادير نسبي سختي بستگي دارند، ولي براي محاسبه تغيير مكان نیازمند مقدار سختيها مي باشيم. در سازه هاي بتن آرمه سختي مقطع تابعي از ميزان بار وارده مي باشد. چراکه با افزون شدن لنگر خمشي در مقطع از ميزان مقاومت ترک خوردگی، مقطع از مشخصات ترک نخورده به مشخصات مقطع ترک خورده که داراي لنگر اینرسی کمتر است تبديل مي گردد. بدین جهت محاسبه تغيير مکان تیر تحت بار وارده يك فرآیند غير خطي مي باشد.

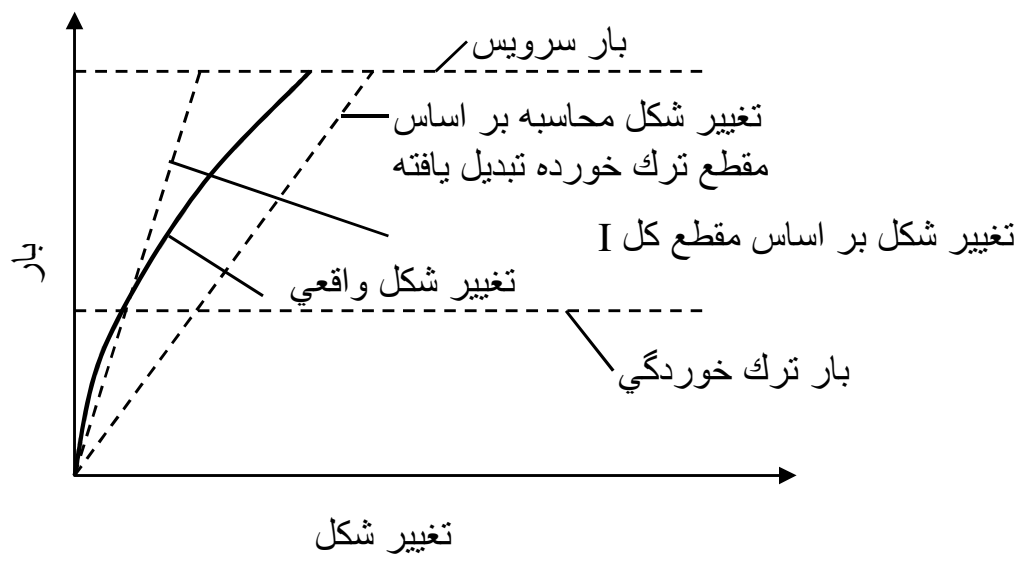
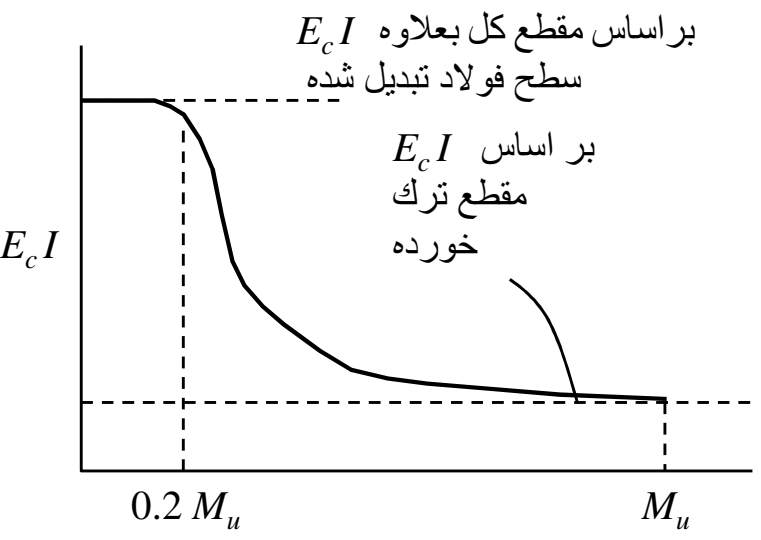
در این وضعیت مقدار جابجایی در هر مقدار افزایش جزء بار ثابت نیست. سختي خمشي $E_c I_c$ در سطوح پایین بار بزرگتر است. (به علت ترک خوردگی)، لذا مقطع کاملاً ترک نخورده، داراي بزرگترین ممان اینرسی است.



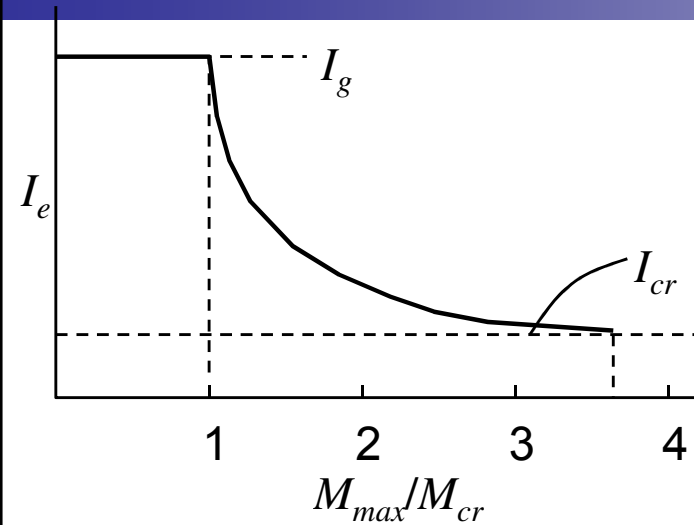
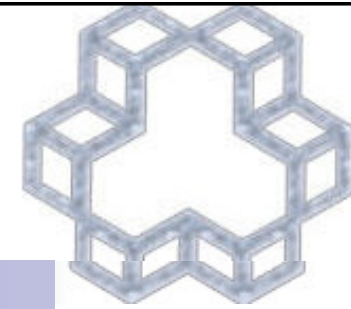
تغییر سختی خمشی نسبت به لنگر خمشی

محاسبه ممان اینرسی موثر I_e یکی از زمینه های مورد بحث برای محاسبه تغییر مکان است. مطابق شکل مقابل سختی خمشی $E_c I$ با مقدار لنگر خمشی مطابق شکل مقابل تغییر می کند.

مقاطع با فولاد بیشتر تغییر کمی در سختی نسبت به مقاطع کم فولاد با افزایش لنگر وارده دارند.



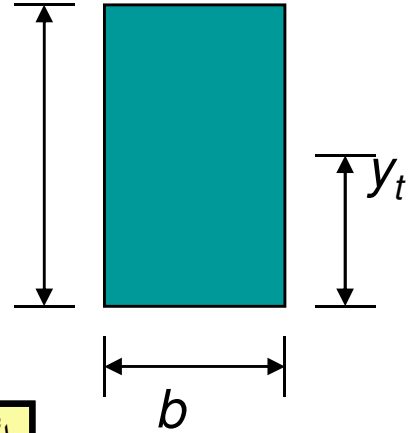
در بار کمتر از بار ترک خوردگی تغییر شکل می تواند بر اساس مقطع بتن ناخالص محاسبه شود و فقط اختلاف کوچکی بین مقطع تبدیل یافته یا نیافته وجود دارد. با افزونی بار از میزان ترک خوردگی، اگرچه بین ترکها مقطع ترک نخورده است اما ممان اینرسی به مقطع ترک خورده انتقال یافته نزدیک می شود. لذا مطابق شکل مقابل استفاده از ممان اینرسی ترک نخورده سبب محاسبه دست پایین تغییر شکل تیر و استفاده از ممان اینرسی ترک خورده تبدیل یافته سبب محاسبه دست بالایی آن می شود.



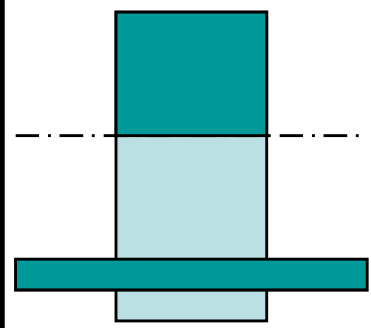
بجهت انتقال پیوسته میان مقطع ترك نخورده و مقطع ترك خورده Branson(1963) رابطه زیر را بر اساس لنگر حداکثر وارده پیشنهاد نمود.

ممان اینرسی موثر (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g$$



مقطع ترك نخورده
تبدیل نیافته



مقطع ترك خورده

اگرچه مقدار فوق درمحل حداکثر لنگر محاسبه می شود ولی از مقدار فوق برای کل یک تیر دو سر مفصل و یا بین دو نقطه عطف در تیر یکسره استفاده می گردد. اگر بخواهیم تغییر پیوسته مقدار لنگر اینرسی را در طول تیر در نظر بگیریم، Branson پیشنهاد نموده است که از قوه چهار معادله فوق استفاده نموده و مقدار M_{cr} و M_{max} را برای قطعات فرضی تیر محاسبه نماییم. با استفاده از یک انتگرال عددی می توان برای تیر با ممان اینرسی موثر متغیر میزان تغییر شکل را محاسبه نمود، اگرچه استفاده از یک مقدار برای کل تیر می تواند سبب سادگی محاسبات گردد.

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \text{cracking moment}$$

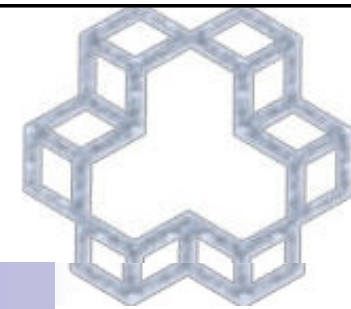
$$M_{max} = \text{ماکزیم لنگر بار سرویس}$$

$$I_g = \text{ممان مقطع کل} = bh^3/12$$

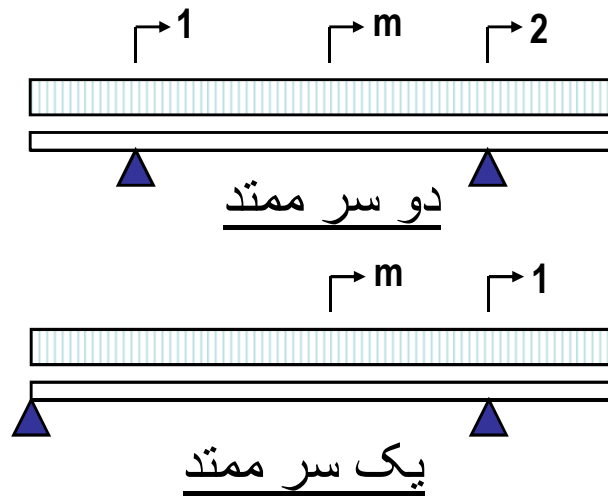
$$I_{cr} = \text{ممان اینرسی مقطع ترك خورده تبدیل یافته}$$

$$f_r = \text{مدول گسیختگی بتن} = 0.63\sqrt{f'_c}$$

$$y_t = \text{فاصله تار خارجی کششی تا محور خنثی کل مقطع بتنی}$$



مقدار ممان اینرسی موثر واحد



بسته به آنکه لنگر خمشی مقطع چه مقدار سبب ترک خوردگی گردد، میزان I در طول تیر متغیر است. سه روش برای تقریب ممان اینرسی موثر در طول تیر توسط آیین نامه ها پیشنهاد شده است.

1- مقدار وسط دهانه : برای تیر دو سر ساده یا ممتد و مقدار تکیه گاهی برای تیر طره (این مقدار برای محاسبات ابتدایی مناسب می باشد).

$$I_e = I_m$$

هر دو انتها پیوسته :

2- متوسط وزنی:

$$I_e = 0.70 I_m + 0.15 (I_{e1} + I_{e2})$$

$$I_e = 0.85 I_m + 0.15 I_{e1}$$

یک انتها پیوسته:

3- متوسط ساده

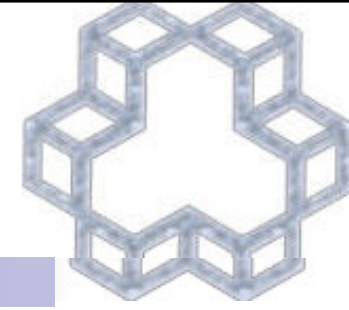
$$I_e = 0.50 I_m + 0.25 (I_{e1} + I_{e2})$$

هر دو انتها پیوسته :

$$I_e = 0.75 I_m + 0.25 I_{e1}$$

یک انتها پیوسته:

نکته: برای یک تیر پیوسته با بار گسترده استفاده از روش متوسط وزنی نسبت به مقدار وسط دهانه دارای دقت بیشتری می باشد در حالیکه برای تیر تحت بار متمرکز سنگین در وسط دهانه بر عکس می باشد

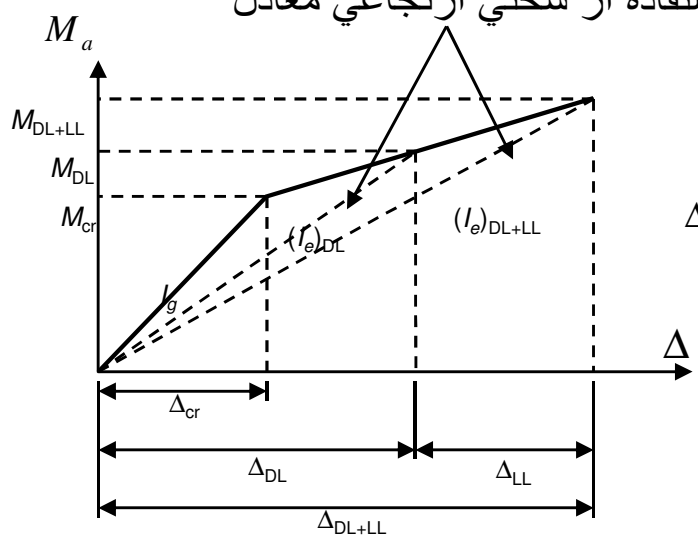


تغییر شکلهای کوتاه مدت بار مرده و زنده

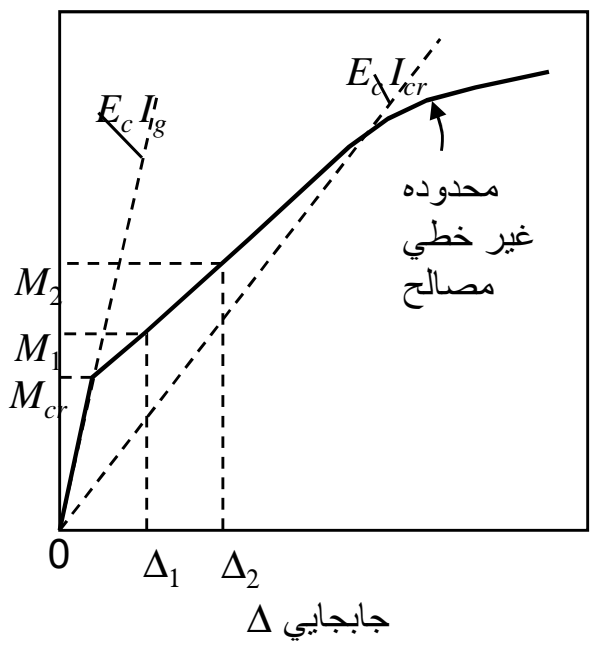
تعبیر شکل کوتاه مدت اعضاء بتن آرمه می تواند بر اساس ممان اینرسی موثر مقطع مطابق فرمول کلی مقابل محاسبه شود. ممان اینرسی موثر مقطع فوق بر اساس میزان لنگر وارده و مقادیر ممان اینرسی مقطع ترک خورده انتقال یافته و مقطع ناخالص ترک نخورده تخمین می گردد. β_a ضریبی است که بستگی به نوع بار و شرایط مرزی دارد.

تغییر شکل تیر بتن آرمه تحت بار یک پدیده غیر خطی است که برای آنکه بتوان از روشهای خطی برای محاسبه استفاده نمود. با توجه به آنکه در هر مرحله از بارگذاری ممان اینرسی به میزان بار وارده بستگی دارد باید مطابق شکل مقابل نسبت به محاسبه آن در هر سطح بار مطابق مطالب قبل اقدام شده و سپس بر اساس مقدار فوق که سختی کج متناظر به تغییر شکل ارتجاعی است از روابط ارتجاعی بهره گرفت. واضح است که برای محاسبه میزان تغییر مکان بار زنده از آنجاکه این بار نمی تواند بدون وجود بار مرده اعمال گردد، ابتدا تغییر مکان مجموعه حساب شده و سپس مقدار فوق از میزان بار مرده به تنهایی کم می شود.

استفاده از سختی ارتجاعی معادل



$$\Delta = \beta_a \left(\frac{ML^2}{E_c I_e} \right)$$



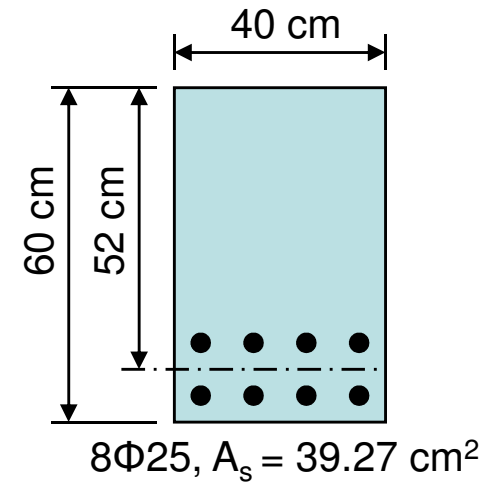
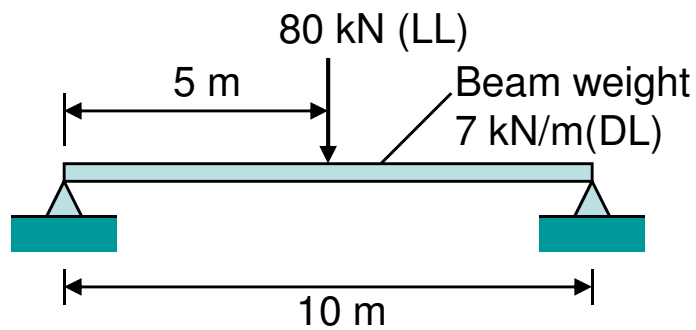
جابجایی بار مرده : $\Delta_{DL} = \beta_a \frac{ML^2}{E_c (I_e)_{DL}}$

جابجایی بار مرده و زنده : $\Delta_{DL+LL} = \beta_a \frac{ML^2}{E_c (I_e)_{DL+LL}}$

جابجایی بار زنده : $\Delta_{LL} = \Delta_{DL+LL} - \Delta_{DL}$

مثال 1: جابجایی آنی تیر دو سر ساده به طول 10 متر را در شکل زیر تحت بار زنده اعمالی محاسبه کنید.

$$f'_c=28, f_y=400 \text{ MPa}$$



حداقل عمق بر اساس ACI

$$L/16 = 10(100)/16 = 62.5 \text{ cm} > 60 \text{ cm}$$

NG

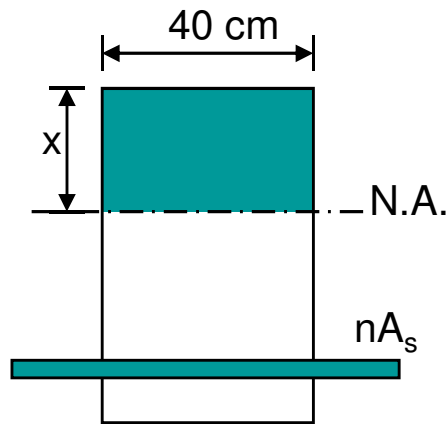
$$I_g = \frac{(40)(60)^3}{12} = 7.2e5 \text{ cm}^4$$

$$M_{\max} = \frac{(7)(10)^2}{8} = 87.5 \text{ kN} - \text{m}$$

افتادگی باید کنترل شود.

الف) افتادگی ناشی از بار مرده

برای مقطع انتقال یافته



$$f'c = 28 \text{ MPa}$$

$$E_c = 5000\sqrt{f'c} = 26458 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2 \times 10^5}{26458} \approx 8$$

محاسبه محل تار خنثی:

$$[\Sigma M_{N-A} = 0] \quad 40 \frac{x^2}{2} = 8(39.27)(52 - x)$$

$$x^2 + 15.71x - 816.82 = 0$$

$$x = 21.8 \text{ cm}$$

$$I_{cr} = I_{concrete} + I_{steel} = \frac{1}{3} (40) (21.8)^3 + 8(39.27)(52 - 21.8)^2$$

$$I_{cr} = 424,663 \text{ cm}^4$$

$$f_r = 0.63\sqrt{28} = 3.33 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \frac{3.33 \times 7.2 \times 10^9}{300} = 79.92 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{cr}}{M_{max}} = \frac{79.92}{87.5} = 0.91, \quad \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 = 0.76$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g$$

ممان اینرسی موثر:

$$I_e = 0.76(720,000) + 0.24(424,663) = 649,119 \text{ cm}^4$$

افتادگی ناشی از بار مرده:

$$\Delta_{DL} = \frac{5wL^4}{384E_c I_e} = \frac{5 \times 7 \times (10000)^4}{384 \times 26458 \times 649119 \times 10^4} = 5.3 \text{ mm}$$

ب) افتادگی ناشی از بار مرده و زنده

$$M_{\max} = 87.5 + 80(10)/4 = 287.5 \text{ kN-m}$$

$$\frac{M_{\text{cr}}}{M_{\max}} = \frac{79.92}{287.5} = 0.28, \left(\frac{M_{\text{cr}}}{M_{\max}} \right)^3 = 0.022$$

$$I_e = 0.022(720,000) + 0.978(424,663) = 431,160 \text{ cm}^4$$

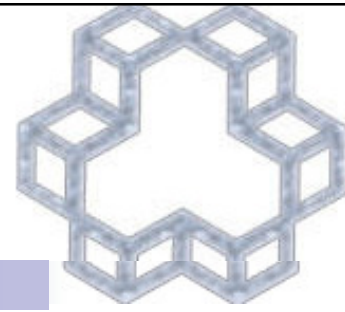
$$\begin{aligned} \Delta_{DL+LL} &= \frac{5wL^4}{384E_c I_e} + \frac{PL^3}{48E_c I_e} = \frac{5 \times 7 \times (10000)^4}{384 \times 26458 \times 431160 \times 10^4} + \frac{80000 \times (10000)^3}{48 \times 26458 \times 431160 \times 10^4} \\ &= 8.0 + 14.6 = 22.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

ج) جابجایی ناشی از بار زنده:

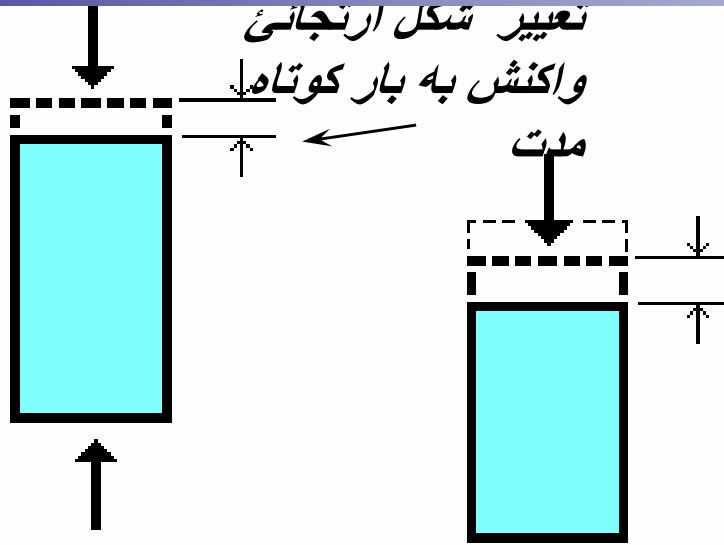
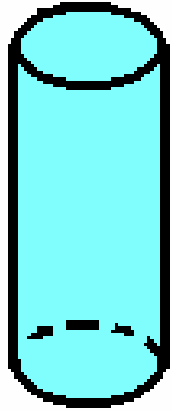
$$\Delta_{LL} = \Delta_{DL+LL} - \Delta_{DL} = 22.6 - 5.3 = 17.3 \text{ mm}$$

مجاز

$$\Delta_{LL} = \frac{L}{360} = \frac{10000}{360} = 27.8 \text{ mm} > 17.3 \text{ mm Ok}$$



تأثیر خزش



تغییر شکل ارتجائی

واکنش به بار کوتاه مدت

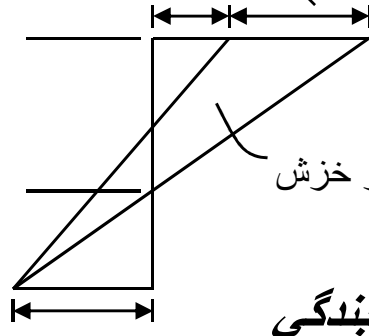
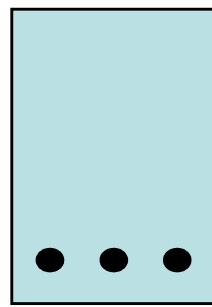
مدت

خزش اضافی
واکنش به بارهای
دراز مدت

کرنش اضافی ناشی از
خزش

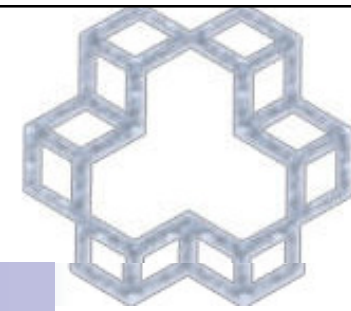
کرنش ارتجائی تیر

چگونه اثر فوق باعث تغییر شکل تیر می شود

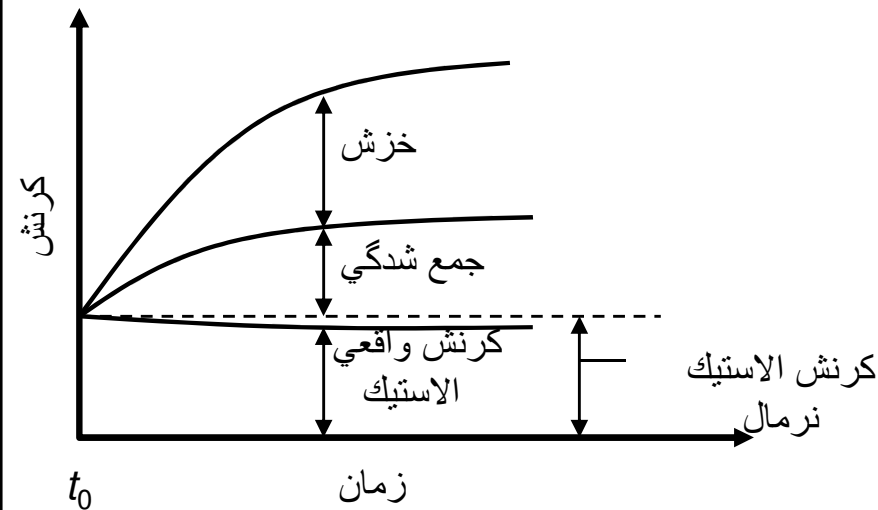


اثر خزش

و... در اثر چسبندگی

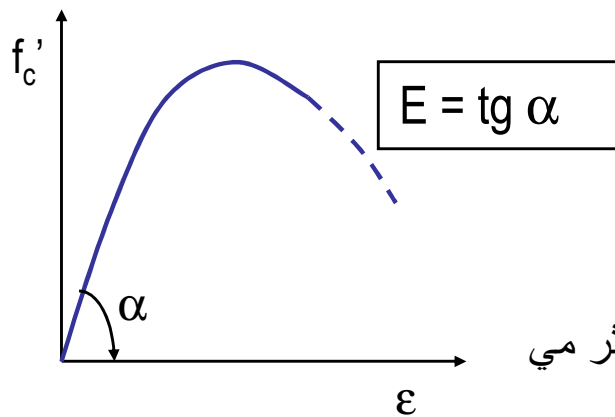


تغییر شکلهای طولانی مدت خزش



چنانچه در فصل اول دیدیم خزش تغییر شکل در طول زمان تحت بار دراز مدت در محدوده ارتجاعی (زیر $0.5f'_c$) می باشد. عوامل موثر بر میزان خزش عبارتند از::

- 1- اجزاء تشکیل دهنده (نرمی سیمان، آب به سیمان، ...)
- 2- دما و رطوبت در حین به عمل آمدن
- 3- اندازه اعضای بتنی
- 4- زمان و مدت بارگذاری
- 5- مقدار تنش
- 6- نسبت سطح به حجم
- 7- اسلامپ

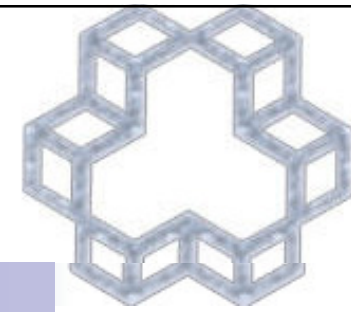


مدول ارتجائی

برای مواد همگن مدول ارتجائی E در کشش و فشار یکسان است در بتن مسلح خزش سبب تغییر E در قسمت فشاری می شود و ترک نیز بر E در قسمت کشش اثر می گذارد

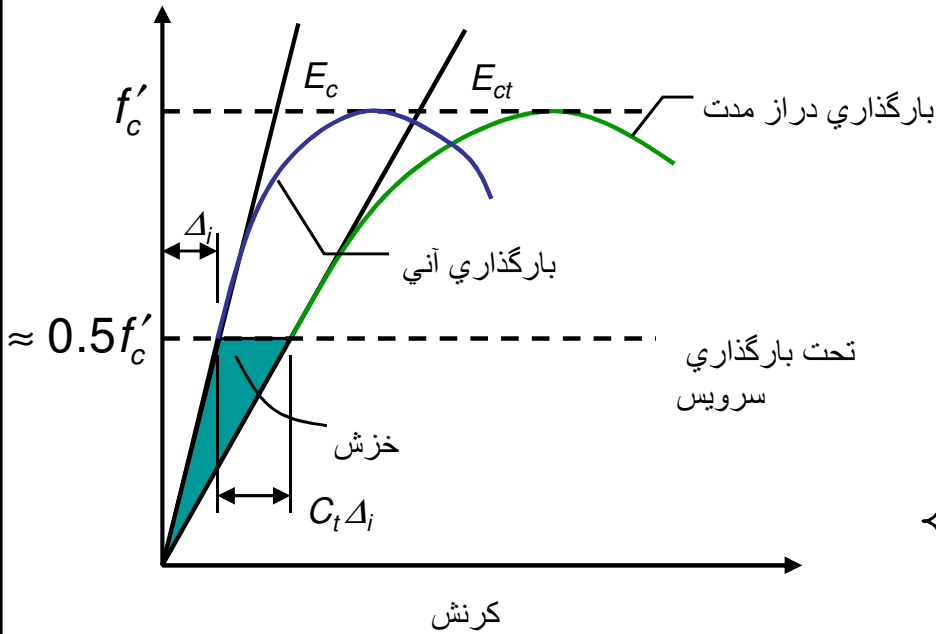
در قسمت کششی و فشاری، نتها E با تغییر تنش در مقطع تغییر می نماید بلکه در طول دهنه نیز دارای تغییر است.

بعلاوه، خزش و جمع شدگی در طول گذر زمان سبب کاهش E می شود که خود باعث افزایش تغییر شکل با ضریبی حدود 2 تا 3 می شود.



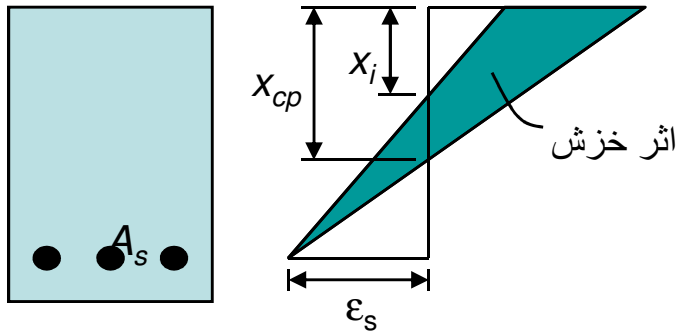
تأثیر خزش بر تغییر شکل تحت بار دراز مدت

یکی از راه‌هایی به حساب آوردن خزش، مطابق شکل مقابل کاهش مدول ارتجاعی است و یا اعمال ضریب C_t بر تعبیر مکان ارتجاعی Δ_i است

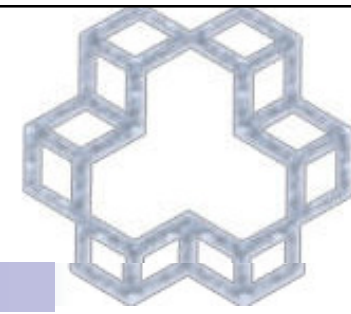


$\left\{ \begin{array}{l} \text{کرنش و} \\ \text{تغییر شکل} \\ \text{پلاستیک حاصل} \\ \text{از خزش} \end{array} \right\}$	$\varepsilon_{cp} = C_t \varepsilon_i$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{کرنش و} \\ \text{تغییر شکل} \\ \text{الاستیک} \end{array} \right\}$
	$\Delta_{cp} = C_t (\Delta_i)_{DL}$	

به جهت فهم اثر خزش بر تغییر شکل تیر، تغییر انحناء تیر در اثر خزش در ناحیه فشاری بتن مقطع تک فولاده مقابل قابل ملاحظه است. بتن سهم کمی در تحمل تنش در ناحیه کششی در اثر ترک داشته و میزان خزش در فولاد نیز ناچیز است. تار خنثی به سمت پایین حرکت کرده و سطح بیشتری از بتن تحت فشار قرار می‌گیرد. با توجه به منحنی تنش - کرنش اصلاح شده در بالا در محدوده زیر تنش $0.5 f'_c$ میزان تنشها کاهش یافته و با توجه به ثابت بودن تنش در فولاد کششی باید میزان برآیند تنشهای فشاری در بتن ثابت باشد. میزان افزایش انحناء از میزان افزایش کرنشها کمتر است.

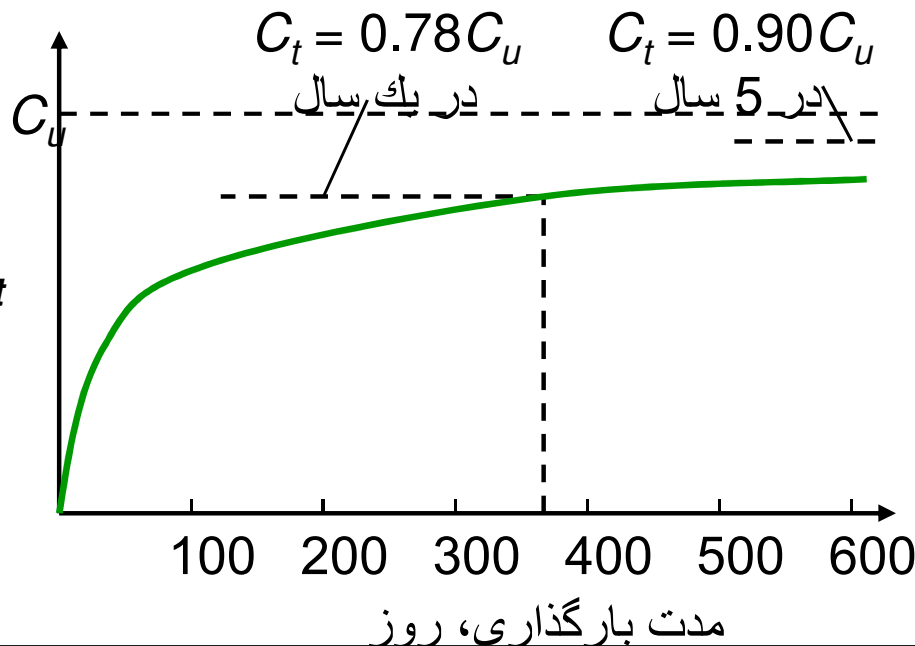
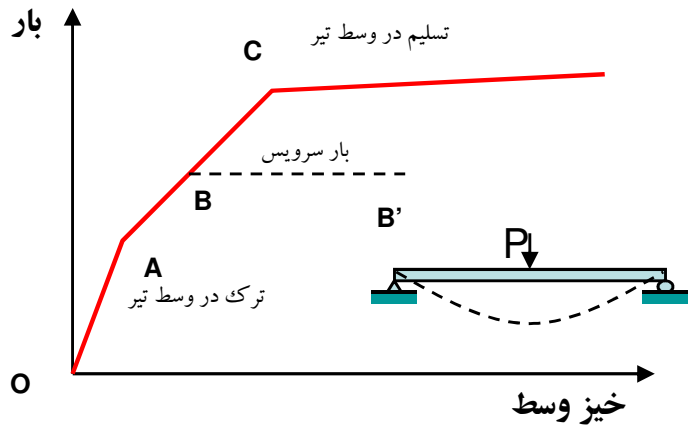


ضریب C_t که نسبت کرنش حاصل از خزش به کرنش ارتجاعی در زمان t بعد از عمل آوری اولیه می‌باشد، بر اساس ضریب خزش نهایی C_u که دارای مقدار $35/2$ برای رطوبت 40% است، محاسبه می‌گردد.



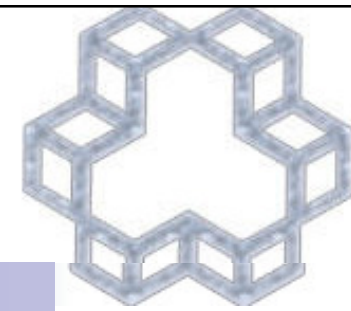
تأثیر خزش بر تغییر شکل تحت بار دراز مدت

نمودار بار خیز تیر دو سر مفصل در شکل مقابل نشان داده شده است. ملاحظه می گردد چنانچه سطح بار سرویس در حد نقطه B نشان داده شده باشد. در اثر خزش با ثابت ماندن بار خیز افزایش می یابد.



- شرایطی که بر اساس آن معادلات ACI معتبر است
 - 1-40% رطوبت نسبی
 - 2-اسلامپ کمتر از 10 سانتیمتر
 - 3-عمر بار گذاری 7 روز (عمل آوری در رطوبت)
 - 4-عمر بار گذاری 1-3 روز (عمل آوری در بخار)
 - 5-ضخامت بتن 15 سانتیمتر
- برای شرایط دیگر باید ضرایب تصحیح بکار برد.

$$C_t = \left(\frac{t^{0.6}}{10 + t^{0.6}} \right) C_u$$



ضرایب تصحیح خزش

2) رطوبت برای 40%

$$(CF)_h = 1.27 - 0.0067 H$$

$H =$ رطوبت نسبی بر حسب %



1) عمر بارگذاری (روز)

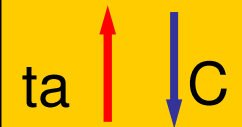
شرایط عمل آوری در رطوبت

$$(CF)_a = 1.25 t_a^{-0.118}$$

شرایط عمل آوری در بخار

$$(CF)_a = 1.13 t_a^{-0.095}$$

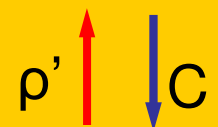
$t_a =$ سن بارگذاری بر حسب روز



3) تاثیر آرماتور فشاری

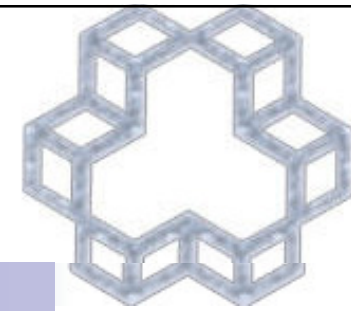
$$k_r = \frac{0.85}{1 + 50 \rho'} \quad , \quad \rho' = \frac{A'_s}{bd}$$

$$\Delta_{cp} = k_r C_t (\Delta_i)_{DL}$$



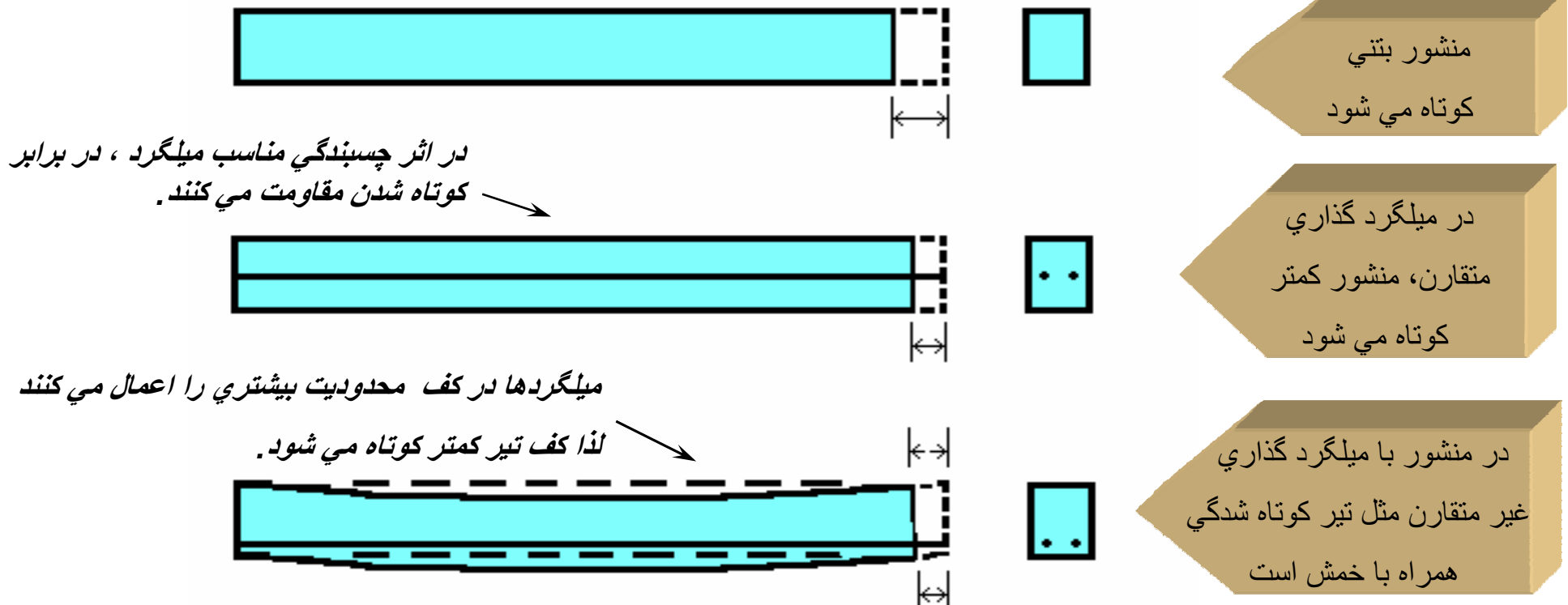
4) بقیه عوامل

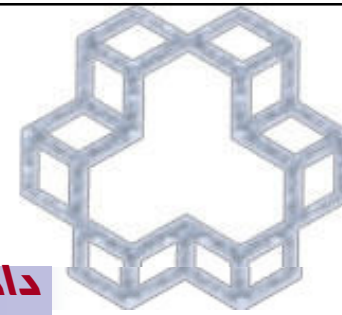
تاثیر کم داشته لذا از آنها صرفنظر می گردد.



اثر جمع شدگی

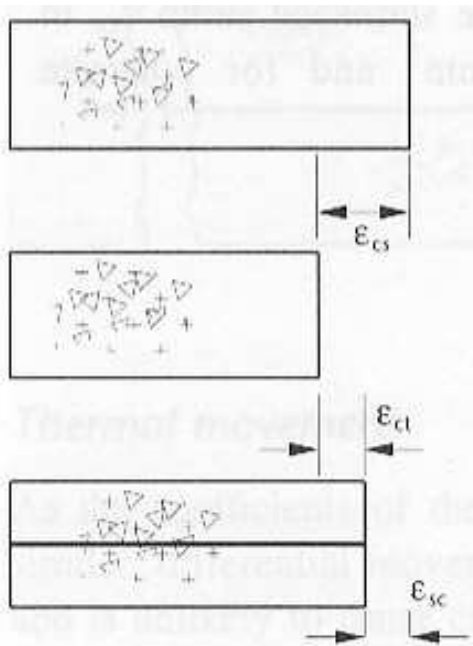
جمع شدگی بتن در تیرها دارای اثراتی مشابه تغییر شکل بر اثر خزش می باشد.
 جمع شدگی تیر بتنی ایزوله شده مانند تیر با تسلیح متقارن، با خمش همراه نیست.
 عموماً جدا نمودن اثرات خزش و جمع شدگی بسیار مشکل می باشد.
 ۹۰٪ جمع شدگی در یک سال اول اتفاق می افتد، در حالیکه حداقل ۵ سال باید سپری گردد تا ۹۰٪ خزش اتفاق افتد.





تنش های ناشی از جمع شدگی در میلگرد گذاری متقارن

در صورت مسلح نبودن مقطع، در بتن جمع شدگی آزادی برابر ϵ_{cs} روی می دهد ولی در صورت وجود میلگرد میزان جمع شدگی بتن کاهش یافته و بدین علت در بتن کرنش کششی برابر ϵ_{ct} و در فولاد کرنش فشاری برابر ϵ_{sc} روی می دهد.



کرنش آزاد بتن

کرنش کششی بتن

کرنش فشاری میلگرد

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{ct} + \epsilon_{sc} = \frac{f_{ct}}{E_{cm}} + \frac{f_{sc}}{E_s}$$

$$A_c f_{ct} = A_s f_{sc} \Rightarrow f_{ct} = \frac{A_s}{A_c} f_{sc}$$

$$\epsilon_{cs} = f_{sc} \left(\frac{A_s}{A_c E_{cm}} + \frac{1}{E_s} \right)$$

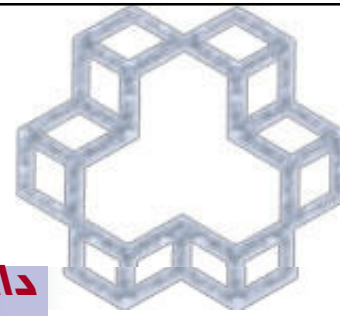
$$\text{if } \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

$$\epsilon_{cs} = f_{sc} \left(\frac{\alpha_e A_s}{A_c E_s} + \frac{1}{E_s} \right) = \frac{f_{sc}}{E_s} \left(\frac{\alpha_e A_s}{A_c} + 1 \right)$$

$$f_{sc} = \frac{\epsilon_{cs} E_s}{1 + \frac{\alpha_e A_s}{A_c}}$$

A_c : سطح مقطع بتن
 A_s : سطح مقطع فولاد

نیروی ایجاد شده در بتن و فولاد در تعادل می باشند بنابراین:

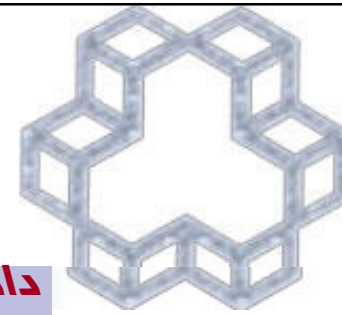


عضوی دارای یک درصد میلگرد متقارن در مقطع می باشد، اگر کرنش آزاد بتن ϵ_{cs} برابر 200×10^{-6} باشد تنش ایجاد شده در بتن و فولاد را به علت جمع شدگی بتن بدست آورید.

$$E_s = 200 \text{ kN/mm}^2 \quad , \quad E_{cm} = 15 \text{ kN/mm}^2$$

تنش ایجاد شده در میلگرد : $f_{sc} = \frac{\epsilon_{cs} E_s}{1 + \alpha_e \frac{A_s}{A_c}} = \frac{200 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^3}{1 + \frac{200}{15} \times 0.01} = 35.3 \text{ N/mm}^2$ فشاری

تنش ایجاد شده در بتن : $f_{ct} = \frac{A_s}{A_c} f_{sc} = 0.01 \times 35.3 = 0.35 \text{ N/mm}^2$ کششی



همان طور که در مثال ۱ مشاهده گردید در عضوی که دارای قید خارجی نمی باشد تنش های قابل ملاحظه ای ایجاد نمی شود. در صورت وجود قید خارجی کامل، میلگردها دیگر امکان کرنش کردن را ندارند بنابراین ϵ_{sc} برابر صفر بوده و تمام کرنش آزاد بتن توسط تکیه گاه مهار شده و $\epsilon_{ct} = \epsilon_{cs}$ می باشد و تنش کششی بزرگتری برابر $f_{ct} = \epsilon_{cs} \times E_c$ در بتن ایجاد می شود که می تواند باعث ترک خوردن بتن شود.

مثال ۲ :

در صورت ایجاد قید کامل خارجی در مثال ۱ تنش ایجاد شده در بتن را محاسبه نمایید.

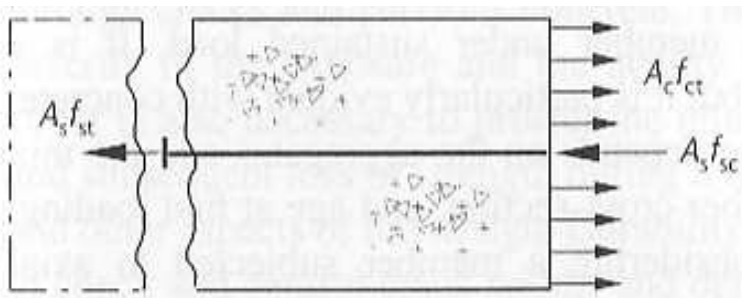
$$f_{ct} = \epsilon_{ct} E_{cm}$$

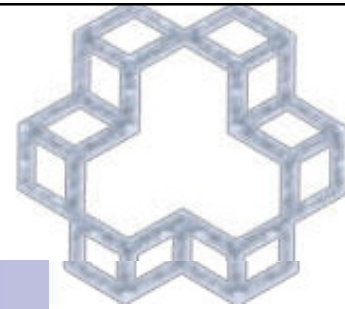
$$\epsilon_{ct} = \epsilon_{cs} = 200 \times 10^{-6}$$

$$f_{ct} = 200 \times 10^{-6} \times 15 \times 10^3 = 3.0 \text{ N/mm}^2$$

بعد از ایجاد ترک در عضو، میلگردهای آزاد شده در طول ترک تحت کشش افتاده ولی میلگردهای مدفون در بتن دچار فشار می شوند این امر بدان علت روی می دهد که بتن آزاد شده تمایل دارد به جمع شدگی خود ادامه دهد و مانند حالت اول (بدون قید خارجی) جمع شدگی از طرف آزاد مقطع روی می دهد و این باعث ایجاد فشار در میلگردها و ایجاد کشش در بتن می شود. این اتفاق عموماً با تخریب موضعی اتصال بین میلگرد و بتن در جوار ترک روی می دهد.

تنش های ایجاد شده در بتن و فولاد مطابق شکل روبرو می باشد:





کرنش جمع شدگی

کمیته ACI 209 بر اساس تحقیقات Branson میزان کرنش جمع شدگی در زمان t بعد از عمل آوری اولیه را چنین تخمین می زند.

$$\text{عمل آوری در شرایط رطوبت در 7 روز} \quad \varepsilon_{sh} = \frac{t}{35 + t} (\varepsilon_{sh})_u$$

$$\text{عمل آوری در شرایط بخار در 1-3 روز} \quad \varepsilon_{sh} = \frac{t}{55 + t} (\varepsilon_{sh})_u$$

$$(\varepsilon_{sh})_u = \text{کرنش جمع شدگی نهایی}$$

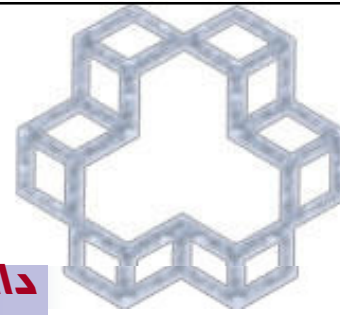
$$= 800 \times 10^{-6} \text{ cm/cm برای } 40\% \text{ رطوبت}$$

ضرایب تصحیح جمع شدگی

چنانچه رطوبت بیشتر از 40% باشد ضریب تصحیح مقابل را باید در میزان کرنش جمع شدگی بالا بکار برد. بقیه عوامل به علت اثر کم صرف نظر می گردد.

$$(CF)_h = 1.40 - 0.010 H \quad 40\% \leq H \leq 80\%$$

$$(CF)_h = 3.00 - 0.030 H \quad H \geq 80\%$$



کرنش های حرارتی:

از آنجایی که ضریب حرارتی بتن و فولاد مشابه می باشد جابجایی نسبی این دو به علت حرارت ناچیز و قابل صرف نظر کردن است ولی با وجود این در صورت تغییر حرارت به اندازه T می توان کرنش حرارتی ایجاد شده را به کرنش جمع شدگی ϵ_{cs} اضافه نمود.

$$\epsilon_T = T(\alpha_{T,c} - \alpha_{T,s})$$

از آنجایی که جمع شدگی حرارتی بتن در اکثر موارد اولین عامل ایجاد ترک در اعضا با قید خارجی می باشد می توان با کنترل مناسب حرارت در طی فرایند هیدراسیون این مشکل را تا حدودی حل نمود.

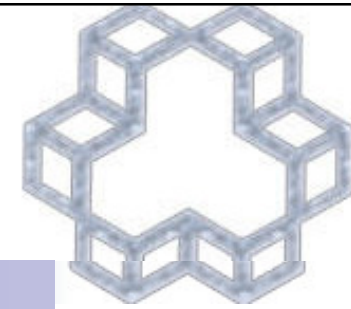
مثال 3:

میزان کاهش حرارت مورد نیاز را جهت ایجاد ترک در یک عضو بتنی مقید بدست آورید.

$$f_{ct,eff} = 2 \text{ N/mm}^2, \quad E_{cm} = 16 \text{ kN/mm}^2, \quad \alpha_{T,c} = \alpha_{T,s} = 10 \times 10^{-6} / \text{C}^\circ$$

$$\epsilon_{ult} = \frac{f_{ct,eff}}{E_{cm}} = \frac{2}{16 \times 10^3} = 125 \times 10^{-6} \quad \text{کرنش نهایی بتن برابر است با :}$$

$$T = \frac{\epsilon_{ult}}{\alpha_{T,c}} = \frac{125}{10} = 12.5^\circ \text{C} \quad \text{حداقل دمایی مورد نیاز برای ایجاد ترک :}$$



تغییر شکلهای حاصل از جمع شدگی

$$\phi_{sh} = \frac{\epsilon_{sh} - \epsilon_s}{d}$$

$$= \frac{\epsilon_{sh}}{d} \left(1 - \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}} \right)$$

اگر کرنش جمع شدگی آزاد معلوم باشد انحناء جمع شدگی در يك تير تك فولاده مي تواند مطابق شكل زیر چنین محاسبه گردد.

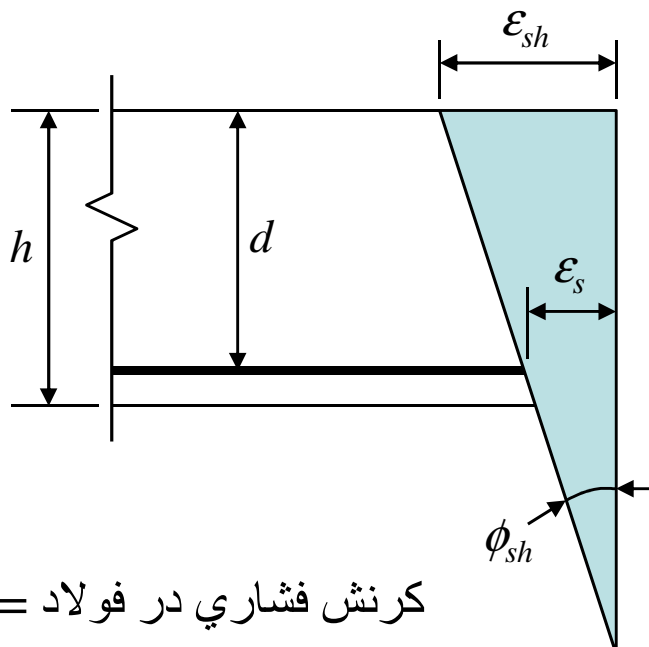
چنین انحنایی به نسبت فولاد کششی و فشاری مشابه انحناء خزش بستگی خواهد داشت.

Miller & Branson فرمول تجربی زیر را برای محاسبه انحناء جایگزین نسبت ϵ_s/ϵ_{sh} در مقطع با فولاد فشاری نمودند.

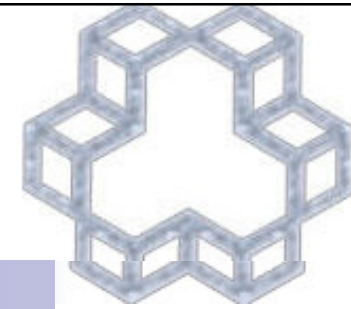
$$\phi_{sh} = 0.7 \frac{\epsilon_{sh}}{h} (\rho - \rho')^{1/3} \left(\frac{\rho - \rho'}{\rho} \right)^{1/2} \quad \text{for } (\rho - \rho') \leq 3\%$$

$$\phi_{sh} = \frac{\epsilon_{sh}}{h} \quad \text{for } (\rho - \rho') > 3\%$$

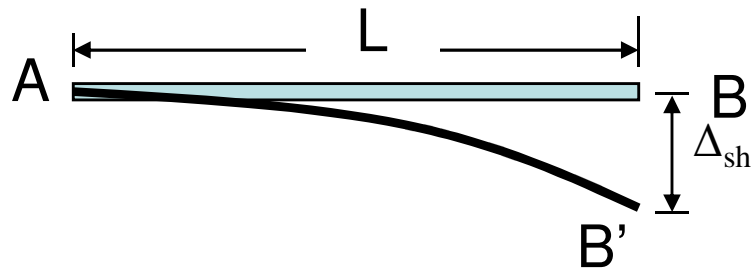
where ρ or $\rho' = 100(A_s \text{ or } A'_s) / bd$



ϵ_s = کرنش فشاری در فولاد



تغییر شکلهای حاصل از جمع شدگی



اگر میزان انحناء در سرتاسر تیر معلوم باشد می توان میزان تغییر مکان را از روش سطح لنگر بدست آورد. از آنجاکه میزان M/EI در حقیقت انحناء ناشی از لنگر خمشی است، لذا دیاگرام Φ_{sh} به عنوان دیاگرام M/EI تلقی نمود.

بطور مثال مطابق شکل مقابل برای یک تیر طره با انحناء ثابت Φ_{sh} در سرتاسر طول با استفاده از روش سطح لنگر خواهیم داشت:

لنگر دیاگرام Φ_{sh} میان A و B نسبت به B $\Delta_{sh} = BB' =$

$$= (\phi_{sh} L) \left(\frac{L}{2} \right) = 0.5 \phi_{sh} L^2$$

بسته به شرایط تکیه گاهی می توان رابطه کلی زیر را برای محاسبه تغییر مکان ناشی از انحناء جمع شدگی در نظر گرفت که ضریب α بر اساس شرایط تکیه گاهی قابل برداشت از جدول مقابل است.

$$\Delta_{sh} = \alpha_1 \phi_{sh} L^2$$



دیاگرام M/EI معادل

تیر طره: $\alpha_1 = 0.50$

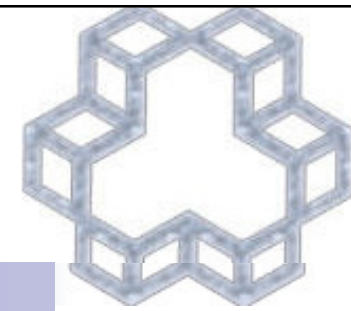
تیر دو سر ساده: $= 0.125$

تیر یکسر ممتد: $= 0.086$

تیر دو سر ممتد: $= 0.063$

انحناء حاصل از جمع شدگی: $\phi_{sh} =$

دهانه بر حسب متر $L =$



تغییر شکل حاصل از مجموع خزش و جمع شدگی

آیین نامه بجای محاسبه مجزاء اثرات خزش و جمع شدگی اجازه می دهد که از فرمولی مشترک اثرات افتادگی دراز مدت را بر اساس میزان افتادگی کوتاه مدت محاسبه گردد.

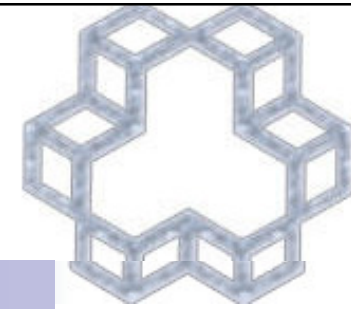
1-2-2-14 افتادگی اضافی ایجاد شده در قطعات در طول زمان را که در اصطلاح "اضافه افتادگی دراز مدت" نامیده می شود، در صورت عدم استفاده از روشهای تحلیلی دقیقتر، می توان از حاصلضرب افتادگی آنی ناشی از بار مرده (دراز مدت) در ضریب λ که از رابطه زیر مشخص شده است، بدست آورد.

$$\Delta_{cp+sh} = k_r \xi (\Delta_i)_{DL} = \lambda (\Delta_i)_{DL}$$

طول مدت بار دراز مدت	ξ
5 سال یا بیشتر	2.0
1 سال	1.4
6 ماه	1.2
3 ماه	1.0

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

نکته : جمع شدگی در دالها بیشتر از تیرها است



روشهایی دیگر محاسبه تغییر شکل حاصل از مجموع خزش و جمع شدگی

1- محاسبه تغییر مکان ناشی از اثرات مجزاء خزش و جمع شدگی توسط ACI 435 چنین توصیه شده است:

$$\Delta_{cp+sh} = \Delta_{cp} + \Delta_{sh} \quad \Delta_{sh} = \alpha_1 \phi_{sh} L^2$$

که در آن k_r ضریب مربوط به فولاد فشاری و C_t ضریب خزش با استفاده از فرمولهای صفحات قبل است:

$$\Delta_{cp} = k_r C_t (\Delta_i)_{DL}$$

2- روش دیگری مشابه روش ACI پیشنهاد شده است بجز آنکه ضریب ξ

$$\Delta_{cp+sh} = k_r \xi (\Delta_i)_{DL} = \lambda (\Delta_i)_{DL}$$

بر اساس جدول زیر برداشت می گردد:

درصدهای پایین باید در مقادیر جدول فوق برای بارهای ماندگار که در مدت های زیر وارد می گردند ضرب گردند.

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

مقاومت بتن MPa	متوسط رطوبت نسبی، سن بارگذاری								
	%100			%70			%50		
	≤7d	7d	≥ 28d	≤7d	7d	≥ 28d	≤7d	7d	≥ 28d
17 to 28	2	5/1	1	3	2	5/1	4	3	2
>28	5/1	1	7	5/2	8/1	2/1	5/3	5/2	5/1

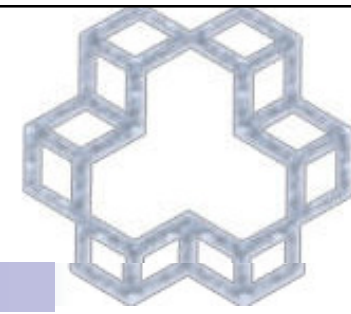
25% برای 1 ماه یا کمتر

50% برای 3 ماه

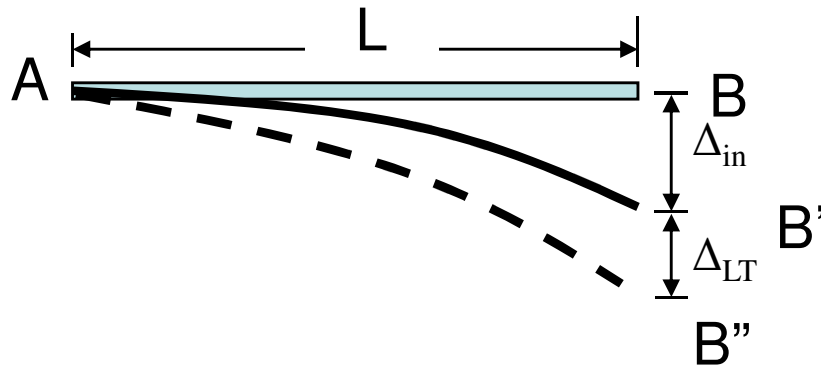
75% برای یک سال

100% برای 5 سال یا بیشتر

50% مقادیر برای رطوبت زیر
50% استفاده می گردد.



برای بار مرده و زنده



$$\Delta_{\text{total}} = \Delta_{\text{DL}(\text{inst})} + \Delta_{\text{LL}(\text{inst})} + \Delta_{\text{DL}(\text{L.T.})} + \Delta_{\text{LL}(\text{L.T.})}$$

DL و LL ممکن است دارای ضریب γ مختلفی برای LT (طول زمان) محاسبات Δ باشد

$$\Delta_{\text{total}} \left(\begin{array}{l} \text{بعد از اتصال} \\ \text{اعضای غیر سازه ای} \end{array} \right) = \Delta_{\text{total}} - \Delta_{\text{DL}(\text{inst})}$$

مقدار مناسب I_c باید برای محاسبه Δ در هر سطح بارگذاری استفاده شود.

روش کنترل تغییر شکل

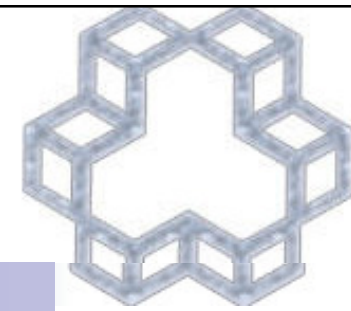
برای دال یکطرفه:

الف) ضخامت حداقل (h_{min})

ب) کنترل خیز مجاز

برای دال دو طرفه:

الف) ضخامت حداقل (h_{min})



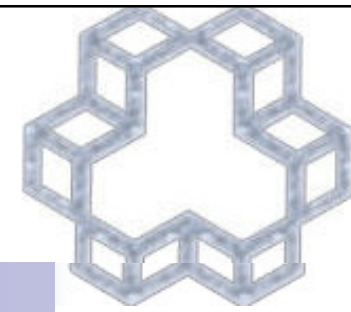
حداقل ضخامت

1- دال یکطرفه

حداقل ضخامت بر اساس جدول ذیل تعیین می گردد

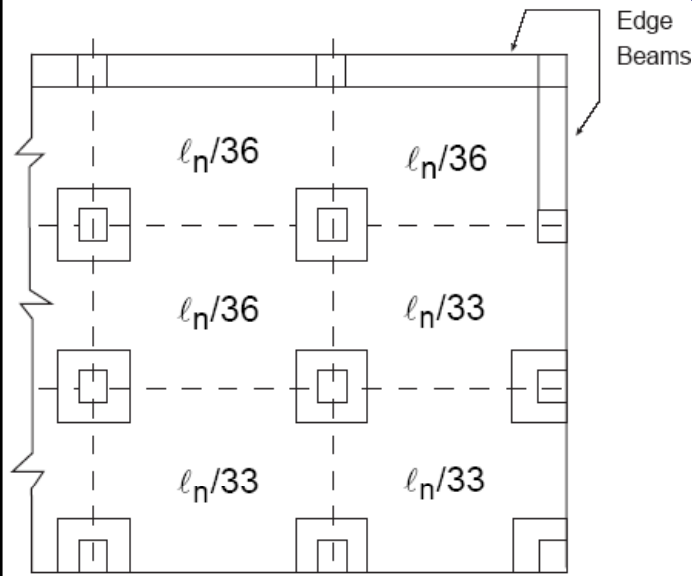
f_y	400	240	400	240	400	240	400	240
Slab	L/20	L/27	L/24	L/32	L/28	L/37	L/10	L/13
Beam	L/16	L/21	L/18.5	L/24.5	L/21	L/28	L/8	L/11

- مشروط بر آنکه به عناصر غیر سازه ای که در اثر تغییر شکل آنها آسیب ببینند متصل نباشند
- برای f_y به غیر از 400 MPa مقادیر داده شده باید در ضریب $0.4 + f_y/670$ ضرب شوند.

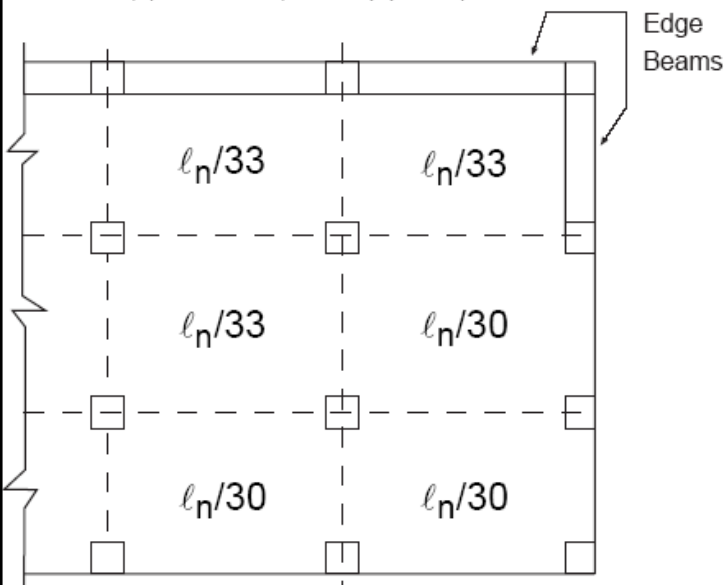


دالهاي دو طرفه

حداقل ضخامت دال تخت بدون تير ميانى (h_{min})
يا با تير ميانى ولي α_m مساوي يا كوچكتر از 2/0 است

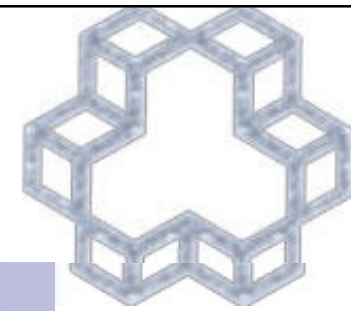


(b) Flat Slabs (with drop panels)



(a) Flat Plates (without drop panels)

با كتيبه		بدون كتيبه		نوع فولاد
پانلهاي دروني	پانل هاي بيروني	پانلهاي دروني	پانل هاي بيروني	
--	با تير لبه	--	بدون تير لبه	
$L_n/40$	$L_n/40$	$L_n/36$	$L_n/36$	S300
$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/33$	$L_n/30$	S400



دالهاي دو طرفه (با تير داخلي)

حداقل ضخامت دال با تير مياني (h_{min})

$$h_{min} = \frac{l_n(800 + 0.6f_y)}{36000 + 5000\beta(\alpha_m - 0.2)} > 125 \text{ mm} \quad : \quad 0.2 < \alpha_m < 2$$

$$h_{min} = \frac{l_n(800 + 0.6f_y)}{36000 + 9000\beta} > 90 \text{ mm} \quad : \quad 2 < \alpha_m$$

$$\alpha = \frac{E_{cb}}{E_{cs}} \frac{b}{l} \left(\frac{a}{h} \right)^3 f$$

α = سختي نسبي تير به دال

α_m = متوسط α

f = ثوابت بر اساس اشكال چند صفحه بعد

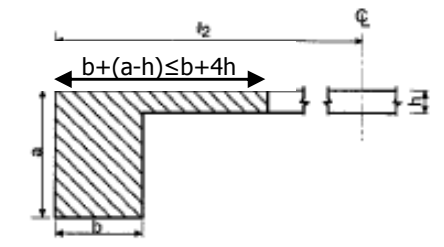
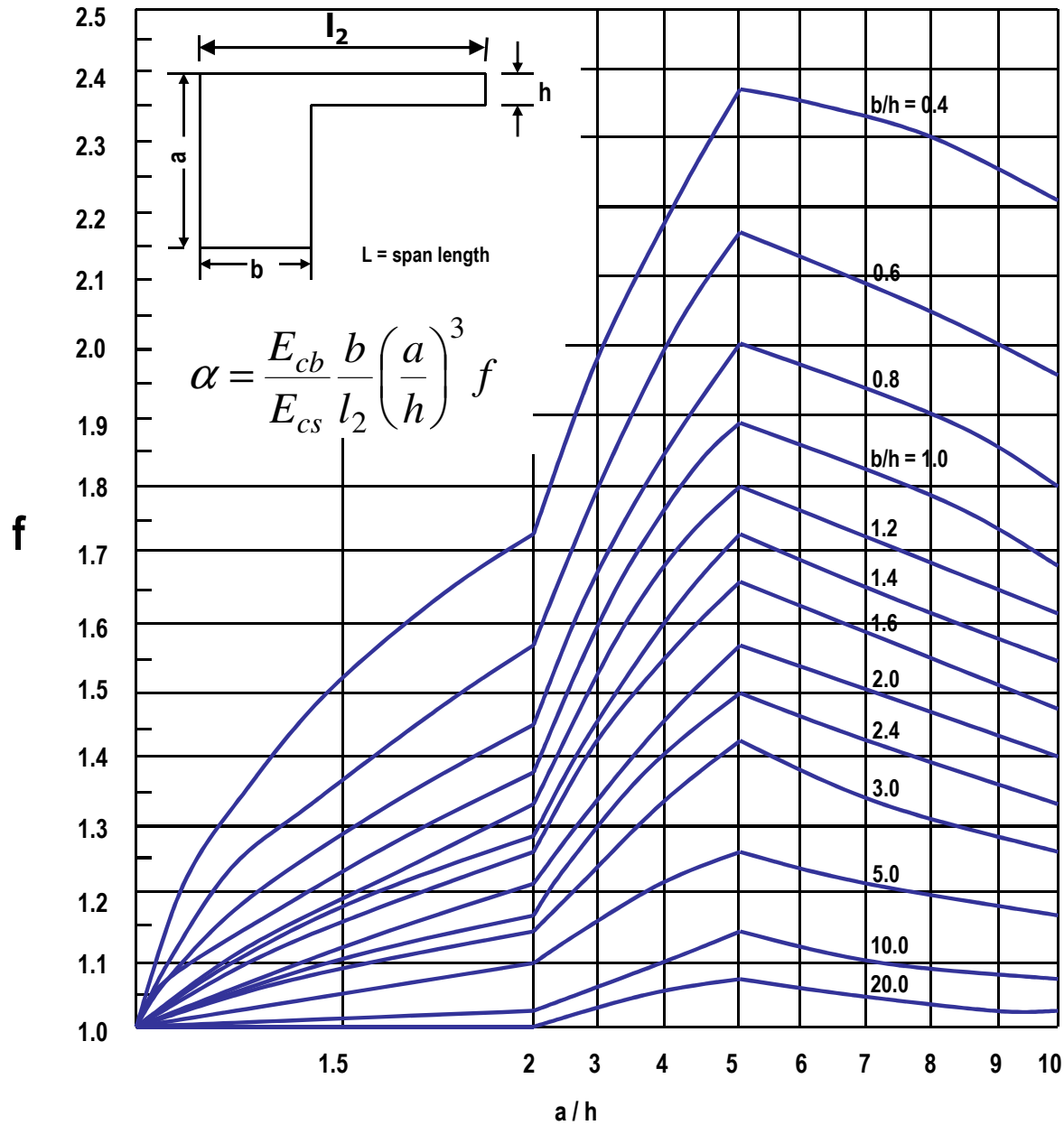
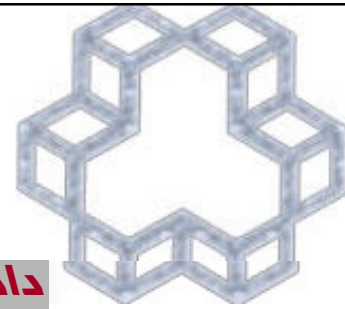
β = نسبت طول دهانه آزاد بزرگتر به طول دهانه آزاد کوچکتر

l_n = طول دهانه آزاد بزرگتر

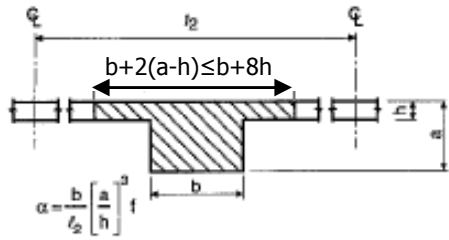
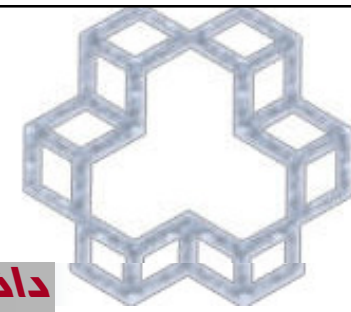
f_y = مقاومت تسليم فولاد بر حسب مگا پاسکال

l = عرض نوار طراحي (در دهانه کناري برابر نصف دهانه عمود بعلاوه نصف عرض ستون)

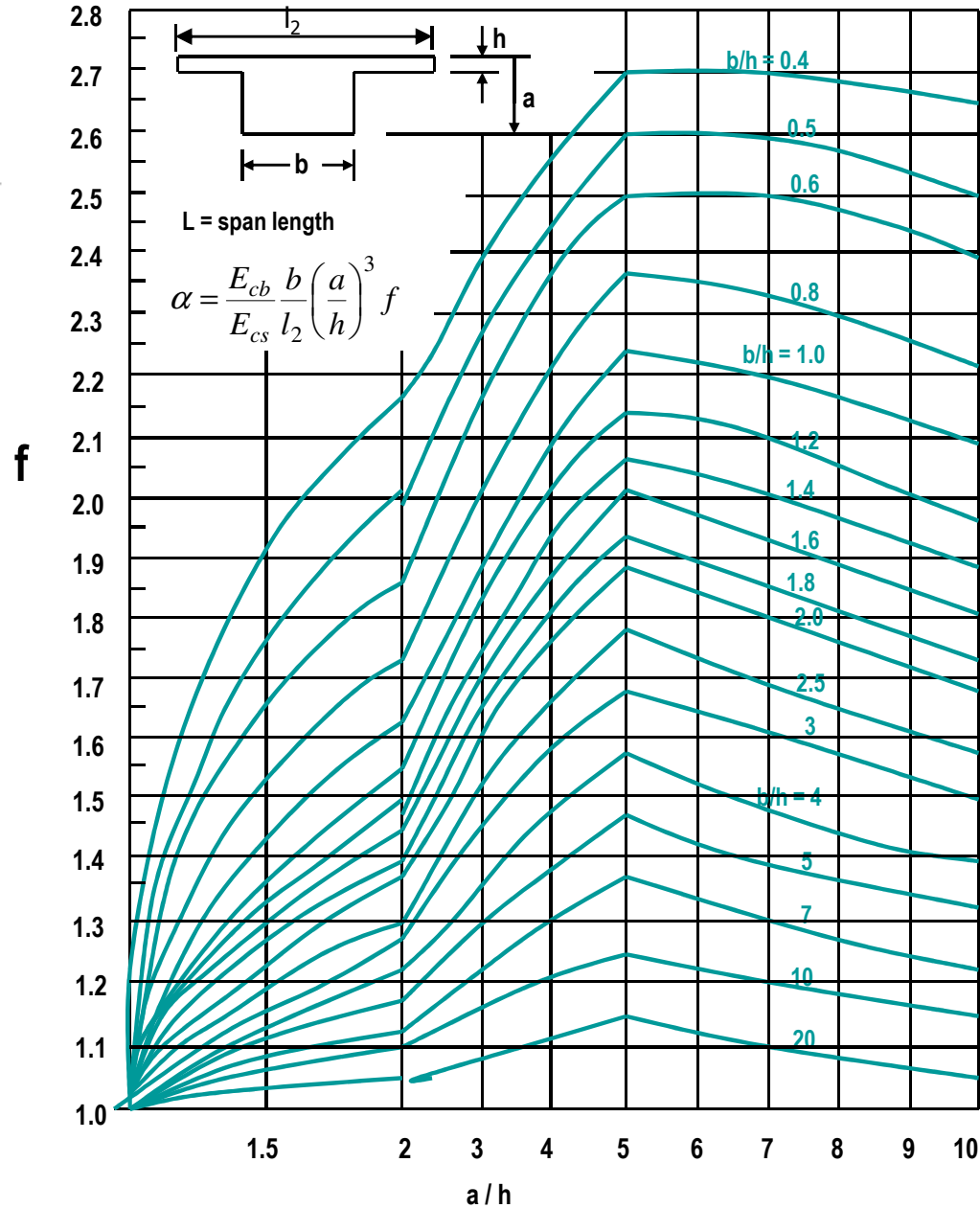
که:

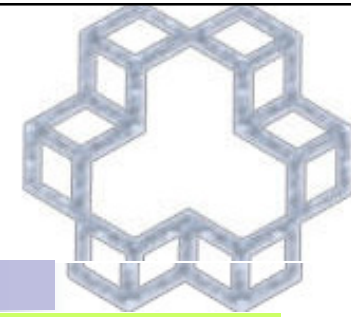


$$I_b = \frac{ba^3}{12} f$$



$$I_b = \frac{ba^3}{12} f$$





تغییر مکان مجاز

تغییر مکان مجاز به عوامل مختلفی بستگی دارد:

- 1- نوع ساختمان (انبار، مدرسه، کارخانه، مسکونی و غیره)
- 2- وجود سقف پلاستر (گچی)
- 3- نوع و ترتیب پارتیشن‌ها
- 4- حساسیت تجهیزات به جابجایی
- 5- اندازه مدت اعمال بار زنده

$$\Delta_{total} = \Delta_{(i)} + \Delta_{(cs)}$$

$$\Delta_{total} < \Delta_{allowable}$$

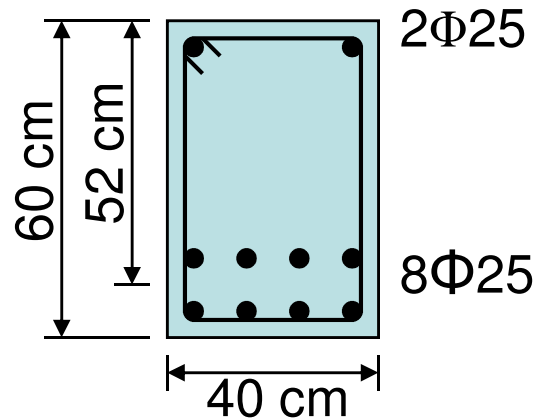
- Δ_{total} = تغییر شکل کل
- $\Delta_{(i)}$ = تغییر شکل آبی
- = تغییر شکل کوتاه مدت
- $\Delta_{(cs)}$ = تغییر شکل ناشی از خزش و جمع شدگی
- = تغییر شکل طولانی مدت
- $\Delta_{allowable}$ = تغییر شکل مجاز

جدول 1-4-2-14 محدودیت افتادگی تیرها و دالها

محدودیت افتادگی	افتادگی مورد نظر	انواع قطعه
$\Delta_{LL(inst)} \leq \frac{l}{180}$	افتادگی آبی ناشی از بارهای زنده	1- بام‌های مسطح که به قطعاتی غیر سازه‌ای متصل نیستند یا آنها را نگهداری نمی‌کنند که افتادگی زیاد آسیبی در این قطعات ایجاد کند
l/360	مانند بالا	2- مانند بالا در مورد کف‌ها
l/480	آن قسمت از افتادگی که بعد از اتصال قطعات غیر سازه‌ای ایجاد می‌شود. منظور مجموع اضافه افتادگی دراز مدت ناشی از تمامی بارهای مرده و افتادگی آبی ناشی از بارهای زنده است	3- بام‌ها یا کف‌هایی که به قطعات غیر سازه‌ای متصل هستند یا آنها را نگهداری می‌کنند و افتادگی زیاد ممکن است آسیبی در این قطعات ایجاد کند
l/240		3- بام‌ها یا کف‌هایی که به قطعات غیر سازه‌ای متصل هستند یا آنها را نگهداری می‌کنند ولی افتادگی زیاد آسیبی در این قطعات ایجاد نمی‌کند

در مواردی که تغییر مکان‌های دراز مدت مورد نظر است، آن قسمت از تغییر مکان که قبل از اتصال اجزاء غیر سازه‌ای ایجاد می‌شود را می‌توان از کل تغییر مکان کم کرد.

مثال 2: مطلوب است افت کل تیر مثال 1 برای بار بلند مدت در 5 سال یا بیشتر



حل: الف) افت میانی از مثال 1

$$(\Delta_i)_{DL} = 5.3 \text{ mm}$$

$$(\Delta_i)_{DL+LL} = 22.6 \text{ mm}$$

$$(\Delta_i)_{LL} = 17.3 \text{ mm}$$

ب) محاسبه افت ناشی از خزش و جمع شدگی:

$$\rho' = A'_s / bd = 2(4.91) / (40)(52) = 0.0047$$

$$\lambda = k_r \xi = \frac{2.0}{1 + 50(0.0047)} = 1.62$$

$$\Delta_{cr+sh} = \lambda (\Delta_i)_{DL} = 1.62(5.3) = 8.6 \text{ mm}$$

از آنجا که $(\Delta_i)_{DL}$ می تواند توسط خیز به سمت بالا رفع شود لذا:

$$\Delta_{total} = (\Delta_i)_{LL} + \Delta_{cr+sh} = 17.3 + 8.6 = 25.9$$