



بررسی اثرات خوردگی بر روی کمانش بال فشاری تیرهای فولادی

علی زیدآبادی^۱، محمد جواد فدایی^۲

Alzeydabad@yahoo.com

MjFadaee@yahoo.com

خلاصه

خوردگی درمقاطع فولادی به دلایل مختلفی از قبیل تماس با رطوبت، مواد شیمیایی و ... رخ می دهد که درک کامل ماهیت خوردگی و عوامل موثر بر نفوذ آن و چگونگی فرایند خوردگی در یک سازه از جمله مواردی هستند، که مطالعه آنها برای تعیین رفتار سازه پس از وقوع خوردگی لازم می باشد. در این مقاله اثر خوردگی بر اعضای خمشی (تیرها) که باعث افزایش لاغری مقطع، کاهش تنش های خمشی مجاز مقطع، کاهش ممان اینرسی مقطع و کاهش سطح مقطع عضو می شود، و همچنین یکی دیگر از موارد مهم که تغییر درده مقطع از حالت فشرده به غیر فشرده می باشد، بررسی شده است.

کلمات کلیدی: سطح مقطع، ممان اینرسی، لاغری، تنش های خمشی مجاز، تنش خمشی موجود

مقدمه

تا حدود چند صد سال پیش و قبل از توسعه علوم مهندسی طراحی سازه ها اصولاً بر خلاقیت و تجربیات گذشته استوار بود. با توسعه علوم و استفاده از مدلها و نظریه های ریاضی زمینه لازم برای پیش بینی رفتار سازه ها و در نتیجه طراحی آنها فراهم شد. علم طراحی سازه ها شامل طراحی انواع سازه از قبیل ساختمانها، پلها، برجها، مخازن، سدها، هواپیما و ... می باشد. با توجه به زمان و هزینه های زیادی که جهت طرح و احداث این سازه ها صورت می گیرد، باید به عوامل متعددی که در طول عمر سازه ها می توانند در رفتار آنها اثر داشته باشند توجه کامل صورت بگیرد. به این مطلب هم باید توجه داشت، که به جز نیروهای طبیعی نظیر زلزله و باد های شدید که از دغدغه های بزرگ مهندسی در راستای حفظ عملکرد سازه و امنیت آن می باشد باید خوردگی را هم اضافه نمود، خصوصاً در مناطقی که محیط مستعد و تسریع کننده شرایط خوردگی است، مانند مناطق ساحلی و کارخانه های صنعتی. لذا بررسی کامل میحث خوردگی، علل بوجود آمدن آن و فرایند شروع و پیشروی خوردگی از جمله مواردی هستند، که مطالعه آنها برای پیش بینی رفتار سازه ها پس از بروز خوردگی لازم می باشد.

روش تابع نمایی برای ارزیابی عمق خوردگی در مقاله حاضر [۴]

$$d_c = A \times t^B \quad (1)$$

در رابطه بالا d_c میانگین عمق خوردگی بر حسب μm ، t زمان بر حسب سال، A ضریبی برای کاهش مقطع (برابر با کاهش خوردگی در یک سال) و B شیب نمودار لگاریتمی عمق خوردگی بر حسب زمان است. مقادیر A و B بستگی به نوع فولاد و محیط دارند [۴].

$$A = 74.2$$

برای فولاد نرم در محیط دریایی [۴]:

$$d_c = 1420 \mu\text{m} \quad [۴].$$

میانگین عمق نمونه، ۳۴ نمونه خورده شده در سطح نمونه ها [۴].

زمان هوازگی بر حسب سال: $t = 40$

$$B = \frac{\log d_c - \log A}{\log t} \Rightarrow B = \frac{\log(1420) - \log(74.2)}{\log(40)} \Rightarrow B = 0.8$$

$$d_c = 74.2 \times t^{0.8} \quad (2)$$

ناهمواری حداکثر، R_{\max} ، از روابط زیر محاسبه شده و در بخش بعدی به عنوان d_p که همان عمق خوردگی حفره ای است، مورد استفاده قرار میگیرد.

$$R_{\max} = 0.98 d_c \quad (3)$$

$$R_{\max} = 72.71 t^{0.8} \quad (4)$$

آنالیز یک تیر در معرض خوردگی

در این قسمت یک تیر پس از خورده شدن آنالیز میشود. مقاطع موجود در بازار جهت طراحی تیر IPE، INP و IPE و تیرورق می باشند. به دلیل شکل خاص مقاطع INP و IPE خوردگی در آنها مقادیر مختلفی را داراست. همچنین برای بدست آوردن خواص هندسی این مقاطع به دلیل فرم شکل بالها، ابتدا یک

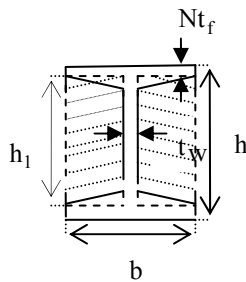
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش عمران

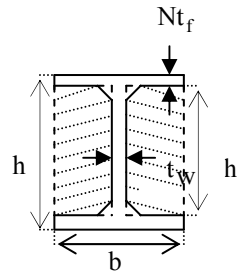


ضخامت معادل برای آنها تعریف می شود. پس از آن خواص هندسی لازم جهت آنالیز از کم کردن خواص هندسی مقطع ها شورخوردده از کل مقطع بدست می آید. با استفاده از این روش هر پروفیل به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

خواص هندسی مقاطع INP و IPE



شکل ۲- مقطع تیر INP



شکل ۱- مقطع تیر IPE

مقدار ضریب معادل سازی ضخامت بال مقطع از رابطه زیر محاسبه می شود.

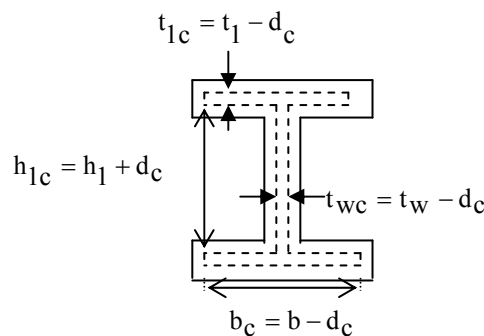
$$N = \frac{h}{2 \times t_f} - \frac{(b \times h - A)}{2 \times t_f \times (b - t_w)} \quad (5)$$

$$t_1 = N t_f \Rightarrow \text{ضخامت معادل} \quad (6)$$

در روابط بالا N ضریب معادل سازی ضخامت بال (بدون بعد)، h ارتفاع کل مقطع بر حسب cm ، A مساحت کل مقطع برحسب cm^2 ، b پهنا ی بال مقطع بر حسب cm ، t_w ضخامت جان مقطع برحسب cm ، t_f ضخامت بال مقطع بر حسب cm و t_1 ضخامت معادل بال مقطع بر حسب cm می باشد.

در محاسبات مقطع تیر ورق به جای t_1 از t_f استفاده می شود.

خواص هندسی مقطع I شکل تحت خوردگی یکنواخت کل مقطع



شکل ۳- مقطع تیر تحت خوردگی یکنواخت کل مقطع

$$d_c = 74.2 \times t^{0.8} \quad (2 \text{ تکراری})$$

$$A_c = (b - d_c)(h - d_c) - (b - t_w)(h + d_c - 2t_1) \quad (7)$$

$$I_{xc} = \frac{1}{12}(b - d_c)(h - d_c)^3 - \frac{1}{12}[(b - d_c) - (t_w - d_c)] \times [(h - d_c) - 2(t_1 - d_c)]^3 \quad (8)$$

$$I_{yc} = \frac{1}{6}(t_1 - d_c)(b - d_c)^3 + \frac{1}{12}[(h - d_c) - 2(t_1 - d_c)](t_w - d_c)^3 \quad (9)$$

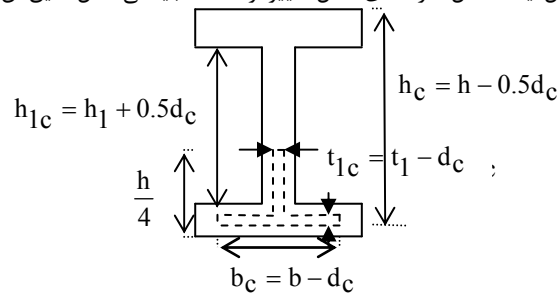
در روابط بالا I_{xc} ممان اینرسی مقطع حول محور قوی تحت تأثیر خوردگی یکنواخت کل مقطع برحسب cm^4 ، I_{yc} ممان اینرسی مقطع حول محور ضعیف تحت تأثیر خوردگی یکنواخت کل مقطع برحسب cm^4 ، A_c مساحت کل مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت کل مقطع برحسب



t_{1c} ، cm ضخامت جان مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت برحسب b_c ، cm پهنای بال مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت برحسب t_{1c} ، cm^2 ضخامت معادل بال مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت برحسب cm و h_{1c} ارتفاع خالص جان مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت کل مقطع برحسب cm میباشد.

خواص هندسی مقطع I شکل تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییرپایین مقطع

تحقیقات به عمل آمده نشان می دهد خوردگی بیشتر در مناطق $\frac{1}{4}$ ارتفاع پایین مقطع برای جان و بال تأثیر می گذارد. اکنون در این قسمت $\frac{1}{4}$ جان و بال پایین را در نظر می گیریم. در این حالت به دلیل اینکه محل تارخنثای شکل تغییر کرده است بایستی محل دقیق آن بدست آورده شود.



شکل ۴- مقطع تیر تحت خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع

خواص هندسی سطح متغییر پایین مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت از روابط زیر بدست می آید.

$$Y'_c = \frac{b \times h^2 - [(b - t_w)(h - 4 \times t_1) \times h]}{8[b \times h - (b - t_w)(h - 4 \times t_1)]} \quad (10)$$

$$A'_c = \frac{1}{2}[h + 4b - 2t_w] \times d_c \quad (11)$$

$$I_{y'} = \frac{1}{6}d_c b^3 + \frac{1}{6}\left(\frac{h}{4} - t_1\right) \times d_c^3 \quad (12)$$

خواص هندسی کل مقطع با توجه به معادلات (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) از روابط زیر بدست می آید.

$$\bar{Y}_c = \frac{0.5 \times d \times A - A'_c \times Y'_c}{A - A'_c} \quad (13)$$

$$A_c = A - A'_c \quad (14)$$

$$I_{xc} = I_x + A_c \left(\bar{Y}_c - \frac{h}{2}\right)^2 - A'_c (\bar{Y}_c - Y'_c)^2 \quad (15)$$

$$I_{yc} = I_y - I_{y'} \Rightarrow I_{yc} = I_y - \left[\frac{1}{6}d_c b^3 + \frac{1}{6}\left(\frac{h}{4} - t_1\right) \times d_c^3\right] \quad (16)$$

$$S_{xc} = \frac{I_{xc}}{\bar{Y}_c} \quad (17)$$

در روابط بالا Y'_c محل تار خنثای سطح متغییرپایین مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت برحسب A'_c ، cm مساحت سطح متغییرپایین مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت برحسب $I_{y'}$ ، cm^2 ممان اینرسی سطح متغییر پایین مقطع حول محور ضعیف تحت تأثیر خوردگی یکنواخت برحسب cm^4 ، \bar{Y}_c محل تار خنثای کل مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع برحسب A_c ، cm مساحت کل مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع برحسب I_{xc} ، cm^2 ممان اینرسی کل مقطع حول محور قوی تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع برحسب I_{yc} ، cm^4 ممان اینرسی کل مقطع حول محور ضعیف تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع برحسب cm^4 ، b_c پهنای بال مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع برحسب t_{1c} ، cm ضخامت معادل بال مقطع تحت تأثیر خوردگی



یکنواخت مقطع برحسب h_c ، ارتفاع کل مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع برحسب cm و h_{1c} ارتفاع خالص جان مقطع تحت تأثیر خوردگی یکنواخت سطح متغییر پایین مقطع برحسب cm میباشد.

چنانچه ضخامت خوردگی جان در کل مقطع در حالت خوردگی سطح متغییر پایین مقطع ملاک محاسبات باشد. رابطه زیر را به طور تقریبی میتوان ملاک محاسبات قرار داد.

$$t_{wc} = t_w - 0.25d_c \quad (18)$$

خواص هندسی مقطع I شکل تحت تأثیر خوردگی حفره ای در این قسمت خوردگی حفره ای که درحقیقت اتفاق می افتد، بررسی می شود. قسمت قبل زمینه ای برای محاسبات این قسمت بشمار می رود. برای این قسمت کافی است، درفرمولهای بخش قبل فقط بجای d_c از d_p که عمق خوردگی حفره ای است و از رابطه زیر بدست می آید، استفاده بشود.

$$d_p = 72.71t^{0.8} \quad (19)$$

محاسبه تنش های خمشی مجاز حول محور قوی

$$\frac{h_{1p}}{t_{wp}} < \frac{6372}{\sqrt{F_{bp}}} \text{ نامساوی در نظر گرفتن نامساوی}$$

تنش های خمشی مجاز حول محور قوی بر اساس رده مقاطع فشرده و غیر فشرده تفکیک می شوند، تفکیک کردن مقاطع فشرده و غیر فشرده بر اساس نسبت عرض به ضخامت و فواصل تکیه گاههای جانبی صورت می گیرد.

نسبت عرض به ضخامت

رده مقاطع فشرده و غیر فشرده مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران بر اساس نسبت عرض به ضخامت در جدول (۱) ارائه شده است. جدول ۱- حداکثر نسبت پهنای آزاد به ضخامت براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران تحت تأثیر خوردگی حفره ای

حداکثر نسبت پهنای آزاد به ضخامت		نسبت پهنای آزاد به ضخامت	عضوتحت تنش
مقطع غیرفشرده	مقطع فشرده		
$\frac{795}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{b_p}{t_{1p}}$	بالهای تیرنوردشده I شکل و ناودانی درخمش
$\frac{795}{\sqrt{K_c F_y}}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{b_p}{t_{1p}}$	بالهای تیرهای مرکب I (با اتصال جوش) درخمش

مقدار K_c در جدول (۱) از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\frac{h_{1p}}{t_{wp}} > 70 \Rightarrow k_c = \frac{4.05}{\left(\frac{h_{1p}}{t_{wp}}\right)^{0.46}} \quad (20)$$

چنانچه نامساوی داده شده در (۲۰) برقرار نباشد، K_c برابر واحد اختیار میشود.

در رابطه بالا و در جدول (۱) b_p نصف عرض بال فشاری تیر تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب cm ، t_{1p} ضخامت معادل بال فشاری تیر تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب cm ، h_{1p} ارتفاع آزاد جان فاصله خالص بین بالهای تیر تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب cm و t_{wp} ضخامت جان تیر تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب cm میباشد.

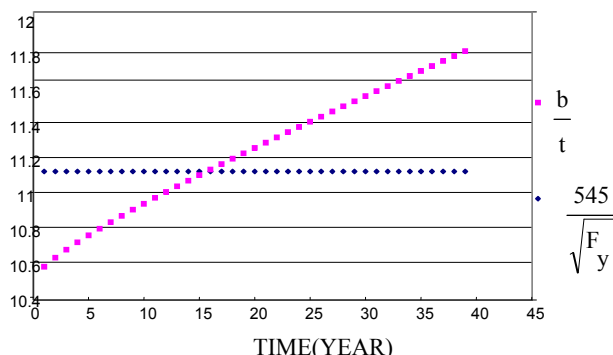
مقدار تنش خمشی مجاز براساس رده مقاطع فشرده و غیر فشرده مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران به صورت زیر میباشد.

$$F_{bp} = 0.66 \times F_y \quad \text{مقطع فشرده} \quad (21)$$

$$F_{bp} = 0.6 \times F_y \quad \text{مقطع غیر فشرده} \quad (22)$$



در روابط بالا F_y تنش جاری شدن فولاد برحسب $\frac{Kg}{cm^2}$ و F_{bp} تنش خمشی مجاز مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب $\frac{Kg}{cm^2}$ میباشد. نسبت های فوق نشان می دهد این امکان وجود دارد، که بعد از گذشت چند سال از عمر سازه مقطع تغییر رده داده و از حالت فشرده به غیر فشرده بدل بشود، و در نتیجه مقدار تنش خمشی مجاز کاهش یابد. برای درک بهتر مطلب، تغییر رده در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل ۵- تغییر رده مقطع ناشی از خوردگی حفره ای

فواصل تکیه گاه های جانبی

وجود تکیه گاه جانبی به اندازه کافی: در نیمرخهایی که نسبت عرض به ضخامت شرایط فشرده گی لازم را رعایت کرده اند، و با قرار دادن تکیه گاههای جانبی به میزان شرایط لازم در آیین نامه مقررات ملی ساختمانی ایران دستیابی به شرایط کامل فشرده گی میسر است. لذا تنش خمشی مجاز $F_{bp} = 0.66 \times F_y$ می باشد.

عدم وجود تکیه گاه جانبی به اندازه کافی: چنانچه طول تیر در فواصل بین دو تکیه گاه جانبی از حد معینی تجاوز بکنند قبیل از اینک تنشهای خمشی حداکثر در تیر به حد تسلیم برسند، بال فشاری تیر ناپایدار گشته به صورت جانبی دچار خمش می شود و امکان تخریب ناگهانی بال فشاری افزایش می یابد. چنین تخریبی که به صورت ناگهانی در اثر افزایش تنش فشاری در بال به واسطه خمش تیر از یک طرف و خمش جانبی تیر به واسطه نگهداری نشدن آن به طور جانبی و نیز چرخش تیر به صورت ترکیبی از پیچش خالص^۳ و اعوجاج^۴ بوجود می آید به پدیده کمانش جانبی پیچشی موسوم است، در این حالت بار بحرانی قابل تحمل توسط سازه از رابطه زیر بدست می آید.

$$F_{crp} = \frac{\pi^2 E C_b}{2 \left(\frac{L_b}{r_{tp}} \right)^2} \quad (23)$$

بار بحرانی قابل تحمل توسط سازه

در رابطه فوق

$$r_{tp} = 1.2 r_{yp} \quad (24)$$

$$r_{yp} = \sqrt{\frac{I_{yp}}{A_p}} \quad (25)$$

در روابط بالا E مدول الاستیسیته برابر با $2.03 \times 10^6 \frac{Kg}{cm^2}$ ، I_{yp} ممان اینرسی مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای حول محور ضعیف Y برحسب cm^4 ، r_{tp} شعاع ژیراسیون مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای حول محور ضعیف Y برحسب cm ، A_p مساحت کل مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب cm^2 ، F_{crp} بار بحرانی قابل تحمل توسط سازه تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب $\frac{kg}{cm^2}$ و r_{yp} شعاع ژیراسیون مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای حول محور ضعیف Y برحسب cm می باشد.

تنش های خمشی مجاز برای مقاطع I شکل مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران تحت تأثیر خوردگی حفره ای



$$\frac{L_b}{r_{tp}} \leq \sqrt{\frac{72 \times 10^5 \times C_b}{F_y}} \Rightarrow F_{b1p} = 0.6F_y \quad (26)$$

$$\sqrt{\frac{72 \times 10^5 \times C_b}{F_y}} \leq \frac{L_b}{r_{tp}} \leq \sqrt{\frac{360 \times 10^5 \times C_b}{F_y}} \Rightarrow$$

$$F_{b1p} = \left[\frac{2}{3} - \frac{\left(\frac{L_b}{r_{tp}}\right)^2 F_y}{1075 \times 10^5 \times C_b} \right] F_y \leq 0.6F_y \quad (27)$$

$$\frac{L_b}{r_{tp}} > \sqrt{\frac{360 \times 10^5 \times C_b}{F_y}} \Rightarrow F_{b1p} = \frac{120 \times 10^5 \times C_b}{\left(\frac{L_b}{r_{tp}}\right)^2} \leq 0.6F_y \quad (28)$$

$$F_{b2p} = 2.3 \times 10^6 \times C_b \times \frac{\sqrt{I_{yp} \times J_p}}{S_{xp} \times L_b} \quad (29)$$

تنش خمشی مجاز F_{bp} در تار فشاری مقطع تیر برابر خواهد بود با بیشترین مقدار حاصل از روابط فوق یعنی:

$$F_{bp} = \text{Max}(F_{b1p}, F_{b2p}) \leq 0.6F_y \quad (30)$$

در روابط بالا L_b فاصله بین تکیه گاههای جانبی بر حسب J_p ، cm ممان اینرسی قطبی مقطع تیر خورده شده (از سختی پیچشی جان صرف نظر می شود) بر حسب cm است، که از رابطه زیر بدست می آید.

$$J_p = \sum \frac{1}{3} b_p \times t_p^3 \quad (31)$$

اساس S_{xp} مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای نسبت به محور قوی X (محوری که خمش حول آن رخ می دهد) بر حسب I_{yp} ، cm^3 ممان اینرسی مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای حول محور ضعیف Y بر حسب F_{bp} ، cm^4 تنش خمشی مجاز مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای بر حسب $\frac{kg}{cm^2}$ میباشد.

$$\frac{h_{1p}}{t_{wp}} > \frac{6372}{\sqrt{F_{bp}}} \text{ تنش خمشی مجاز حول محور قوی با در نظر گرفتن نامساوی}$$

$$\frac{h_{1p}}{t_{wp}} < \frac{6372}{\sqrt{F_{bp}}} \text{ تنش خمشی مجاز حول محور قوی با در نظر گرفتن نامساوی بر اساس رابطه زیر کاهش می یابد.}$$

$$F'_{bp} \leq F_{bp} \left[1 - 0.0005 \frac{A_{wp}}{A_{fp}} \times \left(\frac{h_{1p}}{t_{wp}} - \frac{6372}{\sqrt{F_y}} \right) \right] \quad (32)$$

در رابطه بالا A_{wp} مساحت جان مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای بر حسب A_{fp} ، cm^2 مساحت بال مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای بر حسب

$$F_{bp}$$
، cm^2 تنش خمشی مجاز مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای بر حسب $\frac{kg}{cm^2}$ در نامساوی $\frac{h_{1p}}{t_{wp}} < \frac{6372}{\sqrt{F_{bp}}}$ ، h_{1p} ارتفاع خالص جان بین دوبال

مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای بر حسب cm و F'_{bp} تنش خمشی مجاز کاهش یافته مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای بر حسب $\frac{kg}{cm^2}$ می باشد.

محاسبه تنش خمشی مجاز حول محور ضعیف مقطع I شکل



تنش خمشی مجاز حول محور ضعیف براساس رده مقاطع فشرده و غیر فشرده تفکیک میشود. رده مقاطع فشرده و غیر فشرده مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران در جدول (۲) تعریف شده اند. جدول ۲- حداکثر نسبت پهنای آزاد به ضخامت براساس مبحث دهم مقررات ملی ساختمانی ایران تحت تأثیر خوردگی حفره ای

حداکثرنسبت پهنای آزاد به ضخامت		نسبت پهنای به ضخامت	عضوتحت تنش
مقطع غیرفشرده	مقطع فشرده		
$\frac{795}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{b_p}{2 \times t_{1p}}$	مقطع I شکل

تنش خمشی مجاز حول محور ضعیف براساس رده مقاطع فشرده و غیر فشرده به صورت زیر می باشد.

$$F_{bp} = 0.75F_y \quad (۳۳) \text{ مقطع فشرده:}$$

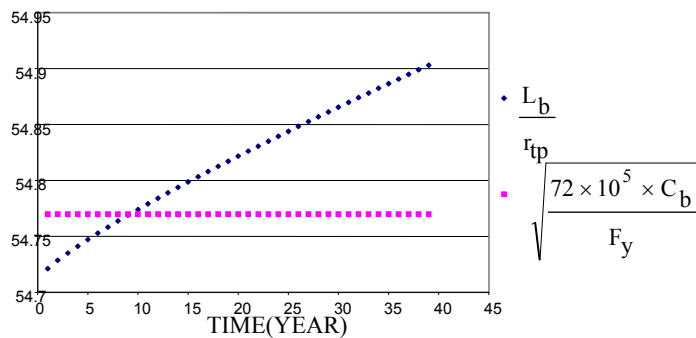
$$F_{bp} = F_y \left[1.075 - 0.0006 \left(\frac{b_p}{2t_{1p}} \right) \sqrt{F_y} \right] \quad (۳۴) \text{ مقطع نیمه فشرده:}$$

مقدار تنش خمشی مجاز در حالت نیمه فشرده عددی بین $0.6F_y$ تا $0.66F_y$ میباشد، که با توجه به متغییر بودن آن نمی توان از نمودار برای حالت کلی یک مقطع نیمه فشرده استفاده کرد.

$$F_{bp} = 0.6F_y \quad (۲۲ تکراری) \text{ مقطع لاغری:}$$

درروابط بالاودر جدول(۲) عرض بال فشاری تیرخورده شده برحسب t_{1p} ، C_m ، ضخامت معادل بال فشاری تیرخورده شده برحسب F_y ، C_m تنش جاری شدن فولاد برحسب $\frac{Kg}{cm^2}$ و F_{bp} تنش خمشی مجاز مقطع تحت تأثیر خوردگی حفره ای برحسب $\frac{Kg}{cm^2}$ میباشد.

نسبت های فوق نشان می دهد این امکان وجود دارد، که بعد ازگذشت چند سال ازعمرسازه مقطع تغییر رده داده و ازحالت فشرده به غیرفشرده تبدیل بشود، و مقدارتنش خمشی مجاز کاهش یابد. طبق روابط فوق که دراثر خوردگی با کاهش سطح مقطع و ممان اینرسی، لاغری عضو افزایش پیدا کرده، و این امرباعث می شود که تنش های خمشی مجاز مقطع کاهش یابد وازطرف دیگر تنش خمشی موجود افزایش یابد. این افزایش لاغری در شکل(۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- افزایش لاغری در اثر خوردگی حفره ای مقطع

این عوامل باعث می شود مقطع پس ازگذشت چند سال قادر به تحمل بارهای وارده نبوده و مردود گردد. بنابراین هنگام طراحی باید مقطعی بالاتررا انتخاب کرد تا پس از چندین سال که دراثر شرایط محیطی مقطع تحت تأثیر خوردگی قرار می گیرد، جوابگوی بارهای وارده به مقطع باشد. لذا باید لاغری عضو را در هر زمان محاسبه کرد، و تنش خمشی موجود هر زمان را با تنش خمشی مجاز همان زمان کنترل نمود.

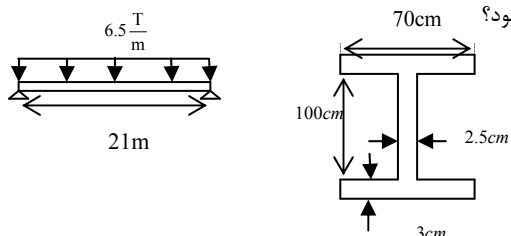
جهت درک بهتر مطالب بیان شده یک مثال عددی ارائه میشود که در آن مقطع یک بار بدون اعمال اثر خوردگی و یک بار با اعمال اثر خوردگی مجدداً طراحی شده و کنترل گردیده است. این مثال برای خوردگی متغییر پایین مقطع می باشد. خوردگی کل مقطع شرایط بحرانی تری دارد.

مثال طراحی

تیرورقی تحت بارگسترده $6.5 \frac{T}{m}$ به طول دهنه $21m$ در تکیه گاه ها و وسط تیر دارای تکیه جانبی است، سازه درنوار ساحلی کشور قرار دارد. آیا این مقطع

با توجه به خوردگی پس از ۳۰ سال به عنوان سال نمونه کنترل طرح قابل استفاده خواهد بود؟

خواص هندسی مقطع:





$$A = 670\text{cm}^2, I_x = 1322593.4\text{cm}^4, I_y = 171369.8\text{cm}^4, r_y = 16\text{cm}, C_b = 1, S_x = 24954.6\text{cm}^3$$

$$M_{\max} = \frac{WL^2}{8} = 358.31\text{T.m}$$

$$f_b = \frac{M_{\max}}{S_x} = \frac{358.31 \times 10^5}{24954.6} = 1435 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{L_b}{r_t} = \frac{1050}{19.2} = 54.68 < \sqrt{\frac{72 \times 10^5 \times C_b}{F_y}} = 54.77 \Rightarrow F_b = 0.6F_y = 1440 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_b = 1435 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 1440 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{OK}$$

پس از گذشت ۳۰ سال به عنوان سال نمونه کنترل طرح (سطح متغییر پایین مقطع تحت خوردگی حفره ای) از معادلات (۹) تا (۳۳) مقادیر زیر نتیجه می شود.

$$d_p = 1127.45 \mu\text{m} = 0.11\text{cm}, I_{y'} = 6288.33\text{cm}^4, I_{yp} = 165081.47\text{cm}^4, A_p' = 20.95\text{cm}^2, A_p = 649.05\text{cm}^2$$

$$r_{yp} = 15.94\text{cm}, r_{tp} = 19.13\text{cm}, F_{b1p} = 1438.69 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 1440 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, Y_p' = 17.67\text{cm}, J_p = 1186.42\text{cm}^4, \bar{Y}_p = 54.16\text{cm}$$

$$I_{xp} = 1295093.62\text{cm}^4, S_{xp} = 23912.36\text{cm}^3, F_{b2p} = 1281.98 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 0.6F_y = 1440 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{bp} = \text{Max}(F_{b1p}, F_{b2p}) = 1438.69 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

و در نتیجه

$$f_{bp} = \frac{M_{\max}}{S_{xp}} = \frac{358.31 \times 10^5}{23912.36} = 1498.43 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 1438.69 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{NG}$$

با توجه به افزایش تنش خمشی موجود و کاهش تنش خمشی مجاز مقطع برای ۳۰ سال بهره برداری مقطع مردود می باشد. نتیجه گیری و پیشنهادها:

سازه ای که در شرایط محیطی نظیر مناطق ساحلی، محیطهای صنعتی و ... تحت تأثیر رطوبت، مواد شیمیایی خورنده و ... قرار دارد، پاسخ به این پرسش که سازه در این گونه محیطها تا چند سال قابلیت بهره برداری دارد و آیا جوابگوی بارهای وارده در طول عمر مفید سازه خواهد بود یا خیر، مشکل بنظر میرسد، و یا به طور دقیق قابل بیان نیست. این در حالی است که عضو خمشی (با توجه به کلیه معیارهای طراحی مقطع) در ابتدا بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی طرح شده است. اما با اعمال روابط خوردگی بر اساس شرایط محیطی خاصی که وجود دارد، می توان بیان کرد که سازه تا چند سال آینده قادر به تحمل بارهای وارد می باشد و این شرایط محیطی تا چه حد بر رفتار سازه می تواند تأثیر گذار باشد. همانطور که در مثال عددی ارائه شده مشخص گردید، در ابتدا تیر ورق بدون در نظر گرفتن شرایط محیطی طرح شده، و مقدار تنش خمشی موجود از تنش خمشی مجاز کمتر است اما به مرور زمان در اثر عدم نگهداری سازه بطور صحیح شرایط محیطی بر تیر ورق تأثیر گذاشته و در سال سی ام، به عنوان سال نمونه، مقطع مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است، همانطور که ملاحظه می شود تنش خمشی مجاز کاهش یافته و تنش خمشی موجود افزایش یافته و لذا مقطع مردود شده است. روابط ارائه شده در مقاله حاضر می تواند معیاری برای طراحی مقاطع I شکل به شمار برود.

بنابراین بررسی شرایط مناسب جهت نگهداری سازه ها با توجه به هزینه های نگهداری آنها ضرورت دارد و بایستی اقتصادی ترین روش جهت نگهداری پیشنهاد بشود. این روشها عبارتند از

- ۱ - استفاده از پوششهای مناسب فلز جهت جلوگیری از نفوذ رطوبت، مواد شیمیایی و ...
- ۲ - استفاده از مواد ضد زنگ و ..
- ۳ - افزایش سطح مقطع

منابع و مراجع

- [۱]- آیین نامه های فولادی AISC، ترجمه دکتر سید رسول میرقادر، چاپ هفتم، ۱۳۷۷.
- [۲]- ازهری، میرقادر، طراحی سازه های فولادی، انتشارات ارکان، چاپ دوم، ۱۳۸۳.
- [۳]- مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، چاپ پنجم، ۱۳۷۷.
- [۴]- پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران سازه، ارزیابی ظرفیت باقیمانده تیرهای فولادی تحت تأثیر خوردگی حفره ای، پیمان معلم زاده انصاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، ۱۳۷۹.