



## بررسی اثرات خوردگی در تیورورها و سخت کننده های جان آنها

مهدی زیدآبادی نژاد<sup>۱</sup>، محمد جواد فدایی<sup>۲</sup>

Mzaydabad@yahoo.com

MjFadaee@yahoo.com

### خلاصه

طرح سازه هایی ایمن و مقرون به صرفه و یادوام از مهمترین اهداف طراحی است. محاسب بایستی در روند طراحی و اجرا، شرایط محیطی و نگهداری سازه را مدنظر قرار دهد. یکی از عوامل تخریب سریع سازه قبل از مدت زمان لازم جهت بهره برداری بهینه عامل خوردگی میباشد. در کارخانجات صنعتی خصوصاً کارخانه های شیمیایی بر خورد مواد شیمیایی و خوردنده و انباشت آنها بر سطح اعضای اصلی سازه ها که عموماً تیورورها و سخت کننده های جان آنها می باشد، باعث ایجاد خوردگیهای شدیدی میشود، که این خوردگیها بصورت یکنواخت و حفره ای طی گذشت مدت زمان بین ۲۰ تا ۴۰ سال مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. تأثیر خوردگیها و مدت زمان آن در فرمولها و روند طراحی دخالت داده شده، و مشاهده گردید که:

۱- تیورورهایی که در شرایط محیطی خوردنده (صنعتی) در معرض برخورد مواد شیمیایی قرار دارند، بعد از گذشت مدت زمان ۲۳ سال از عمر سازه خوردگی حفره ای ایجاد شده، باعث کاهش تنش خمشی مجاز از یک طرف و از طرف دیگر افزایش تنش خمشی موجود میشود، براین اساس سازه قادر به تحمل بارهای وارده نبوده، و مردود میگردد.

۲- سخت کننده های جان تیورورها (سخت کننده تماسی) تحت خوردگی حفره ای طی گذشت مدت زمان ۲۳ سال از عمر سازه خوردگی ایجاد شده، عملاً کارایی سخت کننده را از بین برده، و کنترل روابط نشان دهنده این موضوع میباشد که سخت کننده ها جویایگی بارهای وارده نمیشد. بنابراین براساس نتایج بدست آمده، سازه تحت خوردگی حفره ای بایستی تعویض و یا تعمیر اساسی شود، در غیر اینصورت خسارات شدیدی را دربر خواهد داشت.

کلمات کلیدی: تیورور، سخت کننده تماسی، سخت کننده میانی، خوردگی

### مقدمه:

تیورورها اعضای خمشی هستند که برای ساخت آنها از ترکیب مناسب ورقهای فولادی استفاده می شود. در مواردی که نیمرخهای نورد شده موجود قادر به تحمل بارهای وارد بر عضو خمشی نباشند، استفاده از تیرهای ساخته شده از ورق (تیورورها) اجتناب ناپذیر خواهد بود. ضمن رعایت اصول و ضوابط طراحی این گونه تیرها با استفاده از ورقهای فولادی می توان تیرهایی بعنوان اعضای خمشی طراحی و اجرا کرد. تیورورها بعنوان اعضای اصلی پل ها و روگذرها با دهانه های نسبتاً بزرگ، حامل های اصلی سازه های ساختمانی معمولی با دهانه بزرگ و نیز قاب های صنعتی بصورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. البته استفاده از تیورور معمولاً برای دهانه های بیش از ۱۰۰ متر اقتصادی نیست و توصیه نمی شود، برای پوشش دهانه های بزرگ از تیورور مرکب (فولاد و بتن) یا پلهای کابلی استفاده می شود. تیورورهای معمولی برای دهانه های ۳۰ تا ۵۰ متر بسیار مناسب است. اما بررسی ظرفیت باربری و نحوه عملکرد آنها بعنوان اعضای اصلی سازه در شرایط محیطی خوردنده و شرجی (رطوبتی) بعد از مدت زمان بهره برداری حدود ۲۰ سال و بروز خوردگی در جان و بال تیورور و سخت کننده عملکرد آنها شدیداً تحت تأثیر قرار داده، و بایستی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، که با کاهش سطح مقطع

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

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



آیا برای بهره برداری تحت بارهای موجود جوابگو خواهد بود یا خیر. روشها و تدابیر لازم جهت رفع این مشکل در محیطهای خورنده با توجه به هزینه های بالاساخت و ساز را مد نظر قرار داد.

انواع تیورورها و سخت کننده ها<sup>۳</sup>:

دسته بندی تیورورها از نظر روش ساخت :

تیورورها به دودسته پیچی و جوشی تقسیم می شوند. در قدیم بیشتر از تیورورهای پیچی و پرچی استفاده می شده است. در این گونه تیورورها امکان اتصال مستقیم جان به بال وجود نداشته و باید از یک عضو رابط مانند نبشی استفاده شود. امروزه با پیشرفت تکنیک جوشکاری تیورورهای جوشی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد.

دسته بندی از نظر شکل و مصالح :

تیورور I شکل معمولی

تیورور جعبه ای

تیورور ۲ گانه که جهت افزایش مقاومت، بال تیورور از فولاد پرمقاومت تر انتخاب می شود.

تیورور ترکیبی از برش مقطع نورد شده و افزایش ارتفاع جان بوسیله ورق بدست می آید.

اجزاء تیورورها

اجزاء بکار رفته در تیورورها عبارتند از:

بال، جان، سخت کننده میانی، سخت کننده تماسی و سخت کننده طولی (سخت کننده های طولی معمولاً در طراحی پلها مد نظر قرار می گیرند).

مدل عمق خوردگی استفاده شده در مقاله حاضر [۵]

میزان خوردگی مصالح مختلف بصورت کمی بیان می گردد. نفوذ خوردگی در محیطهای مختلف بر اساس چندین تحقیق بوسیله Bohnenkamp در سال ۱۹۷۳، Townsend در سال ۱۹۸۲ و Albrecht در سال ۱۹۸۴ ارزیابی و مشاهده گردید، که میانگین نفوذ خوردگی از یک تابع نمایی ساده پیروی می کند. شکل این معادله بصورت زیر می باشد:

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

در رابطه فوق  $d_c$  میانگین نفوذ خوردگی بر حسب  $mm$ ،  $t$  زمان بر حسب سال،  $A$  ضریبی برای کاهش مقطع برابر با کاهش خوردگی در یک سال و  $B$  شیب نمودار لگاریتمی نفوذ خوردگی بر حسب زمان میباشد. مقادیر  $A$  و  $B$  بستگی به نوع فولاد و محیط دارد.

معادله (۱) توسط Townsend در سال ۱۹۸۲ بصورت زیر بیان شد:

$$\log d_c = \log A + B \log t \quad (2)$$

$$B = \frac{\log d_c - \log A}{\log t} \quad (3)$$

واضح است، وقتی که زمان واحد باشد، مقدار  $A$  برابر با زمان میانگین خوردگی می باشد. بر اساس تحقیقات مقدار  $A$  عموماً بستگی به اندازه گیری اولیه واکنش مصالح نسبت به تغییرات محیط دارد.

معادله (۱) را می توان برای  $t$  بر حسب مقدار نفوذ خوردگی  $d_c$  نوشت.

$$t = \left( \frac{d_c}{A} \right)^{\frac{1}{B}} \quad (4)$$

ارزیابی پارامترهای نفوذ خوردگی :

میزان نفوذ خوردگی برای انواع مختلف فولاد در محیطهای متفاوت توسط Copson در سال ۱۹۶۰، Townsend در سال ۱۹۸۲، Albrecht ۱۹۸۴ و Komp در سالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۰ طی چندین تحقیق ارزیابی گردید.

$$A = 83.2$$

فولاد نمونه در محیط صنعتی [۵].

میانگین نفوذ ۳۴ نمونه خورده شده سطح نمونه ها [۵].



$$d_c = 1420 \mu m \quad (5)$$

$$B = \frac{\log(1420) - \log(83.2)}{\log(40)} = 0.77 \quad \text{زمان هوازدگی برحسب سال ۴۰ سال،}$$

با جایگزینی مقادیر A و B در رابطه (۱) نتیجه زیر حاصل میشود.

$$d_c = 73.2 \times t^{0.77} \quad (6)$$

با توجه به میزان ناهمواریها مقدار  $R_{max}$  از رابطه زیر محاسبه میشود [۵].

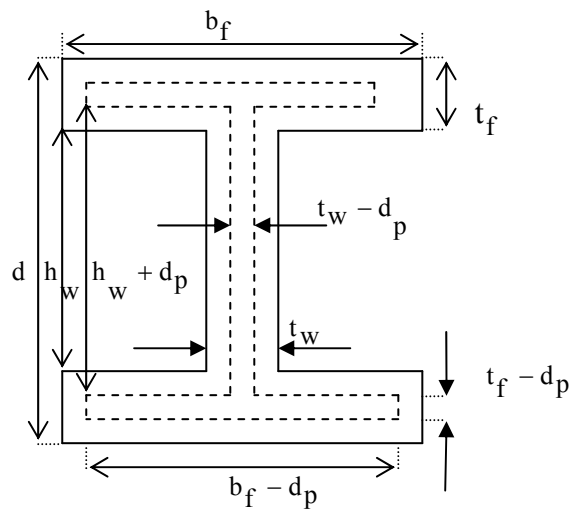
$$R_{max} = 0.98 d_c \quad (7)$$

با جایگزینی رابطه (۶) در رابطه (۷) نتیجه زیر حاصل میشود، به عنوان  $d_p$  که همان عمق خوردگی حفره ای است، نامبرده می شود.

$$d_p = R_{max} = 71.7 \times t^{0.77} \quad (8)$$

آنالیز یک تیورق تحت اثر خوردگی حفره ای :

تیورق زیرتحت خوردگی حفره ای همزمان (بال و جان) قرار گرفته، و ابعاد تیورق جهت دخالت در فرمولهای طراحی به فرم زیر تصحیح میشوند .



شکل (۱) مقطع تیورق تحت خوردگی حفره ای (بال و جان)

تغییر پارامترهای طراحی تیورق تحت تأثیر خوردگی حفره ای:

$$d_p = 71.7 \times t^{0.77} \quad (8 \text{ تکراری})$$

$$t_{wp} = t_w - d_p \quad (9)$$

$$h_{wp} = h_w + d_p \quad (10)$$

$$b_{fp} = b_f - d_p \quad (11)$$

$$t_{fp} = t_f - d_p \quad (12)$$

در این روش کنترل میزان خوردگی و تأثیر آن را می توان هر سال و یا یک سال مشخص را مورد بررسی قرارداد. بدلیل زیاد بودن ارتفاع جان مقاطع تیورقهادر سازه های صنعتی و پلها رابطه زیرهمواره برقرار بوده، و بایستی از روش کاهش تنش مجاز استفاده شود.

$$\frac{h_{wp}}{t_{wp}} \left\langle \frac{6370}{\sqrt{F_y}} \right\rangle \Rightarrow \text{استفاده از روش کاهش تنش مجاز} \quad (13)$$

$$F'_b = F_b \left[ 1 - 0.0005 \times \frac{A_{wp}}{A_{fp}} \times \left[ \frac{h_{wp}}{t_{wp}} - \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \right] \right] \quad (14)$$



$$A_{wp} = h_{wp} \times t_{wp} \quad (۱۵)$$

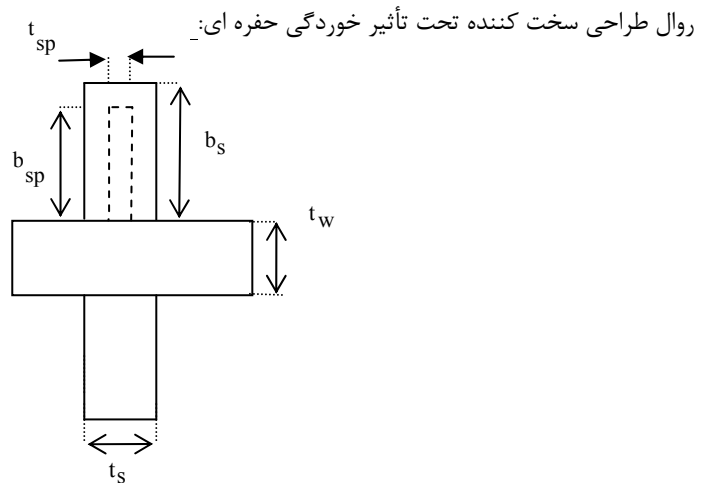
$$A_{fp} = b_{fp} \times t_{fp} \quad (۱۶)$$

$$F_b = 0.6F_y \quad (۱۷)$$

$$f_b = \frac{M}{S_p} \quad (۱۸)$$

$$S_p = \frac{I_p}{C_p} \quad (۱۹)$$

در روابط فوق  $b_{fp}$  عرض بال تیوروق برحسب  $cm$ ،  $b_{fp}$  عرض بال تیوروق پس از خوردگی حفره ای برحسب  $cm$ ،  $t_{fp}$  ضخامت بال تیوروق بر حسب  $cm$ ،  $t_{fp}$  ضخامت بال تیوروق پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $cm$ ،  $h_w$  ارتفاع جان تیوروق بر حسب  $cm$ ،  $h_{wp}$  ارتفاع جان تیوروق پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $cm$ ،  $t_w$  ضخامت جان تیوروق برحسب  $cm$ ،  $t_{wp}$  ضخامت جان تیوروق پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $cm$ ،  $F_b'$  تنش خمشی مجاز تیوروق برحسب  $\frac{kg}{cm^2}$ ،  $A_{wp}$  مساحت جان تیوروق پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $cm^2$ ،  $A_{fp}$  مساحت بال تیوروق پس از خوردگی حفره ای برحسب  $cm^2$ ،  $f_b$  تنش خمشی موجود تیوروق برحسب  $\frac{kg}{cm^2}$ ،  $S_p$  مدول مقطع تیوروق پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $cm^3$  و  $I_p$  ممان اینرسی تیوروق پس از خوردگی حفره ای برحسب  $cm^4$  میباشد.



شکل (۲) مقطع سخت کننده تیوروق

دو نوع سخت کننده در تیوروقهای معمولی طراحی و مورد استفاده قرار می گیرد:

۱ - سخت کننده میانی      ۲ - سخت کننده تماسی

نظر به اینکه اهمیت سخت کننده ها به محل قرارگیری آنها مخصوصاً زیر بارهای متمرکز است، با توجه به بررسی و کنترل روابط تأثیر خوردگی حفره ای ایجاد شده، در سخت کننده میانی تأثیری بر عملکرد آن ندارد. اما سخت کننده تماسی بدلیل اهمیت تمرکز نیرو و تنش در محل اعمال بار متمرکز از اهمیت فوق العادی برخوردار است. به همین دلیل در ادامه خوردگی حفره ای ایجاد شده در فرمولها و روابط تأثیر داده شده، و سخت کننده تماسی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

تغییر پارامترهای طراحی سخت کننده تحت تأثیر خوردگی حفره ای:

$$b_{sp} = b_s - d_p \quad (۲۰)$$



$$t_{sp} = t_s - d_p \quad (۲۱)$$

کنترل سخت کننده میانی و تماسی:

$$\frac{b_{sp}}{t_{sp}} \leq \frac{797}{\sqrt{F_y}} \quad (۲۲)$$

در صورت برقرار نبودن رابطه فوق مقادیر  $(t_s, b_s)$  بایستی تغییر یابند.  
سخت کننده میانی:

$$I_{stp} \geq \left(\frac{h}{50}\right)^4 \quad (۲۳)$$

$$I_{stp} = \frac{1}{12} \times (2b_{sp} + t_w)^3 \times t_{sp} \quad (۲۴)$$

سخت کننده تماسی:

۱- کنترل تنش فشاری مجاز و موجود سخت کننده تماسی:

$$\frac{kl}{r} = \frac{0.75h}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \quad (۲۵)$$

$$I_{stp1} = \frac{1}{12} t_{sp} (2 \times b_{sp} + t_w)^3 \quad (۲۶)$$

مساحت ورق تقویتی کناری از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$A_{eff} = 2 \times b_{sp} \times t_{sp} + 12t_w^2 \quad (۲۷)$$

مساحت ورق ورق تقویتی میانی از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$A_{eff} = 2 \times b_{sp} \times t_{sp} + 25t_w^2 \quad (۲۸)$$

$$f_a = \frac{P}{A_{eff}} \quad (۲۹)$$

$$f_a \leq F_a \quad (۳۰)$$

در صورت برقرار نبودن رابطه فوق مقادیر  $(t_s, b_s)$  بایستی تغییر یابند.

۲- کنترل جاری شدن در فشار سخت کننده تماسی:

$$A_{stp} \geq \frac{P}{0.6F_y} \quad (۳۱)$$

در صورت برقرار نبودن رابطه فوق مقادیر  $(t_s, b_s)$  بایستی تغییر یابند.

۳- کنترل لهیدگی سخت کننده تماسی:

$$A_{ep} \geq \frac{P}{0.9F_y} \quad (۳۲)$$

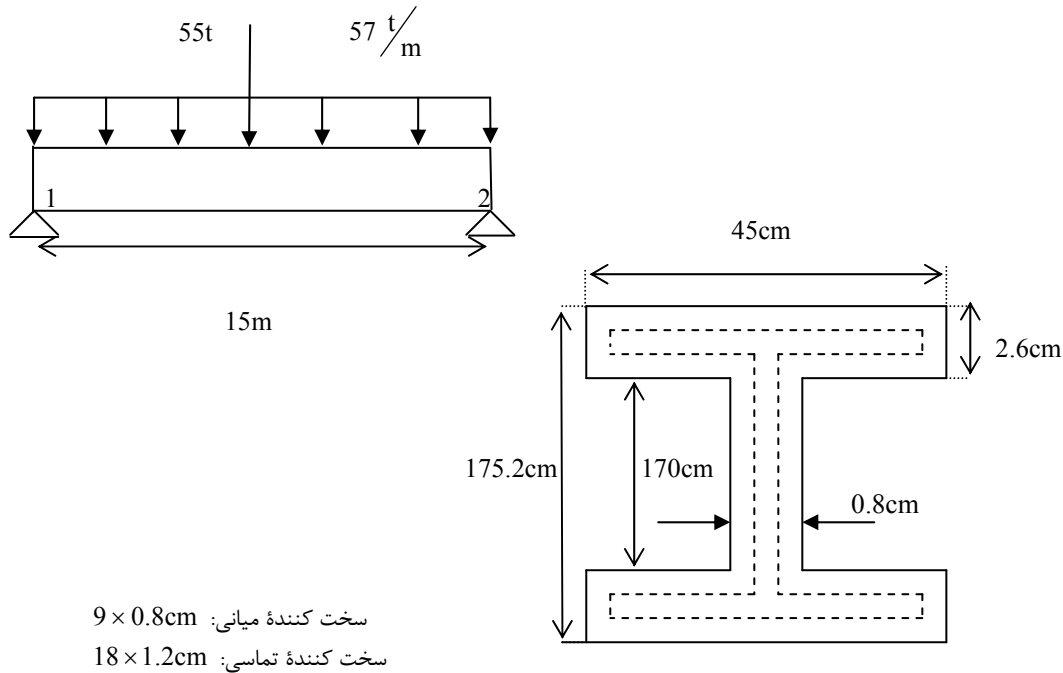
در صورت برقرار نبودن رابطه فوق مقادیر  $(t_s, b_s)$  بایستی تغییر یابند.

در روابط فوق  $b_s$  عرض سخت کننده بر حسب  $b_{sp}$ ،  $cm$  عرض سخت کننده پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $t_s$ ،  $cm$  ضخامت سخت کننده بر حسب  $t_{sp}$ ،  $cm$  ضخامت سخت کننده پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $I_{stp}$ ،  $cm$  ممان اینرسی سخت کننده میانی پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $I_{stp1}$ ،  $cm^4$  ممان اینرسی سخت کننده تماسی پس از خوردگی حفره ای بر حسب  $P$ ،  $cm^4$  نیروی متمرکز در محل سخت کننده تماسی



برحسب  $A_{stp}$ ،  $kg$  مساحت سخت کننده تماسی به تنهایی پس از خوردگی حفره ای برحسب  $A_{eff}$ ،  $cm^2$  مساحت سخت کننده تماسی به اضافه قسمتی از جان تیوروق پس از خوردگی حفره ای برحسب  $h$ ، ارتفاع جان تیوروق بر حسب  $cm$ ، تنش فشاری مجاز برحسب  $\frac{kg}{cm^2}$ ،  $f_a$  تنش فشاری موجود برحسب  $\frac{kg}{cm^2}$  و  $A_{ep}$  سطح تماس مستقیم بال تیوروق و سخت کننده تماسی پس از خوردگی حفره ای برحسب  $cm^2$  میباشد.

مثال: تیوروق زیرتحت بار متمرکز  $55t$  و بار گسترده  $57 \frac{t}{m}$  دارای تکیه گاه ساده است. تیوروق دارای تکیه گاه جانبی و در شرایط محیطی خورنده (صنعتی) قرار دارد. آیا در اثر خوردگی حفره ای بعد از گذشت مدت زمان ۲۳ سال جوابگوی بارهای وارده می باشد یا خیر؟



سخت کننده میانی:  $9 \times 0.8cm$   
سخت کننده تماسی:  $18 \times 1.2cm$

$$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2} \text{ : تنش جاری شدن فولاد}$$

$$R_1 = R_2 = 56Ton \text{ : عکس العمل تکیه گاه ساده}$$

$$\text{ممان وسط دهانه: } \left\{ \begin{array}{l} M_1 = \frac{WL}{8} = \frac{55 \times 15}{8} = 103.13Ton.m \\ M_2 = \frac{FL}{4} = \frac{57 \times 15}{4} = 213.75Ton.m \end{array} \right. \\ \Sigma \quad 320Ton.m$$

$$d = 175.2cm, t_w = 0.8cm, h_w = 170cm, t_f = 2.6cm, b_f = 45cm$$

$$A_w = h_w \times t_w = 136cm^2, A_f = b_f \times t_f = 117cm^2$$

$$F'_b \leq F_b \left[ 1 - 0.0005 \frac{A_w}{A_f} \left[ \frac{h_w}{t_w} - \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \right] \right] = 1440 \left[ 1 - 0.0005 \frac{136}{117} \left[ \frac{170}{0.8} - \frac{6370}{\sqrt{1440}} \right] \right] = 1407 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$I = \frac{1}{12} (0.8)(170)^3 + 2 \times 2.6 \times 45 \times \left( \frac{175}{2} \right)^2 = 2.1 \times 10^6 cm^4$$



$$S = \frac{I}{C} = \frac{2.1 \times 10^6}{87.6} = 23972 \text{ cm}^3$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{320 \times 10^5}{23972} = 1335 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} < 1407 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow f_b < F'_b$$

مناسب است. بررسی خوردگی حفره ای طی مدت زمان ۲۳ سال

با توجه به روابط (۹) تا (۱۹) مقادیر زیر نتیجه میشود.

$$d_p = 0.081 \text{ cm}, t_{wp} = 0.71 \text{ cm}, h_{wp} = 170.08 \text{ cm}, t_{fp} = 2.51 \text{ cm}, b_{fp} = 44.91 \text{ cm}$$

$$A_{wp} = h_{wp} \times t_{wp} = 120.75 \text{ cm}^2, A_{fp} = b_{fp} \times t_{fp} = 112.72 \text{ cm}^2$$

$$F'_b = 1382.07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}, I_p = 2.01 \times 10^6 \text{ cm}^4, S_p = 22971 \text{ cm}^3$$

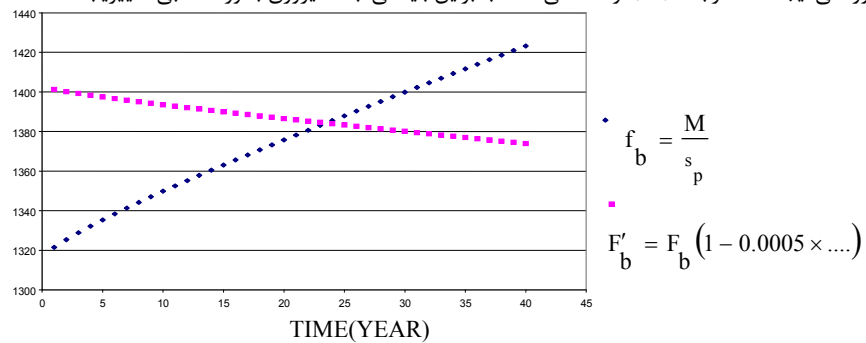
$$f_b = \frac{M}{S_p} = 1392 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} > 1382.07 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow f_b > F'_b$$

با توجه به افزایش تنش خمشی موجود طی گذشت مدت زمان ۲۳ سال مقطع مردود میباشد.

تجزیه و تحلیل نتایج با توجه به مثال ارائه شده:

با بررسی گرافها، روابط و کنترلهای طراحی تیرورق وسخت کننده تحت خوردگی حفره ای موارد زیر مشاهده می شود:

کنترل تنش خمشی تیرورق تحت خوردگی حفره ای (بال وجان): تیرورق تحت خوردگی حفره ای بال و جان طی گذشت، مدت زمان ۲۳ سال از عمر سازه خوردگی ایجاد شده رابطه (۱۴) ارضاء نمی کند، بنابراین بایستی ابعاد تیرورق بطور مناسبی تغییر یابند.



شکل ۳- کنترل تنش خمشی تیرورق تحت خوردگی حفره ای (بال وجان)

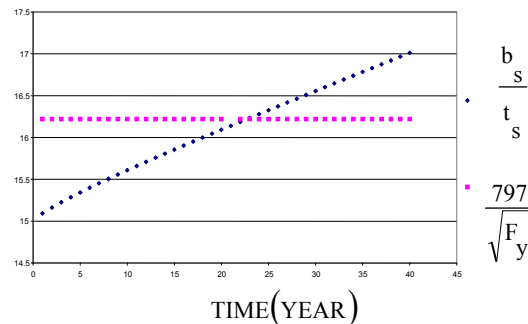
سخت کننده میانی

خوردگی مقطع  $b_s$  و  $t_s$  تأثیری بر روابط نگذاشته و کلیه روابط ارضاء می شوند.

سخت کننده تماسی

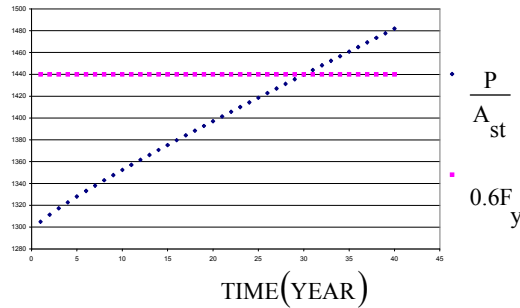
الف- کنترل معیار پایداری: خوردگی حفره ای ایجاد شده در  $t_s$  (ضخامت) سخت کننده تماسی پس از گذشت مدت زمان ۲۳ سال از عمر سازه رابطه

(۲۲) را ارضاء نمی کند، بنابراین بایستی ابعاد سخت کننده بطور مناسبی تغییر یابند.



شکل ۴- کنترل معیار پایداری (کمناش موضعی سخت کننده) تحت خوردگی حفره ای  $t_S$ 

ب- کنترل جاری شدن در فشار سخت کننده تماسی: خوردگی حفره ای همزمان  $b_S$  (عرض) و  $t_S$  (ضخامت) سخت کننده تماسی پس از گذشت مدت زمان ۳۳ سال از عمر سازه رابطه (۳۱) را ارضا نمی کند. بنابراین بایستی ابعاد سخت کننده تماسی بطور مناسب تغییر یابند.

شکل ۵- کنترل جاری شدن در فشار سخت کننده تماسی تحت خوردگی حفره ای  $t_S$  و  $b_S$ 

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به مثال و گرافهای ارائه شده مشاهده میگردد، تیرورقی که در محیط صنعتی تحت خوردگی حفره ای همزمان (بال و جان) قرار دارد، طی گذشت مدت زمانی از عمر آن بعلت کاهش تنش مجاز و افزایش تنش خمش موجود عملاً کارایی خود را از دست داده و بایستی تعویض گردد. همچنین سخت کننده های جان تیرورقها (سخت کننده تماسی) تحت خوردگی حفره ای طی گذشت مدت زمانی سال از عمر سازه، خوردگی ایجاد شده، عملاً کارایی سخت کننده را از بین برده، و کنترل روابط نشان دهنده این موضوع میباشد، که سخت کننده جوابگوی بارهای وارده نمیشود. با توجه به اهمیت مساله حفظ و نگهداری سازه در محیطهای مختلف و شرایط محیطی گوناگون بدلیل صرف هزینه های سنگین طراحی و اجرا بایستی امکانات و شرایطی را فراهم نمود، تا سازه عمر مفید و مورد نظر محاسب و مجری را ارضا نماید. معمولاً عمر مفید ۵۰ سال پیش بینی می شود، اما با توجه به روابط قبل مشاهده می شود تحت اثر خوردگی حفره ای عمر سازه نصف شده و عملاً جوابگو نخواهد بود، لذا پیشنهاد می شود، بررسی روشهای مختلف و هزینه های آن بهترین گزینه (از لحاظ هزینه و امکانات) حفظ و نگهداری سازه تحت بارهای موجود انتخاب شود روشهایی مانند:

- ۱- استفاده از پوششهای مناسب بتن،
- ۲- پوشش عایقها و مواد ضد زنگ،
- ۳- افزایش ضخامت مقطع هنگام طراحی که تحت اثر خوردگی تأثیری بر سازه نگذارد.
- ۴- استفاده از وسائل و امکانات لازم جهت دور نگهداشتن سازه از محیطهای خوردنده،

منابع و مراجع

- [۱]- آیین نامه سازه های فولادی AISC، ترجمه دکتر سید رسول میرقادری، چاپ هفتم، ۰۱۳۷۷.
- [۲]- ازهری، میرقادری، طراحی سازه های فولادی، انتشارات ارکان، چاپ دوم، ۰۱۳۸۳.
- [۳]- طاحونی، شاپور، طراحی سازه های فولادی، کتاب فروشی دهخدا، چاپ پنجم، ۰۱۳۷۵.
- [۴]- مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، چاپ پنجم، ۰۱۳۷۷.
- [۵]- پایانامه 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.