بار دیوارهای پیرامونی $۲۶۰\ kg/m$ بوده و ساختمان در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد واقع است ($A = ۰/۳۵$)، سایر پارامترهای لرزه‌ای چنین است:

$$C_d = ۴/۰ \quad , \quad I = ۱/۰ \quad , \quad \rho = ۱/۲ \quad , \quad \Omega_0 = ۲/۰ \quad , \quad R_u = ۷/۰$$

مساحت و محیط هر طبقه به صورت زیر است:

$$l_{story} = ۱۱۷\ m \quad , \quad A_{story} = ۸۱۰\ m^2$$

هم‌چنین در تمام مثال‌های این فصل از تحلیل مرتبه اول استفاده شده است.

مثال ۴-۱ طراحی تیر پیوند در قاب مهاربندی واگرا

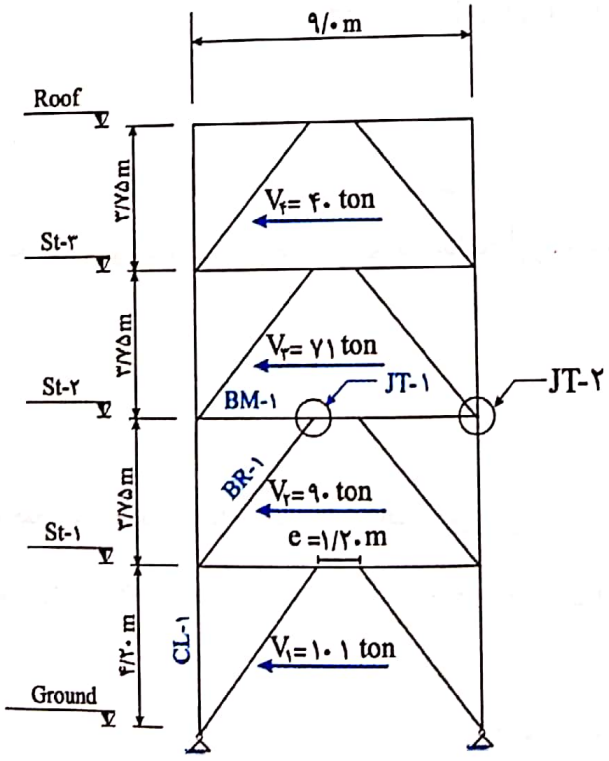
داده ها:

با توجه به تیر BM-۱ نشان داده شده در شکل ۴-۱۸، کفایت نیمرخ IPB۳۲۰ با مشخصات $F_y = ۳۵۱۵\ kg/cm^2$ و $F_u = ۴۵۷۰\ kg/cm^2$ را به عنوان تیر پیوند بررسی نمائید. بارهای وارده براساس تحلیل مرتبه اول به صورت زیر می‌باشند:

$$P_D = ۳/۳۶\ ton \quad , \quad P_L = ۲/۴\ ton \quad , \quad P_E = ۲/۵\ ton$$
$$V_D = ۰/۸۲\ ton \quad , \quad V_L = ۰/۶\ ton \quad , \quad V_E = ۳۸/۱\ ton$$
$$M_D = ۲\ ton.m \quad , \quad M_L = ۱/۳۳\ ton.m \quad , \quad M_E = ۲۳/۳\ ton.m$$

اتصال مهاربند به تیر پیوند به منظور کاهش نیاز خمشی تیر خارج از ناحیه پیوند، گیردار فرض شود. مقدار تغییرمکان نسبی در تراز طبقه دوم از تحلیل ارتجاعی مرتبه اول $\Delta_H = ۰/۴۴\ cm$ می‌باشد. مشخصات فولاد ورق‌های سخت کننده برابر است با:

$$F_y = ۲۵۳۰\ kg/cm^2 \text{ و } F_u = ۴۰۸۰ kg/cm^2$$



شکل ۴-۱۸ قاب مهاربندی واگرا

حل:

مشخصات تیر پیوند، نیمرخ IPB۳۲۰ به صورت زیر است:

$$d = ۳۲\ cm \ , \ t_f = ۲/۰۵\ cm \ , \ t_w = ۱/۱۵\ cm \ , \ r_x = ۱۳/۸\ cm \ , \ r_y = ۷/۵۷\ cm$$
$$b_f = ۳۰\ cm \ , \ A_g = ۱۶۱\ cm^۲ \ , \ Z_x = ۲۰۶۵\ cm^۳ \ , \ I_x = ۳۰۸۲۰\ cm^۴$$

♦ تعیین نیروها ولنگرهای طراحی تیر پیوند

ترکیب بار لرزه‌ای حاکم برابراست با:

$$(۱/۲+۰/۶AI)D+\rho E+۰/۵L+۰/۲S$$

(ضریب بار زنده برای کاربری‌هایی که بار زنده گسترده یکنواخت آنها کم‌تر از ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد برابر با ۰/۵ منظور می‌گردد).

نیروی برشی طراحی تیر پیوند چنین است:

$$V_u = \left[۱/۲+۰/۶(۰/۳۵)(۱/۰)\right](۰/۸۲)+۱/۲(۳۸/۱۰)+۰/۵(۰/۶)+۰$$
$$= ۴۷/۱۸\ ton$$

نیروی محوری طراحی تیر پیوند چنین است:

$$P_u = \left[۱/۲+۰/۶(۰/۳۵)(۱/۰)\right](۳/۳۶)+۱/۲(۲/۵)+۰/۵(۲/۴)+۰/۲(۰/۰)$$
$$= ۸/۹۴\ ton$$

لنگر خمشی طراحی تیر پیوند چنین است:

$$M_u = \left[۱/۲+۰/۶(۰/۳۵)(۱/۰)\right](۲/۰)+۱/۲(۲۳/۳)+۰/۵(۱/۳۳)+۰$$
$$= ۳۱/۴۴\ ton.m$$

♦ لحاظ اثرات مرتبه دوم

اثرات مرتبه دوم با توجه به پیوست دوم مبحث دهم در ادامه آورده شده است.

$$M_u = B_۱ M_{nt} + B_۲\ M_{lt}$$
$$P_u = P_{nt} + B_۲\ P_{lt}$$

- محاسبه‌ی $B_۱$

مقدار ضریب C_m به طور محافظه‌کارانه برابر ۱/۰ لحاظ می‌گردد، از روش ضریب طول مؤثر برای طراحی پایداری استفاده می‌شود. مبحث دهم استفاده از اثرات مرتبه اول را برای محاسبه P_u مجاز می‌داند.

$$P_{e۱} = \frac{\pi^۲ EI^*}{(K_۱L)^۲} = \frac{\pi^۲(۲/۱)(۱۰^۶)(۳۰۸۲۰)}{\left[۱/۰(۱۲۰)\right]^۲} = ۴۴۳۶۰\ ton$$

Scanned with CamScanner

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - P_u / P_{e1}} \geq 1$$

$$= \frac{1/0}{1 - (8/94)/(44360)}$$

$$= 1/00$$

-محاسبه‌ی B_2

برای محاسبه B_2 نیاز به محاسبه P_{story} و $P_{e\,story}$ می‌باشد.

الف) محاسبه‌ی P_{story}

مساحت و محیط طبقه از داده‌های مثال عبارتند از:

$$A_{story} = 810\,m^2 \quad , \quad l_{story} = 117\,m$$

P_{story} از مجموع بارهای ثقلی طبقات در تراز طبقه دوم در اثر ترکیب بار لرزه‌ای زیر به دست می‌آید.

$$(1/2 + 0/6AI)D + \rho E + 0/5L + 0/2S$$

$$P_{story} = 810\{[1/2 + 0/6(0/35)(1/0)] \times [330 + 2(415)] + 0/0 + 0/5(2)(200) + 0/2(100)\}$$

$$+ [1/2 + 0/6(0/35)(1/0)] \times [260(2)(117)]$$

$$P_{story} = 1589\ ton$$

ب: محاسبه‌ی $P_{e\,story}$

برش کل طبقه مطابق شکل۴-۱۸ برابر $H = 90\ ton$ می‌باشد، با توجه به داده‌های مثال، مقدار جابجایی نسبی از تحلیل ارتجاعی مرتبه اول $\Delta_H = 0/44\ cm$ می‌باشد. ارتفاع طبقه $L = 375\ cm$ است. مطابق پیوست دوم مبحث دهم در سیستم‌های قاب مهاربندی $R_M = 1 - 0/15\frac{P_{mf}}{P_{story}} = 1/0$ می‌باشد. در این صورت:

$$P_{estory} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} = (1/0)\frac{90(375)}{0/44} = 76704\ ton$$

بنابراین ضریب B_2 برابر است با:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_{estory}}} \geq 1$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{1589}{76704}} \geq 1$$

$$= 1/02$$

Scanned with CamScanner

نیروی محوری طراحی تیر پیوند با در نظرگرفتن آثار مرتبه دوم برابر است با:

$$P_u = P_{mt} + B_2 P_{lt}$$

$$P_u = (1/2 + 0/6AI)P_D + B_2\rho P_E + 0/5P_L + 0/2P_S$$

$$P_u = \left[1/2 + 0/6(0/35)(1/0)\right](3/36) + 1/02(1/2)(2/5) + 0/5(2/4) + 0/2(0/0)$$

$$= 9/0\ ton$$

ازآنجا که ضریب $B_1 = 1/0$ است، لنگر خمشی طراحی در اثر $P-\delta$ نیاز به تشدید ندارد. بنابراین لنگر خمشی طراحی تیر پیوند با در نظرگرفتن اثرات مرتبه دوم چنین است:

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$M_u = (1/2 + 0/6AI)M_D + 0/5M_L + 0/2M_S + B_2\rho M_E$$

$$= \left[1/2 + 0/6(0/35)(1/0)\right](2/0) + 0/5(1/33) + 0/2(0) + 1/02(1/2)(23/3)$$

$$= 32\ ton.m$$

شایان ذکر است اثرات مرتبه دوم برای تشدید نیروی برشی تیر پیوند لازم نمی‌باشند.

♦ کنترل فشردگی لرزه‌ای تیر پیوند

مطابق مبحث دهم تیر پیوند باید از نوع فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت λ_{hd} باشد.

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{30}{2(2/05)} = 7/32$$

$$\lambda_{hd} = 0/30\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0/30\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{3515}} = 7/33$$

$$\lambda_f < \lambda_{hd} \quad \textbf{o.k.}$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{32 - 2(4/75)}{1/15} = 19/57$$

$$C_a = \frac{P_u}{\varphi_b P_y} = \frac{P_u}{0/9F_y A_g} = \frac{9/0(10^3)}{0/9(3515)(161)} = 0/017 \qquad C_a < 0/125$$

$$\lambda_{hd} = 2/45\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1 - 0/93C_a) = 2/45\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{3515}}\left[1 - 0/93(0/017)\right] = 59$$

$$\lambda_w < \lambda_{hd} \quad \textbf{o.k.}$$

نیمرخ تیر پیوند شرایط فشردگی لرزه‌ای را داراست.

♦ محاسبه مقاومت برشی تیر پیوند

مقاومت برشی اسمی تیر پیوند V_n برابر کوچک‌ترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و تسلیم خمشی در نظرگرفته می‌شود.

Scanned with CamScanner

الف) تسلیم برشی ($V_n = V_P$)

$$P_c = P_y = F_y A_g = ۳۵۱۵(۱۶۱) = ۵۶۶\ ton$$

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{۹/۰}{۵۶۶} = ۰/۰۱۶ < ۰/۱۵$$

در حالت تسلیم برشی اگر $\frac{P_u}{P_c} < ۰/۱۵$ باشد، می‌توان از اثرات نیروی محوری چشم‌پوشی کرد، در این صورت:

$$V_p = ۰/۶ F_y A_w$$

که در آن A_w برابر است با:

$$A_w = (d_b - ۲t_f)t_w = [۳۲ - ۲(۲/۰۵)](۱/۱۵) = ۳۲/۰۸\ cm^۲$$

بنابراین مقاومت برشی اسمی تیر پیوند در حالت تسلیم برشی برابر است با:

$$V_n = V_p = ۰/۶(۳۵۱۵)(۳۲/۰۸) = ۶۷/۶۵\ ton$$

ب) تسلیم خمشی ($V_n = 2M_P / e$)

$$M_p = F_y Z = ۳۵۱۵(۲۰۶۵) = ۷۲/۵۸\ ton.m$$

$$V_n = \frac{۲M_p}{e} = \frac{۲(۷۲/۵۸)}{۱/۲۰} = ۱۲۱\ ton$$

کم‌ترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و تسلیم خمشی برابر است با:

$$V_n = Min\left\{\frac{۲M_p}{e}, V_p\right\} = Min\{۱۲۱\ ton\ ,\ ۶۷/۶۵\ ton\} = ۶۷/۶۵\ ton$$

$$\varphi_v V_n = ۰/۹(۶۷/۶۵)$$

$$= ۶۱\ ton > V_u = ۴۷\ ton \quad \textbf{o.k.}$$

♦کنترل زاویه چرخش پلاستیک تیر پیوند

زاویه چرخش پلاستیک تیر پیوند نسبت به تیر خارج از ناحیه پیوند، به رفتار مورد انتظار تیر پیوند وابسته است. بنابراین در اولین گام باید رفتار تیر پیوند تعیین گردد، رفتار مورد انتظار تیر پیوند از مقایسه طول تیر پیوند با ضریبی از $\frac{M_p}{V_p}$ به‌دست می‌آید.

$$e = X\frac{M_p}{V_p} \Rightarrow X = \frac{V_p e}{M_p}$$

$$\frac{V_p e}{M_p} = \frac{۶۷/۶۵(۱/۲۰)}{۷۲/۵۸} = ۱/۱۱ < ۱/۶$$

مقادیر کمتر از ۱/۶ نشان می‌دهدکه *رفتار تیر پیوند برشی* است.

Scanned with CamScanner

تغییرمکان نسبی غیرارتجاعی طبقه با توجه به تغییرمکان نسبی ارتجاعی، δ_{xe}، و در نظرگرفتن ضریب بزرگ‌نمایی تغییرمکان برابر است با:

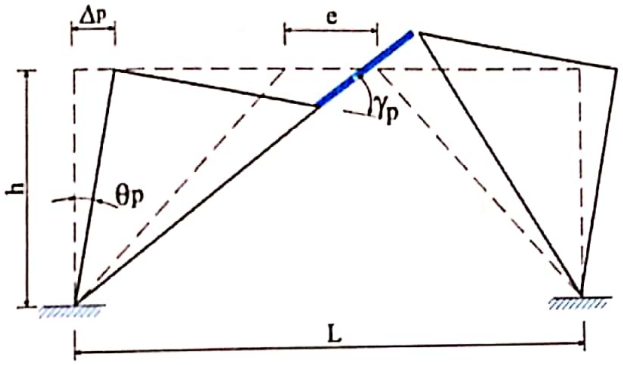
$$\delta_x = C_d \delta_{xe} = ۴(۰/۴۴) = ۱/۷۶\ cm$$

زاویه چرخش پلاستیک تیر پیوند با توجه به سهم غیرارتجاعی تغییرمکان نسبی طبقه به دست می‌آید:

$$\Delta_p = \delta_x - \delta_{xe} = ۱/۷۶ - ۰/۴۴ = ۱/۳۲\ cm$$

مطابق مبحث دهم حداکثر دوران پلاستیک تیر پیوند نسبت به ناحیه خارج آن (شکل ۴-۱۹) در حالت تسلیم برشی نباید از ۰/۰۸ رادیان تجاوز کند.

$$\gamma_p = \left(\frac{L}{eh}\right)\Delta_p = \frac{۹۰۰(۱/۳۲)}{۱۲۰(۳۷۵)} = ۰/۰۲۶\ rad < ۰/۰۸\ rad \quad \textbf{o.k.}$$



شکل ۴-۱۹ دوران پلاستیک تیر پیوند نسبت به ناحیه خارج آن

• تعیین مقاومت محوری فشاری تیر پیوند

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{۱/۰(۱۲۰)}{۷/۵۷} = ۱۵/۸۵$$

$$\frac{KL}{r_y} < ۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}} = ۴/۷۱\sqrt{\frac{۲/۱(۱۰^۶)}{۳۵۱۵}} = ۱۱۵$$

چون ۱۱۵ > ۱۵/۸۵، کمانش غیرارتجاعی حاکم است:

$$F_e = \frac{\pi^۲ E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^۲} = \frac{\pi^۲(۲/۱)(۱۰^۶)}{(۱۵/۸۵)^۲} = ۸۲۵۰۱\ kg/cm^۲$$

$$F_{cr} = \left[۰/۶۵۸^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[۰/۶۵۸^{\frac{۳۵۱۵}{۸۲۵۰۱}}\right](۳۵۱۵) = ۳۴۵۳\ kg/cm^۲$$

$$\varphi_c P_n = \varphi_c F_{cr} A_g$$
$$= ۰/۹(۳۴۵۳)(۱۶۱)$$
$$= ۵۰۰\ ton > P_u = ۸/۲۹\ ton \quad \textbf{o.k.}$$

Scanned with CamScanner

• تعیین مقاومت خمشی تیر پیوند

به منظور بررسی حالت حدی حاکم باید طول مفصل پلاستیک مشخص شود:

$$L_P = ۱/۷۶ r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = ۱/۷۶(۷/۵۷)\sqrt{\frac{۲/۱(۱۰^۶)}{۳۵۱۵}} = ۳۲۵\ cm$$

$$L_b = e = ۱۲۰\ cm < L_P$$

چون طول مهار نشده تیر، L_b، کوچک‌تر از طول مفصل پلاستیک، L_p، می‌باشد، حالت حدی تسلیم رخ می‌دهد.

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$
$$= ۳۵۱۵(۲۰۶۵) = ۷۲/۵۸\ ton.m$$

$$\varphi_b M_n = ۰/۹(۷۲/۵۸)$$
$$= ۶۵/۳۲\ ton.m > ۳۲\ ton.m \quad \textbf{o.k.}$$

• اثر هم زمان فشار محوری و لنگر خمشی

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{۹/۰}{۵۰۰} = ۰/۰۱۸ < ۰/۲$$

$$\frac{P_u}{۲P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \le ۱$$

$$\frac{۰/۰۱۸}{۲} + \left(\frac{۳۲}{۶۵/۳۲} + ۰\right) = ۰/۵۰ < ۱ \quad \textbf{o.k.}$$

• مهار جانبی تیر پیوند

مطابق مبحث دهم باید در دو انتهای تیر پیوند در بال‌های فوقانی و تحتانی برای تضمین وقوع تسلیم برشی قبل از کمانش پیچشی - جانبی مهارهای جانبی پیش‌بینی شوند. این مهارهای جانبی باید علاوه بر داشتن سختی کافی قادر به تحمل نیروی زیر به صورت کشش و فشار باشند:

$$P_{br} = \frac{۰/۰۶ R_y F_y Z_b}{h_۰} = \frac{۰/۰۶(۱/۲)(۳۵۱۵)(۲۰۶۵)}{(۳۲ - ۲/۰۵)} = ۱۷/۴۵\ ton$$

براساس پیوست ششم AISC ۳۶۰-۱۰ سختی مورد نیاز مهار جانبی به صورت زیر است:

$$\beta_{br} = \frac{۱}{\varphi}\left(\frac{۱۰ M_u C_d}{L_b h_۰}\right)$$

که در آن:

$$\varphi = ۰/۷۵\ ,\ C_d = ۱/۰\ ,\ L_b = e = ۱۲۰ cm\ ,\ h_۰ = d - t_f = ۲۹/۹۵\ cm$$
$$M_u = R_y F_y Z = ۱/۲(۳۵۱۵)(۲۰۶۵) = ۸۷/۱\ ton.m$$

در رابطه فوق C_d ضریب انحنا بوده و مقدار آن برای انحنای یک طرفه برابر واحد می‌باشد.

Scanned with CamScanner

$$\beta_{br}=\frac{10(87/1)(1/0)}{0/75(120)(29/95)}=32/36\ ton/cm$$

مهارهای جانبی باید دارای مقاومت و سختی فوق باشند. ادامه روند طراحی مهارهای جانبی تیر پیوند مشابه مثال ۲-۲ می‌باشد.

♦ کنترل سخت‌کننده‌های تیر پیوند

الف) سخت‌کننده‌های انتهایی

در دو انتهای محل اتصال مهاربند به تیر پیوند بایستی یک جفت سخت‌کننده عرضی در تمام عمق جان و در دو طرف آن تعبیه گردد. ابعاد سخت‌کننده از روابط زیر به دست می‌آید:

$$w_{min}=\frac{b_f-2t_w}{2}=\frac{30-2(1/15)}{2}=13/85\,cm$$

$$t_s\geq\max\{0/75t_w=0/86\ cm\ ,\ 1/0\ cm\}=1/0\ cm\ \Rightarrow\ use\ \ PL140\times10\ mm$$

ب) سخت‌کننده‌های میانی

سخت‌کننده‌های میانی تیر پیوند بستگی به نوع رفتار آن دارد. با توجه به رفتار برشی تیر پیوند و قرارگرفتن زاویه چرخش پلاستیک آن در محدوده ($0/02rad\leq\gamma_p=0/026\leq0/08rad$)، فاصله سخت‌کننده‌ها از درون‌یابی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$s\leq\left(60-367\gamma_p\right)t_w-\frac{d_b}{5}$$

$$\leq\left[60-367(0/026)\right](1/15)-\frac{32}{5}$$

$$\leq51/62\ cm$$

مطابق مبحث دهم، سخت‌کننده‌های میانی در تیرهای با ارتفاع کمتر از $d=32cm<60cm$ را می‌توان به صورت تکی و در یک سمت جان تیر پیوند تعبیه نمود. بنابراین از $PL140\times10\ mm$ در یک سمت جان تیر پیوند استفاده می‌شود.

♦ طراحی جوش سخت کننده ها

اتصال سخت‌کننده‌های عرضی به جان و بال‌های تیر پیوند باید توسط جوش گوشه برقرار گردد. اتصال سخت‌کننده‌ها به جان باید برای نیروی $A_{st}F_y$ محاسبه شود. اتصال سخت‌کننده‌ها به هر یک از بال‌های تیر پیوند باید برابر $\frac{1}{4}A_{st}F_y$ درنظرگرفته شود (F_y تنش تسلیم فولاد سخت‌کننده و A_{st} سطح مقطع ورق هر یک از سخت‌کننده‌ها است).

مقاومت جوش گوشه در صورت استفاده از الکترود E70 ($F_{ue}=4900kg/cm^2$) ، ضریب بازرسی جوش $\beta=0/75$ و ضریب تقلیل ظرفیت $\varphi=0/75$ عبارتست از:

$$\varphi R_n=\varphi\left(\beta F_{nw}\ A_{we}\right)=0/75\left(0/75\right)\left(0/6F_{ue}\right)\left(0/707al_w\right)=1170al_w$$

Scanned with CamScanner

الف) اتصال سخت‌کننده‌ها به جان

وجود جوش گوشه در دو خط برای اتصال سخت‌کننده‌ها به جان ضروری است. اگر پخی با ابعاد ۶cm در امتداد جان فرض شود، در این صورت بعد جوش چنین محاسبه می‌شود:

$$a=\frac{A_{st}F_y}{2(1170)\left[d-2t_f-2(clip)\right]}=\frac{14(1/0)(2530)}{2(1170)\left[32-2(2/05)-2(6)\right]}=0/95\ cm \Rightarrow a=10\ mm$$

ب) اتصال سخت‌کننده‌ها به بال

وجود جوش گوشه در دو خط برای اتصال سخت‌کننده‌ها به بال تیر ضروری است. اگر پخی با ابعاد ۳ cm در امتداد بال فرض شود در این صورت بعد جوش چنین محاسبه می‌شود:

$$a=\frac{\frac{1}{4}A_{st}F_y}{2(1170)(w-clip)}=\frac{\frac{1}{4}(14/0)(1/0)(2530)}{2(1170)(14/0-3/0)}=0/34\ cm \quad \Rightarrow \quad a=5\ mm$$

بنابراین نیمرخ IPB۳۲۰ برای تیر پیوند مناسب است.

مثال ۴-۲ طراحی تیر خارج از ناحیه پیوند

داده ها:

با توجه به تیر BM-۱ نشان داده شده در شکل۴-۱۸، کفایت نیمرخ IPB۳۲۰ با مشخصات $F_y=3515 kg/cm^2$ و $F_u=4570 kg/cm^2$ را به عنوان تیرخارج از ناحیه پیوند بررسی نمائید. بارهای وارده براساس تحلیل مرتبه اول به صورت زیر می‌باشند:

$P_D=0/46\ ton$	$P_L=0/32\ ton$	$P_E=47/62\ ton$
$V_D=3/1\ ton$	$V_L=2/2\ ton$	$V_E=3/95\ ton$
$M_D=2/35\ ton.m$	$M_L=1/56\ ton.m$	$M_E=15/6\ ton.m$

بال‌های تیر BM-۱ در ستون مهار شده‌اند. مقطع ستون IPB ۳۴۰ و مقطع مهاربند IPB ۳۲۰ فرض می‌شود.

حل:

مشخصات نیمرخ تیر خارج از ناحیه پیوند، IPB ۳۲۰ به شرح ذیل می‌باشد:

$$d=32\ cm\ ,\ t_f=2/05\ cm\ ,\ t_w=1/15\ cm\ ,\ r_y=7/57\ cm\ ,\ S_x=1930\ cm^3$$
$$b_f=30\ cm\ ,\ A_g=161\ cm^2\ ,\ Z_x=2065\ cm^3\ ,\ I_x=30820\ cm^4\ ,\ J=233\ cm^4$$

• تعیین نیروها و لنگر طراحی تیر خارج از پیوند

برای طراحی تیر خارج از ناحیه پیوند، برش و لنگر نهایی انتهایی تیر پیوند به صورت زیر منظور می‌گردند:

$$V_{ult}=0/88(1/25)R_yV_n=1/1R_yV_n$$
$$M_{ult}=\frac{eV_{ult}}{2}$$

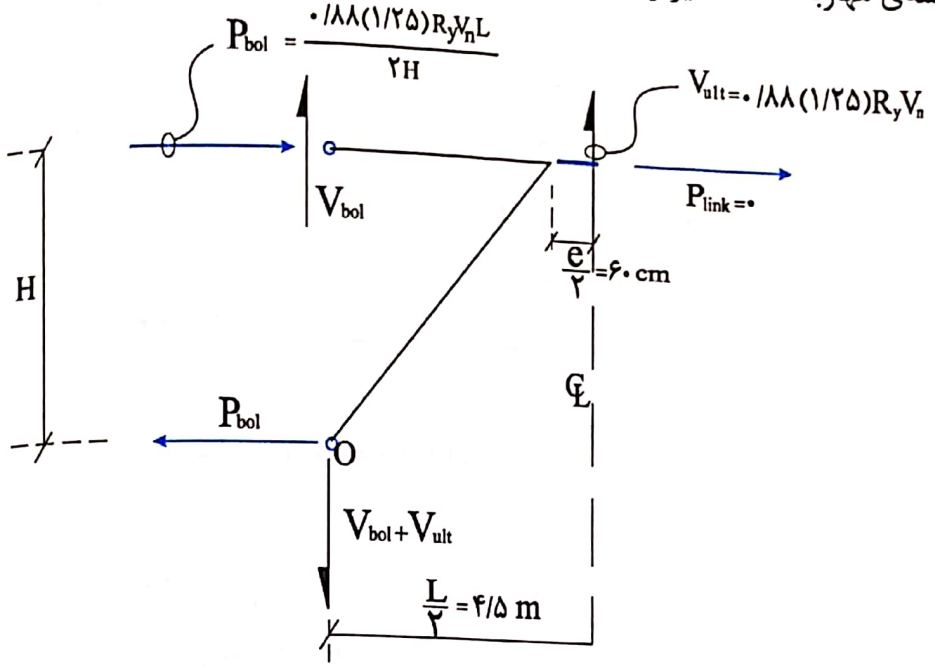
Scanned with CamScanner

مقاومت برشی اسمی تیر پیوند از مثال ۴-۱ برابر $V_n = ۶۷/۶۵\ ton$ به دست آمده است.

$$V_{ult} = ۱/۱(۱/۲)(۶۷/۶۵) = ۸۹/۳۰\ ton$$

$$M_{ult} = \frac{۱/۲۰(۸۹/۳۰)}{۲} = ۵۳/۶۰\ ton.m$$

هندسه‌ی مهاربند، نصف تیر و نصف تیر پیوند در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۰ دیاگرام پیوند، مهاربند و تیر خارج از پیوند

تلاش‌های تیر خارج از پیوند با استفاده از دو روش ضریب توزیع و ضریب تشدید به دست می‌آیند:

الف) روش ضریب توزیع

نیروی محوری تیر خارج از ناحیه پیوند براساس نیروی برشی نهایی تیر پیوند و با لنگرگیری حول نقطه O به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_E = \frac{V_{ult}L}{۲H} = \frac{۸۹/۳۰(۹/۰)}{۲(۳/۷۵)} = ۱۰۷\ ton$$

برای تعیین سهم لنگر تیر خارج از ناحیه پیوند، اتصال مهاربند به تیر مطابق مثال ۴-۱ گیردار فرض می‌شود. بنابراین لنگر خمشی انتهایی تیر پیوند (۵۳/۶۰ *ton.m*) باید بین مهاربند و تیر خارج از ناحیه پیوند توزیع شود. سهم لنگر خمشی تیر خارج از ناحیه پیوند، بر اساس سختی اعضا می‌باشد، در این روش در محاسبه‌ی سختی‌ها (EI/L) از مدول ارتجاعی هر دو عضو به علت یکسان بودن صرفنظر

شده است. در این صورت سهم لنگر تیر خارج از ناحیه پیوند به صورت زیر محاسبه می‌شود: (تیر خارج از ناحیه پیوند: bol[1])

$$L_{br} = \sqrt{۳۷۵^۲ + ۳۹۰^۲} = ۵۴۱\ cm \quad , \quad L_{bol} = ۳۹۰\ cm$$

$$\frac{\frac{I_{bol}}{L_{bol}}}{\frac{I_{bol}}{L_{bol}} + \frac{I_{br}}{L_{br}}} = \frac{\frac{۳۰۸۲۰}{۳۹۰}}{\frac{۳۰۸۲۰}{۳۹۰} + \frac{۳۰۸۲۰}{۵۴۱}} = ۰/۵۸$$

بنابراین تیر خارج از ناحیه پیوند، ۵۸ درصد از لنگر انتهایی تیر پیوند سهم می‌برد.

$$M_{bot} = ۰/۵۸ M_{ult}$$
$$= ۰/۵۸(۵۳/۶۰)$$
$$= ۳۱\ ton.m$$

نیروی برشی تیر خارج از پیوند برابر است با:

$$V_{bot} = \frac{M_{bot}}{L_{bot}} = \frac{۳۱}{۳/۹} = ۸\ ton$$

ب) روش ضریب تشدید

روش دیگر محاسبه تلاش‌ها در خارج از ناحیه پیوند، روش ضریب تشدید می‌باشد. ضریب تشدید از تقسیم مقاومت برشی نهایی تیر پیوند بر مقاومت برشی تیر پیوند حاصل از تحلیل در اثر نیروهای لرزه‌ای آیین‌نامه‌ای، به‌دست می‌آید. این ضریب تشدید، نیروی اعضای باقی مانده قاب را که بر اساس تحلیل لرزه‌ای آیین‌نامه‌ای به دست آمده‌اند، تقویت می‌کند. اگر نیروی برشی تیر پیوند حاصل از نتایج تحلیل کامپیوتری نیروهای لرزه‌ای $V_{E(link)} = ۳۸\ ton$ به‌دست آمده باشد، در این صورت ضریب تشدید چنین محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{۱/۱ R_y V_n}{V_{E(link)}} = \frac{۸۹/۳۰}{۳۸} = ۲/۳۵$$

لنگر خمشی تیر خارج از ناحیه پیوند، براساس نیروی برشی نهایی تیر پیوند برابر است با:

$$M_{Eq} = ۲/۳۵ M_E = ۲/۳۵(۱۵/۶) = ۳۶/۶۶\ ton.m$$

نیروی محوری تیر خارج از ناحیه پیوند، براساس نیروی برشی نهایی تیر پیوند برابر است با:

$$P_{Eq} = ۲/۳۵ P_E = ۲/۳۵(۴۷/۶۲) = ۱۱۲\ ton$$

برش در تیر خارج از ناحیه پیوند، براساس نیروی برشی نهایی تیر پیوند برابر است با:

$$V_{Eq} = ۲/۳۵ V_E = ۲/۳۵(۳/۹۵) = ۹/۲۸\ ton$$

[1] Beam Out of Link

Scanned with CamScanner

در این مثال از روش ضریب تشدید برای تعیین نیروهای طراحی استفاده می‌شود. از آن‌جا که در تعیین بارهای لرزه‌ای تیر خارج از ناحیه پیوند، از ضریب تشدید α استفاده شده است، بنابراین نیازی به استفاده از ضریب اضافه مقاومت Ω_0 برای بار زلزله نیست.

تیر خارج از ناحیه پیوند باید برای تلاش‌های لرزه‌ای فوق به علاوه تلاش‌های ناشی از بارهای ثقلی ضریب‌دار طراحی گردد.

نیروی محوری طراحی تیر خارج از ناحیه پیوند برابر است با:

$$P_u = (1/2 + 0/6AI)P_D + P_{Eq} + 0/5P_L + 0/2P_S$$
$$= [1/2 + 0/6(0/35)(1/0)](0/46) + 112 + 0/5(0/32) + 0$$
$$= 113\ ton$$

(ضریب بار زنده برای کاربری‌هایی که بار زنده گسترده یکنواخت آنها کم‌تر از ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد برابر با ۰/۵ منظور می‌گردد).

لنگر خمشی طراحی تیر خارج از ناحیه پیوند برابر است با:

$$M_u = (1/2 + 0/6AI)M_D + M_{Eq} + 0/5M_L + 0/2M_S$$
$$= [1/2 + 0/6(0/35)(1/0)](2/35) + 36/66 + 0/5(1/56) + 0$$
$$= 40/75\ ton.m$$

نیروی برشی طراحی تیر خارج از ناحیه پیوند برابر است با:

$$V_u = (1/2 + 0/6AI)V_D + V_{Eq} + 0/5V_L + 0/2V_S$$
$$= [1/2 + 0/6(0/35)(1/0)](3/1) + 9/28 + 0/5(2/2) + 0$$
$$= 14/75\ ton.m$$

♦ کنترل محدودیت‌های پهنا به ضخامت

مطابق مبحث دهم تیر خارج از ناحیه پیوند باید از نوع فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری متوسط و محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت λ_{md} باشد. چون نیمرخ تیر خارج از ناحیه پیوند همانند تیر پیوند می‌باشد، نیاز به کنترل اضافی برای کمانش موضعی ندارد. کنترل‌های پهنا به ضخامت تیر پیوند برای شکل‌پذیری زیاد λ_{hd} در مثال ۴-۱ انجام گردید.

♦ تعیین طول مهار نشده تیر خارج از ناحیه پیوند

مطابق داده‌های مثال ۴-۱ هر دو انتهای تیر پیوند مهار شده است. اگر عمق ستون برابر ۳۴cm فرض شود، طول مهارنشده‌ی تیر خارج از ناحیه پیوند تا بر ستون به‌صورت زیر است:

$$L_b = \frac{L - e - 2\left(\frac{d_c}{2}\right)}{2} = \frac{900 - 120 - 2\left(\frac{34}{2}\right)}{2} = 373\ cm$$

Scanned with CamScanner

♦ لحاظ اثرات مرتبه دوم

اثرات مرتبه دوم با توجه به پیوست دوم مبحث دهم در ادامه آورده شده است.

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$
$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

نظر به این‌که اثر بار جانبی بر اساس مقاومت برشی نهایی تیر پیوند منظور گردیده است، نیازی به در نظرگرفتن اثر $P\text{-}\Delta$ و ضریب B_2 نبوده و این ضریب برابر واحد می‌باشد.

- محاسبه‌ی B_1

مقدار ضریب C_m به طور محافظه‌کارانه برابر ۱/۰ لحاظ می‌گردد و از روش ضریب طول مؤثر برای طراحی پایداری استفاده می‌شود.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2} = \frac{\pi^2 (2/1)(10^6)(30820)}{[1/0(373)]^2} = 4591\ ton$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - P_u / P_{e1}} \geq 1$$
$$= \frac{1/0}{1-(113)/(4591)}$$
$$= 1/025$$

لنگر خمشی طراحی تیر خارج از ناحیه پیوند با درنظرگرفتن ضریب B_1 برابر است با:

$$M_u = B_1 (1/2 + 0/6AI) M_D + B_1 (0/5 M_L) + B_1 (0/2 M_S) + M_{Eq}$$
$$= 1/025[1/2 + 0/6(0/35)(1/0)](2/35) + 1/025(0/5)(1/56) + 1/025(0/2)(0) + 36/66$$
$$= 40/85\ ton.m$$

از آن‌جا که نیمرخ تیر خارج از ناحیه پیوند همانند تیر پیوند است. آیین‌نامه AISC ۳۴۱-۱۰ استفاده از $R_y F_y$ به جای F_y را، در تعیین مقاومت‌های موجود تیر خارج از ناحیه پیوند مجاز می‌داند.

♦ **تعیین مقاومت فشار محوری تیر خارج از ناحیه پیوند**

$$\frac{KL_b}{r} = \frac{1/0(373)}{7/57} = 49$$

$$\frac{KL_b}{r} < 4/71\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 4/71\sqrt{\frac{2/1(10^6)}{1/2(3515)}} = 105$$

چون $105 > 49$، کمانش غیرارتجاعی حاکم است:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL_b}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 (2/1)(10^6)}{(49)^2} = 8631\ kg/cm^2$$

Scanned with CamScanner

$$F_{cr}=\left[\text{۰/۶۵۸}^{\frac{R_yF_y}{F_e}}\right]R_yF_y=\left[\text{۰/۶۵۸}^{\frac{\text{۱/۲(۳۵۱۵)}}{\text{۸۶۳۱}}}\right]\left(\text{۱/۲}\right)\left(\text{۳۵۱۵}\right)=\text{۳۴۳۷ } kg/cm^2$$

$$\varphi_c P_n=\varphi_c F_{cr} A_g$$
$$=\text{۰/۹}\left(\text{۳۴۳۷}\right)\left(\text{۱۶۱}\right)$$
$$=\text{۴۹۸ } ton > P_u=\text{۱۱۳ } ton \quad \textbf{o.k.}$$

- **تعیین مقاومت خمشی تیر خارج از ناحیه پیوند**

L_p، مرز حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی غیرارتجاعی چنین است:

$$L_p=\text{۱/۷۶}r_y\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}=\text{۱/۷۶}\left(\text{۷/۵۷}\right)\sqrt{\frac{\text{۲/۱}\left(\text{۱۰}^6\right)}{\text{۱/۲}\left(\text{۳۵۱۵}\right)}}=\text{۲۹۷ } cm$$

L_r، که مرز بین دو حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی غیرارتجاعی و ارتجاعی را مشخص می‌کند، طبق رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$L_r=\text{۱/۹۵}r_{ts}\frac{E}{\text{۰/۷}R_yF_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_x h_.}+\sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_.}\right)^2+\text{۶/۷۶}\left(\frac{\text{۰/۷}R_yF_y}{E}\right)^2}}$$

$$=\text{۱/۹۵}\left(\text{۸/۳۱}\right)\frac{\text{۲/۱}\left(\text{۱۰}^6\right)}{\text{۰/۷}\left(\text{۱/۲}\right)\left(\text{۳۵۱۵}\right)}\sqrt{\frac{\text{۲۳۳}\left(\text{۱/۰}\right)}{\text{۱۹۳۰}\left(\text{۲۹/۹۵}\right)}+\sqrt{\left(\frac{\text{۲۳۳}\left(\text{۱/۰}\right)}{\text{۱۹۳۰}\left(\text{۲۹/۹۵}\right)}\right)^2+\text{۶/۷۶}\left(\frac{\text{۰/۷}\left(\text{۱/۲}\right)\left(\text{۳۵۱۵}\right)}{\text{۲/۱}\left(\text{۱۰}^6\right)}\right)^2}}$$

$$=\text{۱۱۲۰ } cm$$

که در آن:

$$h_.=d-t_f=\text{۲۹/۹۵ } cm \quad , \quad c=\text{۱} \quad , \quad r_{ts}=\frac{b_f}{\sqrt{\text{۱۲}\left(\text{۱}+\frac{\text{۱}}{\text{۶}}\frac{ht_w}{b_f t_f}\right)}}=\text{۸/۳۱ } cm$$

$$L_b=\text{۳۷۳ } cm \quad , \quad L_p<L_b<L_r=\text{۱۱۲۰}$$

کمانش پیچشی – جانبی غیرارتجاعی حاکم است. ضریب یکنواختی لنگر C_b به طور محافظه‌کارانه واحد فرض می‌شود.

$$M_p=R_yF_yZ_x=\text{۱/۲}\left(\text{۳۵۱۵}\right)\left(\text{۲۰۶۵}\right)=\text{۸۷ } ton.m$$

$$M_n=C_b\left[M_p-\left(M_p-\text{۰/۷}R_yF_yS_x\right)\left(\frac{L_b-L_p}{L_r-L_p}\right)\right]\le M_p$$

$$=\text{۱/۰}\left[\text{۸۷}-\left(\text{۸۷}-\text{۰/۷}\left(\text{۱/۲}\right)\left(\text{۳۵۱۵}\right)\left(\text{۱۹۳۰}\times\text{۱۰}^{-5}\right)\right)\left(\frac{\text{۳۷۳}-\text{۲۹۷}}{\text{۱۱۲۰}-\text{۲۹۷}}\right)\right]$$

$$=\text{۸۴/۳ } ton.m < M_p=\text{۸۷ } ton.m$$

$$\varphi_b M_n=\text{۰/۹}\left(\text{۸۴/۳}\right)=\text{۷۵/۸۷ } ton.m$$

Scanned with CamScanner

• اثر هم زمان فشار محوری و لنگر خمشی

$$\frac{P_u}{P_c}=\frac{۱۱۳}{۴۹۸}=۰/۲۳>۰/۲$$

$$\frac{P_u}{P_c}+\frac{۸}{۹}\left(\frac{M_{ux}}{\varphi_b M_{nx}}+\frac{M_{uy}}{\varphi_b M_{ny}}\right)\le ۱$$

$$۰/۲۳+\frac{۸}{۹}\left(\frac{۴۰/۸۵}{۷۵/۸۷}+۰\right)=۰/۷۱<۱ \quad \textbf{o.k.}$$

• کنترل مقاومت برشی تیر

$$\frac{h}{t_w}=\frac{۳۲-۲(۴/۷۵)}{۱/۱۵}=۱۹/۵<۲/۲۴\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}=۵۰ \Rightarrow \varphi_v=۱/۰ \ , \ C_v=۱/۰$$

$$V_n=۰/۶R_y F_y A_w C_v=۰/۶(۱/۲)(۳۵۱۵)(۳۲)(۱/۱۵)(۱/۰)=۹۳\ ton$$

$$\varphi_v V_n=۱/۰(۹۳)=۹۳\ ton>V_u=۱۴/۷۵\ ton \quad \textbf{o.k.}$$

مقطع IPB ۳۲۰ برای تیر خارج از ناحیه پیوند مناسب است.

مثال ۴-۳ طراحی مهاربند در قاب مهاربندی واگرا

داده ها:

با توجه به شکل۴-۱۸مهاربند BR-۱، را با استفاده از نیمرخ IPB و مشخصات $F_y=۳۵۱۵ kg/cm^۲$ و $F_u=۴۵۷۰ kg/cm^۲$ در برابر بارهای وارده طراحی نمایید.

مقطع تیر پیوند و تیر خارج از ناحیه پیوند مطابق مثال‌های ۴-۱ و ۴-۲ نیمرخ IPB۳۲۰ فرض شود. نیروهای وارده به مهاربند به علت تحلیل مرتبه اول به صورت زیر است.

$P_D=۵/۳۵\ ton$	$P_L=۳/۸\ ton$	$P_E=۶۱/۷\ ton$
$V_D=۰/۱\ ton$	$V_L=۰/۰۶\ ton$	$V_E=۱/۳۷\ ton$
$M_D=۰/۴۵\ ton.m$	$M_L=۰/۳\ ton.m$	$M_E=۷/۶\ ton.m$

حل:

• تعیین بارهای طراحی مهاربند

برای طراحی مهاربند، برش نهایی انتهایی تیر پیوند به صورت زیر منظور می‌گردد:

$$V_{ult}=۱/۲۵R_y V_n$$

مقاومت برشی اسمی تیر پیوند از مثال ۴-۲ برابر $V_n=۶۷/۶۵\ ton$ به‌دست آمده است.

$$V_{ult}=۱/۲۵(۱/۲)(۶۷/۶۵)=۱۰۱/۵\ ton$$

Scanned with CamScanner

در این مثال نیز همانند مثال قبل از روش ضریب تشدید استفاده می‌شود.

ضریب تشدید از تقسیم مقاومت برشی نهایی تیر پیوند بر مقاومت برشی تیر پیوند حاصل از تحلیل در اثر نیروهای لرزه‌ای آیین‌نامه‌ای، به‌دست می‌آید. این ضریب، نیروی اعضای باقی مانده قاب را که بر اساس تحلیل لرزه‌ای آیین‌نامه‌ای به‌دست آمده‌اند، تقویت می‌کند. اگر نیروی برشی تیر پیوند حاصل از نتایج تحلیل کامپیوتری نیروهای لرزه‌ای $V_{E(link)} = ۳۸\ ton$ به‌دست آمده باشد، در این صورت ضریب تشدید چنین محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{۱/۲۵ R_y V_n}{V_{E(link)}} = \frac{۱۰۱/۵}{۳۸} = ۲/۶۷$$

لنگرخمشی در مهاربند، به علت مکانیزم شدن تیر پیوند برابر است با:

$$M_{Eq} = ۲/۶۷ M_E = ۲/۶۷(۷/۶) = ۲۰/۳۰\ ton.m$$

نیروی محوری در مهاربند، به علت مکانیزم شدن تیر پیوند برابر است با:

$$P_{Eq} = ۲/۶۷ P_E = ۲/۶۷(۶۱/۷) = ۱۶۴/۷۴\ ton$$

نیروی برشی در مهاربند، به علت مکانیزم شدن تیر پیوند برابر است با:

$$V_{Eq} = ۲/۶۷ V_E = ۲/۶۷(۱/۳۷) = ۳/۶۶\ ton$$

مهاربند باید برای تلاش‌های لرزه‌ای فوق به علاوه تلاش‌های ناشی از بارهای ثقلی ضریب‌دار طراحی گردد. با در نظر گرفتن ضریب تشدید α به جای Ω_0، ترکیب بار لرزه‌ای تشدیدیافته حاکم در مهاربند برابر خواهد بود با:

$$(۱/۲ + ۰/۶AI)D + ۲/۶۷E + ۰/۵L + ۰/۲S$$

(ضریب بار زنده برای کاربری‌هایی که بار زنده گسترده یکنواخت آنها کم‌تر از ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد برابر با ۰/۵ منظور می‌گردد).

نیروی محوری طراحی مهاربند برابر خواهد بود با:

$$P_u = (۱/۲ + ۰/۶AI)P_D + P_{Eq} + ۰/۵P_L + ۰/۲P_S$$
$$= [۱/۲ + ۰/۶(۰/۳۵)(۱/۰)](۵/۳۵) + ۱۶۴/۷۴ + ۰/۵(۳/۸) + ۰$$
$$= ۱۷۴/۱۸\ ton$$

نیروی برشی طراحی مهاربند برابر خواهد بود با:

$$V_u = (۱/۲ + ۰/۶AI)V_D + V_{Eq} + ۰/۵V_L + ۰/۲V_S$$
$$= [۱/۲ + ۰/۶(۰/۳۵)(۱/۰)](۰/۱) + ۳/۶۶ + ۰/۵(۰/۰۶) + ۰$$
$$= ۳/۸۳\ ton$$

لنگر خمشی طراحی مهاربند برابر خواهد بود با:

$$M_u = (۱/۲ + ۰/۶AI)M_D + M_{Eq} + ۰/۵M_L + ۰/۲M_S$$
$$= [۱/۲ + ۰/۶(۰/۳۵)(۱/۰)](۰/۴۵) + ۲۰/۳۰ + ۰/۵(۰/۳) + ۰$$
$$= ۲۱/۱\ ton.m$$

Scanned with CamScanner

نیمرخ IPB۳۲۰ با مشخصات زیر را برای مهاربند انتخاب می‌شود:

$$d = ۳۲\ cm\ ,\ b_f = ۳۰\ cm\ ,\ t_f = ۲/۰۵\ cm\ ,\ t_w = ۱/۱۵\ cm\ ,\ r_y = ۷/۵۷\ cm\ ,\ S_x = ۱۹۳۰\ cm^۳$$
$$A_g = ۱۶۱\ cm^۲\ ,\ Z_y = ۹۳۲\ cm^۳\ ,\ Z_x = ۲۰۶۵\ cm^۳\ ,\ I_x = ۳۰۸۲۰\ cm^۴\ ,\ J = ۲۳۳\ cm^۴$$

محدودیت‌های پهنا به ضخامت

مطابق مبحث دهم مقطع مهاربندی‌ها درقاب‌های مهاربندی واگرا باید از نوع فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری متوسط با محدودیت حداکثر پهنا به ضخامت λ_{md} باشد.

$$\lambda_f = \frac{b_f}{۲t_f} = \frac{۳۰}{۲(۲/۰۵)} = ۷/۳$$

$$\lambda_{md} = ۰/۳۸\sqrt{\frac{E}{F_y}} = ۰/۳۸\sqrt{\frac{۲/۱(۱۰^۶)}{۳۵۱۵}} = ۹/۲۹$$

$$\Rightarrow \lambda_f < \lambda_{md} \quad \textbf{o.k.}$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{۳۲-۲(۴/۷۵)}{۱/۱۵} = ۱۹/۵۶$$

$$\lambda_{md} = ۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{F_y}} = ۱/۴۹\sqrt{\frac{۲/۱(۱۰^۶)}{۳۵۱۵}} = ۳۶/۴۱$$

$$\Rightarrow \lambda_w < \lambda_{md} \quad \textbf{o.k.}$$

محاسبه طول مهاربند

طول مهار نشده مهاربند چنین است:

$$L_{br} = \sqrt{۳۷۵^۲ + ۳۹۰^۲} = ۵۴۱\ cm$$

لحاظ آثار مرتبه دوم

اثرات مرتبه دوم با توجه به پیوست دوم مبحث دهم در ادامه آورده شده است.

$$M_u = B_۱M_{nt} + B_۲M_{lt}$$
$$P_u = P_{nt} + B_۲P_{lt}$$

نظر به این‌که اثر بار جانبی بر اساس مقاومت برشی نهایی تیر پیوند منظور گردیده است، نیازی به درنظرگرفتن اثر $P\text{-}\Delta$ و ضریب $B_۲$ نبوده و این ضریب برابر واحد می‌باشد. از روش طول مؤثر برای طراحی پایداری استفاده می‌شود:

-محاسبه‌ی $B_۱$

وقتی‌که هیچ‌گونه بار جانبی روی مهاربند وجود نداشته باشد، مقدارضریب C_m برابر خواهد بود با:

$$C_m = ۰/۶ - ۰/۴\left(\frac{M_۱}{M_۲}\right) = ۰/۶ - ۰/۴\left(\frac{۰/۰}{۲۱/۱}\right) = ۰/۶$$

مطابق مبحث دهم در روش تحلیل مرتبه اول EI^* برابر EI در نظر گرفته می‌شود.

Scanned with CamScanner

$$P_{e1}=\frac{\pi^2 EI^*}{(K_1L)^2}=\frac{\pi^2(۲/۱)(۱۰^۶)(۳۰۸۲۰)}{[۱/۰(۵۴۱)]^2}=۲۱۸۲ton$$

$$B_1=\frac{C_m}{1-P_u/P_{e1}}\geq ۱$$

$$=\frac{۰/۶}{۱-(۱۷۴/۱۸)/(۲۱۸۲)}$$

$$=۰/۶۵$$

به علت این‌که $B_1<۱$ است، مقدار $B_1=۱$ در نظر گرفته می‌شود.

از آن‌جا که هر دو ضریب $B_1=B_2=۱$ می‌باشند. لنگر خمشی طراحی نیاز به تشدید برای اثرات $P-\Delta$ و $P-\delta$ ندارد.

♦ تعیین مقاومت فشاری مهاربند

$$\frac{KL}{r}=\frac{۱/۰(۵۴۱)}{۷/۵۷}=۷۲$$

$$\frac{KL}{r}<۴/۷۱\sqrt{\frac{E}{F_y}}=۴/۷۱\sqrt{\frac{۲/۱(۱۰^۶)}{۳۵۱۵}}=۱۱۵$$

چون ۱۱۵ > ۷۲، کمانش خمشی غیرارتجاعی حاکم است:

$$F_e=\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}=\frac{\pi^2(۲/۱)(۱۰^۶)}{(۷۲)^2}=۳۹۹۷\ kg/cm^2$$

$$F_{cr}=\left[۰/۶۵۸^{\frac{F_y}{Fe}}\right]F_y=\left[۰/۶۵۸^{\frac{۳۵۱۵}{۳۹۹۷}}\right](۳۵۱۵)=۲۴۳۲\ kg/cm^2$$

$$\varphi_c P_n=\varphi_c F_{cr}A_g$$

$$=۰/۹(۲۴۳۲)(۱۶۱)$$

$$=۳۵۲\ ton>P_u=۱۷۴/۱۸\ ton \quad \textbf{o.k.}$$

♦ تعیین مقاومت خمشی مهاربند

L_p، که مرز حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی غیرارتجاعی را مشخص می‌کند، چنین محاسبه می‌شود:

$$L_p=۱/۷۶r_y\sqrt{\frac{E}{F_y}}=۱/۷۶(۷/۵۷)\sqrt{\frac{۲/۱(۱۰^۶)}{۳۵۱۵}}=۳۲۶\ cm$$

Scanned with CamScanner

L_c که مرز بین دو حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی غیرارتجاعی و ارتجاعی‌ها را مشخص می‌کند، طبق رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o}+\sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2+6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

$$= 1.95(8.31)\frac{2.1(10^3)}{0.7(3515)}\sqrt{\frac{233(1.0)}{1930(29.95)}+\sqrt{\left(\frac{233(1.0)}{1930(29.95)}\right)^2+6.76\left(\frac{0.7(3515)}{2.1(10^3)}\right)^2}}$$

$$= 1318\ cm$$

ابتدا باید مشخص شود که تیر جزء کدام یک از سه دسته‌ی ۲-۶ قرار دارد:

که در آن:

$$h_c = d - t_f = 29.85\ cm \quad , \quad r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{6}\frac{h_c t_w}{b_f t_f}\right)}} = 8.31\ cm$$

$$L_p < L_b < L_r = 1318\ cm \quad , \quad L_b = 541\ cm$$

کمانش پیچشی- جانبی غیرارتجاعی حاکم است. ضریب یکنواختی لنگر C_b به‌طور محافظه‌کارانه برابر واحد انتخاب می‌گردد.

$$M_p = F_y Z_x = 3515(0.065) = 228.4\ ton.m$$

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - 0.7F_y S_x\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \le M_p$$

$$M_n = 1.0\left[228.4 - \left(228.4 - 0.7(3515)\left(1930\times10^{-6}\right)\right)\left(\frac{541-326}{1318-326}\right)\right]$$

$$= 217.15\ ton.m$$

$$M_n = 217.15\ ton.m < M_p = 228.4\ ton.m$$

$$\phi_b M_n = 0.9(217.15) = 195.43\ ton.m$$

• اثر هم‌زمان فشار محوری و لنگر خمشی

$$\frac{P_u}{P_c} = \frac{174.18}{352} = 0.49 > 0.2$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}}\right) \le 1$$

$$0.49 + \frac{8}{9}\left(\frac{21.1}{195.43} + 0\right) = 0.80 < 1 \quad \text{o.k.}$$

Scanned with CamScanner