A-۹- فشردگی لرزه‌ای مقاطع فولادی

فشردگی معمولی مقاطع و کنترل کمانش موضعی در فصل سوم جلد اول کتاب فولاد موسسه سری عمران تشریح شده است. در اینجا فشردگی لرزه‌ای مقاطع مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. برای کنترل فشردگی اجزای سازه واقع در مناطق لرزه‌خیز، باید از نسبت‌های فشردگی لرزه‌ای استفاده شود که محدودیت بیشتری نسبت به فشردگی معمولی ایجاد می‌کنند.

طبقه‌بندی مقاطع از منظر شکل‌پذیری

اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد قابل استفاده در سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای باید الزامات این بخش را برآورده نمایند.

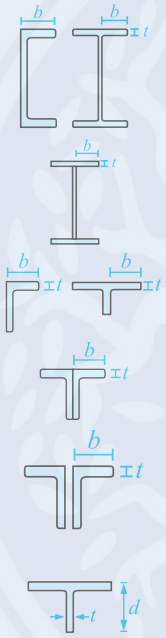
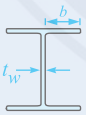
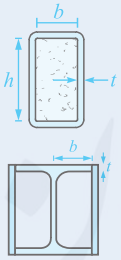
الزامات مقطع اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد

بال‌های مقاطع اعضای فولادی و مقاطع اعضای مختلط پر شده با بتن و بال‌های اعضای مختلط با مقطع فولادی با دال‌های بتنی متکی بر آن باید به طور پیوسته به جان یا جان‌های مقطع متصل باشد.

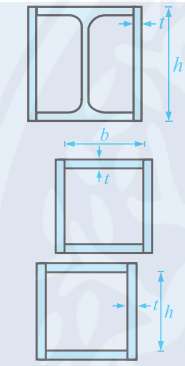
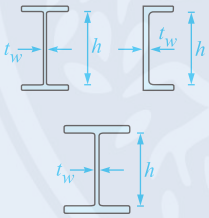
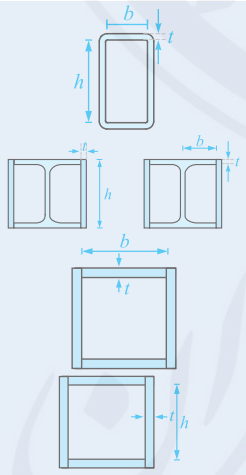
محدودیت‌های نسبت پهنا به ضخامت مقاطع اعضای فولادی و مختلط با شکل‌پذیری متوسط و زیاد

برای اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد که از آن‌ها انتظار تحمل تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدود و قابل ملاحظه‌ای می‌رود، در رابطه با کمانش موضعی بال ها و جان یا جان‌ها، ضوابط سخت‌گیرانه‌تری در نظر گرفته شده است. به همین منظور برای اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد، نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری مقطع فولادی و اجزای فولادی مقاطع مختلط پرشده با بتن نباید به ترتیب از مقادیر λ_{md} و λ_{hd} ارائه شده در جدول (۱۳-۶) بیشتر شود.

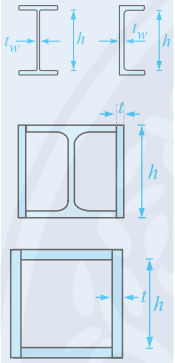
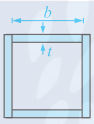
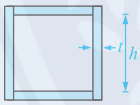
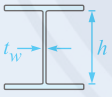
جدول ۱۳-۶: نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری در اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد

	حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
				λ_{md} اعضای با شکل‌پذیری متوسط	λ_{hd} اعضای با شکل‌پذیری زیاد	
اجزای با یک لبه مقید	۱	در تیرها، ستون‌ها و اعضای مهاربندی بال‌های مقاطع I شکل، ناودانی‌ها، ساق نبشی‌های تک و نبشی‌های دوبل با فاصله، ساق برجستهٔ نبشی‌های دوبل به هم چسبیده و بال و تیغه (جان) مقاطع سپری	b/t d/t	$0/38\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0/3\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	۲	بال‌های مقاطع شمع‌های H شکل	b/t	$0/45\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	کاربرد ندارد	
	۳	۱) بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌رود. ۲) بال‌ها و ورق‌های کناری مقاطع I شکل جعبه‌ای شده وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌رود.	b/t h/t b/t h/t	$0/76\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0/65\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	

ادامهٔ جدول ۱۳-۶: نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری در اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد

	حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
				λ_{md} اعضای با شکل‌پذیری متوسط	λ_{hd} اعضای با شکل‌پذیری زیاد	
اجزای با یک لبه مقید	۳	۳) بال‌ها و جان‌های مقاطع جعبه‌ای وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌رود.	b/t h/t	$۰/۷۶\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$۰/۶۵\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	۴	جان مقاطع I شکل و ناودانی نوردشده و ساخته شده از ورق وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌روند.	b/t_w	$۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	۵	جزء به کار رفته در تیر یا ستون با تنش فشاری یکنواخت در اثر خمش، بار محوری یا ترکیب بار محوری و خمش ۱) بال‌ها یا جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) ۲) بال‌ها یا ورق‌های کناری مقاطع I شکل جعبه‌ای شده ۳) بال‌ها یا جان‌های مقاطع جعبه‌ای	b/t_w h/t_w b/t_w h/t_w b/t_w h/t_w	$۱/۰\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$۰/۵۵\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	

ادامهٔ جدول ۱۳-۶: نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری در اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد

	حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
				λ_{md} اعضای با شکل‌پذیری متوسط	λ_{hd} اعضای با شکل‌پذیری زیاد	
اجزای با یک لبه مشبد	۶	جان یا جان‌های به کار رفته در تیرها، ستون‌ها و تیرهای پیوند تحت اثر خمش یا ترکیب خمش و فشار: ۱) جان مقاطع I شکل و ناودانی نوردشده و ساخته شده از ورق ۲) ورق‌های کناری مقاطع I شکل جعبه‌ای شده ۳) جان‌های مقاطع جعبه‌ای (به غیر از تیرهای پیوند)	$\frac{h}{t_w}$ h/t_w h/t_w	برای $C_a \le ۰/۱۱۳$: $\frac{۳/۷۶(۱-۳/۰۵C_a)}{\sqrt{E/R_yF_y}}$ برای $C_a > ۰/۱۱۳$: $\frac{۲/۶۱(۱-۰/۴۹C_a)}{\sqrt{E/R_yF_y}} \ge ۱/۵۶\sqrt{E/R_yF_y}$	برای $C_a \le ۰/۱۱۳$: $\frac{۲/۴۵(۱-۱/۰۴C_a)}{\sqrt{E/R_yF_y}}$ برای $C_a > ۰/۱۱۳$: $\frac{۲/۲۶(۱-۰/۳۸C_a)}{\sqrt{E/R_yF_y}} \ge ۱/۵۶\sqrt{E/R_yF_y}$	
	۷	بال‌های مقاطع جعبه‌ای به کار رفته درتیرهای پیوند	b/t	$۰/۶۴\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	$۰/۵۵\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	
	۸	جان‌های مقاطع جعبه‌ای به کار رفته در تیرهای پیوند	h/t	$۱/۶۷\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	$۰/۶۴\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	
	۹	جان مقاطع شمع‌های H شکل	$\frac{h}{t_w}$	$۱/۵۰\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	کاربرد ندارد	
	۱۰	جدارهٔ مقاطع دایره‌ای توخالی (به غیر از مهاربندها)	D/t	$۰/۰۷\frac{E}{R_yF_y}$	$۰/۰۳۸\frac{E}{R_yF_y}$	
	۱۱	جداره مقاطع دایره‌ای توخالی وقتی به عنوان مهاربند به کار روند	D/t	$۰/۰۶۲\frac{E}{R_yF_y}$	$۰/۰۵۳\frac{E}{R_yF_y}$	
	۱۲	بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی شکل (HSS) پرشده یا بتن و مقاطع جعبه‌ای پرشده با بتن	b/t	$۲/۲۶\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	
	۱۳	جداره مقاطع دایره‌ای شکل پرشده با بتن	D/t	$۰/۱۵\frac{E}{R_yF_y}$	$۰/۰۷۶\frac{E}{R_yF_y}$	

مقدار C_a از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$C_a = \frac{\alpha_s P_r}{R_y F_y A_g}$$

که در آن:

α_s = ضریبی که مقدار آن در $LRFD$ برابر ۱/۰ و در ASD برابر ۱/۵ است.

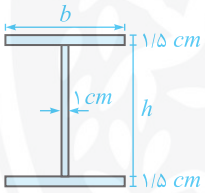
P_r = مقاومت محوری موردنیاز

R_y = نسبت تنش تسلیم موردانتظار به تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

F_y = تنش تسلیم مشخصهٔ فولاد

A_g = سطح مقطع کل

تمرین ۱: **براساس کدام‌یک از مقادیر b و h مقطع مهاربند مطابق شکل در شکل‌پذیری زیاد، به‌صورت فشردهٔ لرزه‌ای محسوب می‌شود؟** $(F_y = ۲۴۰۰\ kg/cm^۲ \ ،\ E = ۲\times۱۰^۶\ kg/cm^۲)$ (پایه ۸۹ - ۳)



۱) $h = ۴۰\ cm\ ,\ b = ۲۵\ cm$

۲) $h = ۶۰\ cm\ ,\ b = ۲۵\ cm$

۳) $h = ۴۰\ cm\ ,\ b = ۳۰\ cm$

۴) $h = ۶۰\ cm\ ,\ b = ۳۰\ cm$

حل: در مقطع ساخته شده از ورق که به‌عنوان مهاربند به‌کار می‌رود، اگر مقطع دو شرط زیر را داشته باشد، فشردهٔ لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد محسوب می‌گردد:

ردیف (۱) جدول: $\frac{(\frac{b-۱}{۲})}{t} \le ۰/۳\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \Rightarrow \frac{(\frac{b-۱}{۲})}{۱/۵} \le ۰/۳\sqrt{\frac{۲\times۱۰^۶}{۱/۱۵\times۲۴۰۰}} = ۸/۰۷ \Rightarrow b \le ۲۵/۲۱\ cm$

ردیف (۴) جدول: $\frac{h}{t_w} \le ۱/۴۹\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \Rightarrow \frac{h}{۱} \le ۱/۴۹\sqrt{\frac{۲\times۱۰^۶}{۱/۱۵\times۲۴۰۰}} = ۴۰/۱۱ \Rightarrow h \le ۴۰/۱۱\ cm$

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تمرین ۲: **در یک تیر نورد شدهٔ فولادی I شکل با $E = ۲\times۱۰^۵\ MPa$ و $F_y = ۲۴۰\ MPa$ مقادیر $\frac{b_f}{t_f}$ و $\frac{h}{t_w}$ به ترتیب برابر با ۲۰ و ۷۰ می‌باشد. مقطع این تیر ..... می‌باشد. (b_f عرض بال، t_f ضخامت بال، h ارتفاع جان و t_w ضخامت جان و $C_a = ۰/۱$ می‌باشد)** (پایه ۸۹ - ۳)

۱) فشردهٔ لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد

۲) فشرده

۳) غیرفشرده

۴) لاغر

حل: شرایط فشردگی مقطع تیر فولادی براساس جدول (۳-۳) فصل سوم جلد اول کتاب فولاد عبارت است از:

$$\frac{b_f}{۲t_f} \le ۰/۳۸\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{b_f}{t_f} \le ۲\times ۰/۳۸\sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۶}{۲۴۰۰}} = ۲۱/۹ : ۲۰ < ۲۱/۹$$

$$\frac{h}{t_w} \le ۳/۷۶\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{h}{t_w} \le ۳/۷۶\sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۶}{۲۴۰۰}} = ۱۰۸/۵ : ۷۰ < ۱۰۸/۵$$

بنابراین شرایط فشردگی حاکم می‌باشد. اما چون درگزینه‌ها مقطع فشردهٔ لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد نیز ارائه شده است، به کنترل این حالت هم می‌پردازیم.

$$\frac{b_f}{۲t_f} \le \lambda_{hd} = ۰/۳\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = ۰/۳\sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۶}{۱/۲\times ۲۴۰۰}} = ۷/۹۱ \Rightarrow \frac{b_f}{t_f} \le ۱۵/۸۲ : ۲۰ > ۱۵/۸۲$$

$$C_a = ۰/۱ \le ۰/۱۱۳ \Rightarrow \frac{h}{t_w} \le ۲/۴۵(۱-۱/۰۴C_a)\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$$

$$\frac{h}{t_w} \le ۲/۴۵(۱-۱/۰۴\times ۰/۱)\sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۶}{۱/۲\times ۲۴۰۰}} = ۵۷/۸۴ : ۷۰ > ۵۷/۸۴$$

بنابراین مقطع شرایط فشردهٔ لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد را ندارد و تنها گزینهٔ (۲) می‌تواند صحیح باشد.

تمرین ۳: **برای یک قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد، مقطع ستون در شکل‌های (الف) و (ب) نشان داده شده است. در صورتیکه در روش حالت حدی $C_a = ۰/۱$ فرض شود، گزینهٔ صحیح کدام است؟ $(F_y = ۲۴۰\ MPa)$** (محاسبات - شهریور ۹۱)

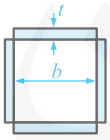
۱) مقاطع (الف) و (ب)، از نوع فشردهٔ لرزه‌ای نمی‌باشند.

۲) مقاطع (الف) و (ب)، از نوع فشردهٔ لرزه‌ای می‌باشند.

۳) مقطع (الف) از نوع فشردهٔ لرزه‌ای نمی‌باشد، ولی مقطع (ب) از نوع فشردهٔ لرزه‌ای است.

۴) مقطع (الف) از نوع فشردهٔ لرزه‌ای است، ولی مقطع (ب) از نوع فشردهٔ لرزه‌ای نمی‌باشد.

حل: به منظور بررسی شرایط فشردگی لرزه‌ای مقطع ستون قوطی شکل، مطابق ردیف‌های (۵) و (۶) جدول (۱۳-۶) برای اعضای با شکل‌پذیری زیاد داریم:



شرایط مقطع قوطی شکل فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد :

$$\begin{cases} \dfrac{b}{t} \le ۰/۵۵\sqrt{\dfrac{E}{R_y F_y}} \\ \dfrac{h}{t_w} \le ۲/۴۵(۱-۱/۰۴C_a)\sqrt{\dfrac{E}{R_y F_y}} \quad , \ C_a \le ۰/۱۱۳ \end{cases}$$

کنترل مقطع (الف):

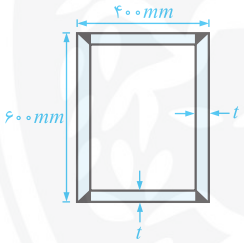
$$\begin{cases} \dfrac{b}{t}=\dfrac{۳۰۰}{۲۰}=۱۵>۰/۵۵\sqrt{\dfrac{۲\times۱۰^{۵}}{۱/۱۵\times۲۴۰}}=۱۴/۸ \\ \dfrac{h}{t_w}=\dfrac{۳۰۰}{۵}=۶۰>۲/۴۵\,(۱-۱/۰۴\times۰/۱)\sqrt{\dfrac{۲\times۱۰^{۵}}{۱/۱۵\times۲۴۰}}=۵۹/۰۹ \end{cases} \Rightarrow$$ مقطع (الف) فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد نیست

کنترل مقطع (ب):

$$\begin{cases} \dfrac{b}{t}=\dfrac{۴۰۰}{۲۰}=۲۰>۱۴/۸ \\ \dfrac{h}{t_w}=\dfrac{۴۰۰}{۶}=۶۶/۶۷>۵۹/۰۹ \end{cases} \Rightarrow$$ مقطع (ب) فشردهٔ لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد نیست.

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تمرین ۴: مقطع شکل زیر برای یکی از ستون‌های یک ساختمان با سیستم باربر جانبی در هر دو امتداد از نوع قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری زیاد در نظر گرفته شده است. براساس کنترل کمانش موضعی، حداقل ضخامت قابل قبول برای ورق‌های تشکیل‌دهندهٔ ستون کدام‌یک از مقادیر زیر است؟



(محاسبات - مرداد ۹۴)

($F_y = ۲۴۰\ MPa$ و $E = ۲\times۱۰^{۵}\ MPa$)

۱) $۴۰\ mm$

۲) $۳۵\ mm$

۳) $۲۵\ mm$

۴) $۲۰\ mm$

حل: با مراجعه به ردیف (۵) جدول (۱۳-۶)، دیده می‌شود که برای بال‌های مقاطع قوطی شکل ساخته شده از ورق در حالت شکل‌پذیری زیاد، در حالتی‌که عضو به عنوان ستون باشد، حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر $\lambda_{hd}=۰/۵۵\sqrt{\dfrac{E}{R_y F_y}}$ است. از طرفی با توجه به اینکه ستون با اضلاع برابر نیست و یک وجه آن بزرگتر است، در تعیین حداقل ضخامت ستون باید وجه بلندتر آن مدنظر قرار گیرد و داریم:

$$\frac{b_{max}}{t}\le\lambda_{hd}\ \Rightarrow\ \frac{۶۰۰-۲t}{t}\le۰/۵۵\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}=۰/۵۵\sqrt{\frac{۲\times۱۰^{۵}}{۱/۱۵\times۳۰۰}}=۱۳/۲۴\ \Rightarrow\ \frac{۶۰۰}{t}-۲\le۱۳/۲۴$$

$$\Rightarrow\ \frac{۶۰۰}{t}\le۱۵/۲۴\ \Rightarrow\ t>۳۹/۳۶\ mm\ \Rightarrow\ t=۴۰\ mm$$

از آنجا که ستون موردنظر در این سؤال از هر دو جهت در قاب خمشی قرار دارد، ستون تحت خمش دو محوره است و چهار وجه آن هم بال و هم جان محسوب می‌شوند. پس برای کنترل فشردگی آنها، ضوابط فشردگی بال‌ها را مدنظر قرار داده‌ایم که نسبت به ضوابط فشردگی جان‌ها بحرانی‌تر است (چرا؟)

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تمرین ۵: برای ساخت یک ستون فولادی اطراف دهانهٔ مهاربندی شده، قصد داریم از مقطع لوله‌ای به قطر خارجی $60\ cm$ استفاده کنیم. ضخامت ورق مورد استفاده برای ساخت این مقطع در چه محدوده‌ای باشد تا این ستون به‌صورت توخالی برای شکل‌پذیری متوسط و به‌صورت پر شده با بتن برای شکل‌پذیری زیاد مناسب باشد؟ (فولاد از نوع $ST52$ است).

۱) $t \geq 15\ mm$ ۲) $t \geq 16\ mm$ ۳) $t \geq 20\ mm$ ۴) $t \geq 25\ mm$

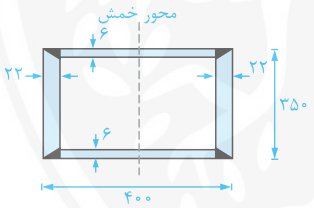
حل: ستون فولادی در اطراف دهانهٔ مهاربندی شده، از جمله اعضای تحت نیروی زلزله محسوب می‌شود که باید برای کنترل فشردگی آن از ضوابط فشردگی لرزه‌ای استفاده گردد. حال با توجه به ردیف‌های (۱۰) و (۱۳) جدول (۱۳-۶)، دو حالت زیر برای این سؤال مدنظر قرار می‌گیرد:

ستون توخالی با شکل‌پذیری متوسط: $\frac{D}{t} \leq \lambda_{md} = 0.07 \frac{E}{R_y F_y} \Rightarrow \frac{60}{t} \leq 0.07 \times \frac{2\times10^6}{1.25\times3600} \Rightarrow t \geq 1.93\ cm$

ستون پر شده با شکل‌پذیری زیاد: $\frac{D}{t} \leq \lambda_{hd} = 0.076 \frac{E}{R_y F_y} \Rightarrow \frac{60}{t} \leq 0.076 \times \frac{2\times10^6}{1.25\times3600} \Rightarrow t \geq 1.78\ cm$

پس برای مناسب بودن این مقطع در هر دو حالت مورد نظر این تست، وضعیت بحرانی‌تر ملاک قرار گرفته و باید ضخامت لوله بیش از $20\ mm$ باشد. بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۶: مقطع زیر برای یک ستون در یک قاب خمشی مدنظر است. اگر مقاومت محوری موردنیاز ستون براساس ترکیبات بار روش $LRFD$ برابر $1100\ kN$ باشد، کدام گزینه زیر صحیح است؟ ($E = 2\times10^5\ MPa$ و $F_y = 240\ MPa$)



۱) مقطع فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد می‌باشد.
۲) مقطع فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری متوسط می‌باشد.
۳) مقطع فشرده می‌باشد.
۴) مقطع دارای اجزاء لاغر می‌باشد.

حل: برای کنترل مقطع از نظر شرایط فشردگی لرزه‌ای ابتدا باید بال و جان مقطع را با توجه به محور خمش ارائه شده با مقادیر λ_{hd} در ردیف‌های (۵) و (۶) جدول (۱۳-۶) مقایسه کرد و داریم:

کنترل بال: $\frac{b}{t} = \frac{350 - 2\times6}{22} = 15.36 \not< \lambda_{hd} = 0.55\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 0.55\sqrt{\frac{2\times10^5}{1.15\times240}} = 14.8$

بنابراین مقطع شرایط فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد را برقرار نمی‌کند.

در ادامه، شرایط فشردگی لرزه‌ای با محدودیت شکل‌پذیری متوسط را بررسی می‌کنیم:

$$\frac{b}{t} = 15.36 < \lambda_{md} = 1.0\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 1.0\sqrt{\frac{2\times10^5}{1.15\times240}} = 26.92 \qquad OK$$

برای کنترل جان‌ها ابتدا پارامتر C_a را به‌دست می‌آوریم:

$$A_g = 400\times350 - (400 - 2\times22)\times(350 - 2\times6) = 19672\ mm^2$$

$$C_a=\frac{\alpha_s P_r}{R_y F_y A_g}=\frac{1\times 1100\times 10^3}{1/15\times 240\times 19672}=0/2>0/113$$

$$\Rightarrow \lambda_{md}=2/61(1-0/49C_a)\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}\geq 1/56\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$$

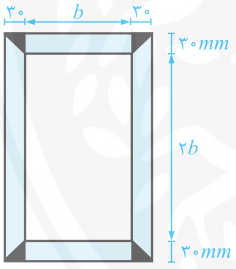
$$\Rightarrow \lambda_{md}=2/61(1-0/49\times 0/2)\times\sqrt{\frac{2\times 10^5}{1/15\times 240}}=63/37>1/56\sqrt{\frac{2\times 10^5}{1/15\times 240}}=41/99$$

$$(\frac{b}{t})_{max}=max\,(\frac{400-2\times 22}{6}\ ,\ \frac{350-2\times 6}{22})=59/33$$

$$(\frac{b}{t})_{max}=59/33<\lambda_{md}=63/37 \qquad OK$$

بنابراین مقطع موردنظر فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری متوسط می‌باشد و گزینهٔ (۲) صحیح است.

تمرین ۷: **فرض کنید برای اعضای مهاربندی یک ساختمان که سیستم مقاوم باربر لرزه‌ای آن از نوع قاب مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه است، برای اعضای مهاربندی از مقطع شکل مقابل استفاده شده است. حداکثر مقدار مجاز b به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر، $E=2\times 10^5 MPa$ و $F_y=340 MPa$ است.** (مهاسبات ـ مرداد ۱۴۰۰)



۱) $186\,mm$

۲) $220\,mm$

۳) $400\,mm$

۴) $465\,mm$

حل: مقاطع اعضای مهاربندی‌ها در قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه باید از نوع فشرده لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر با λ_{hd} باشند. با توجه به ردیف (۳) جدول (۱۳-۶) داریم:

$$\frac{b}{t}\leq\lambda_{hd}\ \Rightarrow\ \frac{(2b)}{30}\leq 0/65\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}=0/65\sqrt{\frac{2\times 10^5}{1/15\times 340}}=14/70\ \Rightarrow\ b\leq 220/5\,mm$$

تذکر: دقت شود در کنترل بال مقطع برای عضو مهاربندی تحت فشار، کافی است ضلع بلندتر مقطع را کنترل کنیم.

بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

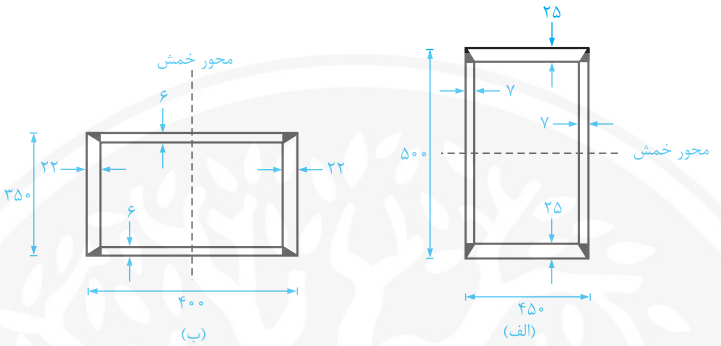
تمرین ۸: **در صورتی‌که مقاطع (الف) و (ب) به‌عنوان ستون مورد استفاده قرار گیرند، با در نظر گرفتن $C_a=0/15$ کدام گزینه صحیح است؟ در شکل ابعاد به میلی‌متر است. $F_y=240\,MPa$ و $E=2\times 10^5 MPa$** (مهاسبات ـ دی ۱۴۰۱)

۱) مقاطع (الف) و (ب) در قاب خمشی ویژه مجاز هستند.

۲) مقطع (الف) در قاب خمشی متوسط و مقطع (ب) در قاب خمشی ویژه مجاز است.

۳) مقطع (الف) در قاب خمشی ویژه و مقطع (ب)در قاب خمشی متوسط مجاز است.

۴) مقاطع (الف) و (ب) در قاب خمشی متوسط مجاز هستند.



حل: در مقاطع داده شده که همزمان تحت اثر نیروی فشاری و لنگر خمشی هستند (به عنوان تیر ستون عمل می‌کنند) وجوه موازی محور خمش، بال محسوب می‌شود که تحت اثر تنش فشاری یکنواخت قرار دارد و باید با توجه به ردیف (۵) جدول (۱۳-۶) کنترل شود و وجوه عمود بر محور خمش، جان محسوب می‌شود که تحت اثر تنش فشاری متغیر در طول خود قرار دارد و باید با توجه به ردیف (۶) جدول (۱۳-۶) کنترل شود. با توجه به این توضیحات در ابتدا مقاطع (الف) و (ب) را برای حالت فشردگی لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد کنترل می‌کنیم:

مقطع (الف) در حالت شکل‌پذیری زیاد:

بال‌های مقطع (الف): $\lambda_f = \frac{۴۵۰ - ۲\times ۷}{۲۵} = ۱۷/۴ > \lambda_{hd} = ۰/۵۵\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$

$\lambda_{hd} = ۰/۵۵\sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۵}{۱/۱۵\times ۲۴۰}} = ۱۴/۸۱ \Rightarrow$ مقطع (الف) فشرده لرزه‌ای با شکل‌پذیری زیاد نیست

حال مقطع (الف) را برای شکل‌پذیری متوسط کنترل می‌کنیم:

$\lambda_f = ۱۷/۴ < \lambda_{md} = ۱/۰\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = \sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۵}{۱/۱۵\times ۲۴۰}} = ۲۶/۹۲ \qquad OK$

با توجه به اینکه بال‌های مقطع (الف) محدودیت شکل‌پذیری متوسط را پاس کرد، لاغری جان‌های این مقطع را برای شکل‌پذیری متوسط کنترل می‌کنیم:

$C_a = ۰/۱۵ > ۰/۱۱۳ \Rightarrow \lambda_{md} = ۲/۶۱(۱ - ۰/۴۹C_a)\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \geq ۱/۵۶\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$

$\Rightarrow \lambda_{md} = ۲/۶۱(۱ - ۰/۴۹\times ۰/۱۵)\sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۵}{۱/۱۵\times ۲۴۰}} = ۶۵/۰۹ > ۱/۵۶\sqrt{\frac{۲\times ۱۰^۵}{۱/۱۵\times ۲۴۰}} = ۴۱/۹۹$

جان‌های مقطع (الف): $\lambda_w = \frac{۵۰۰ - ۲\times ۲۵}{۷} = ۶۴/۳ < \lambda_{md} = ۶۵/۰۹ \qquad OK$

بنابراین مقطع (الف) محدودیت فشردگی لرزه‌ای با شکل‌پذیری متوسط را پاس می‌کند.

مقطع (ب) در حالت شکل‌پذیری زیاد:

بال‌های مقطع (ب): $\lambda_f = \frac{۳۵۰ - ۲\times۶}{۲۲} = ۱۵/۴ > \lambda_{hd} = ۱۴/۸۱$ *Not Good*

ولی بال‌های مقطع (ب) محدودیت فشردگی را برای شکل‌پذیری متوسط پاس می‌کند:

$\lambda_f = ۱۵/۴ < \lambda_{md} = ۲۶/۹۲$ *OK*

حال لاغری جان‌های مقطع (ب) را برای شکل‌پذیری متوسط کنترل می‌کنیم:

$\lambda_w = \frac{۴۰۰ - ۲\times۲۲}{۶} = ۵۹/۳ < \lambda_{md} = ۶۵/۰۹$

بنابراین مقطع (ب) نیز مانند مقطع (الف) محدودیت فشردگی لرزه‌ای با شکل‌پذیری متوسط را پاس می‌کند و بنابراین هر دوی این مقاطع صرفاً در قاب خمشی متوسط مجاز هستند.

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.