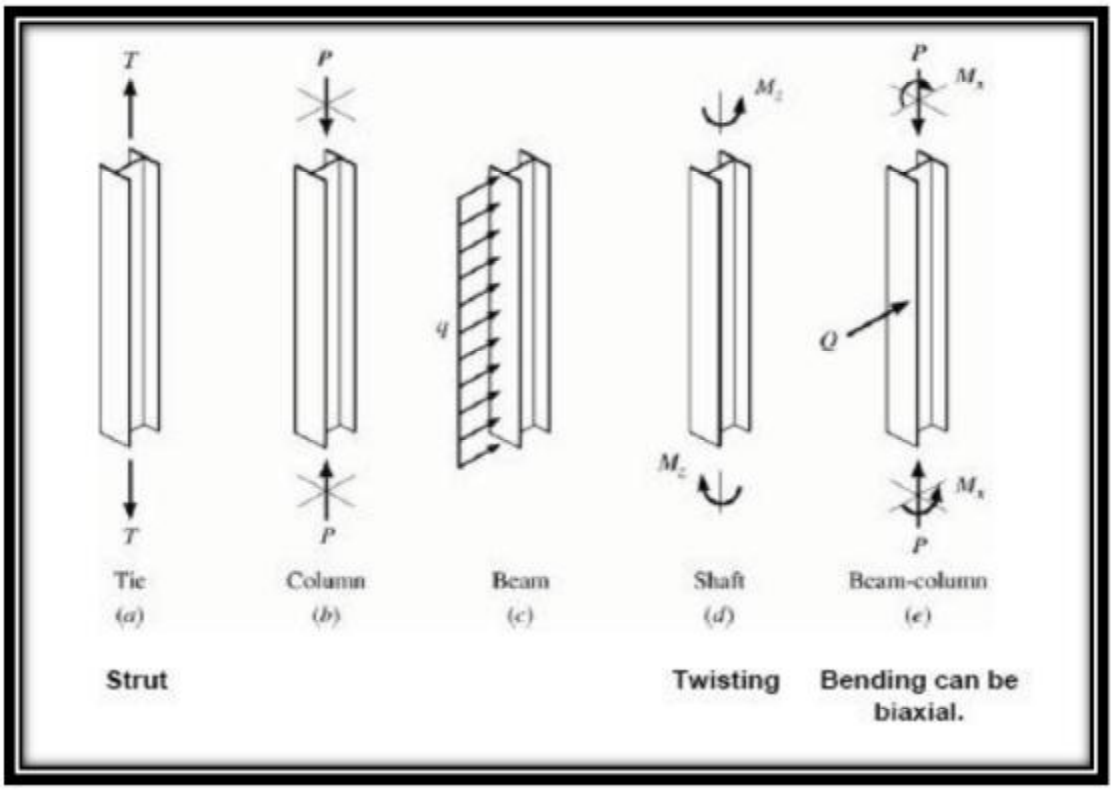
به نام خدا

درسنامه آزمون کارشناس رسمی دادگستری

سازه‌های فولادی و جوش



علی گوهررخی

Gmail: goharrokhi.ali@gmail.com

Telegram: @ali_goharr

استفاده با ذکر منبع مجاز است

الزامات عمومی

۱۰-۱-۲-۱ حالت‌های حدی

حالت‌های حدی به شرایطی اطلاق می‌شوند که اگر تمام یا بخشی از سازه به هر یک از آن حالت‌ها برسند، قادر به انجام وظایف خود نبوده و از حیز انتفاع خارج می‌شوند. مطابق این مبحث، تعیین پیکربندی، بعد و مشخصات اجزای سازه باید به نحوی باشد که مجموعهٔ سازه، شامل اعضا و اتصالات آن، تحت شرایط بارگذاری محتمل، به هیچ یک از حالت‌های حدی زیر نرسد.

الف- حالت‌های حدی مقاومت

حالت‌های حدی مقاومت حالت‌هایی هستند که مجموعهٔ سازه، شامل اعضا و اتصالات آن، ضمن حفظ انسجام خود، تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری تا رسیدن به آن حالت‌ها (نظیر تسلیم، گسیختگی، کمانش و ...) از مقاومت کافی و شکل‌پذیری مورد نیاز برخوردار بوده و پس از رسیدن به هر یک از آنها پایداری خود را از دست می‌دهند.

ب- حالت‌های حدی بهره‌برداری

حالت‌های حدی بهره‌برداری حالت‌هایی هستند که مجموعهٔ سازه، شامل اعضا و اتصالات آن، تا رسیدن به آن حالت‌ها (نظیر قابلیت نگهداری، حفظ ظاهر، دوام، آسایش و ...) وظایف خود را به طور کامل انجام می‌دهند و پس از رسیدن به هر یک از آنها قادر به انجام وظایف خود نخواهند بود.

۱۰-۱-۲-۲ طراحی بر اساس حالت‌های حدی مقاومت

۱۰-۱-۲-۲-۱ در این مبحث روش طراحی مورد استفاده برای تامین الزامات حالت‌های حدی مقاومت، روش ضرایب بار و مقاومت می‌باشد و از طریق دو سری ضرایب ایمنی به شرح زیر در تحلیل و طراحی منظور می‌گردد.

الف- اولین دستهٔ ضرایب ایمنی از طریق تشدید ضرایب بارها منظور می‌شود و مقدار آنها به میزان عدم اطمینان در برآورد مقدار بارها بستگی دارد. مقدار این دسته از ضرایب ایمنی باید مطابق با ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان باشد.

ب- دومین دستهٔ ضرایب ایمنی از طریق ضرایب کاهش مقاومت (ϕ) منظور می‌شود و مقدار آنها با توجه به دقت تئوری مورد استفاده در ضوابط طراحی، تغییرات احتمالی مشخصات مصالح و ابعاد مقطع تعیین می‌گردد. مقادیر ضرایب کاهش مقاومت (ϕ) در فصل ۱۰ ۲ این مبحث ارائه شده است.

۱۰-۱-۲-۲-۲ معیارهای طراحی برای تامین الزامات حالت‌های حدی مقاومت باید مطابق جدول ۱۰-۱-۲-۱ در نظر گرفته شوند.

goharr

جدول ۱۰-۱-۲-۱ معیارهای طراحی برای تامین الزامات حالت‌های حدی مقاومت

ردیف	معیار طراحی
۱	حالت‌های حدی مقاومت از قبیل تسلیم، گسیختگی، کمانش، تشکیل مکانیزم خرابی (فروریختگی) [۲]
۲	ناپایداری کلی از قبیل ناپایداری در برابر واژگونی و یا ناپایداری به علت تغییرمکان جانبی زیاد [۱]
۳	گسیختگی به علت خستگی [۲]
۴	کنترل آب جمع‌شدگی [۳]
۵	کنترل برای اثرهای خوردگی [۴]
۶	کنترل برای شرایط آتش‌سوزی [۵]
۷	کنترل برای برد شکنی [۱]
۸	کنترل اتصال فولاد و بتن در قطعات مختلط [۱۰]

۱۰-۱ ۲ ۲-۳ در روش ضرایب بار و مقاومت، طراحی اعضای مختلف سازه باید چنان صورت گیرد که مقاومت طراحی (ϕR_n) بزرگتر یا مساوی مقومت مورد نیاز (R_u) باشد. یعنی:

$$R_u \le \phi R_n \qquad (۱۰-۱-۲-۱)$$

که در آن:

- R_u = مقاومت مورد نیاز که منظور از آن همان نیروهای داخلی موجود در مقطع مورد نظر تحت اثر ترکیبات مختلف بارگذاری است. در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، نیروهای داخلی باید بر اساس تحلیل سازه تحت اثر ترکیبات بارگذاری نظیر حالت‌های حدی مقاومت مندرج در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان تعیین شود.
- ϕ = ضریب کاهش مقاومت. مقادیر ضریب کاهش مقاومت در فصل ۱۰-۲ این مبحث ارائه شده است.
- R_n = مقاومت اسمی عضو که مقادیر آن در فصل ۱۰-۲ این مبحث ارائه شده است.

$$\gamma \times Q \le \varphi \times R$$

ضریب افزایش بار — بار — ضریب کاهش مقاومت — مقاومت

۱۰-۱-۲-۳ طراحی بر اساس حالت‌های حدی بهره‌برداری

۱۰-۱-۲-۳-۱ مجموعهٔ سازه، شامل اعضا و اتصالات آن، باید از نظر قابلیت بهره‌برداری مورد کنترل و طراحی قرار گیرند. در این مبحث الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری در بخش ۱۰ ۲ ۱۰ ارائه شده است. ترکیبات بارگذاری نظیر حالت‌های حدی بهره‌برداری باید مطابق با ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان باشد. در این حالت هیچگونه ضرایب کاهش مقاومت در نظر گرفته نمی‌شود.

۱۰-۱-۲-۳-۲ معیارهای طراحی برای تامین الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری باید مطابق جدول ۱۰-۱-۲-۲ در نظر گرفته شوند.

جدول ۱۰-۱-۲-۲ معیارهای طراحی برای تامین الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری*

ردیف	معیار طراحی
۱	کنترل تغییرشکل‌ها
۲	کنترل تغییرمکان‌های جانبی
۳	کنترل ارتعاش
۴	ملاحظات پیش‌خبر
۵	ملاحظات آثار ناشی از حرکت باد
۶	کنترل اثرات انبساط و انقباض
۷	کنترل لغزش اتصالات

۱۰-۱-۲-۴ از نظر این مبحث، مدول الاستیسیته (ضریب ارتجاعی) مصالح فولادی (E) مساوی ۲×۱۰^{۵} مگاپاسکال در نظر گرفته می‌شود.

۱۰-۱-۲-۳ از نظر این مبحث، ضریب پواسون مصالح فولادی (ν) مساوی ۰/۳ در نظر گرفته می‌شود.

goharrkhi.

۱۰-۱-۵-۲ سیستم واحدهای مورد استفاده برای کمیت‌های مختلف در این مبحث، سیستم آحاد بین‌المللی (SI) می‌باشد. واحدهایی که در این مبحث مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

الف) برای طول متر (m) و میلی‌متر (mm)

ب) برای سطح مترمربع (m^2) و میلی‌متر مربع (mm^2)

پ) برای بارهای متمرکز و وزن، نیوتن (N) و کیلونیوتن (kN) و برای بارهای گسترده خطی، کیلو نیوتن بر متر (kN/m) و برای بارهای گسترده در سطح، کیلونیوتن بر متر مربع (kN/m^2) برابر با یک کیلوپاسکال (kPa)

ت) برای جرم مخصوص (جرم واحد حجم)، کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3)

ث) برای وزن مخصوص (وزن واحد حجم)، کیلونیوتن بر متر مکعب (kN/m^3)

ج) برای تنش‌ها و مقاومت‌ها، مگاپاسکال (MPa)، معادل یک نیوتن بر میلی‌متر مربع، یا مگانیوتن بر مترمربع (MN/m^2)

چ) برای لنگرها، کیلونیوتن متر (kN.m)

ح) برای دما، درجه سلسیوس (°C)

- **تنش تسلیم (جاری شدگی) و تنش گسیختگی فولادهای ساختمانی:**

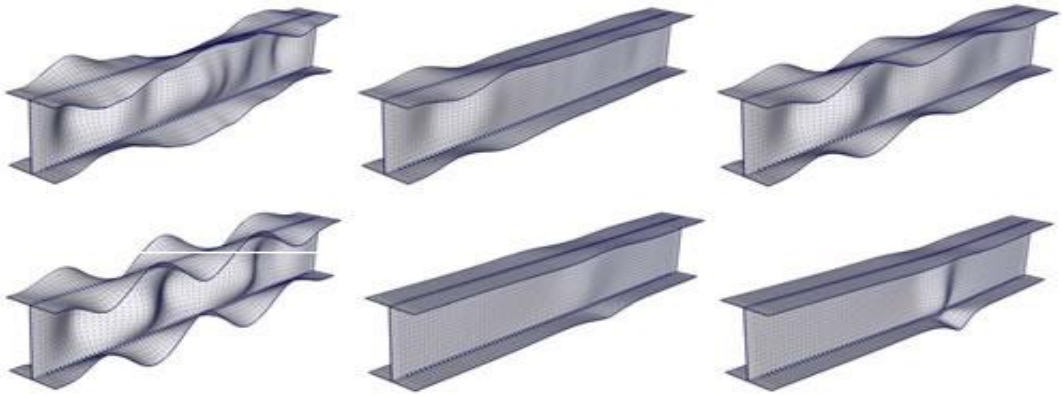
$$ST37: \quad F_y = 240\ Mpa \quad , \quad F_u = 370\ Mpa$$

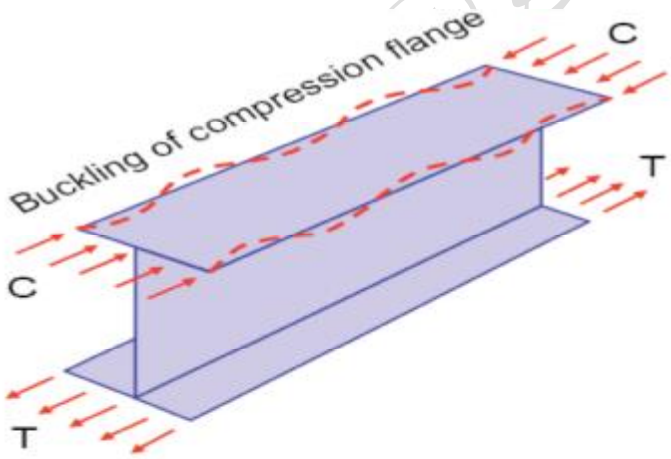
$$ST52: \quad F_y = 360\ Mpa \quad , \quad F_u = 520\ Mpa$$

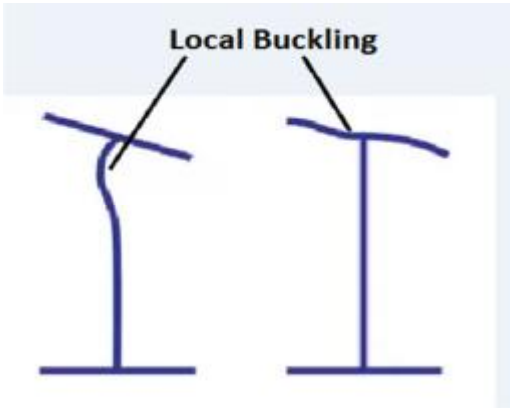
goharrokhali@gmail.com

کمانش موضعی

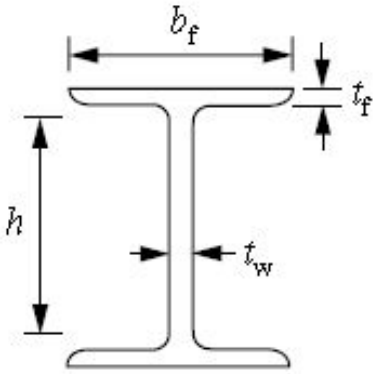
در مقاطع فولادی که اعضای آن از ورقهای نازک تشکیل شده است، ممکن است عضو دچار کمانش کلی نشده ولی اجزای تشکیل دهنده آن که همان ورقهای نازک اند مانند شکل زیر دچار پدیده ناپایداری یا کمانش موضعی شوند.



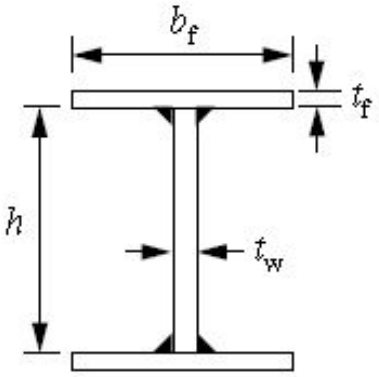




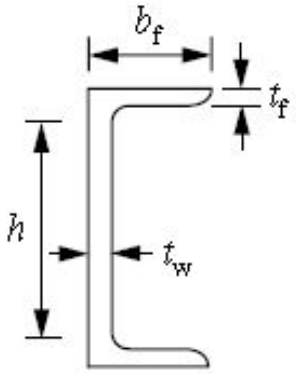
۷ نحوه محاسبه نسبت عرض به ضخامت در مقاطع فولادی



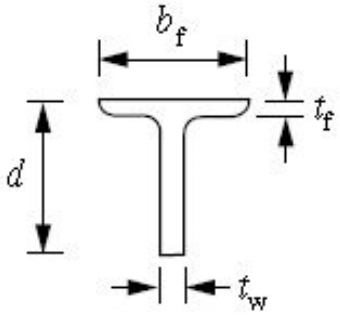
Flange: $b_f/2t_f$
Web: h/t_w



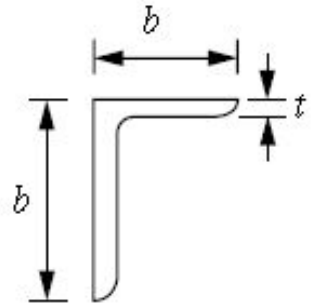
Flange: $b_f/2t_f$
Web: h/t_w



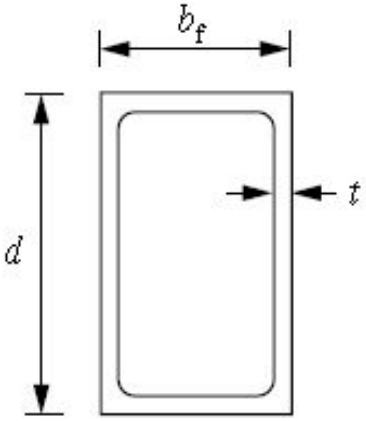
Flange: b_f/t_f
Web: h/t_w



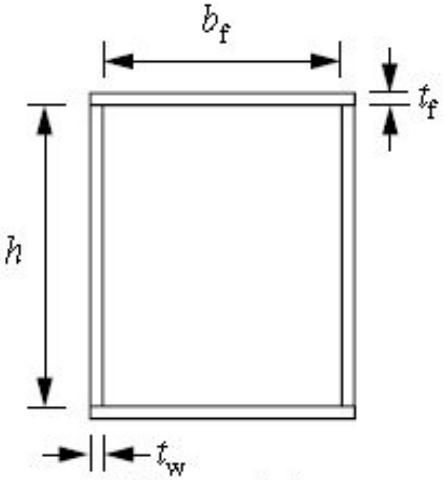
Flange: $b_f/2t_f$
Stem: d/t_w



Both legs: b/t



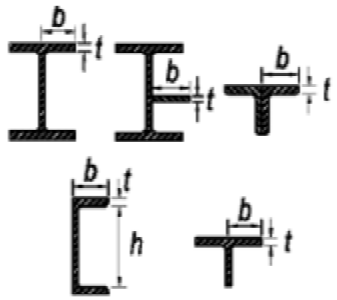
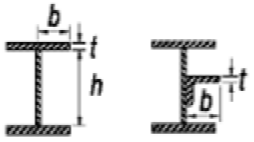
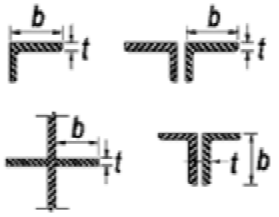
Flange: $(b_f - 3t)/t$
Web: $(d - 3t)/t$



Flange: b_f/t_f
Web: h/t_w

بند 10-2-2-2-1 طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای فشار محوری:

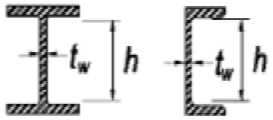
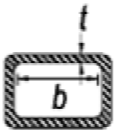
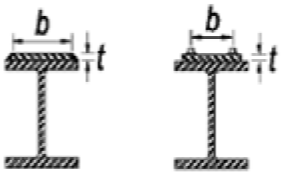
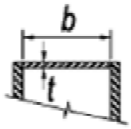
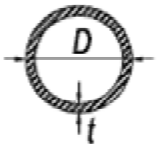
جدول ۱۰-۲-۲-۱ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر فشار محوری

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، λ_r (لاغر/غیرلاغر)	مثال‌های نمونه
۱	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ورق‌های بیرون‌زده از مقاطع I شکل نورد شده، ساق‌های برجستهٔ جفت نبشی با اتصال پیوسته، بال‌های مقاطع ناودانی و بال‌های مقاطع سپری	b/t	[a] $۰/۵۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق و ورق‌ها یا ساق‌های نبشی بیرون زده از مقاطع I شکل ساخته شده از ورق	b/t	[b] $۰/۶۴\sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$	
۳	ساق‌های نبشی‌های تک، ساق‌های نبشی‌های دوبل دارای جداکننده (لقمه) و سایر اجزای تقویت نشده	b/t	$۰/۴۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۴	تیغه (جان) مقاطع سپری	d/t	$۰/۷۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

[b] مقدار K_c از رابطهٔ زیر تعیین می‌گردد.

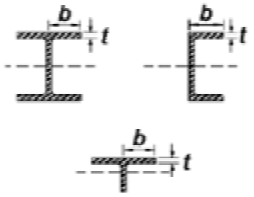
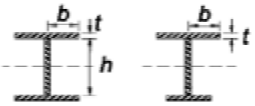
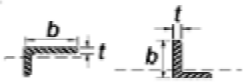
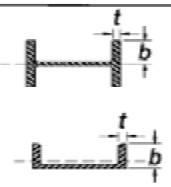
$$۰/۳۵ \le K_c = \frac{۴}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \le ۰/۷۶$$

جدول ۱۰-۲-۲-۲ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر فشار محوری

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت λ_r (لاغر/غیرلاغر)	مثال‌های نمونه
۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$1/49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۶	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t	$1/40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۷	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	b/t	$1/40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۸	سایر اجزای فشاری تقویت شده	b/t	$1/49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۹	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	D/t	$0/11\frac{E}{F_y}$	

بند 10-2-2-2-2 طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای خمش:

جدول ۱۰-۲-۲-۳ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
			λ_p (غیرفشرده/فشرده)	λ_r (لاغر/غیرفشرده)	
۱۰	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ناودانی‌ها و سپری‌ها	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۱	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95\sqrt{\frac{K_c E}{F_L}}$ [b]. [c]	
۱۲	ساق‌های نبشی‌های تک	b/t	$0.54\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۳	بال‌های کلیه مقاطع I شکل و ناودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۴	تیغه (جان) مقاطع سپری	d/t	$0.84\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

[b] مقدار K_c از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$0.35 \le K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \le 0.76$$

[c] برای خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با جان فشرده و غیرفشرده مقدار F_L از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

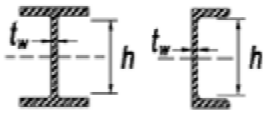
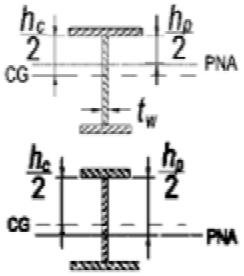
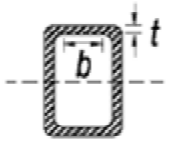
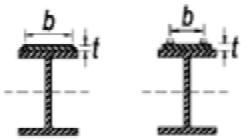
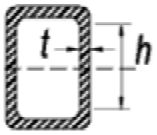
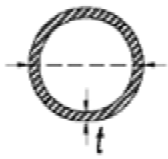
- برای $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \ge 0.7$ $\quad F_L = 0.7F_y$
- برای $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$ $\quad F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}}F_y \ge 0.5F_y$

که در آن:

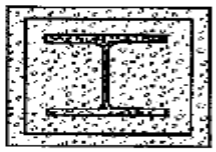
S_{xt} = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی

S_{xc} = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

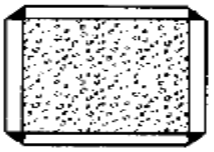
جدول ۱۰-۲-۲-۴ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
			λ_p (غیرفشرده/ فشرده)	λ_r لاغر / غیرفشرده)	
۱۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$۳/۷۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۶	جان مقاطع I شکل با یک محور تقارن	h_c/t_w	$\frac{\frac{h_c}{h_p}\sqrt{\frac{E}{F_y}}}{(۰/۵۴\frac{M_p}{M_y}-۰/۰۹)^۲} \le \lambda_r$ [d]	$۵/۷۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۷	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t	$۱/۱۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۸	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	b/t	$۱/۱۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۱/۴۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۹	جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS) و جعبه‌ای	h/t	$۲/۴۲\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷۰\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲۰	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	D/t	$۰/۰۷\frac{E}{F_y}$	$۰/۳۱\frac{E}{F_y}$	

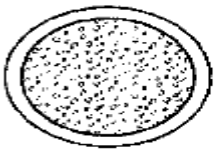
بند 10-2-8-1-3 طبقه‌بندی مقاطع فولادی پر شده با بتن از منظر کمانش موضعی:



(الف) عضو محوری مختلط محاط در بتن

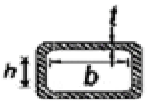
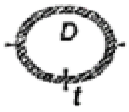


(ب) عضو محوری مختلط قوطی شکل پرشده با بتن

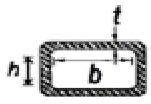
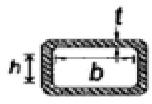
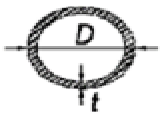


(پ) عضو محوری مختلط لوله پرشده با بتن

جدول ۱۰-۲-۸-۱ نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع مختلط پر شده با بتن در اعضای تحت اثر فشار محوری

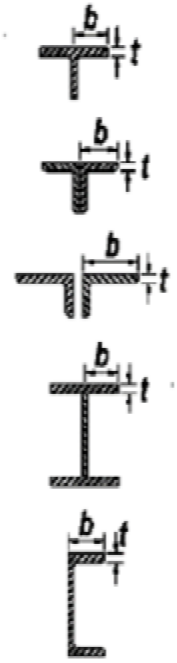
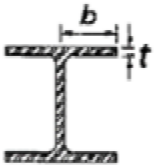
حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		حداکثر نسبت مجاز	مقاطع فولادی نمونه
			λ_p (غیرفشرده/فشرده)	λ_r (لاغر/غیرفشرده)		
۱	بال‌ها و جان‌های مقاطع توخالی مستطیلی نورد شده و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t و h/t	$۲/۲۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۳\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	مقاطع تو خالی دایره‌ای شکل	D/t	$۰/۱۵\frac{E}{F_y}$	$۰/۱۹\frac{E}{F_y}$	$۰/۳۱\frac{E}{F_y}$	

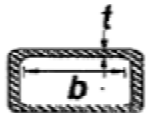
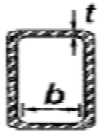
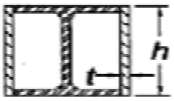
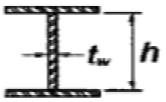
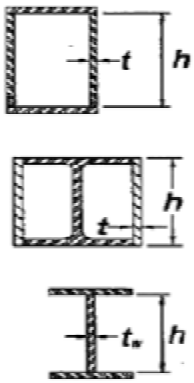
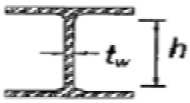
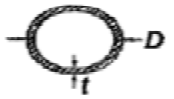
جدول ۱۰-۲-۸-۲ نسبت های پهنا به ضخامت اجزای مقطع مختلط پر شده با بتن در اعضای تحت اثر خمش

حالت	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		حداکثر نسبت مجاز	مقاطع فولادی نمونه
			λ_p (غیرفشرده/فشرده)	λ_r (لاغر/غیرفشرده)		
۱	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی نورد شده و مقاطع جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	b/t	$۲/۲۶\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۳\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	جان‌های مقاطع تو خالی مستطیلی نوردشده و مقاطع جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	h/t	$۳\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$۵/۷\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۳	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	D/t	$۰/۰۹\frac{E}{F_y}$	$۰/۳۱\frac{E}{F_y}$	$۰/۳۱\frac{E}{F_y}$	

بند 10-3-4 الزامات لرزه‌ای کمانش موضعی:

جدول ۱۰-۳-۴-۱ محدودیت نسبت پهنا به ضخامت در اجزای فشاری 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 مشکی	۱	بال‌های مقاطع I شکل نوردشده و ساخته‌شده از ورق، ناودانی‌ها، سپری‌ها، ساق نبشی‌های تک و نبشی‌های دوبل با فاصله و ساق برجسته نبشی‌های دوبل به هم چسبیده	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.3\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۲	بال‌های مقاطع شمع‌های H شکل	b/t	کاربرد ندارد	$0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۳	تیغه (جان) مقاطع سپری	b/t	$0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.3\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [1]	

اجزای با دو لبه متکی	۴	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)	b/t	$0.64\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [۳]	$0.55\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [۲]	
		بال‌های مقاطع قوطی شکل ساخته‌شده از ورق	b/t			
		ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی‌شده وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌رود.	d/t			
	۵	جان مقاطع I شکل نوردشده و ساخته‌شده از ورق وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌روند.	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۶	جان مقاطع I شکل نورد شده و ساخته شده از ورق وقتی به عنوان تیر یا ستون به کار می‌روند	h/t_w	برای $C_a \le 0.125$: $2.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1-0.93C_a)$ برای $C_a > 0.125$: $0.77\sqrt{\frac{E}{F_y}}(2.93-C_a) \ge 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ که در آن: $C_a=\frac{P_u}{\phi_c P_y}$	برای $C_a \le 0.125$: $2.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1-2.75C_a)$ برای $C_a > 0.125$: $1.12\sqrt{\frac{E}{F_y}}(2.33-C_a) \ge 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ که در آن: $C_a=\frac{P_u}{\phi_c P_y}$	
		ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی شده وقتی به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند	h/t			
		جان مقاطع I شکل قوطی شکل ساخته شده از ورق هرگاه به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند	h/t			
	۷	جان مقاطع شمع‌های H شکل	h/t_w	$0.94\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	کاربرد ندارد.	
	۸	جان مقاطع لوله‌ای	D/t	$0.038\frac{E}{F_y}$	$0.044\frac{E}{F_y}$ [۴]	
	۹	بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی‌شکل‌پرشده با بتن	b/t	$1.4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	۱۰	جداره‌های مقاطع توخالی دایره‌ای شکل‌پرشده با بتن	D/t	$0.076\frac{E}{F_y}$	$0.15\frac{E}{F_y}$	

طراحی اعضای کششی

۷ انواع کنترل اعضای کششی

در اعضای کششی 4 کنترل باید انجام شود.

1) تسلیم در مقطع کلی
2) گسیختگی در سطح مقطع خالص و مؤثر (مقطع سوراخ دار)
3) برش قالبی در محل سوراخ ها
4) لاغری عضو کششی

۷ تعیین مقاومت کششی

$$P_u \leq \emptyset_t P_n$$

- برای حالت حدی تسلیم در مقطع کل که هدف از اعمال آن جلوگیری از افزایش طول بیش از حد عضو است :

$$P_u \leq \phi_t F_y A_g \quad ; \quad \phi_t = 0.90$$

- برای حالت حدی گسیختگی در مقطع خالص در صورتی که سوراخهای پیچ یا پرچ وجود داشته باشد :

$$P_u \leq \phi_t F_u A_n \quad ; \quad \phi_t = 0.75$$

$$P_u \leq \phi_t F_u A_e \quad ; \quad \phi_t = 0.75$$

- مقاومت طراحی عضو کمترین مقدار از دو مقدار فوق است.

در روابط فوق:

A_g= سطح مقطع کلی عضو

A_n= سطح مقطع خالص عضو

A_e= سطح مقطع خالص موثر عضو

F_y= تنش تسلیم فولاد

F_u= تنش کششی نهایی فولاد

P_n= مقاومت کششی اسمی عضو

$\phi_t P_n$= مقاومت کششی طراحی عضو

goharr@gmail.com

v سطح مقطع عضو کششی

تعیین سطح خالص (A_n):

الف) تعیین سطوح خالص روی مسیرهای قائم:

$$A_n = A_g - n.(D.t)$$

ب) تعیین سطوح خالص روی مسیرهای مایل:

$$A_n = A_g - n.(D.t) + \sum_{i=1}^{j} \frac{S_i^2}{4 \times g_i}.t_i$$

$$s = \frac{p}{2}$$

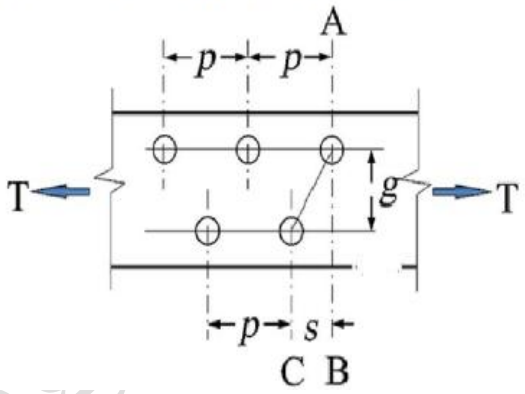
n = تعداد پیچ

j = تعداد مسیر های مایل

t_i = ضخامت ورق در مسیر مایل

S_i = فاصله افقی دو پیچ در مسیر مایل

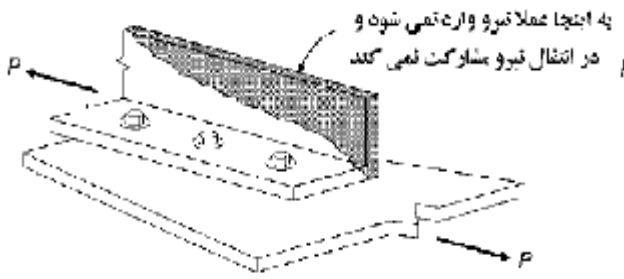
g_i = فاصله قائم دو پیچ در مسیر مایل

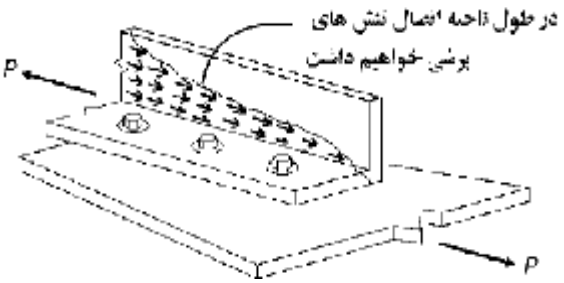


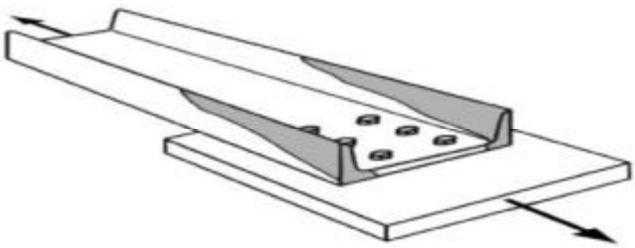
ü نکته مهم در قطر سوراخ: **قطر اسمی سوراخ + 2mm = قطر محاسباتی سوراخ**

v سطح مقطع خالص مؤثر و ضریب تأخیر برش

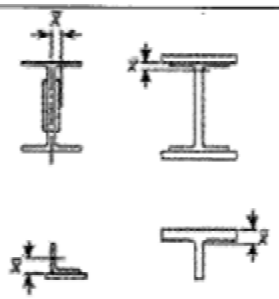
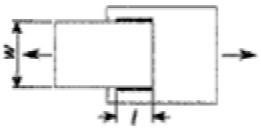
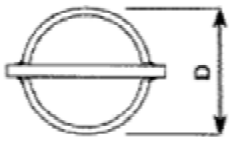
$$A_e = UA_n$$

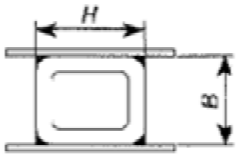






جدول۱۰-۲-۳-۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اعضای کششی

حالت	شرح	ضریب تأخیر برش، U	مثال
۱	کلیهٔ اعضای کششی که در آنها بار به وسیله پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶)	$U = ۱$	
۲	کلیهٔ اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به وسیله پیچ یا جوش طولی و یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$	
۳	کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط به وسیله جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = ۱$ A_n= سطح مقطع قسمت (یا قسمتهای) اتصال یافته	
۴	تسمه‌های کششی که با جوش‌های طولی در دو لبهٔ موازی (در انتهای قطعه) متصل‌اند. در این حالت طول جوش‌ها نباید از فاصلهٔ عمودی بین آن‌ها (پهنای تسمه) کمتر باشد.	$w \le l < ۱/۵w \dots U = ۰/۷۵$ $۱/۵w \le l < ۲w \dots U = ۰/۸۷$ $l \ge ۲w \dots U = ۱/۰$	
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور، که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$D \le l < ۱/۳D \dots U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$ $l \ge ۱/۳D \dots U = ۱/۰$ $\bar{x} = \frac{D}{\pi}$	
۶	در مقاطع قوطی شکل	چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم‌محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد. ۱	$l \ge H \dots U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^۲ + ۲BH}{۴(B+H)}$

		چنانچه اتصال به کمک دو ورق اتصال به کمک دو ورق اتصال و در دو وجه صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$l \geq H \quad ... U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^۲}{۴(B+H)}$	
۷	در نیمرخ‌های I نورد شده و سپری T بریده شده از آن‌ها و همچنین نیمرخ‌های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد.	در اتصالات جوشی و پیچی در صورتی که اتصال از طریق بال‌ها برقرارشده و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$b_f \geq \frac{۲}{۳}d \implies U = ۰/۹$ $b_f < \frac{۲}{۳}d \implies U = ۰/۸۵$	
		در اتصالات جوشی و پیچی در صورتی که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = ۰/۷$	
۸	در نیمرخ‌های تک‌نبشی در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد.	چنانچه حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = ۰/۸$	
		چنانچه دو یا سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.	$U = ۰/۶$	

در این جدول:

l= طول اتصال مساوی فاصله اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی

w= پهنای ورق

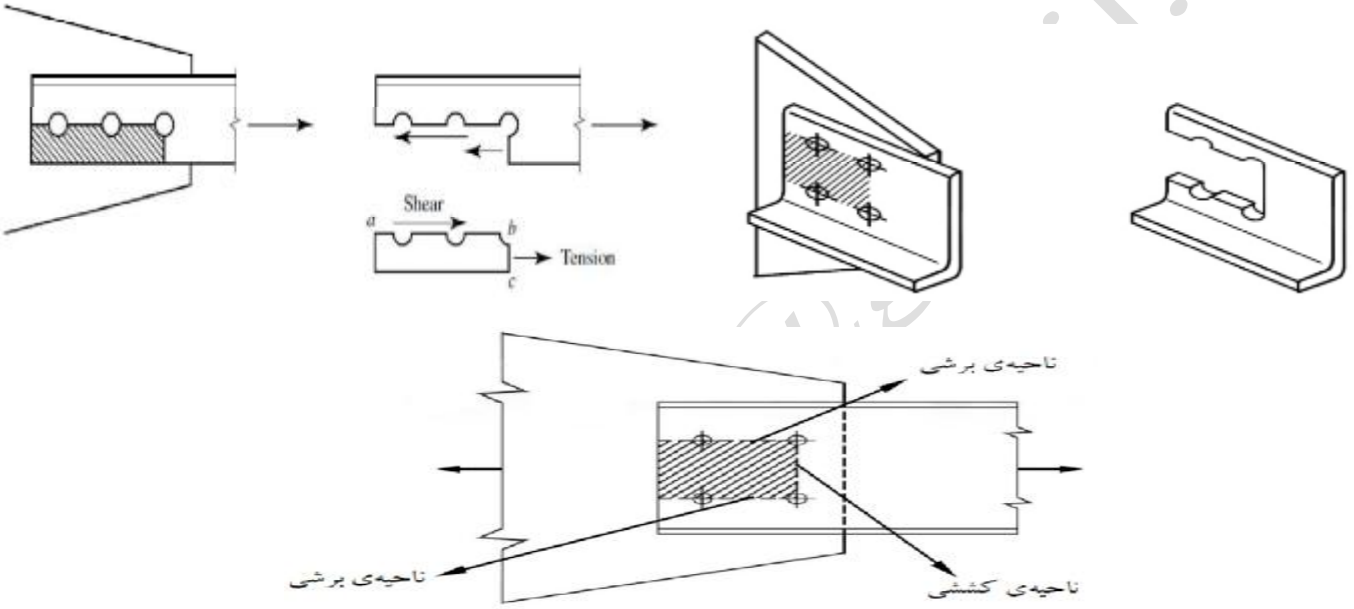
$\bar{x}$= خروج از مرکزیت اتصال

B= پهنای کلی مقاطع قوطی شکل (عمود بر صفحهٔ اتصال)

H= ارتفاع کلی مقاطع قوطی شکل (در صفحهٔ اتصال)

۷ کنترل برش قالبی (زمانی که قسمتی از یک بال زبانه شده است)

امکان وقوع این نوع خرابی، در اتصال انتهای تیرها که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، در اتصالات اعضای کششی و یا در ورقهای اتصال انتهایی خرپاها و مهاربندها وجود دارد .در این مکانیزم، ترکیبی از گسیختگی های برشی و کششی در صفحات اتصال موجب قلوه کن شدن قسمتی از اتصال و در پی آن جدایی عضو از اتصال می شود. عضو جدا شده از اتصال، دیگر توانایی باربری نداشته و ممکن است با تحمیل نیروهایی به سایر اعضا، موجب خرابی آنها شود. این نکته نشان دهنده اهمیت زیاد کنترل گسیختگی قالبی در اتصال است.



مقاومت طراحی برش قالبی = $\emptyset R_n$

$$\emptyset = 0.75 \quad , \quad R_n = min\begin{cases} 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \\ 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt} \end{cases}$$

که در آن:

A_{gv} = سطح مقطع کلی تحت برش

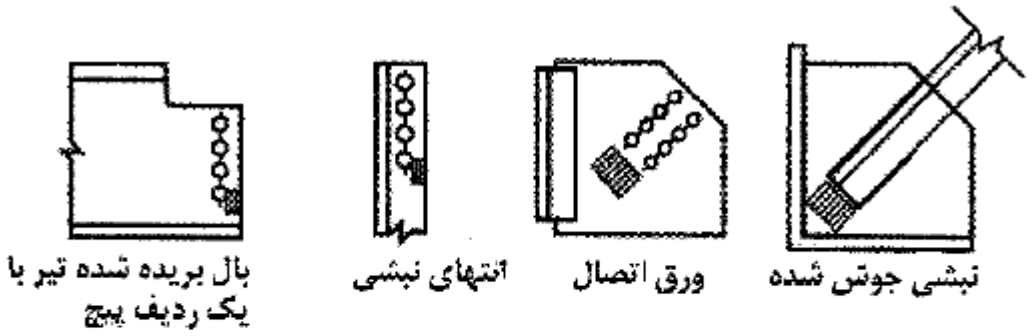
A_{nt} = سطح مقطع خالص تحت کشش

A_{nv} = سطح مقطع خالص تحت برش

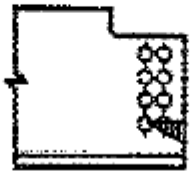
F_y = تنش تسلیم فولاد

F_u = تنش کششی نهایی فولاد

U_{bs} = ضریب توزیع تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود



(a) حالت‌هایی که در آنها U_{bs}=۱/۰ در نظر گرفته می‌شود



بال بریده شده تیر با دو ردیف پیچ

(b) حالت‌هایی که در آنها U_{bs}=۰/۵ در نظر گرفته می‌شود

۷ کنترل لاغری اعضای کششی

آیین نامه برای کنترل و محدود کردن انعطاف پذیری و خیز اعضای کششی تحت اثر وزن خود، لاغری آنها را به مقدار زیر محدود می کند:

$$\frac{L}{r_{min}} \leq 300$$

L = طول عضو

r_{min} = شعاع ژیراسیون حداقل

goharrokhi.ali@gmail.com

طراحی اعضای فشاری (ستون ها)

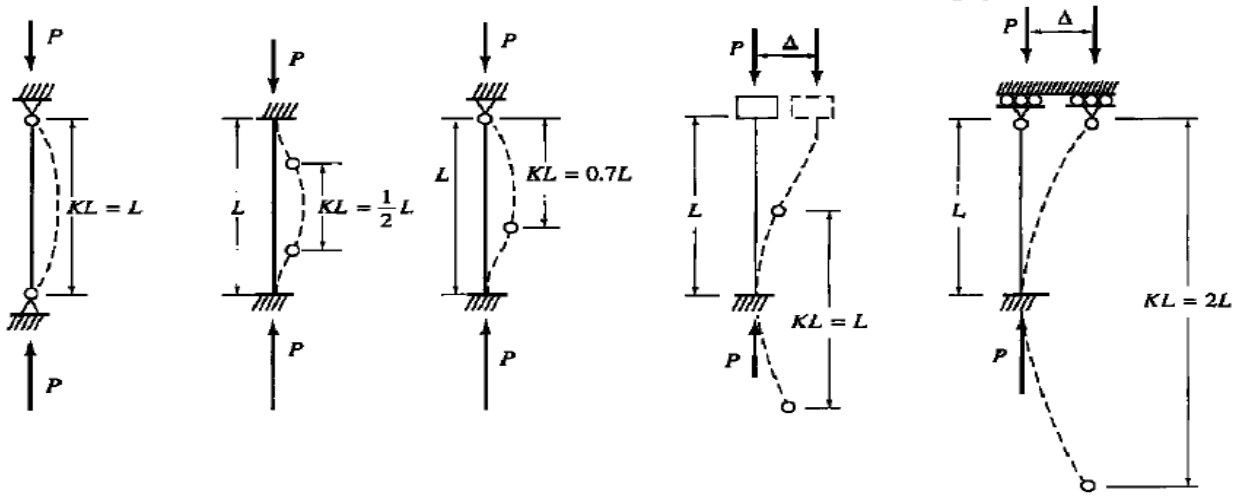
۷ محدودیت ضریب لاغری در ستون ها:

نسبت $\frac{KL}{r}$ در یک ستون را با λ نمایش داده و به آن ضریب لاغری می گویند. محدودیت این ضریب عبارتست از:

$$r = \text{شعاع ژیراسیون} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

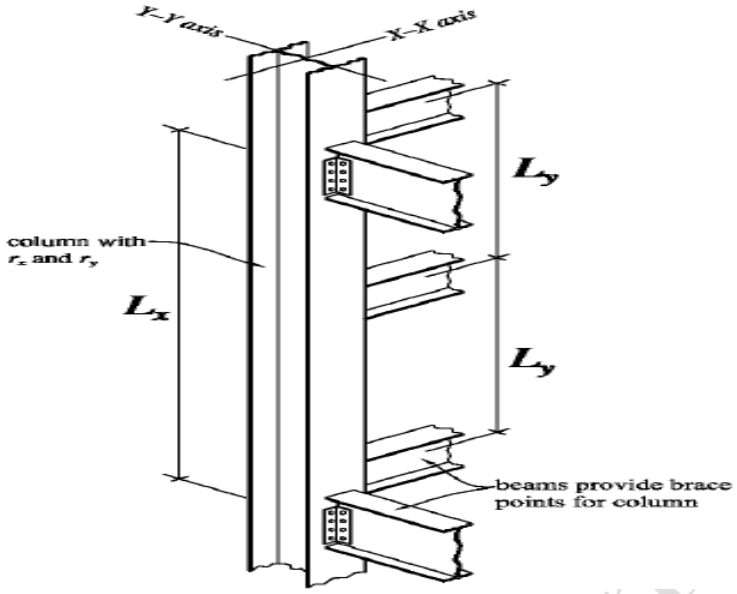
$$\lambda_{max} = max\{\lambda_x, \lambda_y\} = max\left\{\left(\frac{KL}{r}\right)_x, \left(\frac{KL}{r}\right)_y\right\}$$

$$\lambda_{max} \leq 200$$



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
تئوریک	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
طراحی	0.65	0.80	1.0	1.2	2.10	2.0

نکته: در آزمون از ضریب تئوریک استفاده می شود.



۷ مقاومت فشاری اعضای فشاری (ستون ها)

$$P_u \leq \emptyset_c P_n$$

$$\emptyset_c = 0.9 \ , \ P_n = F_{cr} A_g$$

P_u = مقاومت مورد نیاز عضو (نیروی فشاری ضریبدار)

P_n = مقاومت فشاری اسمی عضو

$\varphi_c P_n$ = مقاومت فشاری طراحی عضو

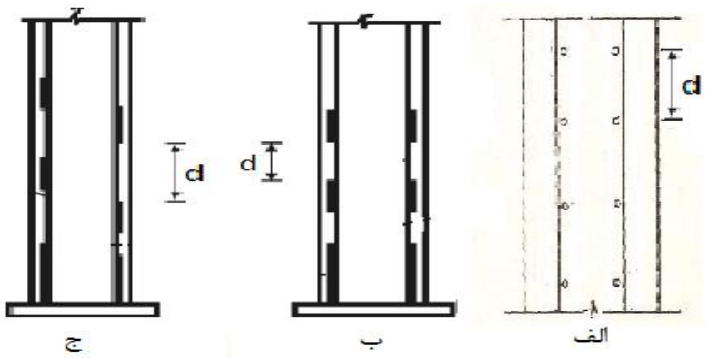
F_{cr} = تنش بحرانی کمانشی

A_g = سطح مقطع کلی عضو

$$\begin{cases} \text{اگر } \lambda \leq 4.71\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} \quad \left(\text{یا } \dfrac{F_y}{F_e} \leq 2.25\right) & F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \\ \text{اگر } \lambda > 4.71\sqrt{\dfrac{E}{F_y}} \quad \left(\text{یا } \dfrac{F_y}{F_e} > 2.25\right) & F_{cr} = 0.877 F_e \end{cases}$$

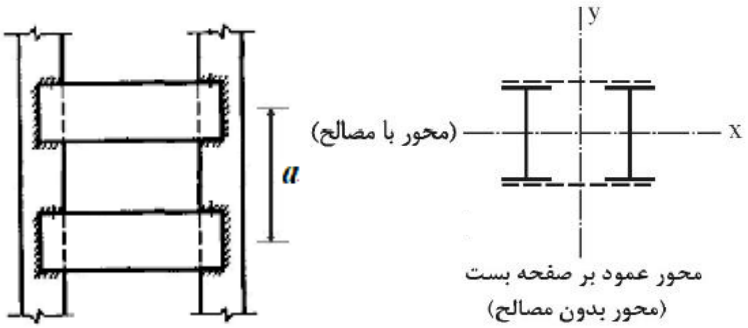
goharrokhi.ali@gmail.com

۷ اعضای فشاری ساخته شده (اعضای فشاری مرکب با ورق‌های سراسری):



حداکثر فاصله طولی بین پیچ‌ها یا جوش‌ها (d) بستگی به ضخامت ورق دارد.

۷ اعضای فشاری ساخته شده (اعضای فشاری مرکب با بست‌های موازی (افقی) و مورب):



نکته: حداکثر نسبت لاغری تک ستون عبارتست از:

$$\frac{Ka}{r_i} \leq \frac{3}{4} max\{\lambda_x, \lambda_y\} \qquad K = 1$$

a = فاصله مرکز به مرکز بست‌ها

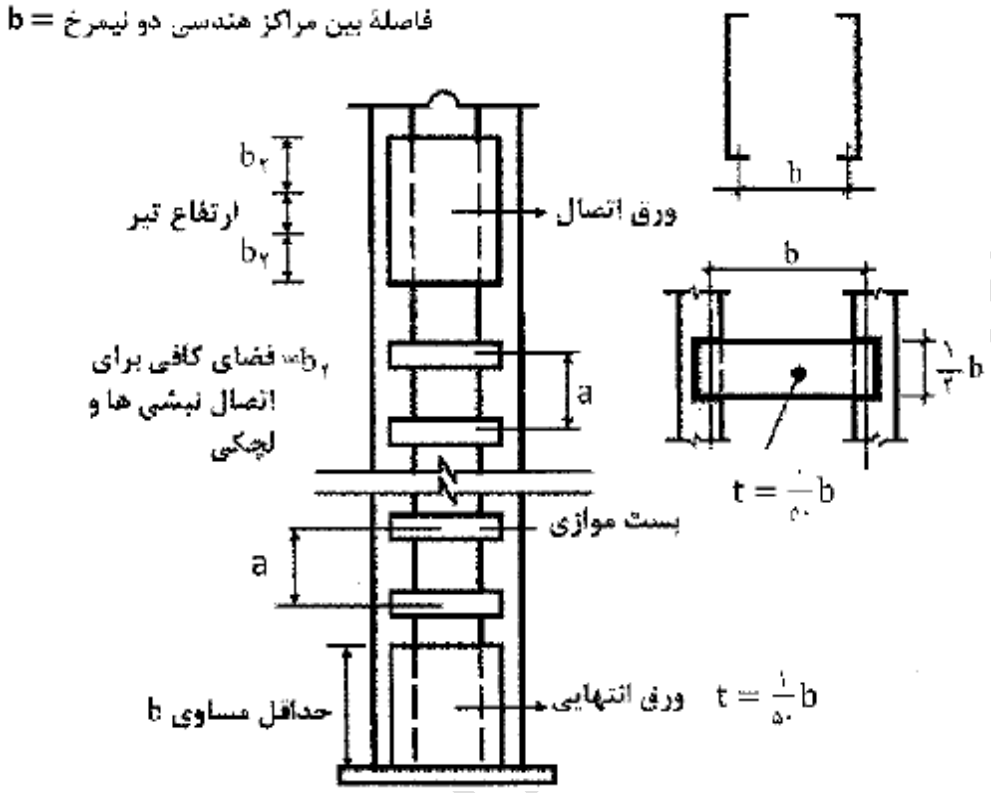
r_i = شعاع ژیراسیون حداقل برای یک پروفیل

λ_x = نسبت لاغری کل مقطع نسبت به محور x

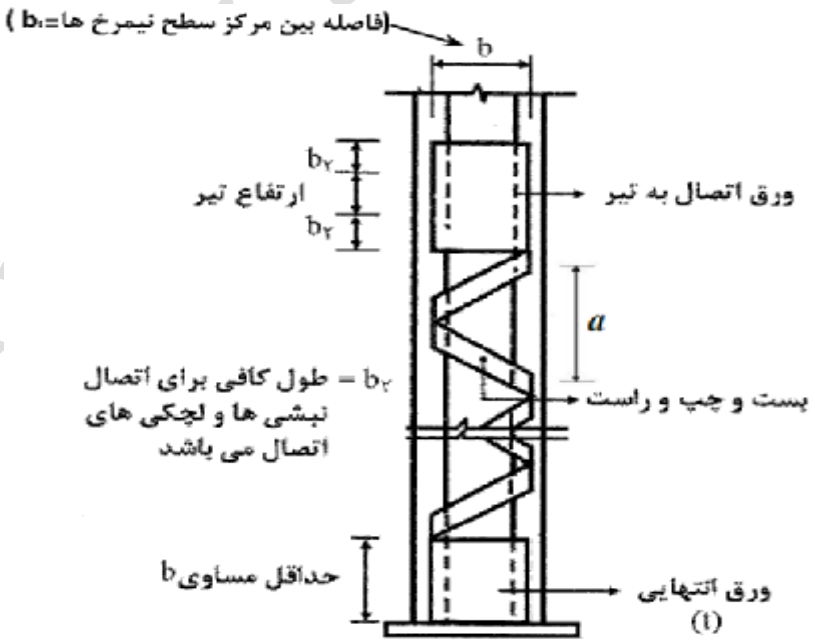
λ_y = نسبت لاغری کل مقطع نسبت به محور y

goharrokh@gmail.com

- **الزامات طراحی بست‌های موازی (افقی) :**



- **الزامات طراحی بست‌های مورب :**



gohar...com

- **طراحی بست ها**:

نکته: نیروی برشی در راستای محور با مصالح (لنگر خمشی حول محور بدون مصالح) باعث ایجاد نیرو در بست‌ها می‌شود.

ü نیروی برشی طراحی بست‌ها عبارتست از:

$$V = 0.02P_u + V_{u,col}$$

V = نیروی برشی طراحی بست‌ها

P_u = مقاومت فشاری موجود عضو فشاری (نیروی محوری نهایی ستون)

$V_{u,col}$ = نیروی برشی ستون در راستای محور با مصالح

ü نیروی برشی و لنگر خمشی وارد به **هر بست افقی** عبارتست از:

$$V_u = \frac{V \times a}{2b}$$

$$M_u = \frac{V \times a}{4}$$

V_u = نیروی برشی وارد به هر بست

M_u = لنگر خمشی وارد به هر بست

a = فاصله مرکز به مرکز بست‌ها

b = فاصله بین مرکز هندسی دو پروفیل

ü نیروی فشاری وارد به **هر بست مورب** عبارتست از:

$$P_u = \frac{V}{n \times sin\alpha}$$

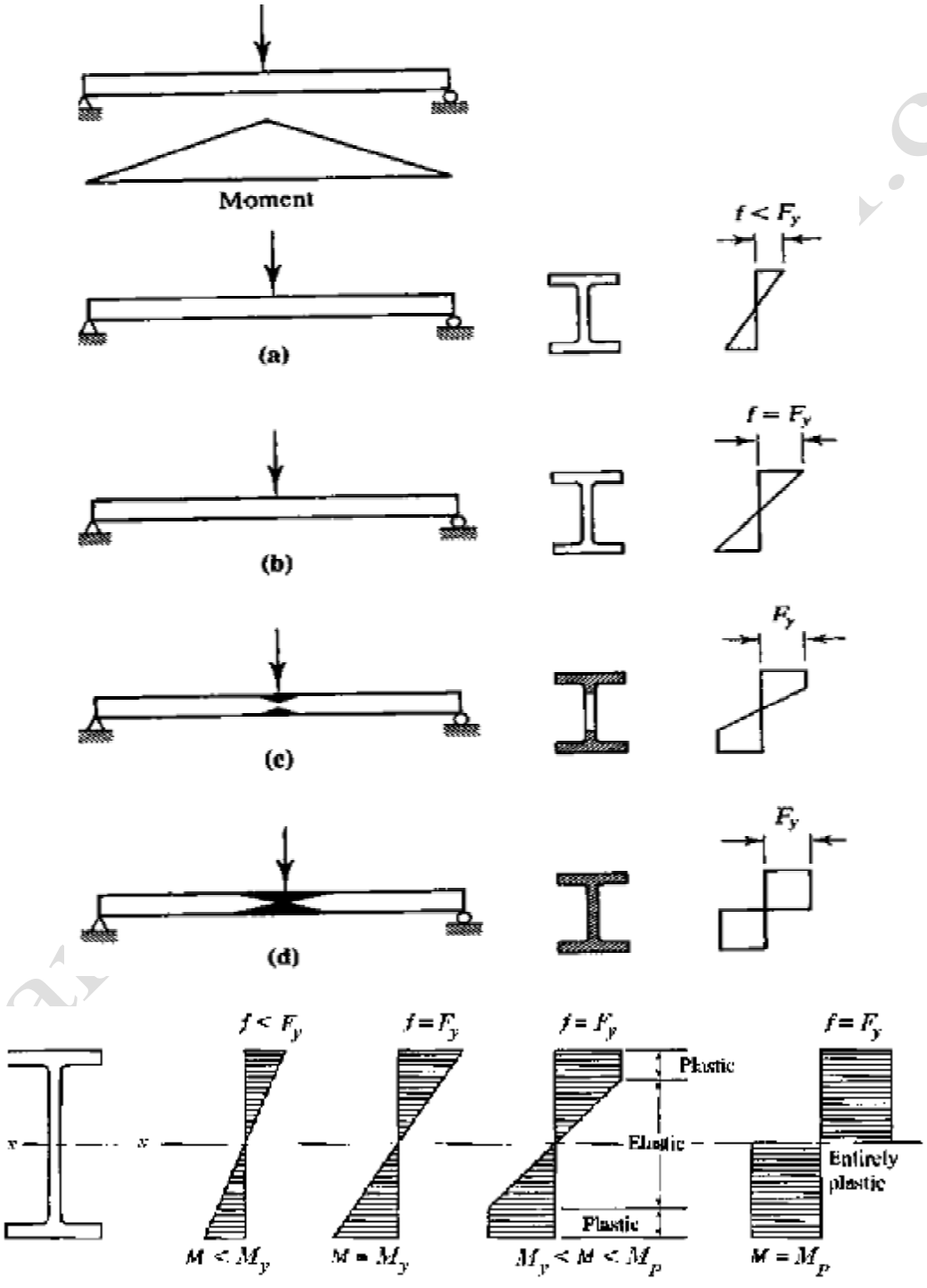
α = زاویه بست با امتداد طولی ستون

$$n = \begin{cases} 2 & \text{بست مورب تکی} \\ 4 & \text{بست مورب ضربدری} \end{cases}$$

goharrokhi.ali@gmail.com

طراحی اعضای خمشی (تیرها)

۷ لنگر های خمشی



M_y : لنگر تسلیم یا لنگر الاستیک، لنگری است که اگر به مقطع وارد شود، اولین تار بالایی و یا پایینی به تنش تسلیم یا جاری شدن (F_y) برسد (لنگر خمشی شروع تسلیم).

$$M_y = \frac{I}{c}F_y = SF_y$$

M_p : لنگر پلاستیک، لنگری است که اگر به مقطع وارد شود کل مقطع به تسلیم یا جاری شدن برسد.

$$M_p = ZF_y$$

S : اساس مقطع الاستیک، عبارتست از نسبت ممان اینرسی (نسبت به تار خنثی) به دورترین تار از تار خنثی ($\frac{I}{c}$).

Z : اساس مقطع پلاستیک، عبارتست از مجموع لنگر استاتیکی برای بخش های فشاری و کششی مقطع نسبت به تار خنثی پلاستیک.

تار خنثی الاستیک: عبارتست از خطی که از مرکز سطح می گذرد و هیچ کرنشی در آن ایجاد نمی شود.

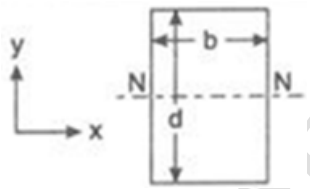
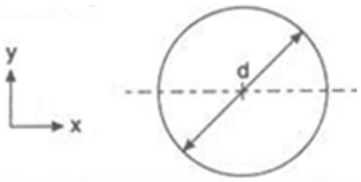
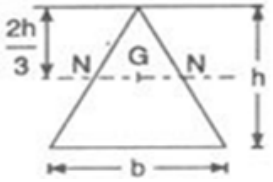
تار خنثی پلاستیک: عبارتست از خطی که مقطع را به دو بخش فشاری و کششی با مساحت برابر تقسیم می کند.

ضریب شکل (SF): عبارتست از نسبت لنگر پلاستیک به لنگر الاستیک.

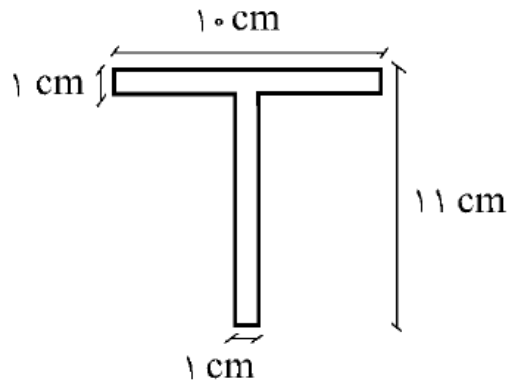
$$SF = \frac{M_p}{M_y} = \frac{ZF_y}{SF_y} = \frac{Z}{S}$$

مقطع	مربع	مستطیل	دایره	دایره توخالی	باکس	I شکل حول محور قوی	I شکل حول محور ضعیف
ضریب شکل (SF)	1.5	1.5	1.7	1.12	1.12	≈ 1.12	≈ 1.55

goharokhi.ali@gmail.com

شکل مقطع	ممان اینرسی	اساس مقطع الاستیک
	$I_x = \frac{bd^3}{12}$ $I_y = \frac{db^3}{12}$	$S_x = \frac{bd^2}{6}$ $S_y = \frac{db^2}{6}$
	$I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$	$S_x = S_y = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi r^3}{4}$
	$I_G = \frac{bh^3}{36}$	$Z_G = \frac{bh^2}{24}$

مثال: لنگر الاستیک و لنگر پلاستیک را در مقطع زیر تعیین کنید. (F_y=2400 kg/cm^2)



$$A = (1 \times 10) \times 2 = 20\ cm^2$$

حول محور قوی (X):

$$y_c = \frac{1 \times 10 \times 5 + 1 \times 10 \times 10.5}{20} = 7.75\ cm$$

$$I_x = \left(\frac{1 \times 10^3}{12} + 1 \times 10 \times (7.75 - 5)^2\right) + \left(\frac{10 \times 1^3}{12} + 1 \times 10 \times (10.5 - 7.75)^2\right) = 235.42\ cm^4$$

$$c = max\big(7.75, (11 - 7.75)\big) = 7.75\ cm$$

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{235.42}{7.75} = 30.38\ cm^3$$

$$y_p \times 1 = \frac{A}{2} = 10 \longrightarrow y_p = 10\ cm$$

$$Z_x = 1 \times 10 \times 5 + 1 \times 10 \times 0.5 = 55\ cm^3$$

$$M_{rx} = 30.38 \times 2400 = 72912\ kg.cm$$

$$M_{px} = 55 \times 2400 = 132000\ kg.cm$$

$$SF_x = \frac{55}{30.38} = 1.81$$

حول محور ضعیف (y):

$$I_y = \frac{1 \times 10^3}{12} + \frac{10 \times 1^3}{12} = 84.17\ cm^4$$

$$c = max\left(\frac{10}{2}, \frac{10}{2}\right) = 5\ cm$$

$$S_y = \frac{I_y}{c} = \frac{84.17}{5} = 16.83\ cm^3$$

$$Z_y = \left(5 \times 1 \times \frac{5}{2} + 10 \times 0.5 \times \frac{0.5}{2}\right) \times 2 = 27.5\ cm^3$$

$$M_{ry} = 16.83 \times 2400 = 40392\ kg.cm$$

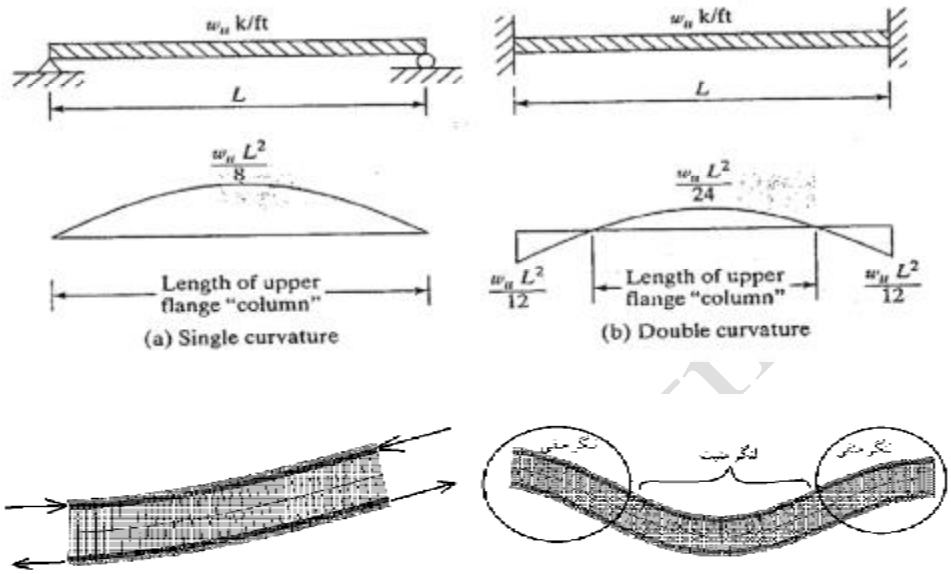
$$M_{py} = 27.5 \times 2400 = 66000\ kg.cm$$

$$SF_y = \frac{27.5}{16.83} = 1.63$$

goharrokhi.ali@gmail.com

۷ ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی یا ضریب یکنواختی نمودار لنگر خمشی (C_b)

در حالاتی که لنگر در طول تیر ثابت نباشد، بالهای تیر تحت فشار متغیر بوده و ممکن است از کشش به فشار تغییر یابند و در نتیجه فقط بخشی از بال تیر تحت فشار باشد (تیربا یک انحنا خمیده نشود).



برای در نظر گرفتن اثر تغییرات لنگر خمشی روی کمانش جانبی پیچشی، در آیین نامه از ضریب اصلاحی تغییرات لنگر C_b استفاده می شود.

این ضریب در حد فاصل دو مقطع مهار شده عبارتست از:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 3$$

در این رابطه:

M_{max} = قدر مطلق حداکثر لنگر در قسمت مهار نشده

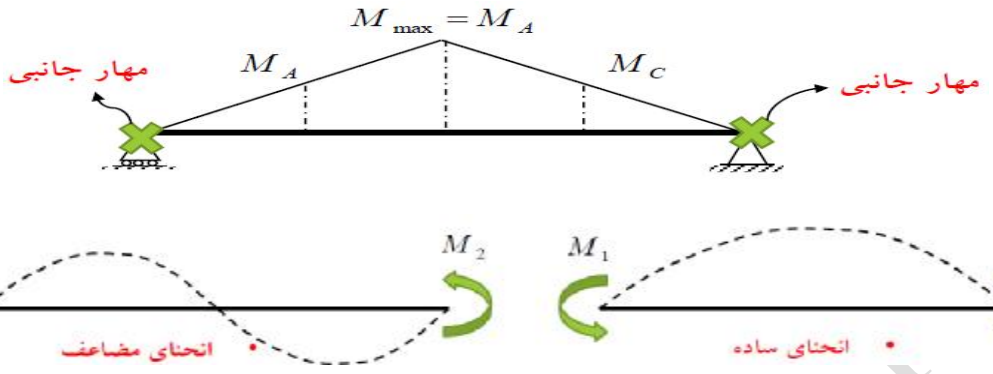
M_A = قدر مطلق لنگر در قسمت $\frac{1}{4}$ مهار نشده

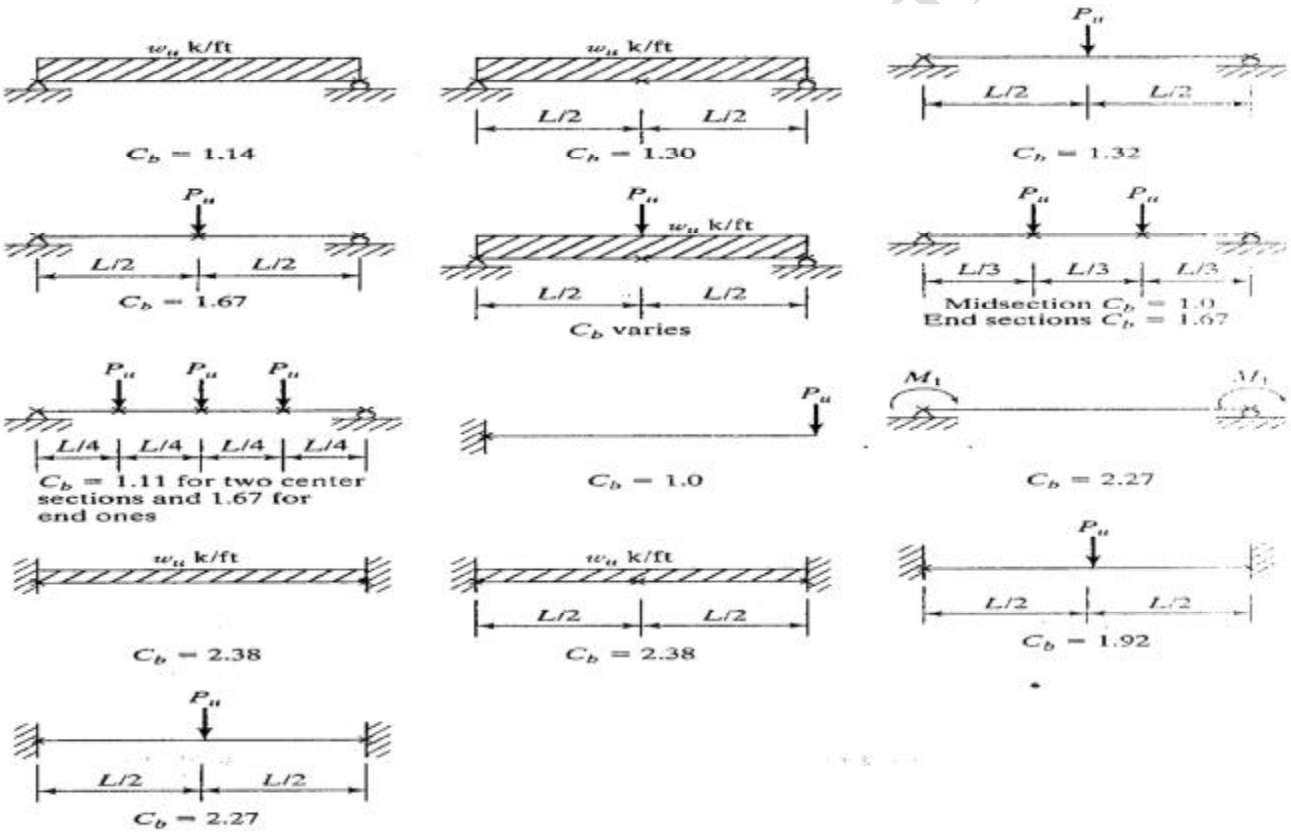
M_B = قدر مطلق لنگر در قسمت $\frac{1}{2}$ مهار نشده

M_C = قدر مطلق لنگر در قسمت $\frac{3}{4}$ مهار نشده

goharrokhi.ali@gmail.com

تبصره: برای تیرهای طره ای که انتهای آزاد آنها مهار نشده است، C_b مساوی یک است.





۷ تعیین مقاومت خمشی

$$M_u \leq \emptyset_b M_n$$

$$\emptyset_b = 0.9$$

M_u = مقاومت خمشی مورد نیاز عضو (لنگر خمشی ضریبدار)

M_n = مقاومت خمشی اسمی عضو

$\varphi_b M_n$ = مقاومت خمشی طراحی عضو

- **کمانش پیچشی- جانبی تیرها**

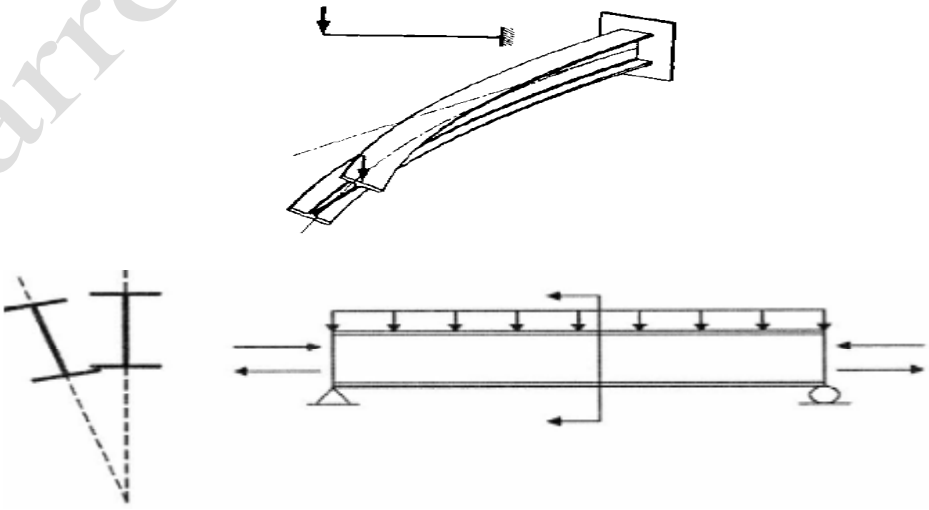
تحت بارهای جانبی وارده قسمت فشاری تیر مانند یک ستون عمل می کند و در صورت عدم تامین مهار جانبی کافی ممکن است کمانه کند. کمانش در راستای قائم اتفاق نمی‌افتد زیرا:

- ممان اینرسی در خمش حول محور افقی x بسیار بیشتر از محور قائم y بوده،
- جان و بال کششی تیر به مثابه تکیه گاه تیر در راستای قائم عمل می کنند.

اما کمانش تیر در راستای افقی امکانپذیر بوده و این پدیده کمانش پیچشی- جانبی نامیده می شود.

این پدیده متقارن نمی باشد زیرا تیر از یک قسمت کششی و یک قسمت فشاری تشکیل شده است، که قسمت کششی کمانه نمی‌کند اما قسمت فشاری در راستای افقی کمانش می‌کند در نتیجه قسمت فشاری به صورت جانبی حرکت کرده و تیر شکل تابیده شده خواهد داشت.

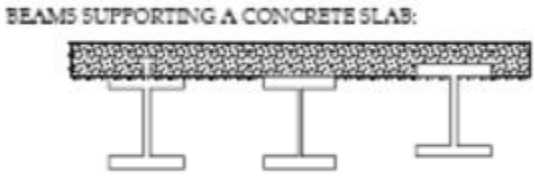
بدیهی است که کمانش جانبی-پیچشی باعث کاهش ظرفیت لنگر خمشی عضو تیر می شود.



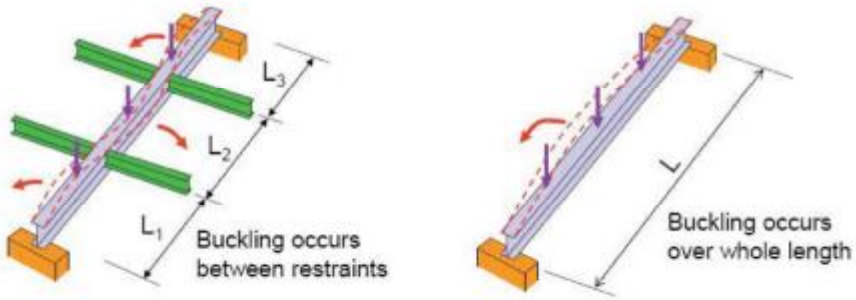
goharrokhi.ali@gmail.com

- **روشهای پیشگیری از کمانش پیچشی- جانبی تیرها**:

الف) تامین مهار جانبی پیوسته با قرار دادن تیر در توده توپر (مثلا قرار دادن تیرچه و بلوک بین دو تیر و انجام بتن-ریزی) یا اتصال پیوسته با دال بتنی کف یا عرشه فلزی

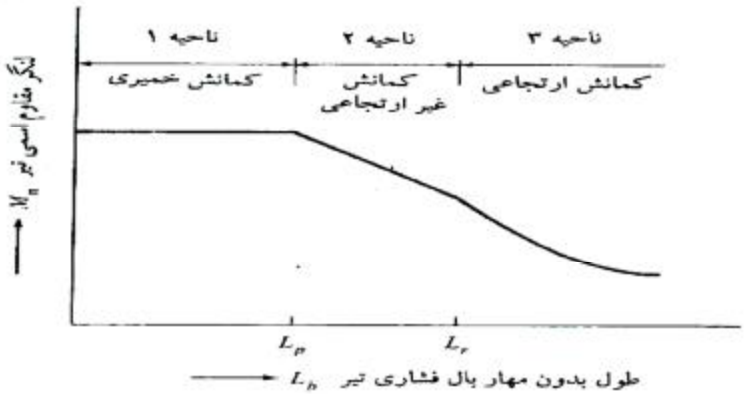


ب) تعبیه مهارهای جانبی برای بال فشاری در فواصل مختلف توسط تیرهای عرضی، قابهای عرضی یا میل مهارها. فاصله بین مهارهای جانبی، طول مهارنشده نامیده شده و با L_b نشان داده می شود.



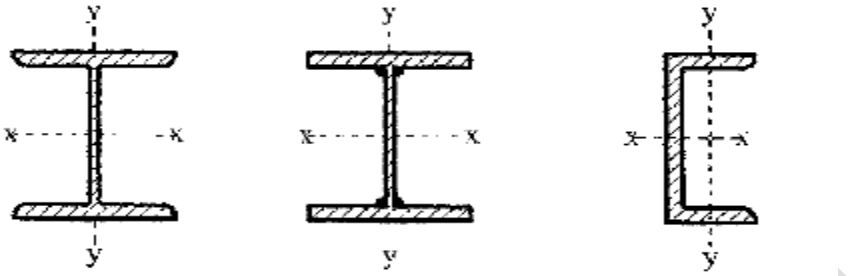
رفتار کمانشی تیرها بر اساس فواصل بین مهارهای جانبی به سه صورت مختلف زیر ممکن است ظاهر شود:

1) ناحیه1: کمانش خمیری یا رفتار پلاستیک
2) ناحیه2: کمانش غیرارتجاعی یا کمانش غیرالاستیک
3) ناحیه3: کمانش الاستیک



goharrokhi.gmail.com

- **مقاومت خمشی مقطع I با دو محور تقارن و فشرده (بال و جان فشرده می باشد) و ناودانی فشرده حول محور قوی**



الف) حالت حدی تسلیم

$$M_n = M_p = Z_x F_y$$

ب) حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی

a) $L_b \le L_p$: (نیازی به کنترل حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی نیست)

$$M_n = M_p = Z_x F_y$$

b) $L_p < L_b \le L_r$:

$$M_n = min \begin{cases} C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\dfrac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\ M_p \end{cases}$$

c) $L_b > L_r$:

$$M_n = min \begin{cases} F_{cr} S_x \\ M_p \end{cases}$$

در روابط بالا:

F_{cr} = تنش کمانش الاستیک پیچشی- جانبی:

L_p = طول مهار نشده عضو و مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش- پیچشی جانبی غیر ارتجاعی:

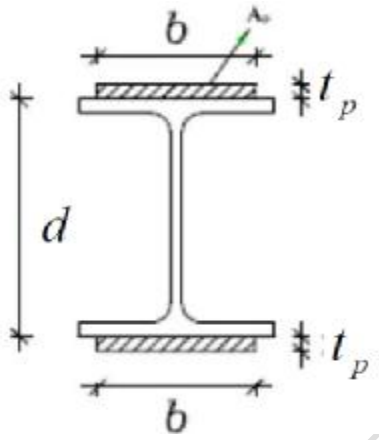
L_r = طول مهار نشده عضو مطابق رابطه زیر و مرز بین حالت حدی کمانش- پیچشی جانبی غیر ارتجاعی و ارتجاعی

۷ ورق های تقویتی در بال مقاطع اعضای خمشی

goharrokhi.ali@gmail.com

دلایل تقویت تیر:

1) موجب صرفه جویی اقتصادی می شود
2) در صورت نبودن پروفیل مورد نظر در کارگاه ، بسیار مناسب است.

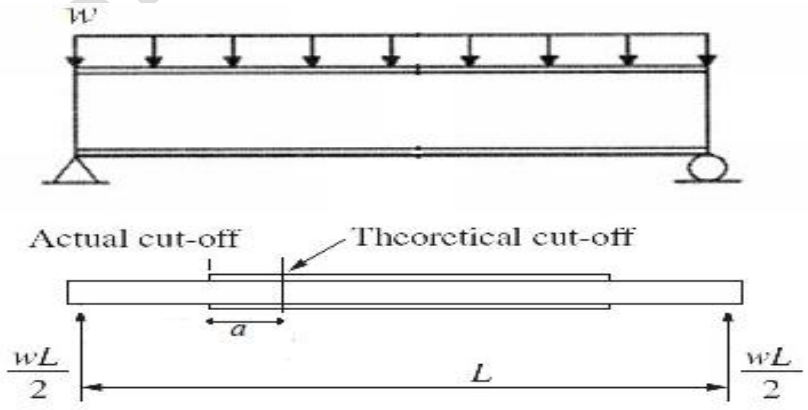


اگر مساحت هرکدام از ورق ها $A_p = b \times t_p$ باشد، داریم:

$$I = I_x + \frac{1}{2}A_p d^2$$
$$S = S_x + A_p d$$
$$Z = Z_x + A_p d$$

- **طول گیرایی ورق تقویتی**

ورق های تقویتی که در تمام طول دهانه ادامه ندارند، باید بعد از نقطه قطع محاسباتی به طول مشخصی ادامه یافته و در این طول بوسیله پیچ های پر مقاومت اصطکاکی یا جوش گوشه به بال متصل شوند. این طول، طول گیرایی **(a)** نامیده می شود که محاسباتی نیست و براساس الزامات آئین نامه تعیین می‌شود.



gohar.khi.ali@gmail.com

طراحی اعضا برای برش

$$V_u \leq \emptyset_v V_n$$

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

V_u = مقاومت برشی مورد نیاز عضو (نیروی برشی ضریبدار)

V_n = مقاومت برشی اسمی عضو

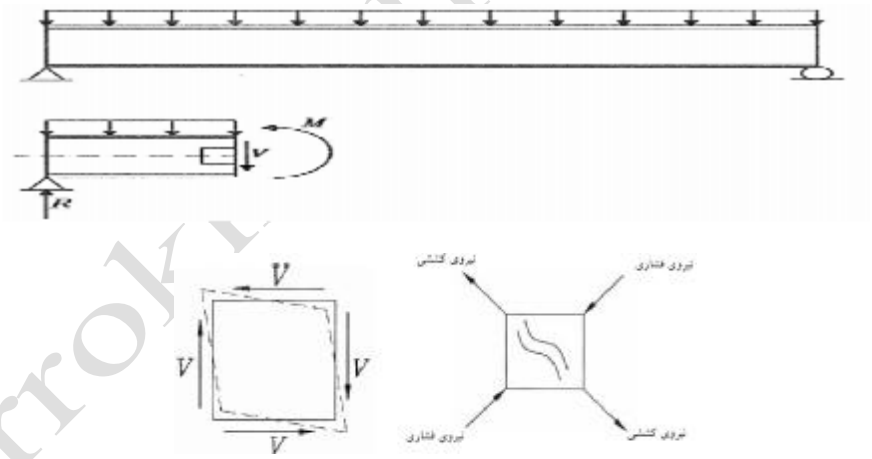
$\varphi_v V_n$ = مقاومت برشی طراحی عضو

φ_v = ضریب کاهش مقاومت برشی (همواره برابر 0.9 بغیر از یک حالت (مقاطع نورد شده در روش بدون توجه به عمل میدان کشش) که در ادامه می آید برابر 1.0)

A_w = مساحت جان مقطع برابر عمق کلی مقطع در ضخامت جان ($A_w=d.t_w$)

C_v = ضریب برشی

این بخش براساس دوروش با و بدون توجه به عمل میدان کشش می‌باشد.



مقاومت برشی بر دو نوع می باشد:

1) مقاومت برشی بر اساس تسلیم فولاد
2) مقاومت برشی بر اساس کمانش جان

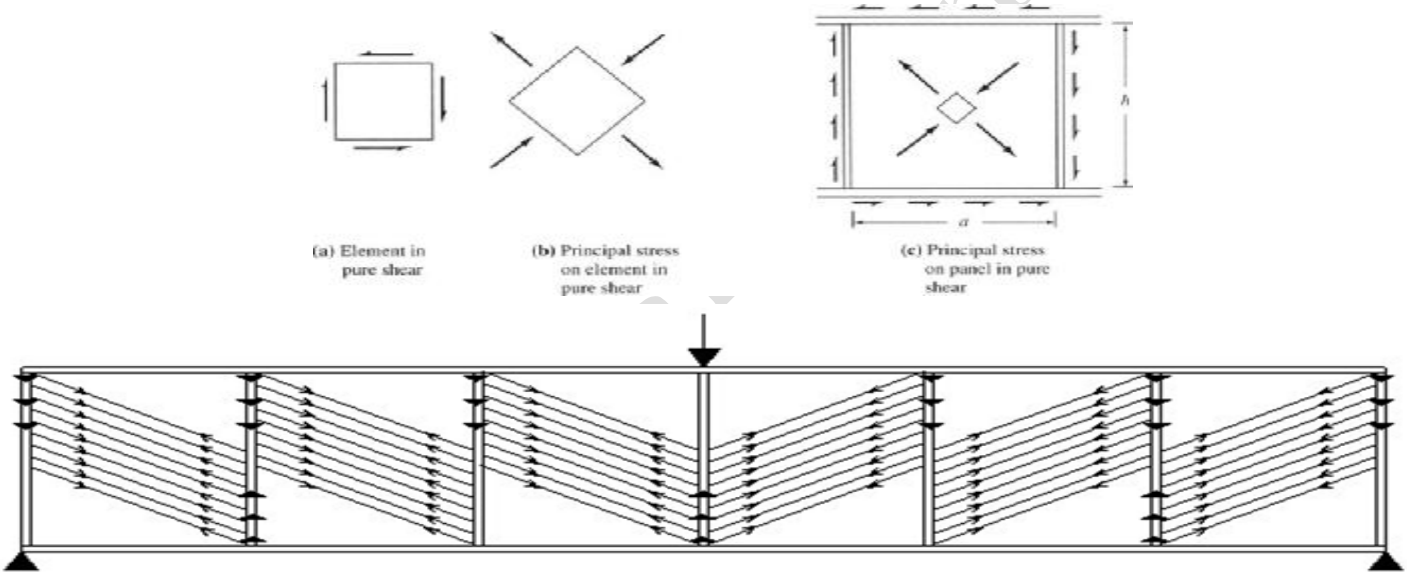
در المان بالا، در راستای قطر المان دو دسته تنش (یکی کششی و دیگری فشاری) وارد می شود. تنش کششی ممکن است باعث گردد جان تسلیم شود. تنش فشاری (برای مقاطع با جان لاغر) باعث می گردد تا از جان کمانش فشاری نماید. بنابراین ممکن است مقطع قبل از رسیدن به ظرفیت خمشی، به دلیل شکست برشی (Shear Failure) از بین برود.

goharrokhi@gmail.com

۷ عمل میدان کششی (Tension-field action)

در صورت استفاده از سخت‌کننده های عرضی در جان تیرورق (با شرایطی که در ادامه آمده است)، آئین نامه های طراحی مقاومت برشی تیرورق را با توجه به عمل میدان کششی افزایش می دهند.

ورق فولادی (جان تیرورق)، تا قبل از کمانش، تحت اثر برش خالص می باشد که تنش های اصلی مربوط به آن در شکل آمده است. در صورتی که نیرو افزایش یابد، به نحوی که تنش فشاری در جان از تنش بحرانی ورق فولادی بیشتر شود ورق فولادی کمانش نموده و جان به صورت چروکیده درخواهد آمد. طبیعتاً ورق فولادی در جهت تنش فشاری، افزایش تنش را نمی تواند تحمل نماید ولی در جهت دیگر که ورق تحت اثر تنشهای کششی قرار دارد، تنشهای مذکور می تواند تا جاری شدن ورق فولادی افزایش یافته و در نتیجه پانل برشی، نیروهای قابل توجهی را تحمل می نماید. پدیده مذکور، پس کمانش در ورق فولادی یا عمل میدان کششی نامیده می شود.



- **محدودیت های استفاده از عمل میدان کشش**

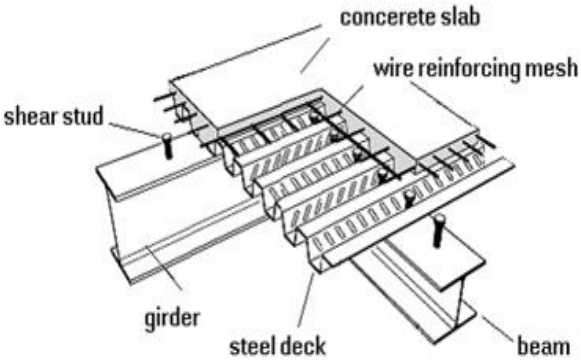
به طور کلی استفاده از عمل میدان کششی برای حالت های زیر مجاز نمی باشد.

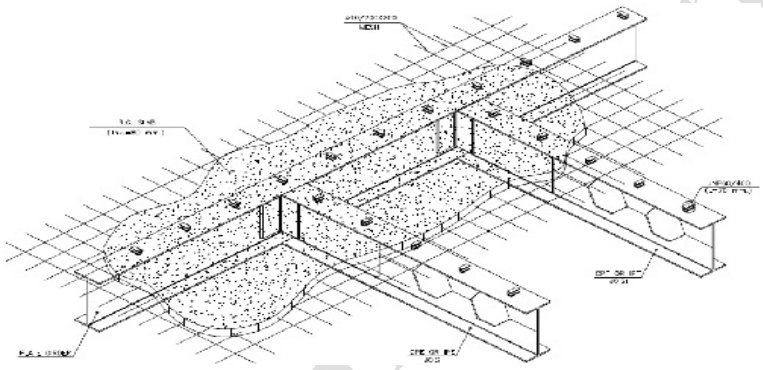
A. تیر دارای سخت کننده عرضی نباشد.

B. در چشمه های دو انتهای تیر.

طراحی اعضای با مقاطع مختلط

۷ دال بتنی متکی بر تیر فولادی (سقف مرکب)





۷ مقاومت خمشی مقاطع مختلط دارای برشگیر

$$M_u \leq \emptyset_b M_n$$

$$\emptyset_b = 0.9$$

M_u = مقاومت خمشی مورد نیاز عضو (لنگر خمشی ضریبدار)

M_n = مقاومت خمشی اسمی

$\varphi_b M_n$ = مقاومت خمشی طراحی

الف) مقاومت خمشی مثبت :

$$M_n = ZF_y$$

ب) مقاومت خمشی منفی :

در این حالت از دال بتنی (به دلیل اینکه بتن در کشش است) صرفه نظر می شود و فقط مقاومت خمشی مقطع فولادی تنها براساس روابط فصل خمش تعیین می گردد.

تذکر: چنانچه لنگر خمشی منفی باشد، دال بتنی بعنوان مهار جانبی بال فشاری محسوب نمی شود.

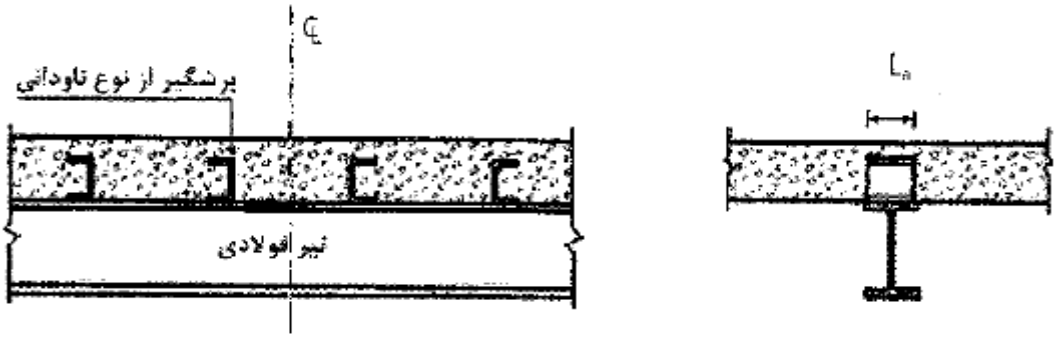
۷ مقاومت برشی مقاطع مختلط دارای برشگیر:

مقاومت برشی طراحی مقاطع مختلط متکی بر دال بتنی و دارای برشگیر باید براساس مقاومت برشی طراحی مقطع فولادی تنها (مطابق روابط مبحث برش) تعیین گردد.

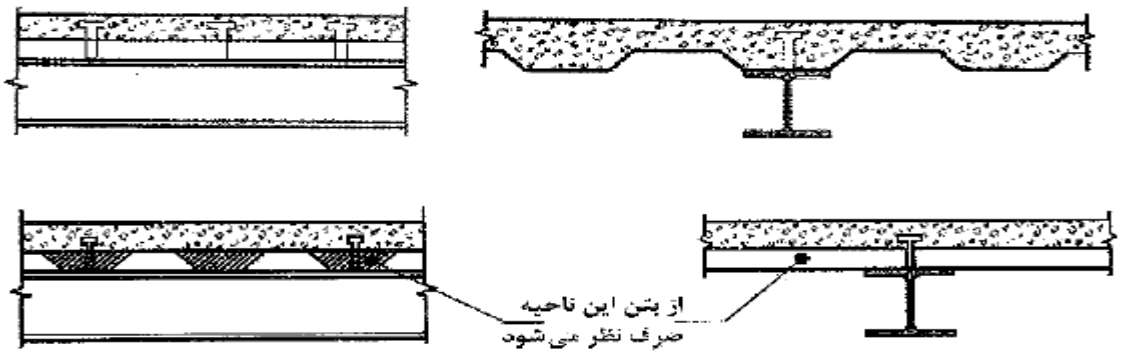
goharrokhi.ali@gmail.com

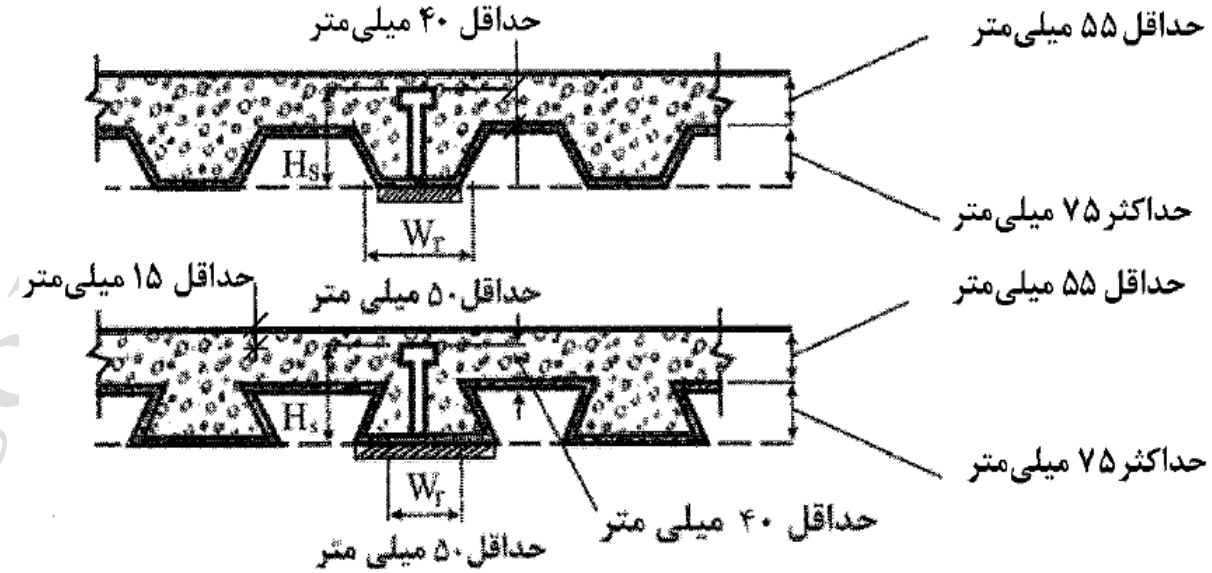
۷ برشگیرها (انتقال بار بین تیر فولادی و دال بتنی):

- **برشگیرهای از نوع ناودانی:**



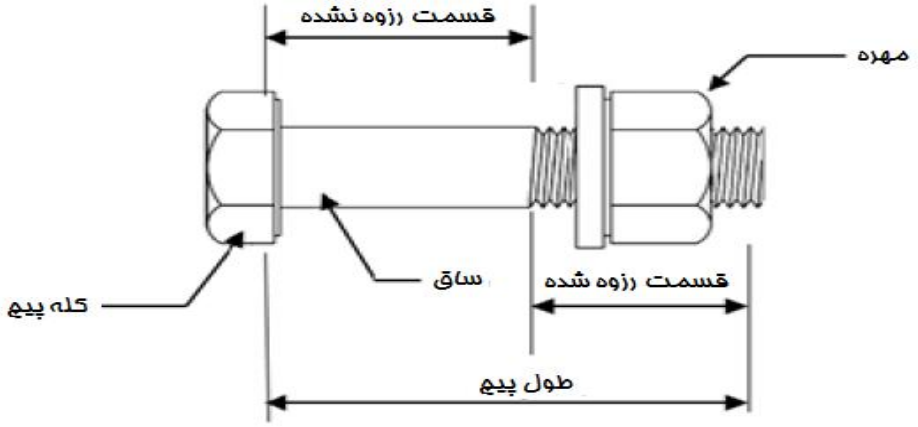
- **برشگیرهای از نوع گل میخ:**





پیچ و پرچ

امروزه استفاده از پیچ بعنوان یک وسیله اتصال مناسب و قابل اطمینان در ساخت و ساز های فولادی بسیار رایج و متداول گردیده است. در شکل زیر اجزای مختلف مجموعه پیچ و مهره آورده شده است:



انواع پیچ { پیچ معمولی ، پیچ پرمقاومت }

انواع اتصال پیچی { اتصال اتکایی ، اتصال اصطکاکی }

انواع سوراخ در اتصال پیچی { سوراخ استاندارد ، سوراخ بزرگ شده ، سوراخ لوبیایی کوتاه ، سوراخ لوبیایی بلند }

۷ انواع پیچ

- **پیچ معمولی**:

تنش نهایی برای این پیچ ها بین *400 Mpa* تا *600 Mpa* می باشد. استفاده از این نوع پیچ ها در مناطق لرزه‌خیز (اتصالات لرزه‌گیر) مجاز نیست. از این پیچ ها فقط می توان در اتصالات اتکایی استفاده کرد.

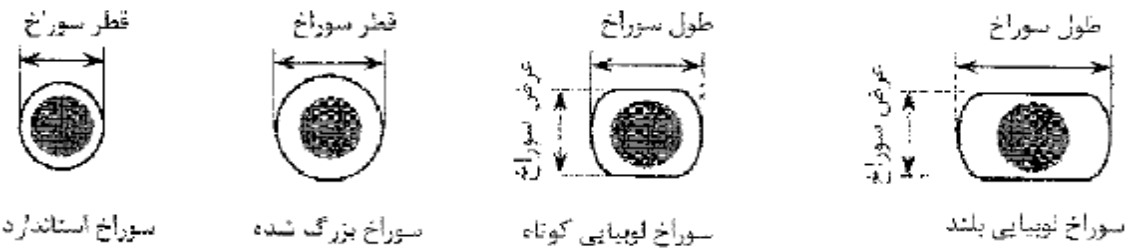
- **پیچ پرمقاومت**:

تنش نهایی برای این پیچ ها بین *800 Mpa* تا *1200 Mpa* می باشد.

جدول ۱۰-۲-۹-۶ مشخصات پیچ‌های تولید یا موجود در ایران

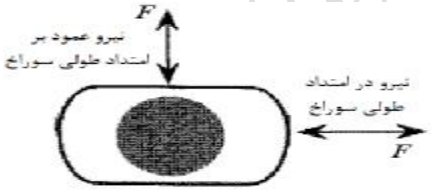
نوع پیچ	نام استاندارد		تنش تسلیم مصالح پیچ (F_y)	تنش کششی نهایی مصالح پیچ (F_u)
	ASTM	ISO		
پیچ‌های معمولی	A۳۰۷	-	۲۴۰ MPa	۴۰۰ MPa
	-	۴.۶	۲۴۰ MPa	۴۰۰ MPa
	-	۴.۸	۳۲۰ MPa	۴۲۰ MPa
	-	۵.۶	۳۰۰ MPa	۵۰۰ MPa
	-	۵.۸	۴۰۰ MPa	۵۲۰ MPa
	-	۶.۸	۴۸۰ MPa	۶۰۰ MPa
پیچ‌های پرمقاومت	A۳۲۵ d ≤۲۴mm		-	۸۰۰ MPa
	A۳۲۵ d >۲۴mm	-	-	۷۲۵ MPa
	A۴۹۰	-	-	۱۰۰۰ MPa
		۸.۸	-	۸۰۰ MPa
		۱۰.۹	-	۱۰۰۰ MPa
		۱۲.۹	-	۱۲۰۰ MPa

۷ انواع سوراخ ها در اتصالات پیچی



شکل ۱۰-۲-۹-۱۰ انواع سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

- *سوراخ استاندارد*: این سوراخ در اتصالات اتکایی و اصطکاکی مجاز است.
- *سوراخ بزرگ شده*: این سوراخ فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز است.
- *سوراخ لوبیایی کوتاه*: این سوراخ در تمام امتدادها در اتصالات اصطکاکی مجاز است ولی در اتصالات اتکایی، امتداد طولی سوراخ باید عمود بر امتداد نیرو باشد.
- *سوراخ لوبیایی بلند*: این سوراخ فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو در در اتصالات اتکایی مجاز است. در اتصالات اصطکاکی در تمام امتدادها مجاز بوده لیکن باید فقط در یکی از ورق‌ها اتصال وجود داشته باشد.



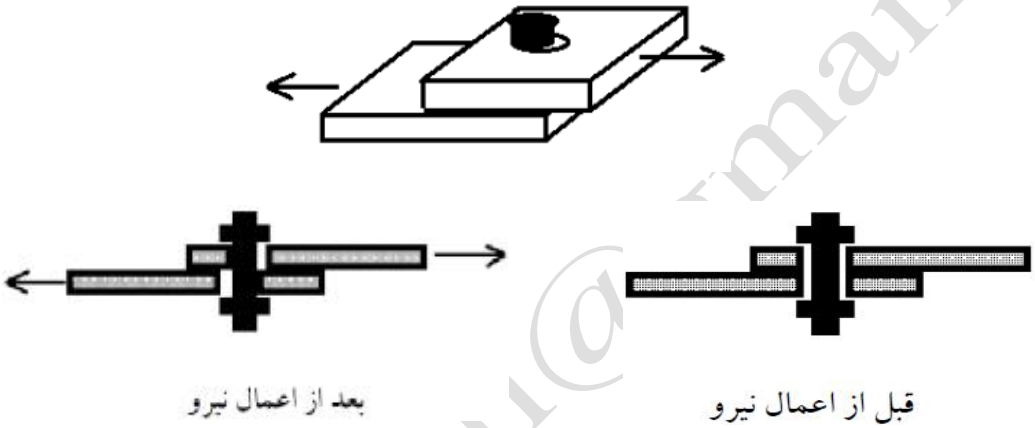
۷ انواع اتصالات پیچی

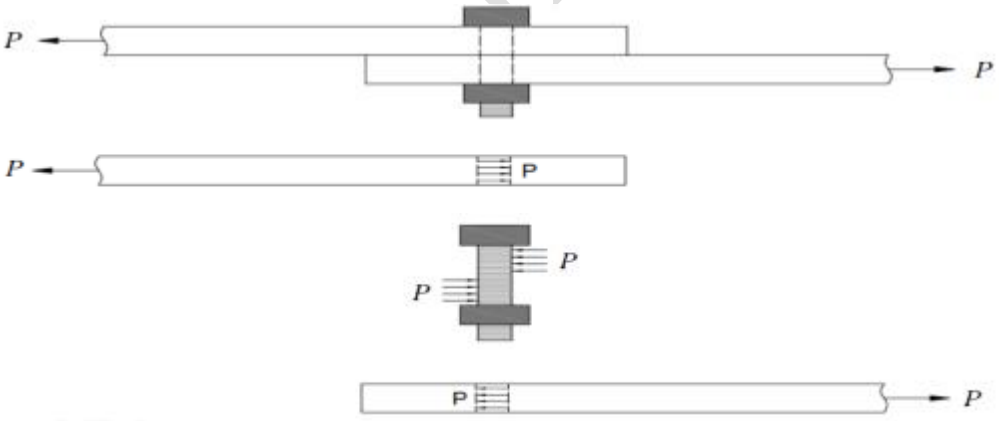
- **اتصال اتکایی**:

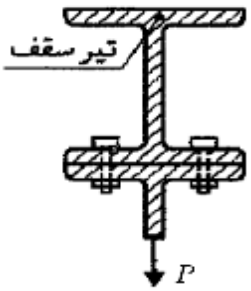
در این نوع اتصال، انتقال نیرو از طریق اتکای بدنه پیچ به قطعات متصل‌شونده صورت می‌گیرد. در این اتصال:

1) لغزش جزئی بین صفحات اتصال مجاز است.
2) بدنه پیچ با جدار سوراخ تماس پیدا می‌کند.
3) در اثر تماس بدنه پیچ با ورق، در هردو تنش لهیدگی ایجاد می شود.

نکته: معمولاً بدلیل بالاتر بودن F_u (تنش نهایی) در پیچ‌ها نسبت به ورق، لهیدگی در ورق بحرانی‌تر است.







gohari.ali@gmail.com

اتصال اتکایی
- کنترل برش : $R_{uv} \leq \emptyset R_{nv}$
- $\emptyset = 0.75$
- کنترل کشش : $R_{ut} \leq \emptyset R_{nt}$

R_{uv} = مقاومت مورد نیاز برشی هر پیچ (نیروی برشی هر پیچ)

R_{nv} = مقاومت برشی اسمی که براساس مقاومت نهایی پیچ تعیین می‌شود.

φR_{nv} = مقاومت برشی طراحی

R_{ut} = مقاومت مورد نیاز کششی هر پیچ (نیروی کششی هر پیچ)

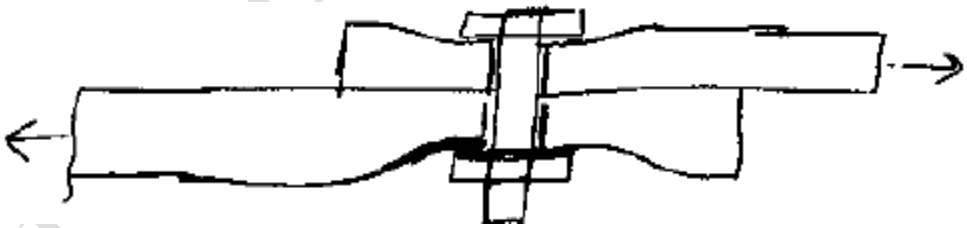
R_{nt} = مقاومت کششی اسمی که براساس مقاومت نهایی پیچ تعیین می‌شود.

φR_{nt} = مقاومت طراحی کششی

φ = ضریب کاهش مقاومت

- **اتصال اصطکاکی**:

در این نوع اتصال با ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی در پیچ‌ها، دو ورق به هم فشرده می‌شوند. در اینصورت نیروی اصطکاکی که بین دو ورق ایجاد می‌شود از لغزش بین آنها جلوگیری می‌کند. بنابراین تماسی بین بدنه پیچ و جدار سوراخ صورت نمی‌گیرد و تنش‌های لهیدگی ایجاد نمی‌شود.



حداقل نیروی پیش تنیدگی را می‌توان از رابطه زیر تعیین کرد:

$$T_b = 0.55 A_{nb} F_u$$

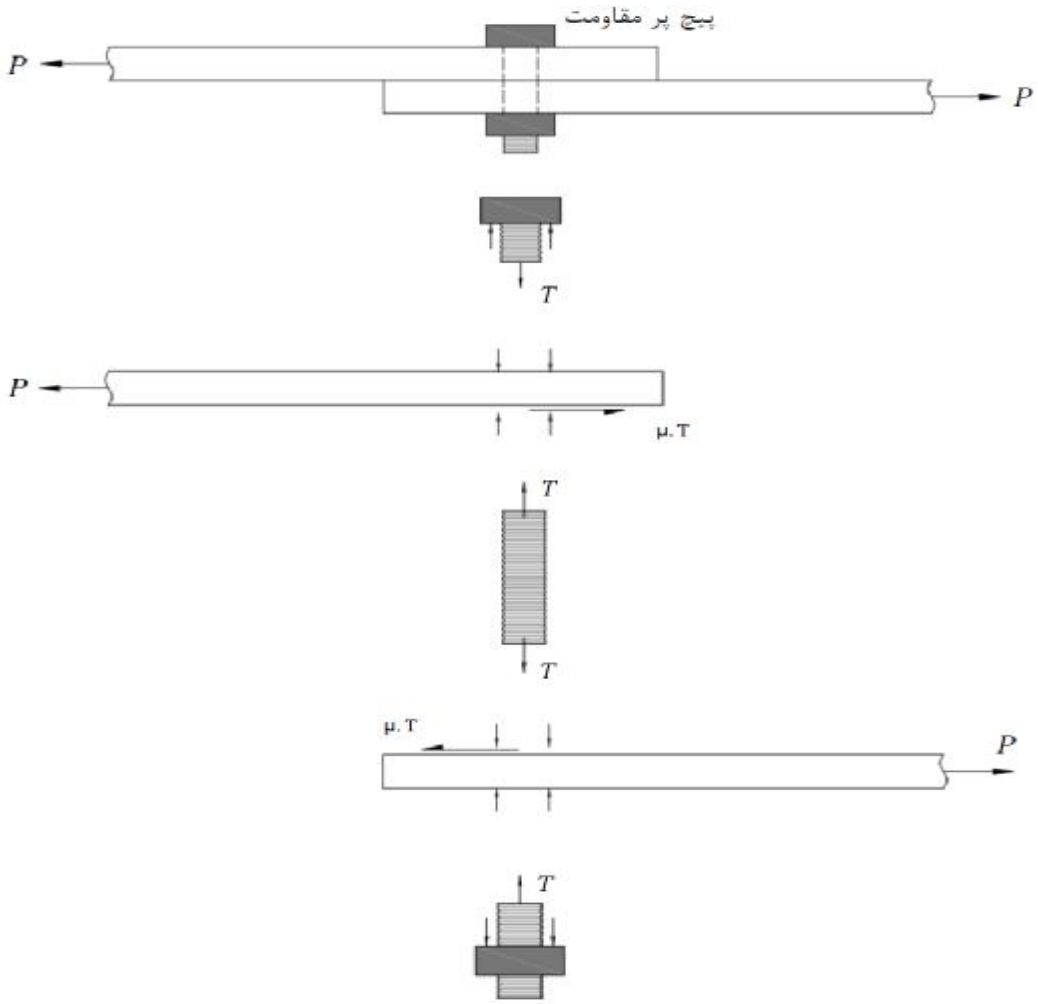
T_b = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی

A_{nb} = سطح مقطع اسمی پیچ (مقطع دندانه نشده پیچ)

F_u = تنش کششی نهایی پیچ

بطور کلی، مقاومت برشی در اتصالات اصطکاکی براساس کنترل لغزش صورت می‌گیرد.

goharalihi@gmail.com



اتصال اصطکاکی
- کنترل برش : $R_{uv} \leq \emptyset R_{nv}$
- کنترل کشش : $R_{ut} \leq \emptyset R_{nt}$

R_{uv} = مقاومت مورد نیاز برشی هر پیچ (نیروی برشی هر پیچ)

R_{nv} = مقاومت برشی اسمی که براساس اصطکاک بین صفحات تعیین می‌شود.

φR_{nv} = مقاومت برشی طراحی

R_{ut} = مقاومت مورد نیاز کششی هر پیچ (نیروی کششی هر پیچ)

R_{nt} = مقاومت کششی اسمی که براساس مقاومت نهایی پیچ تعیین می‌شود.

φR_{nt} = مقاومت طراحی کششی

φ = ضریب کاهش مقاومت

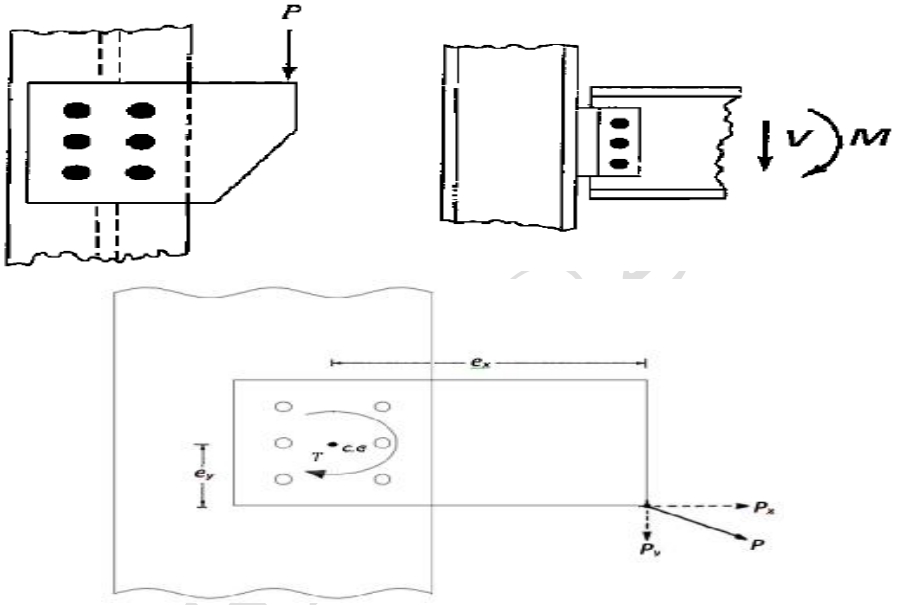
goharrokh.com

۷ طراحی اتصالات پیچی تحت اثر لنگر پیچشی یا خمشی (نیرو با خروج از مرکزیت)

- **اتصال پیچی تحت اثر نیروی برشی و لنگر پیچشی توأم**

$$R_{uv} \leq \emptyset R_{nv}$$

چنانچه نیروی وارده از مرکز سطح پیچها (C.G) نگذرد و در صفحه پیچها خروج از مرکزیت داشته باشد، بجز نیروی برشی، لنگر پیچشی نیز در آنها ایجاد می شود که برای طراحی و کنترل پیچها باید اثر توأم آنها در نظر گرفته شود. در این حالت پیچها فقط تحت برش هستند که باید کنترل برش برای آنها صورت گیرد.



$\begin{cases} P_x & \rightarrow \quad X \text{ نیروی برشی در راستای محور} \\ P_y & \rightarrow \quad Y \text{ نیروی برشی در راستای محور} \end{cases}$

$T = P_x \times e_y \pm P_y \times e_x \quad \rightarrow \quad$ لنگر پیچشی

e_x = فاصله افقی خروج از مرکزیت نیرو نسبت به مرکز سطح پیچها (C.G)

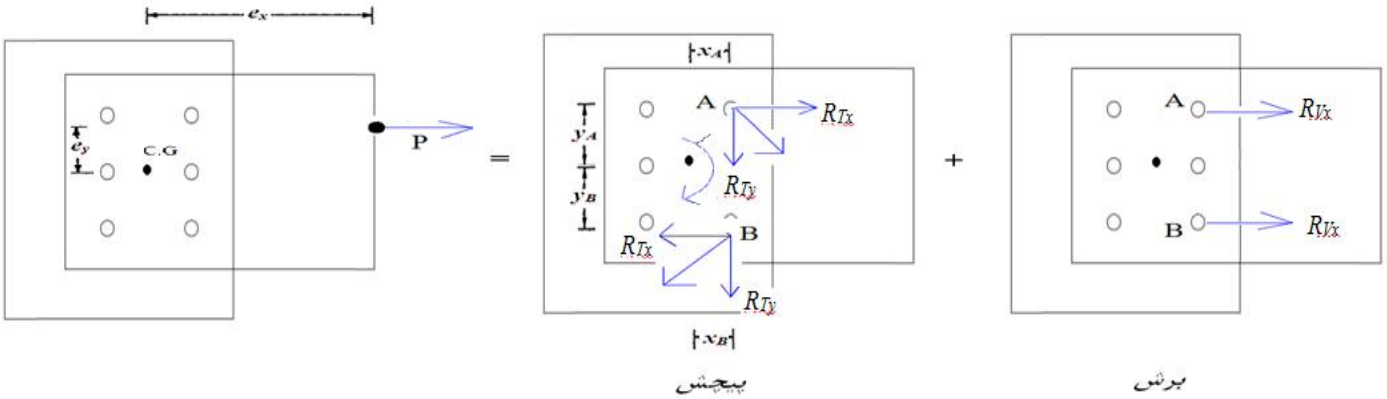
e_y = فاصله عمودی خروج از مرکزیت نیرو نسبت به مرکز سطح پیچها (C.G)

نکته: بیشترین نیروی برشی ناشی از لنگر پیچشی در پیچ بحرانی رخ می دهد. پیچ بحرانی برای پیچش، پیچی است که شرایط زیر را داشته باشد:

- دورترین فاصله را نسبت به مرکز سطح پیچها (C.G) داشته باشد. (بیشترین مقدار $\sqrt{x^2 + y^2}$)
- جهت نیروی برشی ناشی از نیرو و جهت نیروی برشی ناشی از لنگر پیچشی یکسان باشد.

goharrokh.com

بعنوان مثال، در شکل زیر پیچ **A** بحرانی می باشد.



$$R_{u_A} = \sqrt{(R_{vx} + R_{Tx})^2 + (R_{Ty})^2} \qquad R_{u_B} = \sqrt{(R_{vx} - R_{Tx})^2 + (R_{Ty})^2}$$

- **اتصال پیچی تحت اثر نیروی برشی و لنگر خمشی توأم**

لنگر خمشی باعث ایجاد تنش‌ها یا نیروهای کششی و فشاری می‌شود. نکته مهم این است که نیروی فشاری توسط پیچ‌ها تحمل نمی‌شود و به فشار بین دو ورق می‌رسد. اما نیروی کششی به پیچ‌ها رسیده و باید توسط آنها تحمل گردد. از این رو در صورت وجود لنگر خمشی تنها، پیچ‌های تحت کشش براساس روابط مربوط به کشش طراحی می‌شوند (پیچ‌های تحت نیروی فشاری طراحی نمی‌شوند و فقط برای اجرای اتصال نصب می‌شوند). اما چنانچه نیروی برشی و لنگر خمشی همزمان وجود داشته باشند، پیچ‌های تحت نیروی فشاری ناشی از لنگر خمشی براساس روابط مربوط به برش و پیچ‌های تحت نیروی کششی براساس روابط مربوط به اثر مشترک برش و کشش طراحی می‌شوند.

goharrokhi@gmail

اتصالات

۷ اتصال پای ستون (کف ستون)

در طراحی اتصال پای ستون دو شرط اصلی زیر باید تأمین شود.

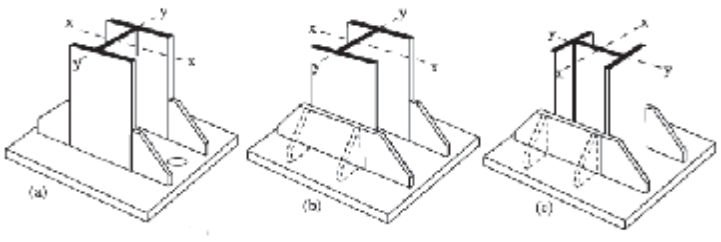
1) نیروی فشاری موجود در مقطع ستون باید توسط ورق کف ستون در شالوده گسترش یابد که تنش فشاری در بتن شالوده کمتر از مقادیر مجاز توصیه شده توسط آیین نامه‌ها شود.
2) ورق کف ستون و ستون کاملاً به بتن شالوده مهار شود.

- **انواع اتصال ستون به شالوده**

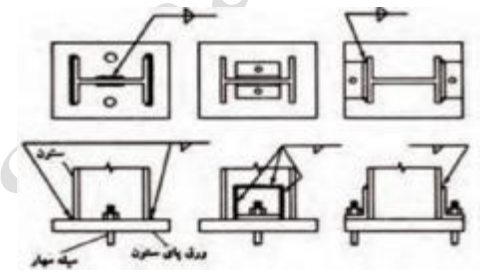
جزئیات اتصال ستون فلزی به شالوده بتنی، به نیروی موجود در پای ستون بستگی دارد. در ستون با انتهای مفصلی فقط نیروی فشاری و برشی از ستون به شالوده منتقل می‌شوند. اگر لنگر خمشی را به شالوده منتقل نمایید، در آن صورت نیاز به طرح اتصال مناسب برای این کار است که اتصال گیردار خوانده می‌شود. در اتصال صلب از سخت کننده استفاده می‌شود و در اتصال مفصلی از نبشی‌ها و لچکی‌ها استفاده می‌شود. گاهی مواقع به منظور کم کردن ضخامت ورق کف ستون، از ورق‌های سخت کننده‌ی مثلثی یا ذوزنقه‌ای در اتصال گیردار پای ستون استفاده می‌شود. اتصال صلب را در جهتی می‌گذارند که ممان دارند و اتصال مفصلی را نیز در جهتی می‌گذارند که ممان ندارند. جوش اتصال پای ستون نیز باید شرایط دو اتصال صلب و مفصلی را تامین کند.

- **اتصال ستون به ورق پای ستون**

انتهای ستون که با ورق کف ستون در تماس است، باید به صورت گونیا بریده شده و سنگ زده شود تا در تماس کامل با ورق کف ستون قرار بگیرد. در چنین حالتی، اکثر نیروی محوری توسط فشار تماسی منتقل می‌شود و نبشی‌ها و یا جوش فقط عمل نگهداری و انتقال نیروی برشی را برعهده می‌گیرند. در صورتی که انتهای ستون سنگ زده نشود، جوش و نبشی‌های اتصال باید بتوانند صد در صد نیروی محوری را انتقال دهند.

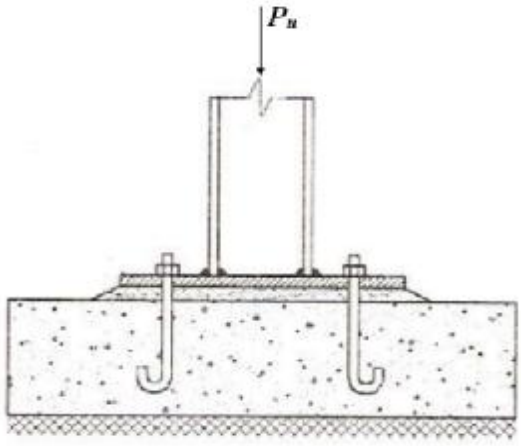


اتصال گیردار پای ستون



اتصال مفصلی پای ستون

goharrokhi.ali@gmail.com



- **مقاومت اتکایی**

$$\boldsymbol{P_u \leq \emptyset P_p}$$
$$\boldsymbol{\emptyset = 0.65}$$

P_u = مقاومت مورد نیاز اتکایی (نیروی محوری ستون)

P_p = مقاومت اتکایی

$\varphi\ P_p$ = مقاومت اتکایی طراحی

φ = ضریب کاهش مقاومت

مقاومت اتکایی (P_p) براساس حالت حدی خردشدگی مصالح تکیه‌گاهی بشرح زیر تعیین می‌گردد:

1) تکیه‌گاه مصالح بنایی یا سنگ‌آهکی یا ماسه‌سنگ متراکم و ماسه سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (F_p = 6MPa)$$

2) تکیه‌گاه مصالح بنایی با آجر فشاری و ملات ماسه‌سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (F_p = 4MPa)$$

F_p = تنش اتکایی اسمی

A_p = سطح اتکا در تماس با تکیه‌گاه برحسب میلی‌متر مربع (مساحت کف ستون)

goharrokhi.ali@gmail.com

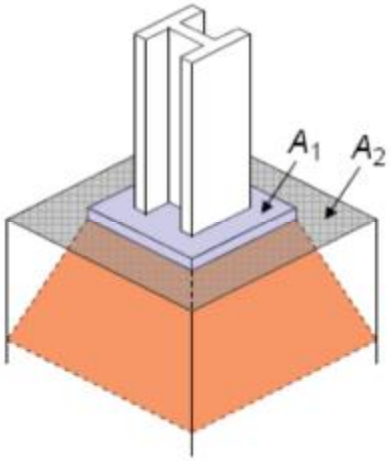
3) تکیه‌گاه بتنی:

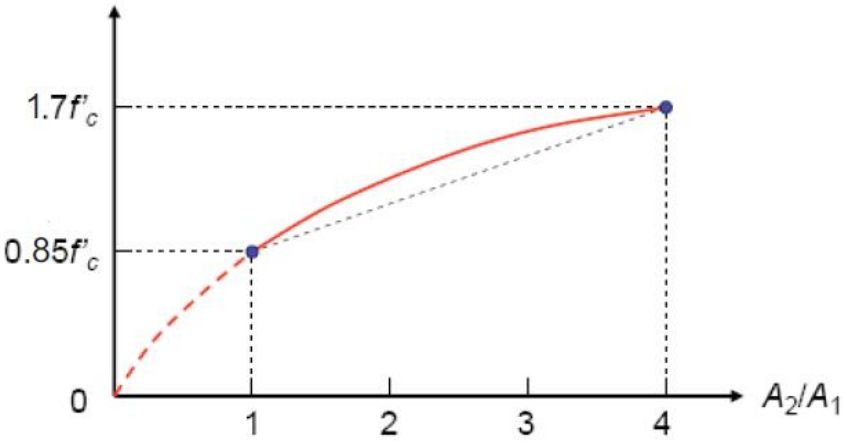
$$P_p = min\left\{0.85f_cA_1\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \ , \ 1.7f_cA_1\right\}$$

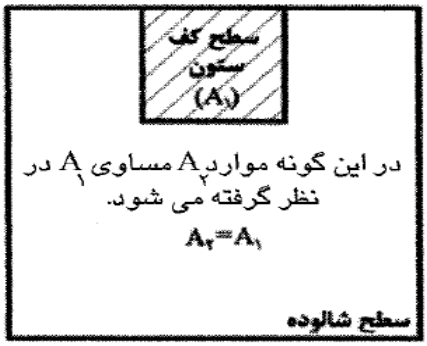
f_c = مقاومت مشخصه فشاری بتن

A_1 = سطح ورق کف ستون در تماس با شالوده

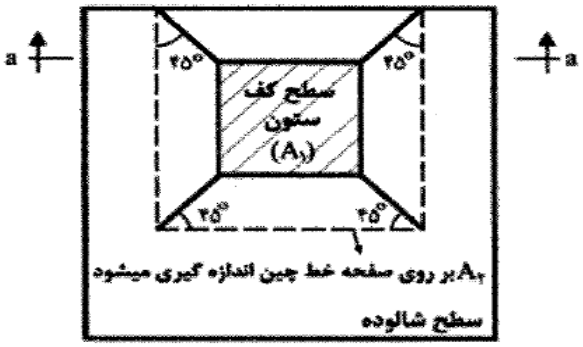
A_2 = حداکثر سطحی از شالوده هم‌مرکز و متشابه با ورق کف ستون در پلان و عمق شالوده



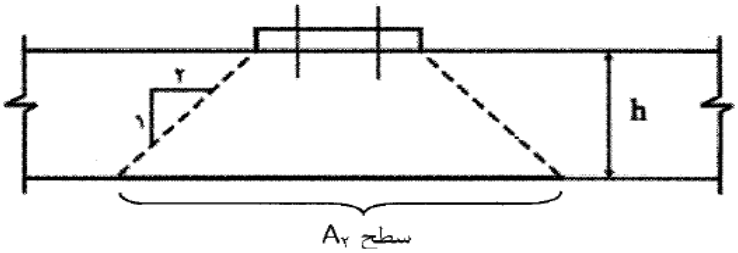




(الف) کف ستون هایی که حداقل یکی از لبه های آن با لبه شالوده همباد است.

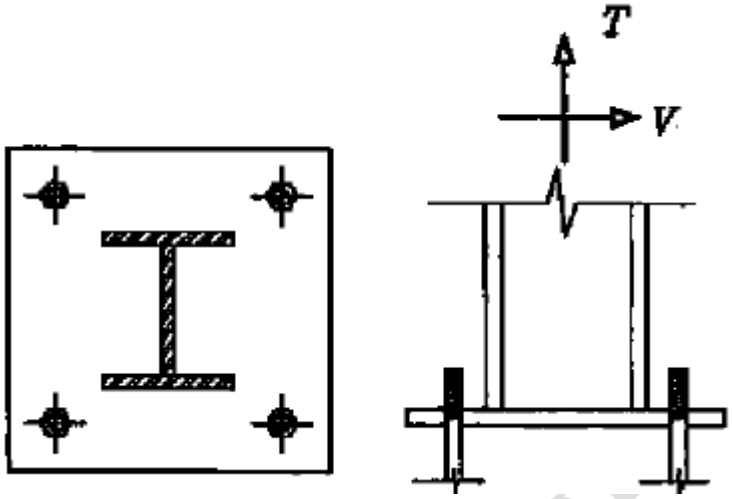


(ب) کف ستون هایی که لبه های آن از لبه شالوده فاصله دارد.



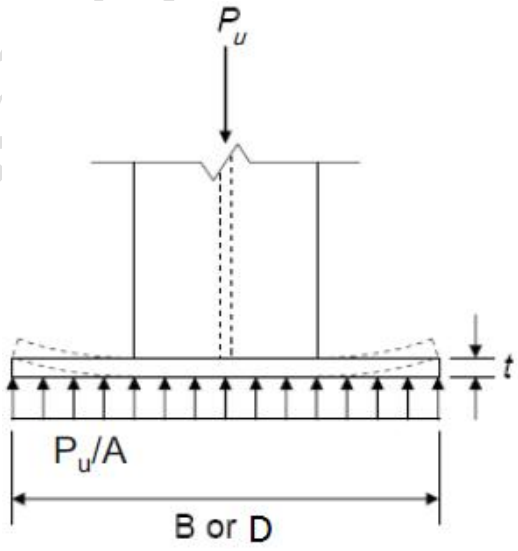
- **طراحی میل‌مهارها**

میل‌مهارها برای کشش، برش و یا اثر توأم آنها براساس روابط مربوط به پیچ‌ها طراحی می‌شوند.



- **تعیین ضخامت کف‌ستون**

ضخامت کف ستون براساس تنش در زیر کف‌ستون ($f_p=P_u/A$) و لنگر حداکثر در فواصل از لبه‌های آزاد صفحه تعیین می‌شود. در این حالت فرض می‌شود که فاصله برستون تا لبه‌های آزاد کف ستون مانند یک تیر طره عمل کند.



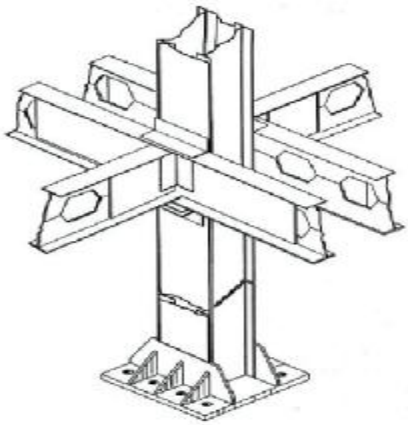
$$f_p = \frac{P_u}{B \times D}$$

goharrokhi.ali@gmail.com

۷ تیرهای لانه زنبوری

دلیل نام‌گذاری تیرهای لانه زنبوری شکل‌گیری این تیرها پس از عملیات (بریدن و دوباره جوش شدن) و تکمیل پروفیل است. این تیرها در طول خود دارای حفره‌های توخالی (در جان) هستند که به لانه زنبوری شبیه است.

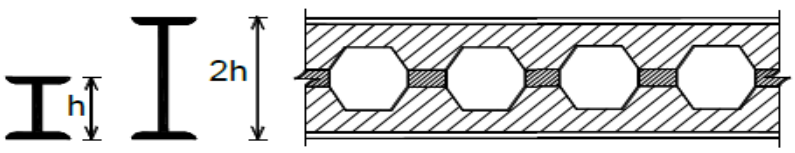
هدف از ساخت تیرهای لانه زنبوری و افزایش ارتفاع جان، افزایش ممان اینرسی تیر می‌باشد که سبب افزایش مقاومت خمشی و کاهش تغییر شکل (خیز) در تیر می‌شود. همچنین وزن این تیرها در مقایسه با تیرهای نورد شده‌ی مشابه کمتر است. تیرهای لانه زنبوری را در نقشه‌ها با علامت CNP یا CINE نمایش می‌دهند.



- **روش‌های ساخت تیر لانه زنبوری**

1) روش پانیر: در این روش نمره تیرآهن پس از برش و جوش دادن به 1/5 برابر ارتفاع اولیه افزایش می‌یابد.

2) روش لتسیکا: در این روش پس از برش و جوش دادن قطعات، ارتفاع تیر دو برابر ارتفاع اولیه می‌شود. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، برای افزایش جان ورق‌هایی به شکل مربع یا مستطیل در ناحیه جان جوش داده می‌شود.

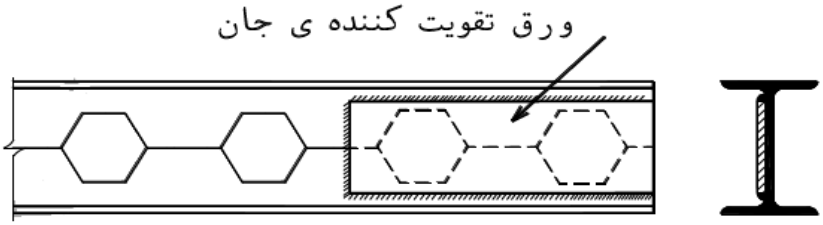


- **محاسن تیرهای لانه زنبوری**

1. مدول مقطع و ممان اینرسی مقطع تیر افزایش می‌یابد. (بال‌ها از محور خنثی دور می‌شوند)
2. مقاومت خمشی تیر افزایش می‌یابد. در نتیجه تیری حاصل می‌شود با ارتفاع بیشتر، قویتر و هم وزن تیر اصلی.
3. با کم شدن وزن مصالح و سبک بودن تیر، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود.
4. از فضاهای ایجاد شده (حفره‌ها) در جان تیر می‌توان لوله‌های تاسیساتی و برق را عبور داد.

- **معایب تیرهای لانه زنبوری**:

به خاطر داشتن حفره‌های خالی در جان، تیرهای لانه زنبوری نمی‌توانند تنش‌های برشی را درمحل اتصال تیر به ستون یا تیر فرعی به تیر اصلی تحمل کنند. بنابراین برای رفع عیب اقدام به پرکردن بعضی حفره‌ها با ورق فلزی و جوش می‌کنند.



۷ انواع اتصالات

ساختمان‌های فولادی برحسب نوع اتصالات در تکیه‌گاه عموماً به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

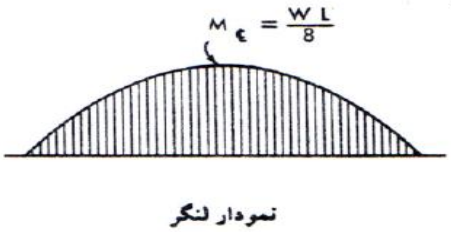
1. اتصال ساده (مفصلی)
2. اتصال نیم گیردار (نیمه صلب)
3. اتصال گیردار (صلب)

در آیین نامه مبحث 10 به اتصالات نیمه صلب اشاره‌ای نشده است.

goharrokhi.ali@gmail.com

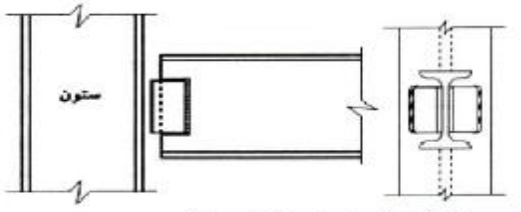
- **اتصال ساده تیر به ستون (مفصلی)**

در این اتصال، تیر می‌تواند آزاد باشد و به راحتی دوران زاویه‌ای به خود بگیرد. همچنین در تکیه‌گاه، لنگر گیرداری وجود ندارد. اتصال ساده لنگر را منتقل نمی‌کند و به صورت زیر قابل اجرا است. میزان صلبیت و گیرداری واقعی این اتصال کمتر از 20 درصد است.

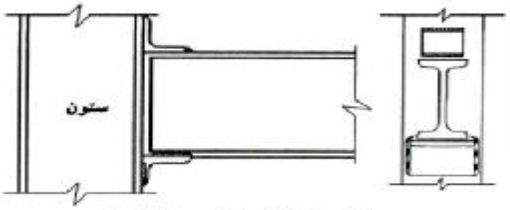


نمودار لنگر

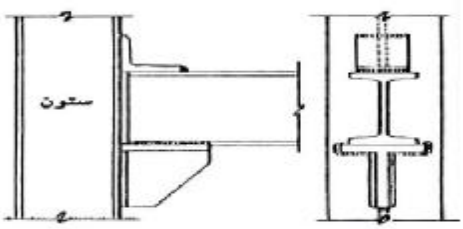
- اتصال با نشیمن تقویت شده هنگامی به کار می‌رود که واکنش تکیه‌گاهی بیش از 10 تن باشد. یعنی برای تحمل و انتقال بارهای سنگین.
- در اتصال ساده، در مورد بار قائم، اتصال انتهای تیرها فقط برای انتقال برش تعبیه شده است. به همین دلیل به اتصال ساده اتصال برشی هم می‌گویند.
- معمولاً عرض نبشی نشیمن نباید از 7/5 سانتی‌متر کمتر باشد. در آئین نامه AISC عرض استاندارد نبشی نشیمن را 10 سانتی‌متر انتخاب کرده‌اند. یعنی برای این منظور نبشی فوقانی را با ابعاد ظریف و فقط دو لبه انتهایی بال‌های آن را (در امتداد عرض بال) جوش می‌دهند.
- نبشی بالای تیر در محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی به حساب نمی‌آید و از آن تنها جهت ثابت نگه داشتن تیر در محل خود و تامین تکیه‌گاه عرضی و جلوگیری از غلتیدن تیر استفاده می‌شود.



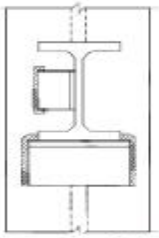
الف) اتصال با جشت نبشی جان

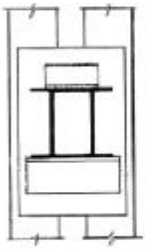


ب) اتصال با نبشی نشیمن بالا و پایین

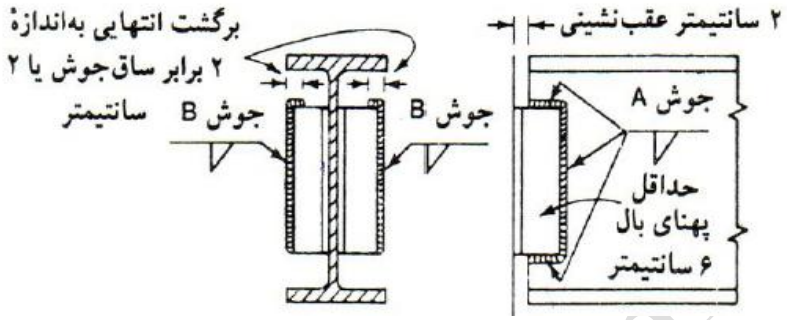


پ) اتصال با نبشی نشیمن تقویت‌شده (لچکی)

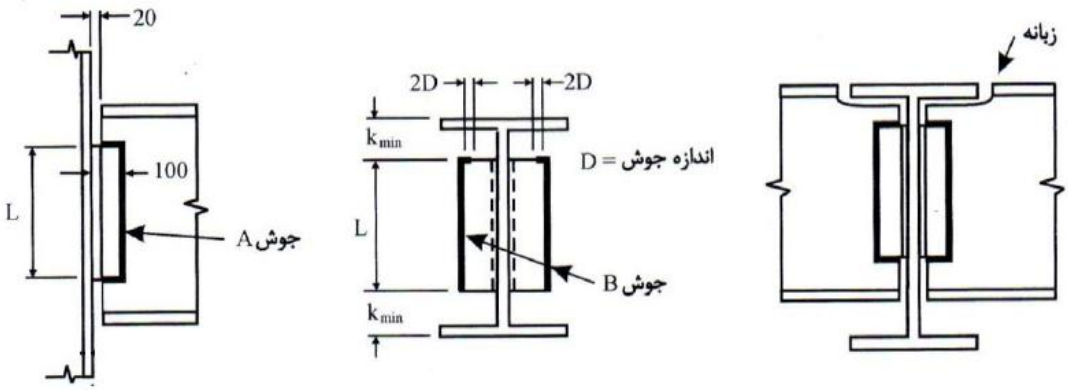

ت) اتصال با نبشی نشیمن و نبشی جان


د) اتصال تیر دوبل با نشیمن تقویت‌نشده

- در *اتصال ساده تیر به ستون*، نبشی جان برای اینکه از آزادی دوران تیر جلوگیری ننماید، بهتر است ارتفاعی در حدود نصف ارتفاع تیر داشته باشد. همچنین این نبشی باید به جان تیر جوش کامل شود تا جوش گروه A که تحت برش و پیچش است بتواند مقاومت کافی را در برابر نیروی وارده داشته باشد. این نبشی توسط جوش گروه B به ستون متصل می‌شود.

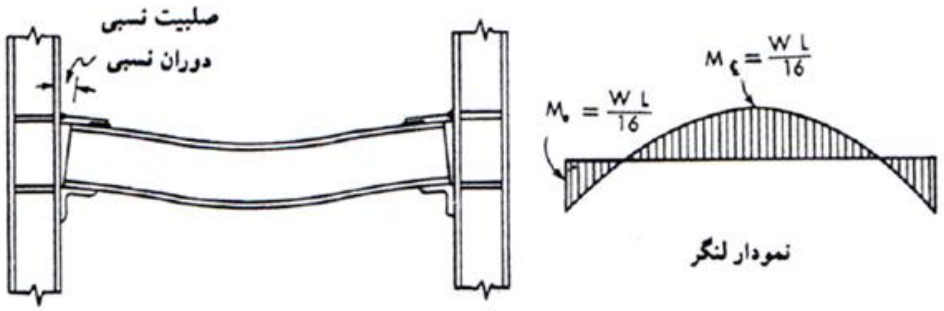


- در *اتصال ساده تیر به پل*، در صورتی که بال‌های فوقانی تیر و پل هر دو در یک تراز واقع گردند، می‌بایست قسمتی از بال تیر را مطابق شکل زیر زبانه کرد. در این حالت مقطع تیر فقط مقدار کمی از بال خود را که در تحمل برش نقش ناچیزی دارد، از دست می‌دهد. بنابراین زبانه کردن تیرها فقط مقدار کوچکی از مقاومت برشی اولیه می‌کاهد. در این نوع اتصال، جوش نبشی اتصال به جان تیر (جوش A) دور تا دور جوش نبشی اتصال به پل (جوش B) فقط به صورت دو خط قائم، با دو برگشت می‌باشد.

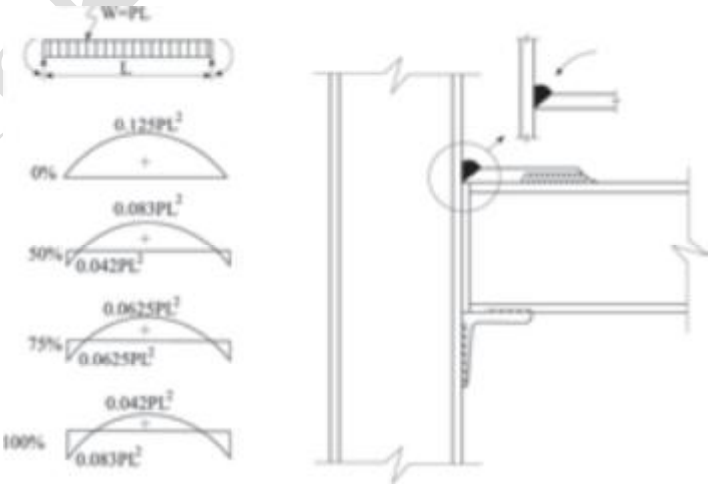


- **اتصال نیم گیردار تیر به ستون (نیمه صلب)**

اتصالی را که مقداری گیرداری در تکیه‌گاه به وجود می‌آورد و در نتیجه باید برش و لنگر را تحمل کند اتصال نیم گیردار می‌گویند. در این حالت، دوران زاویه بین تیر و ستون صورت می‌گیرد، ولی مقدار آن کمتر از حالت قبل است. اتصال نیمه صلب تیر به ستون، آن دسته از اتصالات هستند که تحت تاثیر بارهای وارده در آنها مقدار دوران انتهایی رخ داده و در نتیجه لنگر انتهایی کوچکتر از لنگر انتهایی در حالت صلب به دست می‌آید. چنین رفتاری باعث ایجاد توزان بین لنگر منفی و مثبت دهانه شده و در نتیجه اقتصاد طرح بهبود می‌یابد.



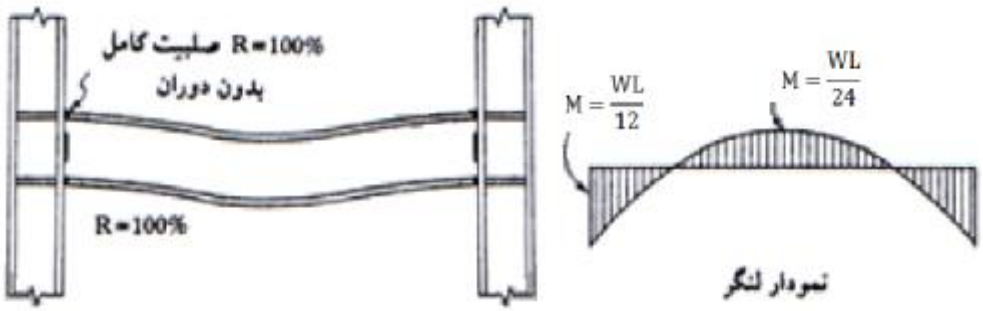
- میزان گیرداری و صلبیت واقعی این اتصال بین 20 تا 90 درصد است.
- استفاده از این نوع اتصال محدود به بارهای قائم است و برای حمل بارهای جانبی توصیه نمی‌شود. بنابراین کاربرد این اتصال محدود به سازه‌هایی می‌شود که سیستم مقاوم آنها در مقابل بارهای جانبی، بادبند و دیوار برشی است.
- تغییرات کوچک در طراحی و اجرا می‌تواند باعث تغییر قابل توجه درجه صلبیت شود. کاهش درجه صلبیت می‌تواند خطر افزایش لنگر وسط دهانه را داشته باشد.



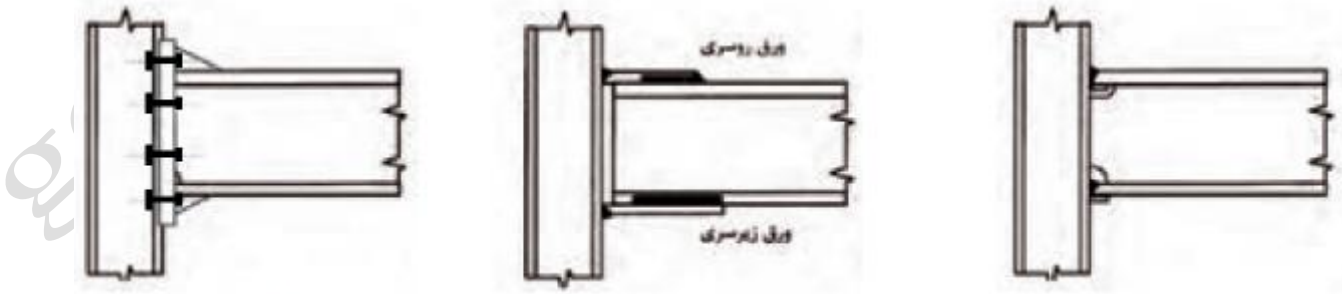
goharr.khi.ali@gmail.com

- **اتصال گیردار تیر به ستون (صلب)**

در اتصال گیردار لنگر کاملاً از تیر به ستون منتقل می‌شود و دوران زاویه‌ای (چرخشی) بین تیر و ستون انجام نمی‌گیرد. در این اتصال نیروهای موجود در بال‌های تیر به صورت نیروی کششی و فشاری وارد بر بال ستون می‌باشند و ممکن است باعث لهیدگی جان در ناحیه فشاری و تغییرشکل بال ستون در ناحیه کششی شوند. لذا برای رفع این نقیصه از سخت‌کننده های فشاری و کششی در راستای تیر و در جان ستون استفاده می‌کنند. این نوع اتصال می‌تواند به صورت‌های زیر اجرا شود. میزان گیرداری و صلبیت واقعی این اتصال بیش از 90 درصد است. تنوع اتصالات صلب تیر به ستون آنقدر زیاد است که مشکل بتوان لیست کاملی از آنها تهیه نمود.



- *اتصال مستقیم*: بال فوقانی و تحتانی به طور مستقیم و بدون هیچ واسطه‌ای با جوش شیاری با نفوذ کامل به ستون جوش شده است. اجرای این جزییات در پای کار مشکل است، زیرا طول تیر باید دقیقاً به اندازه‌ی فاصله‌ی آزاد دو ستون بریده شود که این عمل به راحتی امکان پذیر نیست.
- *اتصال با ورق زیرسری و روسری*: برای هر دو بال تحتانی و فوقانی به ترتیب از ورق‌های زیرسری و روسری استفاده شده است. ورق زیرسری در کارگاه برروی زمین به ستون جوش شده و ورق روسری پس از نصب تیر روی آن مونتاژ و جوش می‌شود.
- *اتصال فلنجی*: نوعی از اتصال صلب است که تیر به ستون با استفاده از پیچ های پرمقاومت و بصورت اصطکاکی متصل می‌شوند.



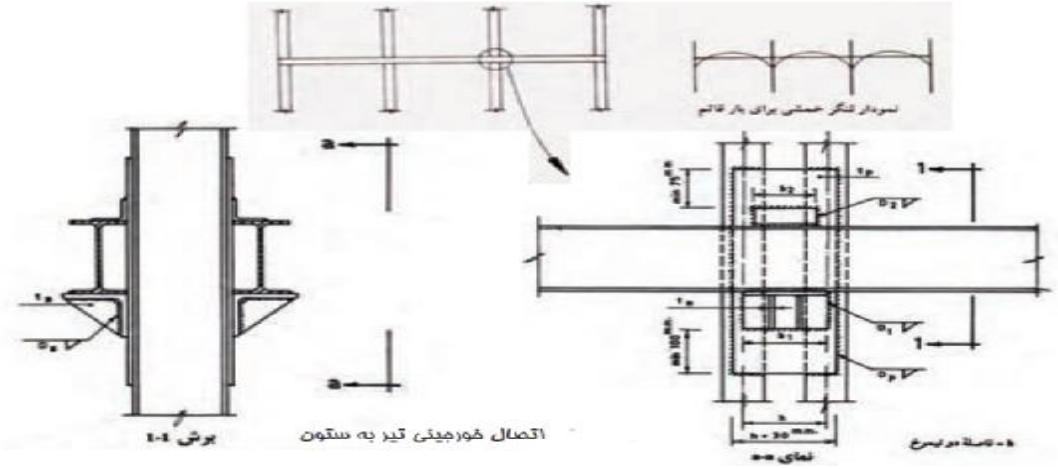
الف) اتصال مستقیم ب) اتصال با ورق زیرسری و روسری پ) اتصال فلنجی

- **اتصال خورجینی**

اتصال خورجینی در گذشته متداولترین شکل اتصال در ساختمان‌های اسکلت فلزی در ایران بود. نحوه‌ی اجرای اتصال خورجینی بدین طریق است که تیرهای باربر از طرفین ستون‌ها به طور یک سره عبور داده می‌شوند و روی نبشی‌هایی که در طرفین ستون نصب شده‌اند، قرار می‌گیرند. معمولاً در بالای هر تیر یک نبشی قرار می‌دهند، لذا اتصال خورجینی تامین کننده‌ی نشیمن برای عبور یک جفت تیر سرتاسری از طرفین ستون است.

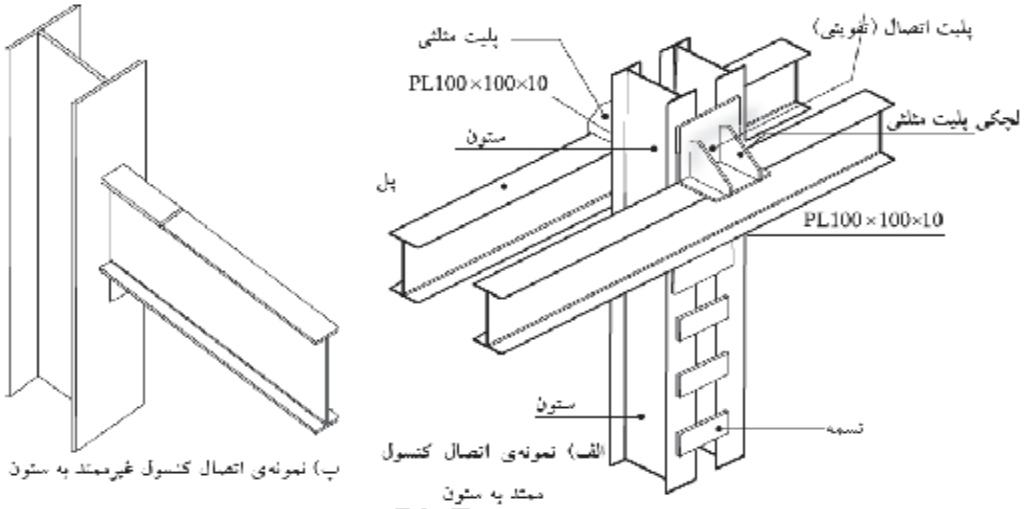
کاربرد گسترده‌ی این اتصال در ایران به علت سادگی اجرا، کاهش هزینه، کم کردن نیمرخ بال پهن و قابلیت استفاده از شماره‌های بالای نیمرخ IPE بوده است. یکی از اجزای کلیدی در اتصال خورجینی، نبشی‌های بالا و پایین اتصال است. تیرهای اصلی قاب‌ها که به صورت یک سره از کنار ستون‌ها عبور کرده‌اند، روی نبشی‌های نشیمن سوار می‌شوند و معمولاً از یک نبشی اتصال کوچک نیز برای اتصال بال فوقانی تیر به ستون استفاده می‌شود که مقداری گیرداری در اتصال به وجود می‌آورد. نبشی تحتانی با عرض پهن تر از پهنای بال تیر I شکلی که بر روی آن قرار می‌گیرد، انتخاب می‌شود و این عمل به خاطر فراهم نمودن سطحی است که بتوان تیر را به نبشی جوش داد. وقتی که ستون‌ها به صورت خوابیده بر روی زمین آماده‌سازی می‌شوند، نبشی‌های تحتانی در محل‌های خود جوش جوشکاری نبشی نشیمن روی زمین می‌شوند و پس از نصب ستون‌ها و قرار دادن تیرها بر روی نبشی‌های تحتانی، بال تیر به نبشی تحتانی به صورت افقی جوش شده و سپس نبشی فوقانی نصب و به بال فوقانی تیر جوش می‌شود. قاب با اتصال خورجینی فقط برای تحمل بارهای قائم طراحی می‌شوند. این اتصال در مقابل بارهای جانبی عملکرد خوبی ندارد و تنها برای تحمل بارهای قائم مناسب است. بارهای جانبی را باید سیستم‌های دیگری از جمله مهاربندها تحمل کنند.

یکی دیگر از مشکلات اتصال خورجینی هنگامی بروز می‌کند که تیرها در دو طرف، دهانه‌های نامساوی را پوشش دهند. در این صورت دهانه‌های نامساوی عکس العمل‌های نامساوی را در برابر بارهای وارده نشان خواهند داد و افزایش لنگرها را موجب می‌شوند. عدم اتصال تیرهای موازی به هم و نامساوی بودن دهانه‌ی طرفین، باعث می‌شود که نتوانند با هم کار کنند.

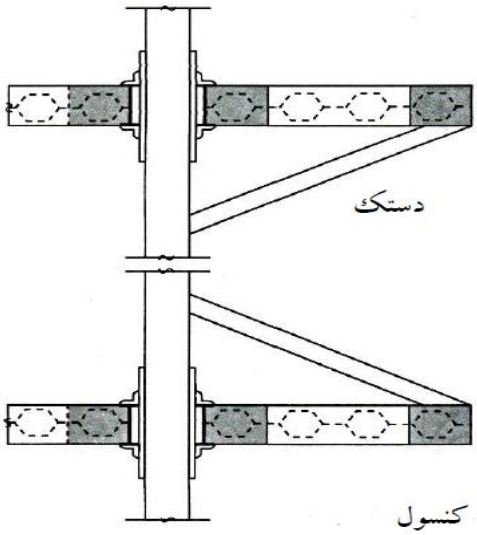


- **اتصال کنسول به ستون**

در سیستم اسکلت فلزی، پیش آمدگی (کنسول)، به دو شیوه اجرا می‌شود. یکی پیش آمدگی ممتد که تیرها از ستون عبور می‌کنند (به صورت تک یا دوبل) و کنسول لازم به دست می‌آید (اتصال خورجینی). دیگر اینکه کنسول به صورت غیرممتد باشد. اتصالات باید متناسب با طول کنسول، مقدار بار وارده و نحوه گیرداری آن به ستون طراحی شود. چون کنسول در محل تکیه گاه لنگر منفی دارد، باید اتصال آن به ستون همانند اتصال صلب تیر به ستون اجرا شود. کلیه‌ی ابعاد و اندازه‌ی اتصالات و تقویت کننده‌ها بر اساس محاسبات انتخاب می‌شوند.



در صورت استفاده از اتصال مفصلی و یا در مواقعی که طول کنسول از حد معینی تجاوز کند و یا مقدار بار وارده به آن به اندازه‌ای باشد که نبشی‌ها یا ورق اتصال جواب گو نباشند، می‌توان از دستک استفاده کرد. با توجه به نقشه‌ی معماری می توان این دستک را در پایین یا بالای تیر در نظر گرفت و اتصال صحیح و اصولی را اجرا کرد.



goharrokhi.com

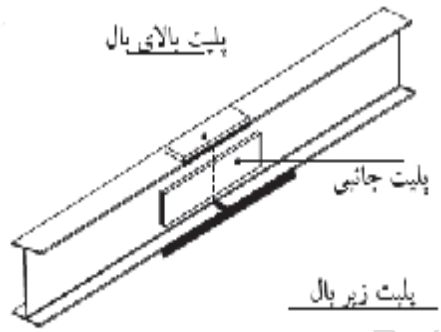
۷ انواع وصله ها

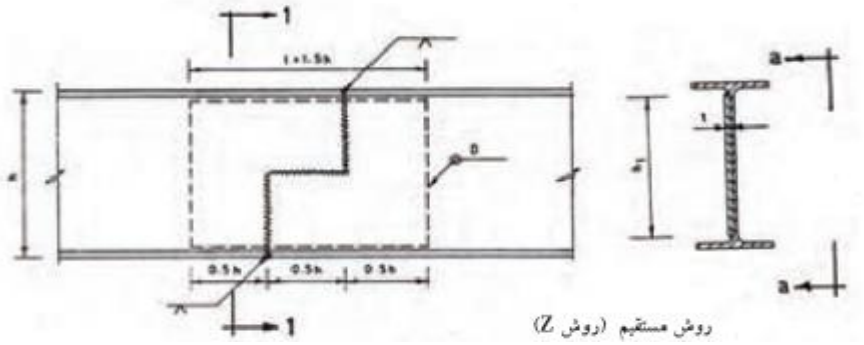
· وصله تیرها

در اجرای تیرها و یا شاهتیرها به دلایلی باید جهت اتصال قطعات از وصله استفاده نمود که مهمترین آنها شامل موارد زیر هستند.

1. طول استاندارد پروفیل کافی نباشد.
2. تغییر اندازه‌ی تیر آهن یا پروفیل لازم باشد.
3. کاهش ضایعات تیرآهن ضروری باشد.

اندازه‌ی وصله‌ی اتصال و طول جوش مورد نیاز باید محاسبه شود. بهترین محل ورق برای وصله کردن، ناحیه‌ی نقطه عطف لنگر خمشی و تنش برشی است که مقادیر این نیروها کمینه است و باید از اتصال ورق در ناحیه برش حداکثر (نزدیک تکیه گاه) و لنگر حداکثر (وسط دهانه) پرهیز کرد. باید علاوه بر جان پروفیل، بال‌ها را به نحو مطلوب با ورق اتصال جوشکاری کرد. وصله تیرها بصورت سه ورقی، چهار ورقی و یا مستقیم (در مواردی که برای ورق‌های تحتانی و فوقانی محدودیت معماری وجود دارد) می‌تواند صورت گیرد. وصله چهار ورقی بعنوان وصله استاندارد شناخته شده است.





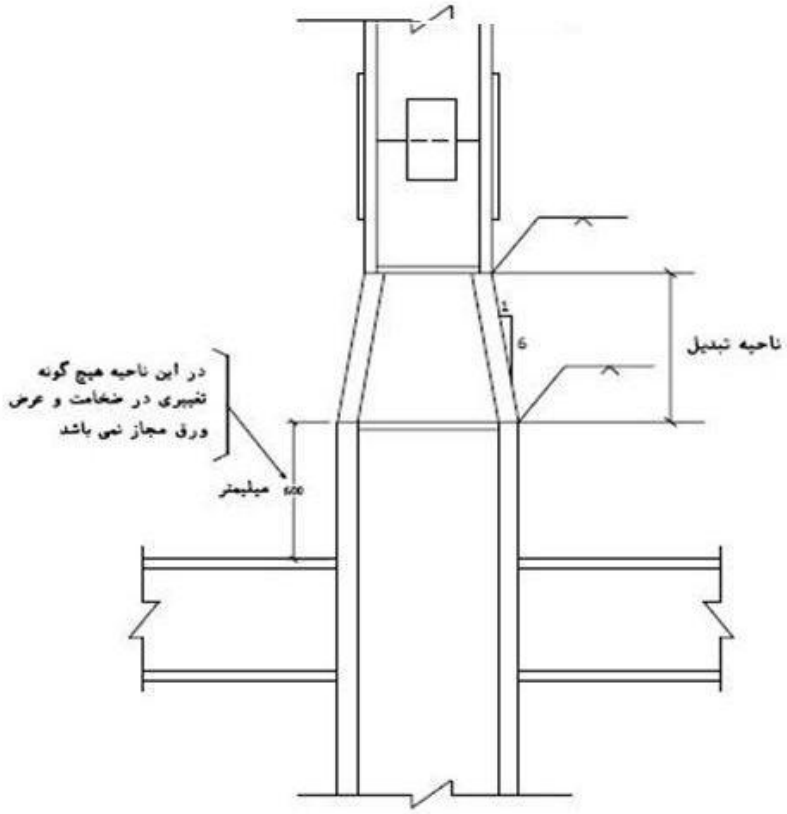
· وصله ستون‌ها

سازه‌های فولادی را اغلب در چندین طبقه احداث می‌کنند. طول نیمرخ‌های نورد شده برای ساخت ستون محدود است. از طرفی با در نظر گرفتن بار وارده و دهانه‌ی بین ستون‌ها و نحوه‌ی قرار گرفتن ستون‌های کناری، مقاطع مختلفی برای ساخت ستون‌ها به دست می‌آید. ممکن است در هر طبقه، ابعاد مقطع ستون با طبقه‌ی دیگر تفاوت داشته باشد. بنابراین باید اتصال مقاطع با ابعاد مختلف برای طویل کردن ستون با دقت زیادی انجام شود.

محل مناسب برای وصله‌ی ستون‌ها به هنگام طویل کردن آن‌ها، حداقل در ارتفاع 120 سانتیمتر بالاتر از بال تیر است. این ارتفاع کمترین اندازه‌ای است که از نظر دسترسی به محل اجرای جوش و نصب اتصالات مورد نیاز برای ادامه‌ی ستون یا اتصال مهاربندی لازم است.

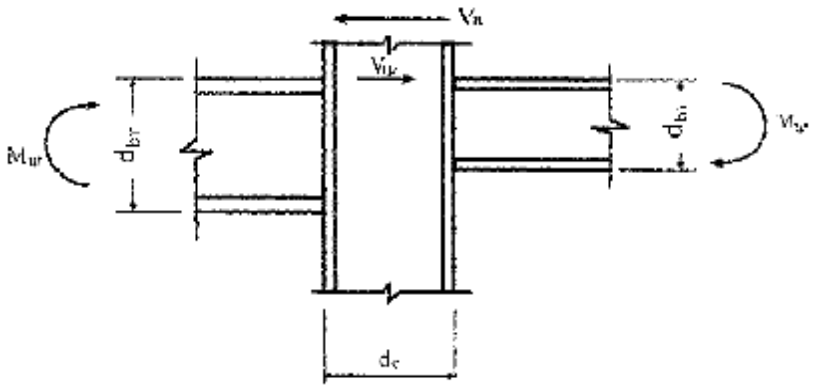
نکته دیگر این است که وصله الزام شده است که به گونه ای انجام شود که ایجاد عدم تقارن ننماید. بر این اساس تمام اجزای ستون باید در یک مقطع با هم وصله گردند. (برخی از جوشکاران و مهندسان ناظر ترجیح میدهند که تمام اجزای ستون را در یک مقطع وصله نکنند که به نحوی به خیال خود از ایجاد یک مقطع ضعیف به دلیل وصله و مشکلات اجرایی آن جلوگیری نمایند که در اینجا این مساله نفی شده است. وصله غیرمتقارن باید به خاطر داشته باشیم که باعث انحراف ستون به دلیل جوشکاری غیرمتقارن می‌شود)

برای وصله ستونهای غیر همسایز (در عرض یا ضخامت ورقها و یا کلاً متفاوت در ابعاد ستون) الزام شده است که از وصله ناگهانی در یک مقطع اجتناب گردد و ابتدا با یک شیب 1 به 6 ابعاد مقطع بزرگتر به مقطع کوچکتر تبدیل گردد و سپس این وصله انجام گردد. محل شروع تبدیل هم باید حداقل 60 سانتیمتر تا بال بالای تیر اختلاف داشته باشد.



۷ چشمه اتصال

- **برش در چشمه اتصال**



$$(V_{up})V_{rp} \le \emptyset R_n$$
$$\emptyset = 0.9$$

V_{up} یا (V_{rp}) = مقاومت برشی مورد نیاز اتصال بشرح زیر:

$$(V_{up})V_{rp} = \frac{M_{u1}}{d_{b1}} + \frac{M_{u2}}{d_{b2}} - V_u$$

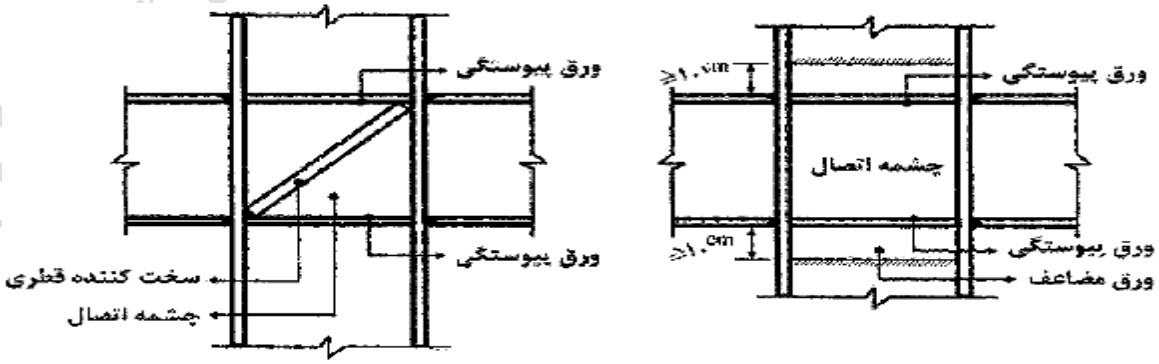
φ = ضریب کاهش مقاومت

$\varphi\ R_n$ = مقاومت برشی طراحی در چشمه اتصال

R_n = مقاومت برشی اسمی در چشمه اتصال

نکته1: در صورتی که مقاومت مورد نیاز چشمه اتصال از مقاومت طراحی بیشتر باشد $((V_{up})V_{rp} > \emptyset R_n)$، استفاده از ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) یا یک جفت سخت کننده قطری دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی ضروری است.

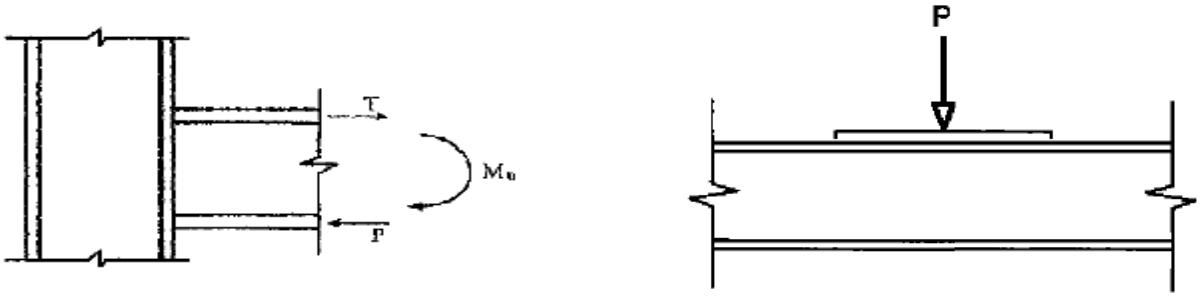
نکته2: در صورتی که نیاز به سخت‌کننده در مقابل نیروی متمرکز فشاری باشد، یک جفت سخت کننده افقی در ستون تعبیه می‌شود. این سخت‌کننده‌های افقی، ورق پیوستگی نام دارند.



شکل ۱۰-۲-۹-۳۲ سخت‌کننده‌های قطری و ورق‌های مضاعف در چشمهٔ اتصال

gc.rokhi.ali@gmail.com

اثر بارهای متمرکز



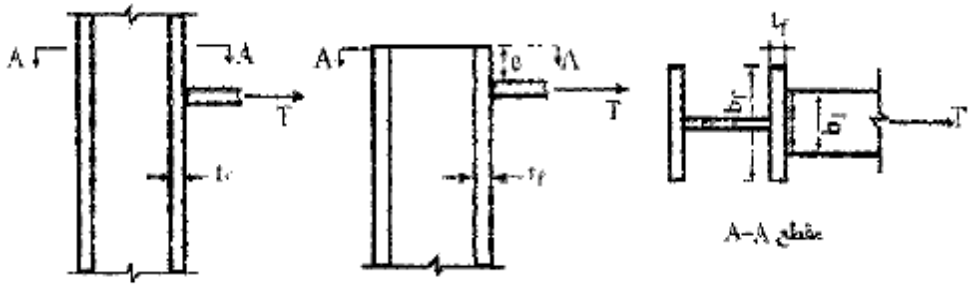
اثرات نیروی متمرکز کششی:

1) خمش موضعی بال
2) تسلیم موضعی جان

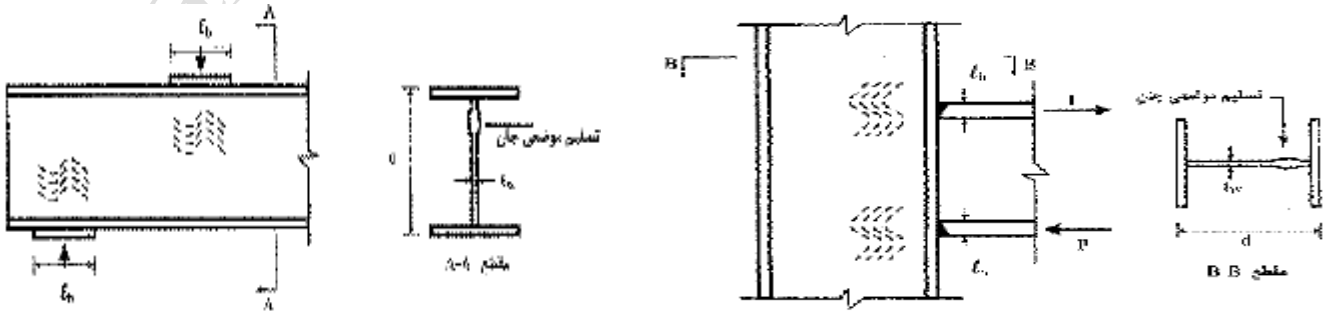
اثرات نیروی متمرکز فشاری:

1) تسلیم موضعی جان
2) لهیدگی جان
3) کمانش جانبی جان
4) کمانش فشاری جان (جفت نیروی متمرکزمتقابل فشاری که به هردو بال عضو اثر می‌کند.)

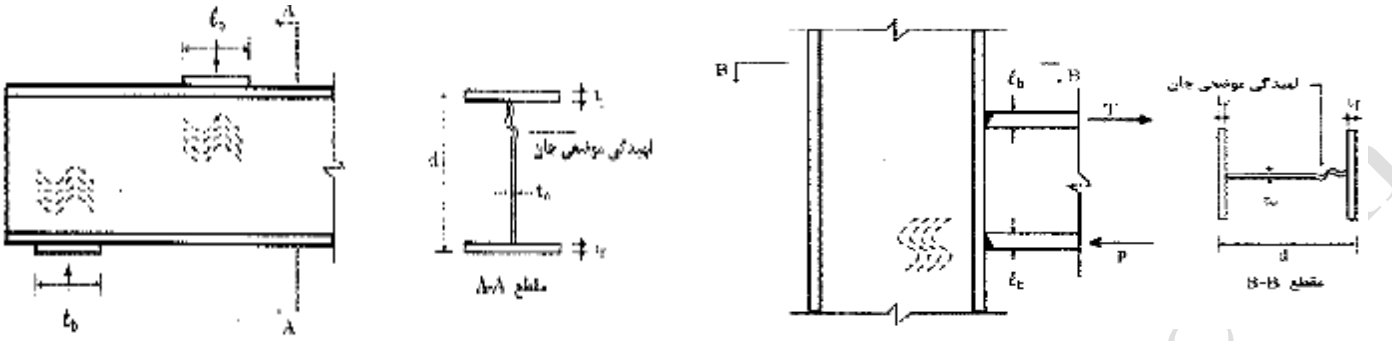
- **خمش موضعی بال در اثر نیروی متمرکز کششی**



- **تسلیم موضعی جان در اثر نیروی متمرکز کششی و فشاری**

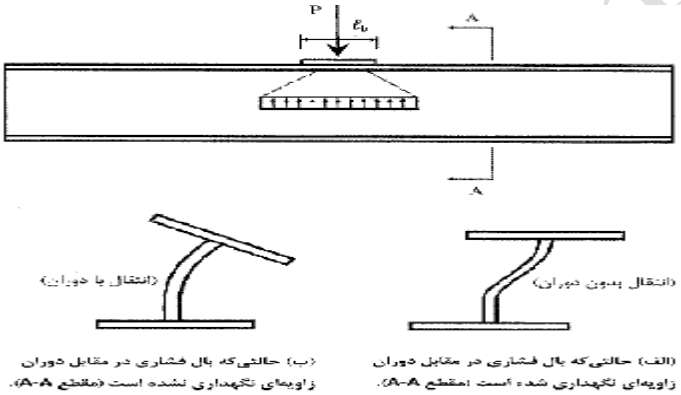


- **لهیدگی جان در اثر نیروی متمرکز فشاری**



- **کمانش جانبی جان در اثر نیروی متمرکز فشاری تکی**

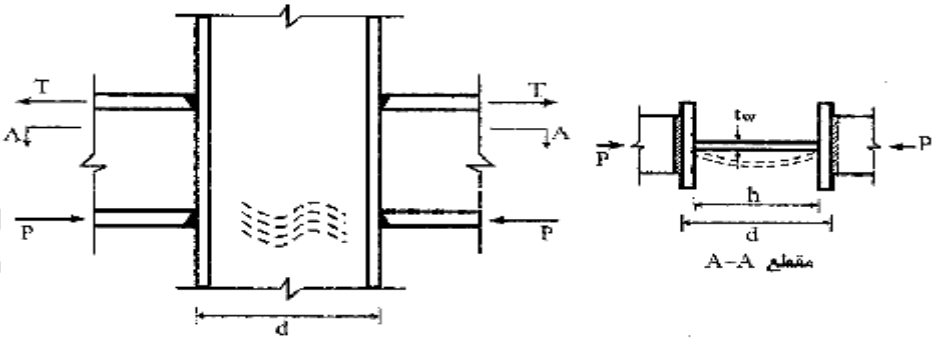
این حالت زمانی رخ می‌دهد که از حرکت جانبی بین بال فشاری و بال کششی جلوگیری نشده باشد.



(ب) حالتی‌که بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده است (مقطع A-A).

(الف) حالتی‌که بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده است (مقطع A-A).

- **کمانش فشاری جان در اثر جفت نیروی متمرکز فشاری**



شرایط بهره برداری

نکته: در تحلیل و طراحی سازه در شرایط بهره برداری، ضریب کاهش مقاومت (φ) و ضریب افزایش بار برابر یک در نظر گرفته می‌شود.

شرایط بهره برداری شامل موارد زیر است:

1) ملاحظات پیش‌خیز
2) تغییر شکل‌ها
3) تغییر مکان‌های جانبی
4) ارتعاش (لرزش)
5) ملاحظات آثار ناشی از حرکت باد
6) انبساط و انقباض
7) لغزش اتصالات

۷ کنترل تغییر شکل (خیز)

$$\Delta_L \leq \frac{l}{360} \qquad \text{و} \qquad \Delta_{D+L} \leq \frac{l}{240}$$

Δ_{D+L} = تغییرشکل حداکثر ناشی از بار مرده و زنده

Δ_L = تغییرشکل حداکثر ناشی از بار زنده

l = طول دهانه

نکته: در تیرهای مختلط اگر در هنگام بتن‌ریزی از پایه‌های موقت استفاده نشود، آنگاه:

$$\Delta_1 + \Delta_2 \leq \frac{l}{240}$$

Δ_1 = تغییرشکل تیر براساس:
1) ممان اینرسی تیر فولادی تنها
2) بار ناشی از وزن تیر فولادی، دال بتنی و بار قالب بندی

Δ_2 = تغییرشکل تیر براساس:
1) ممان اینرسی تیر مختلط
2) بار مرده بعد از گرفتن دال (مانند وزن کفسازی، تیغه‌ها و ...) و بار زنده

l = طول دهانه

۷ ارتعاش (لرزش)

لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی مانند بارهای ناشی از رفت و آمد افراد، حرکت و توقف آسانسورها، حرکت ماشین آلات و نظایر آنها باید محاسبه شود. براساس آئین نامه، فرکانس نوسانی یا دوره‌ای (f) تیرها باید مقدار 5 هرتز محدود می-نماید.

$$\mathbf{f \geq 5Hz}$$

goharrokhi.ali@gmail.com

سیستمهای مقاوم در برابر بار جانبی در سازه های فولادی

v مقدمه

ساختمانها در طول عمر مفید خود بارها در برابر بارهای جانبی مانند باد و زلزله قرار خواهند گرفت. از این رو وجود سیستمهای مقاوم برای انتقال بارهای جانبی به شالوده ضروری به نظر می رسد.

مطابق استاندارد 2800، ساختمان باید در هر دو امتداد افقی و عمود بر هم قادر به تحمل نیروهای افقی ناشی از زلزله باشند و در هریک از این امتدادها نیز باید انتقال نیروهای افقی به شالوده به گونه ای مناسب صورت پذیرد.

در ادامه بطور مختصر انواع سیستمهای مقاوم در برابر بار جانبی در سازه های فولادی معرفی می‌شود.

v سیستم قاب خمشی(MRF[1])

این سیستم به خاطر نوع رفتاری که در برابر بارهای جانبی دارد، در بسیاری از سازه‌های فولادی به کار برده می‌شود. مهمترین مشخصه آن، نحوه اتصال اعضاء می باشد، به نحوی که اتصالات در قاب خمشی دارای چنان سختی می باشد که زاویه میان اعضاء تحت اثر بار، بدون تغییر باقی می ماند. قاب خمشی از نظر سختی رفتار مناسبی نداشته آنچنان که برای جواب‌گویی به نیازهای تغییر شکل نسبی نیاز به مقاطع بزرگ و پر هزینه پیدا می‌کند.

مزایای عمده این سیستم عبارت است از:

- فواصل بین ستون ها به صورت آزاد در اختیار عملکرد معماری است.
- قاب های خمشی به محض اجرا قابلیت تحمل نیروی جانبی را دارند.
- قابلیت شکل پذیر و استهلاک انرژی بالایی دارند.
- سیستم مقاوم در برابر زلزله در همه قسمت های سازه پخش شده و در یک جا متمرکز نمی باشد.

معایب اصلی قاب خمشی به شرح ذیل است:

- مشکل عمده گیردار کردن اتصال در این سیستم وجود دارد.
- از سیستم های دیگر به طور معمول هزینه بیشتری دارد.
- مقطع ستون ها معمولاً بسیار بزرگ بوده و جای زیادی می‌گیرند که در این صورت مزیت عمده سازه فولادی نسبت به بتنی که جایگیری کم اعضاء می باشد خدشه دار می‌شود.
- به علت سختی جانبی کم، تغییر مکان افقی زیادی درمقابل نیروهای جانبی از خود نشان داده و ممکن است عناصر غیر سازه‌ای در معرض آسیب قرار گیرند.

[1] Moment Resistance Frame

goharrokhi.ali@gmail.com

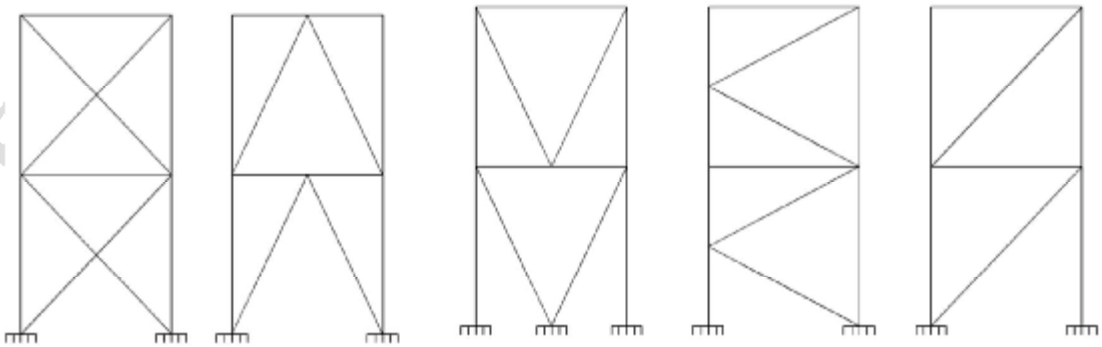
v سیستم مهاربندی شده همگرا (CBF[1])

در سیستم مهاربندی هم محور، بادبندها از محل تقاطع تیر و ستون عبور می‌نمایند و در بعضی از فرم‌های این نوع مهاربندی، محور دو بادبند در یک نقطه مشترک بر روی تیر با هم تلاقی می کنند. این سیستم دارای سختی جانبی بسیار بالایی بوده و به علت اینکه نیروهای جانبی توسط اعضاء به صورت محوری منتقل می شوند سیستمی اقتصادی می باشند. مهاربندی هم محور علی رغم سختی بالا و مناسب و نیز سهولت طراحی و اجرا دارای اشکالاتی هم می‌باشد که از جمله مهمترین آنها محدودیت معماری در مورد درب‌ها و پنجره‌ها و نیز شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی کم آن به دلیل کمانش بادبندها می-باشد.

از مهمترین خواص مهاربندی هم مرکز سختی بالای آن است. به همین دلیل معمولاً با افزایش تعداد طبقات و ارتفاع ساختمان و وقتی که استفاده از سایر سیستم‌ها غیر اقتصادی می‌شود این مهاربندی به میدان می‌آید. بادبند Z (یک طرفه) را فقط باید موقعی به کار برد که در همان محور در دهانه دیگری بادبند طرف دیگر موجود باشد. مگر آنکه عدم کمانش عضو قطری قابل اطمینان باشد.

معایب اصلی مهاربندی همگرا به شرح ذیل است:

- محدودیت‌های معماری در مورد در و پنجره. این مشکل اول را بعضی از طراحان با فرم‌های دیگر این نوع مهاربندی از جمله مهاربندی Z (یک طرفه)، مهاربندی7 و 8 و مهاربندی K برطرف کرده‌اند.
- شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی بسیار کم، که عمدتاً به دلیل کمانش کلی یا موضعی عضو فشاری مهاربند و تا حدی ضعف اتصالات مفصلی حاصل می‌شود.
- در بادبندهای 7 و 8 اگر یکی از اعضا در فشار، کمانش کند، در تیر کف، خیزهای قائم بزرگی در نقطه اتصال مهاری به آن رخ می‌دهد که نهایتاً موجب گسیختگی تیر می‌شود. بنابراین طراحی تیر باید به گونه‌ای باشد که بتواند نیروهای بزرگ ناشی از مهاری را هم تحمل کند.



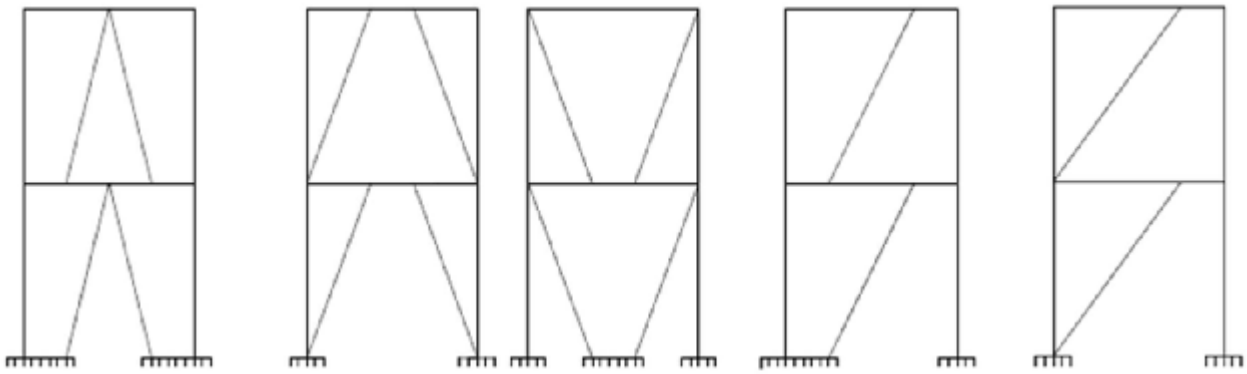
[1] Concentric Braced Frame

goharrokhi.ali@gmail.com

۷ سیستم مهاربندی شده واگرا (EBF[1])

در این سیستم به جای برخورد بادبند به محل اتصال تیر و ستون یا تقاطع محورهای دو بادبند در یک نقطه، با ایجاد یک انحراف بادبند به تیر متصل می شود. قسمتی از تیر که بین تیر و ستون یا بین دو بادبند قرار می گیرد، تیر پیوند (Link) نامیده می‌شود و به صورت یک فیوز شکل پذیر عمل می نماید. در این سیستم تیر پیوند در حالی که از وارد شدن نیروی بیش از حد به بادبندها و کمانش آن جلوگیری می کند، خود با تغییر شکلهای پلاستیک در مود خمشی یا برشی، مقدار زیادی انرژی وارد شده از زلزله را مستهلک می نماید.

در واقع می توان گفت که سیستم EBF ترکیب کننده سختی مناسب (خاصیت عمده سیستم CBF) و شکل‌پذیری بالا (خاصیت عمده سیستم MRF) می باشد. در بادبندهای واگرا پیوندهای کوتاه با قابلیت تغییر شکل های پلاستیک در خمش یا برش دارای ظرفیت استهلاک انرژی بالایی می باشند. در این سیستم حدود 5 تا 15 درصد از مصرف فولاد در مقایسه با قاب خمشی شکل پذیر کاسته می شود، اما به هر حال سیستم EBF دارای نقاط ضعفی نیز می باشد. برای نمونه می‌توان گفت که استهلاک انرژی توسط تیر پیوند که بخشی از اعضای اصلی قاب است، انجام می‌شود که در نتیجه تعمیر یا تعویض آن بعد از یک زلزله شدید مشکل و پر هزینه خواهد بود. همچنین به منظور فعال کردن تیرهای پیوند، نیاز به اتصالات صلب در قاب می باشد. از دیگر معایب این سیستم می توان به اعوجاج بیش از حد سقف در اثر تغییر شکلهای زیاد تیرهای پیوند اشاره کرد.



[1] Eccentric Braced Frame

۷ سیستم مهاربندی زانوئی (KBF[1])

در این سیستم انتهای بادبندی، بجای اتصال به محل تلاقی تیر و ستون به نقطه ای از یک عضو زانوئی وصل می شود که بین تیر و ستون یا ستون و تکیه گاه قرار گرفته است. در این سیستم سختی از طریق عضو قطری و شکل پذیری از طریق تسلیم خمشی عضو زانویی تامین می شود. اتصال مهاربند به صورت ساده و اتصال زانو صلب می باشد. سیستم مهاربند زانوئی روشی کاملاً جدید است. این سیستم مهاربندی هنوز وارد آیین نامه نگردیده، اما با توجه به سختی، مقاومت، شکل‌پذیری بالا و سایر ویژگیهای بسیار مناسب آن، پیش‌بینی می شود که بزودی به عنوان سیستمی مناسب در مقابله با نیروهای جانبی، در طراحی ها مد نظر قرار گیرد. در این سیستم سختی از طریق عضو قطری و شکل پذیری از طریق تسلیم خمشی عضو زانوئی تأمین می شود. رفتار غیرخطی مناسب این سیستم به رفتار زانوئی بستگی دارد، که به صورت فیوز در هنگام زلزله شدید عمل می-کند و انرژی را از طریق لهیدگی خمشی عضو زانوئی مستهلک می کند. طراحی عضو زانوئی دارای اهمیت خاصی است و مقطع آن می بایست بارعایت ضوابط مقاطع پلاستیک طراحی شود.

در سیستم KBF، عضو زانوئی در حقیقت نقش تیر پیوند در سیستم EBF را بازی می کند و بسته به طول و مشخصات مقطع در برش و یا خمش تسلیم می گردد به طوری که هریک از قسمت‌های زانو که طرفین مهاربند قرار گرفته است می-بایست روابط طول تیر پیوند در سیستم EBF را ارضا نماید. توصیه بر این است که در حالت سیستم با تسلیم خمشی زانو از مقاطع قوطی شکل استفاده گردد. تا از کمانش جانبی پیچشی زانو جلو گیری گردد. در سیستم KBF، صلب و یا ساده بودن اتصال تأثیر چندانی بر رفتار قاب ندارد.

در این سیستم درانتخاب مقطع زانو باید به گونه‌ای عمل نمود که اولین تسلیم ها در زانوها ایجاد گردیده وتیرها، ستونها و مهاربندها در حالت الاستیک و بدون کمانش باقی بمانند. بدین ترتیب در زلزله های شدید تعداد تسلیم ها در تیرها، ستونها، مهاربندها و همچنین کمانش مهاربندها، نسبت به سیستم مهاربندی هم مرکز، به شدت کاهش می یابد. قابهای KBF شکل پذیری بسیار بالایی دارند. این شکل پذیری بالا سبب افزایش ضریب رفتار (R) گردیده و نتیجتاً نیروی برش طراحی کاهش می یابد.

از آنجایی که زانوها جزء اعضاء اصلی باربر قائم نیستند (بر خلاف سیستم EBF که تیر پیوند قسمتی از تیر اصلی می باشد)، ترمیم این قابها پس از زلزله های شدید ارزانتر و سریعتر صورت می پذیرد.

نتیجه ای که از مقایسه قابها با این سه نوع مهاربند می توان گرفت به طور خلاصه عبارت است از:

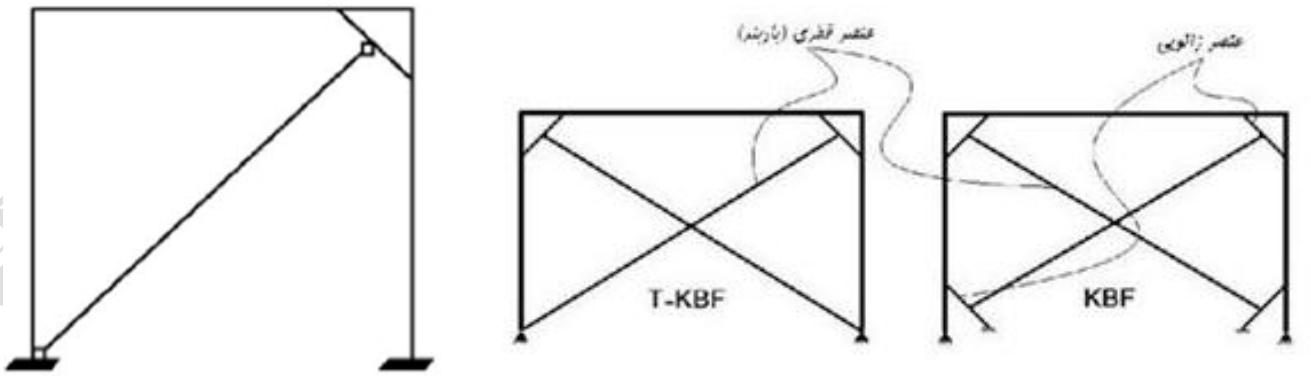
[1] Knee Braced Frame

goharrokhi.ali@gmail.com

1) سختی جانبی ارتجاعی قابهای KBF بیشتر از سختی جانبی قابهای EBF مشابه و کمتر از قابهای CBF مشابه است. لذا قابهای KBF از لحاظ سختی جانبی رفتار مناسبتری نسبت به قابهای EBF دارند.
2) تغییر مکان جانبی قابهای با مهاربندی KBF کمتر از قابهای EBF و بیشتر از قابهای CBF است. بنابراین قابهای KBF تحت تأثیر زلزله از لحاظ تغییر مکان جانبی از مدلهای EBF مشابه رفتار مناسب‌تری دارند.
3) قابهای KBF از لحاظ کنترل تغییر مکان قائم طبقه از مدلهای EBF مشابه بهتر عمل می کنند. تیرهای کف در قابهای EBF به علت تشکیل فیوز شکل‌پذیر بر روی آنها، پس از تسلیم افت شدیدی دارند، در نتیجه خسارات و آسیب دیدگی های شدیدی بر کف های ساختما نی وارد خواهند ساخت لذا از این نظر قابهای KBF بر قابهای EBF مشابه برتری دارند.
4) ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک در قابهای مورد مطالعه به صورت زیر است:
   - قابهای KBF: زانوئی - تیر - ستون
   - قابهای EBF: تیر - ستون
   - قابهای CBF: بادبند - ستون - تیر

لذا از لحاظ تشکیل و گسترش مفاصل پلاستیک و نوع مکانیزم ، قابهای KBF تحت تأثیر زلزله بهتر عمل می‌کنند.

5) شکل پذیری قابهای KBF از شکل پذیری قابهای EBF مشابه بیشتر است. شکل پذیری قابهای KBF با زانویی کوتاه بیشتر از قابهای با زانویی بلند است.
6) به طور کلی سیستم بادبند زانویی، یک نوع سیستم مهاربندی است که به شرط انتخاب مناسب پارامترهای مؤثر، می‌تواند سختی و شکل‌پذیری بالایی را برای سازه تأمین نماید و بعد از زلزله، با تعویض عضو زانویی مجدداً مورد بهره‌برداری قرار گیرد.
7) و نکته آخر اینکه استفاده از مهار بند زانویی (KBF)، جهت بهسازی و تقویت سازه‌های موجود که ضعیف ارزیابی شده‌اند، توصیه می‌گردد.



v سیستم دیوار برشی فولادی (SPSW[1])

دیوار برشی فولادی نوعی سیستم جدید مقاوم در برابر بارهای جانبی بوده که نسبت سایر سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی دارای عملکرد بهتری است. در این سیستم نیروهای جانبی توسط دیافراگم‌های کف طبقات به صورت افقی به صفحه، تیر و ستون‌های این نوع دیوار منتقل می‌شود. قاب فولادی محیطی هر صفحه ممکن است دارای اتصال تیر به ستون به صورت ساده (مفصلی) یا گیردار باشد. همچنین صفحه می‌تواند با سخت کننده یا بدون آن باشد. علاوه بر این، صفحه ممکن است توسط پیچ و یا جوش به قاب محیطی‌اش متصل شود.

رفتار اصلی دیوار برشی صفحه ای فولادی مقاومت در برابر برش افقی طبقه و مقابله با لنگر واژگونی ناشی از بارهای جانبی است. پانل دیوار برشی صفحه‌ای شامل یک ورق نازک فولادی با ضخامت 3 تا 10 میلیمتر دو ستون و تیرهای افقی کف است. که به این تیرها و ستون‌ها عناصر مرزی می‌گویند. صفحه فولادی دیوار برشی فولادی همراه با دو ستون مجاور، مانند یک تیر ورق قائم (طره) رفتار می‌نمایند. در این تیر ورق قائم، ستون‌ها به عنوان بال‌های تیر ورق و صفحه فولادی دیوار مانند جان آن، رفتار می‌کند. تیرهای افقی کف، اصولاً به عنوان سخت کننده‌های عرضی در این تیر ورق قائم تلقی می‌شود.

در اکثر مواقع، تولید اعضای اسکلت فلزی در محل کارخانه و با تعبیه المان‌های لازم جهت اتصال ورق‌های فولادی (به صورت پیچی و یا جوشی) صورت می‌گیرد. پس از حمل به کارگاه و نصب اسکلت فلزی و ورق‌های فولادی توسط جرثقیل در محل خود قرار داده و پس از نصب موقت و سریع آن‌ها در مرحله بعد اتصال دائم و کامل ورق‌ها به المان‌های اطراف تامین می‌شود.

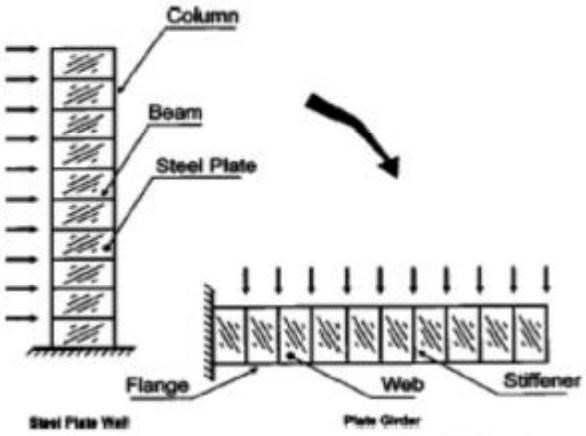
- **مزایای دیوار برشی**:

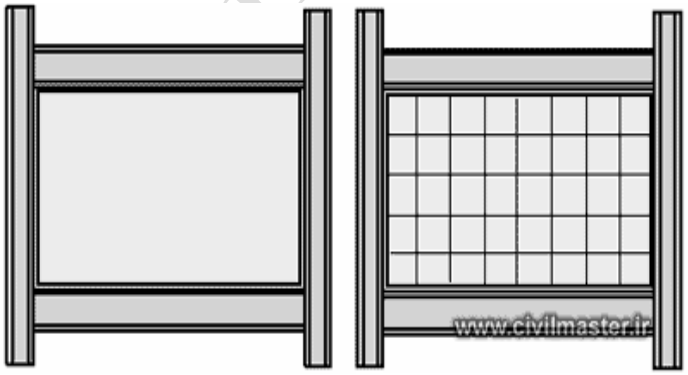
- کنترل تغییر مکان جانبی ساختمان(Drift)
- تغییر مکان جانبی ساختمان‌های دارای دیوار برشی در مقایسه با سازه‌های دارای بادبند کمتر است.
- برای سازه‌های بلند استفاده از قاب خمشی به تنهایی کافی نیست. و استفاده از دیوارهای برشی اجتناب ناپذیر است.
- امکان جانمائی دیوار برشی در فضاهای محدود (مانند هسته آسانسور و پشت راه پله‌ها)
- افزایش سختی ساختمان و افزایش ضریب ایمنی در مقابل شکست و ریزش و کاهش خسارت به اعضای غیر سازه‌ای.

[1] Steel Plate Shear Wall

goharrokhi.ali@gmail.com

- کاهش هزینه آهن آلات (تا 50٪) و هزینه ساخت بنا
- کاهش هزینه فونداسیون به واسطه سبک سازی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها
- افزایش سرعت اجرای ساختمان نسبت به سایر سیستم‌ها به ویژه سازه‌های بتنی
- سیستمی مناسب و کم هزینه جهت مقاوم سازی بناهای قدیمی و آسیب دیده
- اگر نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر از 2 یا 3 باشد به آن دیوار برشی کوتاه می‌گویند. دیوارهای برشی کوتاه در مقابل خمش مقاومت بیشتری دارند ولی در برابر برش از مقاومت کمی برخوردار هستند. بنابراین در این دیوارها رفتار ربرشی حاکم است.
- اگر نسبت ارتفاع به طول زیاد باشد، به آن دیوار برشی بلند (طره‌ای) می‌گویند. رفتار این نوع دیوارها بر خلاف نامشان اغلب خمشی است.





goharrokhi@gmail.com

الزامات لرزه ای

۷ تعاریف

زلزله طرح (DBE[1]):

زلزله ای است که توسط طیف طراحی استاندارد، ارایه شده در استاندارد2800 ، معرفی شده است.

مقطع فشرده لرزه ای:

به مقطعی گفته می‌شود که در آن، اجزای تشکیل دهنده مقطع در تمام طول عضو به صورت پیوسته به یکدیگر متصل شده باشند و نسبت های عرض به ضخامت این اجزا، از مقادیر λ_{md} برای اعضای با شکل‌پذیری متوسط و λ_{hd} برای اعضای با شکل‌پذیری زیاد کمتر یا مساوی باشد.

نیروی زلزله تشدید یافته ($\Omega_0 E$):

مؤلفه افقی نیروی زلزله E ضربدر Ω_0 می باشد و معرف سطحی از زلزله است که طراحی اعضایی که از آنها انتظار شکل‌پذیری قابل توجه نمی‌رود، بر اساس آن انجام می‌شود. این اعضا (که اعضای کنترل شونده توسط نیرو نامیده می‌شوند) باید زلزله را در حالت ارتجاعی تحمل کنند تا عملکرد اصلی آنها، که تحمل بارهای ثقلی است، مختل نشود. به منظور تأمین افزایش باربری این اعضا، نیروی وارد شونده به آنها در ضریب افزاینده Ω_0 ضرب می‌شود تا تقاضا و در نتیجه آن، ظرفیت عضو افزایش داده شود. ضریب Ω_0 یا ضریب اضافه مقاومت که به عوامل متعددی نظیر درجات نامعینی سازه، مقاومت‌های بالاتر از حد تعیین شده مصالح مصرفی، سخت شدن کرنش‌ها، جزئیات بندی اعضا، اثرات اجزای غیرسازه‌ای و ... بستگی دارد، بشرح زیر می‌باشد:

جدول ۱۰-۳-۲-۲ ضریب اضافه مقاومت Ω_0 برای انواع سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای

نوع سیستم باربر جانبی لرزه‌ای	Ω_0
کلیهٔ قاب‌های خمشی فولادی	۳
کلیهٔ قاب‌های ساختمانی ساده توأم با مهاربندی هم‌محور و برون‌محور فولادی	۲
کلیهٔ سیستم‌های دوگانه یا ترکیبی	۲/۵

[1] Design Based Earthquake

تنش تسلیم مورد انتظار (F_{ye}):

تنش تسلیم حداکثر محتمل ماده، که برابر است با مقاومت تسلیم حداقل مشخصه، F_y، ضرب در ضریب R_y.

ضریب R_y عبارتست از نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده:

$$R_y = \frac{F_{ye}}{F_y}$$

F_y = تنش تسلیم تعیین شده فولاد

F_{ye} = تنش تسلیم مورد انتظار فولاد

این ضریب به شکل مقاطع و روند تولید فولاد در کارخانه بستگی دارد که بشرح زیر می‌باشد:

جدول ۱۰-۳-۲-۱ مقادیر R_y برای انواع تولیدات فولاد

نوع محصول	R_y
مقاطع لوله‌ای و قوطی‌شکل نوردشده	۱/۲۵
سایر مقاطع نوردشده شامل مقاطع I شکل، H شکل، ناودانی، نبشی و سپری	۱/۱۰
مقاطع ساخته‌شده از ورق، ورق‌ها و تسمه‌ها	۱/۱۵

شکل پذیری:

رفتار چرخه‌ای پایداری است که طی آن عضو بدون کاهش قابل توجه در مقاومت و سختی، تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی را پذیرا باشد.

- حد شکل‌پذیری زیاد: دوران تغییر مکان نسبی به 0/04 می‌رسد که 0/03 مقدار آن فرا ارتجاعی است.
- حد شکل‌پذیری متوسط:دوران تغییر مکان نسبی به 0/02 می‌رسد که 0/01 مقدار آن فراارتجاعی است.
- حد شکل‌پذیری کم: دوران تغییر مکان نسبی کم می‌باشد که عملاً تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی ندارد.

دوران تغییرمکان نسبی طبقه:

زاویه‌ای است برابر با جابجایی نسبی طبقه تقسیم بر ارتفاع آن، بر حسب رادیان.

سیستم باربر جانبی لرزه ای:

مجموعه ای از اعضای سازه، که در مقابل نیروهای جانبی حاصل از زلزله مقاومت می کنند.

goharrokhi.gmail.com

قاب خمشی:

سیستم باربری است که باربری جانبی آن، توسط رفتار برشی قاب و عملکرد برشی چشمه اتصال تأمین می‌گردد. در رفتار طره‌ای، قاب مانند یک طره قائم عمل می‌کند و خمش حاصل از بار جانبی را به طور عمده، توسط کوتاه شدگی ستون‌های تحت فشار و کش آمدن ستون های تحت کشش، تحمل می نماید. در رفتار برشی، تیرها و ستون ها در اثر بار جانبی در هر طبقه و هر دهانه، تغییر انحنا داده، با خمش و برش ایجاد شده در آنها، بارهای وارده را تحمل می‌نمایند.

قاب خمشی معمولی (OMF[1]):

قاب خمشی است که اجزای تش یل دهنده آن ، دارای آنچنان جزئیاتی است که تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی اندکی را، در برابر زلزله طرح، از خود نشان می‌دهد. (حد شکل‌پذیری کم)

قاب خمشی متوسط (IMF[2]):

قاب خمشی است که اجزای تشکیل دهنده آن، دارای آنچنان جزییاتی است که تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی را، در برابر زلزله طرح، از خود نشان می‌دهد. (حد شکل‌پذیری متوسط)

قاب خمشی ویژه (SMF[3]):

قاب خمشی است که اجزای تشکیل دهنده آن، دارای آنچنان جزییاتی است که تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای را، در برابر زلزله طرح، از خود نشان می دهد. (حد شکل‌پذیری زیاد)

اتصالات از پیش تأیید شده:

اتصالات با جزییات مشخصی هستند که درستی عملکرد آنها برای دستیابی به رفتار لرزه ای مورد نظر سازه، توسط آزمایشها و شواهد عینی، از جانب مراجع معتبر تأیید شده باشد.

مهار جانبی:

عضوی است که از کمانش جانبی یا جانبی پیچشی اعضای اصلی سازه جلوگیری می‌کند.

مهاربند:

عضو سازه ای مایلی است که باربری اصلی آن محوری است و برای ایجاد رفتار خرپایی در سازه، در مقابل بارهای جانبی به کار برده می‌شود.

[1] Ordinary Moment Frame
[2] Intermediate Moment Frame
[3] Special Moment Frame

goharrokhi.ali@gmail.com

قاب مهاربندی شده:

یک سیستم خرپایی متشکل از مهاربندهای همگرا و یا واگرا است و وظیفه اصلی آن تحمل نیروهای جانبی وارد به سازه است.

قاب مهاربندی شده همگرای معمولی (OCBF[1]):

قاب مهاربندی شده‌ای با چنان جزییاتی است که در آن، اعضای کششی و فشاری مهاربند، تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی را، در برابر زلزله طرح، از خود نشان می دهند.

قاب مهاربندی شده همگرای ویژه (SCBF[2]):

قاب مهاربندی شده‌ای با چنان جزییاتی است که در آن، اعضای کششی و فشاری مهاربند، تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه ای را، در برابر زلزله طرح، از خود نشان می‌دهند.

مهاربندی 7 و 8 شکل:

نوعی مهاربندی همگرا (ویژه یا معمولی) است که در آن دو عضو مهاربند یکدیگر را در نقطه‌ای در طول آزاد تیر قطع می‌کنند. در مهاربندهای 7، نقطه تلاقی در تیر پایینی و در مهاربندهای 8، نقطه تلاقی در تیر بالایی دهانه مهاربندی شده قرار دارد.

مهاربندی قطری:

نوعی مهاربندی همگرا (ویژه یا معمولی) است که دو انتهای آن، بر دو رأس مقابل دهانه مهاربندی شده واقع است.

مهاربندی ضربدری:

نوعی مهاربندی همگرا (ویژه یا معمولی) است؛ شامل دو عضو قطری مهاربند، که در ناحیه میانی همدیگر را قطع می کنند.

قاب مهاربندی شده واگرا (EBF[3]):

قاب مهاربندی شده ای است که در آن، دست کم یکی از دو انتهای عضو مهاربندی، با فاصله کوتاهی از اتصال مهاربند دیگر، یا اتصال تیر به ستون، به تیر متصل شده باشد.

تیر پیوند:

قسمتی از تیر در قاب های با مهاربندهای واگرا است که بین انتهای مهاربندها، یا بین انتهای مهاربند و ستون واقع است و رفتار غیرارتجاعی سیستم باربر جانبی را فراهم می نماید.

[1] Ordinary Concentrically Braced Frame
[2] Special Concentrically Braced Frame
[3] Eccentric Braced Frame

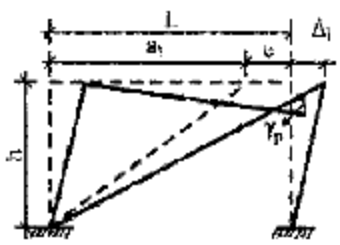
goharrokhi.ali@gmail.com

تقویت کننده عرضی جان تیر پیوند:

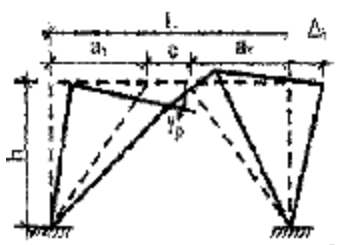
تقویت کننده‌های عرضی قائمی هستند که برای تضمین رفتار غیرارتجاعی پایدار، در طول تیر پیوند قرار داده می‌شوند. این اجزا، به صورت تقویت کننده های عرضی انتهایی و تقویت کننده های عرضی میانی به کار برده می‌شوند.

زاویه چرخش غیرالاستیک تیر پیوند (γ_p):

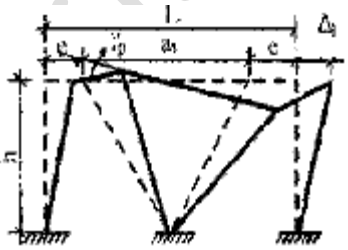
زاویه بین تیر پیوند و تیر ناحیه خارج از تیر پیوند، در حالتی که جابجایی نسبی غیرالاستیک حداکثر در طبقه ایجاد شده باشد.



$$\gamma_p = \left(\frac{L}{2eh}\right)\Delta_i$$



$$\gamma_p = \left(\frac{L}{eh}\right)\Delta_i$$



$$\gamma_p = \left(\frac{L}{eh}\right)\Delta_i$$

سیستم دوگانه:

ترکیب سیستم قاب خمشی و یک سیستم مهاربندی یا دیوار برشی است.

مفصل پلاستیک:

در تیرهای قاب های خمشی و تیرهای پیوند با عملکرد عمده خمشی قاب های مهاربندی شده واگرا، ناحیه شکل پذیر تیر، محدوده ای با فاصله ای اندک از دو انتهای آن در نظر گرفته می شود و مفصل پلاستیک خمشی نام دارد.
مؤلفه شکل‌پذیر این ناحیه، عمدتاً لنگر خمشی و تغییرشکل آن، از نوع دوران است.

ناحیه حفاظت شده:

ناحیه حفاظت شده یا ناحیه شکل‌پذیر، قسمتی از عضو است که انتظار می‌رود در آن بخش مفصل پلاستیک تشکیل شود. بکاربردن وصله مستقیم یا غیرمستقیم پیچی یا جوشی و یا هرگونه ناپیوستگی ناشی از عملیات ساخت و ساز مانند جوش-های موضعی، وسایل کمکی برای نصب، ناصافی‌های ناشی از برش‌های حرارتی و .... در این ناحیه ممنوع می‌باشد.

عضو اثر پذیر از مؤلفه شکل پذیر:

به عضو یا اتصالی گفته می شود که در طراحی لرزه ای، متأثر از پلاستیک شدن مؤلفه‌های شکل‌پذیر عضو یا اعضای مجاور است.

goharrokhi.ali@gmail.com

۷ الزامات مصالح

- **فولاد مصرفی**

برای فولاد مصرفی در طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی، مقاومت کششی نهایی باید حداقل 1/2 برابر مقاومت حد تسلیم باشد:

$$F_u \geq 1.2F_y$$

نکته: در فولادهای ساختمانی $ST37$ و $ST52$ این الزام رعایت شده است:

$$\begin{cases} ST37: & 370 > 1.2 \times 240 = 288 \\ ST52: & 520 > 1.2 \times 360 = 432 \end{cases}$$

- **اتصال پیچی**

کلیه اتصالات پیچی باید از نوع اصطکاکی و پیچ‌ها نیز از نوع پرمقاومت با اعمال حداقل نیروی پیش‌تنیدگی باشند. سوراخ‌ها نیز باید استاندارد یا لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر راستای نیرو باشند.

- **ضریب C_{pr}**

ضریب C_{pr} مربوط به اتصال تیر به ستون می‌باشد و برای محاسبه حداکثر نیروی ایجاد شده در اعضا و وسایل اتصال بکار گرفته می‌شود. این ضریب دربرگیرنده عواملی از قبیل سخت شدگی، قیدهای موضعی و ملحقات موجود در اتصال می‌باشد. این ضریب بجز برای اتصال از پیش تایید شده گیردار تقویت نشده جوشی **(WUF-W)**، که 1/4 می‌باشد، در بقیه موارد بصورت زیر است:

$$1.1 \leq C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

F_y = تنش تسلیم فولاد تیر

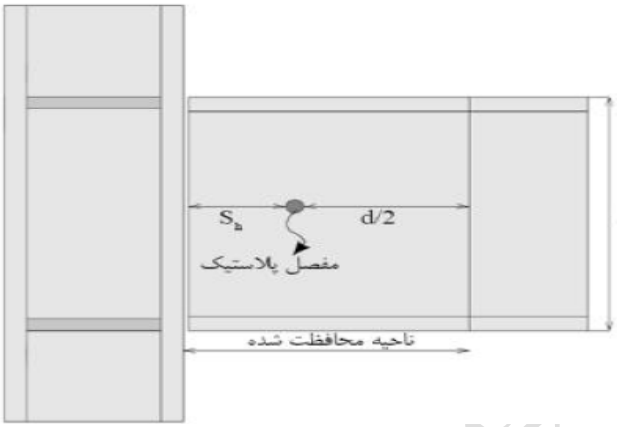
F_u = تنش کششی نهایی فولاد (تنش گسیختگی فولاد)

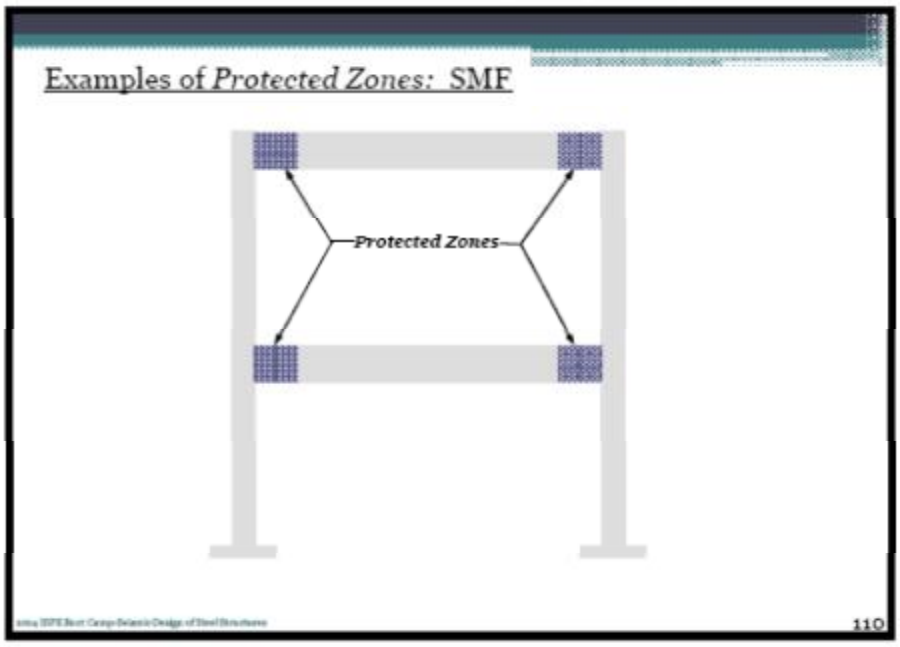
$$\begin{cases} \boldsymbol{ST37}: & C_{pr} = 1.2 \\ \boldsymbol{ST52}: & C_{pr} = 1.2 \end{cases}$$

goharrokhi.ali@gmail.com

الزامات لرزه ای قاب های خمشی

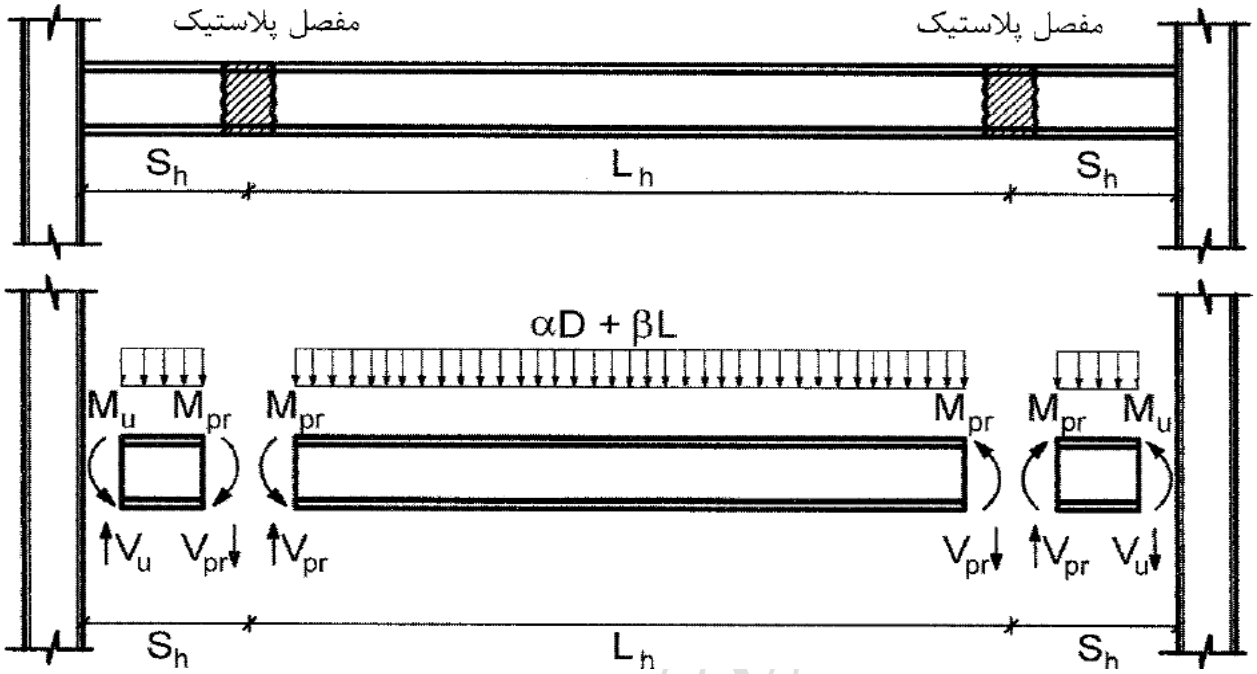
ناحیه حفاظت شده در قاب‌های خمشی: فاصله بین بر ستون تا نصف عمق تیر از محل تشکیل مفصل پلاستیک به سمت داخل دهانه در دو انتهای تیر.





- سوراخ در جان تیر (تیر لانه زنبوری) باید در خارج از ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر و در نیمه میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.
- تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت بال تیر باید با شیب حداکثر 1 به 2/5 صورت گیرد. هرگونه تغییر در ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر مجاز نمی‌باشد.

۷ مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی در تیرهای قاب خمشی



جدول شماره یک

لنگر خمشی در محل مفصل پلاستیک	$M_{pr} = C_{pr}R_yM_p$
نیروی برشی در محل مفصل پلاستیک	$V_{pr} = \frac{2M_{pr}}{L_h} + \frac{q_uL_h}{2}$
لنگر خمشی در محل اتصال تیر به ستون	$M_u = M_{pr} + V_{pr}S_h + \frac{q_uS_h^2}{2}$
نیروی برشی در محل اتصال تیر به ستون	$V_u = V_{pr} + q_uS_h$

q_u = مقدار بار ثقلی ضریبدار $(q_u = \alpha D + \beta L)$

S_h = فاصله بر ستون تا محل مفصل پلاستیک

L_h = فاصله بین دو مفصل پلاستیک $(L_h = L - 2S_h)$

∨ قاب خمشی معمولی

در قاب‌های خمشی معمولی، مفصل پلاستیک می‌تواند در بر ستون تشکیل می‌شود. بعبارت دیگر: $\underline{S_h = 0}$

- **محدودیت‌های تیر و ستون**

1) مقاطع تیرها و ستون‌ها باید فشرده باشند.
2) استفاده از ستون‌های بست‌دار مجاز نیست.

∨ قاب خمشی متوسط

در قاب‌های خمشی متوسط، مفصل پلاستیک باید در داخل تیر تشکیل شود.

- **محدودیت‌های تیر و ستون**

1) مقاطع تیرها و ستون‌ها باید از نوع فشرده لرزه‌ای متوسط (λ_{md}) باشند.
2) استفاده از ستون‌های بست‌دار مجاز نیست، مگر آنکه خمش در ستون حول محور با مصالح باشد.

∨ قاب خمشی ویژه

در قاب‌های خمشی ویژه، مفصل پلاستیک باید در داخل تیر (در نزدیکی دو انتهای تیر) تشکیل شود.

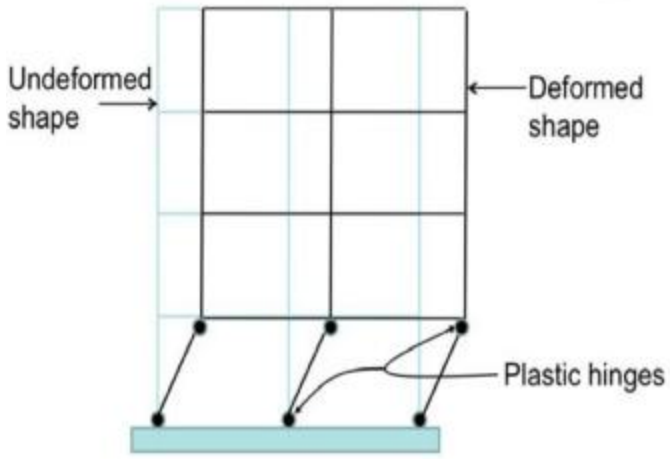
- **محدودیت‌های تیر و ستون**

1) مقاطع تیرها و ستون‌ها باید از نوع فشرده لرزه‌ای ویژه (λ_{hd}) باشند.
2) استفاده از ستون‌های بست‌دار مجاز نیست.

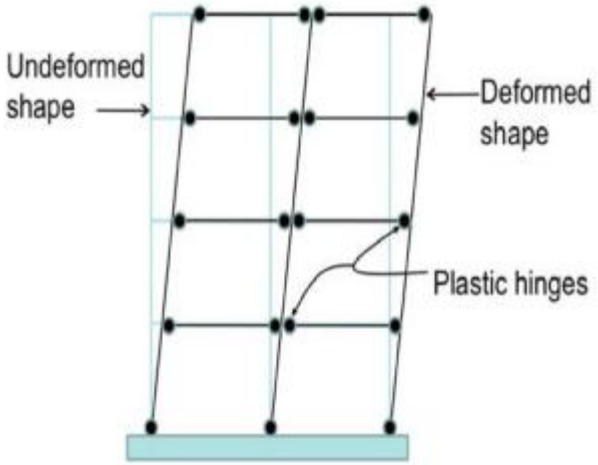
goharrokhi.ali@gmail.com

۷ نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر

آئین نامه برای اطمینان از تشکیل مفاصل پلاستیک در تیرها و جلوگیری از خرابی سازه، نسبت لنگرخمشی ستون به لنگر خمشی تیر را محدود می‌کند. این بند براساس فلسفه تیر ضعیف ستون قوی می‌باشد.



ستون ضعیف تیر قوی



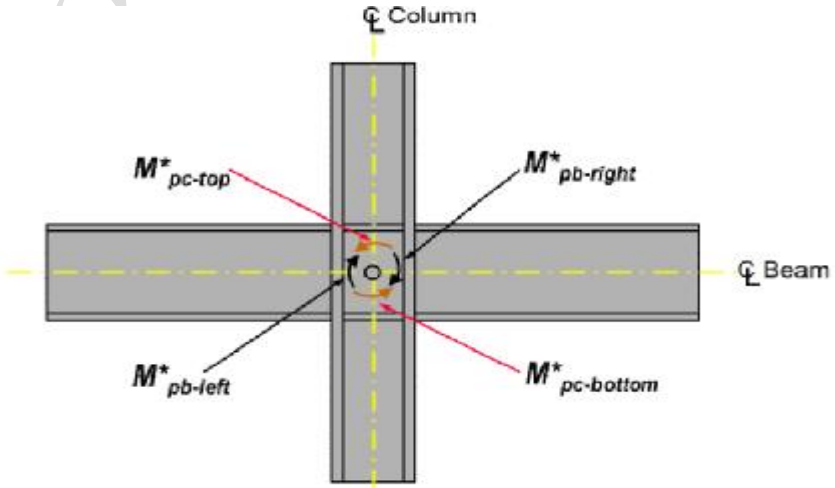
ستون قوی تیر ضعیف

در کلیه اتصالات خمشی تیر به ستون قاب‌های خمشی ویژه، رابطه زیر باید کنترل شود:

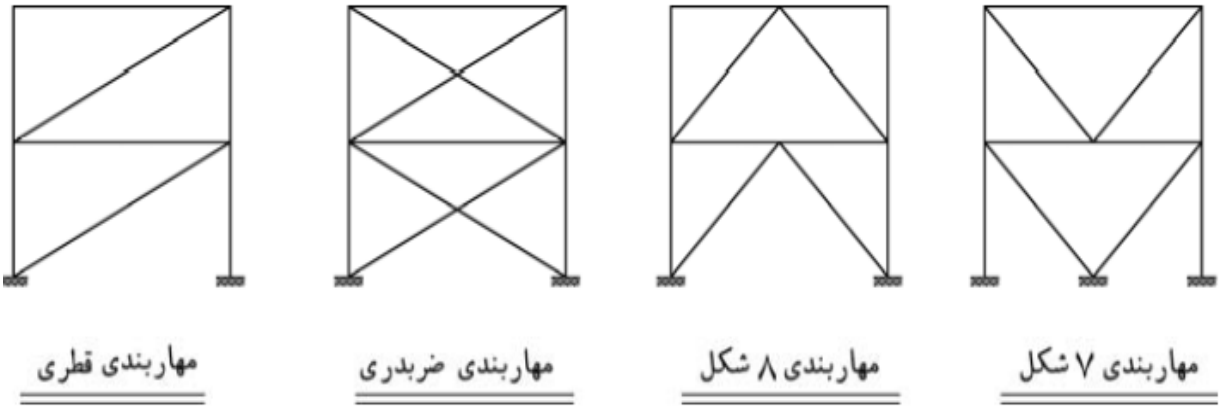
$$\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} \geq 1.0$$

ΣM^*_{pc} = مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین گره اتصال: $\sum M^*_{pc} = M^*_{pc-bottom} + M^*_{pc-top}$

ΣM^*_{pb} = مجموع لنگرهای خمشی تیرها در گره اتصال: $\sum M^*_{pb} = M^*_{pb-right} + M^*_{pc-left}$



الزامات لرزه ای قاب های مهاربندی همگرا

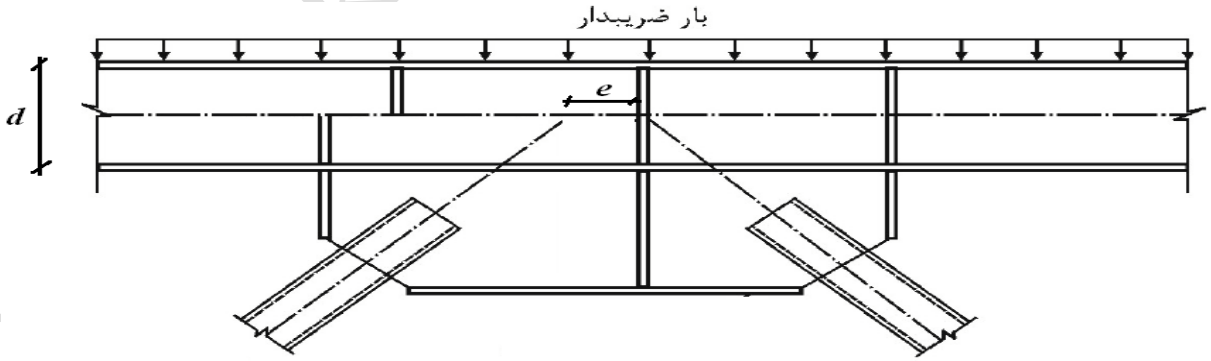


استفاده از ***مهاربند K شکل*** مجاز نمی‌باشد.

ناحیه حفاظت شده در قاب‌های مهاربندی همگرا: تمام طول عضو مهاربند.

ضریب طول مؤثر (K) برای مهاربندی‌های 7 و 8 شکل و قطری برابر یک و برای مهاربندی‌های ضربدری، چنانچه در محل تقاطع دو عضو مهاربند اتصال کافی وجود داشته باشد، در صفحه مهاربندی برابر 0/5 و در جهت عمود بر صفحه مهاربندی برابر 0/7 می‌باشد.

خروج از مرکزیت در محل اتصال مهاربندی‌های 7 و 8 شکل: اگر خروج از مرکزیت کمتر از ارتفاع تیر باشد ($e \leq d$)، می‌توان بعنوان مهاربند همگرا محسوب کرد.



∨ قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی

در قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی، کنترل فشردگی بصورت زیر می‌باشد:

فشردگی قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی	مهاربند	تیر نظیر دهانه مهاربندی	ستون نظیر دهانه مهاربندی
مهاربندی قطری و ضربدری	فشرده لرزه‌ای متوسط ($\lambda=b/t\leq\lambda_{md}$)	فشرده ($\lambda=b/t\leq\lambda_{p}$)	فشرده ($\lambda=b/t\leq\lambda_{p}$)
مهاربندی 7 و 8 شکل	فشرده لرزه‌ای متوسط ($\lambda=b/t\leq\lambda_{md}$)	فشرده لرزه‌ای متوسط ($\lambda\leq\lambda_{md}$)	----------

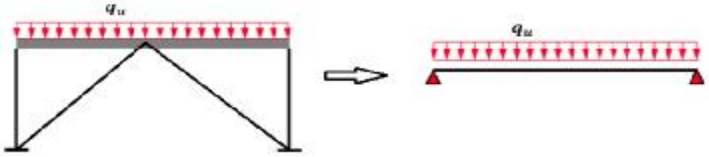
∨ قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه

در قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه، کنترل فشردگی بصورت زیر می‌باشد:

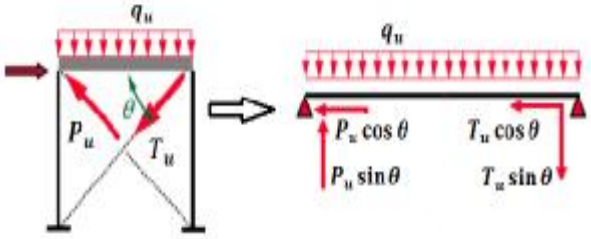
فشردگی قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه	مهاربند	تیر نظیر دهانه مهاربندی	ستون نظیر دهانه مهاربندی	ستون سایر دهانه‌ها
	فشرده لرزه‌ای ویژه ($\lambda=b/t\leq\lambda_{hd}$)	فشرده لرزه‌ای متوسط ($\lambda=b/t\leq\lambda_{md}$)	فشرده لرزه‌ای ویژه ($\lambda=b/t\leq\lambda_{hd}$)	فشرده ($\lambda=b/t\leq\lambda_{p}$)

∨ طراحی تیرها و اتصال تیر به ستون: (بیان مفهومی روابط طراحی)

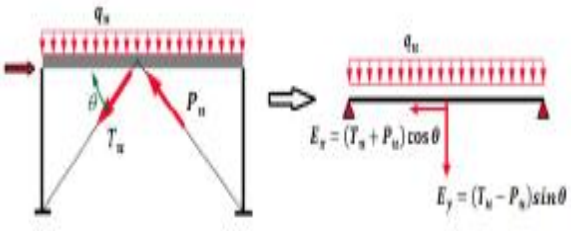
1) تیرهای دهانه مهاربندی شده باید قادر به تحمل نیروهای ثقلی ضریبدار (q_u) بدون حضور مهاربندها باشند.



2) تیرهای دهانه مهاربندی شده و اتصالات آنها به ستون باید قادر به تحمل نیروهای نامتعادل مهاربندهای کششی و فشاری ناشی از زلزله (T_u و P_u) در ترکیب با نیروهای ثقلی ضریبدار (q_u) باشند:



مهاربند ضربدری (طراحی اتصال تیر به ستون)



مهاربند 8 (طراحی تیر)

a) نیروی لرزه‌ای مهاربند کششی (T_u): (رابطه ساده شده)

$$T_u = R_y F_y A_g$$

b) نیروی لرزه‌ای مهاربند فشاری (P_u): (رابطه ساده شده)

$$P_u = 0.3 P_n$$

R_y = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح مهاربند (براساس جدول)

F_y = تنش تسلیم فولاد مهاربند

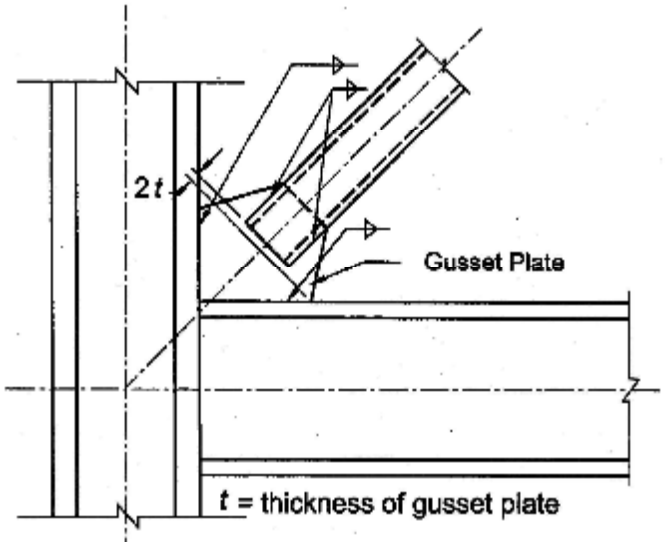
A_g = سطح مقطع کلی مهاربند

P_n = مقاومت فشاری اسمی مهاربند فشاری ($P_n=F_{cr}.A_g$ که F_{cr} براساس لاغری مهاربند ($\lambda=KL/r$) از فصل اعضای فشاری تعیین می‌شود.)

q_u = مقدار بار ثقلی ضریبدار

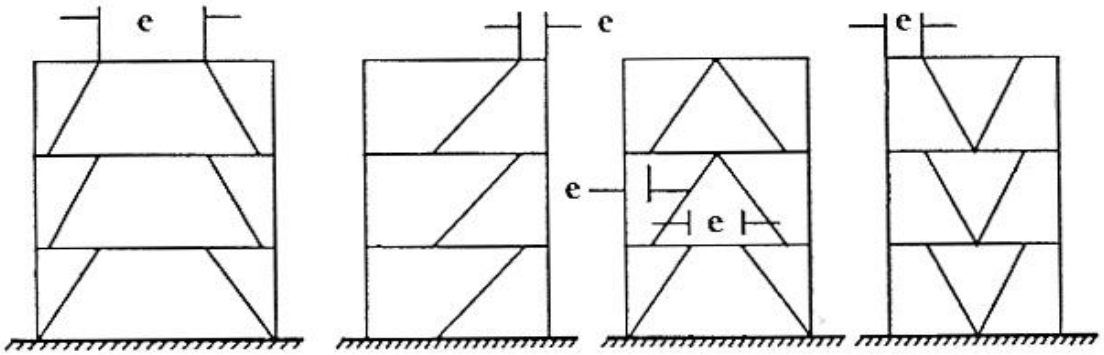
- **اتصالات مهاربندها**:

بمنظور سازگاری اتصال با کمانش مهاربندی، عضو مهاربندی باید به اندازه دو برابر ضخامت صفحه اتصال (2t) قبل از خط تکیه‌گاهی ورق اتصال (خط آزاد خمش) قطع شود.



goharr ali@gmail.com

الزامات لرزه ای قاب های مهاربندی واگرا



ناحیه حفاظت شده در قاب‌های مهاربندی واگرا: تمام طول تیر پیوند (**e**).

نکته: مقطع تیر پیوند به دو صورت می‌تواند باشد:

1) **I** شکل نورد شده یا ساخته شده از ورق
2) قوطی شکل ساخته شده از ورق با شرایط: $I_y > 0.67I_x$

- **کنترل فشردگی**:

در قاب‌های مهاربندی شده واگرا، کنترل فشردگی بصورت زیر می‌باشد:

موقعیت عضو	تیر پیوند	تیرخارج از ناحیه پیوند (اگر مقطع متفاوت باشد)	ستون نظیر دهانه مهاربندی	بقیه ستون ها	مهاربند
نوع فشردگی	فشرده لرزه‌ای ویژه ($\lambda=b/t\leq\lambda_{hd}$)	فشرده لرزه‌ای متوسط ($\lambda\leq\lambda_{md}$)	فشرده لرزه‌ای ویژه ($\lambda=b/t\leq\lambda_{hd}$)	فشرده ($\lambda=b/t\leq\lambda_{p}$)	فشرده لرزه‌ای متوسط ($\lambda=b/t\leq\lambda_{md}$)

- **نحوه اتصال اعضا**:

نوع اتصال	اتصال تیر پیوند به ستون	اتصال تیر خارج از ناحیه پیوند به ستون	اتصال مهاربندی‌ها*
نحوه اتصال	صلب (گیردار کامل)	مفصلی یا گیردار	مفصلی یا گیردار

* چنانچه مهاربندی برای تحمل بخشی از لنگر انتهایی تیر پیوند طراحی شود، اتصال آن به تیر پیوند باید بصورت صلب (گیردار کامل) طراحی شود.

اتصالات گیردار از پیش تایید شده

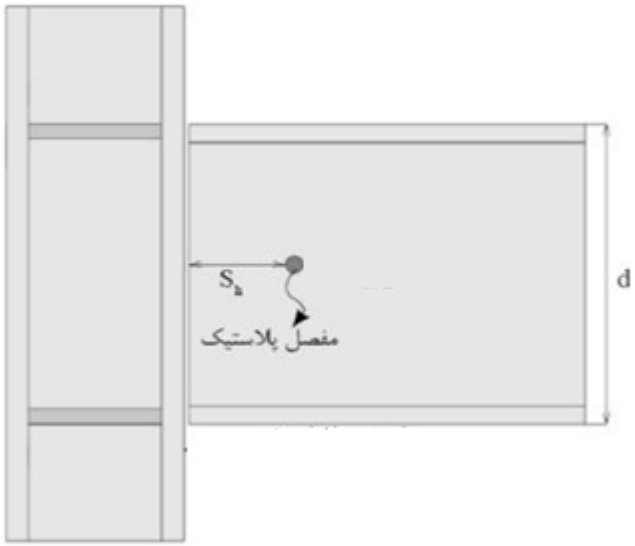
انواع اتصالات گیردار از پیش تایید شده عبارتند از:

ردیف	نوع اتصال	مخفف	نوع سیستم سازه‌ای قابل کاربرد
1	اتصال مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته	RBS	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه
2	اتصال فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی	BUEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه
3	اتصال فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی	BSEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه
4	اتصال پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	BFP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه
5	اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	WFP	قاب‌های خمشی متوسط
6	اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی	WUF-W	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه

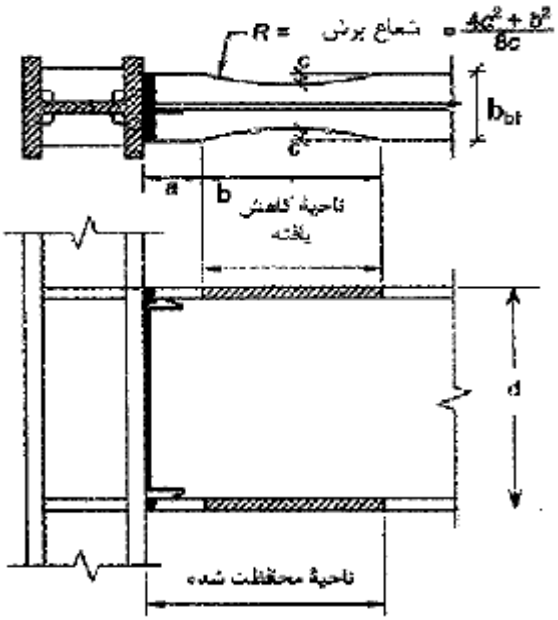
در کلیه این اتصالات:

S_h = فاصله بین مفصل پلاستیک در داخل تیر تا بر ستون

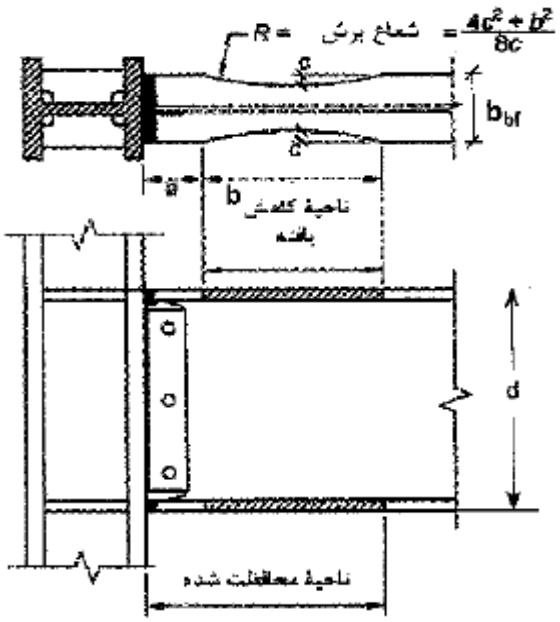
d = ارتفاع تیر



۷ اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)



الف) برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه

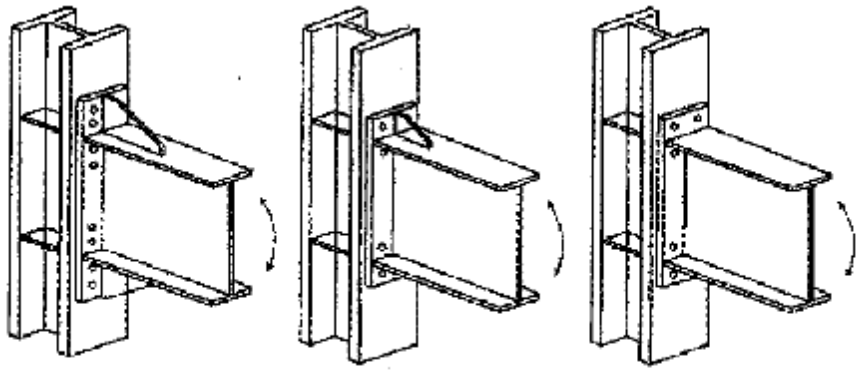


ب) فقط برای قاب‌های خمشی متوسط

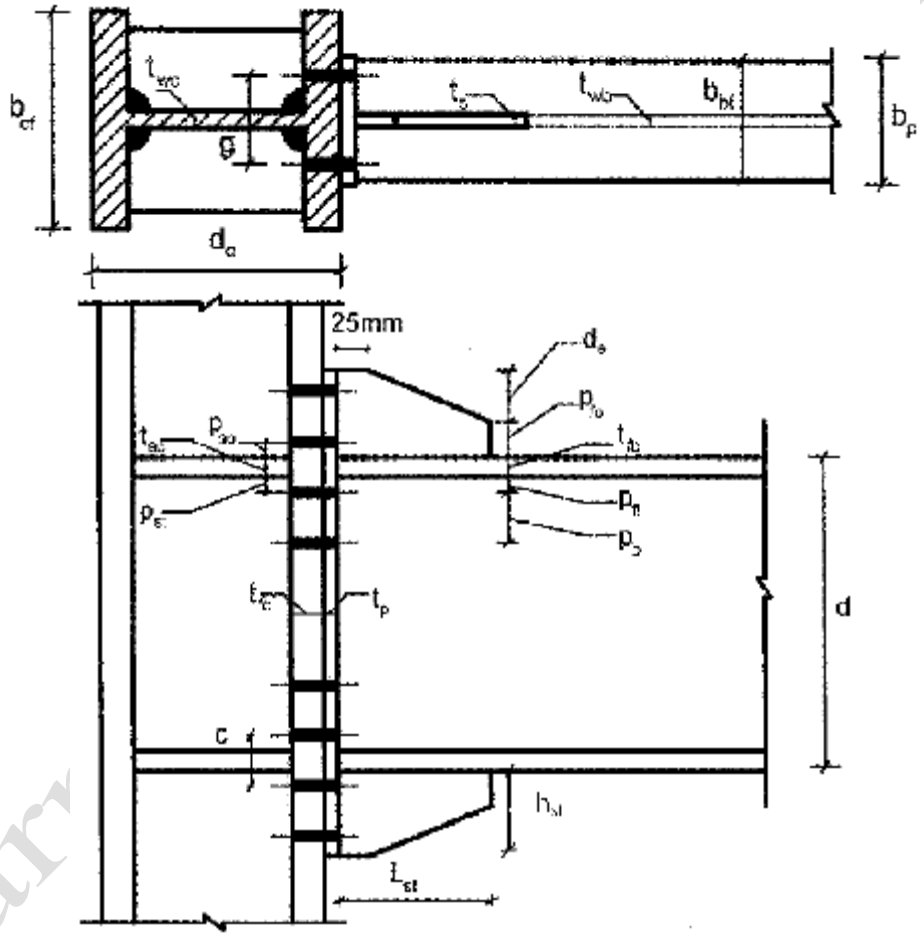
- **ü** محل تشکیل مفصل پلاستیک: $S_h = a + \frac{b}{2}$
- **ü** ناحیه محافظت شده: $a + b$

v اتصال گیردار فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی (BUEEP) و اتصال گیردار فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP)

goharrokhi.ali@gmail.com

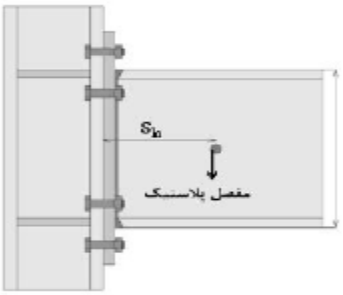


الف) چهارپیچی بدون ورق سخت‌کننده ب) چهارپیچی با ورق سخت‌کننده پ) هشت‌پیچی با ورق سخت‌کننده

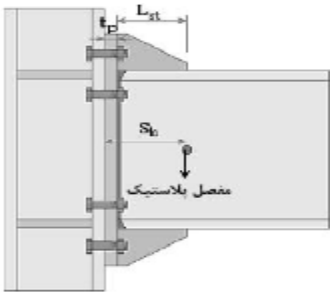


ü محل تشکیل مفصل پلاستیک:

$$S_h = \begin{cases} min\left\{\frac{d}{2} \text{ و } 3b_{bf}\right\} & \text{اتصال فلنجی بدون استفاده از ورق لچکی} \\ L_{st} + t_p & \text{اتصال فلنجی با استفاده از ورق لچکی} \end{cases}$$



بدون استفاده از ورق لچکی



با استفاده از ورق لچکی

ü ناحیه محافظت شده:

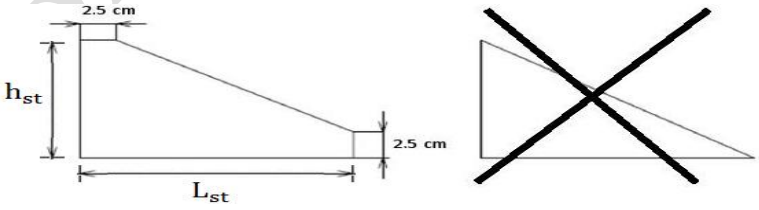
$$\text{طول ناحیه محافظت شده} = \begin{cases} min\left\{d \text{ و } 3b_{bf}\right\} & \text{اتصال فلنجی بدون استفاده از ورق لچکی} \\ \text{طول لچکی} + min\left\{\frac{d}{2} \text{ و } 3b_{bf}\right\} & \text{اتصال فلنجی با استفاده از ورق لچکی} \end{cases}$$

ü ورق انتهایی:

$$\begin{cases} b_p \geq b_{bf} \\ b_{pn} \leq b_{bf} + 25mm \end{cases}$$

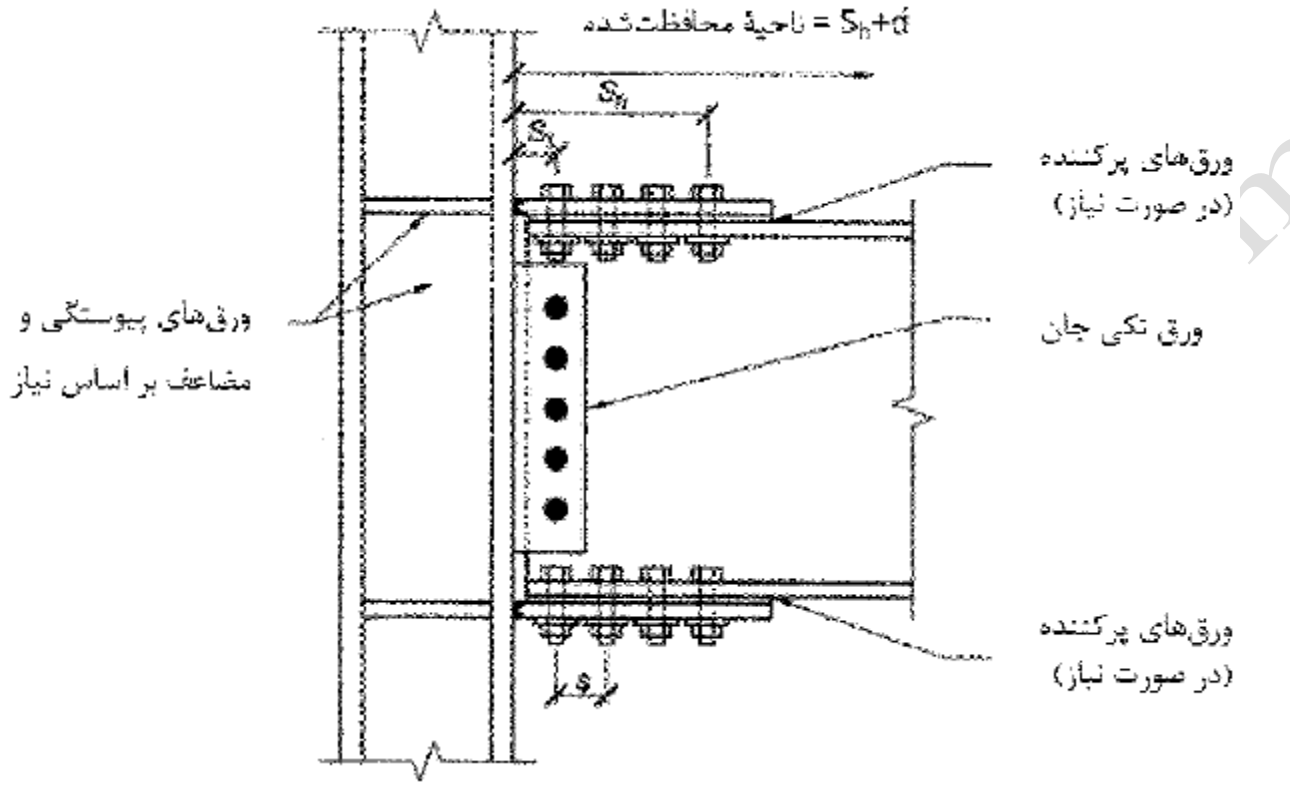
ü ورق لچکی:

$$\begin{cases} L_{st} \geq 1.75h_{st} \\ t_{st} \geq t_{bw} \\ \frac{h_{st}}{t_{st}} \leq 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} \end{cases}$$



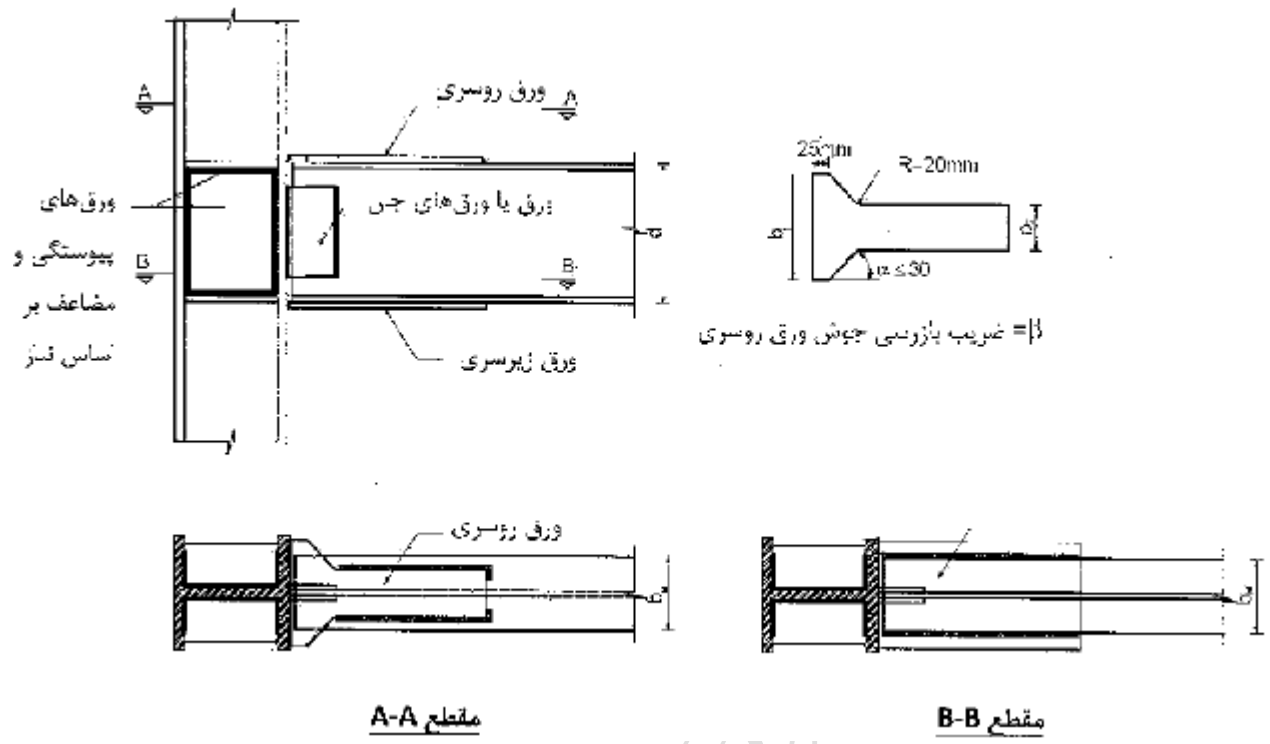
v اتصال گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (BFP)

goharrkhi.ali@gmail.com



- محل تشکیل مفصل پلاستیک (S_h): فاصله دورترین ریف پیچ در روی بال تیر تا بر ستون
- ناحیه محافظت شده: $S_h + d$

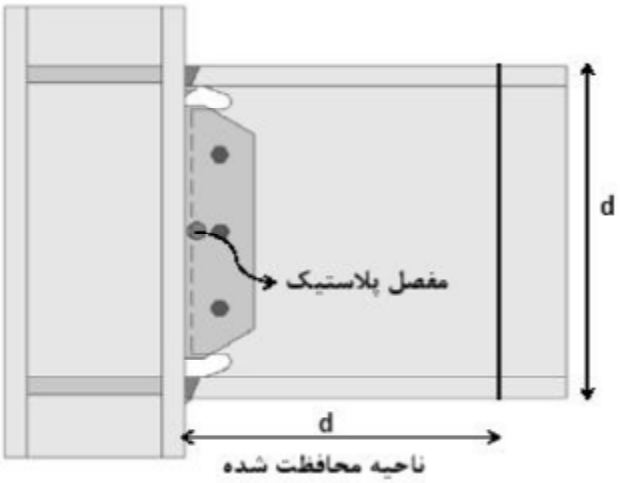
اتصال گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)



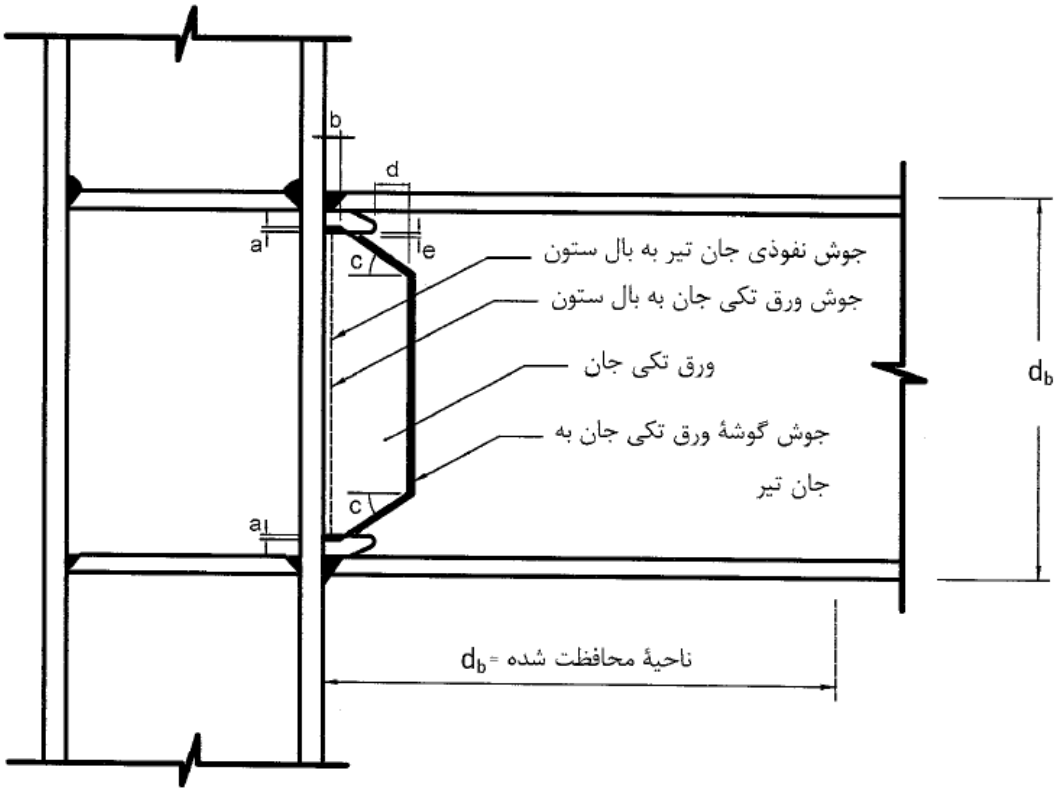
- استفاده از این اتصال فقط در قاب‌های خمشی متوسط مجاز است.
- محل تشکیل مفصل پلاستیک (S_h): فاصله محل انتهای ورق‌های روسری و زیرسری (طول هرکدام بزرگتر است) تا بر ستون
- ناحیه محافظت شده: $S_h + \frac{d}{2}$

v اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (WUF-W)

goharrokhi.ali@gmail.com



$S_h = 0$

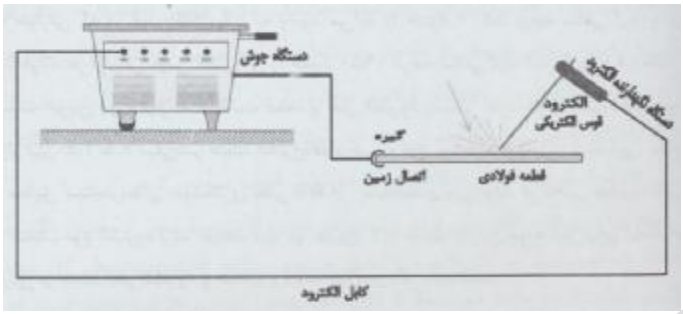


- استفاده از مقاطع تیر I شکل فقط در این اتصال مجاز است.
- محل تشکیل مفصل پلاستیک (S_h): در محل بر ستون $S_h = 0$
- ناحیه محافظت شده: d (عمق مقطع تیر از بر ستون)
- ضریب C_{pr}: $C_{pr} = 1.4$

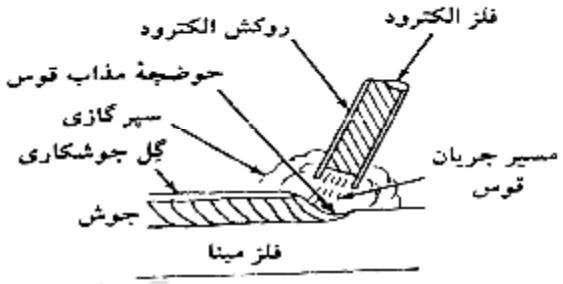
جوش

۷ مشخصات جوش

جوشکاری عبارتست از اتصال اعضای یک سازه به کمک حرارت و ذوب موضعی و یکپارچه شدن آنها.



در جریان جوشکاری با ذوب الکترود و انتقال به فلز مبنا، الکترود روکش دار مصرف می شود. فلز الکترود تبدیل به ماده پرکننده و قسمتی از روکش به گاز حافظ و قسمت دیگر آن به گل جوشکاری تبدیل می شود. شکل زیر انجام عملیات جوشکاری دستی با الکترود روکش دار را که همراه با ایجاد حوضچه مذاب قوس و حفاظ گازی است نشان می دهد.



· الکترودها

در استانداردهای مختلف برای نشان دادن انواع الکترود، از علائم مختلف استفاده می شود. مثلا در استاندارد انجمن جوشکاری آمریکا (AWS) علامت ها با حرف E شروع می شوند که با عدد چهار یا پنج رقمی دنبال می‌گردد (Exxxx) که دو رقم اول سمت چپ معرف مقاومت کششی فلز الکترود بر حسب *Ksi* (1000 پوند بر اینچ مربع) می باشد. بطور مثال الکترودهای نشان داده شده به صورت E60XX دارای مقاومت کششی ***60 Ksi*** می باشند.

هر *Ksi* حدود *7 MPa* (*7 N/mm^2*) یا *70 Kg/cm^2* می باشد:

60 Ksi = 4200 *Kg/cm^2 = 420 MPa*

70 Ksi = 4900 *Kg/cm^2 = 490 MPa*

اعداد بعدی که با XX نمایش داده شده، نمایشگر عوامل مؤثر دیگر مانند وضعیت جوشکاری، منبع توصیه شده برای تامین الکتریسیته، جنس روکش و مشخصات الکتریکی می باشد.

الکترود روپوشدار برای جوشکاری قوسی الکتریکی دستی

- **جوش پذیری**

ترکیبات غیرآهنی موجود در فولاد عوامل عمده موثر بر جوش‌پذیری آن می‌باشند. در جدول زیر حدود متعارف این ترکیبات برای حصول حداکثر سرعت جوشکاری و اقتصاد مناسب کار ارائه شده است که ترکیبات فولاد نرمه تجاری غالبا در محدوده-های ذکر شده می‌باشند.

جدول ۱ ـ ۱ ـ حدود مناسب ترکیبات غیرآهنی فولاد برای حصول قابلیت جوشکاری مناسب

عنصر	دامنهٔ مناسب (درصد)	مقدار حداکثر* (درصد)
کربن (C)	۰/۰۶–۰/۲۵	۰/۳۵
منگنز (Mn)	۰/۳۵–۰/۸	۱/۴
سیلیسیم (Si)	۰/۱	۰/۳
سولفور (S)	۰/۰۳۵	۰/۰۵
فسفر (P)	۰/۰۳	۰/۰۴

* در صورت تجاوز از مقادیر حداکثر، نیاز به‌روشها و ترجهات خاص برای جوشکاری است.

میزان بعضی از ترکیبات موجود در فولادهای پرمقاومت و آلیاژدار از مقادیر جدول فوق تجاوز می‌کند که نیاز به الکترودها و دستورالعمل‌های خاص جوشکاری از جمله موارد زیر می‌باشد:

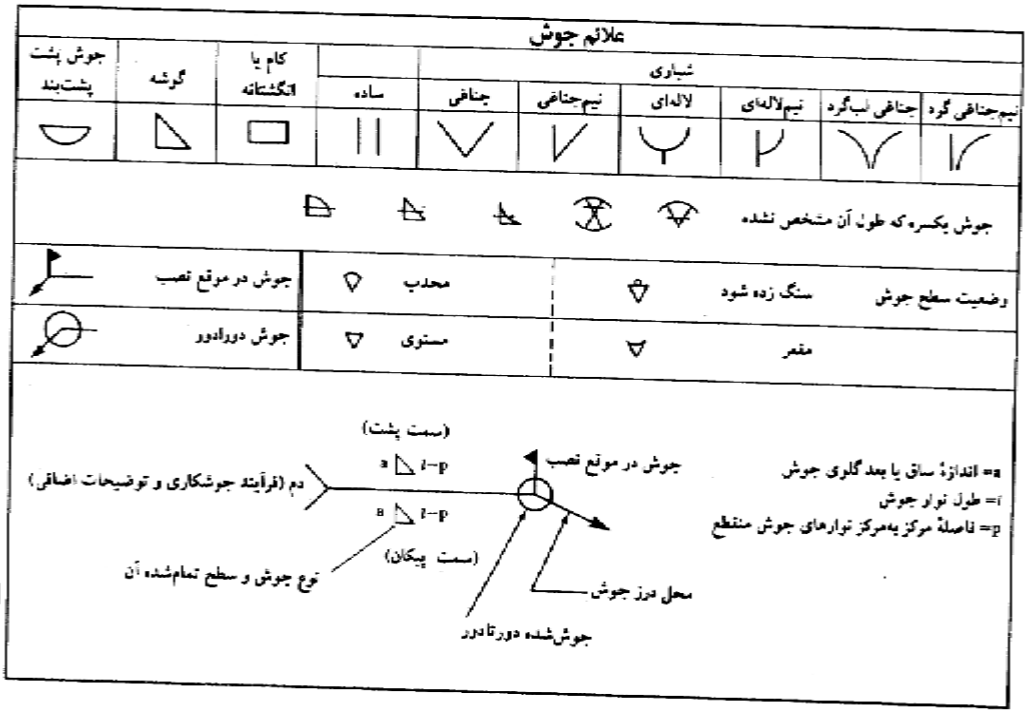
1. شکل و هندسه درز
2. حداقل نفوذ جوش
3. پیش‌گرمایش

از جمله دلایل پیش‌گرمایش عبارتند از:

1. جلوگیری از ایجاد ترک در جوش
2. کاهش تنش‌های انقباضی جوش وفلز پایه
3. کاهش سرعت سرد شدن
4. کاهش دمای انتقال در فلز پایه اطراف

- **علائم جوشکاری**

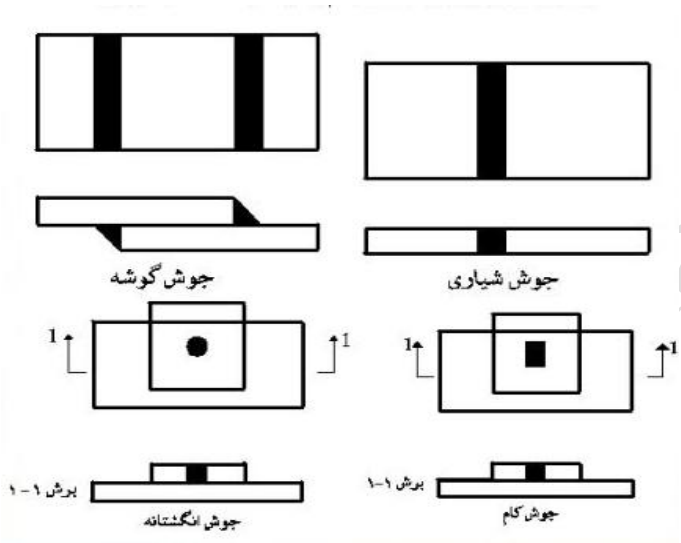
برای اینکه طراح سازه فولادی قادر باشد منظور خود را از نظر نوع جوش، ابعاد، اندازه و سایر مشخصات به جوشکار و سازنده قطعات فولادی انتقال دهد، لازم است با ساده ترین نحوه نمایش، علائم مربوط به مشخصات جوش را به سازنده ارائه دهد. در شکل زیر این علائم آورده شده است.



۷ انواع جوش ها

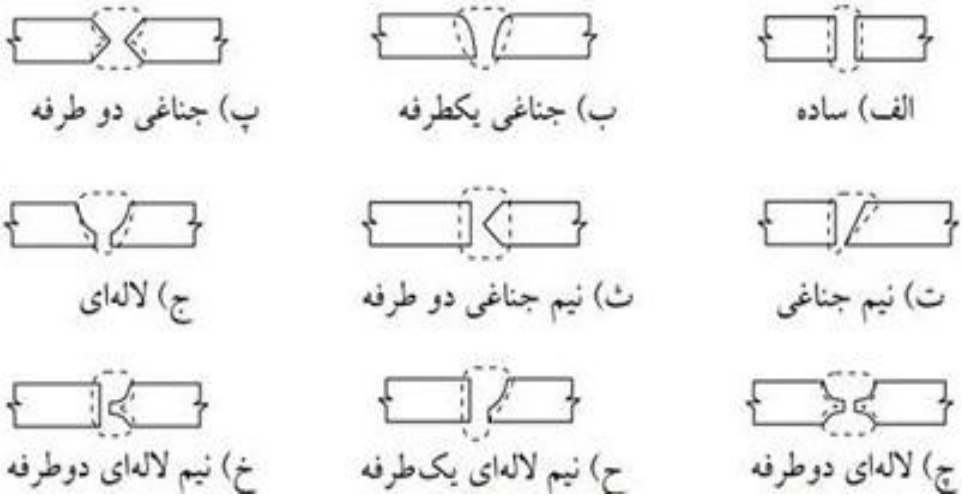
انواع مختلف جوش که در سازه های فولادی وجود دارند عبارتند از:

1) جوش شیاری
2) جوش گوشه
3) جوش کام
4) جوش انگشتانه



- **جوش شیاری**

مورد استفاده اصلی این جوش، متصل کردن قطعات سازه ای است که در روی یک سطح و در امتداد هم قرار گرفته اند.



سطح مقطع مؤثر در جوش های شیاری عبارتست از: حاصلضرب طول مؤثر در ضخامت مؤثر جوش.

$$A_{we} = L_e . t_e$$

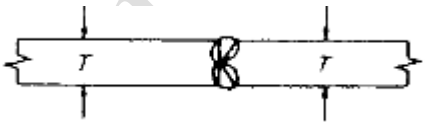
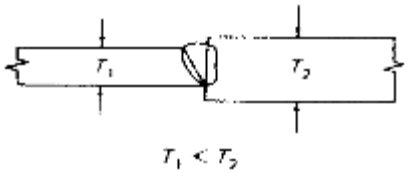
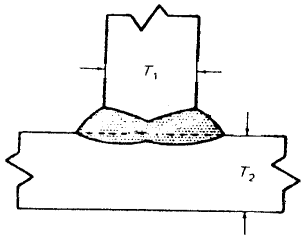
A_{we} = سطح مقطع مؤثر

L_e = طول مؤثر جوش برابر طول جوش شده

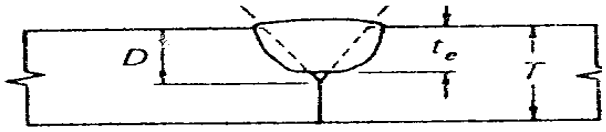
t_e = ضخامت مؤثر جوش شیاری

ضخامت مؤثر جوش شیاری براساس نوع اتصال به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

§ در جوش شیاری با نفوذ کامل:

اتصال لب به لب (ورق ها با ضخامت یکسان)	اتصال لب به لب (ورق ها با ضخامت متفاوت)	اتصال کنج و سپری
 $t_e = T$	 $t_e = T_1$ (ضخامت قطعه نازکتر)	 $t_e = T_1$ (ضخامت قطعه جوش شده(در امتداد عمود

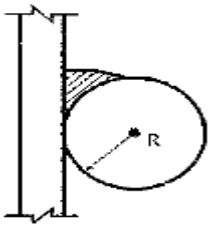
§ در جوش شیاری با نفوذ نسبی:



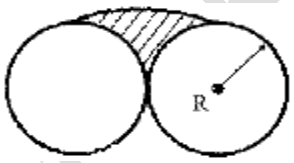
$t_e = \mathrm{D} - 3\mathrm{mm}$

D = عمق شیار جوش

§ بین دو لبه گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبه گرد و لبه تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق):



$t_e = 0.3R$



$t_e = 0.5R$

o **محدودیت ضخامت مؤثر در جوش های شیاری با نفوذ نسبی :**

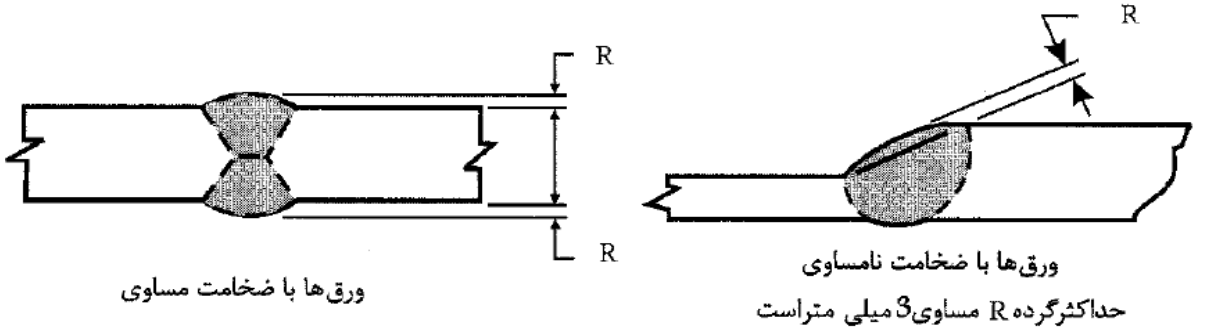
جدول ۱۰ ۲ ۹ ۱ حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل ضخامت موثر
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر	۸ میلی‌متر
بیش از ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر	۱۰ میلی‌متر
بیش از ۶۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر	۱۳ میلی‌متر
بیش از ۱۵۰ میلی‌متر	۱۶ میلی‌متر

نکته: استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی در وضعیتی که بارگذاری متناوب (اثر خستگی) وجود داشته باشد مجاز نیست.

- **الزامات مقاطع جوش های شیاری:**

جوش‌های شیاری ترجیحاً باید با حداقل تحدب (R) اجرا شوند.

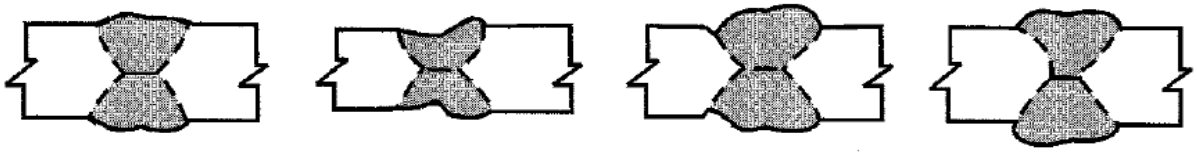


ورق‌ها با ضخامت مساوی

ورق‌ها با ضخامت نامساوی

حداکثرگرده R مساوی3 میلی متراست

(ت) مقاطع قابل پذیرش جوش های شیاری

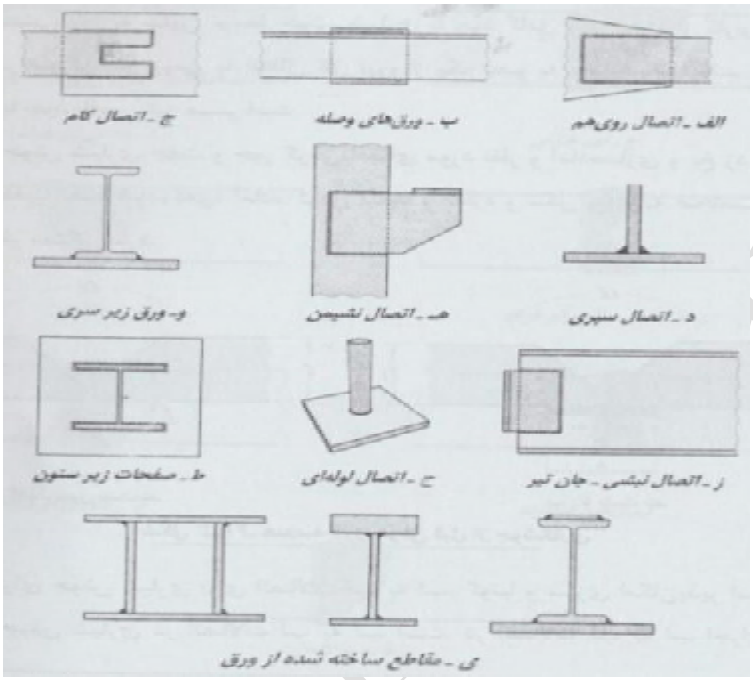


تحدب زیاد — گلوی ناکافی — گودافتادگی زیاد — نوچه

(ث) مقاطع غیر قابل پذیرش جوش های شیاری

- **جوش گوشه**

جوش گوشه بخاطر اقتصادی بودن آن، سادگی بکارگیری و قابلیت استفاده از آن در اغلب موارد جوشکاری از تمام انواع جوشکاری بیشتر بکار می رود.



سطح مقطع مؤثر در جوش های گوشه عبارتست از: حاصلضرب طول مؤثر در ضخامت گلوگاه مؤثر جوش.

$$A_{we} = L_e . t_e$$

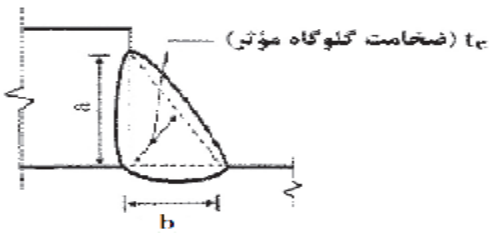
A_{we} = سطح مقطع مؤثر

L_e = طول مؤثر جوش برابر طول کلی نوار جوش شامل قسمت های برگشت خورده

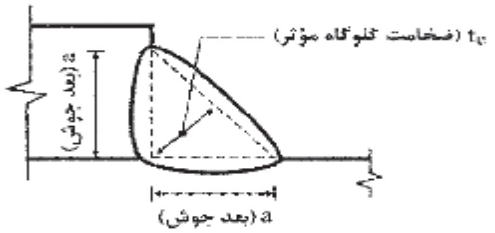
t_e = ضخامت گلوگاه مؤثر جوش گوشه (بعد مؤثر گلوی جوش) برابر کوتاهترین فاصله بین ریشه مقطع جوش تا سطح خارجی آن و به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش

اگر a بعد جوش گوشه باشد، آنگاه:

$$t_e = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$



$$t_e = \frac{a}{\sqrt{2}} = 0.707a$$



- **محدودیت های جوش گوشه** :

ü حداقل بعد جوش گوشه (a_{min}):

حداقل بعد جوش‌های گوشه (a_{min}) براساس ضخامت قطعه نازکتر طبق جدول زیر تعیین می شود:

جدول ۱۰-۲-۹-۲ حداقل بعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰	۸ میلی‌متر

نکته: در سازه تحت بار دینامیکی (مانند بار زلزله یا بار ارتعاش دستگاه‌ها) حداقل اندازه جوش 5 میلی‌متر می‌باشد.

ü حداکثر بعد جوش گوشه (a_{max}):

حداکثر بعد جوش‌های گوشه (a_{max}) براساس ضخامت قطعه نازکتر (t_{min}) بصورت زیر تعیین می‌شود:

$t_{min} \leq 6mm \rightarrow a_{max} = t_{min}$

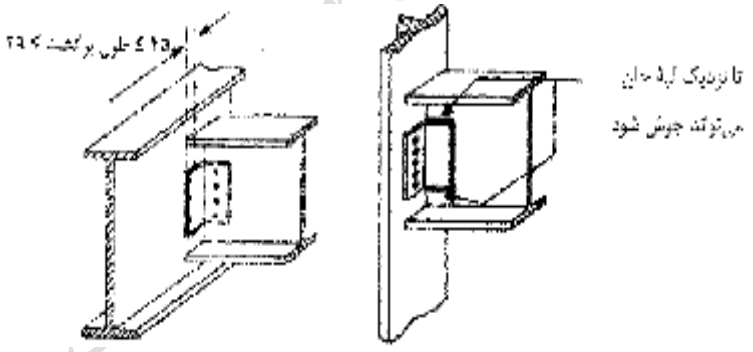
$t_{min} > 6mm \rightarrow a_{max} = t_{min} - 2mm$

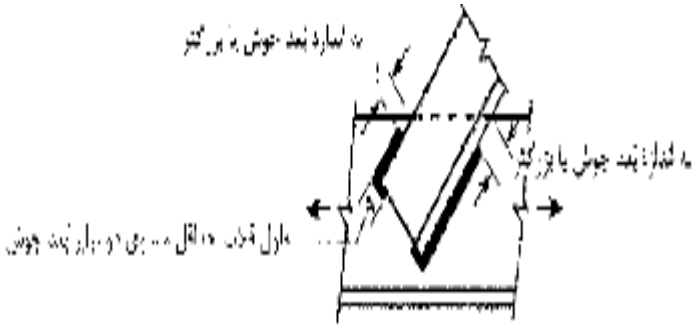
همچنین داریم: $a_{max} \leq \frac{1}{4} L_e$

ü قلاب در جوش های گوشه:

کلیه جوش‌های گوشه که در لبه کناری یا ضلع انتهایی عضو انجام می شوند، باید در انتهای ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شوند که به آن قلاب می گویند. حداقل طول قلاب 2 برابر بعد جوش می باشد.

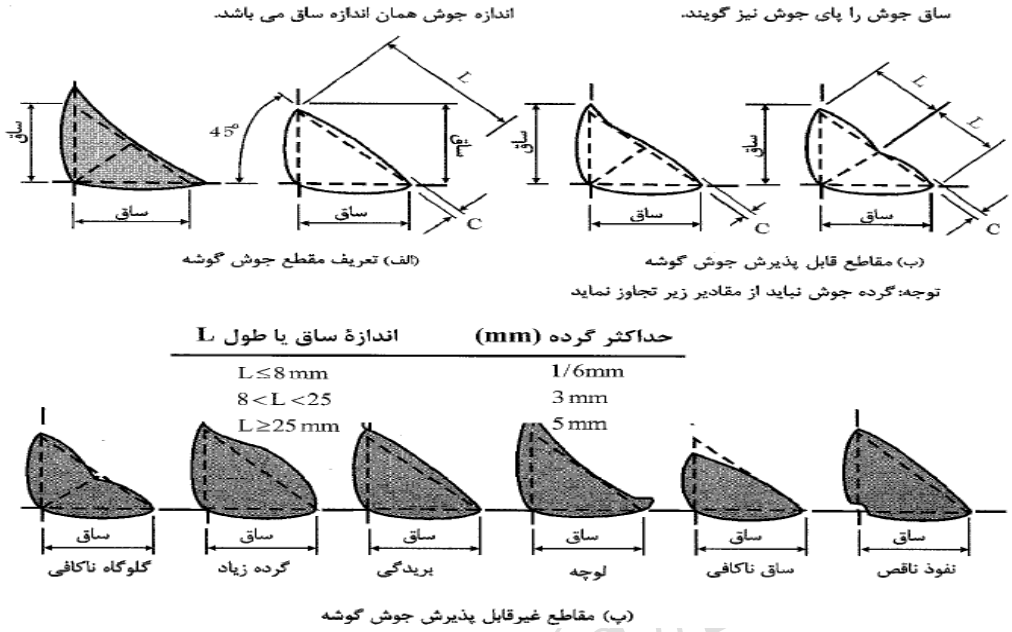
نکته: در اتصالات مفصلی با نبشی جان، برگشت در انتهای جوش گوشه نباید از 4 برابر بعد جوش و نیز نصف پهنای بال نبشی بیشتر باشد.





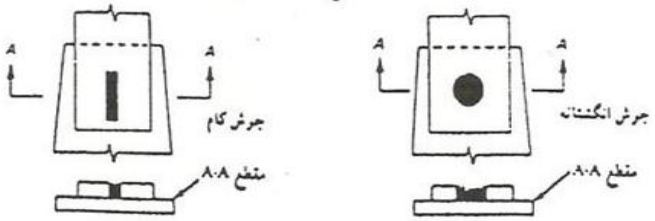
o **الزامات مقاطع جوش های گوشه:**

همانطور که در شکل زیر آمده است، جوش گوشه تا مقدار محدودی می‌تواند محدب یا مقعر باشد.

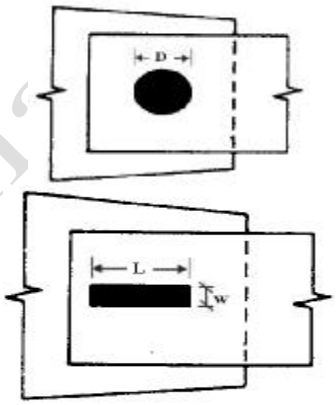


- **جوش انگشتانه و کام**

جوش کام، جوشی است که درون یک شکاف و جوش انگشتانه جوشی است که درون یک سوراخ به صورت توپر اجرا می‌شود.



سطح مقطع مؤثر در جوش های انگشتانه و کام عبارتست از: سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف.



جوش انگشتانه $A_{we} = \frac{\pi D^2}{4}$

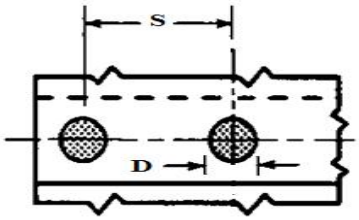
جوش کام $A_{we} = \mathrm{wL}$

- **محدودیت های جوش کام و انگشتانه** :

ü ضخامت جوش کام و انگشتانه:

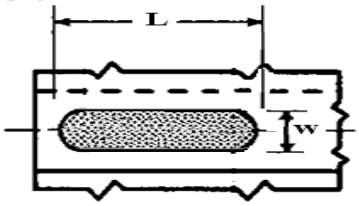
$$\begin{cases} t \le 16mm \ \rightarrow \ a = t \\ t > 16mm \ \rightarrow a = max\{0.5t\ , 16mm\} \end{cases}$$

ü جوش انگشتانه:



$$\begin{cases} D_{max} \le \min\ \{t + 11mm\ , 2.25a\} \\ D_{min} \ge t + 8\ mm \end{cases}$$
$$S_{min} \ge 4D$$

ü جوش کام:



$$L_{max} \le 10\ a$$
$$w_{min} \ge t + 8mm$$
$$w_{min} \le 2.25a$$

t = ضخامت قطعه سوراخ شده

a = ضخامت جوش

D = قطر سوراخ در جوش انگشتانه

S = فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌ها در جوش انگشتانه

L = طول شکاف در جوش کام

w = عرض شکاف در جوش کام

v معایب جوش

- **نفوذ ناقص**

goharrokhi.ali@gmail.com

عدم نفوذ کامل فلز جوش به ریشه اتصال را نفوذ ناقص گویند.

عوامل بوجود آورنده نفوذ ناقص:

1. استفاده از شدت جریان جوشکاری خیلی پایین.
2. استفاده از الکترود با قطر بالا.
3. سرعت حرکت زیاد دست.
4. دهانه ریشه خیلی کوچک.
5. زاویه پخی شیار V شکل خیلی کوچک.

- **ذوب ناقص**

عدم امتزاج کامل بین فلز جوش و فلز پایه یا بین پاسهای جوش را ذوب ناقص گویند.

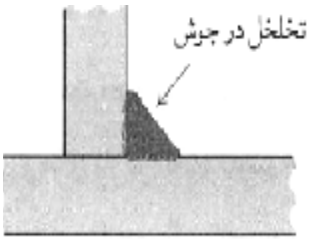
عوامل بوجود آورنده ذوب ناقص:

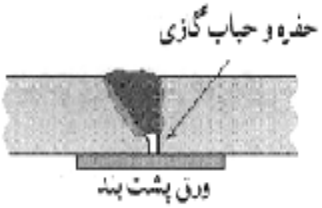
1. کافی نبودن حرارت ورودی.
2. انتخاب نادرست قطبیت جریان و گاز محافظ.
3. طرح اتصال نامناسب.
4. نوع یا اندازه نامناسب الکترود.
5. تنظیم نادرست سرعت و جریان جوشکاری.
6. سطح کثیف قطعه کار مثلاً پوسته نورد، لکه، روغن و ...

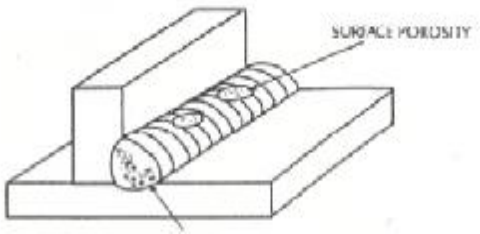
- **تخلخل**

goharrok_ir@gmail.com

تخلخل سوراخ یا حفره‌ای است که به صورت خارجی در جوش دیده می‌شود. تخلخل در صورت ایجاد حفره‌های خالی یا محبوس شدن گازها در فلز جوش هنگام سرد شدن آن اتفاق می‌افتد. تخلخل ممکن است بطور یکنواخت در طول جوش پراکنده گردد یا ممکن است به صورت یک حفره بزرگ در ریشه جوش متمرکز گردد. تخلخل سطحی تأثیر مستقیم و مضری در مقاومت خستگی فلز جوش دارد. حفرات سطحی بسیار خطرناک‌تر از حفراتی با همان اندازه در عمق جوش هستند.







علتهای بوجود آورنده تخلخل:

1. استفاده از شدت جریان‌های خیلی زیاد یا طول قوس خیلی بلند.
2. استفاده غیرصحیح از تسمه‌های پشت بند.
3. وجود رطوبت یا وزش باد در سطح جوش.
4. استفاده از الکترود نامرغوب.

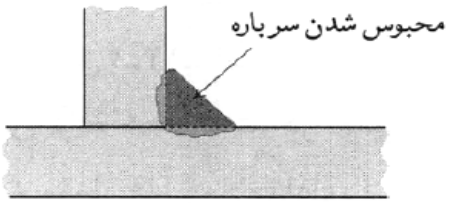
راهکارهای جلوگیری از تخلخل:

1. خشک کردن الکترود در خشک‌کن قبل از مصرف.
2. تنظیم شدت جریان جوشکاری.
3. تنظیم طول قوس.
4. عدم جوشکاری در شرایط جوی نامناسب.

- **حبس سرباره یا آخال**

goharrokhi.ali@gmail.com

هر نوع ذرات غیرفلزی که در یک اتصال جوش بوجود آید را اصطلاحاً آخال گویند.



عوامل بوجود آورنده آخالها:

1. پاک نشدن مناسب سرباره یا گل جوش از پاسهای قبلی.
2. آماده سازی غلط قطعه برای جوش.
3. ریخته شدن پوسته شکسته شده الکترود به درون مذاب.
4. عدم دقت در تمیز کردن سرباره در انتهای پاس جوش در هنگام تعویض الکترود.

- **سوختگی و یا بریدگی کناره جوش**

بریدگی یا سوختگی به معنای شیار ذوب شده‌ای در فلز مبنا می‌باشد که در انتهای ساق جوش قرار گرفته و به وسیله فلز جوش پر نشده است. در جوش‌های شیاری، سوختگی ممکن است هم روی سطح و هم در ریشه اتصال ایجاد شود.

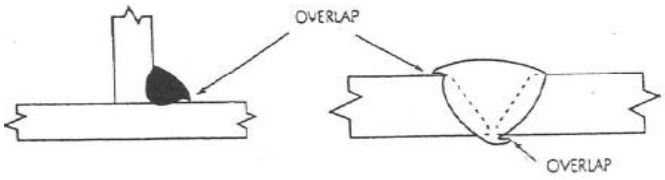
عوامل بوجود آورنده بریدگی کناره جوش یا سوختگی:

1. استفاده از جریان قوی.
2. بالا بودن طول قوس.
3. تکنیک جوشکاری نامناسب.
4. سرعت بسیار زیاد حرکت جوشکاری.

این عیب به راحتی با چشم قابل تشخیص است و می‌توان آن را با جوشکاری مجدد ناحیه بریدگی، با الکترودهای نمره پایین-تر از فلز جوش پر نمود.

- **سر رفتن جوش روی فلز پایه (لوچه)**

سر رفتن فلز جوش مذاب یا لوچه، عبارتست از جاری شدن فلز جوش روی فلز پایه، بدون ذوب نمودن کامل فلز پایه. سررفتگی به‌عنوان یک ناپیوستگی خطرناک محسوب می‌شود؛ زیرا باعث ایجاد یک شیار تیز روی سطح قطعه می‌گردد. این شیار به‌عنوان محل تمرکز تنش می‌تواند باعث ایجاد و رشد ترک شود.

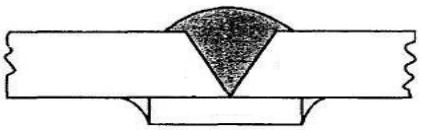


عوامل بوجود آورنده سر رفتن:

1. تکنیک نامناسب جوشکاری (علت اصلی)
2. سرعت جوشکاری خیلی آهسته.

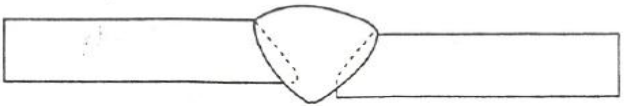
- **گرده اضافی در جوش**

گرده اضافی، عبارتست از فلز جوش اضافه بر مقدار مورد نیاز جهت پرکردن اتصال. مشکل اصلی گرده جوش، احتمال ایجاد گوشه‌های تیز می‌باشد.



- **همراستا نبودن اتصال**

از عیوبی که در اثر سوار کردن و مونتاژ غلط اجزا مورد جوش در کنار یکدیگر بوجود می‌آید، هم‌محور و یا همراستا نبودن دو سطح قطعه کار است.



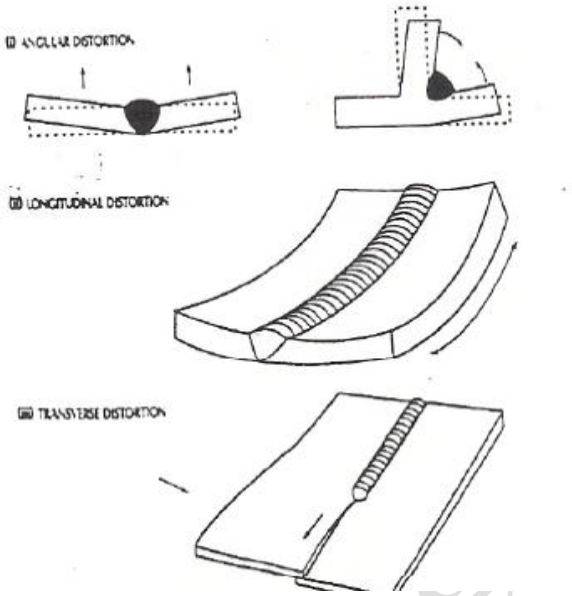
عوامل بوجود آورنده عیب همراستا نبودن اتصال جوش:

1. مونتاژ نادرست قطعاتی که باید جوش داده شوند.
2. استفاده از خال جوش‌های نامناسب که در هنگام جوشکاری می‌شکند.
3. استفاده نکردن از تعداد بست‌های کافی که موجب حرکت کردن قطعات در هنگام جوشکاری می‌شود.

- **اعوجاج، پیچیدگی یا تاب برداشتن**

goharrokhi@gmail.com

اعوجاج یا پیچیدگی اثر ناخواسته انبساط و انقباض فلز حرارت دیده است.

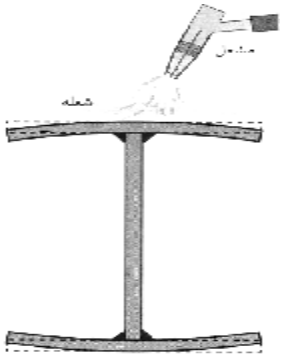


عوامل بوجود آمدن اعوجاج عبارتند از:

1. حرارت دادن.
2. عدم استفاده از وسایل مورد نیاز برای مهار کردن قطعه.
3. تنش‌های پسماند موجود در قطعه.
4. مناسب نبودن خواص قطعه.

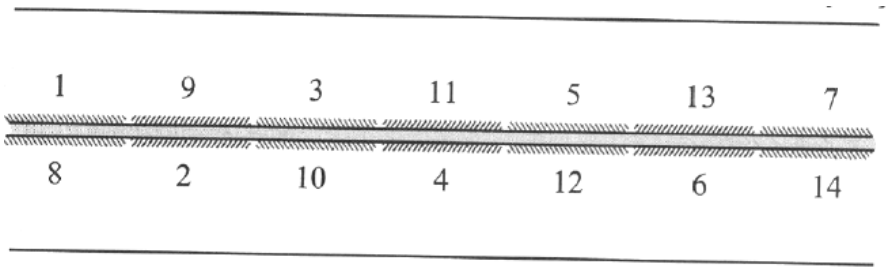
راهکارهای جلوگیری از اعوجاج:

1. استفاده از برنامه و ترتیب مناسب در جوشکاری
2. استفاده از پس‌گرم کردن بال‌ها در ساخت تیرورق‌ها با استفاده از مشعل جهت بازگشت تغییرشکل‌ها.

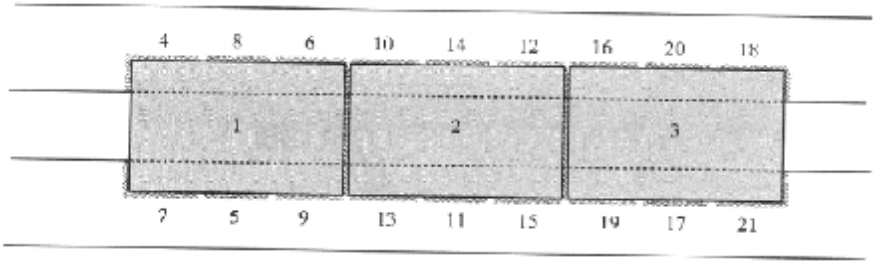


3. استفاده از جوشکاری منقطع و پراکنده.

goharrokhi.ali@gmail.com



4. استفاده از الگوی پیشنهادی زیر در جوش ورق‌های تقویتی به بال تیرآهن‌ها.



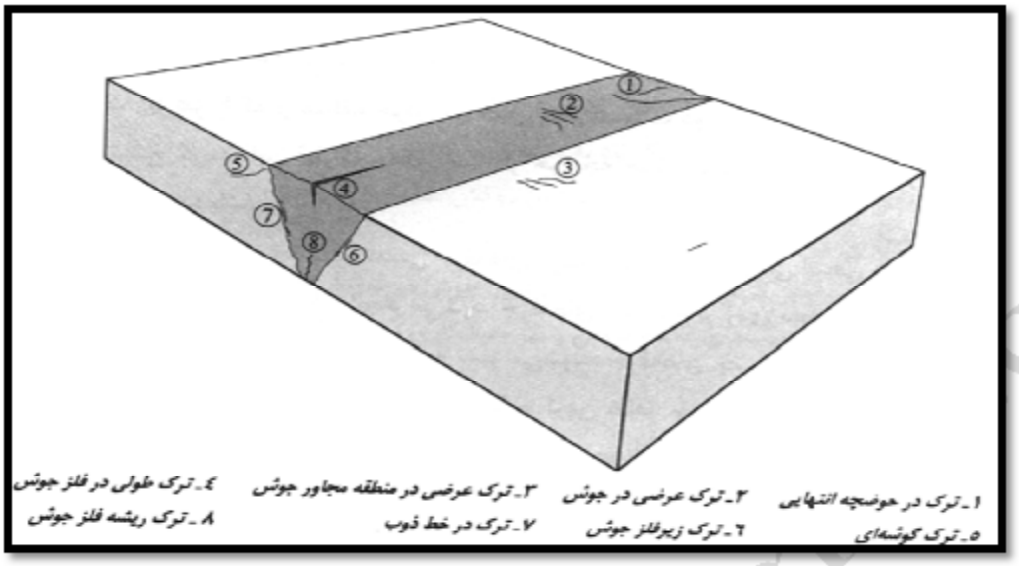
۷ ترک‌ها در جوش

منظور از ترک، پدیده‌ای است که در اثر عواملی مانند تشکیل ساختارهای متالوژیکی ترد، انجماد و سرد شدن سریع جوش و تنش‌های داخلی (که به علت انقباض جوش می‌باشد) ایجاد می‌شود.

- **مواردی که در کنترل ترک باید به آنها توجه شود:**
  - ترتیب جوشکاری
  - پیش‌گرم کردن
  - دمای بین پاسی
  - عملیات حرارتی پس از جوش
  - طراحی اتصال
  - روش‌های جوشکاری
  - مواد پرکننده

- **انواع ترک‌ها**
  - ترک گرم: ترکی که در حین انجماد جوش و یا بلافاصله پس از قطع قوس صورت می‌گیرد.
  - ترک سرد: ترکی که پس از گذشت مدت زمانی از جوشکاری صورت می‌گیرد.

goharrokhi.ali@gmail.com



- **عوامل ترک گرم**

1. وجود عناصر ناخالصی نظیر گوگرد، فسفر و قلع در فلز پایه یا جوش
2. قطع سریع عملیات جوشکاری
3. کم بودن سطح مقطع جوش
4. بالا بودن نسبت ارتفاع به عرض جوش
5. تقعر بیش از حد در جوش

- **راههای جلوگیری از ترک گرم**

1. استفاده از پایه یا الکترودی که عناصر ناخالص کمتری داشته باشد.
2. پیش‌گرم کردن به منظور کاهش تنش‌های انقباضی
3. افزایش سطح مقطع جوش

- **عوامل ترک سرد**

1. وجود هیدروژن کافی

منابع هیدروژن: پوشش الکترود
سطح آلوده به روغن، چربی، رنگ، ضد زنگ و رطوبت

2. ایجاد ساختارهای مستعد ترک
3. وجود تنش‌های پسماند

goharrokhi.ali@gmail.com

- **راههای جلوگیری از ترک سرد**

1. استفاده از الکترود مناسب و کم هیدروژن
2. پیش‌گرم‌کردن و پس‌گرم‌کردن و کنترل دمای بین پاسی بمنظور جلوگیری از تشکیل ساختارهای مستعد ترک
3. تمیز کردن سطح مورد جوشکاری از آلودگی‌ها

v روشهای بازرسی و کنترل معایب جوش

- بازرسی چشمی
- آزمایش‌های غیر مخرب
- آزمایش‌های مخرب

- **معیارهای پذیرش جوش در بازرسی چشمی**:

1. جوش ترک نداشته باشد.
2. ذوب کامل بین فلز جوش (الکترود) و فلز مبنا با جوش و بین لایه‌های جوش حاصل شده باشد.
3. همه چاله جوش‌ها پر شده باشند مگر در جوش‌های منقطع که اگر چاله جوش خارج از طول موثر جوش باشد نیازی به پرکردن آن نیست.

- **آزمایشات غیر مخرب**
  - عیوب سطحی:
    1. آزمایش مایعات نافذ (PT = Penetrant Test)
    2. آزمایش ذرات مغناطیسی (MT = Magnetic Particle Test)
  - عیوب داخلی:
    1. آزمایش فراصوتی (UT = Ultrasonic Test)
    2. آزمایش پرتونگاری (RT = Radiography Test)

goharrokhi.ali@gmail.com

مراحل انجام آزمایش مایعات نافذ (PT)

1. پاک کردن گل جوش
2. تمیز کردن جوش با اسپری (بی‌رنگ)
3. پاک کردن سطح جوش با دستمال تمیز
4. استفاده از اسپری نفوذ کننده (قرمز رنگ)
5. تمیز کردن سطح جوش با دستمال تمیز (پس از گذشت حدود 10 دقیقه)
6. استفاده از اسپری آشکارساز (سفید رنگ)

مراحل انجام آزمایش پرتونگاری (RT)

1. پاک کردن گل جوش
2. پاک کردن سطح جوش با دستمال تمیز
3. قرار دادن فیلم مخصوص در پشت جوش
4. پرتونگاری اشعه ایکس و گاما به محل جوش
5. در صورت وجود ترک محل عبور پرتو در مقایسه با سایر قسمتهای فیلم تیره‌تر شده و محل ترک را نشان می‌دهد.

goharrokhi.ali@gmail.com

۷ مقاومت جوش

$$R_u \leq \emptyset R_n$$

R_u = مقاومت مورد نیاز

R_n = مقاومت اسمی جوش

$\varphi\ R_n$ = مقاومت طراحی جوش

φ = ضریب کاهش مقاومت

R_n (مقاومت اسمی جوش) برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده براساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و گسیختگی برشی برای مصالح فلز پایه و حالت حدی گسیختگی برای فلز جوش می باشد.

$\begin{cases} R_n = F_{nBM}A_{BM} & \text{براساس مصالح فلز پایه} \\ R_n = \beta F_{nw}A_{we} & \text{براساس مصالح فلز جوش} \end{cases}$

F_{nBM} = تنش اسمی فلز پایه

A_{BM} = سطح مقطع فلز پایه

F_{nw} = تنش اسمی فلز جوش

A_{we} = سطح مقطع مؤثر جوش

β = ضریب بازرسی جوش

ضریب کاهشی و تنش اسمی براساس جدول 10-2-9-3 مبحث دهم تعیین می گردد.

goharrokhi.ali@gmail.com

جدول ۱۰-۲-۹-۳ مقاومت جوش‌ها

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت (ϕ)	تنش اسمی (F_{nBm} یا F_{nw})
جوش شیاری با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی عمود بر مقطع مؤثر	فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۳	مطابق فصل ۱۰-۲-۳
	فشاری عمود بر مقطع مؤثر، کششی و یا فشاری موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۳ یا ۱۰-۲-۴	مطابق فصل ۱۰-۲-۳ یا ۱۰-۲-۴
	برشی، در مقطع مؤثر	فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۶	مطابق فصل ۱۰-۲-۶
جوش شیاری با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر فشاری، موازی با محور جوش کششی، موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۳ یا ۱۰-۲-۴	مطابق فصل ۱۰-۲-۳ یا ۱۰-۲-۴
	کششی در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	۰/۷۵	$F_{nBM}=F_u$
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۸	$F_{nw}=۰/۶F_u$
	برشی، در مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل (۱۰-۲-۶)	
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=۰/۶F_u$
جوش گوشه	برشی، در مقطع مؤثر	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۶	مطابق فصل ۱۰-۲-۶
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=۰/۶F_{ue}$
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۳ یا ۱۰-۲-۴	مطابق فصل ۱۰-۲-۳ یا ۱۰-۲-۴
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل ۱۰-۲-۶	مطابق فصل ۱۰-۲-۶
		بر اساس فلز جوش (الکترود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw}=۰/۶F_{uc}$

F_y = تنش تسلیم فلز پایه F_{uc} = تنش نهایی فلز جوش(الکترود مصرفی)

کلیه مواردی که برش در فلز پایه کنترل می‌شود و ارجاع به فصل 10-2-6 داده شده است باید به بخش 10-2-9-4 ارجاع داده شود، همچنین در این جدول کلیه عبارت های "مطابق فصل 10-2-3 و فصل 10-2-4" باید بصورت "مطابق بخش مربوطه" اصلاح گردد.

پرکاربردترین موارد جدول فوق که عمدتاً در سوالات مطرح می‌شوند، در زیر آمده است:

نوع جوش	نوع تنش	ضریب کاهش مقاومت	تنش اسمی (F_{nw} یا F_{nBm})
جوش شیاری با نفوذ کامل	کششی یا فشاری	متناسب با فلز پایه	متناسب با فلز پایه
جوش گوشه	برشی	0/75	0/6×مقاومت نهایی کششی فلز جوش ($0.6F_{ue}$)
جوش کام و انگشتانه	برشی	0/75	0/6×مقاومت نهایی کششی فلز جوش ($0.6F_{ue}$)

F_{ue} = مقاومت نهایی کششی فلز جوش (الکترود)

ضریب بازرسی جوش (β) به صورت زیر تعیین می‌شود:

1. در صورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک (فراصوتی): $\beta = 1$
2. در صورت انجام جوش در کارخانه (یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش: $\beta = 0.85$
3. در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش: $\beta = 0.75$

رایج‌ترین مقاومت جوش در سئوالات، مقاومت جوش گوشه می‌باشد که به صورت زیر تعیین می‌گردد:

مقاومت طراحی جوش ($\emptyset R_n$) = تنش مقاوم جوش × سطح مقطع مؤثر جوش

$$\begin{cases} \text{تنش مقاوم جوش} = \emptyset\beta F_{nw} = \emptyset \times \beta \times 0.6 \times F_{ue} = 0.75 \times \beta \times 0.6 \times F_{ue} \\ \text{سطح مقطع مؤثر جوش} = A_{we} = l_w \times t_e = l_w \times 0.707a \end{cases}$$

$$\emptyset R_n = \emptyset \times \beta \times 0.6 \times F_{ue} \times l_w \times t_e = 0.75 \times \beta \times 0.6 \times F_{ue} \times l_w \times 0.707a$$

$$\begin{cases} E60 \rightarrow F_{ue} = 420 \dfrac{N}{mm^2} = 4200 \dfrac{Kg}{cm^2} \\ E70 \rightarrow F_{ue} = 490 \dfrac{N}{mm^2} = 4900 \dfrac{Kg}{cm^2} \end{cases}$$

- **ارزش جوش گوشه ($\emptyset R_{uw}$)**

ارزش جوش گوشه عبارتست از مقاومت طراحی جوش گوشه در واحد طول:

$$\emptyset R_{uw} = \frac{\emptyset R_n}{l_w} = \frac{= \emptyset \times \beta \times 0.6 \times F_{ue} \times l_w \times t_e}{l_w} = 0.75 \times \beta \times 0.6 \times F_{ue} \times 0.707a$$

با فرض $\beta = 0.75$ و الکترود $E60$ داریم:

$$\emptyset R_{uw} = 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 420 \times 0.707a \cong 100a \left(\frac{N}{mm}\right)$$

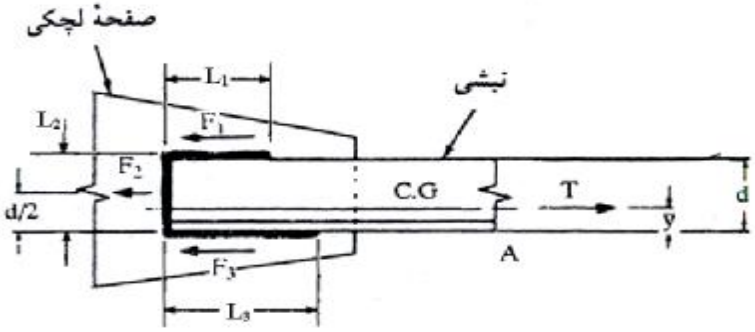
goharrokhi.ali@gmail.com

۷ طراحی جوش گوشه در اثر ترکیب نیروها

از سوالات پرکاربرد در آزمونها، جوش گوشه تحت اثر ترکیب نیروها می باشد. در این بخش به تفکیک به این موضوع پرداخته می شود.

- **جوش گوشه تحت اثر نیروی برشی خالص**

چنانچه نیروی وارده از مرکز سطح جوش‌ها (C.G) بگذرد، مجموعه جوش‌های گوشه تحت اثر برش تنها بوده و طراحی براساس تنش برشی وارده به جوش‌ها انجام می‌شود.



$$T \le F_1 + F_2 + F_3$$

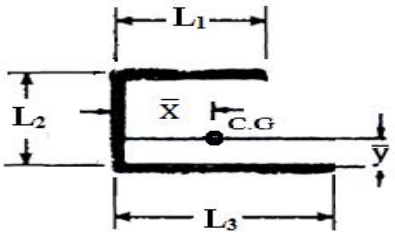
$$\begin{cases} F_1 = \emptyset\beta F_{nw} A_{we1} = \emptyset\beta F_{nw} L_1 t_e = \emptyset\beta F_{nw} L_1 \times 0.707\text{a} \\ F_2 = \emptyset\beta F_{nw} A_{we2} = \emptyset\beta F_{nw} L_2 t_e = \emptyset\beta F_{nw} L_2 \times 0.707\text{a} \\ F_3 = \emptyset\beta F_{nw} A_{we3} = \emptyset\beta F_{nw} L_3 t_e = \emptyset\beta F_{nw} L_3 \times 0.707\text{a} \end{cases}$$

تذکر: ممکن است در سوالات بغیر از طول جوش (L_e)، سایر پارامترها مانند بعد جوش یا الکترود نیز متفاوت باشد که برای هرکدام باید مقادیر مربوطه لحاظ شود.

با توجه به طول جوش کل: $L_e = L_1 + L_2 + L_3$

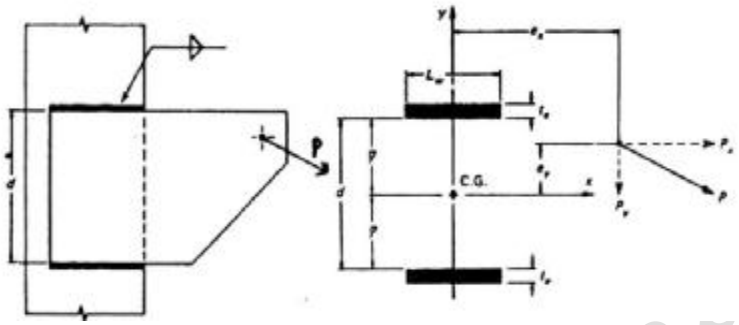
$$\frac{T}{L_e} \le \emptyset\beta F_{nw} t_e = \emptyset R_{uw} \quad \rightarrow \quad \text{طراحی براساس ارزش جوش}$$

$$\bar{x} = \frac{\frac{{L_1}^2}{2} + \frac{{L_3}^2}{2}}{L_1 + L_2 + L_3} \qquad \bar{y} = \frac{L_1 . L_2 + \frac{{L_2}^2}{2}}{L_1 + L_2 + L_3}$$



- **جوش گوشه تحت اثر نیروی برشی و لنگر پیچشی توأم**

چنانچه نیروی وارده از مرکز سطح جوش‌ها (C.G) نگذرد و در صفحه جوش خروج از مرکزیت داشته باشد، بجز نیروی برشی، لنگر پیچشی نیز در آنها ایجاد می شود که برای طراحی و کنترل جوش ها باید اثر توأم آنها در نظر گرفته شود. در این حالت جوش فقط تحت برش است که باید کنترل برش برای آن صورت گیرد.



$\begin{cases} P_x & \rightarrow \quad X \text{ نیروی برشی در راستای محور} \\ P_y & \rightarrow \quad Y \text{ نیروی برشی در راستای محور} \end{cases}$

$T = P_x \times e_y \pm P_y \times e_x \quad \rightarrow \quad$ لنگر پیچشی

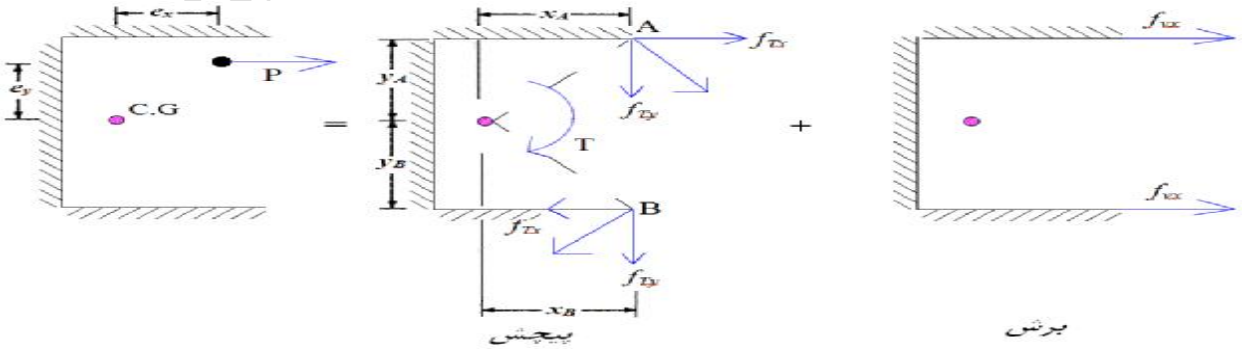
e_x = فاصله افقی خروج از مرکزیت نیرو نسبت به مرکز سطح جوش (C.G)

e_y = فاصله عمودی خروج از مرکزیت نیرو نسبت به مرکز سطح جوش (C.G)

نکته: بیشترین تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی در نقطه بحرانی جوش رخ می دهد. نقطه بحرانی جوش برای پیچش، نقطه ای است که شرایط زیر را داشته باشد:

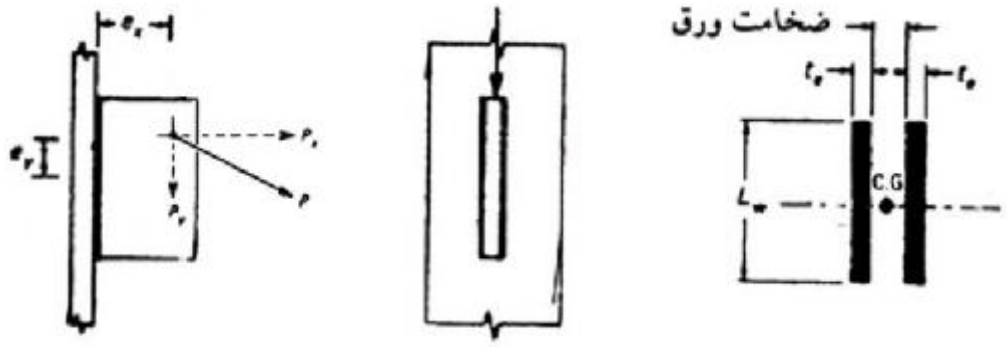
- دورترین فاصله را نسبت به مرکز سطح جوش (C.G) داشته باشد. (بیشترین مقدار $\sqrt{x^2 + y^2}$)
- جهت تنش برشی ناشی از نیروی برشی و جهت تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی یکسان باشد.

بعنوان مثال، در شکل زیر نقطه **A** بحرانی می باشد.



- **جوش گوشه تحت اثر نیروی برشی و لنگر خمشی توأم**

چنانچه نیروی وارده از مرکز سطح جوش‌ها (C.G) نگذرد و عمود بر صفحه جوش خروج از مرکزیت داشته باشد، بجز نیروی برشی، لنگر خمشی نیز در آنها ایجاد می شود که برای طراحی و کنترل جوش ها باید اثر توأم آنها در نظر گرفته شود.



$\begin{cases} P_x & \rightarrow \quad X \text{ نیروی در راستای محور} \\ P_y & \rightarrow \quad Y \text{ نیروی در راستای محور} \end{cases}$

$M = P_x \times e_y + P_y \times e_x \quad \rightarrow \quad$ لنگر خمشی

e_x = فاصله افقی خروج از مرکزیت نیرو نسبت به مرکز سطح جوش (C.G)

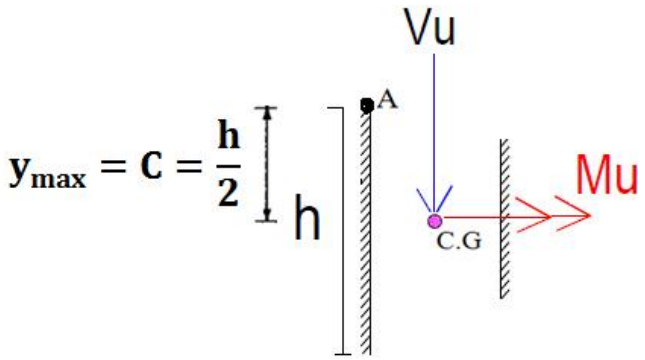
e_y = فاصله عمودی خروج از مرکزیت نیرو نسبت به مرکز سطح جوش (C.G)

نکته2: بیشترین تنش قائم ناشی از خمش در نقطه بحرانی جوش رخ می دهد. نقطه بحرانی جوش برای خمش، نقطه ای است که بیشترین فاصله را نسبت به مرکز سطح جوش (C.G) داشته باشد. (بیشترین مقدار y $(y_{max} = c)$)

$$f_{b\,max} = \frac{M.y_{max}}{I} = \frac{M.C}{I} = \frac{M}{S}$$

S = اساس مقطع جوش

بعنوان مثال، در شکل زیر نقطه **A** بحرانی می باشد.



goharrokhi.ali@gmail.com