



- نوع محصول: کتاب (نسخه چاپی) + فیلم آموزشی
- پیش نیاز: بدون پیش نیاز
- تعداد صفحات: ۳۵۰
- تعداد فصل‌ها: ۱۹
- زمان فیلم آموزشی: ۹۰ ساعت
- روش دریافت فیلم آموزشی: دانلودی
- تعداد تست‌های کتاب: به همراه تست‌های تالیفی و به
- انضمام تست‌های سال ۹۲ تا ۱۴۰۰ نظام مهندسی
- ویرایش: پاییز ۱۴۰۰
- نوع چاپ: چاپ دوم

بنام خداوند جان و



موسسه آموزشی ACE

ویژه آزمون محاسبات رشته عمران نظام مهندسی ایران

طراحی سازه‌های فولادی

نویسنده:

محمد یزدانی



اشارات عصر قلم

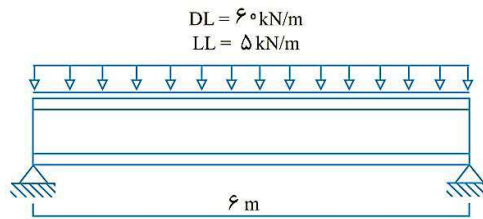
فهرست مطالب

۵	مقدمه	فصل اول
۷	کلیات طراحی و ترکیبات بار	فصل دوم
۱۱	اعضای کششی	فصل سوم
۳۹	کمانش موضوعی	فصل چهارم
۶۱	ستون	فصل پنجم
۱۰۵	خمش	فصل ششم
۱۵۹	برش	فصل هفتم
۱۷۷	پیچش	فصل هشتم
۱۸۱	اعضای مختلط	فصل نهم
۱۹۹	الزامات تأمین پایداری	فصل دهم
۲۱۵	تیر ستون	فصل یازدهم
۲۱۹	جوش	فصل دوازدهم
۲۳۳	پیچ	فصل سیزدهم
۲۷۳	وصله	فصل چهاردهم
۲۷۹	ورق پای ستون	فصل پانزدهم
۲۸۷	چشمه اتصال	فصل شانزدهم
۲۹۱	اثر بارهای متمرکز	فصل هفدهم
۳۰۳	ضوابط لرزه‌ای	فصل هجدهم
۳۴۳	شرایط بهره‌برداری	فصل نوزدهم
۳۴۹	جداول کاربردی	پیوست‌ها

مثال محاسبات - بهمن ۱۳۹۷

در تیر فولادی شکل زیر با مقطع IPE ۴۵۰ و در طراحی به روش LRFD حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ از وزن تیر صرف نظر شود و تیر در طول خود دارای مهار جانبی کافی است. از مؤلفه قائم زلزله صرف نظر می‌شود.

$$DL = 6 \text{ kN/m} \quad LL = 5 \text{ kN/m} \quad F_y = 240 \text{ MPa} \quad E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



- (۱) ۳۷۸ kN.m (۲) ۳۶۰ kN.m (۳) ۲۹۳ kN.m (۴) ۴۰۸ kN.m

پاسخ: گزینه ۱ صحیح است.

$$M_{u_l} = \frac{Q_u \times L^2}{8} = \frac{(1/4 \times 60) \times 6^2}{8} = 378 \text{ kN.m}$$

$$M_{u_r} = \frac{Q_u \times L^2}{8} = \frac{(1/2 \times 60 + 1/6 \times 5) \times 6^2}{8} = 360 \text{ kN.m}$$

مثال

یک عضو فولادی تحت اثر بار زنده کششی ۲۰ ton و بار مرده ۴۰ ton قرار گرفته است. نیروی محوری ناشی از نیروی زلزله برابر ۱۰ ton می‌باشد. مساحت مقطع عضو چقدر باید باشد تا از نظر آیین‌نامه قابل قبول باشد؟

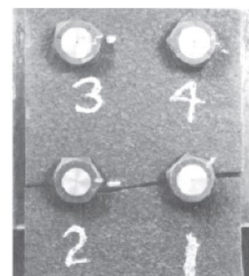
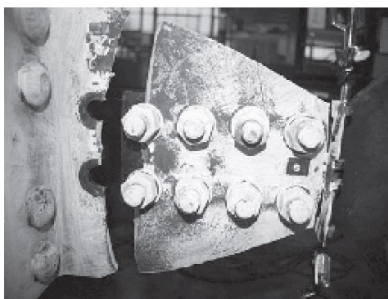
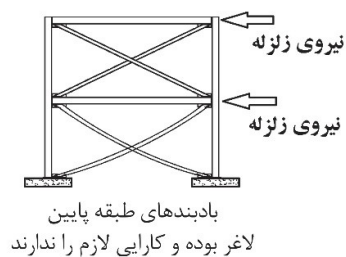
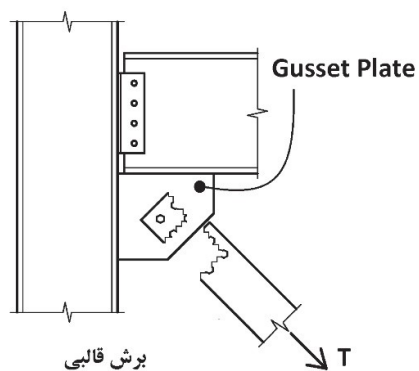
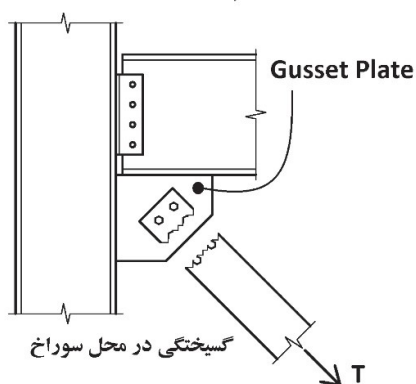
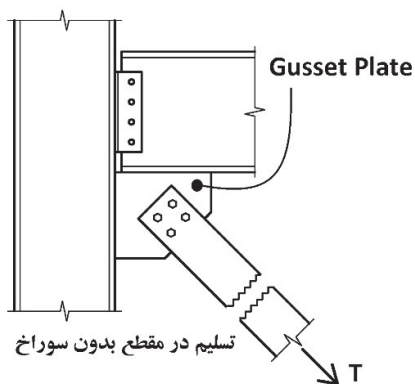
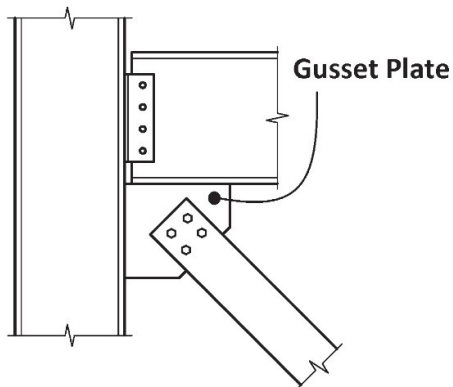
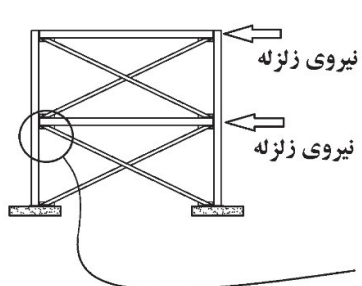
$$\gamma Q \leq \phi R_n$$

$$\gamma Q = \max \begin{cases} 1/4 \times 40 = 10 \text{ ton} \\ 1/2 \times 40 + 1/6 \times 20 = 10 \text{ ton} \\ 1/2 \times 40 + 1 \times 20 + 1 \times 10 = 20 \text{ ton} \end{cases}$$

$$\phi R_n = 0.9 \times F_y \times A_g = 2160 A_g$$

$$80 \times 10^3 \leq 2160 A_g \rightarrow A_g \geq 370.4 \text{ cm}^2$$

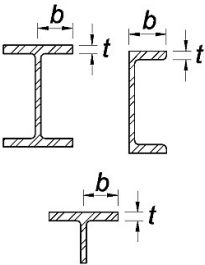
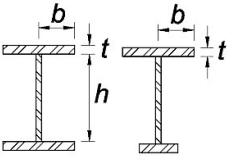
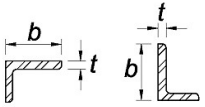
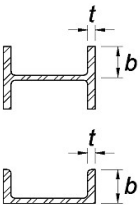
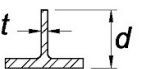
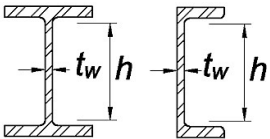
عضو کششی عضوی است که در آن، نیروی محوری کششی از مرکز سطح مقطع می‌گذرد. مهاربندها و صفحات گاست (Gusset plate) نمونه‌ای از مهمترین اعضای کششی در سازه می‌باشند.

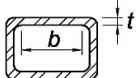
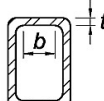
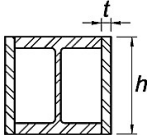
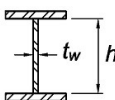
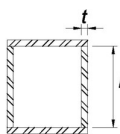
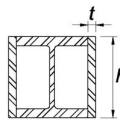
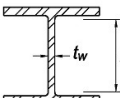
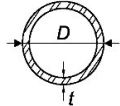


۲-۴ فشردگی اعضای تحت خمش

مطابق توضیحات ارائه شده، فشردگی، غیر فشردگی و لاغری اعضای تحت تحت خمش با توجه به جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ کنترل می‌شود. حدود فشردگی و غیرفشردگی (λ_p) و همچنین حدود لاغری و غیر لاغری (λ_r) این اعضا در جداول زیر تعیین شده است.

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

ردیف	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مثال‌های نمونه
			(غیر فشرده/فشرده) λ_p	(لاغر/غیر فشرده) λ_r	
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	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [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	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۱۵	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	ردیف
	λ_{hd} اعضای با شکل پذیری زیاد	λ_{md} اعضای با شکل پذیری متوسط			
  	[۲] $0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	[۳] $0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t b/t h/t	بال ی مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) بال‌های مقاطع قوطی شکل ساخته شده از ورق ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی شده وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌رود.	۴
	$1/49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1/49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	h/t_w	جان مقاطع I شکل نورد شده و ساخته شده از ورق وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌روند.	۵
  	برای $C_a \leq 0.125$ $2/45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a)$ برای $C_a > 0.125$ $0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) \geq 1/49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ که در آن: $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	برای $C_a \leq 0.125$ $3/76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2.75 C_a)$ برای $C_a > 0.125$ $1/12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.33 - C_a) \geq 1/49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ که در آن: $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	h/t_w h/t h/t	جان مقاطع I شکل نورد شده و ساخته شده از ورق وقتی به عنوان تیر یا ستون به کار می‌روند. ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی شده وقتی به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند. جان مقاطع I شکل قوطی شکل ساخته شده از ورق هرگاه به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند.	۶
	$0.94 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	کاربرد ندارد.	h/t_w	جان مقاطع شمع‌های H شکل	۷
	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.44 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	D/t	جان مقاطع لوله‌ای	۸

اجزای باربر و مهاربند

۱-۵ ضریب K

در محاسبات مربوط به کمانش ستون‌ها با سه پارامتر مواجه هستیم:

۱) ضریب طول موثر K

۲) طول ستون L

۳) شعاع ژیراسیون مقطع r

ضریب طول موثر (K) تنها به شرایط انتهایی عضو وابسته است. مقادیر این ضریب برای شرایط انتهایی مشخص و ایده‌آل (نظیر گیرداری کامل، مفصلی کامل و ...) در آیین‌نامه داده شده است. برای سایر حالات با توجه به مهارشدگی سازه و همچنین سختی خمشی اعضای متصل به گره‌های دو سر عضو می‌توان مقادیر آن را محاسبه نمود.

نگاهی به آیین‌نامه



پ-۱-۱ ضریب طول موثر ستون‌هایی با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل

طول موثر در واقع فاصله بین نقاط عطف شکل کمانش یافته عضو فشاری است. در جدول پ-۱-۱ تعدادی ستون با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل همراه با ضرایب طول موثر نظری آن‌ها نمایش داده شده است. با توجه به این‌که ایجاد شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل همواره در عمل امکان‌پذیر نیست، لذا در این مبحث برای ضرایب طول موثر این‌گونه اعضای فشاری بعضاً مقادیر بزرگ‌تری پیشنهاد شده است.

جدول پ-۱-۱ ضریب طول موثر (K) اعضای فشاری با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل

توضیحات	انواع مختلف اعضای فشاری با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل					
شکل کمانش یافته عضو فشاری به صورت خط‌چینی نمایش داده شده است.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
مقادیری نظری K	۰/۵	۰/۷	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰
مقادیر پیشنهادی K برای طراحی	۰/۶۵	۰/۸	۱/۲	۱/۰	۲/۱	۲/۰
نماد شرایط مرزی	انتقال و دوران مفید =					
	انتقال مفید، دوران آزاد =					
	انتقال آزاد، دوران مفید =					
	انتقال و دوران آزاد =					

λ	F_{cr} (۲۴۰)	F_{cr} (۳۶۰)	λ	F_{cr} (۲۴۰)	F_{cr} (۳۶۰)	λ	F_{cr} (۲۴۰)	F_{cr} (۳۶۰)	λ	F_{cr} (۲۴۰)	F_{cr} (۳۶۰)	λ	F_{cr} (۲۴۰)	F_{cr} (۳۶۰)
۱۶	۲۳۶,۹	۳۵۳	۵۶	۲۰۴,۶	۲۸۳,۴	۹۶	۱۵۰,۲	۱۷۸,۱	۱۳۶	۹۳,۶	۹۳,۶	۱۷۶	۵۵,۹	۵۵,۹
۱۷	۲۳۶,۵	۳۵۲,۱	۵۷	۲۰۳,۴	۲۸۰,۹	۹۷	۱۴۸,۷	۱۷۵,۵	۱۳۷	۹۲,۲	۹۲,۲	۱۷۷	۵۵,۳	۵۵,۳
۱۸	۲۳۶,۱	۳۵۱,۲	۵۸	۲۰۲,۲	۲۷۸,۵	۹۸	۱۴۷,۲	۱۷۲,۹	۱۳۸	۹۰,۹	۹۰,۹	۱۷۸	۵۴,۶	۵۴,۶
۱۹	۲۳۵,۶	۳۵۰,۲	۵۹	۲۰۱	۲۷۶	۹۹	۱۴۵,۷	۱۷۰,۴	۱۳۹	۸۹,۶	۸۹,۶	۱۷۹	۵۴	۵۴
۲۰	۲۳۵,۲	۳۴۹,۲	۶۰	۱۹۹,۸	۲۷۳,۵	۱۰۰	۱۴۴,۳	۱۶۷,۸	۱۴۰	۸۸,۳	۸۸,۳	۱۸۰	۵۳,۴	۵۳,۴
۲۱	۲۳۴,۷	۳۴۸,۱	۶۱	۱۹۸,۶	۲۷۱	۱۰۱	۱۴۲,۸	۱۶۵,۲	۱۴۱	۸۷,۱	۸۷,۱	۱۸۱	۵۲,۸	۵۲,۸
۲۲	۲۳۴,۲	۳۴۶,۹	۶۲	۱۹۷,۴	۲۶۸,۹	۱۰۲	۱۴۱,۳	۱۶۲,۷	۱۴۲	۸۵,۹	۸۵,۹	۱۸۲	۵۲,۳	۵۲,۳
۲۳	۲۳۳,۶	۳۴۵,۸	۶۳	۱۹۶,۱	۲۶۵,۹	۱۰۳	۱۳۹,۹	۱۶۰,۲	۱۴۳	۸۴,۷	۸۴,۷	۱۸۳	۵۱,۷	۵۱,۷
۲۴	۲۳۳,۱	۳۴۴,۵	۶۴	۱۹۴,۸	۲۶۳,۳	۱۰۴	۱۳۸,۸	۱۵۷,۷	۱۴۴	۸۳,۵	۸۳,۵	۱۸۴	۵۱,۱	۵۱,۱
۲۵	۲۳۲,۵	۳۴۳,۲	۶۵	۱۹۳,۶	۲۶۰,۸	۱۰۵	۱۳۶,۹	۱۵۵,۲	۱۴۵	۸۲,۳	۸۲,۳	۱۸۵	۵۰,۶	۵۰,۶
۲۶	۲۳۱,۹	۳۴۱,۹	۶۶	۱۹۲,۳	۲۵۸,۲	۱۰۶	۱۳۵,۵	۱۵۲,۲	۱۴۶	۸۱,۲	۸۱,۲	۱۸۶	۵۰	۵۰
۲۷	۲۳۱,۳	۳۴۰,۵	۶۷	۱۹۱	۲۵۵,۶	۱۰۷	۱۳۴	۱۵۰,۲	۱۴۷	۸۰,۱	۸۰,۱	۱۸۷	۴۹,۵	۴۹,۵
۲۸	۲۳۰,۶	۳۳۹,۱	۶۸	۱۸۹,۷	۲۵۲,۹	۱۰۸	۱۳۲,۶	۱۴۷,۸	۱۴۸	۷۹	۷۹	۱۸۸	۴۹	۴۹
۲۹	۲۲۹,۹	۳۳۷,۶	۶۹	۱۸۸,۴	۲۵۰,۳	۱۰۹	۱۳۱,۱	۱۴۵,۴	۱۴۹	۷۸	۷۸	۱۸۹	۴۸,۵	۴۸,۵
۳۰	۲۲۹,۳	۳۳۶,۱	۷۰	۱۸۷	۲۴۷,۷	۱۱۰	۱۲۹,۷	۱۴۲,۹	۱۵۰	۷۶,۹	۷۶,۹	۱۹۰	۴۸	۴۸
۳۱	۲۲۸,۵	۳۳۴,۵	۷۱	۱۸۵,۷	۲۴۵	۱۱۱	۱۲۸,۲	۱۴۰,۶	۱۵۱	۷۵,۹	۷۵,۹	۱۹۱	۴۷,۵	۴۷,۵
۳۲	۲۲۷,۸	۳۳۲,۹	۷۲	۱۸۴,۳	۲۴۲,۴	۱۱۲	۱۲۶,۸	۱۳۸	۱۵۲	۷۴,۹	۷۴,۹	۱۹۲	۴۷	۴۷
۳۳	۲۲۷,۱	۳۳۱,۳	۷۳	۱۸۳	۲۳۹,۷	۱۱۳	۱۲۵,۳	۱۳۵,۶	۱۵۳	۷۴	۷۴	۱۹۳	۴۶,۵	۴۶,۵
۳۴	۲۲۶,۳	۳۲۹,۶	۷۴	۱۸۱,۶	۲۳۷	۱۱۴	۱۲۳,۹	۱۳۳,۲	۱۵۴	۷۳	۷۳	۱۹۴	۴۶	۴۶
۳۵	۲۲۵,۵	۳۲۷,۹	۷۵	۱۸۰,۳	۲۳۴,۳	۱۱۵	۱۲۲,۴	۱۳۰,۹	۱۵۵	۷۲,۱	۷۲,۱	۱۹۵	۴۵,۵	۴۵,۵
۳۶	۲۲۴,۷	۳۲۶,۱	۷۶	۱۷۸,۹	۲۳۱,۶	۱۱۶	۱۲۱	۱۲۸,۷	۱۵۶	۷۱,۱	۷۱,۱	۱۹۶	۴۵,۱	۴۵,۱
۳۷	۲۲۳,۸	۳۲۴,۳	۷۷	۱۷۷,۵	۲۲۹	۱۱۷	۱۱۹,۶	۱۲۶,۵	۱۵۷	۷۰,۲	۷۰,۲	۱۹۷	۴۴,۶	۴۴,۶
۳۸	۲۲۳	۳۲۲,۴	۷۸	۱۷۶,۱	۲۲۶,۳	۱۱۸	۱۱۸,۲	۱۲۴,۳	۱۵۸	۶۹,۳	۶۹,۳	۱۹۸	۴۲,۲	۴۲,۲
۳۹	۲۲۲,۱	۳۲۰,۵	۷۹	۱۷۴,۷	۲۲۳,۶	۱۱۹	۱۱۶,۷	۱۲۲,۲	۱۵۹	۶۸,۵	۶۸,۵	۱۹۹	۴۳,۷	۴۳,۷
۴۰	۲۲۱,۲	۳۱۸,۶	۸۰	۱۷۳,۳	۲۲۰,۹	۱۲۰	۱۱۵,۳	۱۲۰,۲	۱۶۰	۶۷,۶	۶۷,۶	۲۰۰	۴۳,۳	۴۳,۳

مثال محاسبات - ۹۱

۳۸- یک ستون فولادی با مقطع مربع مستطیل توخالی (قوطی شکل) و با ضخامت بال و جان یکسان برابر ۱۵ میلی‌متر تحت اثر نیروی فشاری ضریب‌دار برابر ۱۸۰۰ KN قرار دارد. چنانچه ضریب لاغری حداکثر ستون برابر ۱۰۰ فرض شود، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (روش حالات حدی)، حداقل ابعاد بیرونی مقطع قوطی شکل به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

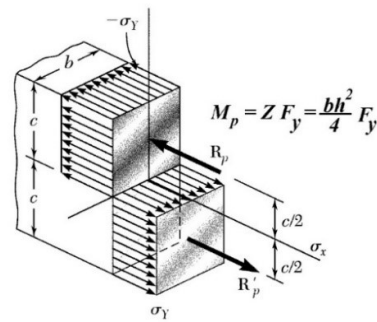
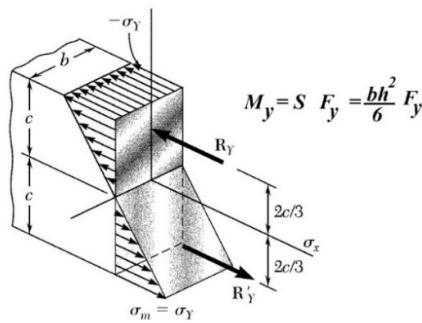
$$20 \times 20 \text{ cm (۴)}$$

$$25 \times 25 \text{ cm (۳)}$$

$$30 \times 30 \text{ cm (۲)}$$

$$35 \times 35 \text{ cm (۱)}$$

در شکل‌های زیر مقطع تحت لنگر تسلیم M_y و لنگر پلاستیک M_p نشان داده شده است.



ملاحظه می‌شود در هر دو حالت محوری را در مقاطع می‌توان یافت که نیرویی بدان وارد نمی‌شود. نام محور فوق تار خنثی (N.A) می‌باشد. تار خنثی در حالت الاستیک از مرکز سطح مقطع می‌گذرد. مرکز سطح مقطع نیز لزوماً روی محور تقارن مقطع قرار دارد. همچنین تار خنثی پلاستیک، محوری است که مساحت بالا و پایین آن برابر باشد ($A_c = A_t$).

۶-۲-۱ محاسبه لنگر الاستیک (M_y) و لنگر پلاستیک (M_p)

لنگر الاستیک از حاصل ضرب اساس مقطع الاستیک عضو در تنش تسلیم آن تعیین می‌شود.

$$M_y = S F_y = \frac{I}{C} F_y$$

S = اساس مقطع الاستیک

I = ممان اینرسی مقطع

C = دورترین فاصله از تار خنثی الاستیک

لنگر پلاستیک از حاصل ضرب اساس مقطع پلاستیک عضو در تنش تسلیم آن تعیین می‌شود.

$$M_p = Z F_y = (A_t y_t + A_c y_c) F_y$$

Z = اساس مقطع پلاستیک

A_t = مساحت قسمت کششی

y_t = فاصله مرکز سطح قسمت کششی تا تار خنثی پلاستیک

A_c = مساحت قسمت فشاری

y_c = فاصله مرکز سطح قسمت فشاری تا تار خنثی پلاستیک

اساس الاستیک مقطع (S): منظور از ممان تسلیم M_y لنگری است که اگر به مقطع وارد شود، اولین تار بالایی و یا پایینی به تسلیم برسد. برای به دست آوردن مقدار M_y می‌توان از روابط مقاومت مصالح استفاده نمود؛ یعنی $M_y = S F_y = \frac{I}{C} F_y$ که در آن C فاصله دورترین تار از تار خنثی و I ممان اینرسی مقطع می‌باشد. به S اساس الاستیک مقطع می‌گویند.

اساس پلاستیک مقطع (Z): منظور از ممان پلاستیک M_p لنگری است که اگر به مقطع وارد شود، کل مقطع به تسلیم برسد. برای به دست آوردن مقدار M_p نمی‌توان از رابطه $M_p = \frac{I}{C} F_y$ استفاده نمود و به جای آن باید از رابطه $M_p = Z F_y$ استفاده نمود که به Z اساس پلاستیک مقطع می‌گویند.



۱۰-۲-۸-۳ اعضای خمشی با مقطع مختلط

اعضای خمشی با مقطع مختلط به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

- الف) اعضای خمشی با مقطع فولادی و دال متکی بر آن به همراه برشگیر
- ب) اعضای خمشی با مقطع مختلط محاط در بتن
- پ) اعضای خمشی با مقطع مختلط پر شده با بتن

۱۰-۲-۸-۳-۱ عرض مؤثر و حداقل ضخامت دال بتنی

عرض مؤثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن به صورت مختلط عمل می‌نماید، نباید از کوچک‌ترین مقادیر زیر بزرگ‌تر در نظر گرفته شود.

- ۱) یک هشتم دهانه تیر (مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌های تیر)
- ۲) نصف فاصله محور تیر تا محور تیر مجاور
- ۳) فاصله محور تیر تا لبه دال



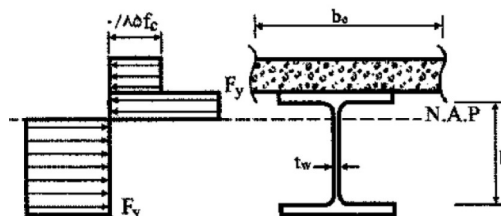
حداقل ضخامت دال بتنی ۸۰ میلی‌متر مقرر می‌گردد.

۱۰-۲-۸-۳-۳ مقاومتهای مقاطع مختلط دارای برشگیر

الف) مقاومت خمشی مثبت

مقاومت خمشی مثبت طراحی مساوی $\phi_b M_n$ می‌باشد که در آن ϕ_b ضریب کاهش مقاومت برابر ۰,۹ و M_n مقاومت خمشی مثبت است. M_n باید براساس حالت حدی تسلیم به شرح زیر تعیین شود.

- ۱) در صورتی که $\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ باشد، M_n باید براساس توزیع پلاستیک تنش بر روی مقطع مختلط تعیین شود.



شکل ۱۰-۲-۸-۲ - توزیع پلاستیک تنش در مقطع مختلط

$$\tau_b = \begin{cases} 1 & \frac{P_u}{P_y} \leq 0.5 \\ \frac{P_u}{P_y} \left(1 - \frac{P_u}{P_y} \right) & \frac{P_u}{P_y} > 0.5 \end{cases} \quad (4-1-2-10)$$

در رابطه ۴-۱-۲-۱۰ P_u مقاومت محوری فشاری مورد نیاز و P_y مقاومت تسلیم محوری عضو ($P_y = A_g F_y$) می‌باشد.

۳ به جای استفاده از τ_b متغیر در رابطه ۴-۱-۲-۱۰ برای کاهش اضافی سختی خمشی اعضاء می‌توان مقدار τ_b را برای کلیه نسبت‌های $\frac{P_u}{P_y}$ برابر یک فرض کرد مشروط بر این‌که یک بار جانبی اضافی برابر $Y_1 \cdot 0.01$ به کلیه طبقات اعمال شود. این بار جانبی اضافی باید در کلیه ترکیبات بارگذاری به همراه بارهای جانبی و بارهای جانبی فرضی در اثر نواقص هندسی اولیه در نظر گرفته شود. مورد (۲) از یادداشت بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ شامل این بار جانبی اضافی نمی‌شود.

۴ چنان‌چه در یک سیستم سازه‌ای برای تأمین پایداری آن از اعضایی با مصالح دیگری به جز فولاد استفاده شده باشد و مقررات سازه‌ای مربوط به نوع مصالح ضریب کاهش سختی کوچک‌تری (کاهش سختی بیش‌تری) را الزام کرده باشد، برای آن نوع اعضاء باید ضریب کاهش سختی کوچک‌تر مورد استفاده قرار گیرد.



در روش تحلیل مستقیم کاربرد سختی کاهش یافته فقط در تحلیل مرتبه دوم و برای تعیین مقاومت‌های مورد نیاز اعضاء محدود می‌گردد و برای سایر منظورات طراحی (نظیر کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات، کنترل خیز تیرها، کنترل ارتعاش اعضاء و کف‌ها و محاسبه زمان تناوب اصلی ساختمان) نباید از ضرایب کاهش سختی استفاده شود.

تمرین

کدام یک از ترکیب بارهای زیر جزوه ترکیب بارهای ثقلی طراحی یک سازه فولادی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد؟

$NDX = 0.002D$ بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه بار مرده در راستای X

$NDY = 0.002D$ بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه بار مرده در راستای Y

$NLX = 0.002L$ بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه بار زنده در راستای X

$NLY = 0.002L$ بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه بار زنده در راستای Y

D و L بارهای مرده و زنده (بدون ضریب بار) می‌باشند.

$$(1) \quad 1.4D + 1.4NDX + 1.4NDY$$

$$(2) \quad 1.4D + NDX + NDY$$

$$(3) \quad 1.2D + 1.6L + 1.2NDX + 1.6NLX$$

$$(4) \quad 1.2D + 1.6L + 1.2NDX + 1.2NDY + 1.6NLX + 1.6NLY$$



پاسخ گزینه ۲ صحیح است.

مقاومت هر ناودانی برابر است با:

$$Q_n = 0.7(t_f + 0.5t_w)L_a\sqrt{f_c E_c} = 0.7 \times (8 + 0.5 \times 6) \times 100 \times \sqrt{25 \times 25000} \rightarrow Q_n = 261 \text{ kN}$$

تعداد ناودانی‌ها در حد فاصل لنگر حداکثر (وسط تیر) تا لنگر صفر (ابتدای تیر) برابر ۸ عدد می باشد:

$$V_{hn} = 8 \times 261 = 2088 \text{ kN}$$

مثال محاسبات - ۹۰

۱۹- در یک تیر مختلط دو سر ساده به طول ۴ متر و با بار گسترده یکنواخت، برش افقی کل که باید بین نقطه حداکثر لنگر خمشی و نقطه لنگر خمشی صفر حمل گردد، برابر ۴۰۰ kN محاسبه شده است. در صورت استفاده از ناودانی نمره ۶ به طول ۵ سانتی‌متر و با فواصل مساوی از یکدیگر به‌عنوان برشگیر، در طراحی به روش تنش مجاز فاصله ناودانی‌ها از یکدیگر چقدر باید باشد؟ رده بتن برابر ۲۰C فرض شود.

(۲) ۳۰ سانتی‌متر

(۱) ۲۰ سانتی‌متر

(۴) ۲۵ سانتی‌متر

(۳) ۱۵ سانتی‌متر

$$E_c = (3300\sqrt{f_c} + 6900) \left(\frac{\gamma_c}{23} \right)^{1.5} = (3300\sqrt{20} + 6900) \left(\frac{24}{23} \right)^{1.5} = 23085 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.7(t_f + 0.5t_w)L_a\sqrt{f_c E_c} = 0.7 \times (6 + 0.5 \times 6) \times 50 \times \sqrt{20 \times 23085} \rightarrow Q_n = 917 \text{ kN}$$

با فرض این که ۴۰۰ kN بار نهایی ضریب‌دار باشد:

$$n = \frac{400}{917} = 4/4 \rightarrow n = 5$$

$$d = \frac{2000}{5} = 400 \text{ mm}$$

۳-۹ ضوابط برشگیرها در ستون‌ها

نگاهی به آیین‌نامه



۱۰-۷-۳ برشگیرها در ستون‌ها و یرستون‌ای با مقطع مفتعل

مشخصات برشگیرها در ستون‌های با مقطع مختلط باید با رعایت محدودیت‌های ذکر شده در جدول ۱۰-۲-۸ در نظر گرفته شود.

تمرین

کدام یک از موارد زیر در مورد نحوه منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه در ستون‌های فولادی صحیح است؟

- (۱) بارهای جانبی فرضی باید در تمامی شرایط به تمامی ترکیبات بارگذاری اضافه شود.
- (۲) بارهای جانبی فرضی در تمامی شرایط تنها به ترکیبات بارگذاری ثقلی اضافه شود.
- (۳) در صورتی که ضریب B_f در تمامی طبقات کمتر از ۱٫۷ باشد می‌توان اثر بارهای جانبی فرضی را تنها در بارهای ثقلی منظور کرد.
- (۴) بارهای جانبی فرضی در تمامی شرایط از رابطه $N_i = 0.02Y_i$ محاسبه می‌شود.

تمرین

در یک سازه یک طبقه ارتفاع طبقه برابر ۳ m می‌باشد. بار ثقلی ضریب‌دار طبقه برابر ۳۰۰ kN می‌باشد. برای منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه بارهای فرضی جانبی منظور شده است. لنگر ناشی از بارهای فرضی در پای ستون‌ها چقدر خواهد بود. از روش طول مؤثر برای تحلیل استفاده شده است.

- (۱) ۹۰۰ kN.m (۲) ۱٫۸ kN.m (۳) ۰٫۶ kN.m (۴) ۳٫۶ kN.m

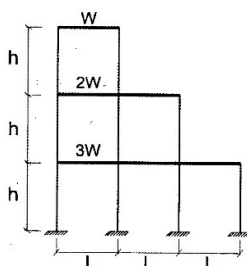
تمرین

در یک قاب خمشی از روش تحلیل مستقیم برای محاسبه نیروها استفاده شده است. بار محوری وارد بر یکی از ستون‌ها تحت اثر بار مرده برابر $P_{Dead} = ۶۰۰$ kN، تحت اثر بار زنده برابر $P_{Live} = ۴۰۰$ kN و تحت اثر زلزله برابر $P_E = ۳۰۰$ kN می‌باشد. سطح مقطع ستون برابر $A_g = ۹۰۰۰$ mm^۲ می‌باشد. صلبیت خمشی کاهش یافته عضو برای تنظیم سختی عضو برای این ستون چقدر است؟ ($F_y = ۲۴۰$ MPa).

- (۱) ۰٫۹ EI (۲) ۰٫۷۲ EI (۳) ۰٫۸ EI (۴) ۰٫۶۴ EI

مثال محاسبات - ۹۷

۳۰- شکل زیر یک قاب ساختمانی فولادی را نشان می‌دهد که مجموع بارهای ثقلی ضریب دار در تراز طبقه اول برابر $W_۱$ ، در تراز طبقه دوم برابر $W_۲$ و در تراز طبقه سوم برابر W است. فرض کنید برای تأمین الزامات پایداری این قاب از روش تحلیل مستقیم و τ_b ثابت استفاده شده است. مجموع مقدار برش پایه ناشی از آثار نواقص هندسی اولیه و مقدار برش پایه ناشی از τ_b ثابت به کدام یک مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



- (۱) ۰٫۰۱۸ W
(۲) ۰٫۰۱۲ W
(۳) ۰٫۰۰۲ W
(۴) ۰٫۰۰۳ W

$$\eta_k = \sqrt{1 + \frac{\sum P_{\text{leaning}}}{\sum P_{\text{stability}}}}$$

(۷-۱-۲-۱۰)

که در آن:

 η_k = ضریب تشدید طول مؤثر $\sum P_{\text{leaning}}$ = مجموع بارهای قائم ستون‌های غیر باربر جانبی $\sum P_{\text{stability}}$ = مجموع بارهای قائم ستون ای باربر جانبی

$$\text{طول مؤثر} \left\{ \begin{array}{l} \text{محدودیت} \left\{ \begin{array}{l} (۱۰-۲-۱-۵-۲) \text{ نحوه تحمل بارهای ثقیلی} \\ (۱۰-۲-۱-۵-۲) \text{ محدودیت ضریب تشدید } B_7 \end{array} \right. \\ \text{روش تحلیل مرتبه دوم} \left\{ \begin{array}{l} \text{تحلیل الاستیک مرتبه دوم} \\ \text{تحلیل مرتبه اول تشدید یافته} \end{array} \right. \\ \text{طبق بند } (۱۰-۲-۱-۵-۱) \left\{ \begin{array}{l} \text{آثار نواقص هندسی اولیه} \\ \text{طبق بند } (۱۹-۲-۱-۵-۲) \text{ تنظیمات سختی اعضا} \\ \text{طبق بند } (۱۰-۲-۱-۳) \text{ ضریب } K \text{ ستون‌ها} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

تمرین

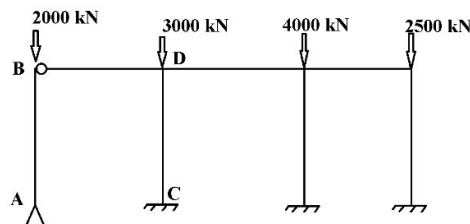
در قاب خمشی شکل زیر برای تحلیل سازه از روش طول مؤثر استفاده شده است. ضریب طول مؤثر ستون AB چقدر باید منظور شود. بارهای وارد شده، مجموع بارهای مرده و زنده را نشان می‌دهد. کدام گزینه در رابطه با ستون AB صحیح است؟

(۱) ستون بدون مهار جانبی بوده و بنابراین با توجه به دو سر مفصل بودن آن ناپایدار محسوب شده و ساخت چنین سازه‌ای غیرمجاز است.

(۲) این ستون تنها باربر ثقیلی بوده و با فرض ضریب طول مؤثر برابر $K=1$ مقاومت محوری آن قابل محاسبه است و در صورتی که مقاومت کافی داشته باشد، استفاده از این سیستم مجاز خواهد بود.

(۳) گرچه ستون ناپایدار است ولی تیر BD می‌تواند بار محوری وارد بر نقطه B را به صورت یک تیر طره تحمل کند و اگر تیر BD و بقیه ستون با مقاومت کافی داشته باشد، استفاده از این سیستم مجاز است.

(۴) در این سازه نمی‌توان از روش طول مؤثر استفاده کرد و باید از روش تحلیل مستقیم استفاده کرد.



۱-۱۱ ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی

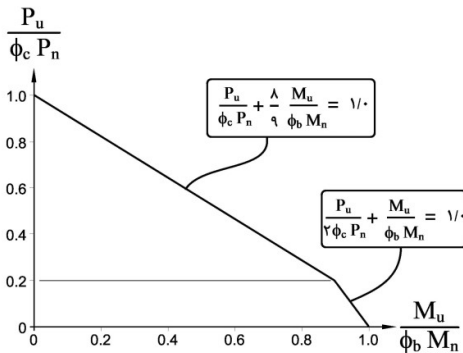
نگاهی به آیین نامه



۱-۲-۷-۲-۱۰ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی

۱-۲-۷-۲-۱۰ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری

اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری حول یک یا هر دو محور X و Y اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن با محدودیت $0.9 \leq (I_{yc} / I_y) \leq 1.0$ که در آن I_y ممان اینرسی مقطع کل و I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف Y می‌باشد، به شرح زیر تعیین می‌گردد:

الف برای $\frac{P_u}{P_c} \geq 0.2$:

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

ب برای $\frac{P_u}{P_c} < 0.2$:

$$\frac{P_u}{2P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1$$

که در آن:

 P_u = مقاومت فشاری مورد نیاز $P_c = \phi_c P_n$ = مقاومت فشاری طراحی ϕ_c = ضریب کاهش مقاومت در فشار مساوی ۰,۹ M_{ux} = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی X M_{uy} = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور ضعیف Y $M_{cx} = \phi_b M_{nx}$ = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی X $M_{cy} = \phi_b M_{ny}$ = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف Y ϕ_b = ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی ۰,۹

۱-۲-۷-۲-۱۰ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر (همزمان لنگر خمشی و نیروی محوری کششی)

اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری کششی حول یک یا هر دو محور X و Y در اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن با محدودیت $0.9 \leq (I_{yc} / I_y) \leq 1.0$ که در آن I_y ممان اینرسی مقطع کل و I_{yc} ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف Y می‌باشد، به شرح زیر تعیین می‌گردد.

$$A_e = t_e L$$

$$J = I_x + I_y$$

$$I_x = \int \left[\frac{t_e L^2}{12} \right]$$

$$I_y = \int \left[(t_e L) \left(\frac{L^2}{12} \right) \right]$$

بعد از تعیین تنش‌ها، نوبت به محاسبه برآیند تنش‌های وارده می‌رسد. با توجه به جهت نیروهای وارده، نقاط بحرانی تنش را تعیین می‌کنیم. این نقاط در شکل با حروف A و B نشان داده شده‌اند.

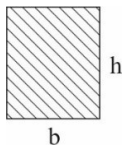
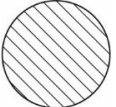
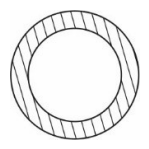
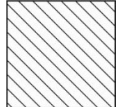
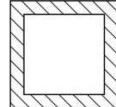
$$f_{cr} = \sqrt{f_v^2 + f_T^2}$$

برآیند تنش‌ها از محاسبه جذر مجموع مربعات تنش‌های برشی و تنش‌های خمشی تعیین می‌شود. در این مساله، تنش ناشی از لنگر خمشی از نوع تنش کششی بوده و تنش ناشی از نیروی برشی و لنگر پیچشی از نوع تنش‌های برشی است. لذا:

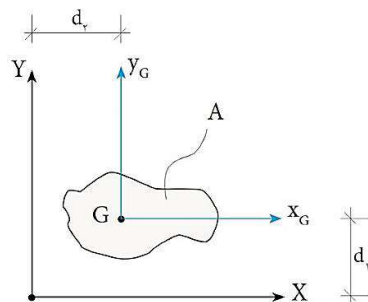
$$f_T^2 = \left(\frac{MC}{I} \right)^2 = \left(\frac{PLC}{I} \right)^2$$

$$f_v^2 = f_{vx}^2 + f_{vy}^2 = (f_T \cos \theta)^2 + (f_T \sin \theta + f_v)^2 = \left(\frac{T_y}{J} \right)^2 + \left(\frac{T_x}{J} + \frac{P}{A_e} \right)^2$$

L ممان اینرسی قطبی است که برابر است با $J = I_x + I_y$. در جدول زیر ممان اینرسی مقاطع پرکاربرد نسبت به محورهای گذرا از مرکز سطح آن آمده است:

				
$I_x = \frac{bh^3}{12}$ $I_y = \frac{hb^3}{12}$	$I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{4}$	$I_x = I_y = \pi R^3 t$	$I_x = I_y = \frac{a^4}{12}$	$I_x = I_y = \frac{ra^3 t}{3}$

یادآور می‌شود ممان اینرسی نسبت به محوره‌های موازی محوره‌های اصلی آن برابر خواهد بود با:



$$I_x = I_{x_G} + Ad_y^2$$

$$I_y = I_{y_G} + Ad_x^2$$

۱-۱۲ ابعاد جوش گوشه

نگاهی به آیین نامه



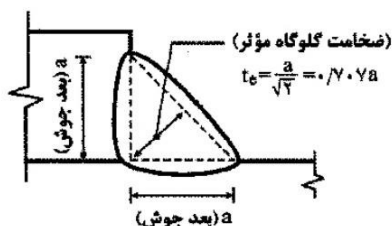
۱-۲-۱۰ الزامات طراحی اتصالات

۱-۲-۱۰-۲-۹ جوش‌ها

۱-۲-۱۰-۲-۹-۲ جوش‌های گوشه

ب محدودیت‌ها:

۱ حداقل بُعد جوش‌های گوشه نباید از بُعد مورد نیاز برای انتقال بارهای محاسبه شده و اندازه‌های نشان داده شده در جدول ۱-۲-۱۰-۲-۹ کوچکتر انتخاب شود. حداقل بُعد جوش تابع ضخامت قطعه نازک‌تر می‌باشد و از طرفی نباید بُعد جوش از ضخامت نازک‌ترین قطعه متصل‌شونده تجاوز نماید.



شکل ۱-۲-۱۰-۳- ضخامت گلوگاه مؤثر جوش‌های گوشه

۲ حداکثر بُعد جوش‌های گوشه در لبه قطعات متصل‌شونده برای قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه و برای قطعات با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه منهای ۲ میلی‌متر می‌باشد.



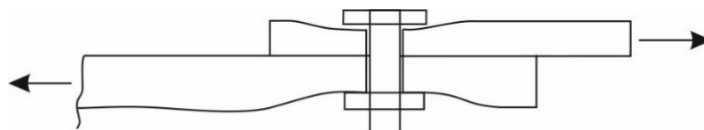
در مواردی که قطر اسمی پیچ غیر از اعداد ذکر شده در جدول ۱۰-۲-۹-۷ باشد، حداقل نیروی پیش‌تنیدگی را می‌توان برابر $0.55A_{nb}F_u$ (که معادل $0.7A_{eb}F_u$ است) در نظر گرفت، که در آن A_{nb} سطح مقطع اسمی پیچ، A_{eb} سطح مقطع خالص یا سطح مقطع زیر دندانه‌ها و F_u تنش کششی نهایی مصالح پیچ است.

اتوع اتصال:

۱ اتصال اتکایی: انتقال نیروی از طریق اتکای بدنه پیچ به قطعات متصل شونده است.



۲ اتصال اصطکاکی: پیچ‌ها از طریق پیچاندن اضافی مهره یا پیش‌تنیده می‌وند. در نتیجه پیچ تحت کشش اولیه و ضخامت متصل‌شونده تحت فشار اولیه قرار می‌گیرند. انتقال نیرو از طریق اصطکاک بین صفحات متصل شونده است.



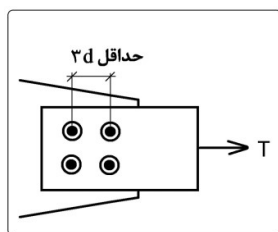
۱-۱۳ مشخصات و فواصل سوراخ‌ها

۱۰-۲-۹-۳-۲ مشخصات و فواصل سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

الف) انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی به شرح زیر می‌باشد.

- ۱ سوراخ استاندارد
- ۲ سوراخ بزرگ‌شده
- ۳ سوراخ لوبیایی بلند
- ۴ سوراخ لوبیایی کوتاه

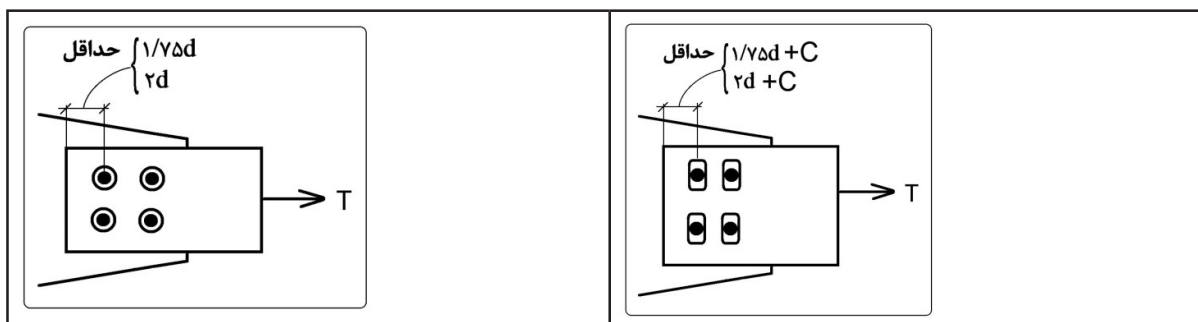


پ) حداقل فاصله ل سوراخ پیچها در اتصالات پیچی

فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌های استاندارد، سوراخ‌های بزرگ‌شده و سوراخ‌های لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیله اتصال کمتر باشد.

ت) حداقل فاصله سوراخ‌ها تا لبه در اتصالات پیچی

فاصله مرکز سوراخ‌های استاندارد تا لبه قطعه متصل شونده نباید از مقادیر داده شده در جدول ۱۰-۲-۹-۸ کمتر باشد. برای سوراخ ای بزرگ‌شده و سوراخ‌های لوبیایی فاصله مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه که برای سوراخ استاندارد تعیین شده به اضافه مقدار C مربوطه از جدول ۱۰-۲-۹-۹ کمتر شود.



جدول ۱۰-۲-۹-۸ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا

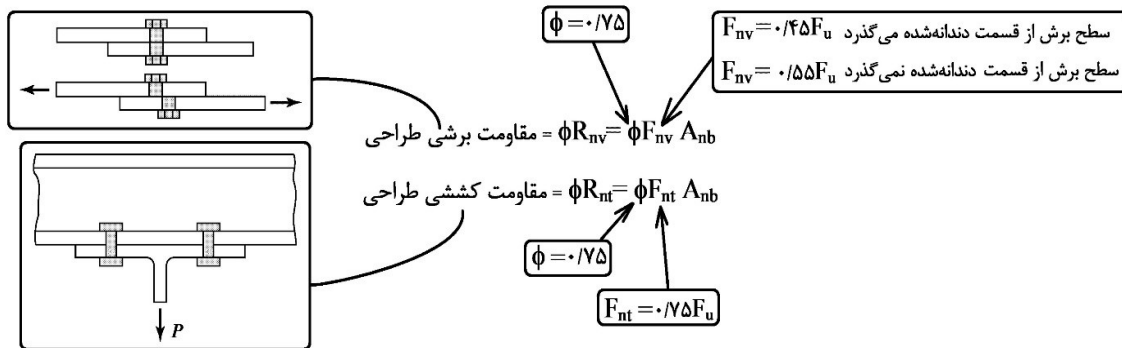
لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)	لبه نورد شده ورق- نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا اره
۲ d	۱/۷۵ d

d = قطر اسمی پیچ

جدول ۱۰-۲-۹-۹ مقادیر افزایش حداقل فاصله سوراخ تا لبه (C)

سوراخ لوبیایی (mm)			سوراخ بزرگ‌شده (mm)
موازی با لبه	عمود بر امتداد لبه		
	لوبیایی بلند	لوبیایی کوتاه	
°	°,۷۵ d	۵ mm	۳ mm

مقاومت کششی طراحی و مقاومت برشی طراحی در اتصالات اتکایی



پیچ‌ها تحت اثر نیروی برشی قرار دارند، لذا:

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_{nv} = 0.75 \times (0.55 \times 1000) \times \left[4 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 20^2 \right) \right] = 518362 \text{ N} \geq 350000 \text{ N} \quad \text{OK}$$

۳ کنترل مقاومت اتکایی در جدار سوراخ

برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ شده، سوراخ لوبیایی کوتاه و سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد طولی باشد:

