

به نام خدا



دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان
گروه عمران

طراحی سازه های فولادی ۲

اتصالات پچی

اتصالات پیچی

پیچ: یکی از وسایل اتصال سازه ها هستند که امروزه دارای کاربرد بسیار رایج و متداول در صنعت ساختمان می باشند.



مزایای اتصالات پیچی

- ۱- سرعت نصب و مونتاژ بالا
- ۲- امکان باز نمودن سازه و استفاده مجدد
- ۳- عدم نیاز به کارگر ماهر
- ۴- بی صدا بودن در هنگام نصب و اجرا
- ۵- کم هزینه بودن کارهای مربوط به نصب و اجرا

معایب اتصالات پیچی

- ۱- اجرای غلط و غیر استاندارد سوراخ ها
- عدم انطباق سوراخ ها هنگام نصب و اجرا

تقسیم بندی اتصالات پیچ و مهره: اتصالات پیچ و مهره را میتوان به گونه های مختلفی تقسیم بندی کرد.

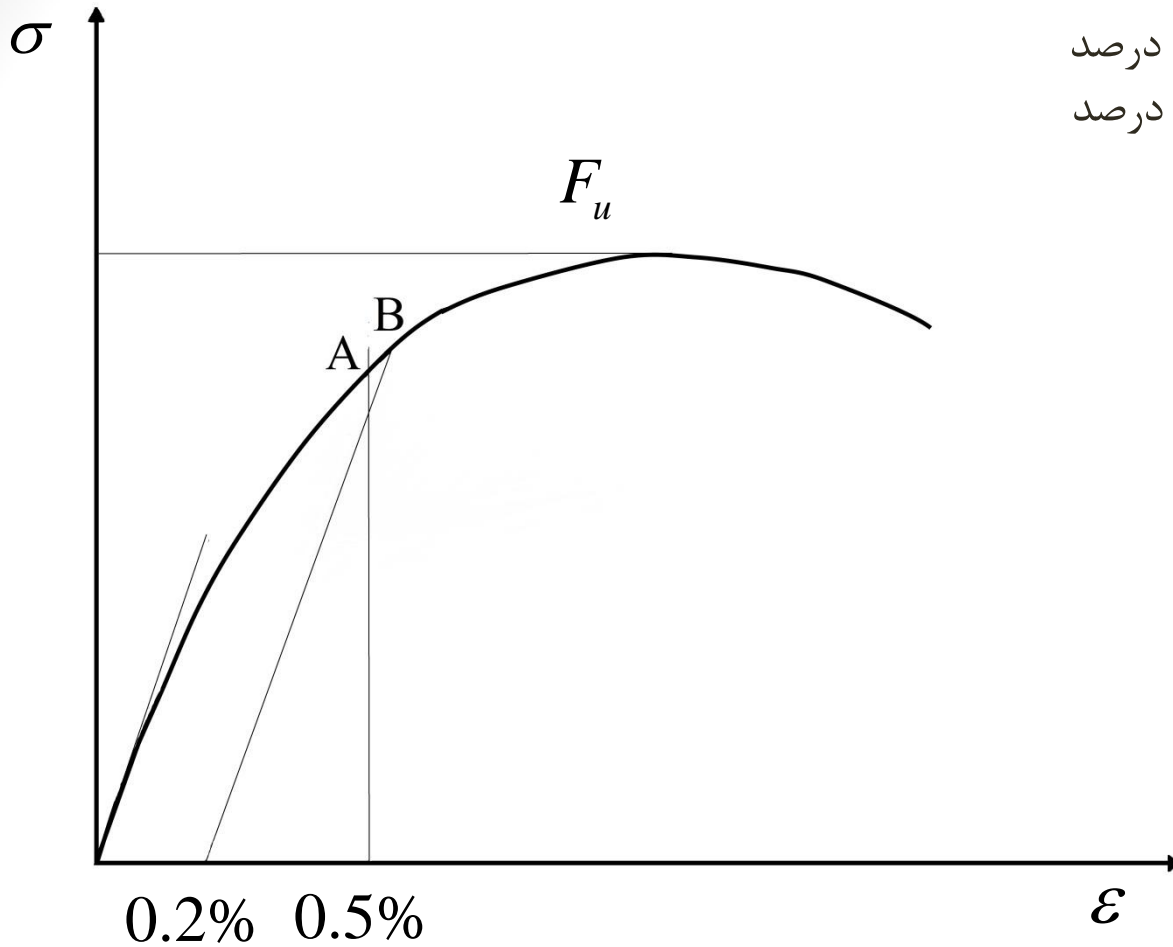


تقسیم بندی از لحاظ جنس پیچ:

- ۱- پیچ معمولی
- ۲- پیچ پر مقاومت
- ۳- قطعات دندانه شده

پیچ های معمولی و پر مقاومت از لحاظ مقاومت با هم متفاوت می باشند. پیچهای معمولی از جنس فولاد نرمه با کربن کم هستند که فقط در اتصالات اتکایی اعضای غیر اصلی مورد استفاده قرار می گیرند، اما پیچهای پر مقاومت که از جنس فولاد با کربن متوسط هستند برای هر دو حالت اتصالات اتکایی و اصطکاکی قابل کاربرد می باشند. قطعات دندانه شده نیز نوع دیگری از اتصالات پیچی می باشند که از رزوه کردن میلگردها حاصل میشوند. از این قطعات بیشتر به عنوان بولت در صفحه ستون استفاده می شود.

اتصالات پیچی



A: نقطه تسلیم نظیر کرنش ۰/۲ درصد
B: نقطه تسلیم نظیر کرنش ۰/۵ درصد
Fu: مقاومت نهایی

نمودار تنش - کرنش پیچ

اتصالات پیچی

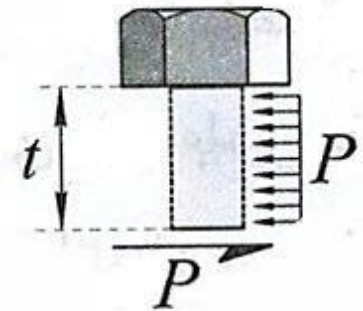
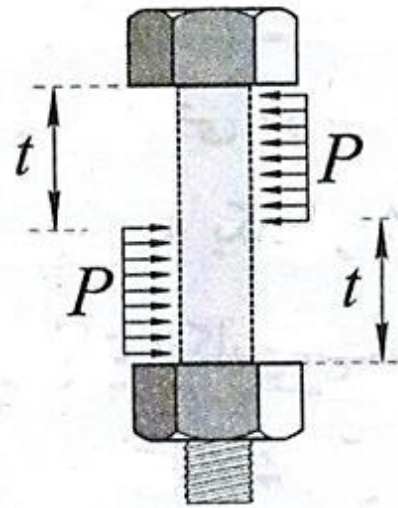
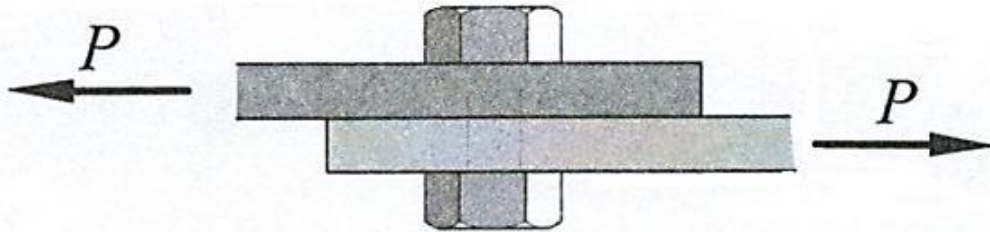
تنش نهایی مصالح پیچ یا پرچ (F_u)	تنش تسلیم مصالح پیچ یا پرچ (F_y)	نام استاندارد		نوع پیچ و پرچ
		ISO	ASTM	
$4000 \text{ kg/cm}^2 [400 \text{ N/mm}^2]$	$2400 \text{ kg/cm}^2 [240 \text{ N/mm}^2]$	-	A307	پیچ‌های معمولی
$4000 \text{ kg/cm}^2 [400 \text{ N/mm}^2]$	$2400 \text{ kg/cm}^2 [240 \text{ N/mm}^2]$	4/6	-	
$4200 \text{ kg/cm}^2 [420 \text{ N/mm}^2]$	$3200 \text{ kg/cm}^2 [320 \text{ N/mm}^2]$	4/8	-	
$5000 \text{ kg/cm}^2 [500 \text{ N/mm}^2]$	$3000 \text{ kg/cm}^2 [300 \text{ N/mm}^2]$	5/6	-	
$5200 \text{ kg/cm}^2 [520 \text{ N/mm}^2]$	$4000 \text{ kg/cm}^2 [400 \text{ N/mm}^2]$	5/8	-	
$6000 \text{ kg/cm}^2 [600 \text{ N/mm}^2]$	$4800 \text{ kg/cm}^2 [480 \text{ N/mm}^2]$	6/8	-	
$8000 \text{ kg/cm}^2 [800 \text{ N/mm}^2]$	-	-	A325 ($d \leq 25 \text{ mm}$)	پیچ‌های پرمقاومت
$7250 \text{ kg/cm}^2 [725 \text{ N/mm}^2]$	-	-	A325 ($d > 25 \text{ mm}$)	
$10000 \text{ kg/cm}^2 [1000 \text{ N/mm}^2]$	-	-	A490	
$8000 \text{ kg/cm}^2 [800 \text{ N/mm}^2]$	-	8/8	-	
$1000 \text{ kg/cm}^2 [1000 \text{ N/mm}^2]$	-	10/9	-	
$12000 \text{ kg/cm}^2 [1200 \text{ N/mm}^2]$	-	12/9	-	

تقسیم بندی از لحاظ نوع اجرای اتصال:

۱- اتصال اتکایی (Bearing type connection)

۲- اتصال اصطکاکی (Friction type connection)

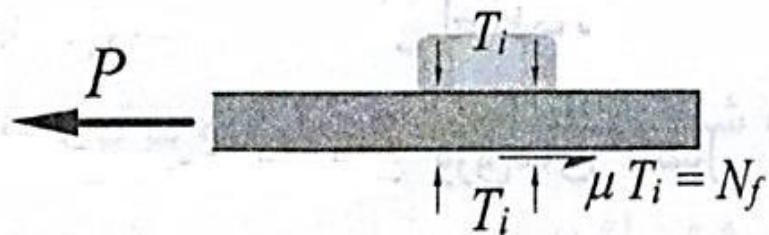
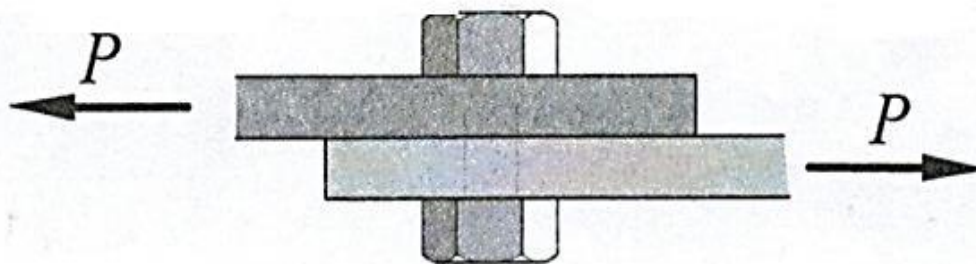
اتصال اتکایی: در اتصال اتکایی پیچ در سوراخ خود دارای آزادی حرکت بوده و در لقی مجاز خود میتواند آزادانه حرکت کند و همچنین در این نوع اتصال لغزش بین صفحات اتصال مجاز میباشد. مکانیسم عمل این نوع اتصال به گونه ای است که به واسطه اعمال نیرو، بین تنه پیچ و مقطع سوراخ ایجاد شده در ورق اتصال، فشار تماسی ایجاد می شود که علاوه بر ایجاد لهیدگی در پیچ و ورق، باعث بریده شدن پیچ می شود.



اتصال اصطکاکی: در حالت اتصال اصطکاکی پیچ و مهره با آچارهای مخصوص اضافه بر حالت عادی پیچانده میشوند و در واقع این پیچاندن اضافی باعث ایجاد نیروی پیش تنیدگی در پیچ می شود. نیروی پیش تنیدگی حاصل شده توسط پیچ و مهره باعث ایجاد فشار بر ورق های اتصال می گردد که این نیروی فشاری باعث ایجاد نیروی اصطکاک بین ورقهای اتصال می شود.

نیروی پیش تنیدگی $\rightarrow N_f = \mu T_i \leftarrow$ نیروی اصطکاک

\swarrow ضریب اصطکاک



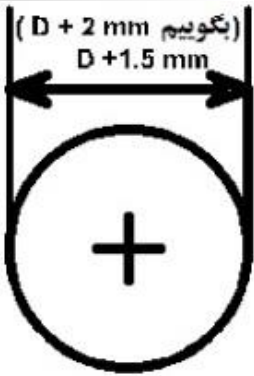
انواع سوراخ های و ابعاد اسمی آنها (ASD):

۱- سوراخ استاندارد گرد

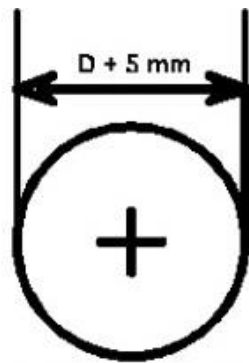
۲- سوراخ فراخ یا بزرگ شده گرد (لق)

۳- سوراخ لوبیایی کوتاه

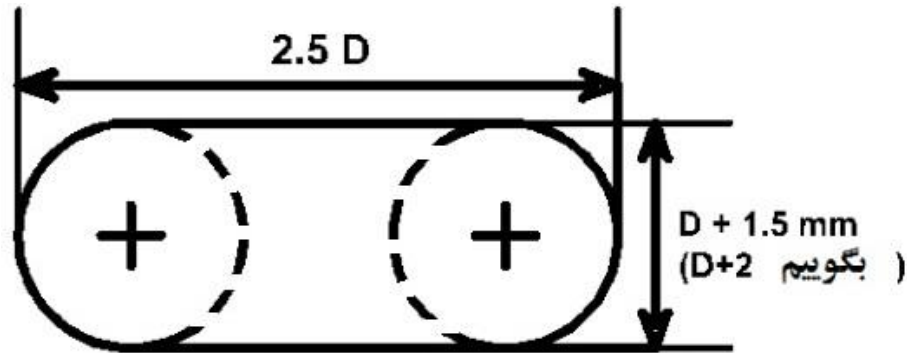
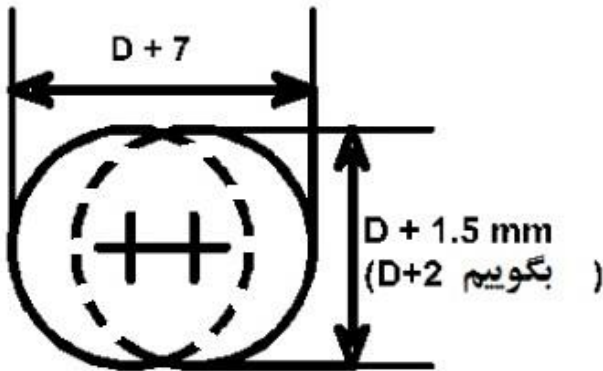
۴- سوراخ لوبیایی بلند



لقی ۲ میلیمتر



لقی ۵ میلیمتر

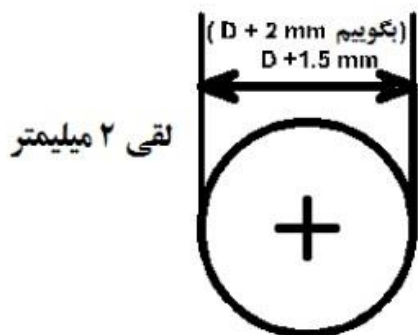


اندازه حداکثر سوراخ (mm)

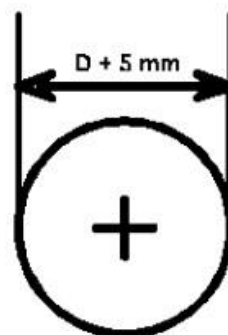
اندازه حداکثر سوراخ (mm)					قطر پیچ (mm)
میله مهار پای ستون	لوبیایی بلند (طول × عرض)	لوبیایی کوتاه (طول × عرض)	بزرگ (قطر)	استاندارد (قطر)	
$d + 6 \text{ mm}$	$(d + 2) \times (2/5 d)$	$(d + 2) \times (d + 7)$	$d + 5 \text{ mm}$	$d + 2 \text{ mm}$	d

محدودیت های آیین نامه ای در مورد کاربرد سوراخ ها (ASD):

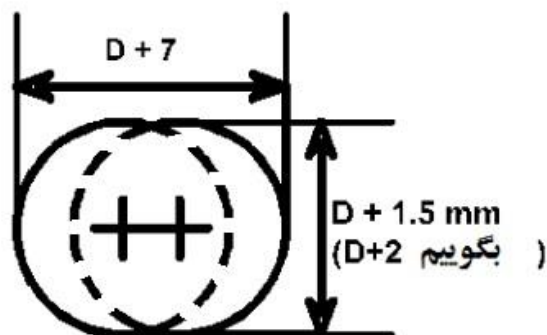
- ۱- سوراخ های بزرگ فقط در اتصال اصطکاکی مجاز هستند
- ۲- سوراخ های لوبیایی کوتاه در تمام امتدادها در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند و در اتصالات اتکایی امتداد طول سوراخ باید عمود بر امتداد نیرو باشد.
- ۳- در اتصالات اتکایی، سوراخ های لوبیایی بلند فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و در اتصالات اصطکاکی فقط در یکی از ورق های اتصال و در هر امتداد اختیاری وجود داشته باشد.



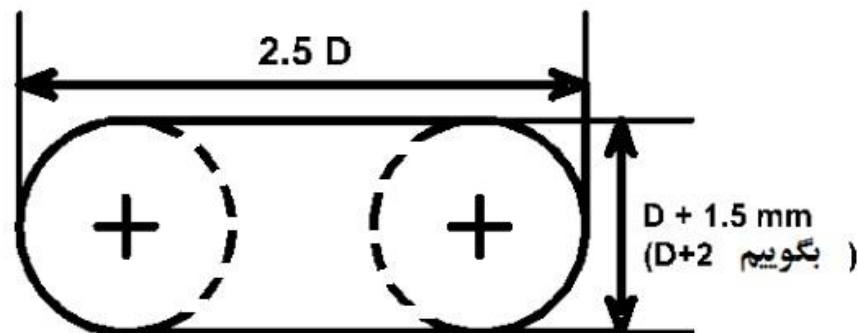
سوراخ استاندارد (اتصالات اتکایی و اصطکاکی)



سوراخ فراخ (فقط اتصالات اصطکاکی)



اتکایی عمود بر مسیر نیرو، اصطکاکی در تمام حالات



اتکایی و اصطکاکی عمود بر مسیر نیرو و اصطکاکی فقط در یکی از ورق ها در امتداد اختیاری

انواع سوراخ های و ابعاد اسمی آنها (LRFD):

۱- سوراخ استاندارد گرد

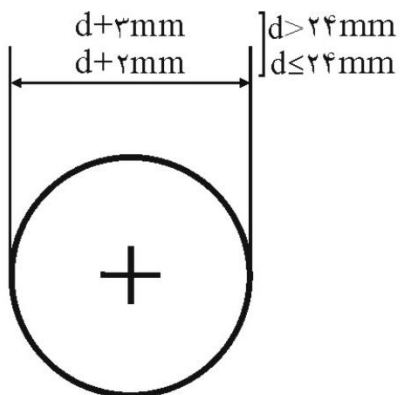
۲- سوراخ فراخ یا بزرگ شده گرد (لق)

۳- سوراخ لوبیایی کوتاه

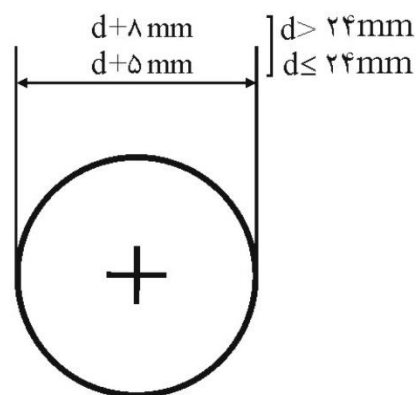
۴- سوراخ لوبیایی بلند

ابعاد حداکثر سوراخ (mm)				قطر پیچ (mm)
لوبیایی بلند (طول×عرض)	لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	بزرگ شده (قطر)	استاندارد (قطر)	
$(d + ۲) \times (۲/۵d)$	$(d + ۲) \times (d + ۷)$	$d + ۵$	$d + ۲$	$d \leq ۲۴ \text{ mm}$
$(d + ۳) \times (۲/۵d)$	$(d + ۳) \times (d + ۱۰)$	$d + ۸$	$d + ۳$	$d > ۲۴ \text{ mm}$

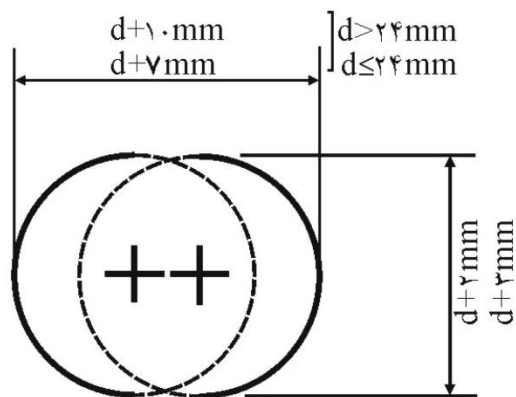
محدودیت های آیین نامه ای در مورد کاربرد سوراخ ها (LRFD):



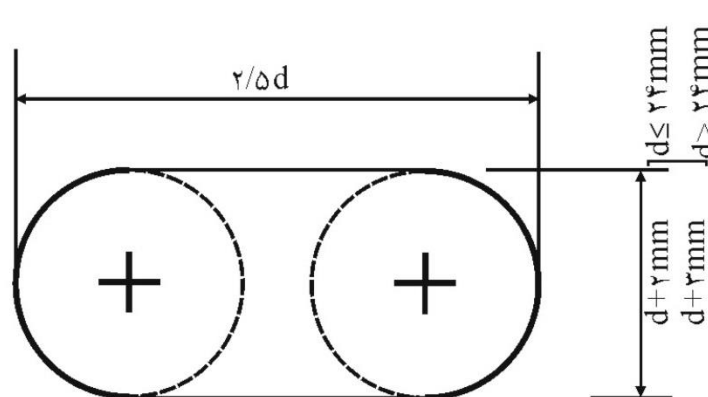
سوراخ استاندارد (اتصالات اتکایی و اصطکاکی)



سوراخ بزرگ شده (فقط اتصالات اصطکاکی)



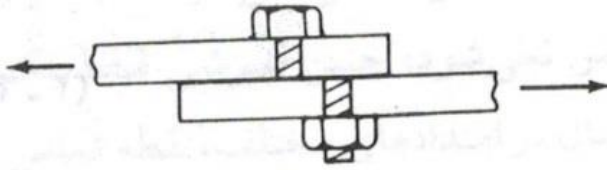
لوبیایی کوتاه
(اتکایی عمود بر مسیر نیرو،
اصطکاکی در تمام حالات)



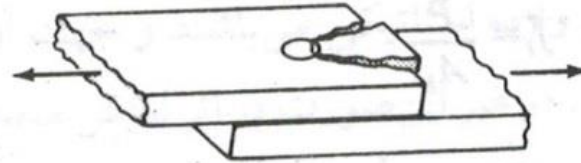
لوبیایی بلند
(اتکایی و اصطکاکی عمود بر مسیر نیرو و اصطکاکی
فقط در یکی از ورق ها در امتداد اختیاری)

طراحی اتصال با رفتار برشی

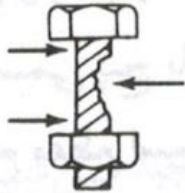
اتصال اتکایی: برای طراحی اتصال با رفتار برشی باید اتصال را به گونه ای طراحی کرد که از هر یک از خرابی های ممکن جلوگیری شود.



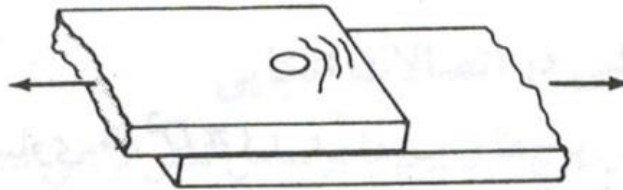
الف - گسیختگی برشی پیچ (بریدن پیچ)



ب - گسیختگی برشی ورق



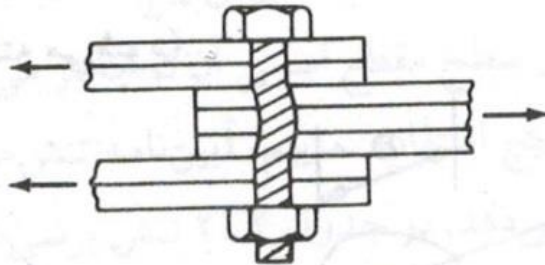
پ - لهیدگی تنه پیچ



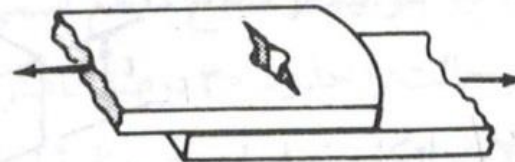
ت - لهیدگی ورق



ث - گسیختگی کششی پیچ



ج - گسیختگی خمشی پیچ

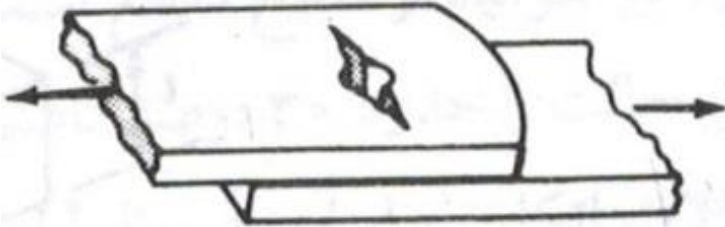


چ - گسیختگی کششی ورق

طراحی اتصال با رفتار برشی

کنترل های لازم در طراحی اتصالات اتکایی تحت برش:

۱- کنترل تنش در ورق های اتصال



گسیختگی کششی ورق

$$f_t = \frac{P}{A_g} \leq 0.6F_y$$

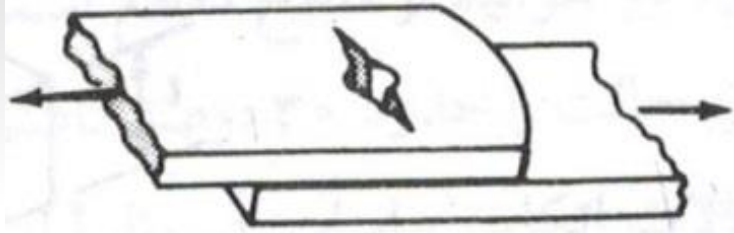
$$f_t = \frac{P}{A_e} \leq 0.5F_u$$

روش ASD ←

طراحی اتصال با رفتار برشی

کنترل های لازم در طراحی اتصالات اتکایی تحت برش:

۱- کنترل تنش در ورق های اتصال



گسیختگی کششی ورق

روش LRFD

$$\phi R_n \geq R_r$$

$\phi_c = 0.9$ (برای فشار محوری)

$\phi_v = 0.9$ تا 1.0 (برای برش)

$\phi_b = 0.9$ (برای لنگر خمشی)

$\phi_t = 0.9$ (برای تسلیم عضو کششی)

$\phi_t = 0.75$ (برای گسیختگی عضو کششی)

$\phi = 0.75$ (برای مقاومت اتکایی)

$\phi_T = 0.9$ (برای لنگر پیچشی)

طراحی اتصال با رفتار برشی

۱- کنترل تنش در ورق های اتصال

روش LRFD

گسیختگی کششی ورق

$$\phi_t = 0.9$$

$$P_n = F_y \cdot A_g$$

الف) برای تسلیم کششی روی مقطع کل

$$(3 - 3 - 2 - 10)$$

ب) برای گسیختگی کششی روی مقطع خالص

$$(4 - 3 - 2 - 10)$$

$$\phi_t = 0.75$$

$$P_n = F_u \cdot A_e$$

در روابط فوق:

$$A_g = \text{سطح مقطع کل}$$

$$A_e = \text{سطح مقطع خالص مؤثر}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد}$$

$$F_u = \text{تنش نهایی کششی فولاد}$$

$$P_n = \text{مقاومت کششی اسمی}$$

طراحی اتصال با رفتار برشی

کنترل های لازم در طراحی اتصالات اتکایی تحت برش

۲- کنترل تنش برشی در پیچ ها

روش ASD

تنش مجاز برشی پیچ

$$f_v = \frac{P}{nA_b} \leq F_v$$

تنش موجود با فرض توزیع یکسان نیرو
بین تمام پیچ ها

تعداد پیچ های موجود

سطح مقطع اسمی پیچ

تنش برشی مجاز (F_V)				تنش کششی مجاز (F_t)	نوع وسیله اتصال
اتصال اتکایی ^(۵)	اتصال اصطکاکی ^(۴)				
	سوراخ لوبیایی بلند		سوراخ بزرگ شده و لوبیایی کوتاه		
	بار در امتداد طولی	بار در امتداد عرضی			
$0.6F_y$				$0.5F_y$	پیچ
$0.17F_u$ ^(۳)				$0.33F_u$ (۱) و (۶)	پیچ معمولی
$0.17F_u$ ^(۳)				$0.33F_u$ (۱) و (۶)	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد.
$0.22F_u$				$0.33F_u$ (۱) و (۶)	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی گذرد.

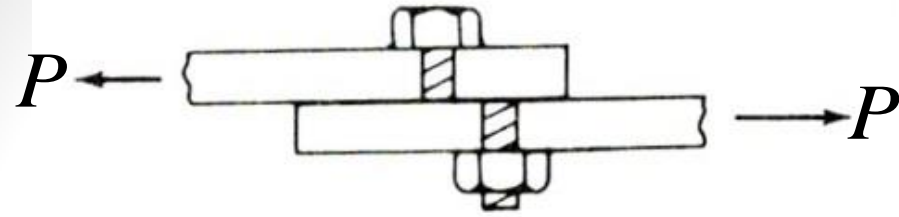
تنش برشی مجاز (F_v)					تنش کششی مجاز (F_t)	نوع وسیله اتصال
اتصال اتکایی ^(۵)	اتصال اصطکاکی ^(۴)					
	سوراخ لوبیایی بلند		سوراخ بزرگ شده و لوبیایی کوتاه	سوراخ استاندارد		
	بار در امتداد طولی	بار در امتداد عرضی				
$0.2F_u$	$0.09F_u$	$0.1F_u$	$0.12F_u$	$0.15F_u$	$0.38F_u$ (۳) و (۶)	پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد.
$0.28F_u$	$0.09F_u$	$0.1F_u$	$0.12F_u$	$0.15F_u$	$0.38F_u$ (۳) و (۶)	پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی گذرد.

در این جدول:

- (۱) فقط بارگذاری استاتیکی،
- (۲) قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است
- (۳) برای پیچ‌های A325 ، A490 و یا مشابه تحت اثر خستگی.
- (۴) با ضریب اصطکاک 0.33 برای وضعیتی که سطوح تماس تمیز با فلز ناشی از عمل نورد کارخانه‌ای باشد.
- (۵) وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از 1250 میلی‌متر تجاوز کند این تنش‌های مجاز را باید 20% کاهش داد.
- (۶) F_u تنش نهایی مصالح پیچ و F_y تنش جاری‌شدن مصالح پرچ‌ها می‌باشد. به‌عنوان مثال F_u برای پیچ‌های معمولی A307 طبق استاندارد ASTM (یا $4/5$ طبق استاندارد ISO) برابر (4000 kg/cm^2) ، برای پیچ A325 طبق استاندارد ASTM (یا $8/8$ طبق استاندارد ISO) با قطری مساوی و یا کمتر از 25 میلی‌متر مساوی (8000 kg/cm^2) و قطر بزرگتر از 25 میلی‌متر مساوی (7250 kg/cm^2) و برای پیچ A490 طبق استاندارد ASTM (یا $10/9$ طبق استاندارد ISO) مساوی (10000 kg/cm^2) می‌باشد.

طراحی اتصال با رفتار برشی

کنترل های لازم در طراحی اتصالات اتکایی تحت برش:



گسیختگی برشی پیچ (بریدن پیچ)

۲- کنترل تنش برشی در پیچ ها

روش LRFD

$$P \leq \phi R_{nv}$$

مقاومت برشی طرح = $\phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_b$

(۱۰ - ۲ - ۱۰ - ۵)

در رابط فوق:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت و مساوی ۰/۷۵ می باشد.

$$P_u \leq (nA_b) \times (\phi F_{nv})$$

R_{nv} = مقاومت برشی اسمی

F_{nv} = تنش برشی اسمی

A_b = سطح مقطع اسمی تنه پیچ (مقطع دندانه نشده)

نوع وسیله اتصال	تنش کششی اسمی (F_{nt})	برشی اسمی (F_{nv}) در اتصالات اتکایی
پیچ‌های معمولی	$0.75F_u$ [۱],[۲]	$0.4F_u$ [۳],[۵]
پیچ‌های پرمقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندان‌ده شده می‌گذرد	$0.78F_u$ [۴]	$0.4F_u$ [۵]
پیچ‌های پرمقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندان‌ده شده نمی‌گذرد	$0.78F_u$ [۴]	$0.5F_u$ [۵]
قطعه دندان‌ده شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندان‌ده شده می‌گذرد	$0.75F_u$ [۱],[۶]	$0.4F_u$
قطعه دندان‌ده شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندان‌ده شده نمی‌گذرد	$0.75F_u$ [۱],[۶]	$0.5F_u$
پرچ‌های گرم انجام شده	F_u [۱]	$0.9F_y$

[۱] فقط بارگذاری استاتیکی

[۲] در پیچ‌های معمولی که طول گیره آنها از ۵ برابر قطرشان بیشتر است، مقادیر فوق باید به‌ازای هر ۲ mm طول اضافی گیره، یک درصد کاهش داده شود.

[۳] قرار گرفتن دندان‌ده‌ها در سطح برش مجاز است.

[۴] برای پیچ‌های پرمقاومت مشمول تنش خستگی ناشی از بار کششی رجوع شود.

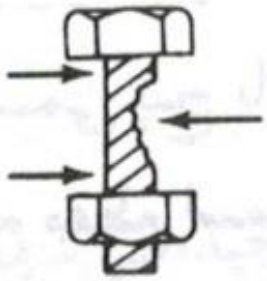
[۵] وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۱۲۵۰ میلی‌متر تجاوز کند این مقادیر را باید ۲۰٪ کاهش داد.

[۶] مقاومت کششی اسمی ناحیه دندان‌ده شده یک قطعه دندان‌ده شده با حديدۀ توپی براساس سطح مقطع آن در قطر خارجی حديدۀ، A_D ، باید از سطح مقطع اسمی تنه (قبل از ناحیه توپی) ضریب F_y بیشتر باشد.

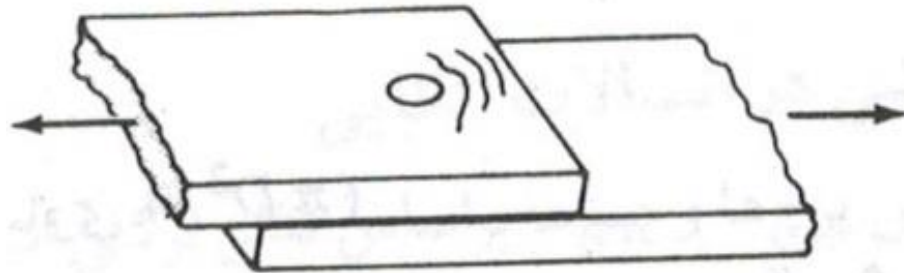
طراحی اتصال با رفتار برشی

کنترل های لازم در طراحی اتصالات اتکایی تحت برش:

۳- کنترل تنش های لهیدگی



لهیدگی تنه پیچ



لهیدگی ورق

$$f_P = \frac{P}{nd_b t} \leq \min(F_P(Plate), F_P(Bolt))$$

تنش مجاز اتکایی (لهیدگی در جدار سوراخ های پیچ) به روش ASD

تنش فشاری اتکایی مجاز بر روی سطح تصویر شده پیچ (حاصلضرب قطر در ضخامت قطعه) در اتصالات اتکایی که در آنها فاصله مرکز به مرکز سوراخ $3d$ و فاصله انتهایی از مرکز سوراخ تا لبه (در امتداد نیرو) حداقل $2d$ باشد، به شرح زیر تعیین می شود:

۱- برای سوراخ های استاندارد و یا سوراخ لوبیایی کوتاه که دو یا چند پیچ در خط نیرو داشته باشد:

$$F_P = 1.2F_u$$

۲- برای سوراخ های لوبیایی بلند که محور شکاف عمود بر امتداد بارگذاری باشد، با دو یا چند پیچ در خط نیرو:

$$F_P = 1.0F_u$$

۳- برای سوراخ های استاندارد و یا سوراخ های لوبیایی کوتاه در سطح تصویر شده نزدیکترین پیچ به لبه، که فاصله مرکز تا لبه در آنها کمتر از $2d$ و یا در تمام اتصال یک عدد پیچ در خط نیرو داشته باشند:

$$F_P = \frac{L_e \cdot F_u}{2d} \leq 1.2F_u$$

که در آن L_e فاصله از لبه آزاد تا مرکز پیچ و d قطر آن است.

$$P_u \leq \phi R_n$$

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

$$R_n = 1/2 L_c t F_u \leq 2/0 dt F_u \quad (10 - 2 - 10 - 13)$$

۲. برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که بار در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد):

$$R_n = 1/0 L_c t F_u \leq 2/4 dt F_u \quad (10 - 2 - 10 - 14)$$

در روابط فوق:

ϕ = ضریب تقلیل مقاومت مساوی ۰/۷۵

d = قطر اسمی پیچ

F_u = تنش نهایی فولاد ورق اتصال

t = ضخامت قطعه متصل شونده،

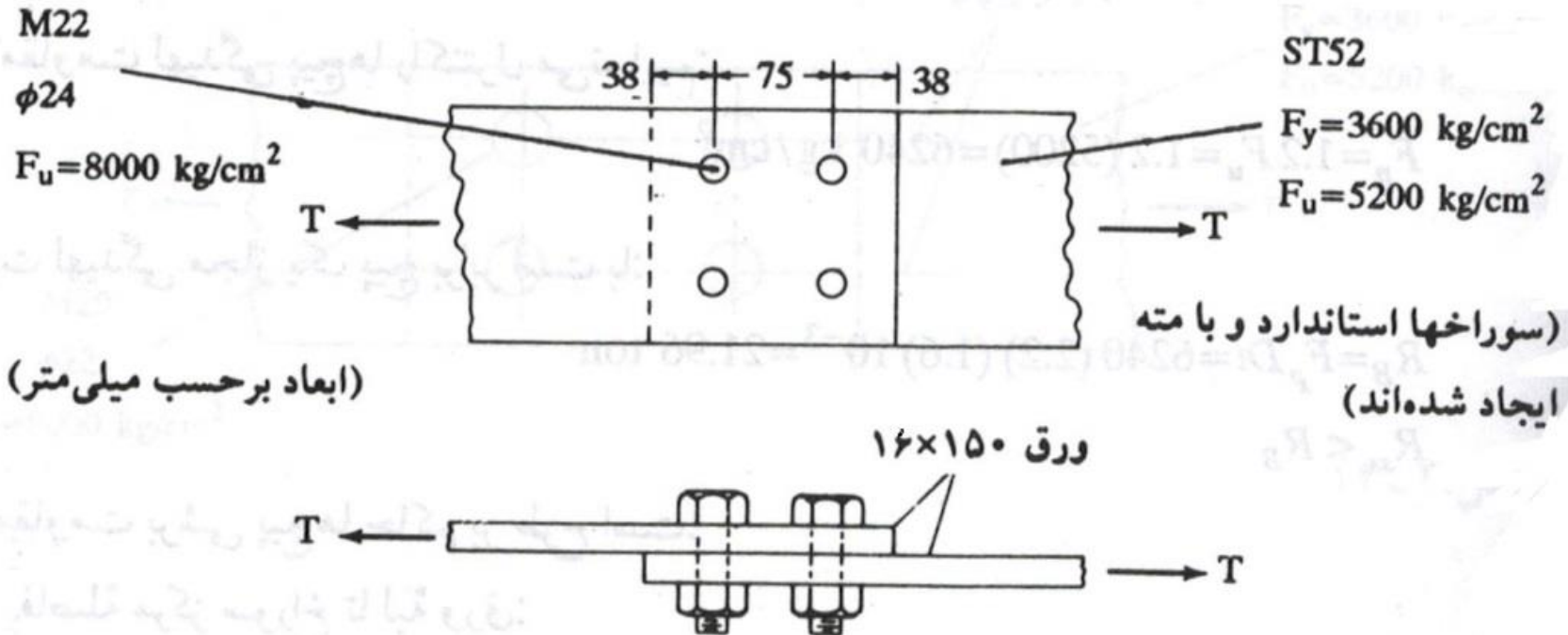
L_c = فاصله خالص، در امتداد نیرو، بین لبه سوراخها یا بین لبه سوراخ تا لبه آزاد

قطعه متصل شونده

طراحی اتصال با رفتار برشی

مثال:

مطلوب است تعیین ظرفیت کششی اتصال اتکایی نشان داده شده در شکل زیر در صورتی که الف) صفحه برش خارج از ناحیه دندانه شده قرار گیرد. ب) صفحه برش در داخل ناحیه دندانه شده باشد. پیچ ها از نوع 8.8 طبق استاندارد DIN با قطر M22 و ورق ها از جنس ST52 می باشند. سوراخ ها استاندارد هستند.



طراحی اتصال با رفتار برشی

حل با استفاده از روش ASD

۱- کنترل ظرفیت کششی ورقها

$$A_g = 15 \times 1.6 = 24 \text{ cm}^2$$

$$A_n = [15 - 2(2.2 + 0.2)]1.6 = 16.32 \text{ cm}^2$$

(مطابق آیین نامه) ورقهای اتصال کششی

ورقهای اتصال اعضای خرپاها، مهاربندها و یا اتصالات شکل دیگر، که تحت اثر نیروی کششی قرار می گیرند، باید مطابق با بند ۱۰ - ۱ - ۳ - ۲ طرح و محاسبه شوند و در آنها سطح مقطع مؤثر ملاک محاسبه می باشد، مشروط بر آنکه از نظر محاسباتی این سطح (سطح مقطع مؤثر) بزرگتر از ۸۵ درصد سطح مقطع کل به حساب نیاید.

$$A_e = A_n \leq 0.85 A_g \quad (10 - 1 - 3)$$

$$A_e = A_n = 16.32 \text{ cm}^2 \leq 0.85 A_g = 0.85 \times 24 = 20.4 \text{ cm}^2$$

طراحی اتصال با رفتار برشی

حل با استفاده از روش ASD

۱- کنترل ظرفیت کششی ورقها

$$f_t = \frac{P}{A_g} \leq 0.6F_y \rightarrow P_1 = 0.6 \times 3600 \times 24 = 51.84 \text{ ton}$$

$$f_t = \frac{P}{A_e} \leq 0.5F_u \rightarrow P_2 = 0.5 \times 5200 \times 16.32 = 42.43 \text{ ton}$$

۲- کنترل ظرفیت برشی پیچ ها (صفحه برش خارج ناحیه دندانه شده)

$$\frac{P}{nA_b} \leq F_V \rightarrow P_3 = nA_b \times F_V = 4 \times \left(\pi \frac{(2.2)^2}{4} \right) \times 0.28 \times 8000 = 34.05 \text{ ton}$$

۲- کنترل ظرفیت برشی پیچ ها (صفحه برش داخل ناحیه دندانه شده)

$$\frac{P}{nA_b} \leq F_V \rightarrow P_3 = nA_b \times F_V = 4 \times \left(\pi \frac{(2.2)^2}{4} \right) \times 0.2 \times 8000 = 24.32 \text{ ton}$$

طراحی اتصال با رفتار برشی

حل با استفاده از روش ASD

۱- کنترل تنش های لهیدگی در ورق ها و پیچ ها

$$\frac{P}{nd_b t} \leq F_p(Plate) \rightarrow P_4 = nd_b t \times 1.2F_u = 4 \times 2.2 \times 1.6 \times 1.2 \times 5200 = 87.86 \text{ ton}$$

$$\frac{P}{nd_b t} \leq F_p(Bolt) \rightarrow P_5 = nd_b t \times 1.2F_u = 4 \times 2.2 \times 1.6 \times 1.2 \times 8000 = 135.17 \text{ ton}$$

$$P = \min(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$$

الف) صفحه برش خارج ناحیه دندانه شده

$$= \min(51.84, 42.43, 34.05, 87.86, 135.17) = 34.05 \text{ ton}$$

$$P = \min(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$$

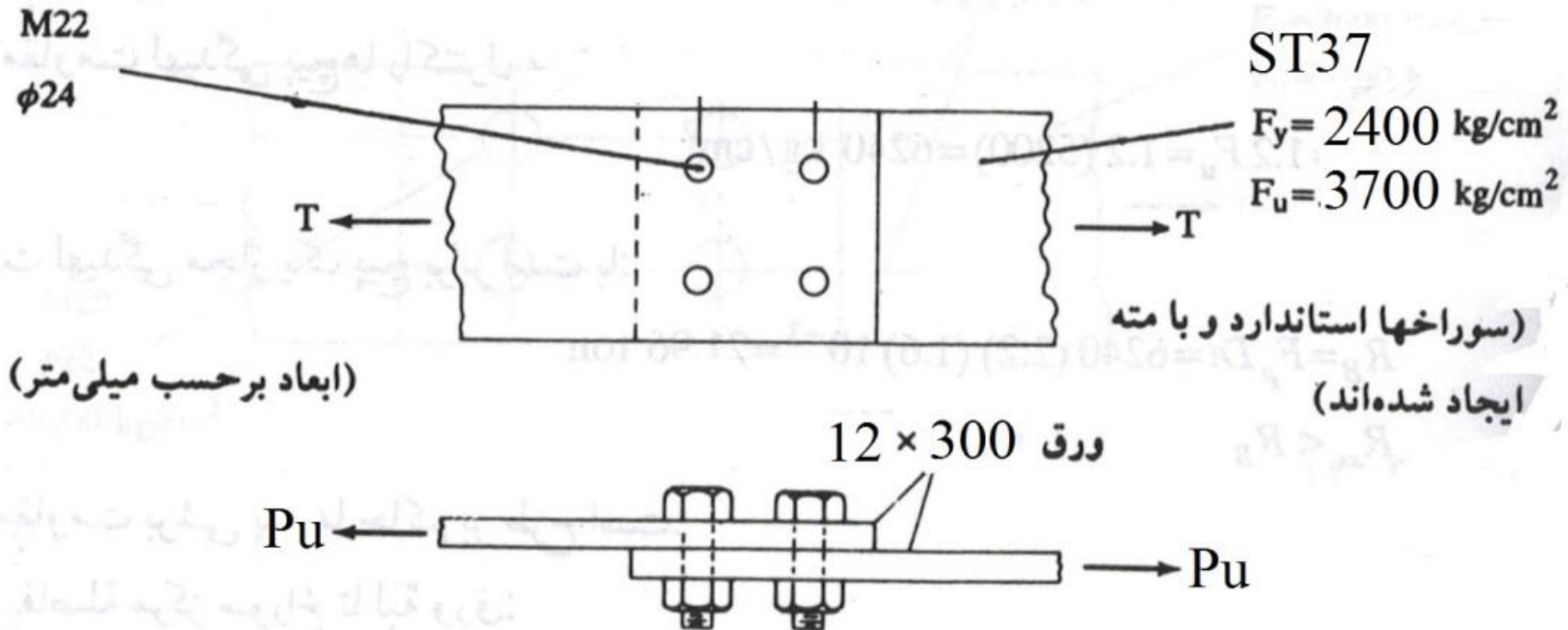
الف) صفحه برش داخل ناحیه دندانه شده

$$= \min(51.84, 42.43, 24.32, 87.86, 135.17) = 24.32 \text{ ton}$$

طراحی اتصال با رفتار برشی

مثال:

حداکثر نیروی ضریبدار Pu در اتصال اتکایی شکل زیر را محاسبه کنید. نوع پیچ A325 طبق استاندارد ASTM به قطر ۲۲ و با فرض اینکه سطح برش از قسمت دندانه دار نمیگذرد. ورق ها از جنس فولاد نرمه ST37 می باشند. (فاصله مرکز به مرکز پیچها ۷۵ mm می باشد)



۱- کنترل ظرفیت کششی ورقها

$$A_g = 30 \times 1.2 = 36 \text{ cm}^2$$

$$A_n = [30 - 2(2.2 + 0.2)]1.2 = 30.24 \text{ cm}^2$$

(مطابق آیین نامه) ورقهای اتصال کششی

ورقهای اتصال اعضای خرپاها، مهاربندها و یا اتصالات شکل دیگر، که تحت اثر نیروی کششی قرار می گیرند، باید مطابق با بند ۱۰ - ۱ - ۳ - ۲ طرح و محاسبه شوند و در آنها سطح مقطع مؤثر ملاک محاسبه می باشد، مشروط بر آنکه از نظر محاسباتی این سطح (سطح مقطع مؤثر) بزرگتر از ۸۵ درصد سطح مقطع کل به حساب نیاید.

$$A_e = A_n \leq 0.85 A_g \quad (10 - 1 - 3 - 3)$$

$$A_e = A_n = 30.24 \text{ cm}^2 \leq 0.85 A_g = 0.85 \times 36 = 30.6 \text{ cm}^2$$

طراحی اتصال با رفتار برشی

حل با استفاده از روش LRFD

۱- کنترل ظرفیت کششی ورقها

$$P_u \leq \phi_t P_n \rightarrow \begin{aligned} P_{n1} &= A_g F_y, \quad \phi_t = 0.9 \\ P_{n2} &= A_e F_u, \quad \phi_t = 0.75 \end{aligned}$$

$$P_{u1} = 0.9 \times 36 \times 2400 = 77.76 \text{ ton}$$

$$P_{u2} = 0.75 \times 30.24 \times 3700 = 83.92 \text{ ton}$$

۲- کنترل ظرفیت برشی پیچ ها (صفحه برش خارج ناحیه دندانه شده)

$$P_u \leq \phi_V R_{nV}$$

$$P_u \leq nA_b (\phi_V F_{nV}) \rightarrow P_{u3} = nA_b \times \phi_V F_V = nA_b \times \phi_V (0.5F_u)$$

$$= 4 \times \left(\pi \frac{(2.2)^2}{4} \right) \times 0.75 \times 0.5 \times 8000 = 45.6 \text{ ton}$$

طراحی اتصال با رفتار برشی

حل با استفاده از روش LRFD

۱- کنترل تنش های لهیدگی در ورق ها و پیچ ها

$$P_u \leq \phi_P R_n \quad R_n = 1.2L_c t F_u$$

$$P_u \leq 0.75[1.2 \times (7.5 - 2.4) \times 1.2 \times 3700] = 20.38 \text{ ton}$$

$$P_{u4} = 4 \times P_u = 81.52 \text{ ton}$$

$$P = \min(P_{u1}, P_{u2}, P_{u3}, P_{u4})$$

$$= \min(77.76, 83.92, 45.6, 81.52) = 45.6 \text{ ton}$$

صفحه برش خارج ناحیه دندانه شده

تعیین فواصل حداقل و حداکثر سوراخ ها

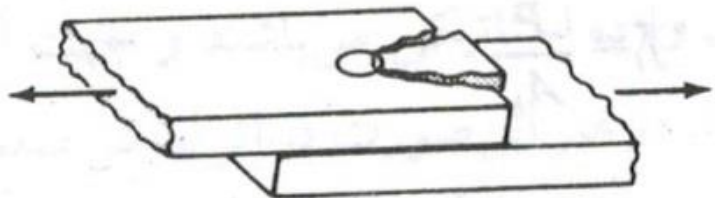
دلایل رعایت حداقل فواصل سوراخ ها

- ۱- جلوگیری از گسیختگی و یا پاره شدن قطعات فولادی در محل اتصال و لبه ها
- ۲- فراهم نمودن فضای کافی و مناسب برای آچار کشی و محکم کردن آسان مهره های پیچ

دلایل رعایت حداکثر فواصل سوراخ ها

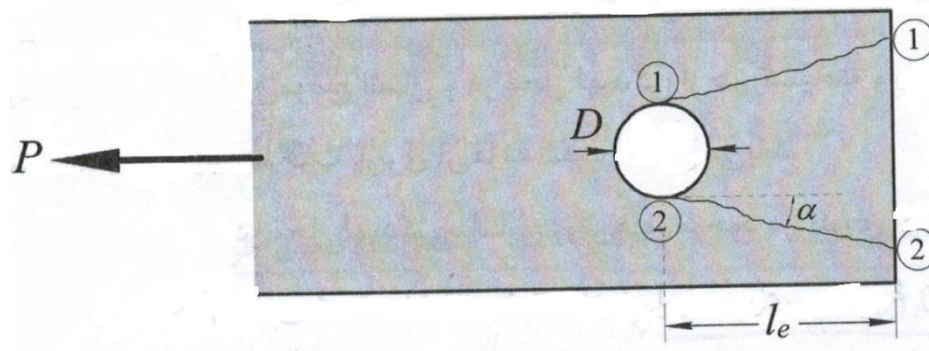
- ۱- با توجه به اینکه در محاسبات توزیع نیرو بین پیچ ها یکنوخت فرض شد، لازم است که برای قابل قبول بودن این فرض فواصل بین پیچ ها از حدود معینی تجاوز ننماید.
- ۲- برای جلوگیری از باز شدن درز بین قطعات اتصال و خطر زنگ زدگی
- ۳- برای جلوگیری از کمانش موضعی ورق هایی که تحت نیروهای فشاری قرار میگیرند.

تعیین فواصل حداقل و حداکثر سوراخ ها



گسیختگی برشی ورق

۱- کنترل گسیختگی ورق در اثر برش



$$P = [2t(L_e - \frac{D}{2})]F_V \rightarrow L_e = \frac{D}{2} + \frac{P}{2F_V t}$$

طبق آیین نامه

$$F_V = 0.25F_u$$

$$L_e = \frac{D}{2} + \frac{2P}{F_u t}$$

حداقل فواصل سوراخ‌ها

فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌های استاندارد یا سوراخ‌های بزرگ‌شده و یا سوراخ‌های لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیله اتصال کمتر باشد و همچنین محدودیت‌های ذیل تأمین شود:

$$S \geq \frac{2P}{F_u t} + \frac{d}{2}$$

(الف) در سوراخ‌های استاندارد:

که در آن P نیروی منتقل شده توسط وسیله اتصال به عضو مورد نظر، F_u حداقل مقاومت نهایی کششی قطعه، t ضخامت قطعه متصل‌شونده و d قطر اسمی وسیله اتصال است.

(ب) برای سوراخ‌های بزرگ و سوراخ‌های لوبیایی، مقدار به دست آمده از زیربند الف با مقدار C_1 مربوط از جدول ۱۰ - ۱ - ۱۰ - ۸ جمع می‌شود ولی فاصله خالص بین سوراخ‌ها نباید از قطر پیچ کمتر شود.

جدول ۱۰ - ۱ - ۱۰ - ۸ مقادیر C_1

سوراخ لوبیایی (mm)		سوراخ بزرگ‌شده (mm)
در امتداد موازی با خط نیرو		
لوبیایی بلند	لوبیایی کوتاه	در امتداد عمود بر خط نیرو
$1/5d - 2\text{mm}$	7mm	○
		۵mm

تعیین فواصل حداقل سوراخ ها از لبه

Le حداقل فاصله مرکز سوراخ های استاندارد تا لبه قطعه متصل شونده از رابطه زیر تعیین می شود

$$L_e \geq \text{Max} \left(\frac{2P}{F_u t} + \frac{d_b}{2}, L_{e1} \right)$$

مقادیر Le1 تا لبه در امتداد نیرو

لبه نوردشده ورق، نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک با اره	لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)	قطر اسمی پیچ یا پرچ
۲d	۲/۲۵d	d

برای سوراخ های بزرگ شده و لوبیایی فاصله مرکز به مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه که برای سوراخ استاندارد تعیین شده به اضافه مقدار C2 که در جدول زیر آورده شده است، کمتر شود

سوراخ لوبیایی (mm)			سوراخ بزرگ شده (mm)
موازی با لبه	عمود بر امتداد لبه		
	لوبیایی بلند	لوبیایی کوتاه	
○	۰/۷۵d	۵mm	۳mm

تعیین فواصل حداکثر سوراخ ها

طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان حداکثر فاصله از مرکز هر سوراخ تا نزدیکترین لبه قطعات در تماس برابر است با

$$L_{e(\max)} \geq \min(12t, 15 \text{ cm})$$

برای قطعات مرکب رنگ نشده که تحت اثر خوردگی و زنگ زدگی ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله حداکثر پیچ ها که دو ورق یا ورق و نیمرخ فولادی را متصل می کنند از رابطه زیر به دست می آید.

$$S_{(\max)} \geq \min(14t_1, 20 \text{ cm})$$

$$L_{e(\max)} \geq \min(8t_1, 12.5 \text{ cm})$$

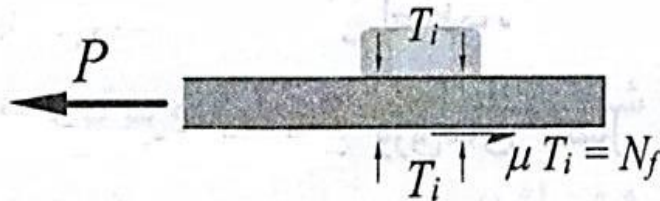
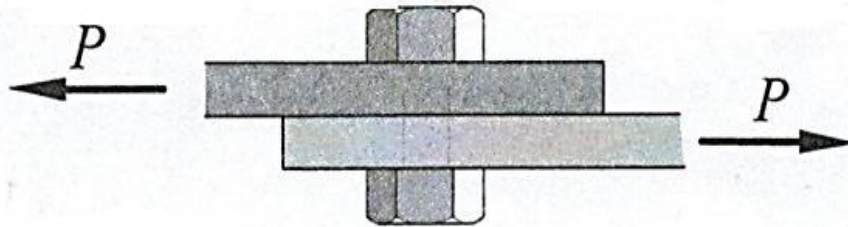
t: ضخامت قطعه متصل شونده

t1: ضخامت نازکترین قسمت متصل شونده

طراحی اتصال با رفتار برشی

اتصال اصطکاکی: در حالت اتصال اصطکاکی پیچ و مهره با آچارهای مخصوص اضافه بر حالت عادی پیچانده میشوند و در واقع این پیچاندن اضافی باعث ایجاد نیروی پیش تنیدگی در پیچ می شود. نیروی پیش تنیدگی حاصل شده توسط پیچ و مهره باعث ایجاد فشار بر ورق های اتصال می گردد که این نیروی فشاری باعث ایجاد نیروی اصطکاک بین ورقهای اتصال می شود.

نیروی اصطکاک ← $N_f = \mu T_i$ → نیروی پیش تنیدگی
ضریب اصطکاک



طراحی اتصال با رفتار برشی

اتصال اصطکاکی

ضریب اصطکاک \leftarrow $N_f = \mu T_i$ \rightarrow نیروی پیش تنیدگی

نیروی اصطکاک \leftarrow

$T_i \leq 0.8 F_y A_b \rightarrow$ مطابق آیین نامه DIN آلمان

$T_i = 0.55 F_u A_b \rightarrow$ مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران

$0.2 \leq \mu \leq 0.6 \xrightarrow{\text{معمولاً}} \mu = 0.3$

روش های ایجاد نیروی پیش تنیدگی

۱- استفاده از آچار های مدرج

۲- سفت کردن مجدد مهرها به مقدار معین پس از محکم شدن اولیه آنها

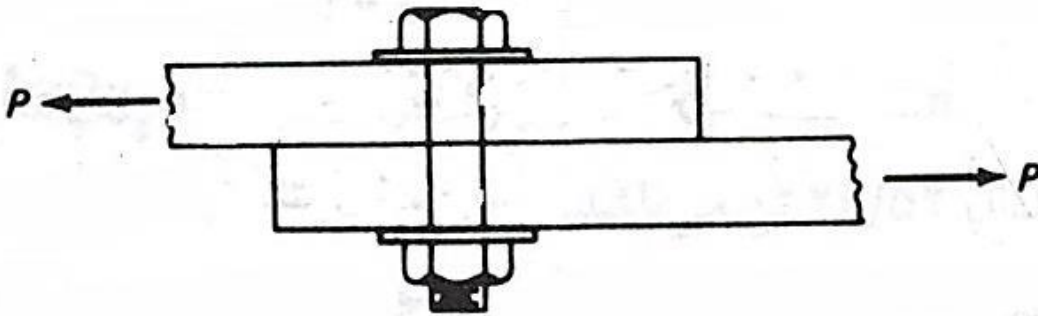
طراحی اتصال با رفتار برشی

مثال: در اتصال نشان داده شده در شکل زیر مطلوب است:

الف) محاسبه مقدار نیروی P که باعث لغزش می شود

ب) محاسبه تنش برشی اسمی در پیچ با استفاده از نیروی P

پیچ از جنس پر مقاومت با تنش نهایی F_u می باشد. ضریب اصطکاک را مساوی $0/3$ فرض کنید.



$$T_i = 0.55 F_u A_b$$

$$P = \mu T_i = 0.3 \times 0.55 F_u A_b = 0.17 F_u A_b$$

$$f_v = \frac{P}{A_b} = \frac{0.17 F_u A_b}{A_b} = 0.17 F_u$$

تنش برشی مجاز (F_v)					تنش کششی مجاز (F_t)	نوع وسیله اتصال
اتصال اتکایی ^(۵)	اتصال اصطکاکی ^(۴)			سوراخ استاندارد		
	سوراخ لوبیایی بلند		سوراخ بزرگ شده و لوبیایی کوتاه			
	بار در امتداد طولی	بار در امتداد عرضی				
$0.2F_u$	$0.09F_u$	$0.1F_u$	$0.12F_u$	$0.15F_u$	$0.38F_u$ (۳) و (۶)	پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندان‌شده می‌گذرد.
$0.28F_u$	$0.09F_u$	$0.1F_u$	$0.12F_u$	$0.15F_u$	$0.38F_u$ (۳) و (۶)	پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندان‌شده نمی‌گذرد.

در این جدول:

(۱) فقط بارگذاری استاتیکی،

(۲) قرار گرفتن دندان‌ها در سطح برش مجاز است

(۳) برای پیچ‌های A325، A490 و یا مشابه تحت اثر خستگی.

(۴) با ضریب اصطکاک 0.33 برای وضعیتی که سطوح تماس تمیز با فلز ناشی از عمل نورد کارخانه‌ای باشد.

(۵) وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از 1250 میلی‌متر تجاوز کند این تنش‌های مجاز را باید 20% کاهش داد.

(۶) F_u تنش نهایی مصالح پیچ و F_y تنش جاری‌شدن مصالح پرچ‌ها می‌باشد. به‌عنوان مثال F_u برای پیچ‌های معمولی A307

طبق استاندارد ASTM (یا ۴/۵ طبق استاندارد ISO) برابر (4000 kg/cm^2) ، برای پیچ A325 طبق استاندارد ASTM

(یا ۸/۸ طبق استاندارد ISO) با قطری مساوی و یا کمتر از 25 میلی‌متر مساوی (8000 kg/cm^2) و قطر بزرگتر از 25

میلی‌متر مساوی (7250 kg/cm^2) و برای پیچ A490 طبق استاندارد ASTM (یا ۱۰/۹ طبق استاندارد ISO) مساوی

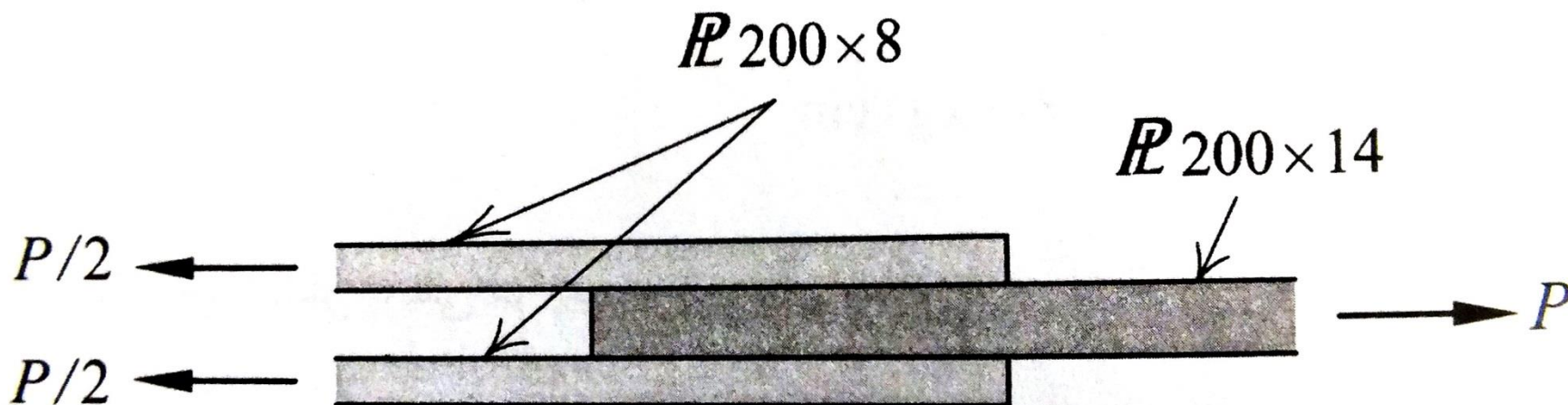
(10000 kg/cm^2) می‌باشد.

مثال: در اتصال اتکایی شکل زیر چنانچه از پیچهای 8.8 مطابق با استاندارد DIN آلمان و به قطر ۲۰ میلی متر استفاده شود و با فرض اینکه صفحه برش در داخل دندانه ها واقع است، مطلوب است:

الف) تعیین ظرفیت اتصال بر اساس مقاومت کششی ورق ها

ب) تعیین تعداد پیچ های مورد نیاز و فواصل آنها از یکدیگر و لبه ها

(تنش تسلیم ورق ها $F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}$ و تنش نهایی آنها $F_u = 4200 \frac{kg}{cm^2}$ می باشد. سوراخ ها از نوع استاندارد فرض شوند.)



کنترل کشش در ورق بالایی و ورق پایینی

$$A_g = 20 \times 0.8 = 16 \text{ cm}^2$$

$$A_n = [20 - 2(2 + 0.4)] \times 0.8 = 12.16 \text{ cm}^2 \quad \leftarrow \text{با فرض استفاده از دو ردیف پیچ}$$

$$A_e = A_n \leq 0.85 A_g \quad \leftarrow \text{با توجه به آیین نامه برای ورق های اتصال}$$

$$A_e = A_n = 12.16 \text{ cm}^2 \leq 0.85 A_g = 0.85 \times 16 = 13.6 \text{ cm}^2$$

$$\frac{P/2}{A_g} = \frac{P}{2 \times 16} \leq 0.6 F_y \rightarrow P \leq 46080 \text{ kg}$$

$$\frac{P/2}{A_e} = \frac{P}{2 \times 12.16} \leq 0.5 F_u \rightarrow P \leq 51072 \text{ kg}$$

کنترل کشش در ورق میانی

$$A_g = 20 \times 1.4 = 28 \text{ cm}^2$$

$$A_n = [20 - 2(2 + 0.4)] \times 1.4 = 21.2 \text{ cm}^2 \quad \leftarrow \text{با فرض استفاده از دو ردیف پیچ}$$

$$A_e = A_n \leq 0.85 A_g \quad \leftarrow \text{با توجه به آیین نامه برای ورق های اتصال}$$

$$A_e = A_n = 21.2 \text{ cm}^2 \leq 0.85 A_g = 0.85 \times 28 = 23.8 \text{ cm}^2$$

$$\frac{P}{A_g} = \frac{P}{28} \leq 0.6 F_y \rightarrow P \leq 40320 \text{ kg}$$

$$\frac{P}{A_e} = \frac{P}{21.2} \leq 0.5 F_u \rightarrow P \leq 44688 \text{ kg}$$

ب: تعیین تعداد پیچ های لازم

$$f_v = \frac{P}{2nA_b} \leq F_v$$

$$\frac{P}{2nA_b} = \frac{40320}{2 \times n \times \left(\frac{\pi}{4} (2)^2\right)} \leq F_v = 0.2F_u = 1600 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow n = 4$$

کنترل تنش لهیدگی ورق بالایی و ورق پایینی

$$f_P = \frac{P/2}{ntd_b} = \frac{40320/2}{4 \times 2 \times 0.8} = 3150 \text{ kg/cm}^2 \leq F_P = 1.2F_u = 5040 \text{ kg/cm}^2$$

کنترل تنش لهیدگی ورق میانی

$$f_P = \frac{P}{ntd_b} = \frac{40320}{4 \times 2 \times 1.4} = 3600 \text{ kg/cm}^2 \leq F_P = 1.2F_u = 5040 \text{ kg/cm}^2$$

کنترل فواصل پیچ ها

$$S \geq \text{Max}(3d_b, \frac{2P_1}{tF_u} + \frac{d_b}{2})$$

← حداقل فواصل پیچ ها از یکدیگر

$$S \geq \text{Max}(3 \times 2, \frac{2(40320/4)}{4200 \times 1.4} + \frac{2}{2}) = 6 \text{ cm}$$

$$L_e \geq \text{Max}(\frac{2P_1}{tF_u} + \frac{d_b}{2}, L_{e1})$$

← حداقل فواصل پیچ ها از لبه

$$L_e \geq \text{Max}(\frac{2(40320/4)}{4200 \times 1.4} + 1, 4.5) = 4.5 \text{ cm}$$

کنترل فواصل پیچ ها

$$S_{Max} \leq \min(14t_1, 20)$$

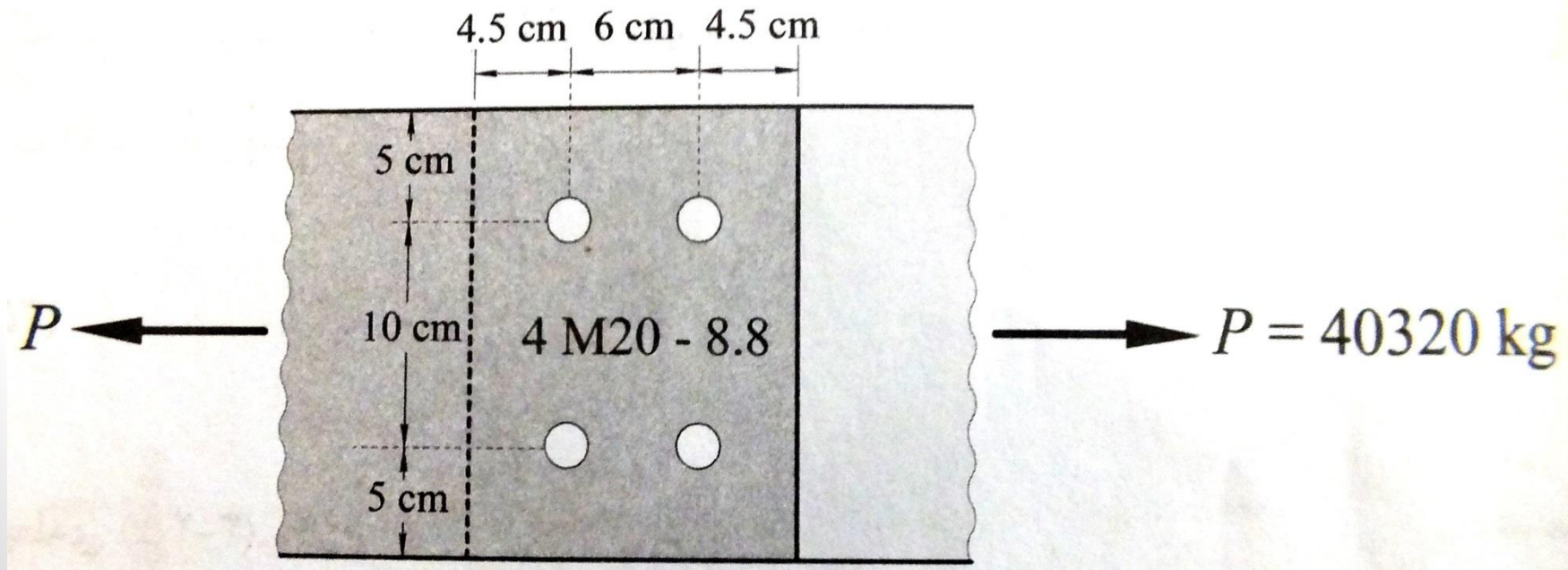
$$S_{Max} \leq \min(14 \times 0.8, 20) = 11.2 \text{ cm}$$

← حداکثر فاصله بین پیچ ها از یکدیگر

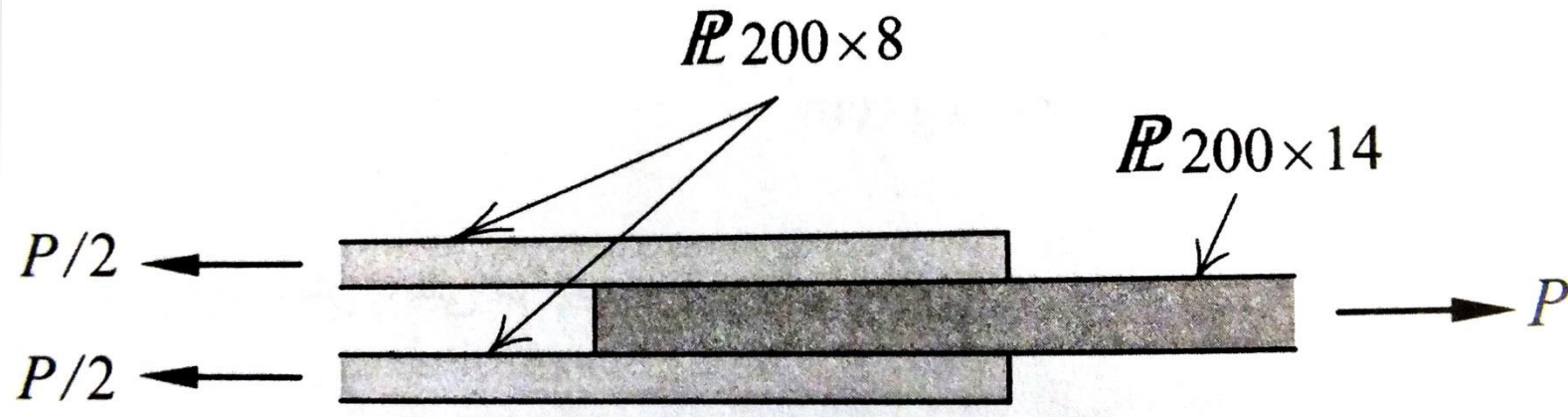
$$L_{e(Max)} \leq \text{Min}(8t_1, 12.5)$$

$$L_{e(Max)} \leq \text{Min}(8 \times 0.8, 12.5) = 6.4 \text{ cm}$$

← حداکثر فواصل پیچ ها از لبه



مثال: مثال قبل را برای حالتی که اتصال دارای رفتار اصطکاکی باشد، مجدداً حل کنید.



ظرفیت اتصال بر اساس مقاومت کششی ورق ها در این حالت نیز برابر ۴۰۳۲۰ می باشد.

تعیین تعداد پیچ های لازم

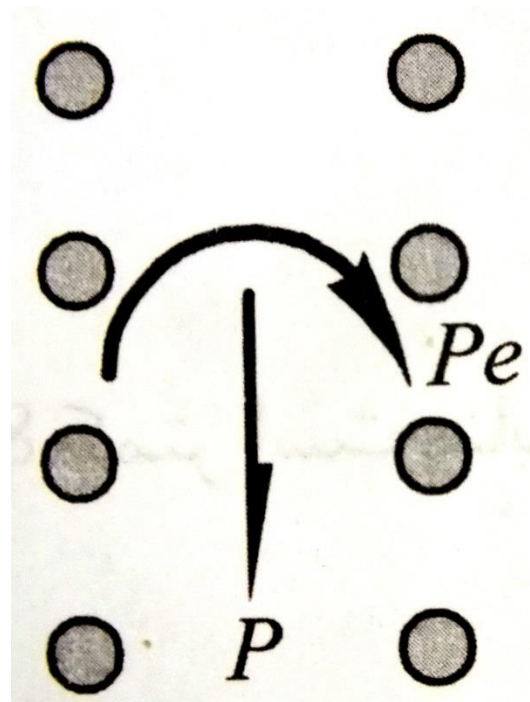
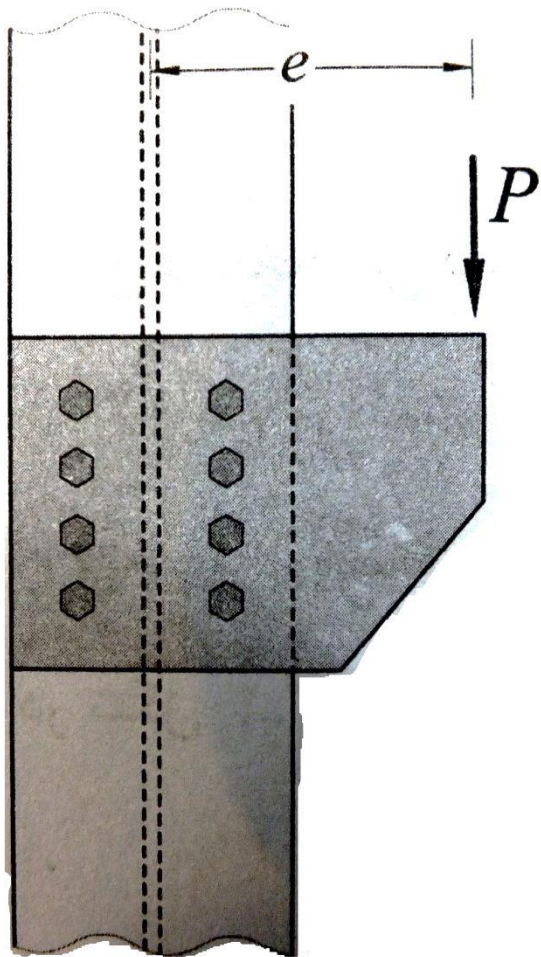
$$f_v = \frac{P}{2nA_b} \leq F_v$$

$$\frac{P}{2nA_b} = \frac{40320}{2 \times n \times \left(\frac{\pi}{4} (2)^2\right)} \leq F_v = 0.15 F_u = 1200 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow n \geq 5.35$$

$$n = 6$$

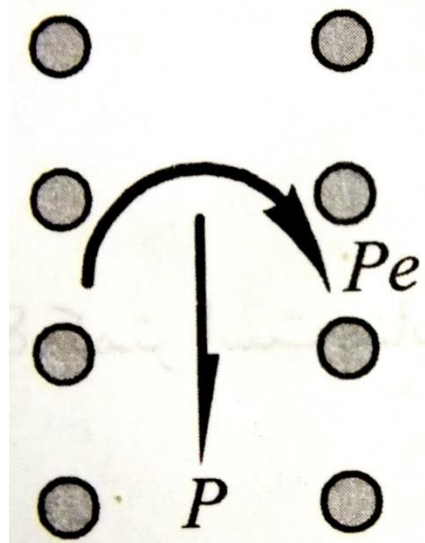
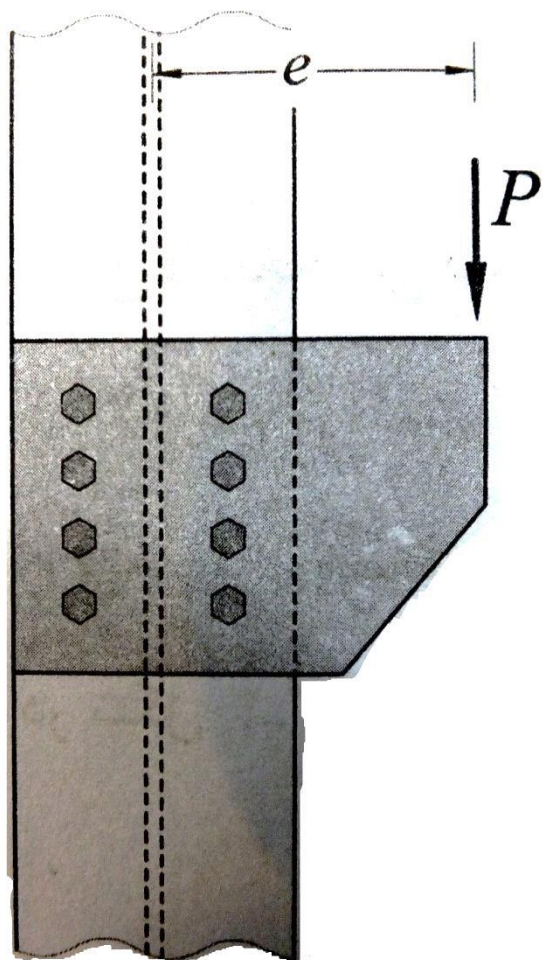
اتصال پیچی تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی

چنانچه خط اثر نیروی اعمالی از مرکز هندسی مجموعه پیچ عبور نکند، اتصال پیچی علاوه بر نیروی برشی تحت اثر لنگر پیچشی نیز قرار دارد



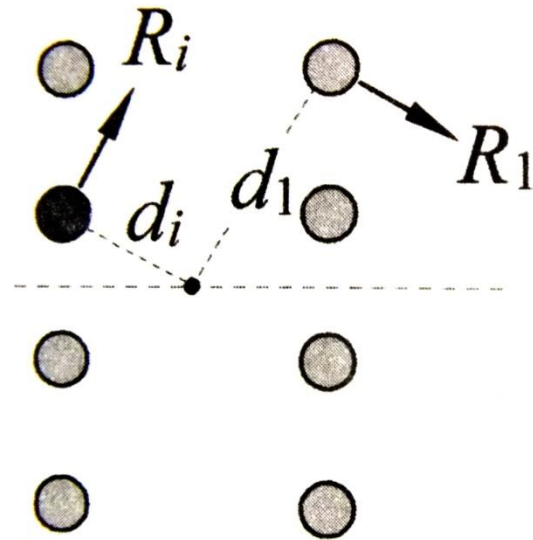
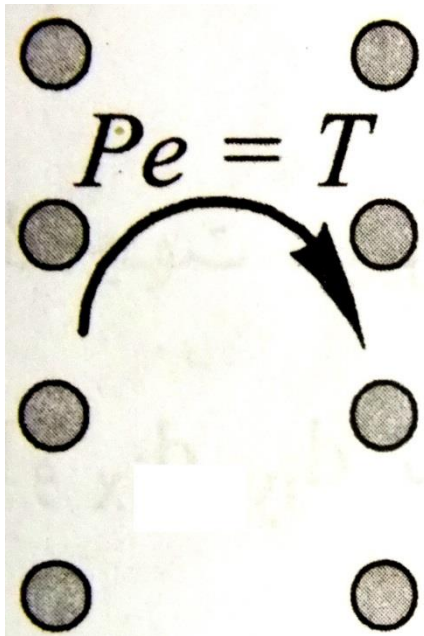
اتصال پیچی تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی

چنانچه خط اثر نیروی اعمالی از مرکز هندسی مجموعه پیچ عبور نکند، اتصال پیچی علاوه بر نیروی برشی تحت اثر لنگر پیچشی نیز قرار دارد



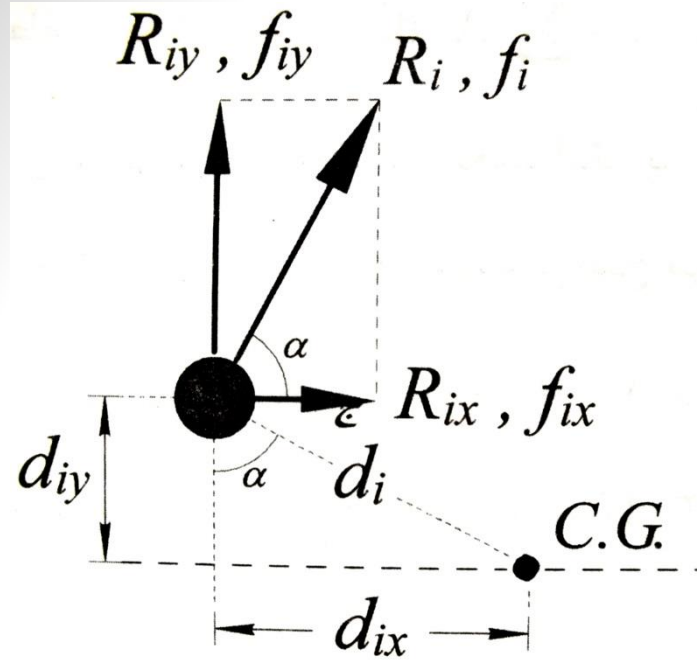
اتصال پیچی تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی

نیروی برشی P تنش برشی یکسانی در کلیه پیچ ها ایجاد می کند. اما برای محاسبه تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی فرض می شود که تنش برشی در هر پیچ متناسب با فاصله آن از مرکز سطح پیچ ها می باشد.



$$\tau = \frac{Tr}{j}$$

$$\frac{f_1}{d_1} = \frac{f_2}{d_2} = \frac{f_i}{d_i}$$

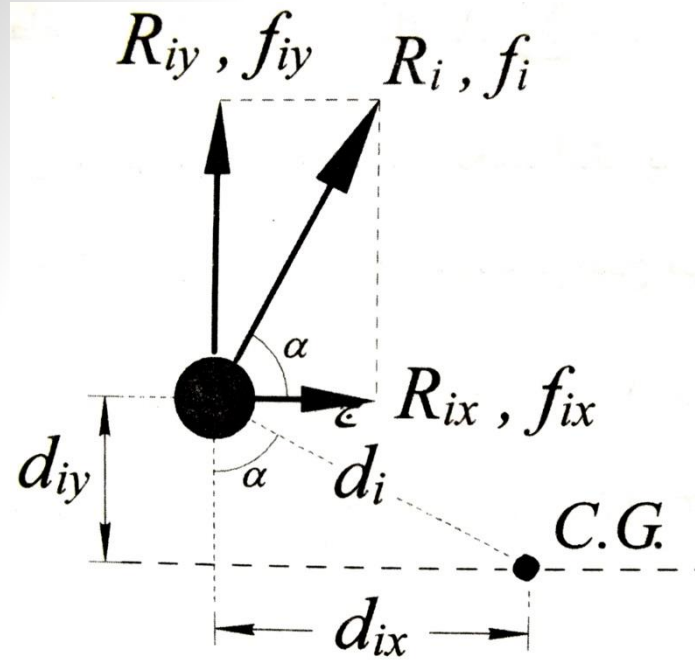


$$R_i = f_i A_i$$

$$T = \sum R_i d_i$$

$$T = \sum f_i A_i d_i = \sum \frac{f_1}{d_1} A_i (d_i)^2 = \frac{f_1}{d_1} \sum A_i (d_i)^2$$

$$f_1 = \frac{T d_1}{\sum A_i (d_i)^2} \quad \rightarrow \quad f_i = \frac{T d_i}{\sum A_i (d_i)^2}$$



$$f_i = \frac{Td_i}{\sum A_i(d_i)^2}$$

$$d_i^2 = d_{ix}^2 + d_{iy}^2$$

$$\cos \alpha = \frac{d_{iy}}{d_i} = \frac{f_{ix}}{f_i} \rightarrow f_{ix} = \frac{f_i d_{iy}}{d_i}$$

$$\sin \alpha = \frac{d_{ix}}{d_i} = \frac{f_{iy}}{f_i} \rightarrow f_{iy} = \frac{f_i d_{ix}}{d_i}$$

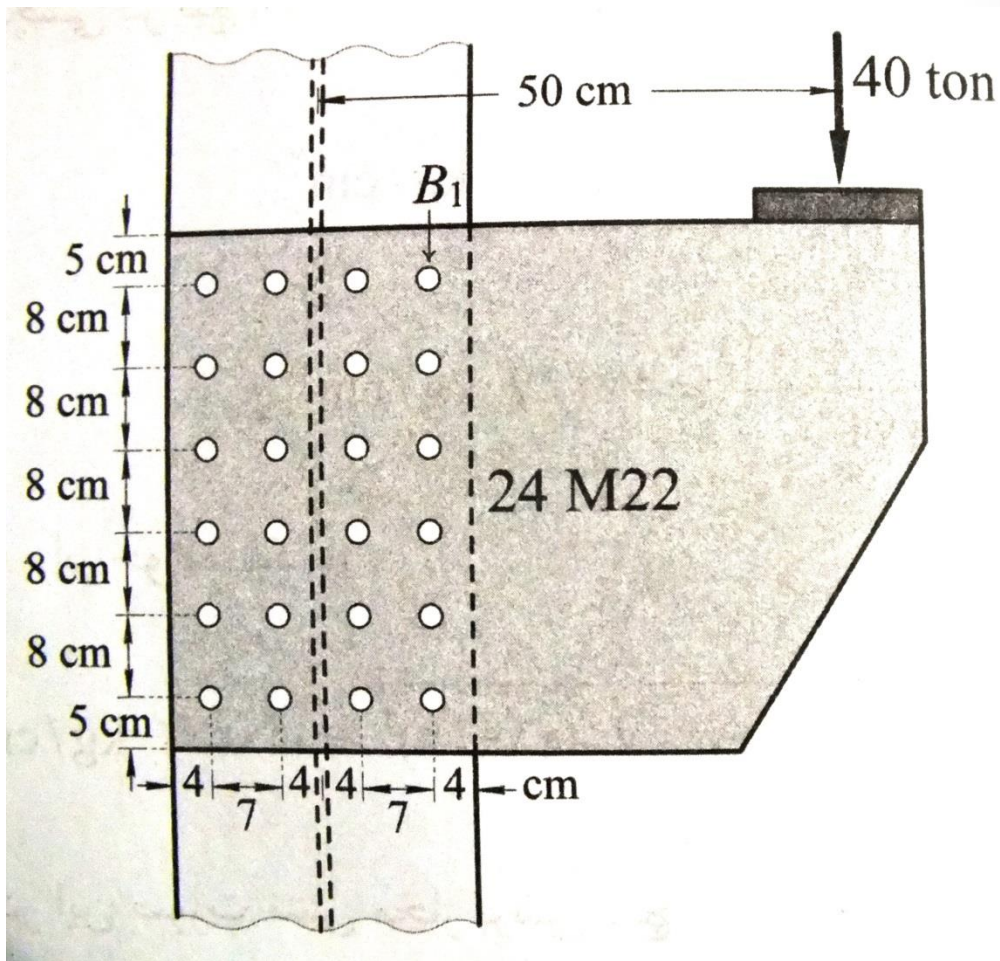
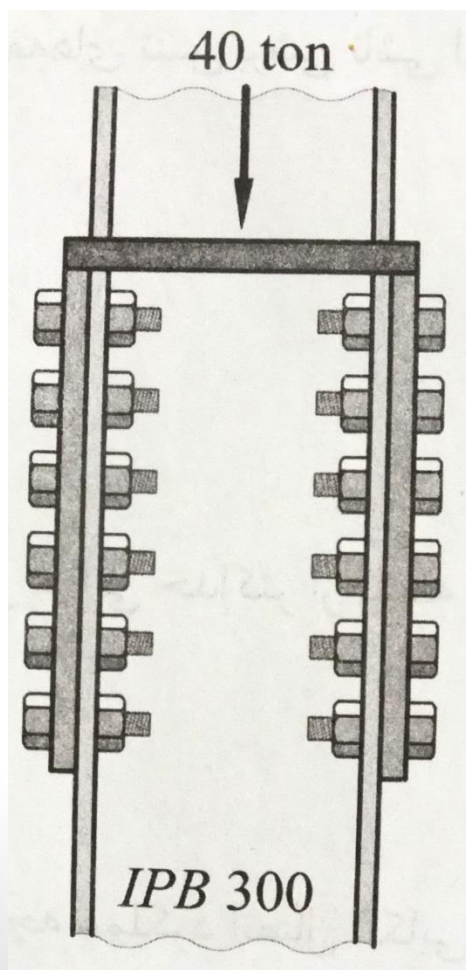
$$f_{ix} = \frac{Td_{iy}}{\sum A_i(d_{ix}^2 + d_{iy}^2)}$$

$$f_{iy} = \frac{Td_{ix}}{\sum A_i(d_{ix}^2 + d_{iy}^2)}$$

$$f_r = \sqrt{f_{ix}^2 + (f_{iy} + f_{sy})^2}$$

اتصال پیچی تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی

مثال: در اتصال نشان داده شده در شکل زیر نیروی ستون ها بال به لچکی ورق دو توسط $P = 40 \text{ ton}$ IPB300 منتقل می شود. حداکثر تنش برشی در پیچ های اتصال را با فرض عملکرد اتکایی و اصطکاکی تعیین کرده و با تنش های مجاز مربوطه مقایسه نمایید. پیچ ها از نوع 10.9 مطابق استاندارد DIN آلمان و با قطر ۲۲ میلی متر می باشند. سوراخ ها استاندارد هستند. سطح برش از دندانه ها عبور می کند.



$$P = 40 \div 2 = 20 \text{ ton} \quad \rightarrow \quad T = 20 \times 50 = 1000 \text{ ton.cm}$$

$$A_i = \frac{\pi}{4} (2.2)^2 = 3.8 \text{ cm}^2$$

$$j = \sum A_i (d_{ix}^2 + d_{iy}^2)$$

$$= 3.8 [12 \times 4^2 + 12 \times 11^2 + 8(20^2 + 12^2 + 4^2)] = 23271.2 \text{ cm}^4$$

پیچ B1 در گوشه بالا سمت راست بیشترین تنش برشی را تجربه میکند. چون در این پیچ مولفه قائم تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی T هم راستا با مولف تنش برشی ناشی از نیروی P بوده و هر دو به سمت پایین هستند

$$f_{ix} = \frac{Td_{iy}}{\sum A_i (d_{ix}^2 + d_{iy}^2)} = \frac{1000 \times 1000 \times 20}{23271.1} = 859.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{iy} = \frac{Td_{ix}}{\sum A_i (d_{ix}^2 + d_{iy}^2)} = \frac{1000 \times 1000 \times 11}{23271.2} = 472.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{sy} = \frac{P}{nA_b} = \frac{20000}{24 \times 3.8} = 219.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{f_{ix}^2 + (f_{iy} + f_{sy})^2} = \sqrt{(859.4)^2 + (472.7 + 219.3)^2} = 1103.4 \text{ kg/cm}^2$$

چنانچه عملکرد اتصال اتکایی باشد.

$$f_r = 1103.4 \text{ kg/cm}^2 \leq 0.2F_u = 2000 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow ok$$

چنانچه عملکرد اتصال اصطکاکی باشد.

$$f_r = 1103.4 \text{ kg/cm}^2 \leq 0.15F_u = 1500 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow ok$$