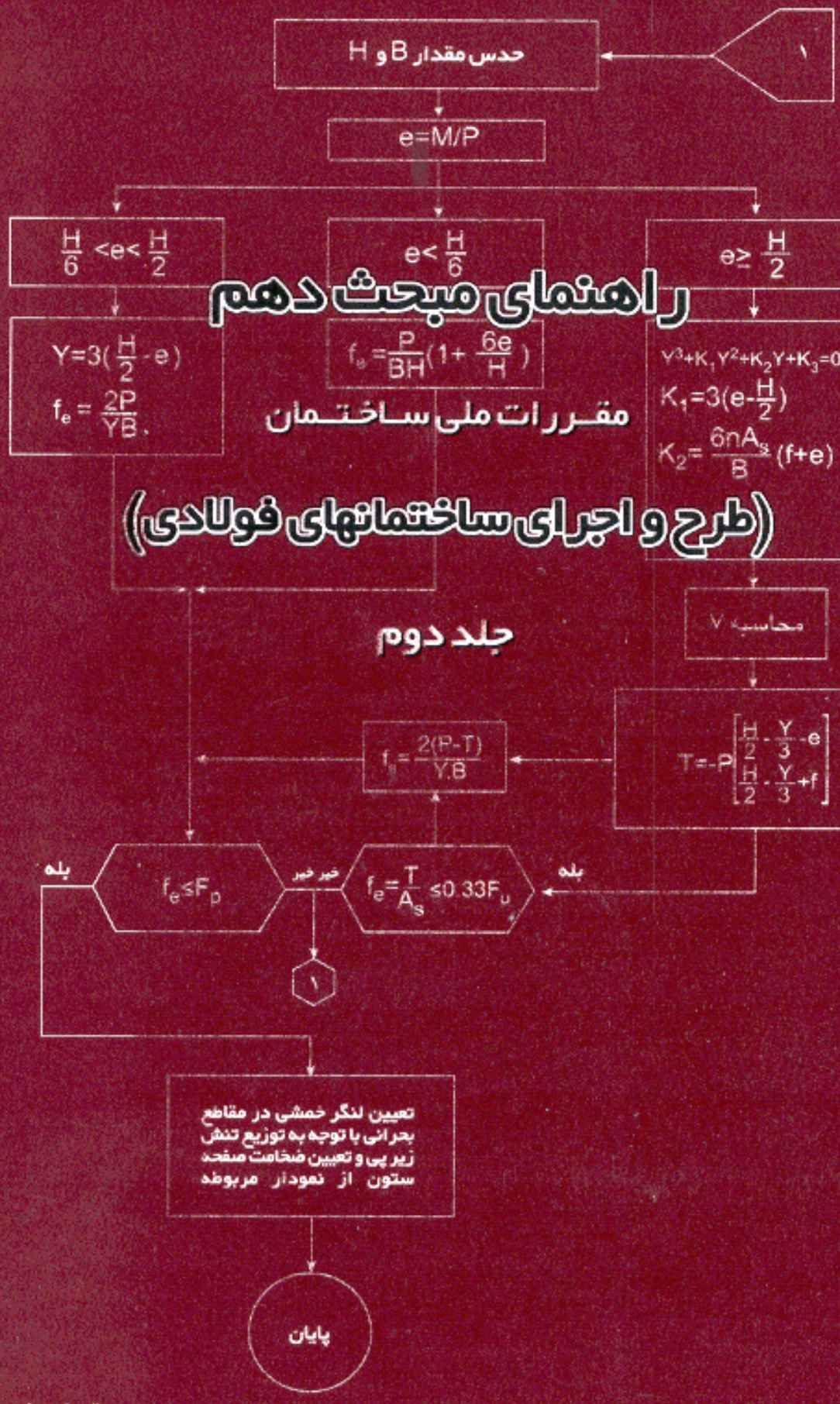
وزارت مسکن و شهرسازی
معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان



راهنمای مبحث دهم

مقررات ملی ساختمان

(طرح و اجرای ساختمانهای فولادی)

جلد دوم

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان

وزارت مسکن و شهر سازی
معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان

راهنمای مبحث دهم

مقررات ملی ساختمان

(طرح و اجرای ساختمانهای فولادی)

جلد دوم

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان

راهنمای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمانهای فولادی) / دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.— تهران: مدیریت، ۱۳۷۸.
۲ ج.: مصور، جدول.
ISBN 964-6561-05-5 (ج. ۱) ۷۰۰۰۰ ریال - ISBN
964-6561-04-7 (ج. ۲) ۷۰۰۰ ریال
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
ج. ۱ چ پ چهارم.
ج. ۲ چاپ سوم.
۱.ساختمان سازی -- قوانین و مقررات -- ایران. ۲.سازه‌های فولادی. الف.ایران. وزارت مسکن و شهرسازی. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.

۳۴۳/۵۵۰۷۸۶۹۰۲۶۳ KMH۳۴۰۲/ ر۲

کتابخانه‌ملی‌ایران ۷۸-۲۵۰۷۸م

راهنمای مبحث ۱۰ : طرح و اجرای ساختمانهای فولادی (جلد دوم)

- **تهیه کننده:** دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان
- **ناشر** : انتشارات مدیریت
- **نوبت چاپ** : سوم
- **تاریخ چاپ** : ۱۳۷۸
- **شمارگان** : ۵۰۰۰ جلد
- **چاپ و صحافی:** چاپخانه دانشگاه الزهرا

حق چاپ برای تهیه کننده محفوظ است

راهنمای مبحث دهم

(طرح و اجرای ساختمانهای فولادی)

از مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران

تدوین: مهندس شاپور طاحونی

بسمه تعالی

«مقدمه»

چند سال پس از گذشت آغاز به کار تدوین مقررات ملی ساختمان جای بسی خوشوقتی است که این مقررات به عنوان ضوابط حداقل برای طراحی، محاسبه، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری، به تدریج به جایگاه واقعی خود در عرصه ساخت وساز کشور نزدیک می‌شود و امید است با انتشار مباحث باقیمانده آن در آینده نزدیک و بازنگری مباحث منتشر شده، مجموعه کامل مقررات ملی ساختمان در اختیار دست‌اندرکاران ساخت و ساز کشور قرار گیرد و این صنعت عمده بیش از پیش در حیطه قانونمندی و نظم قرار گیرد.

از آن جا که مباحث «مقررات ملی ساختمان» بر حسب موضوع خود به اجمال و اختصار تدوین می‌شود، وجود مجموعه‌های شرح و تفسیر و راهنما برای تشریح نکات اساسی آن به منظور بهره‌وری مناسب و رعایت کامل ضوابط ارائه شده، ضروری است و دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان با احساس چنین نیازی، انتشار راهنماهای مباحث بیست گانه مقررات ملی ساختمان را در دستور کار خود قرار داده و با توجه به اهمیت موضوع، درباره طراحی و اجرای ساختمانهای فولادی که مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان را تشکیل می‌دهد، به انتشار راهنماهای این مبحث اولویت داده است و تاکنون دو مجموعه «راهنمای مبحث دهم جلد اول» و«راهنمای اتصالات در ساختمانهای فولادی» را منتشر کرده است و اینک جلد دوم راهنمای مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان «طرح و اجرای ساختمانهای فولادی» به جامعه مهندسی کشور عرضه می‌دارد.

لازم به یادآوری است: «راهنماها» در زمره مدارک لازم‌الاجرا نیستند و توصیه‌ها و

پیشنهادهای ارائه شده در این مدارک صرفاً برای راهنمایی خواننده و سهولت در برآورده ساختن مقررات لازم‌الاجرا تدوین می‌شود .

راهنمای حاضر شامل یازده فصل می‌باشد که در هرفصل مثالهایی با استفاده از نمودارهای طراحی ارائه شده است.

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان با اذعان به این که هیچ کاری بویژه کاری که برای نخستین بار به انجام می‌رسد خالی ازنقص نیست صرفاً از این نظر که می‌توان این مجموعه را با برخورداری از نظر یات استفاده کنندگان کامل کرد به انتشار آن مبادرت می‌ورزد و از کلیه صاحبنظران، استادان و مطالعه کنندگان محترم تقاضا دارد هرگونه پیشنهاد خود را به این دفتر ارسال نمایند.

درپایان فرصت را مغتنم شمرده از همه کسانی که تاکنون به نحوی در ترویج دانش فنی و وضع مقررات ساختمانی در کشور کوشش نموده‌اند خاصه جناب آقای مهندس شاپور طاحونی که در تهیه و تدوین این مجموعه اهتمام ورزیده‌اند سپاسگزاری نموده، توفیق همگان را از خداوند بزرگ مسألت می نماید.

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان

فهرست مطالب

فصل اول. مقدمه ۹

فصل دوم. اعضای خمشی ۱۳

تعیین محدودیتهای پهنای آزاد به‌ضخامت در عناصر فشاری تیرها ۱۴

تعیین تنش مجاز خمشی ۲۰

تنش مجاز برشی در تیرها ۲۷

فصل سوم. تیرورقها ۲۹

طراحی تیرورقها برای خمش ۳۱

طراحی تیرورقها برای برش ۳۲

طراحی سخت‌کننده‌های عرضی ۳۳

طراحی سخت‌کننده‌های فشاری ۳۴

فصل چهارم. اعضای کششی ۴۳

سطح مقطع کل و سطح مقطع خالص ۴۶

تعیین مقاومت مجاز اعضای کششی ۴۹

فصل پنجم. تیرهای مختلط بتنی و فولادی ۵۳

طرح تیر مختلط فولادی و بتنی غیرمحاط در بتن ۵۹

طرح تیر مختلط فولادی و بتنی محاط شده در بتن ۶۰

طراحی برشگیرها ۶۱

فصل ششم. ستونهای تحت اثر بار محوری ۶۳
تعیین محدودیتهای پهنای آزاد به‌ضخامت در عناصر فشاری ستونها ۶۴
طراحی اعضای فشاری ۶۶
تعیین ضریب طول مؤثر ۶۷

فصل هفتم. ستونهای تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی ۷۳
طراحی اعضای تحت بار محوری فشاری و لنگر خمشی ۷۵
طراحی اعضای تحت بار محوری کششی و لنگر خمشی ۷۷

فصل هشتم. ستونهای مشبک (با بستهای چپ و راست و بستهای افقی) ۷۹
طراحی ستونها با بستهای چپ و راست ۸۱
طراحی ستونها با بستهای موازی ۸۵

فصل نهم. وسایل اتصال شامل جوش، پیچ و پرچ ۸۹
طراحی اتصالات جوشی ۹۲
طراحی اتصالات پیچی ۹۶

فصل دهم. اتصالات ۱۰۵
اتصال ساده با نبشی جان (جوشی) ۱۱۰
اتصال ساده با نبشی نشیمن ۱۱۴
اتصال ساده با نشیمن تقویت‌شده ۱۱۶
اتصال صلب تیر به‌ستون ۱۱۸

فصل یازدهم. صفحات زیرستون ۱۲۵
اتصال ساده ستون به‌کف ستون (پای مفصلی) ۱۲۷
اتصال صلب پای ستون ۱۳۱

پیوست ۱۳۵
جداول ۱۳۵
برگه‌های طراحی ۱۴۳

فصل ۱

مقدمه

مقدمه

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان به بیان ضوابط طراحی و اجرای ساختمانهای فولادی اختصاص دارد. مجموعه فوق در جایگاه مقررات طراحی قرار می‌گیرد و براین اساس امکان بیان مطالب به‌طورکامل و دقیق در آن نیست. معمولاً درکنار مقررات ملی، آیین‌نامه‌ها و استانداردها، کتابهایی برای سهولت درک مفاهیم و اصول مطرح شده در آنها باعنوان راهنما یا مدارک تشریحی تدوین می‌شوند. مجموعه حاضر تحت عنوان راهنمای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ارائه می‌شود. این راهنما برای بسط مفاهیم و اصول مبحث دهم و ارائه راهنمایی در رعایت ضوابط آن تدوین شده است و هدف از ارائه آن ایجاد سهولت در استفاده از ضوابط مقرر می‌باشد. این کار به کمک ابزار زیر انجام شده است:

۱ـ تصاویر گویا

۲ـ نمودارهای طراحی

۳ـ جداول طراحی

۴ـ مثالهای حل‌شده

۵ـ فهرستهای بازبینی(چک‌لیستها) محاسباتی و برگهای طراحی

موارد فوق نه‌تنها کمک به استفاده آسان از مبحث دهم است، بلکه باعث می‌شود که نکات مبهم طراحی به حداقل برسد.

دراین راهنما روش و مراحل کار طراحی برای هربخش از ساختمان فولادی براساس ضوابط مطرح در مبحث دهم با استفاده از نمودارهای طراحی بیان شده است. این نمودارها با نمایش مراحل کار باعث بهبود بیان اصول طراحی است. در ادامه و در جهت تکمیل کار مثالهایی برای درک بهتر آمده است. در طرح این مثالها از سیستم آحاد متریک و نیمرخهای متداول در ایران استفاده شده است. در انتها نتایج برخی از روابط معمول درکار طراحی به‌صورت جدول درج شده و مجموعه‌ای هم به‌نام برگهای طراحی برای افزایش سرعت و کیفیت کار طراحی تهیه شده است.

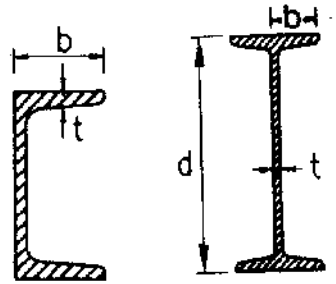
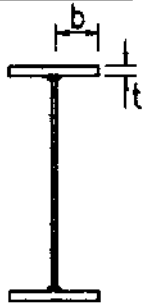
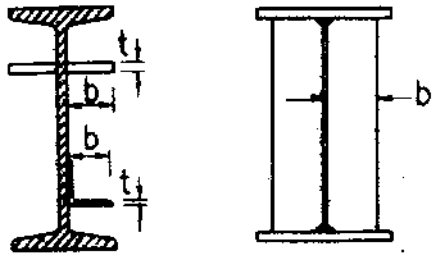
امید است که این راهنما گامی هرچند کوچک، در راه بهبود کیفیت صنعت ساختمان در کشور باشد.

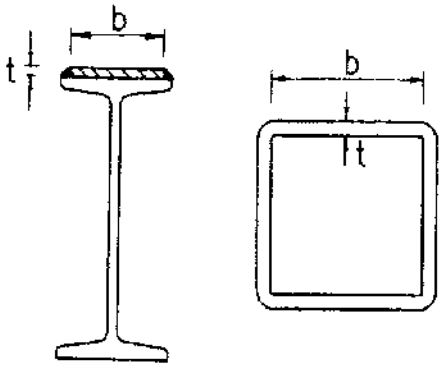
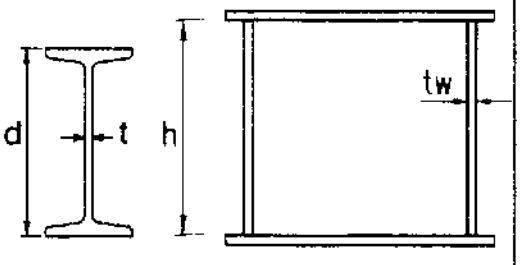
شاپور طاحونی

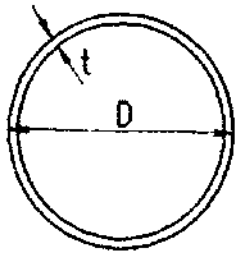
فصل ۲

اعضای خمشی

• تعیین محدودیتهای پهنای آزاد به‌ضخامت در عناصر فشاری تیرها:

عضو تحت تنش		پهنا	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
توضیح	شکل	به‌ضخامت	مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
بالهای تیر نوردشده I و ناودانی در خمش		b/t	$\frac{545}{\sqrt{Fy}}$	$\frac{795}{\sqrt{Fy}}$
بالهای تیر مرکب I (با اتصال جوش) در خمش		b/t	$\frac{545}{\sqrt{Fy}}$	$\frac{795}{\sqrt{Fy/K_c^{\bullet}}}$
تسمه‌ها یا نبشیها که به‌طور برجسته بر تیر قرار می‌گیرند. قطعات تقویتی در تیرهای مرکب.		b/t	کاربرد ندارد	$\frac{795}{\sqrt{Fy}}$

عضو تحت تنش		پهنا	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
توضیح	شکل	به‌ضخامت	مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
ورقهای تقویتی روی بال‌تیر بادوخط اتصال در دولبهٔ موازی، بالها مقطع قوطی شکل با ضخامت ثابت جدار در خمش		b/t	$\frac{1590}{\sqrt{Fy}}$	$\frac{1995}{\sqrt{Fy}}$
جان قطعات تحت‌اثر فشار حاصل‌از خمش		$\frac{d}{t}$	$\frac{5365}{\sqrt{Fy}}$	
		$\frac{h}{t_w}$		$\frac{6370^*}{\sqrt{F_b}}$

عضو تحت خمش		پهنا	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
توضیح	شکل	به‌ضخامت	مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
مقاطع دایره‌ای توخالی تحت خمش		$\frac{D}{t}$	$\frac{232\times10^3}{Fy}$	

در این جدول:

Fy= حد جاری شدن فولاد مصرفی $\frac{kg}{cm^2}$

F_b= تنش مجاز در خمش $\frac{kg}{cm^2}$

D= قطر خارجی لوله می‌باشد

اگر $\frac{h}{t}>70$ باشد $K_C=\frac{4.05}{\left(\frac{h}{t}\right)^{0.46}}$ و در غیر این صورت $K_C=1$.

● پیشنهاد می‌شود به‌جای رابطهٔ مذکور، از رابطهٔ زیر که اثر نیروی محوری نیز در آن مخلوط شده استفاده شود:

$$\frac{6370}{\sqrt{F_b}}\left(1-1.25\frac{fa}{Fy}\right)$$

تعیین تنش مجاز خمشی

پارامترهای ابعادی مقطع I:

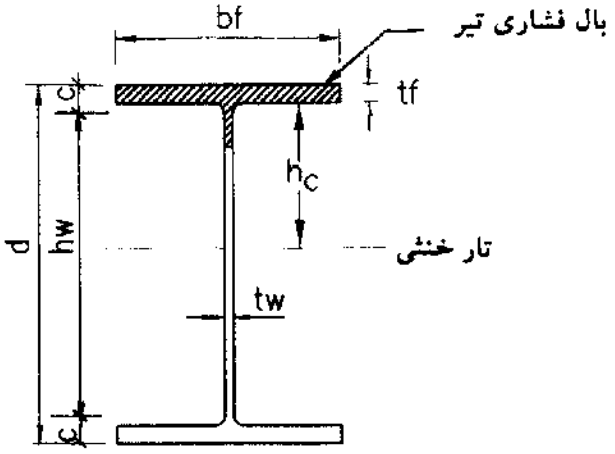
b_f = در شکل ۱ به‌نمایش در آمده است (cm)

t_f = در شکل ۱ به‌نمایش در آمده است (cm)

t_w = در شکل ۱ به‌نمایش در آمده است (cm)

d = در شکل ۱ به‌نمایش در آمده است (cm)

h_w = در شکل ۱ به‌نمایش در آمده است $d-2c$ (cm)



شکل ۱

c = فاصلهٔ انتهای گردی اتصال بال به‌جان در نیمرخهای نوردشده، یا انتهای ساق جوش در نیمرخهای ساخته شده از وجه خارجی بال (cm)

h_c = ارتفاع بخش فشاری جان تیر (cm)

L_b = طول آزاد (فاقد مهار جانبی) بال فشاری تیر (cm)

K_c = ضریب اصلاحی

A_f = مساحت بال فشاری تیر $b_f \times t_f = (cm^2)$

F_y = تنش جاری شدن فولاد تیر (kg/cm^2)

r_T = شعاع ژیراسیون بخش هاشورخورده شکل ۱ (نیمرخ سپری) که شامل بال فشاری تیر و

$\frac{1}{3}$ جان تخت تحت فشار می‌گردد، حول محوری که عمود بر بال از مرکز صفحهٔ جان می‌گذرد.

$$r_T = \left(\frac{t_f b_f^3 / 12}{b_f \times t_f + \frac{1}{3} h_c t_w} \right)^{\frac{1}{2}} \simeq 1.2 r_y$$

F_b = تنش مجاز خمشی (kg/cm^2)

F_1 = تنش مجاز خمشی ناشی از مقاومت ستونی بال فشاری (kg/cm^2)

F_{bc} = تنش مجاز خمشی بال فشاری (kg/cm^2)

F_{bt} = تنش مجاز خمشی بال کششی (kg/cm^2)

C_b = ضریب تغییرات لنگر خمشی (مقدار محافظه‌کارانهٔ این ضریب ۱ می‌باشد و نحوهٔ تعیین مقدار دقیق آن در بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۱ آیین‌نامه معرفی شده است.)

پارامترهای ابعادی مقطع ناودانی:

b_f = در شکل زیر به‌نمایش درآمده است. (cm)

t_f = در شکل زیر به‌نمایش درآمده است. (cm)

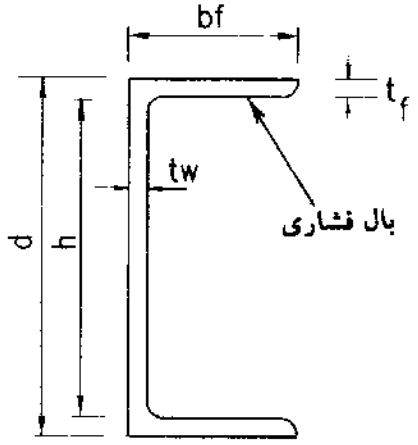
t_w = در شکل زیر به‌نمایش درآمده است. (cm)

d = در شکل زیر به‌نمایش درآمده است. (cm)

h = در شکل زیر به‌نمایش درآمده است. $d-2t_f$

L = طول مهارنشده، (بدون تکیه‌گاه جانبی) بال فشاری (cm)

A_f = سطح مقطع بال فشاری $b_f \times t_f$ (cm^2)



F_b = تنش مجاز خمشی حول محور قوی (kg/cm^2)

C_b = ضریب تغییرات لنگر خمشی

پارامترهای ابعادی مقطع جعبه‌ای:

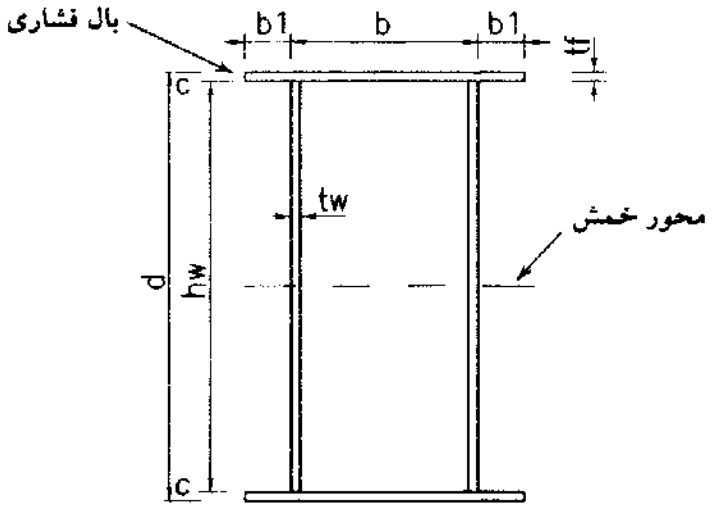
b = در شکل زیر معرفی شده است. (cm)

t_f = در شکل زیر معرفی شده است. (cm)

d = در شکل زیر معرفی شده است. (cm)

t_w = در شکل زیر معرفی شده است. (cm)

h_w = در شکل زیر معرفی شده است. (cm)



c = فاصلهٔ انتهای ساق‌جوش از وجه خارجی بال (cm)

f_a = تنش فشاری وارد بر مقطع در اثر نیروی محوری (kg/cm^2)

L_b = طول آزاد (بدون مهار جانبی) بال فشاری (cm)

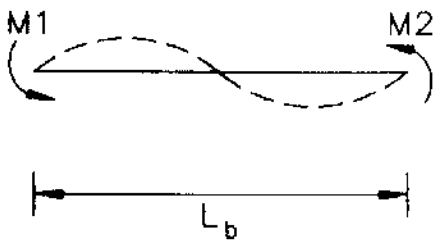
F_b = تنش مجاز خمشی (kg/cm^2)

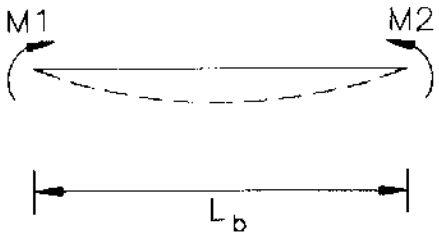
F_y = تنش جاری شدن فولاد عضو (kg/cm^2)

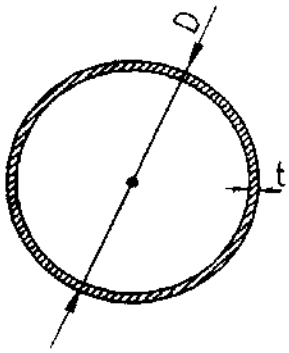
M_1 = لنگر کوچکتر مربوط به‌یکی از دو انتهای قطعه مهارنشده

M_2 = لنگر بزرگتر مربوط به‌یکی از دو انتهای قطعه مهارنشده

علامت $\frac{M_1}{M_2}$ در صورتی‌که انحنای دوبل در عضو ایجاد نمایند مثبت و در صورت ایجاد انحنای تک در مقطع منفی است.







پارامترهای ابعادی مقطع لوله‌ای:

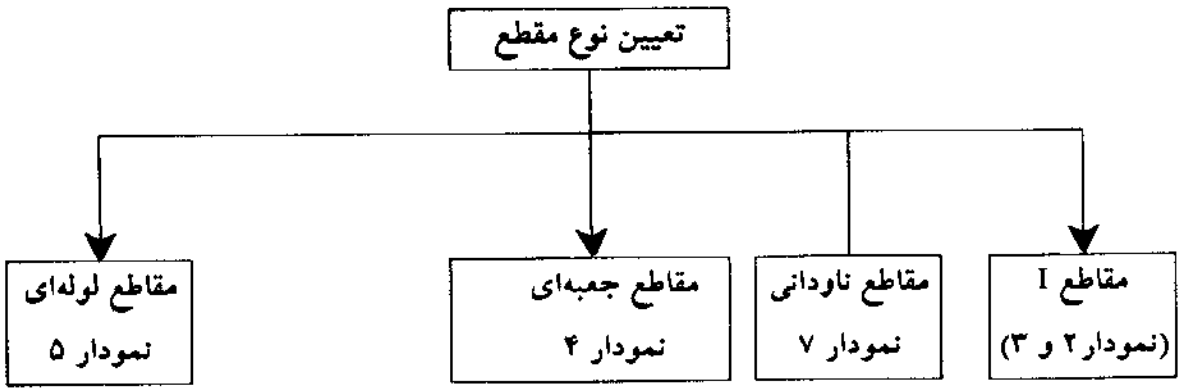
D = قطر خارجی لوله (cm)

t = ضخامت ورق لوله (cm)

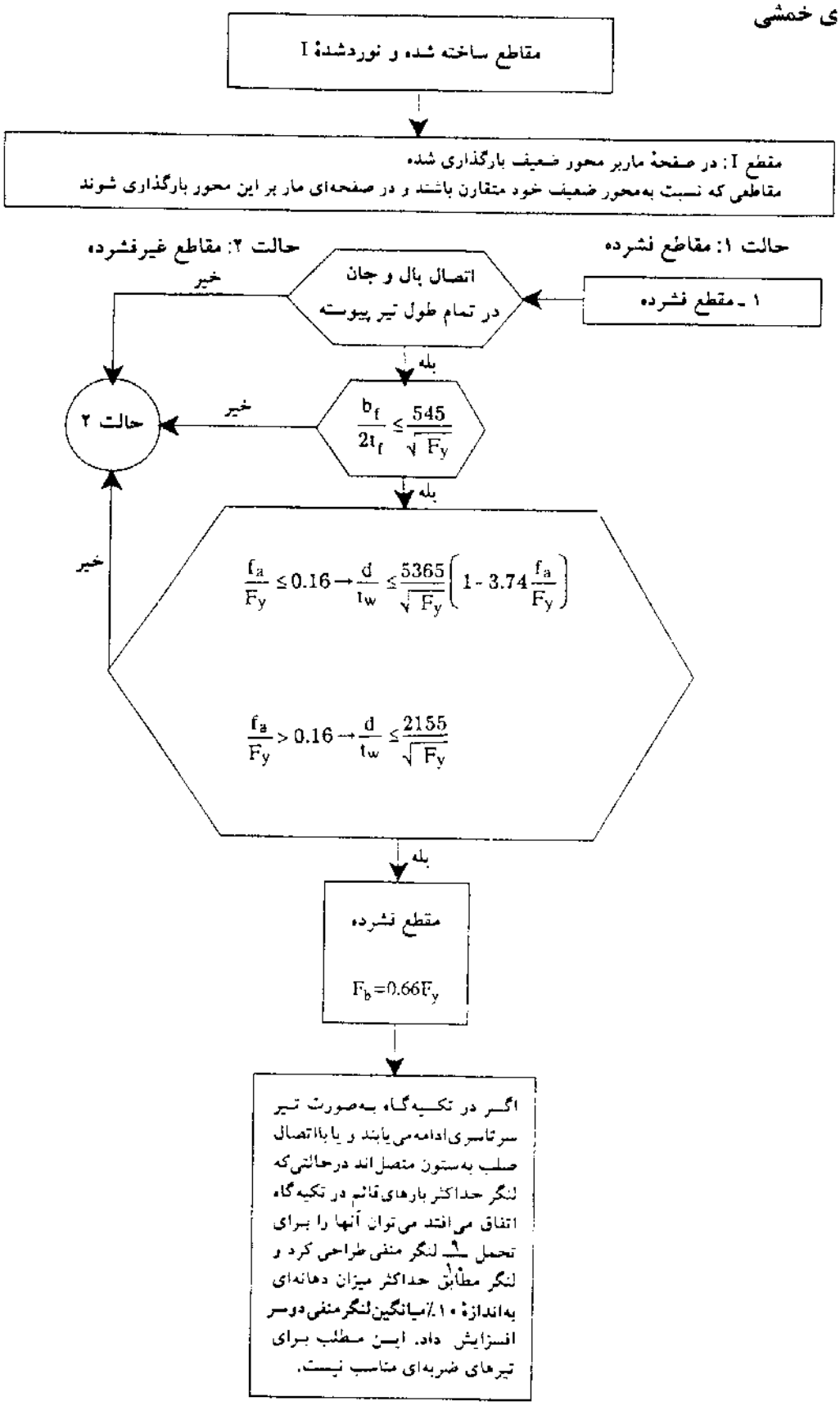
F_b = تنش مجاز خمشی (kg/cm^2)

F_y = تنش جاری شدن فولاد لوله (kg/cm^2)

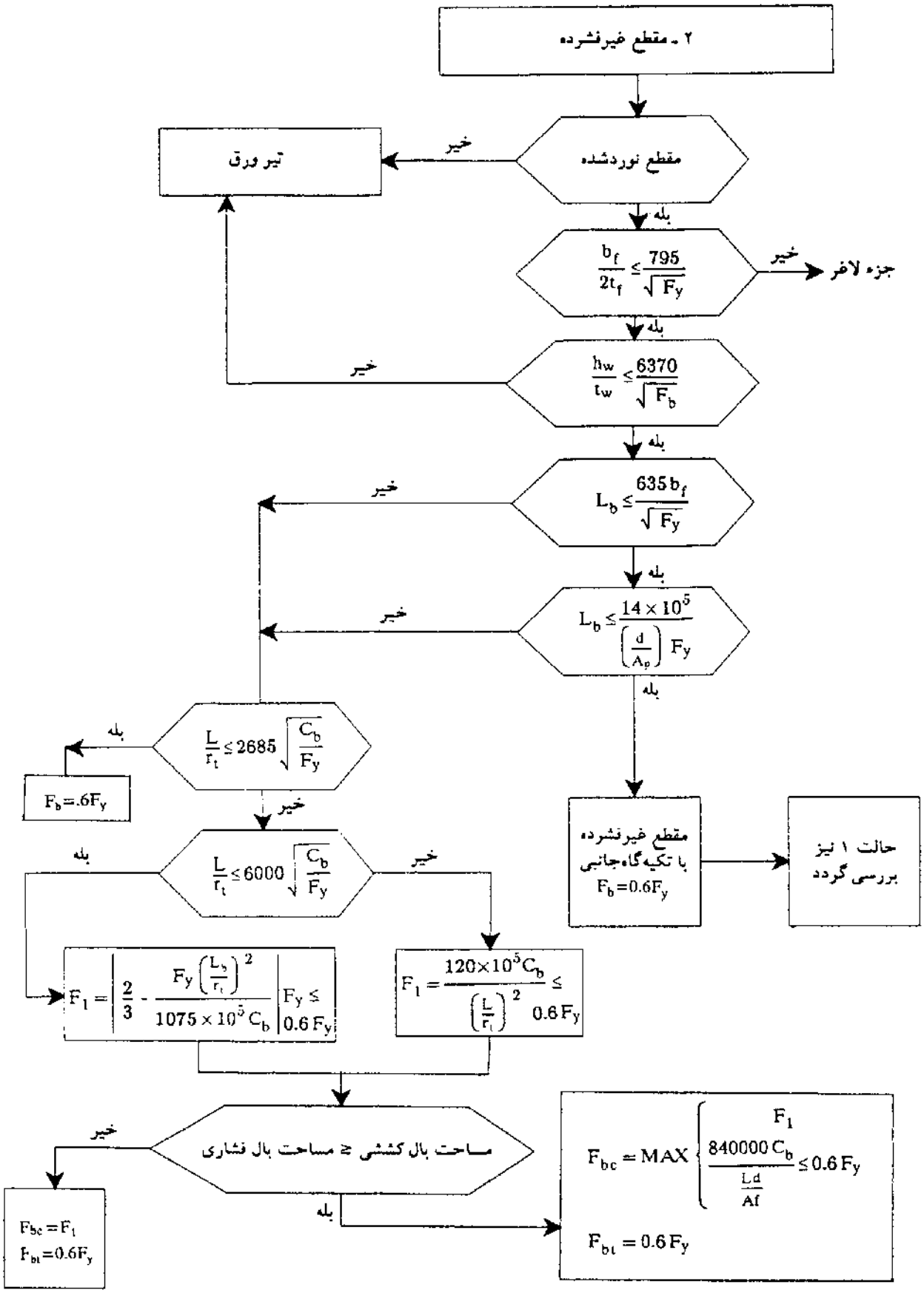
تعیین تنش مجاز خمشی حول محور قوی مقطع:



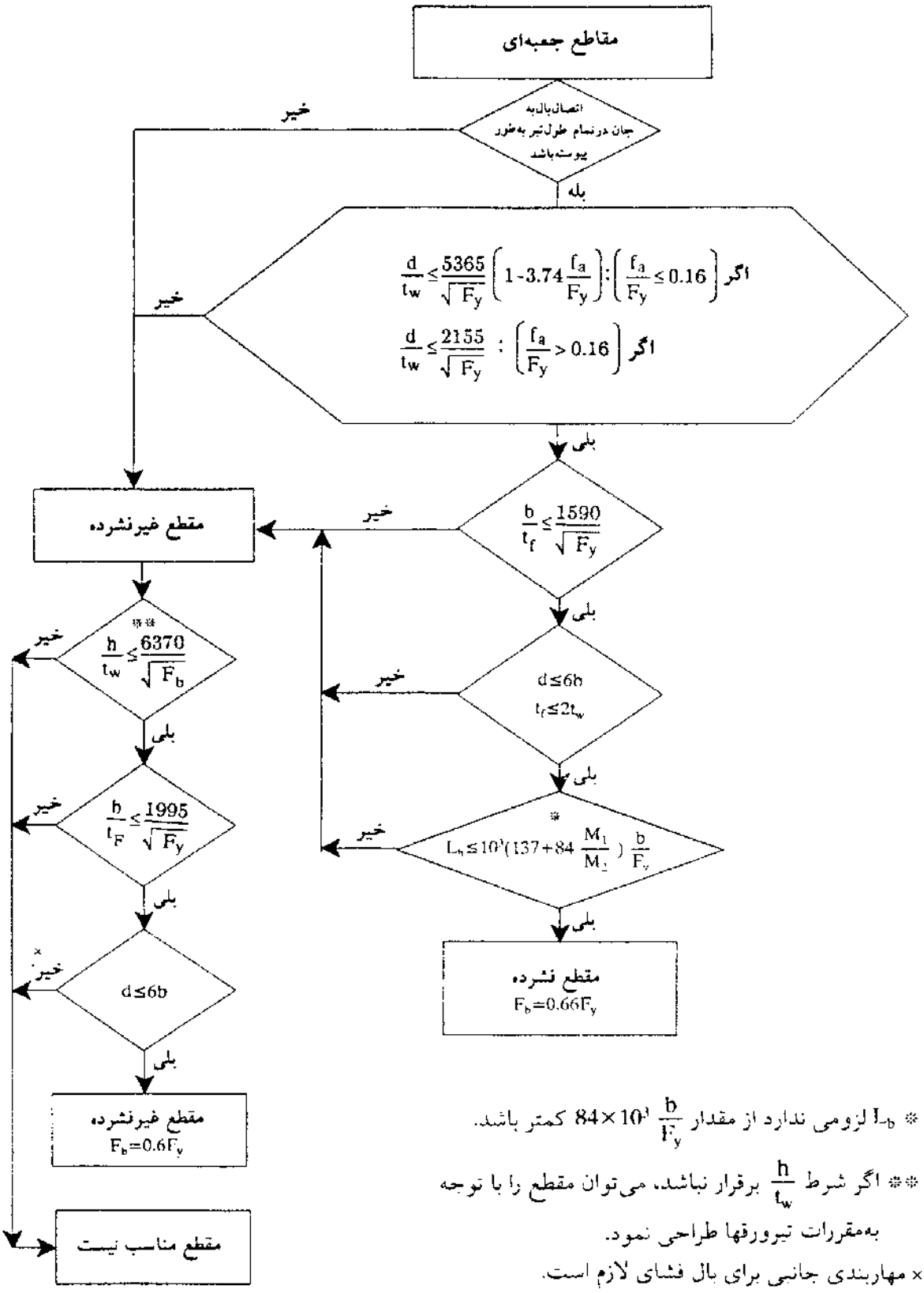
نمودار ۱ ـ راهنمای تعیین تنش مجاز خمشی



نمودار ۲ ـ تنش مجاز خمشی مقاطع I (فشرده)



نمودار ۳ ـ تنش مجاز خمشی مقاطع I (غیرفشرده)



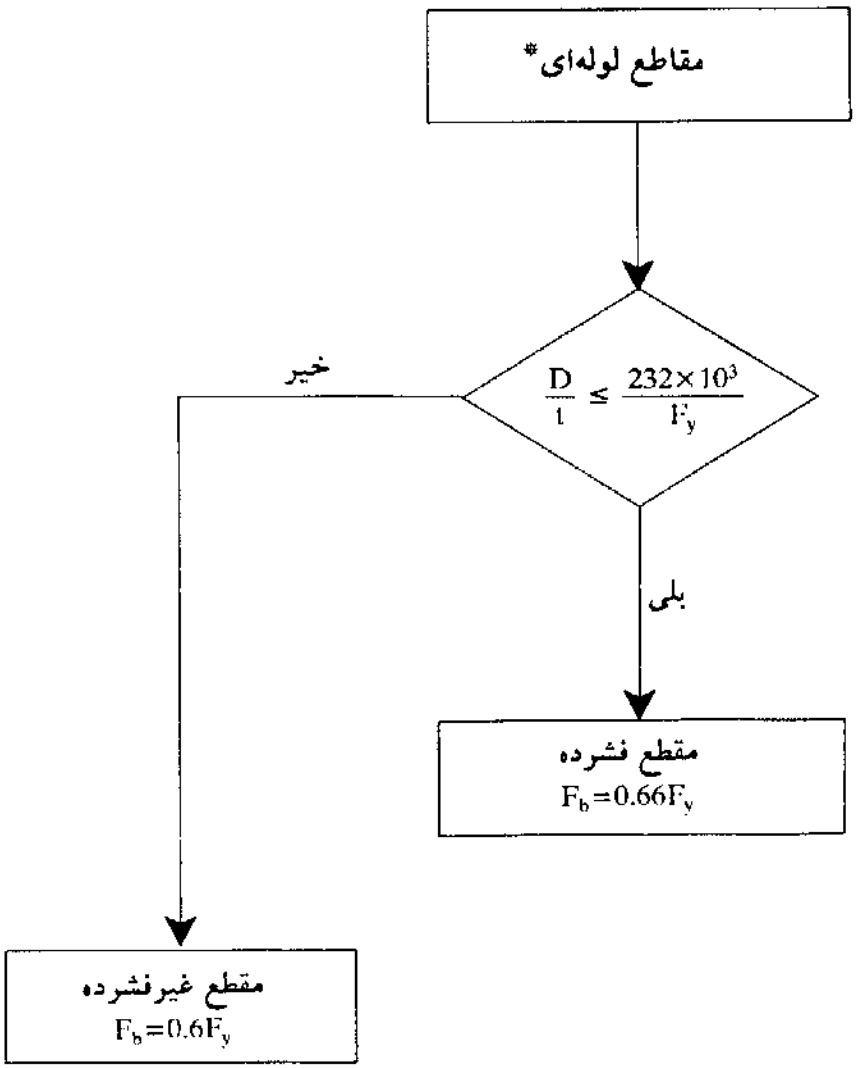
* L_b لزومی ندارد از مقدار $84\times10^3\frac{b}{F_y}$ کمتر باشد.

** اگر شرط $\frac{h}{t_w}$ برقرار نباشد، می‌توان مقطع را با توجه به‌مقررات تیرورقها طراحی نمود.

× مهاربندی جانبی برای بال فشای لازم است.

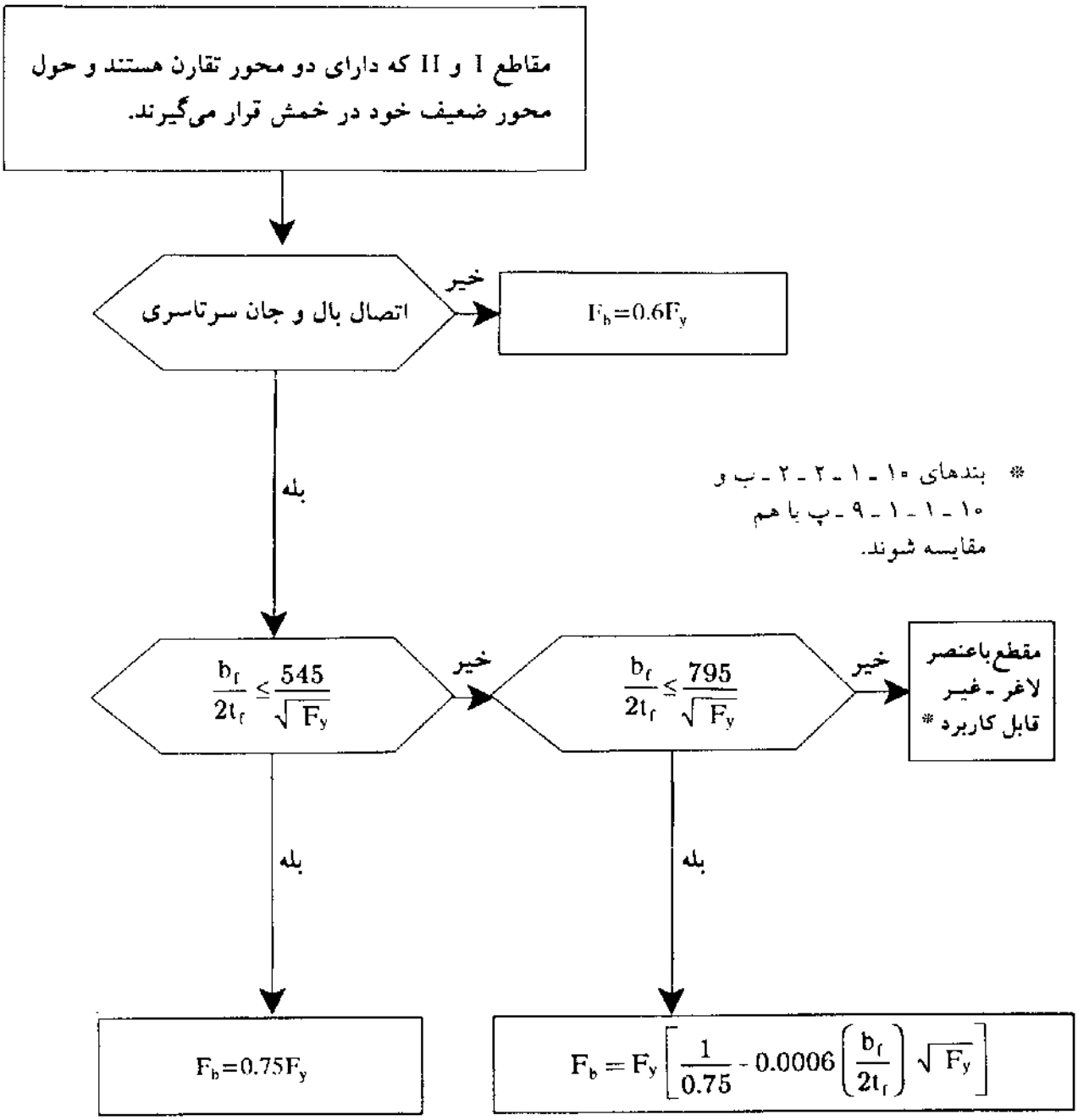
نمودار ۴ ـ تنش مجاز خمشی مقاطع جعبه‌ای

تعیین مقاومت مجاز خمشی حول محور قوی یا ضعیف برای مقاطع لوله‌ای:

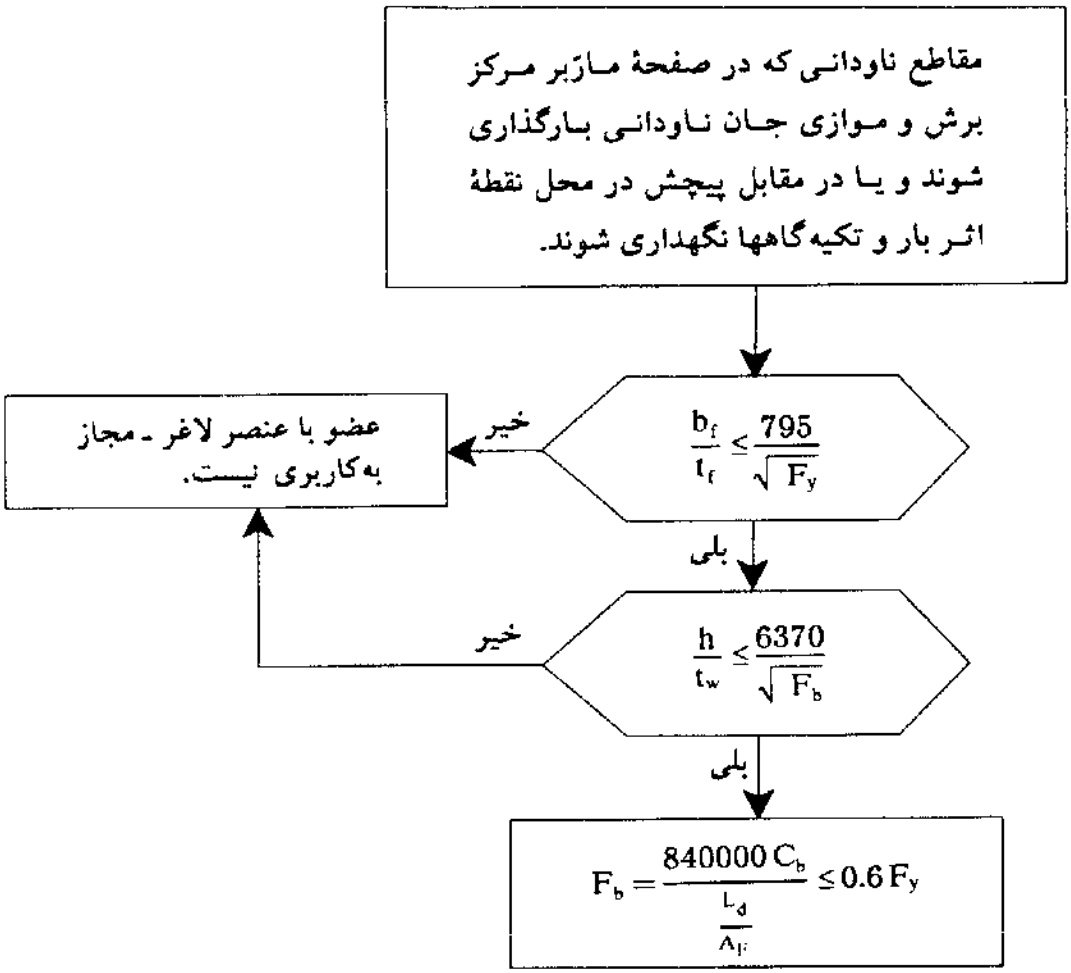


* مقاطع لوله‌ای که در این نمودار تنش مجاز برای انها معرفی شده باید بدون درز و یا دارای درز جوش شده سرتاسری باشند.

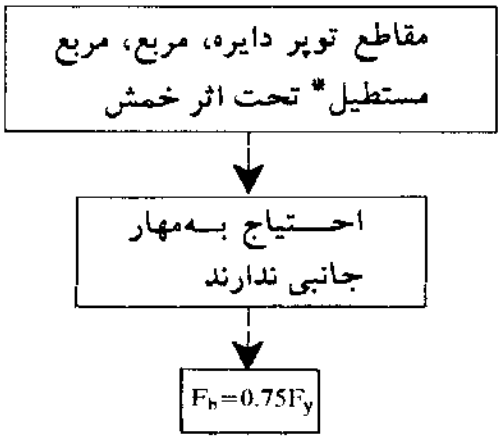
نمودار ۵ ـ تنش مجاز خمشی مقاطع لوله‌ای



نمودار ۶ ـ تنش مجاز مقاطع I حول محور ضعیف



نمودار ۷ ـ تنش مجاز خمشی مقاطع ناودانی

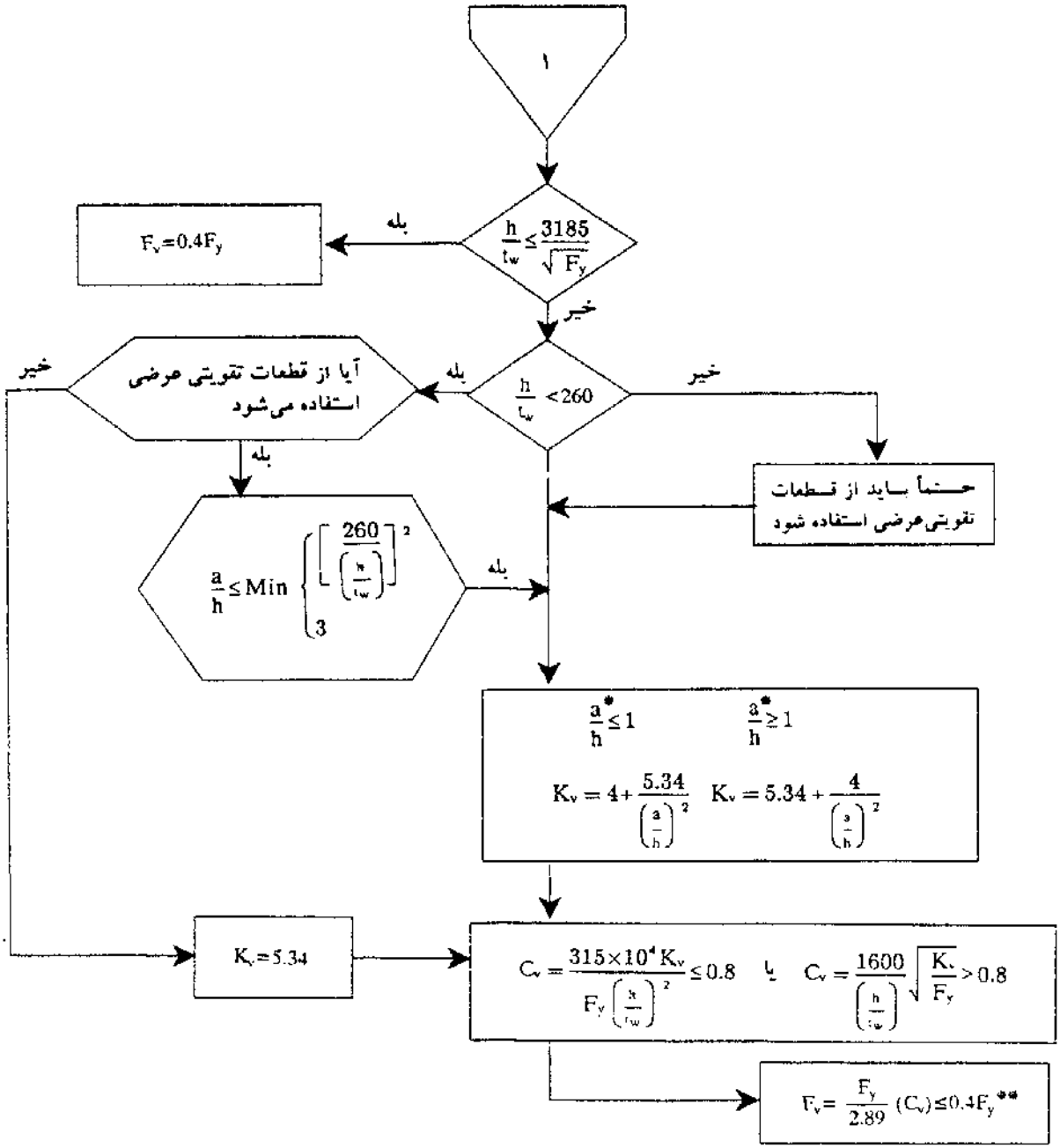


* ابعاد مربع مستطیل نباید به‌شکلی باشد که مقطع شکل ورق پیدا کند، اگر نه امکان کمانش ورقها از تنش مجاز حول محور قوی می‌کاهد ولی در هر صورت تنش مجاز خمشی حول محور ضعیف همان مقدار توصیه شده در بالاست.

نمودار ۸ ـ تنش مجاز خمشی مقاطع توپر

تنش مجاز برشی در تیرها:

بخش ۱۰ ـ ۱ ـ ۲ ـ ۴، تنش برشی مجاز:



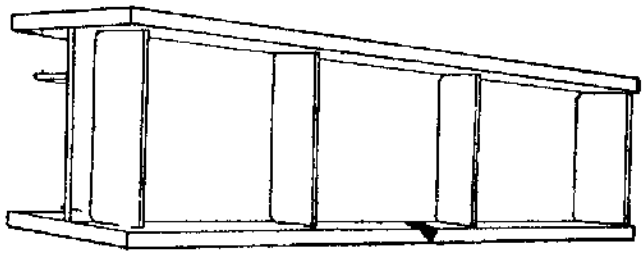
* در صورتی‌که فاصلهٔ سخت‌کننده‌ها (a) متغیر باشد تنش مجاز محاسبه شده تنها مربوط به‌همان چشمه جان که عرض آن a است می‌گردد و باید با تنش برشی حداکثر همان چشمه مقایسه شود.

** می‌توان به‌جای استفاده از این رابطه از نمودار ۱۱ استفاده کرد.

نمودار ۹ ـ تنش مجاز برشی تیرها

فصل ۳

تیر ورقها

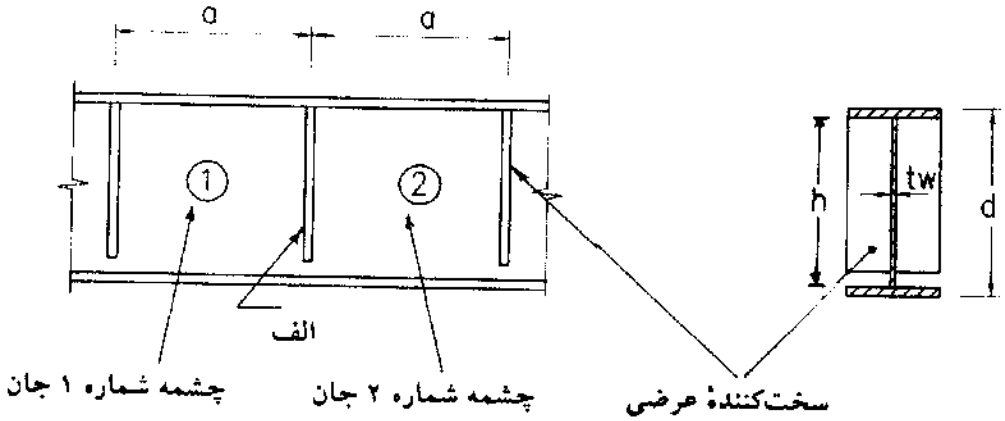


معرفی متغیرهای مورد استفاده

h = ارتفاع جان (cm)

d = ارتفاع کل مقطع (cm)

t_w = ضخامت جان (cm)



a = فاصلهٔ سخت‌کننده‌های عرضی جان (cm)

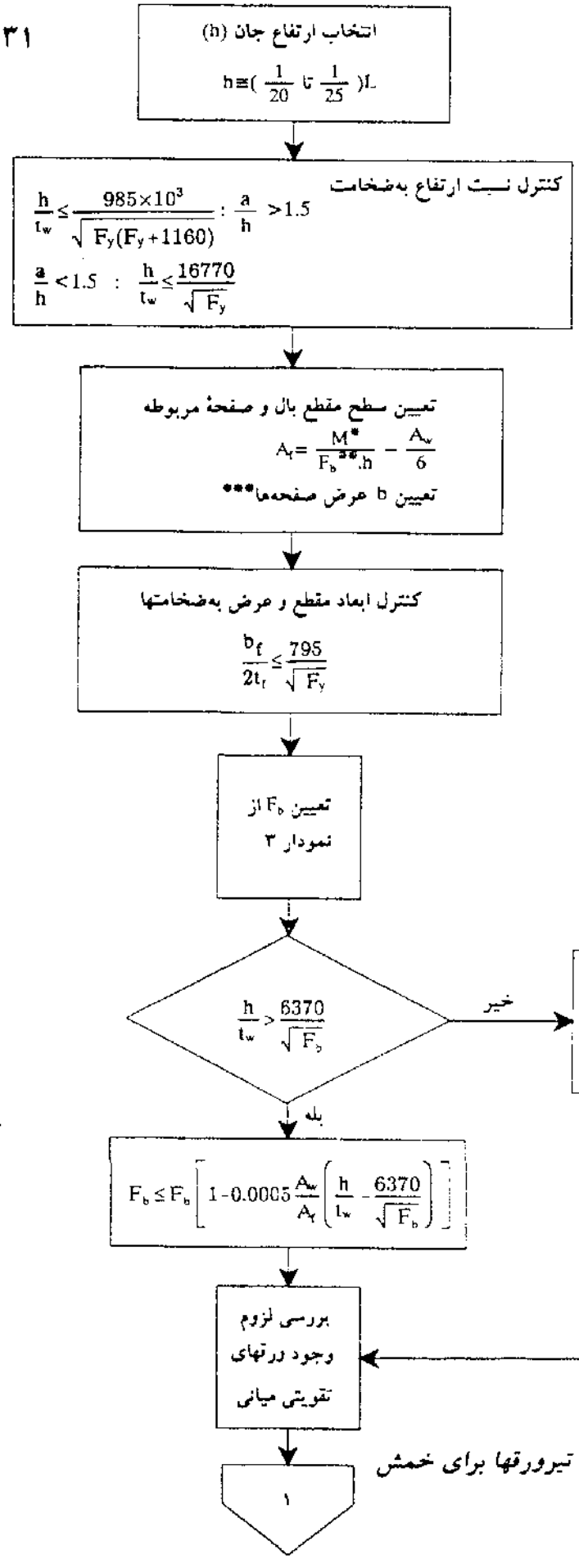
K_v = ضریب کمانش ورق جان

C_v = ضریب کاهش تنش مجاز برشی به‌خاطر امکان کمانش

F_v = تنش مجاز برشی $(\frac{kg}{cm^2})$

F_y = تنش جاری شدن $(\frac{kg}{cm^2})$

توضیح الف: جوش سخت‌کننده به‌جان برای برش $f_{vs} = h\sqrt{\left(\frac{F_y}{1403}\right)^3}$ محاسبه می‌شود.

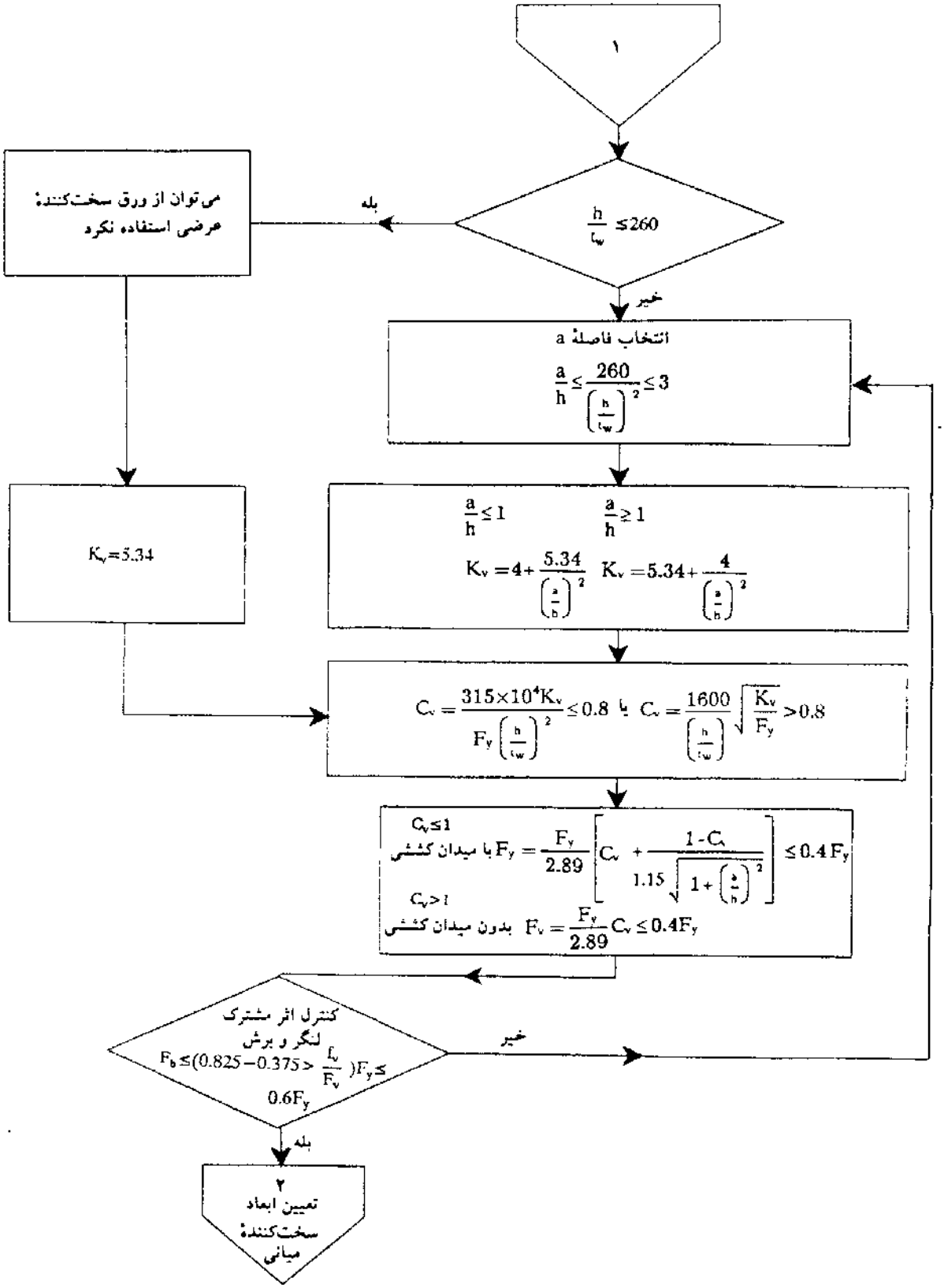


* M لنگر حداکثر برای مقطعی که سطح بال را تعیین می‌کنیم

** $F_b = 0.6F_y$

*** $\frac{L}{60} < b < \frac{L}{25}$, $\frac{h}{6} < b < \frac{h}{2.5}$

نمودار ۱۰ ـ طراحی تیرورقها برای خمش

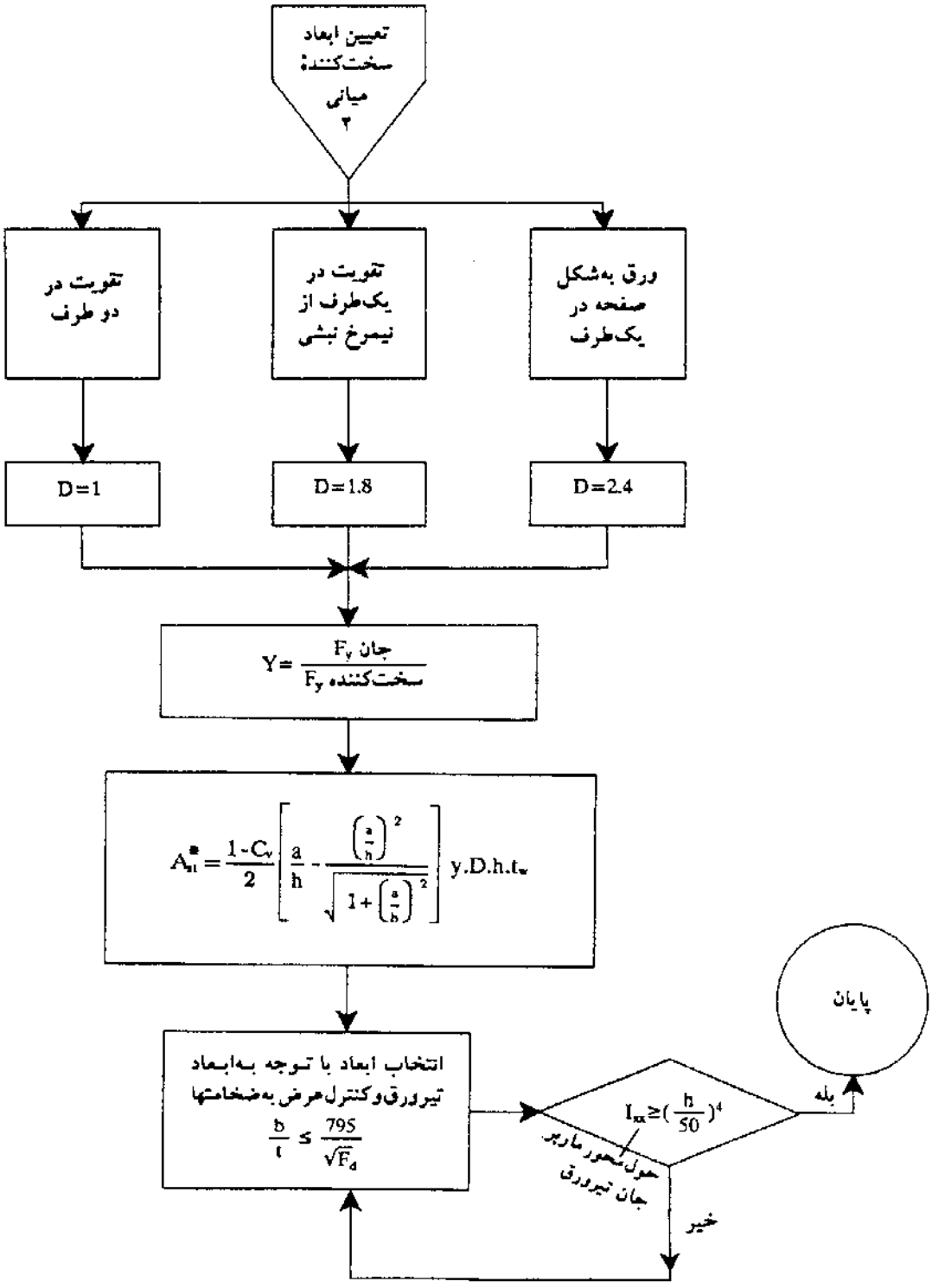


۱ ـ برای دهانهٔ انتهایی نمی‌توان رابطهٔ مربوط به‌عمل میدان کششی را استفاده نمود.

۲ ـ در تیرهایی که جان و بال آنها از فولاد خیلی قوی ($F_y \ge 4500$) باشد اگر $f_b \ge 0.75F_b$ باشد، استفاده از عمل میدان کششی مجاز نیست.

۳ ـ کنترل اثر مشترک لنگر و برش تنها برای تیرورقهایی که به‌عمل میدان کششی (برای تحمل برش) متکی باشند لازم است.

نمودار ۱۱ ـ طراحی تیرورقها برای برش

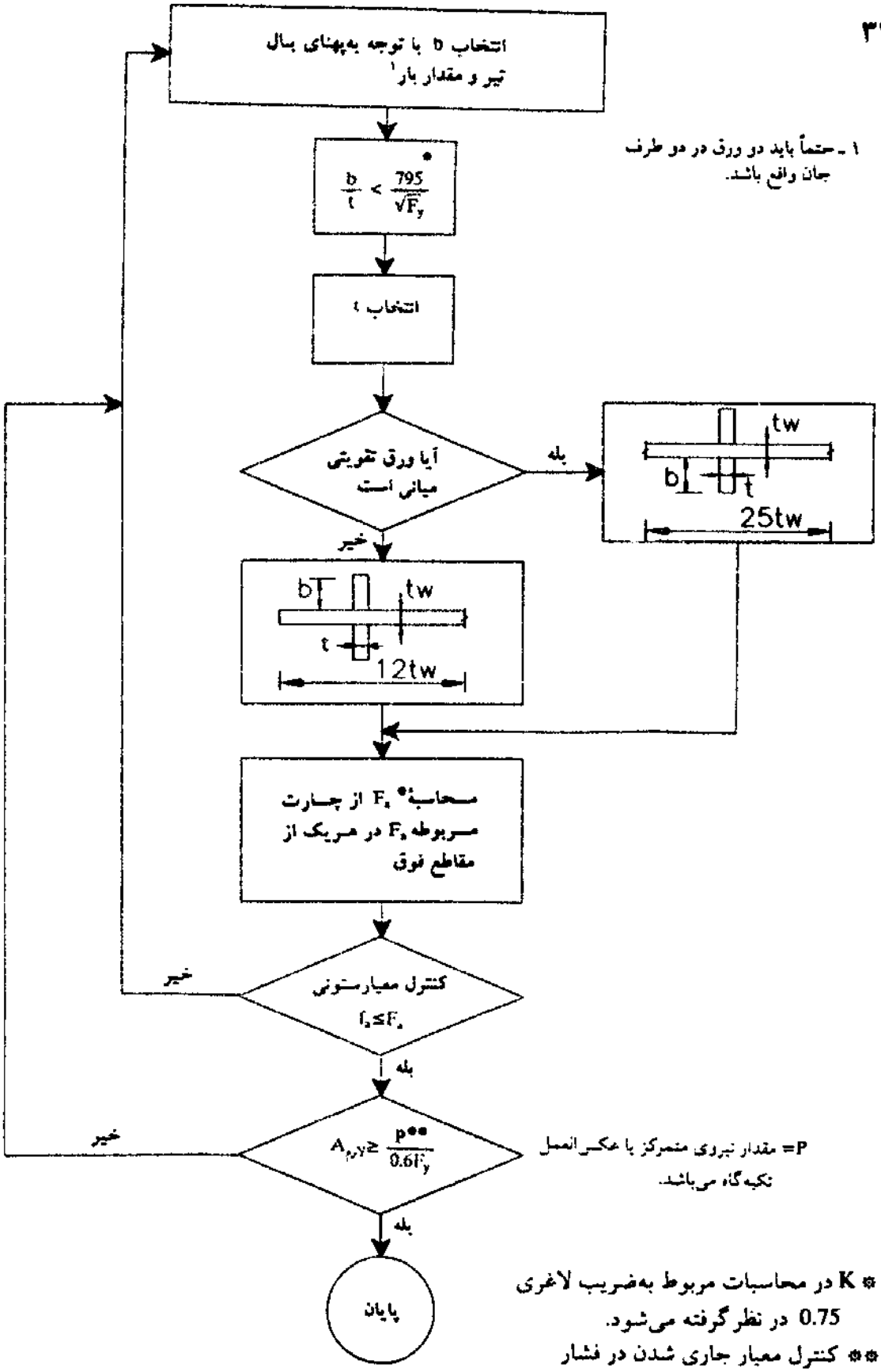


* اگر برای تعیین تنش برشی مجاز از میدان کششی استفاده نشود، کنترل A_{st} لازم نیست.

f_v= تنش برشی موجود

F_v= تنش برشی مجاز

نمودار ۱۲ ـ طراحی سخت‌کننده‌های عرضی



۱ ـ حتماً باید دو ورق در دو طرف جان واقع باشد.

P= مقدار نیروی متمرکز با عکس‌العمل تکیه‌گاه می‌باشد.

* K در محاسبات مربوط به‌ضریب لاغری 0.75 در نظر گرفته می‌شود.

** کنترل معیار جاری شدن در فشار

نمودار ۱۳ ـ طراحی سخت‌کننده‌های فشاری

مثال

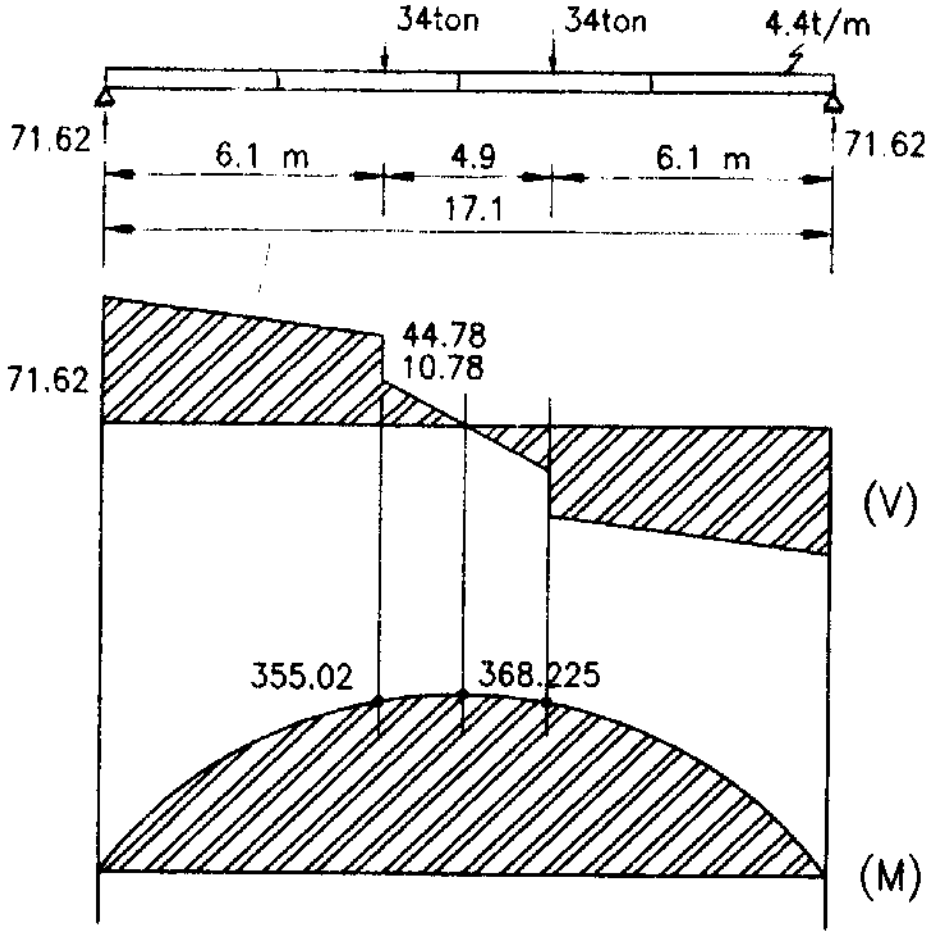
با توجه به‌شکل زیر تیرورق مربوطه را طراحی نمایید.

تیرورق در نقاط بار متمرکز تکیه‌گاه جانبی دارد:

$F_y=2400$

$l=17.1$ m

(بار گسترده شامل وزن تیرورق می‌شود)



حل:

محاسبهٔ h تیرورق:

$h\cong \frac{1}{8}$ دهانه $= \frac{1}{8}\times 17.1=2.14$ cm

h انتخاب = 200 cm

محاسبهٔ ضخامت (t_w) جان:

عدم کاهش تنش بال فشاری : $h/t_w < \frac{6370}{\sqrt{F_b}} = \frac{6370}{\sqrt{0.6F_y}} = 168$

$$t_w > \frac{h}{168} = \frac{200}{168} = 1.19$$

$$h/t_w = \frac{985\times10^3}{\sqrt{F_y(F_y+1160)}} = 337 \quad t_w \geq \frac{200}{337} \approx 0.6$$

$$\frac{a}{h} < 1.5 \rightarrow \frac{h}{t_w} \leq \frac{16770}{\sqrt{F_y}} = \frac{16770}{\sqrt{2400}} = 342 \quad t_w \geq 0.6$$

t_w=0.6cm انتخاب

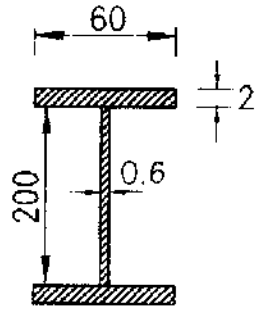
محاسبهٔ بال تیرورق:

$$A_f = \frac{M}{F_b.h} - \frac{A_w}{6} = \frac{368.225\times10^5}{1320\times200} - \frac{200\times0.6}{6} = 119.5 \text{ cm}^2$$

$F_b \approx 0.55\ F_y$ برای منظور کردن اثر کاهش F_b

از ورق 60×2 استفاده شود:

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{60}{4} \leq \frac{795}{\sqrt{2400}} = 16.23 \qquad \text{O.K.}$$



محاسبهٔ خصوصیات مقطع

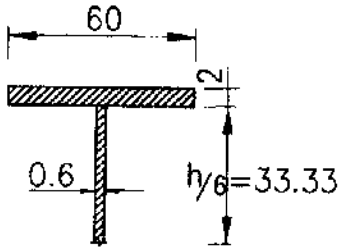
$$I_{xx} = \frac{1}{12}\times0.6\times200^3 + 2\left[\frac{1}{12}\times60\times2^3 + 60\times2\times101^2\right] = 2848320$$

$$S_{xx} = \frac{2848320}{102} = 27924.7$$

$$I_y=\frac{1}{12}\times2\times60^3+\frac{1}{12}\times33.33\times0.6^3=36000.6$$

$$A=60\times2+33.33\times0.6=139.99$$

$$r_t=\sqrt{\frac{I}{A}}=\sqrt{\frac{36000.6}{139.9}}=16.04\,cm$$



محاسبهٔ تنش خمشی مجاز در بالها:

در دهانهٔ 4.9 متری داریم:

$$\frac{l}{r_t}=\frac{4.9\times10^2}{16.04}=30.55$$

$C_b=1$ ، چون لنگر خمشی وسط دهانه بزرگتر از لنگر خمشی دو انتها می‌باشد.

$$\sqrt{\frac{72\times10^5\times C_b}{F_y}}=54.77\ ,\ \sqrt{\frac{360\times10^5\times C_b}{F_y}}=122.47$$

$$\frac{l}{r_t}<54.77$$

$$F_b=0.6F_y=0.6\times2400=1440$$

$$F_b'=F_b\left[1-0.0005\times\frac{A_w}{A_f}\left(\frac{h}{t_w}-\frac{6370}{\sqrt{F_b}}\right)\right]$$

$$F_b'=1440\left[1-0.0005\times\frac{120}{120}\left(\frac{200}{0.6}-\frac{6370}{\sqrt{1440}}\right)\right]=1320.81$$

$$f_b=\frac{M}{S_{xx}}=\frac{368.225\times10^5}{27924.7}=1318.63<1320.81\quad O.K$$

در دهانهٔ 6.1 متری داریم:

$$C_b=1.75+1.05\times\frac{M_1}{M_2}+0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2\le 2.3$$

$$C_b=1.75<2.3 \quad \text{O.K.}$$

$$\sqrt{\frac{72\times10^5\times C_b}{F_y}}=72.45\ ,\ \sqrt{\frac{360\times10^5\times1.75}{F_y}}=162$$

$$\frac{l}{r_t}=\frac{6.1\times10^2}{16.04}=38.02<72.45$$

$$F_b=0.6F_y=1440\rightarrow F'_b=1320.81$$

$$f_b=\frac{355.02\times10^5}{27924.7}=1271.3<1320.81$$

بررسی لزوم وجود ورقهای تقویتی انتهایی

$$\frac{h}{t_w}=\frac{200}{0.6}=333.33>260$$ به‌ورق تقویتی میانی نیاز داریم

$$f_v=\frac{71.62\times10^3}{200\times0.6}=596.8\ \text{kg/cm}^2$$

$a=60$ cm انتخاب

$$\frac{a}{h}=\frac{60}{200}=0.3<1\rightarrow k_v=4+\frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}=63.33$$

$$C_v=\frac{315\times10^4\times63.03}{2400\times333.33}=0.748<0.8 \quad \text{O.K.}$$

$$C_v=\frac{315\times10^4\times K_v}{F_y\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$$

$$F_v=\frac{F_y}{2.89}C_v=\frac{2400\times0.748}{2.89}=621.176>f_v \quad \text{O.K.}$$

قرار دادن سخت‌کنندهٔ میانی در دهانه‌های مختلف:

$$\frac{a}{h} \le \left(\frac{260}{\frac{h}{t}}\right)^2 = \left(\frac{260}{333.33}\right)^2 = 0.608 \quad a \le 0.608 \times 200 = 121.6$$

محاسبهٔ برش در فاصلهٔ ۶۰ سانتی تکیه‌گاه $= 71.62 - 4.4 \times 0.6 = 68.98$

$$f_v = \frac{68.98 \times 10^3}{200 \times 0.6} = 574.83$$

انتخاب $a = 100$

$$\frac{a}{h} = \frac{100}{200} = 0.5 \rightarrow K_v = 4 + \frac{5.34}{0.5^2} = 25.36$$

$$C_v = \frac{315 \times 10^4 \times 25.36}{2400 \times \left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = 0.299 < 0.8 \quad \text{O.K.}$$

$$F_v = \frac{F_y}{2.89}\left[C_v + \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] \le 960$$

$$F_v = \frac{2400}{2.89}\left[0.299 + \frac{1 - 0.299}{1.15\sqrt{1 + 0.5^2}}\right] = 701$$

$f_v < F_v$ O.K.

کنترل اثر مشترک کشش و برش:

ناشی‌ازکشش در وسط دهانه $F_b = (0.825 - 0.375 \times \frac{373.17}{701}) \times 2400 = 1500.89 > 1440$

$$f_v = \frac{44.78 \times 10^3}{200 \times 0.6} = 373.17$$

بنابراین $a = 120$ برای دهانهٔ ۴/۹ متری انتخاب می‌کنیم.

خلاصه:

- a در پانل انتهایی $= 60$ cm

- a در پانلهای ۶/۱ متری =100cm
- a در پانل ۴/۹ متری =120cm

محاسبهٔ ابعاد سخت‌کننده‌ها:

$$A_{st}=\frac{1-C_v}{2}\left[\frac{a}{h}-\frac{\left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] y.D.h.t_w$$

$$C_v=0.299$$

$$A_{st}=\frac{1-0.299}{2}\left[0.5-\frac{0.5^2}{\sqrt{1+0.5^2}}\right]\times 1\times 1\times 200\times 0.6=11.62\,cm^2$$

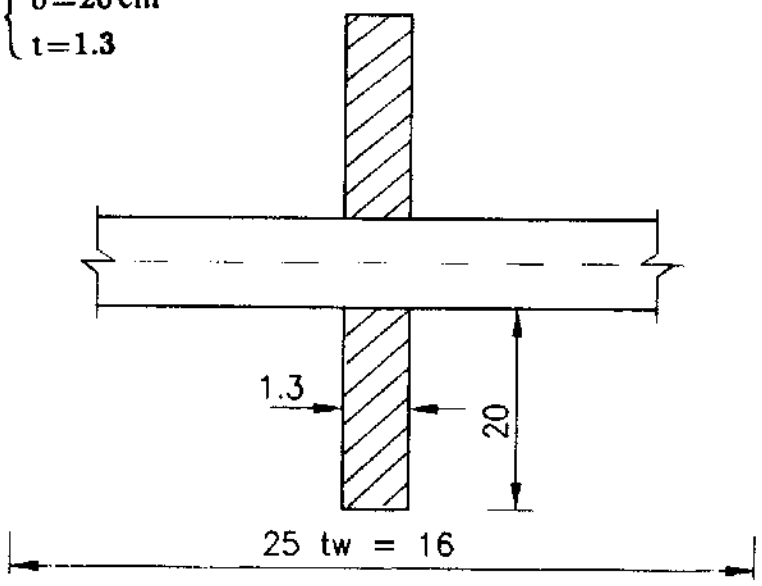
$A_s>11.62 \longrightarrow$ از دو صفحهٔ 1×10 استفاده می‌شود

$$I_{st}\geq\left(\frac{h}{50}\right)^4=\left(\frac{200}{50}\right)^4=256$$

$$I_{st}=\frac{1}{12}[10\times 2+0.6]^3\times 1=728>256 \quad \text{O.K.}$$

سخت‌کننده‌های فشاری: (زیر بارهای متمرکز)

انتخاب $\begin{cases} b=20\,cm \\ t=1.3 \end{cases}$



$$\frac{b}{t} \le \frac{795}{\sqrt{F_y}} \rightarrow 15.38 \le 16.22 \qquad \text{O.K.}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 16 \times 0.6^3 + 2\left(\frac{1}{12} \times 20^3 \times 1.3 + 1.3 \times 20 \times 10.3^2\right) = 7250$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 10.85$$

$$\frac{Kl}{r} = \frac{1 \times 200}{10.85} = 18.43 \xrightarrow{\text{کنترل معیارستونی}} F_a = 1382$$

$$f_a = \frac{34 \times 10^3}{61.6} = 551.9 < 1382 \quad \text{O.K.}$$

$$A_g = \frac{P}{0.6F_y} = \frac{34 \times 10^3}{0.6 \times 2400} = 23.61 \longrightarrow A_g > 23.61 \quad \text{O.K.}$$

فصل ۴

اعضای کششی

تعریف پارامترها:

A_g= سطح مقطع کلی

A_n= سطح مقطع خالص

A_e= سطح مقطع مؤثر

$(F_t)_g=0.6F_y$= تنش مجاز کششی روی سطح مقطع کل

$(F_t)_e=0.5F_u$= تنش مجاز کششی روی سطح مقطع مؤثر

$(F_t)_n=0.45F_y$= تنش مجاز کششی روی سطح مقطع خالص برای اتصالات پینی

$(f_t)_g$= تنش کششی موجود روی سطح مقطع کل

$(f_t)_e$= تنش کششی موجود روی سطح مقطع مؤثر

$(f_t)_n$= تنش کششی موجود روی سطح مقطع خالص اتصالات پینی

T= نیروی کششی موجود در عضو

L/r= لاغری کلی حداقل عضو کششی

سطح مقطع خالص مؤثر برای اعضای کششی

سطح مقطع مؤثر خالص برای اعضای کششی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

۱ ـ چنانچه بار به‌وسیلهٔ پیچ یا پرچ یا جوش مستقیماً به کلیهٔ اجزای مقطع منتقل گردد، سطح مقطع خالص مؤثر A_e برابر سطح مقطع خالص A_n می‌باشد.

۲ ـ چنانچه بار کششی به‌وسیلهٔ پیچ یا پرچ یا جوش توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد، سطح مقطع مؤثر A_e به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$A_e=AU \qquad (۲ ـ ۳ ـ ۱)$$

که در آن:

U= ضریب کاهش طبق رابطهٔ

$$U=1-\bar{x}/L\leq 0.9 \qquad (۲ ـ ۳ ـ ۲)$$

$\bar{x}$= برون‌محوری اتصال

L= طول اتصال در امتداد نیرو

در صورت آزمایش و یا اثبات به‌طریق منطقی، می‌توان از U بزرگتری استفاده نمود.

A= طبق تعاریف زیر:

الف: وقتی که بار کششی توسط پیچ یا پرچ منتقل گردد:

$A=A_n$

= سطح مقطع خالص عضو

ب: وقتی که بار کششی فقط توسط جوش طولی به‌عضوی غیر از ورق و یا جوش طولی در ترکیب با جوش عرضی منتقل گردد:

$A=A_g$

= سطح مقطع کلی عضو

پ: وقتی که بار کششی فقط توسط جوش عرضی منتقل گردد:

A= سطح مقطع عضوی که به‌طور مستقیم اتصال یافته

U=1.0

ت: چنانچه انتقال بار به‌ورق، به‌وسیلهٔ دو خط جوش طولی در امتداد دو لبه در انتهای ورق انجام شود، برای $l \geq w$ داریم:

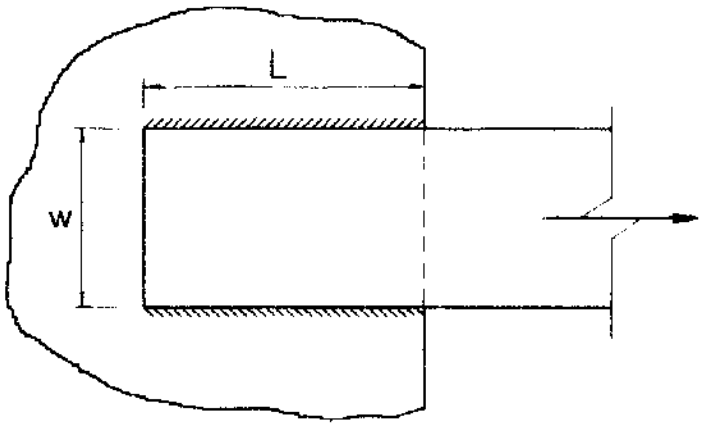
A= سطح مقطع ورق

و:

$l > 2w$ ..... U=1.0

$2w > l > 1.5w$ ..... U=0.87

$1.5w > l > w$ ..... U=0.75

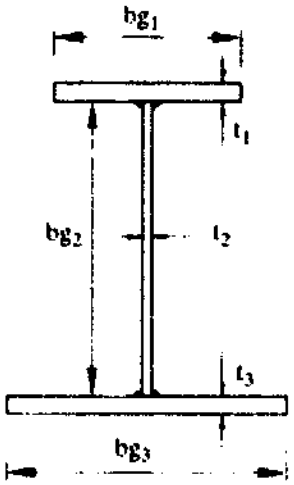


l= طول جوش (cm)

w= عرض ورق (فاصلهٔ بین جوشهای طولی) (cm)

سطح مقطع کل و سطح مقطع خالص

سطح مقطع کل : عبارت است از حاصل‌ضرب پهنای ورقهای مختلف تشکیل‌دهندهٔ مقطع در ضخامت هر ورق.



$$A_g = \sum_{i=1}^{n} b_{gi}\, t_i$$

$$A_g = b_{g1} \times t_1 + b_{g2} \times t_2 + b_{g3} \times t_3$$

در رابطهٔ فوق:

A_g= سطح مقطع کلی

b_{gi}= پهنای جزء موردنظر مقطع

t_i= ضخامت جزء مورد نظر مقطع

سطح مقطع خالص : سطح مقطع خالص یک نیمرخ حاصل کسر اثر سوراخهای ایجادشده در عضو از مقطع کلی می‌باشد و در حالت کلی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A_n = \Sigma b_{ni}\, t_i$$

که در آن:

A_n= سطح مقطع خالص

b_{ni} = عرض خالص جزء موردنظر مقطع

برای اعضای دارای یک ردیف سوراخ

$$b_{ni} = b_{gi} - \sum_{i=1}^{n} (D_i + 1.5\,mm)$$

برای اعضای دارای چند ردیف سوراخ

$$b_{ni} = \left[b_{gi} - \sum_{i=1}^{n} (D_i + 1.5mm) \right] + \sum_{j=1}^{n} \frac{S_j^2}{Ag_j}$$

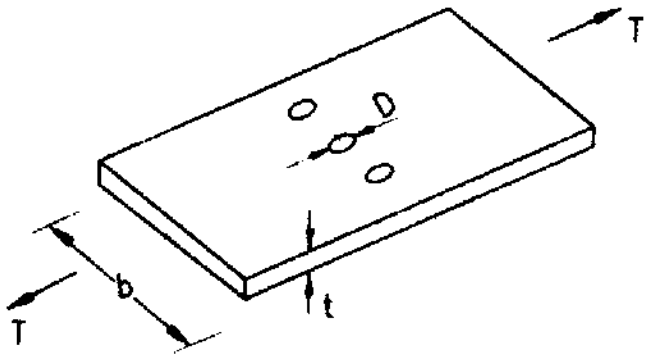
t_i = ضخامت جزء موردنظر مقطع

مثال ۱

صفحهٔ مستوی با یک ردیف سوراخ:

$$b_n = b - 3(D + 1.5mm)$$

$$A_n = b_n \times t$$



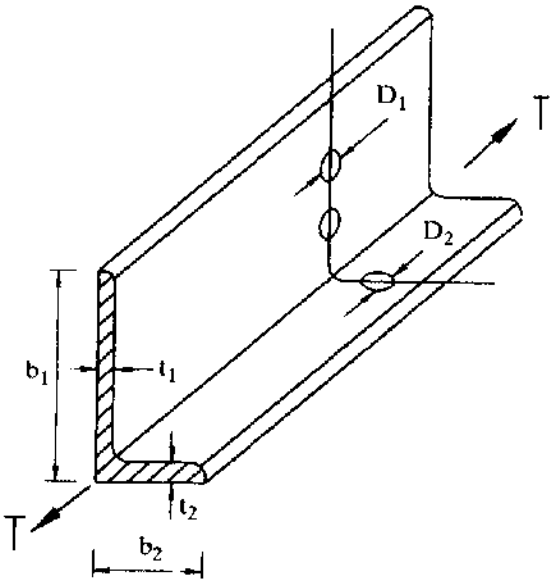
مثال ۲

نبشی با یک ردیف سوراخ:

$$b_{n1} = b_1 - 2(D_1 + 1.5mm)$$

$$b_{n2} = b_2 - t_1 - 1(D_2 + 1.5mm)$$

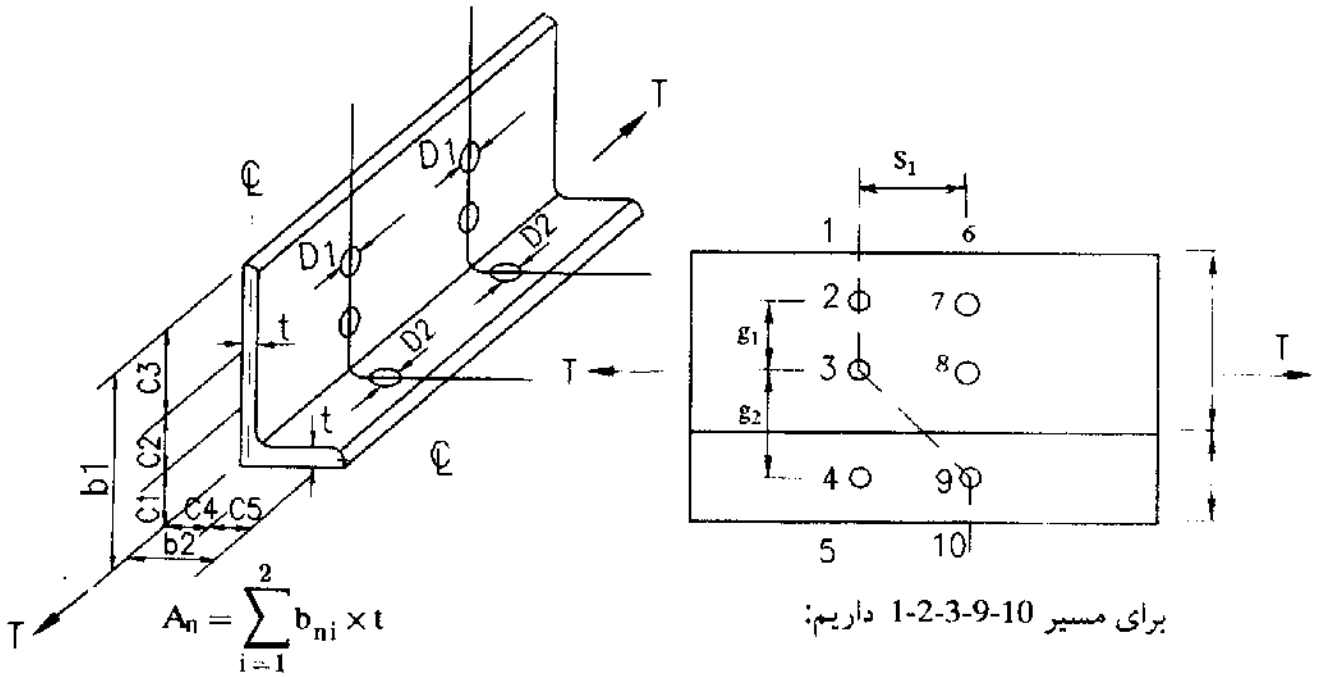
$$A_n = b_{n1} \times t_1 + b_{n2} \times t_2$$



مثال ۳

نبشی با دو ردیف سوراخ:

زمانی که یک مقطع دارای چند ردیف سوراخ روی صفحات عمود بر هم می‌باشد جهت تعیین عرض خالص آن می‌بایست مقطع را روی میانتارش باز نمود.



برای مسیر 1-2-3-9-10 داریم:

$$A_n = \sum_{i=1}^{2} b_{ni} \times t$$

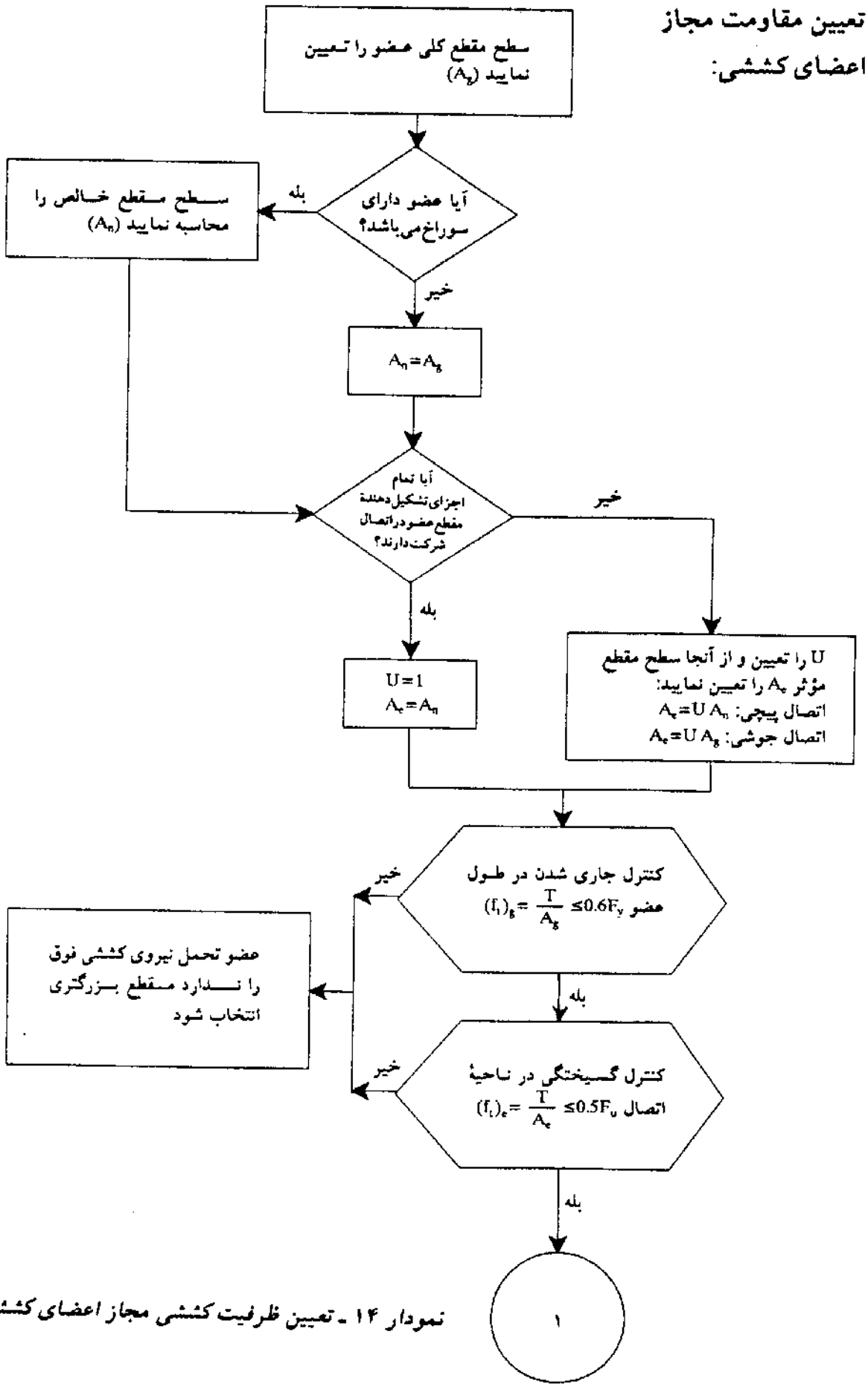
$$\sum b_{ni} = \left\{ \left[b_1 - 2(D_1 + 1.5\,mm) \right] + \left[b_2 - t - 1(D_2 + 1.5) \right] + \frac{S_1^2}{4g_2} \right\}$$

که در آن:

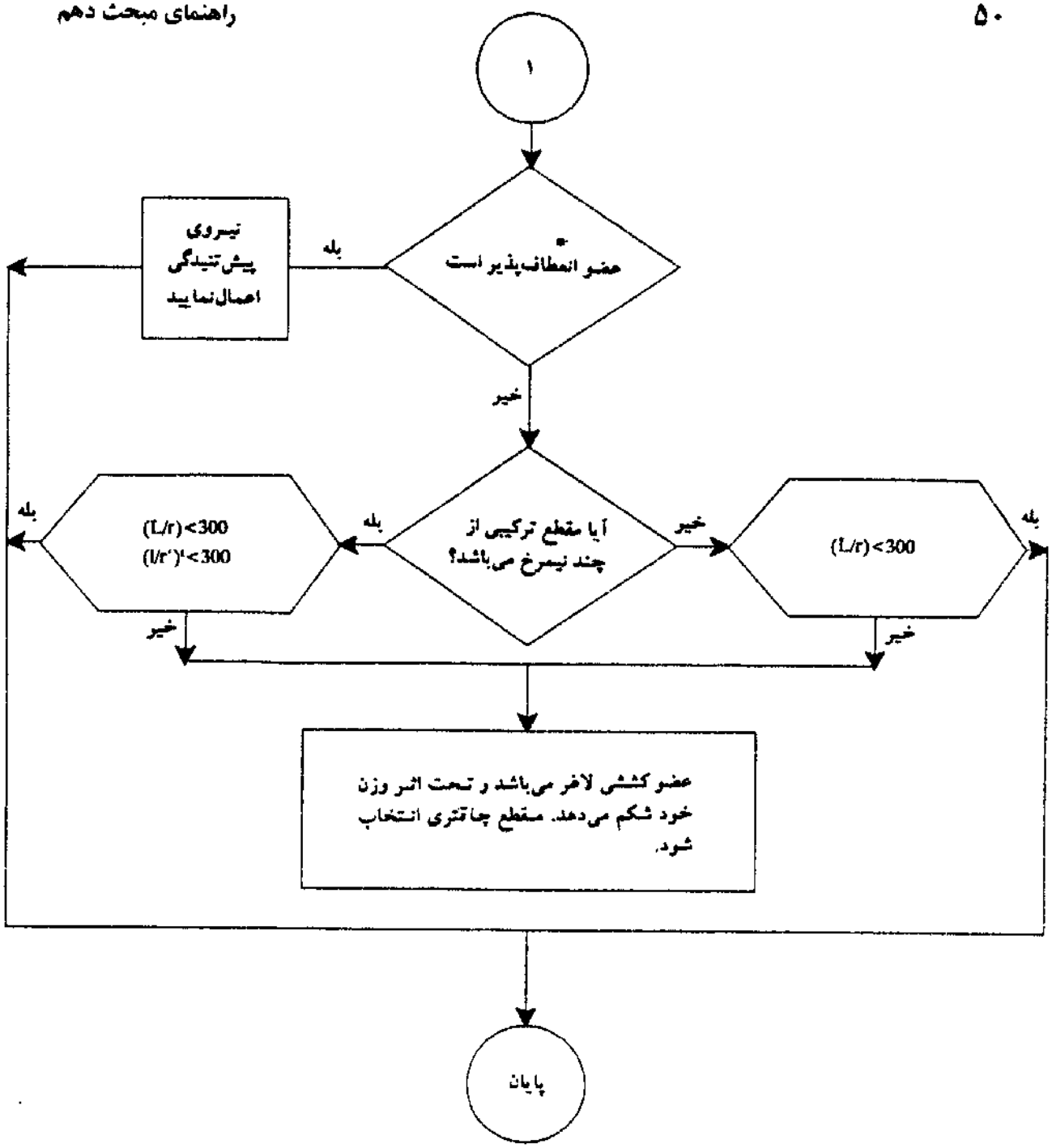
$$g_2 = C_1 + C_4 - 2 \times \frac{t}{2}$$

و S_1 فاصلهٔ طولی (در امتداد نیرو) دو ردیف سوراخی است که مسیر مورب از آن می‌گذرد. و g_2 فاصلهٔ عرضی (عمود بر امتداد نیرو) دو سوراخ مسیر مورب روی صفحهٔ میانتار مقطع می‌باشد.

تعیین مقاومت مجاز اعضای کششی:



نمودار ۱۴ ـ تعیین ظرفیت کششی مجاز اعضای کششی



* اعضا انعطاف‌پذیر به‌اعضایی اطلاق می‌شود که سختی خمشی فوق‌العاده کمی دارند و تحت وزن خود شکم می‌دهند مانند کابلها، میلگردها و مفتولها.

وقتی این اعضاء به‌عنوان عضو کششی در نظر گرفته می‌شوند باید جهت جلوگیری از شکم دادن آنها نیروی پیش‌تنیدگی در حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در آنها وجود داشته باشد. برای این منظور استفاده از بستهای دو پیچ یا وسایل مشابه متداول می‌باشد.

$(l/r')_i$ عبارت است از لاغری تک‌پایه حداقل هر عضو از مقطع مرکب بین دو بست متوالی.

نمودار ۱۵ ـ کنترل لاغری اعضای کششی

مثال ۱

نیروی کششی مجاز را با توجه به‌شکل و مشخصات داده شده به‌دست آورید.

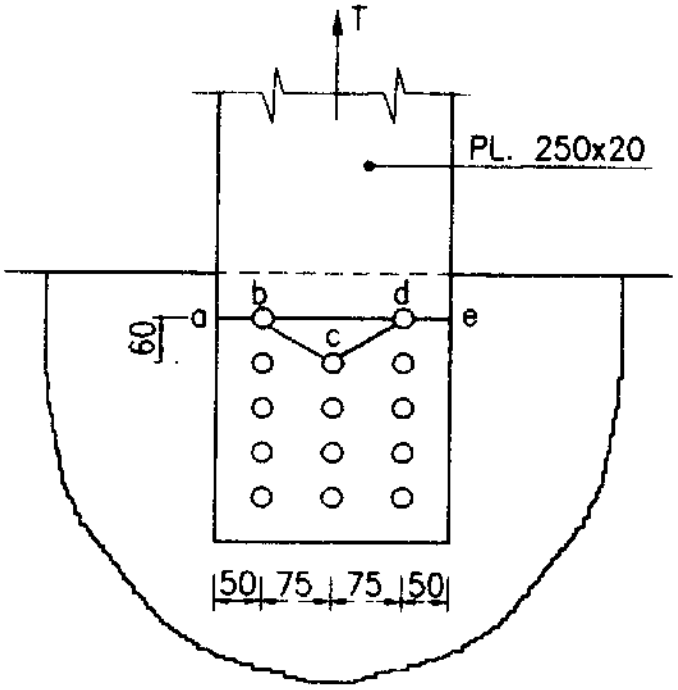
مشخصات فولاد مصرفی:

$F_y=2400\ kg/cm^2$

$F_u=3600\ kg/cm^2$

قطر پیچها 20mm می‌باشد و سوراخ از نوع استاندارد می‌باشد.

مشخصات صفحهٔ فولادی $\begin{cases} b=25\ cm \\ t=2.0\ cm \end{cases}$



حل:

با توجه به‌اینکه سوراخها استاندارد می‌باشند قطر این سوراخها را با توجه به‌جدول ۵ قسمت ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۳ آیین‌نامه به‌دست خواهیم آورد. فرض می‌کنیم سوراخها پانچ شده باشند.

تعیین تنش مجاز کششی:

قطر سوراخ استاندارد $=20+1.5+1.5=23$

سطح مقطع کلی $A_g=25\times2=50\ cm^2$

1) $F_t=0.6F_y=0.6\times2400=1440\ kg/cm^2$ روی سطح مقطع کلی

2) $F_t=0.5F_u=0.5\times3600=1800\ kg/cm^2$ روی سطح مقطع مؤثر

سطح مقطع خالص عبارت است از مقدار کوچکتر به‌دست آمده از دو مسیر زیر:

۱ ـ مسیر «abde»

$$A_n=t\times(b-n\times D)$$

که در آن n تعداد سوراخها در مسیر موردنظر و D قطر سوراخ می‌باشد.

$$A_n=2\times(25-2\times2.3)=40.8\ cm^2$$

۲ ـ مسیر «abcde»

$A_n=t\times(b-n\times D+m\frac{S^2}{4g})$ به‌قسمت ۱۰ ـ ۱ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ ب آیین‌نامه مراجعه شود.

S= فاصلهٔ دو پیچ در امتداد اعمال نیرو

g= فاصلهٔ دو پیچ در امتداد عمود بر اعمال نیرو

m= تعداد خطوط مورب

$$A_n=2(25-3\times2.3+2\times\frac{6.0^2}{4\times7.5})=41.0\ cm^2$$

سطح مقطع خالص نباید از ۸۵٪ سطح مقطع کلی بیشتر در نظر گرفته شود. (۱۰ـ۱ـ۱ـ۱۱ـ پ)

$$0.85A_g=0.85\times50=42.5>40.8\ cm^2 \quad O.K.$$

نیروی کششی مجاز ورق فوق مقدار کوچکتر به‌دست آمده از دو رابطهٔ زیر می‌باشد:

1) $P_{مجاز}=A_g\times0.6F_y=50\times0.6\times2400=72000\ kg=72\ ton$

2) $P_{مجاز}=A_n\times0.5F_u=40.8\times0.5\times3600=73440\ kg=73.44\ ton$

پس نیروی کشش مجاز $P_{مجاز}=72ton$ خواهد بود.

با فرض آنکه ظرفیت مقطع 72ton باشد، این امکان وجود دارد که مقطع روی خط «C» پس از کم کردن سه سوراخ از آن مقاومت کششی ورق را کنترل نماید. اگر برشی را که دو پیچ اولیه حمل می‌کنند از ظرفیت کل کم نماییم باقیماندهٔ بار عبارت خواهد بود از:

$$\frac{12}{14}\times72=61.71\ ton$$

سطح مقطع خالص روی خط C عبارت است از:

$$A_n=t\times(b-n\times D)=2.0(25-3\times2.3)=36.2\ cm^2$$

پس ظرفیت مقطع روی خط C عبارت است از:

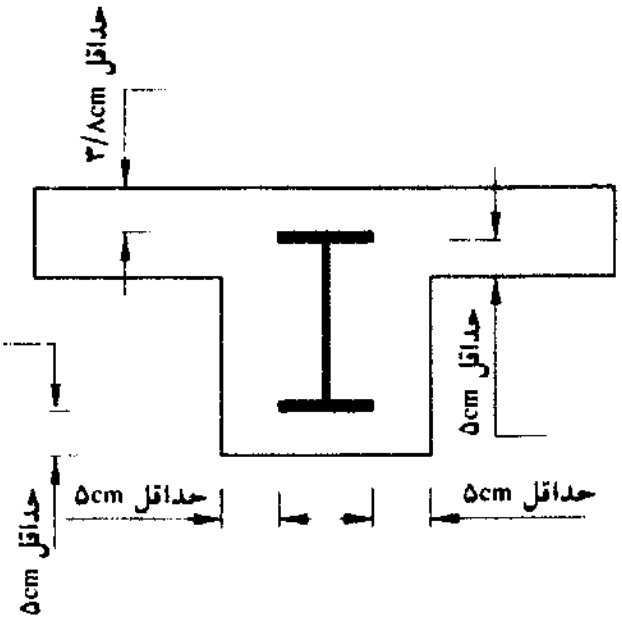
$$P_{مجاز}\ A_n\times0.5F_u=36.2\times0.5\times3600\times10^{-3}=65.16\ ton>61.71\ ton \quad O.K.$$

فصل ۵

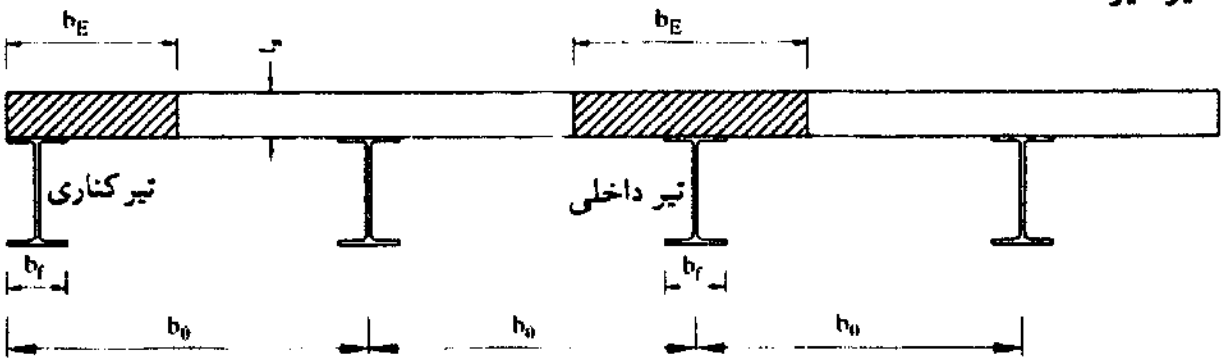
تیرهای مختلط بتنی و فولادی

معرفی پارامترها در تیرهای مختلط

الف: تیر محاط در بتن



تیر غیرمحاط



L= دهانهٔ تیر

تیر کناری

$$b_E = \min \begin{cases} \frac{L}{12} + b_f \\ \frac{1}{2}(b_0 + b_f) \\ b_f + 6t_s \end{cases}$$

تیر داخلی

$$b_E = \min \begin{cases} \frac{L}{4} \\ b_0 \\ b_f + 16t_s \end{cases}$$

مقطع معادل مقطع مختلط:

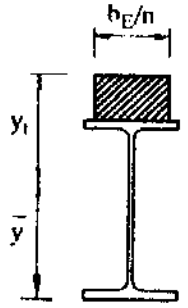
$n = E_s/E_c \cong 10$

I_s = ممان اینرسی مقطع فولادی تنها

I = ممان اینرسی مقطع فولادی معادل

S_s = اساس مقطع فولادی تنها نسبت به‌بال کششی $S_{tr} = I/\bar{y}$

M_D = لنگر ناشی از بار مرده قبل از رسیدن مقاومت دال به $0.75f'_c$ $S_C = I/y_t$



محور خنثی

M_L = لنگر ناشی از بار زنده و آن دسته از بار مرده‌ای که بعد از M_D بر تیر وارد می‌شوند.

b_E = عرض مؤثر

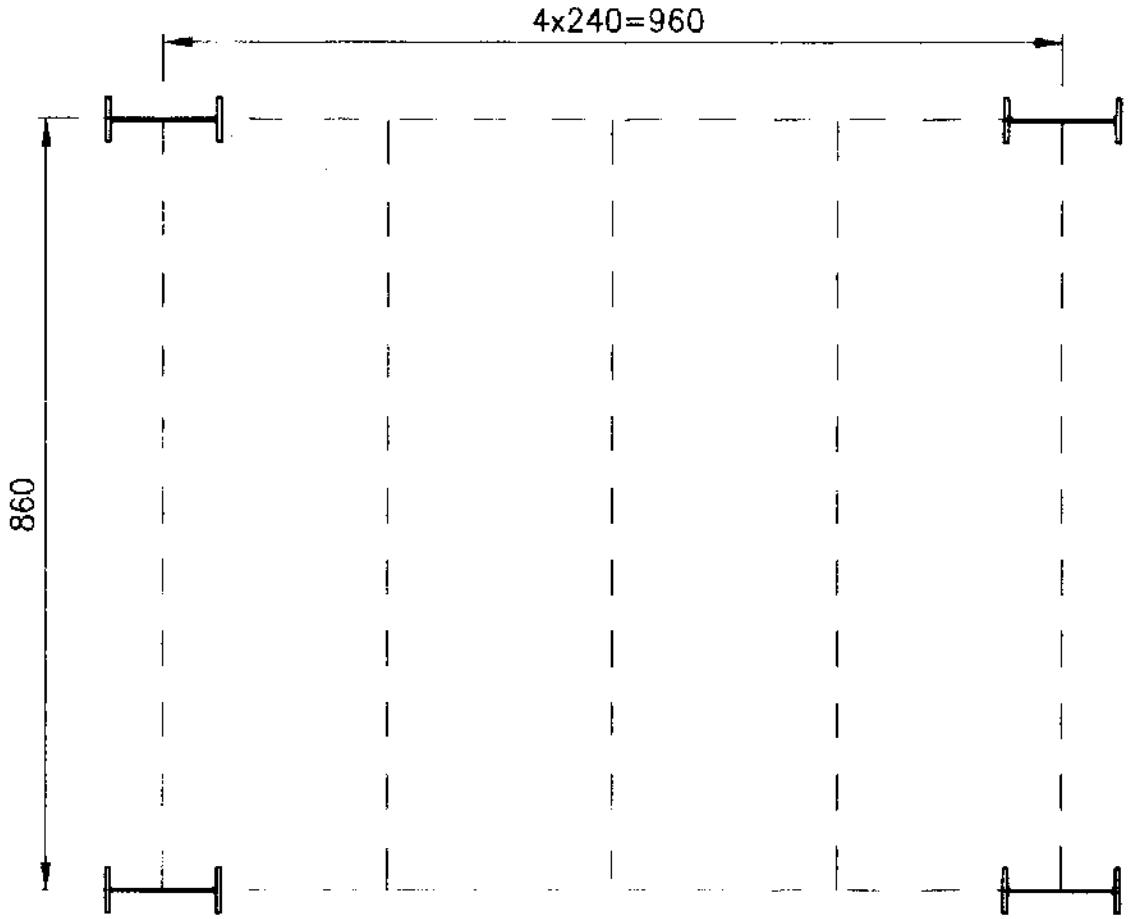
b_E/n = عرض مؤثر تبدیل‌یافته

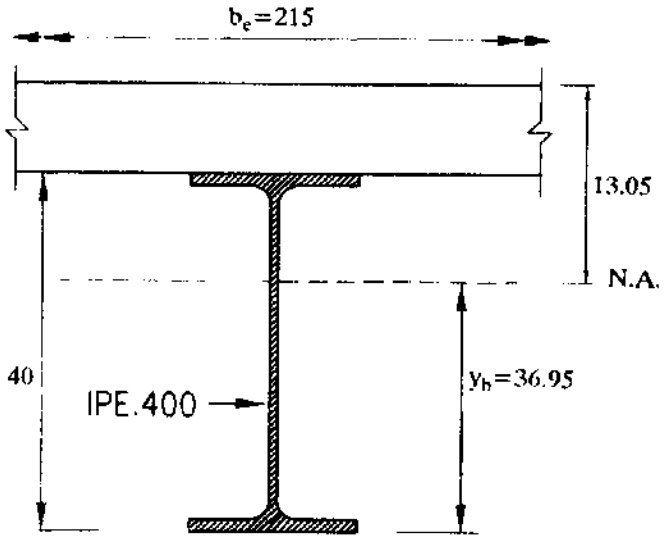
S_{tr} = اساس مقطع تبدیل‌یافته نسبت به‌بال کششی

S_c = اساس مقطع تبدیل‌یافته نسبت به‌تار انتهایی بتن فشاری

مثال

مقطع یک تیر میانی از پلان سقف نشان داده شده در صورتی‌که در هنگام ساخت از پایه‌های موقت استفاده نشود، با فرض $f_y = 2400\ kg/cm^2$ و $f'_c = 200\ kg/cm^2$ و $n = 10$، مقطع تیر مرکب را کنترل نمایید. ضخامت دال بتنی ۱۰ سانتیمتر و بار زنده وارد بر سقف مساوی $500\ kg/m^2$ و بار مرده شامل فرش کف و تیغه‌بندیها مساوی $250\ kg/m^2$ است.





IPE240

h=40 cm

b=18 cm

t_f=1.35 cm

t_w=0.86

حل:

مشخصات هندسی نیمرخ IPE400 برحسب واحد سانتیمتر به‌شرح زیر می‌باشد:

$d=40$, $b_f=18$, $t_f=1.35$, $A=84.5$, $I_x=23130$, $S_x=1160$

عرض مؤثر بال بتنی (b_E):

$b_E=\frac{1}{4}$ (دهانه) $=\frac{1}{4}\times 860=215$ cm

$b_E=$ فاصلهٔ مرکز به‌مرکز $=240$

عرض تبدیل‌یافته $=215/10=21.5$ cm

$I_{tr}=60334$ cm^4 $S_c=1160$ cm^3

$y_b=38.18$ cm

$S_{tr}=1581$ cm^3

$S_{con}=5103$ cm^3

بار مردهٔ گروه ۱:

وزن تیر $=0.0663$ T/m

وزن دال $=2.4\times 0.1\times 2.4=0.58$

$q_{d1}=0.65$ T/m

بار مردهٔ گروه ۲:

$q_{d2}=0.25\times 2.4=0.6$ T/m

بار زنده:

$q_l=0.5\times 2.4=1.2$ T/m

$q_t=0.65+0.6+1.2=2.45$ T/m

$S_{tr}=1581\le\left(1.35+0.35\times\frac{1.8}{0.65}\right)1160=2690$ cm^3 خوبست

$M_t=2.45\times 8.60^2/8=22.65$ T.m

در بال تحتانی $f_b=\frac{22.65\times 10^5}{1581}=1432<0.66F_y=1580$ خوبست

$f_c=\frac{22.65\times 10^5}{5103}\times\frac{1}{10}=44.4<0.45f'_c=90$ kg/cm^2

طراحی اتصالات برشی

$V_h=0.85f'_cA_c=0.85\times200\times240\times10\times10^{-3}=408$ T

$V_h=A_sF_y=84.5\times2400\times10^{-3}=202.8$ T حاکم است.

اگر از گل‌میخ ۲۰ میلیمتر به‌تعداد دو عدد در هر ردیف استفاده شود داریم:

$q=2\times5=10T$

تعداد ردیف گل‌میخها در نصف دهانه $=202.8/10=20.3$

از ۴۰ ردیف گل‌میخ دوتایی در کل تیر خواهیم داشت:

$$p=\frac{860}{40}=21.5 \text{ cm}$$

فواصل ردیف گل‌میخها مساوی ۲۰ سانتیمتر اختیار می‌شود.

کنترل برش

$V=2.45\times8.60/2=10.54$ T

$f_v=10.54\times10^3/(40\times0.86)=306 \text{ kg/cm}^2<960 \text{ kg/cm}^2$

کنترل تغییرمکان

$$\Delta=\frac{5}{384}\times\frac{ql^4}{EI}$$

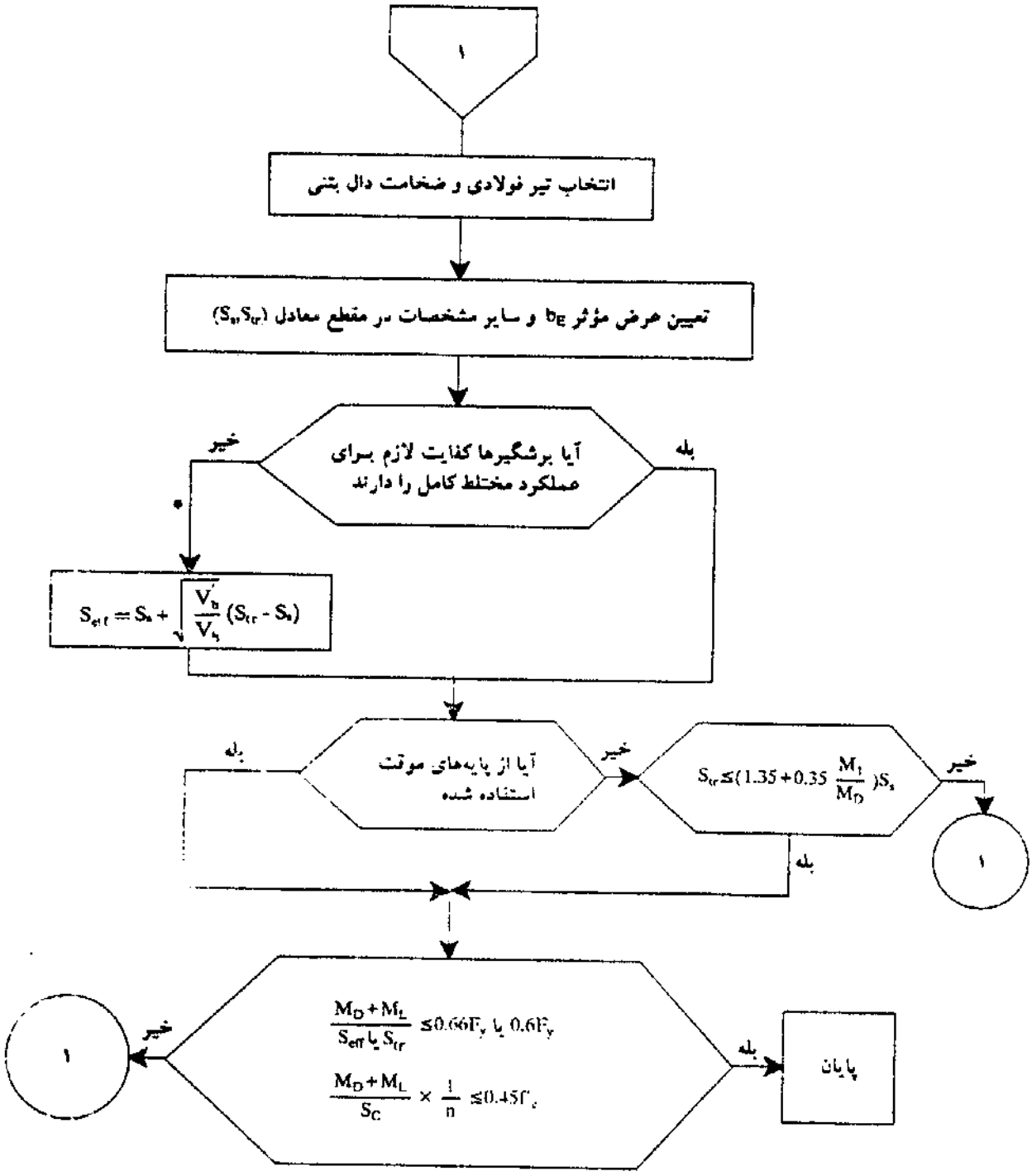
$$\Delta_{d1}=\frac{5}{384}\times\frac{6.5\times860^4}{2.1\times10^6\times23130}=0.95 \text{ cm}$$

$$\Delta_{d2}=\frac{5}{384}\times\frac{6\times860^4}{2.1\times10^6\times60334}=0.34 \text{ cm}$$

$$\Delta_l=\frac{5}{384}\times\frac{12\times860^4}{2.1\times10^6\times60334}=0.67 \text{ cm}$$

$\Delta_T=0.95+0.34+0.67=1.96$ cm

طرح تیر مختلط فولادی و بتنی غیرمحاط در بتن:

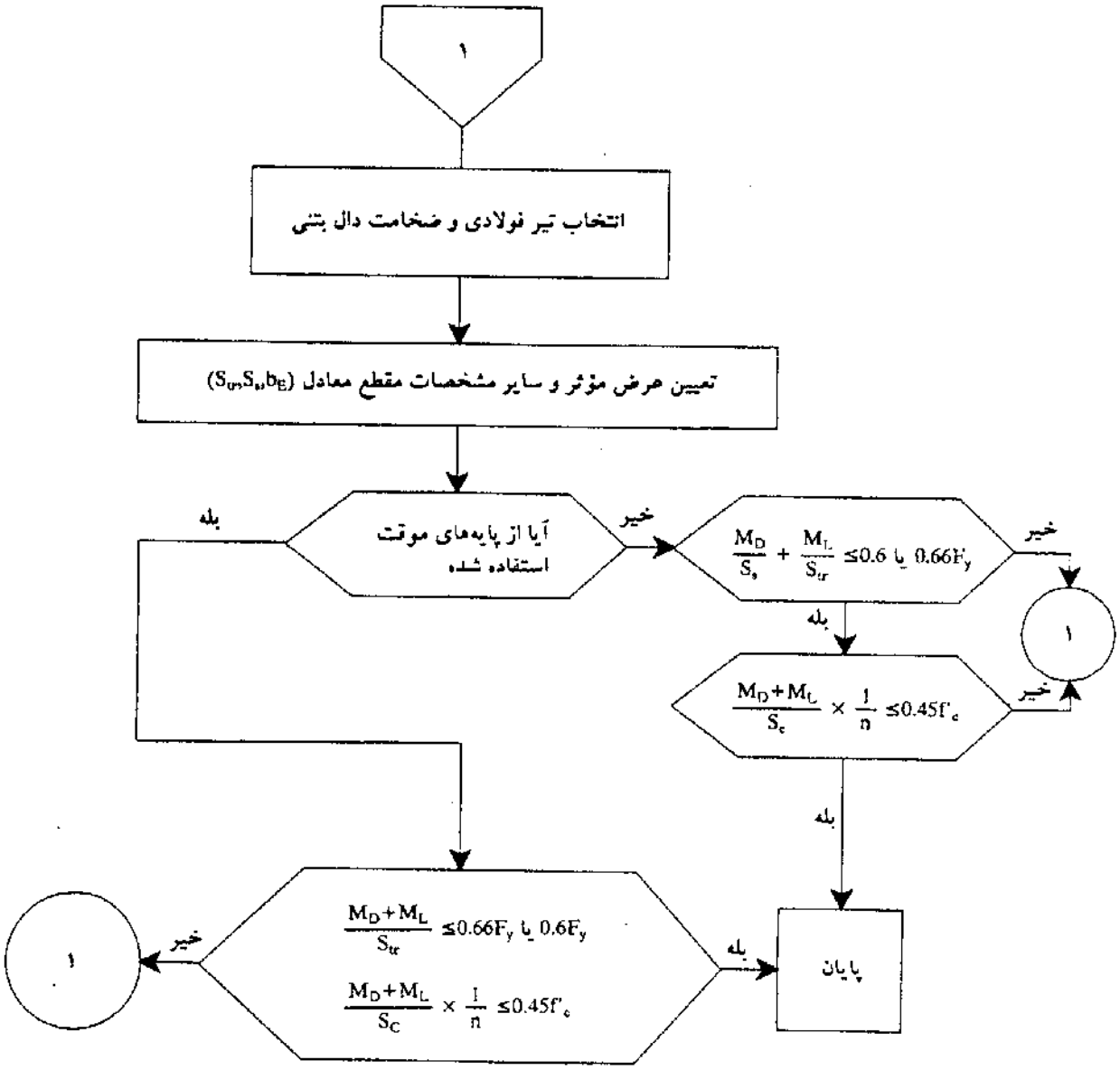


* برای طراحی برشگیر به‌نمودار ۱۸ مراجعه نمایید.

** کنترل برش طبق نمودار ۹ انجام می‌شود و بتن دال در باربری برشی شرکت داده نمی‌شود

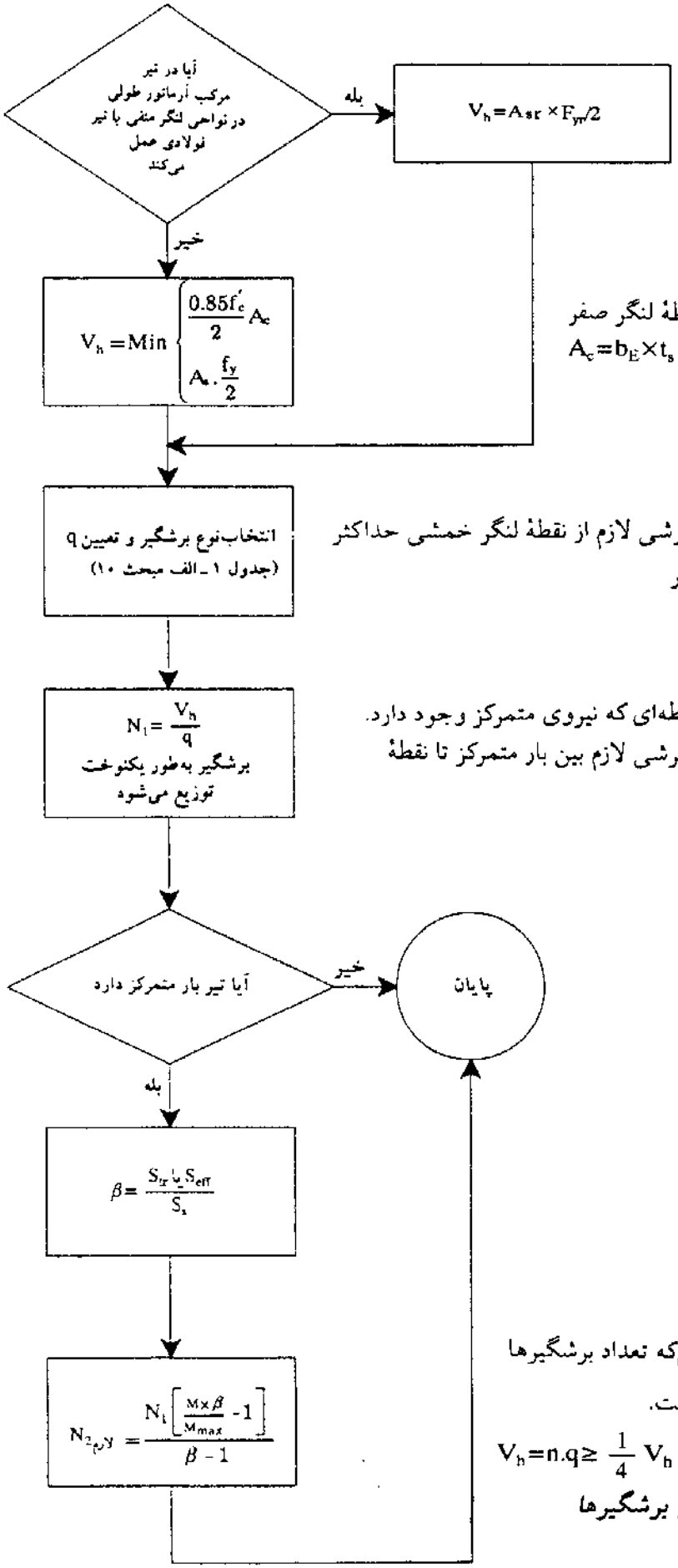
نمودار ۱۶ ـ طراحی مقاطع مختلط محاط نشده

طرح تیر مختلط فولادی و بتنی محاط شده در بتن:



* کنترل برش طبق نمودار ۹ انجام شده و بتن دال در باربری برشی شرکت داده نمی‌شود.

نمودار ۱۷ ـ طرح مقاطع مختلط محاط شده



V_h= بین حداکثر لنگر مثبت و نقطهٔ لنگر صفر

$A_c=b_E\times t_s$

N_1= تعداد اتصالات برشی لازم از نقطهٔ لنگر خمشی حداکثر تا نقطهٔ لنگر صفر

M= مقدار لنگر در نقطه‌ای که نیروی متمرکز وجود دارد.

N_2= تعداد اتصالات برشی لازم بین بار متمرکز تا نقطهٔ لنگر صفر

* $N_1=\frac{V_h}{q}$ یا $\frac{V'_h}{q}$ در تیرهایی‌که تعداد برشگیرها برای عملکرد مختلط کافی نیست.

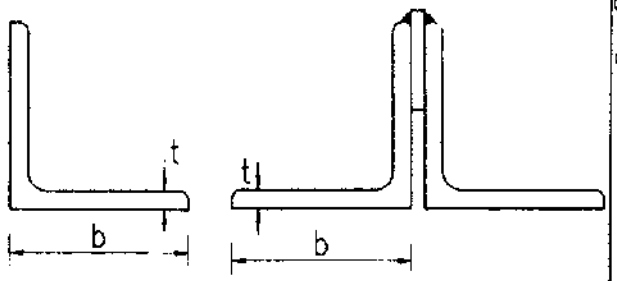
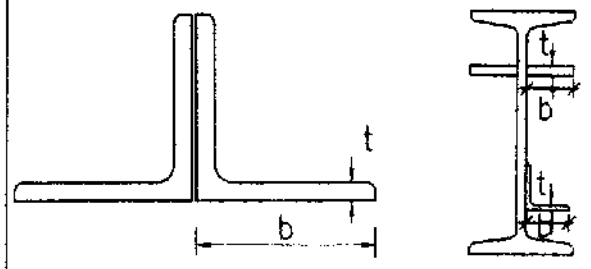
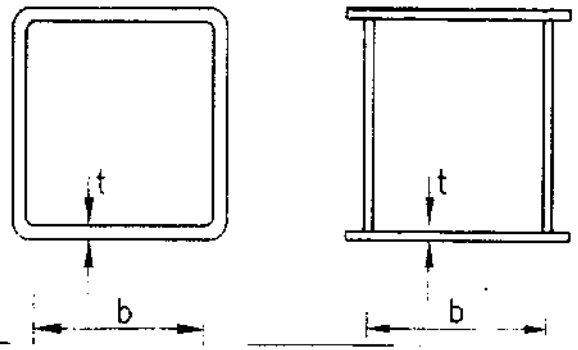
$V_h=n.q\geq\frac{1}{4}V_h$

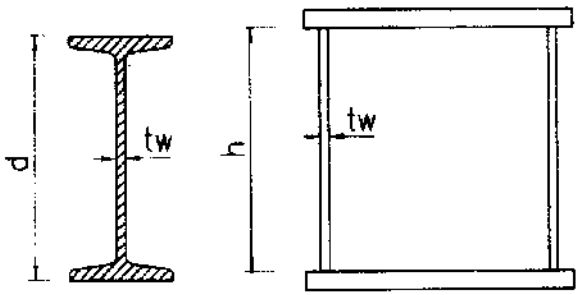
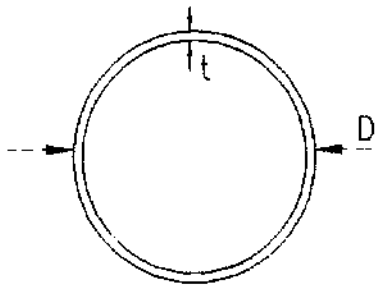
نمودار ۱۸ ـ طراحی برشگیرها

فصل ۶

ستونهای تحت اثر بار محوری

• تعیین محدودیتهای پهنای آزاد به‌ضخامت در عناصر فشاری ستونها:

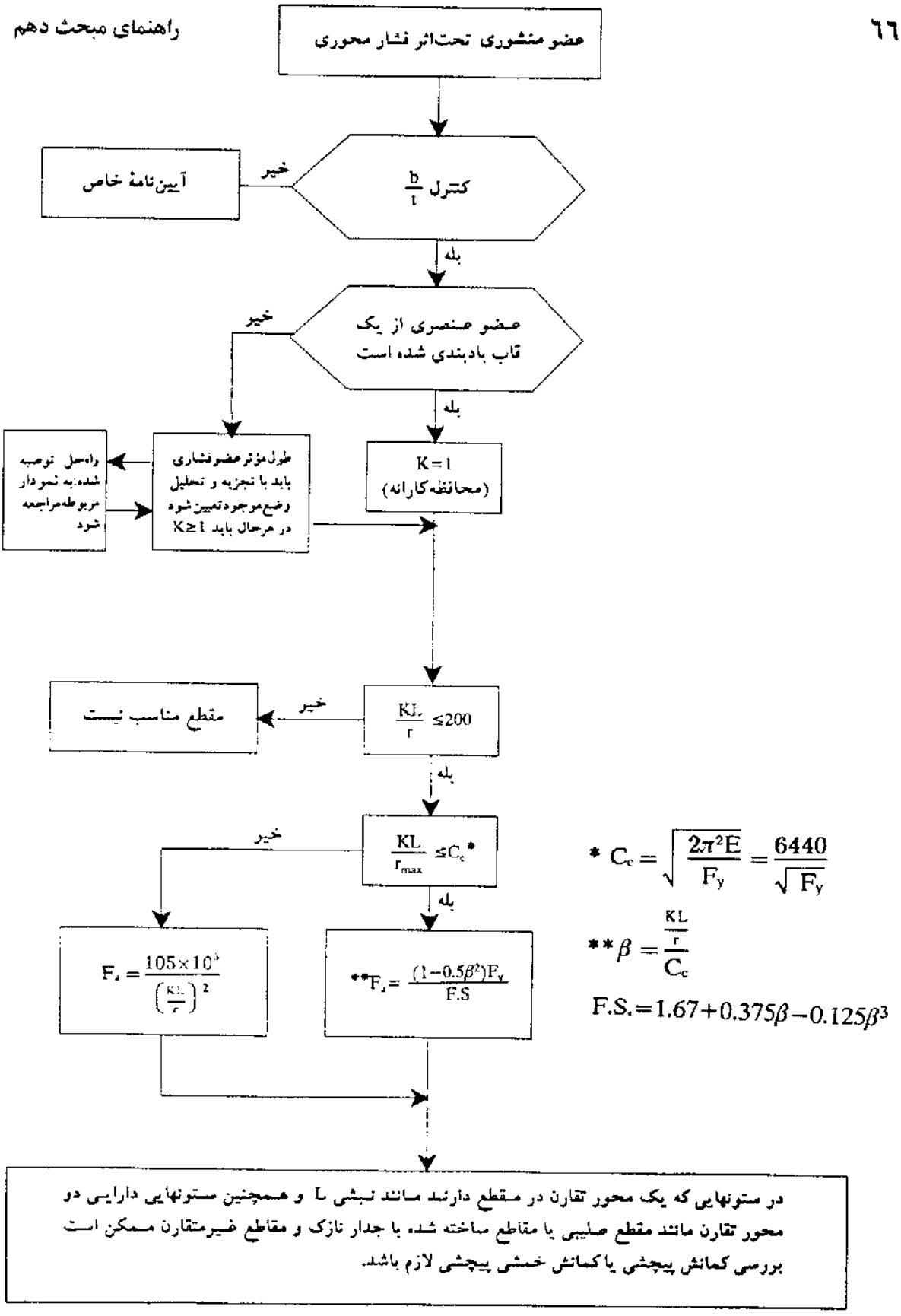
عضو تحت تنش		پهنا	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
توضیح	شکل	به‌ضخامت	مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
عضو فشاری تک‌نبشی یا جفت‌نبشی با اتصال و لقمه‌های بین دو نیمرخ		b/t	کاربرد ندارد	$\frac{635}{\sqrt{F_y}}$
بالهای برجسته درعضو فشاری جفت نبشی در تماس سرتاسری با یکدیگر تسمه‌هایانبشیها که به‌طور برجسته بر ستون قرار می‌گیرند		b/t	کاربرد ندارد	$\frac{795}{\sqrt{F_y}}$
بالهای مقطع قوطی شکل (مربع یامستطیل) با ضخامت ثابت جدار در فشار		b/t	$\frac{1590}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{1995}{\sqrt{F_y}}$

عضو تحت تنش		پهنا	حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت	
توضیح	شکل	به‌ضخامت	مقاطع فشرده	مقاطع غیرفشرده
جان قطعات تحت‌اثر مشترک فشار حاصل‌از خمش و فشار محوری		$\frac{d}{t_w}$	برای حالت $f_a/F_a \le 0.16$ $\frac{5365}{\sqrt{F_y}}\left(1-3.74\frac{f_a}{F_y}\right)$ برای حالت $\frac{f_a}{F_y} > 0.16$ $\frac{2155}{\sqrt{F_y}}$	
		$\frac{h}{t_w}$		$\frac{6370^*}{\sqrt{F_b}}$
مقطع دایره‌ای توخالی تحت فشار محوری		D/t	$\frac{232\times10^3}{F_y}$	

* پیشنهاد می‌شود به‌جای رابطهٔ مزبور، از رابطهٔ زیر که اثر نیروی محوری نیز در آن مخلوط شده استفاده شود:

$$\frac{6370}{\sqrt{F_b}}\left(1-1.25\frac{f_a}{F_y}\right)$$

f_a= تنش فشاری موجود $\frac{kg}{cm^2}$ f_y= حد جاری‌شدن فولادمصرفی $\frac{kg}{cm^2}$ F_b= تنش مجاز درخمش $\frac{kg}{cm^2}$ D= قطر خارجی لوله

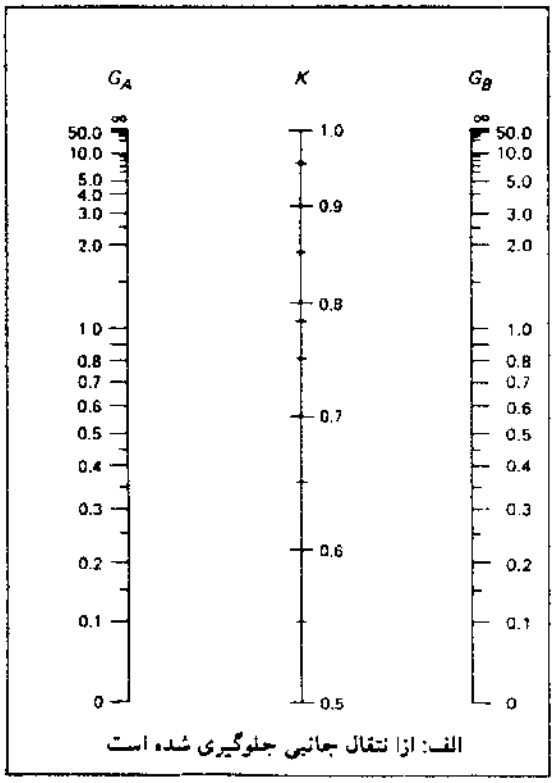


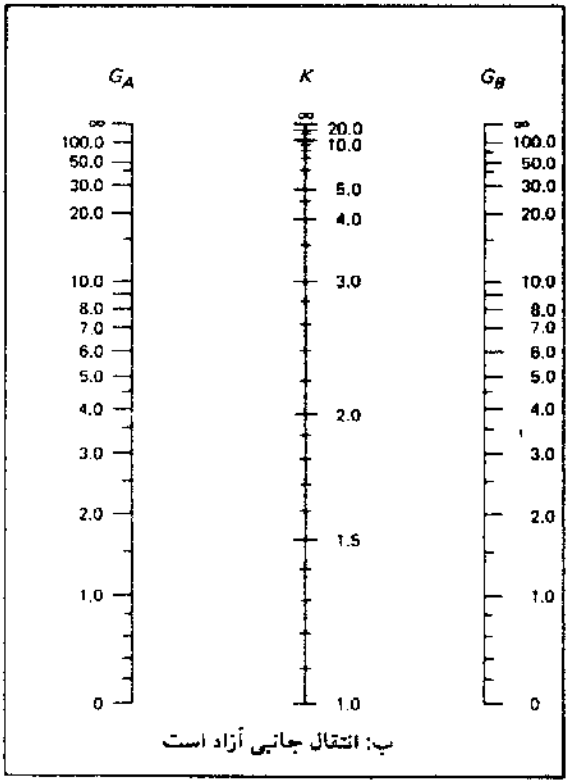
$$^{*}C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \frac{6440}{\sqrt{F_y}}$$

$$^{**}\beta = \frac{\frac{KL}{r}}{C_c}$$

$$F.S. = 1.67 + 0.375\beta - 0.125\beta^3$$

نمودار ۱۹ ـ طراحی اعضای فشاری





$$K = \frac{3G_AG_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_AG_B + 2(G_A + G_B) + 1.28} \qquad K = \sqrt{\frac{1.6\,G_AG_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{G_A + G_B + 7.5}}$$

نمودار ۲۰ ـ نمودار تعیین ضریب طول مؤثر در قابها

شکل کمانشی ستون به‌وسیلهٔ خط چین نشان داده شده است	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
مقادیر تئوریک K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0*
مقادیر توصیه‌شده برای طراحی	0.65	0.80	1.0	1.2	2.10	2.0
شرایط انتهائی	انتقال گیردار چرخش گیردار انتقال گیردار چرخش آزاد انتقال آزاد چرخش گیردار انتقال آزاد چرخش آزاد					

نمودار ۲۱ ـ ضریب طول مؤثر کمانش چند ستون متعارف

مثال ۱

مطلوب است طراحی یک ستون فولادی به‌طول 6m و بار محوری 235T از نیمرخ IPB و فولاد نرمه ($F_y=2400kg/cm^2$). دو انتهای ستون مورد نظر با اتصال صلب به‌تکیه‌گاه متصل شده ضمناً از انتقال جانبی ستون حول محور ضعیف جلوگیری شده است.

نیمرخ تک IPB

مشخصات فولاد مصرفی:

$F_y=2400kg/cm^2$

$F_u=3600\ kg/cm^2$

وزن فرضی ستون

$P=235T+W_c$

$W_c=0.9\ T$

$P=235.9\ T$

تنش مجاز فشاری فرضی ستون

$F_a=1200\ kg/cm^2$

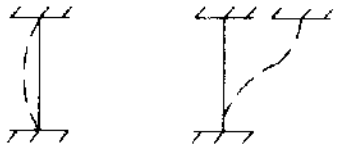
$A=\frac{235900}{1200}=196cm^2$

IPB 400 $W_c=0.93\cong 0.9T$

$A=198\ cm^2$

$r_x=17.1\ cm$

$r_y=7.4\ cm$



حول محور قوی حول محور ضعیف

شکل کمانشی ستون

با استفاده از توصیه‌های طراحی نمودار ۲۱

$K_x=1.2$

$K_y=0.65$

$$\lambda_x=\frac{1.2\times600}{17.1}=42.1$$

$$\lambda_y=\frac{0.65\times600}{7.4}=52.7$$

$\lambda_{max}=\lambda_y$

$52.7<200$

کنترل پهنای آزاد به‌ضخامت عضو فشاری

$$*\frac{h}{t}=\frac{40}{1.35}=29.6<\frac{2120}{\sqrt{F_y}}=43.3$$

$$\frac{b}{2t}=\frac{30}{2\times2.4}=6.25<\frac{795}{\sqrt{F_y}}=16.2$$

$$f_a=\frac{235900}{198}=1191\ kg/cm^2$$

$$C_c=\frac{6440}{\sqrt{F_y}}=131$$

$52.7<131$

$$F.S=\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\left(\frac{52.7}{131}\right)-\frac{1}{8}\left(\frac{52.7}{131}\right)^3$$

$$F_a=\frac{2400}{1.81}\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{52.7}{131}\right)^2\right]=1218$$

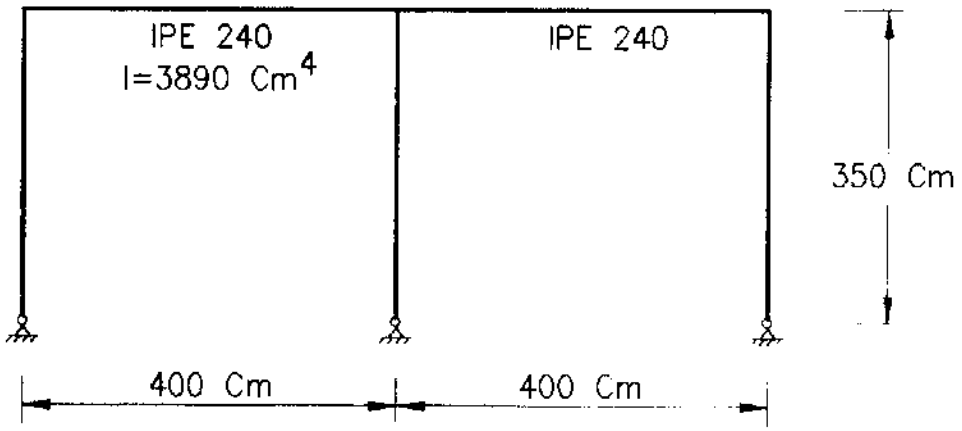
$f_a=1191<F_a$

مقطع انتخابی IPB400

مثال ۲

مطلوب است طراحی ستون میانی قاب شکل زیر، از نیمرخ IPB و فولاد نرمه st-37 استفاده شود. نیروی محوری 92.5T بر ستون وارد می‌شود. دهانه‌های مجاور ستون در صفحهٔ عمود بر قاب مهاربندی شده است.

نیمرخ تک IPB



مشخصات فولاد مصرفی:

$F_y=2400\ kg/cm^2$

$F_u=3600\ kg/cm^2$

وزن فرضی ستون

$P=92.5\ T+W_c$

$W_c=0.200\ T$

$P=92.7\ T$

تنش مجاز فرضی ستون

$F_a=1000\ kg/cm^2$

$A=\frac{92700}{1000}=92.7\ cm^2$

IPB220 $W_c=0.25=0.2T$

$A=91\ cm^2$

$r_x=9.34\ cm$

$r_y=5.59\ cm$

$I_x=8090\ cm^4$

کنترل پهنای آزاد به‌ضخامت عضو فشاری

$\frac{h}{t}=\frac{22}{0.95}=23.1<43.3$

$\frac{b}{2t}=\frac{22}{2\times1.6}=6.9<16.2$

$$G_T = \frac{\frac{8090}{350}}{\frac{2\times 3890}{400}} = 1.2$$

$$G_B = 10$$

انتقال جانبی آزاد است $K_x = 1.9 > 1$

$$K_y = 1$$

$$\lambda_x = \frac{1.9\times 350}{9.34} = 71.2$$

$$\lambda_y = \frac{1\times 350}{5.59} = 62.6$$

$$\lambda_{max} = \lambda_x = 71.2$$

$71.2 < 200$

$$f_a = \frac{92700}{91} = 1018.7 \text{ kg/cm}^2$$

$71.2 < 131$

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3}{8}\left(\frac{71.2}{131}\right) - \frac{1}{8}\left(\frac{71.2}{131}\right)^3 = 1.85$$

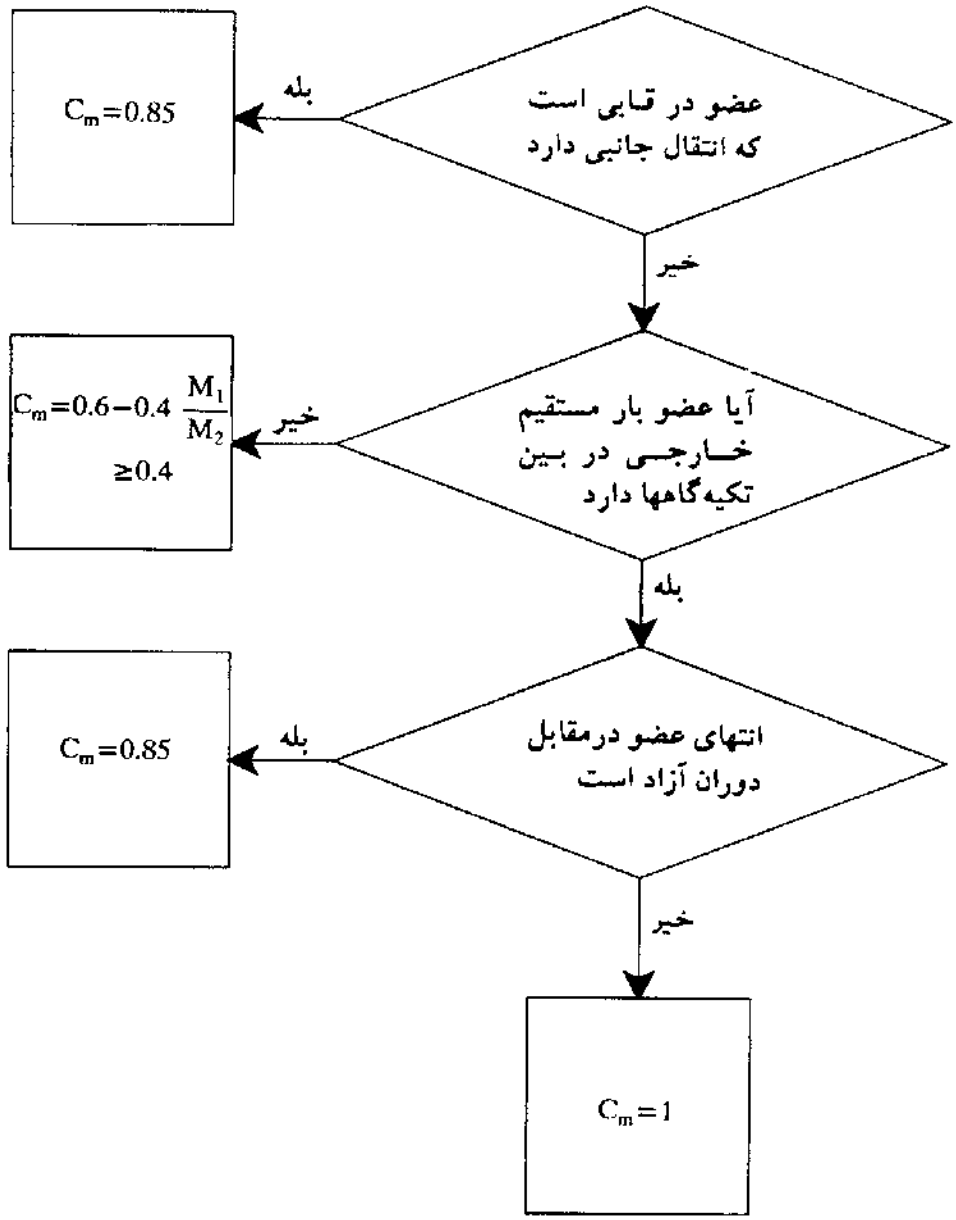
$$F_a = \frac{2400}{1.85}\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{71.2}{131}\right)^2\right] = 1363 \text{ kg/cm}^2$$

$f_a = 1019 < F_a$

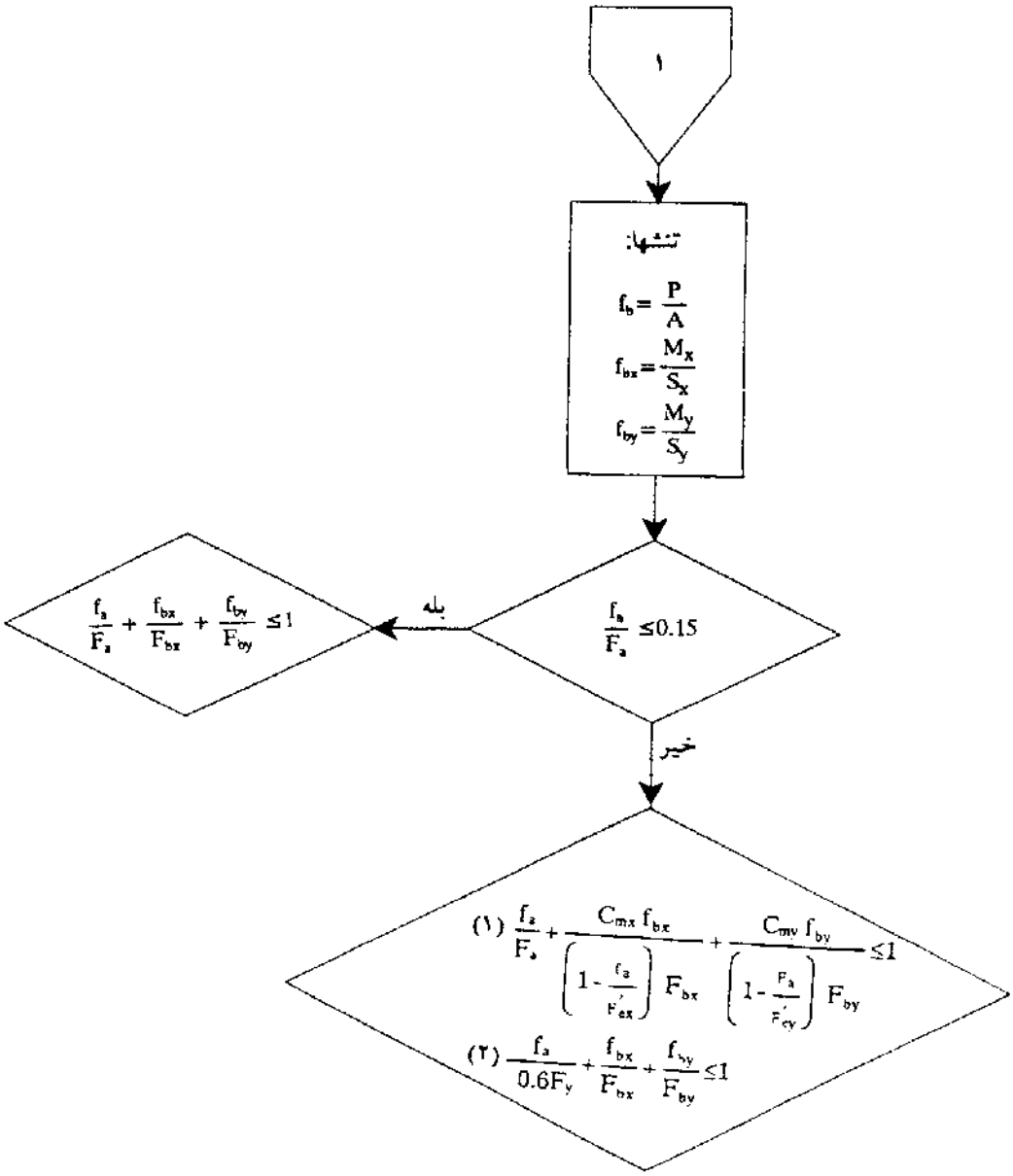
مقطع انتخابی IPB220

فصل ۷

ستونهای تحت اثر بار محوری و لنگر خمشی



نمودار ۲۲ ـ تعیین C_{mx} و C_{my} برای طراحی عضو تحت فشار محوری و لنگر خمشی



(۱) توضیح: اگر بارگذاری جانبی بین تکیه‌گاهها موجود باشد در رابطهٔ (۱) بار f_{bx} و f_{by} را براساس لنگر بین تکیه‌گاهی محاسبه کرد و در رابطهٔ (۲) براساس لنگر تکیه‌گاهی محاسبه کرد. در صورتی‌که بارگذاری جانبی نداشته باشیم تنشهای ذکرشده براساس حداکثر لنگر محاسبه می‌شوند.

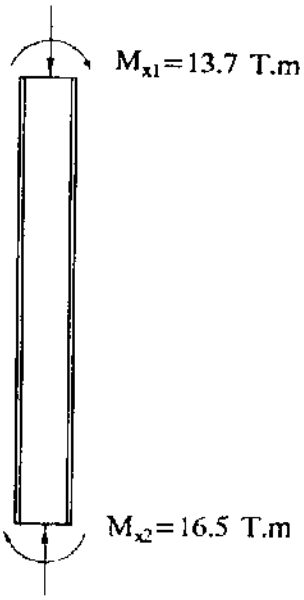
$$F'_e = \frac{105\times10^5}{\left(\frac{Kl}{r}\right)^2}$$

(۲) توضیح: در حالت بارگذاری اضطراری می‌توان تنش F'_e را نیز $\frac{1}{3}$ افزایش داد.

نمودار ۲۳ ـ طراحی اعضا تحت بار محوری فشاری و لنگر خمشی

مثال،

ستونی به‌طول ۷/۳ متر بار فشاری محوری معادل ۲۴۰ تن و ممانهایی مطابق شکل زیر را بایستی تحمل کند این ستون در هر دو انتها و در هر دو امتداد x و y مهار شده است. مطلوب است طرح این ستون.



انتخاب IPBV320 :

$A=312$, $r_x=14.8$, $r_y=8$, $S_x=3800$ (نیمرخ فشرده است)

از چارتهای مربوطه:

$$\frac{Ld}{A_f}=\frac{730\times35.9}{30.9\times4}=212<600 \longrightarrow F_{bx}=1440$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{max}=\frac{1\times730}{8}=91.25 \longrightarrow F_a=963$$

$$f_a=\frac{240\times10^3}{312}=769<963$$

$$f_{bx}=\frac{M}{S}=\frac{16.5\times10^5}{3800}=458<1440$$

$$\frac{f_a}{F_a} = \frac{769}{963} = 0.8 > 0.15$$

$$F'_{ex} = \frac{105\times10^5}{\left(\frac{kl}{r_x}\right)^2} = \frac{105\times10^5}{\left(\frac{1\times730}{14.8}\right)^2} = 4316$$

$$C_{mx} = 0.6 - 0.4\left(\frac{M_1}{M_2}\right) = 0.27 \Rightarrow C_{mx} = 0.4$$

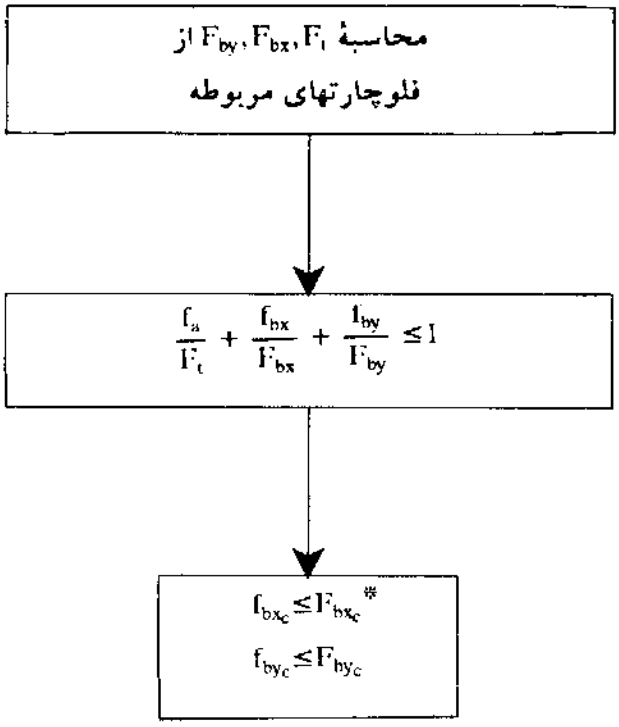
کنترل فرمول ۱:

$$\frac{769}{963} + \frac{0.4\times458}{\left(1-\frac{769}{4316}\right)1440} = 0.952 < 1 \qquad \text{O.K.}$$

کنترل فرمول ۲:

$$\frac{769}{0.6\times2400} + \frac{458}{1440} = 0.85 < 1 \qquad \text{O.K.}$$

مقطع انتخابی IPBV320



* f_b = تنش خمشی حاصل از لنگر خمشی
F_b = تنش خمشی مجاز
f_a = تنش کششی حاصل از کشش محوری
F_t = تنش کششی مجاز

نمودار ۲۴ ـ طراحی اعضا تحت بار محوری کششی و لنگر خمشی

فصل ۸

ستونهای مشبک

(با بستهای چپ و راست و بستهای افقی)

معرفی پارامترها

$l' = \frac{b}{\sin\alpha}$ = طول قیدهای چپ و راست L'

$l_1 = \frac{2b}{\mathrm{tg}\alpha}$ = فاصلهٔ بین دوسر قیدهای افقی در امتداد ستون L_1

Y = محوری از مقطع ستون که عمود بر قیدها است

X = محوری از مقطع ستون که موازی قیدها است

اگر $b \geq 38cm$ ، ارجح است که بستها به‌صورت زوج در نظر گرفته شوند و یا در آنها از نیمرخ نبشی استفاده گردد.

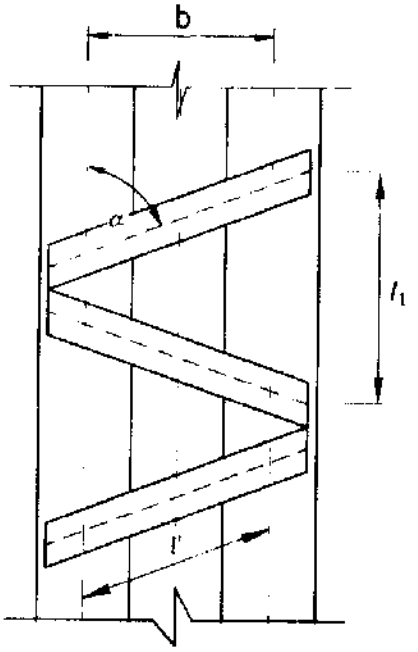
توصیه می‌شود که:

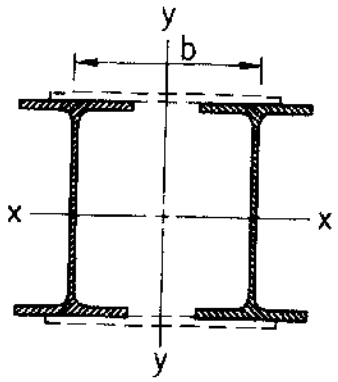
اگر $\alpha \geq 60$ آنگاه از بست تکی استفاده می‌شود.

اگر $\alpha \geq 45$ آنگاه از بست دوبل استفاده می‌شود.

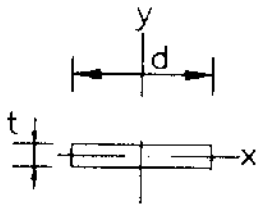
$\lambda_x = (kL/r)_x$

$\lambda_y = (kL/r)_y$



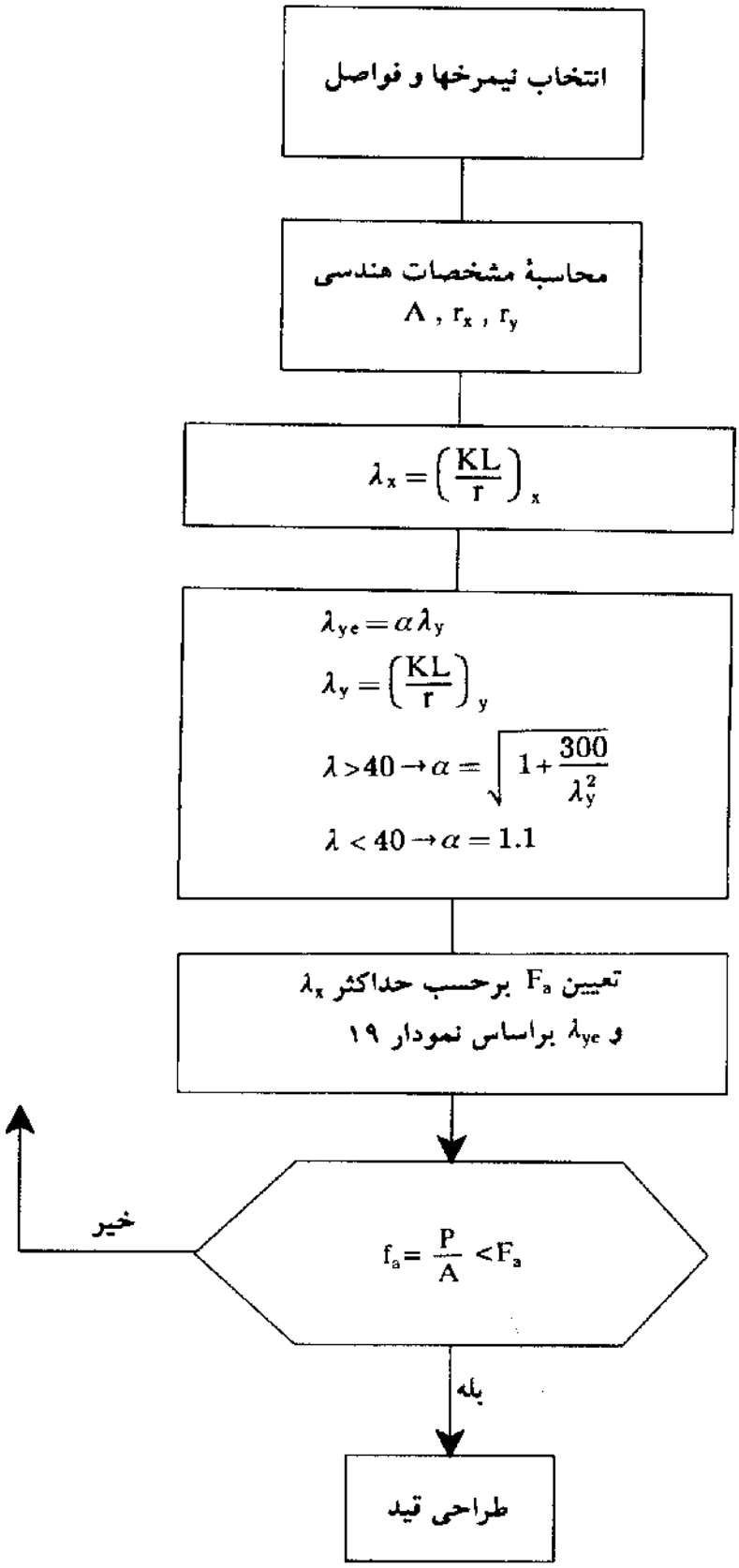


ابعاد قید:

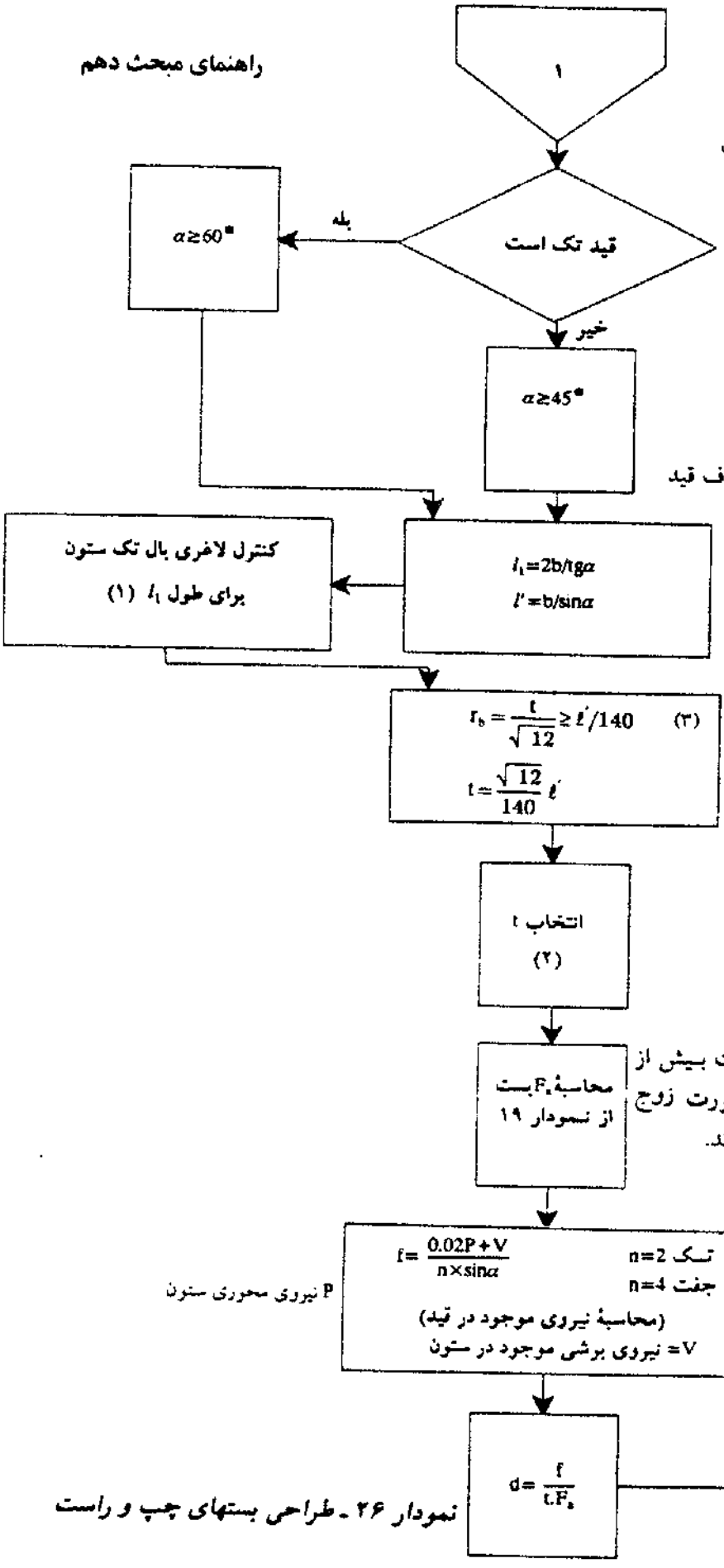


$$\begin{cases} r_x = 0.29\,t \\ r_y = 0.29\,d \end{cases}$$

$\frac{l_1}{r_x} < 140$, $\frac{l_1}{r_x} \rightarrow F_a$ قید



نمودار ۲۵ ـ طراحی ستونها با بستهای چپ و راست



نمودار ۲۶ ـ طراحی بستهای چپ و راست

* این شروط به‌صورت توصیه است

(۱) $\frac{l_1}{r} \leq \frac{3}{4}\lambda_{Max}$

(۲) طبق آیین‌نامه:

$t_{قید} \geq \frac{1}{50} h$

h= فاصله بین دو خط اتصال دو طرف قید

(۳) طبق آیین‌نامه:

$\frac{L}{r} \leq 140$ بست تکی*

$\frac{L}{r} \leq 200$ بست زوج

و ضمناً:

اگر فاصله بین اتصالات دو سر بست بیش از 38cm باشد ارجح است بستها به‌صورت زوج باشند یا از نیمرخ نبشی انتخاب شوند.

P= نیروی محوری ستون

مشخصات قیدهای انتهایی:

۱ ـ طول قیدهای انتهایی (در جهت طول ستون) حداقل برابر با b (فاصلهٔ مرکز تا مرکز پروفیلهای تشکیل‌دهندهٔ ستون) بوده و معمولاً بستهای انتهایی به‌صورت مربع اجرا می‌شوند.

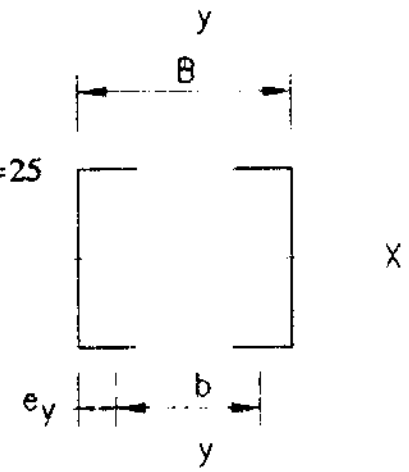
۲ ـ حداقل ضخامت قیدهای انتهایی $\frac{1}{40}$ b در نظر گرفته شود. معمولاً علاوه بر رعایت حداقل فوق ضخامت ورقهای انتهایی برابر با ضخامت ورقهای بست یا قیدهای میانی در نظر گرفته می‌شود.

مثال:

مطلوب است طرح ستون مرکب با بست چپ و راست با مشخصات زیر:

از دو نیمرخ ناودانی

$$\begin{cases} P=50\ \text{ton} \\ Kl=8.5\ \text{m} \\ K=1 \end{cases}$$



فرض $F_a=1000 \rightarrow A=\frac{P}{f_a}=\frac{50\times10^3}{1000}=50 \rightarrow A'=\frac{A}{2}=25$

2UNP20 , $A=32.2$, $r_x=7.7$, $r_1=2.14$, $e_y=2.01$

$$\lambda_x=\frac{Kl}{r}=\frac{850}{7.7}=110.4 \xrightarrow{\text{نمودار ۱۹}} F_a=813$$

$$f_a=\frac{P}{A}=\frac{50\times10^3}{32.2\times2}=777<813$$

محاسبهٔ فاصلهٔ نیمرخها از یکدیگر با فرض $\lambda_{ye}=\lambda_x$

(تقریب اول) $\lambda_y=\lambda_x=110.4 \rightarrow \alpha=\sqrt{1+\frac{300}{\lambda_y^2}}=1.012$

$$\lambda_{ye}=\alpha\lambda_y\le\lambda_x \rightarrow \alpha\left(\frac{Kl}{r_y}\right)_y=\left(\frac{Kl}{r_x}\right)_x \quad r_y\ge\alpha r_x$$

$$r_y=\sqrt{r_1^2+\left(\frac{b}{2}\right)^2} \rightarrow r_1^2+\frac{b^2}{4}\ge\alpha^2 r_x^2 \rightarrow \frac{b}{2}\ge\sqrt{\alpha^2 r_x^2-r_1^2}$$

$$\frac{b}{2}\ge\sqrt{1.012^2\times7.7^2-2.14^2}=7.5 \rightarrow b=15\ \text{cm}$$

$$B=b+2c_y=2\times7.5+2\times2.01=19.02 \Rightarrow B=20\ \text{cm} \longrightarrow b=15.98\ \text{cm}$$

$$r_y = \sqrt{r_1 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} = \sqrt{2.14^2 + \left(\frac{15.98}{2}\right)^2} = 8.27 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \left(\frac{Kl}{r}\right)_y = \frac{850}{8.27} = 103 \rightarrow \alpha = \sqrt{1 + \frac{300}{103^2}} = 1.014$$

$$\lambda_{y_e} = \alpha\lambda_y = 1.014 \times 103 = 104.5 < \lambda_x = 110.4 \qquad \text{O.K.}$$

قیدها:

$$\theta = 60° \Rightarrow l_1 = \frac{2b}{tg\theta} = \frac{2 \times 15.98}{tg60} = 18.45$$

$$l' = \frac{b}{\sin\theta} = \frac{15.98}{\sin 60} = 18.45$$

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1} = \frac{18.45}{2.14} = 8.62 < \frac{3}{4} \times 110.4 = 83 \qquad \text{O.K.}$$

$$\frac{l'}{r_b} \leq 140 \ , \ r_b = \frac{t}{\sqrt{12}} \rightarrow t \geq \frac{\sqrt{12}}{140} \times l'$$

$$t \geq \frac{\sqrt{12}}{140} \times 18.45 = 0.46 \text{ cm} \rightarrow t = 0.5 \text{ cm}$$

$$r_b = \frac{t}{\sqrt{12}} = \frac{0.5}{\sqrt{12}} = 0.15 \xrightarrow{\text{لاغری قید}} \lambda_b = \frac{l'}{r_b} = \frac{18.45}{0.15} = 127.$$

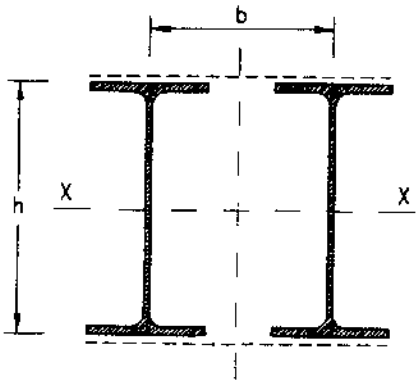
$$\lambda_b \xrightarrow[F_a]{\text{چارت محاسبه}} F_{ab} = 655 \text{ kg/cm}^2$$

فشاری مجاز بست

$$\text{نیروی قید } f = \frac{V}{n\sin\theta} = \frac{0.02P}{2\sin\theta} = \frac{0.02 \times 50 \times 10^3}{2 \times \sin 60} = 578\text{kg} < 65$$

$$A_b = t.d \geq \frac{f}{F_{ab}} \rightarrow d \geq \frac{f}{t.F_{ab}} = \frac{578}{0.5 \times 655} = 1.76 \text{ cm}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} d = 5 \text{ cm} \rightarrow \text{به‌علت مسائل اجرایی} \\ t = 0.5 \text{ cm} \end{cases}$$



محاسبهٔ سطح مقطع براساس تنش مجاز فرضی

انتخاب نیمرخ و فاصلهٔ b (b را اغلب مساوی h می‌گیرند)

محاسبهٔ مشخصات هندسی مقطع شامل A و r_y و r_x

$$\lambda_x = \frac{KL}{r_x}\ ,\ \lambda_y = \frac{KL}{r_y}$$

$$\lambda_{ye} = K_1 \lambda_y$$

$$K_1 = \sqrt{1 + \frac{0.822}{\lambda_y^2}\left[\frac{A}{A_b}\frac{\ell_1 b}{(r_b)^2} + \left(\frac{\ell_1}{r_1}\right)^2\right]}$$

ارجح است $\lambda_{ye} \leq \lambda_x$ گردد.

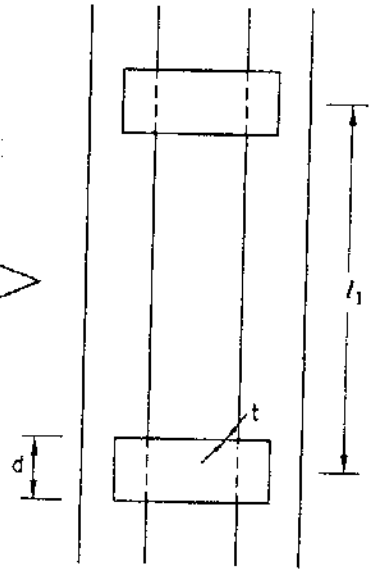
محاسبهٔ F_a از نمودار ۱۹ براساس حداکثر λ_x و λ_{ye}

$f_a = \frac{P}{A} \leq F_a$

خیر

بله

طراحی قیدها



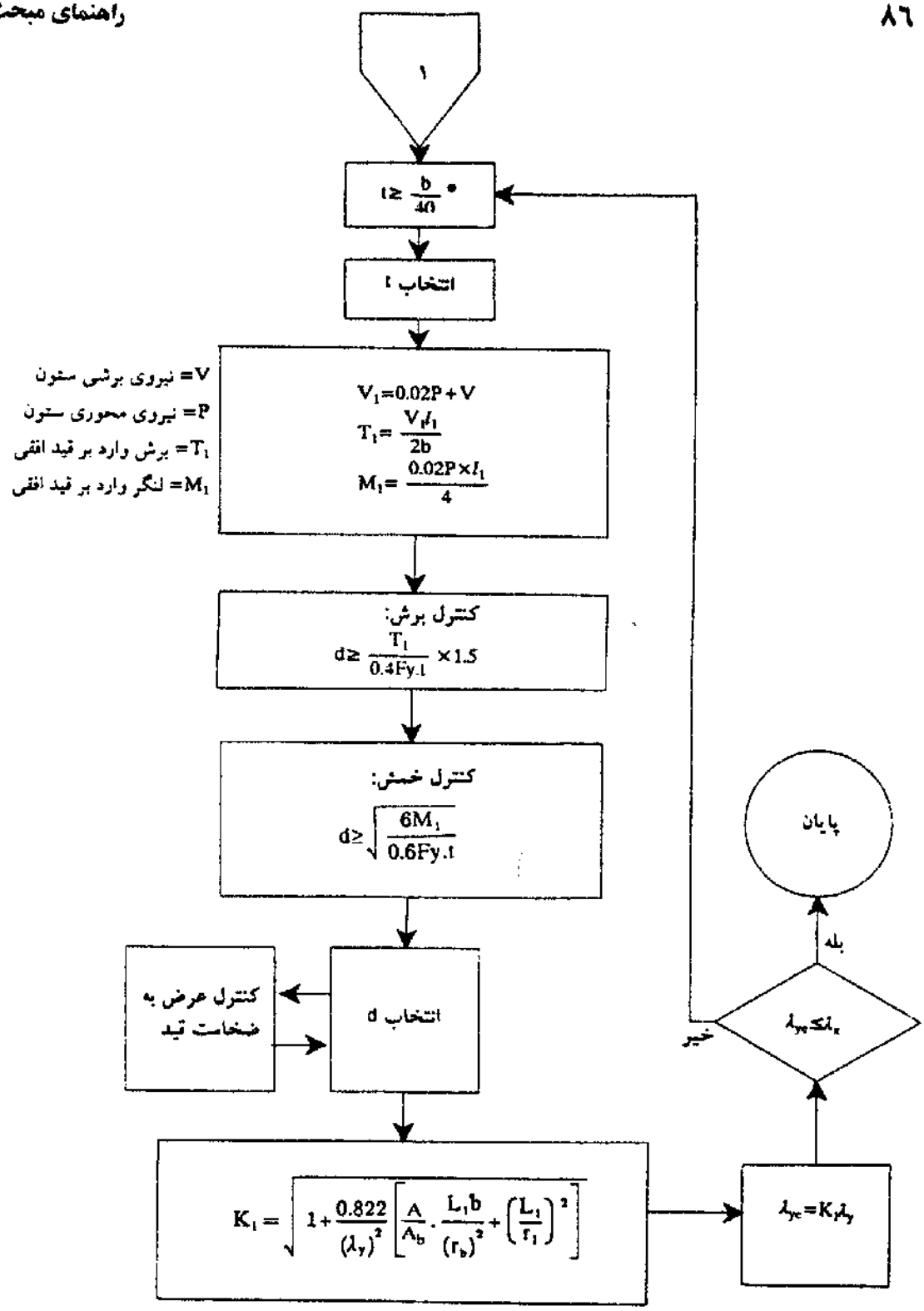
r_1= شعاع ژیراسیون تک‌نیمرخ حول محور ضعیف

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1} \leq \frac{2}{3}\lambda_y, 40$$

A= سطح مقطع کلی عضو فشاری

A_b= سطح مقطع یک جفت قید =2dt

نمودار ۲۷ ـ طراحی ستونها با بستهای موازی



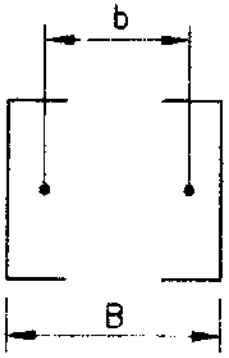
(۱) توضیح: برای قیدهای از نیمرخهای ناودانی و یا I و عایق شرط فوق لازم نیست.
ضمناً b باید حداقل طولی مساوی فاصلهٔ مراکز ثقل دو نیمرخ داشته باشد.

نمودار ۲۸ ـ طراحی بستهای افقی

مثال

مطلوب است طرح ستونی از دو ناودانی با بست افقی برای شرایط زیر:

$$P=50\ \text{ton} \quad , \quad l=8.5\text{m} \quad , \quad K=1$$



حل:

فرض $F_a=1000 \rightarrow A=50 \rightarrow 2UNP200$

$A=32.2\ ,\ r_x=7.7\ ,\ r_1=2.14\ ,\ e_x=2.01$

$$\lambda_x=\frac{850}{7.7}=110.4 \xrightarrow[\text{از فلوچارت}]{\text{محاسبهٔ } F_a} F_a=813\ ,\ f_a=\frac{50\times10^3}{2\times32.2}=777\ \text{kg/cm}^2$$

$$\lambda_{y_e}=K_1\lambda_y\le\lambda_x\rightarrow K_1\left(\frac{Kl}{r}\right)_y\le\left(\frac{Kl}{r}\right)_x\rightarrow r_y=K_1r_x$$

$$\xrightarrow{\text{مثل مثال قبل}} r_1+\left(\frac{b}{2}\right)^2\ge(K_1r_x)^2 \xrightarrow[\text{فرض}]{K_1=1.04} \frac{b}{2}=7.8$$

$b\ge15.6$

$B=20\rightarrow b=15.98\ \text{cm}$ انتخاب

$$r_y=\sqrt{2.14^2+\left(\frac{15.98}{2}\right)^2}=8.27 \qquad \lambda_y=\frac{850}{8.27}=102.8$$

کنترل و طرح قیدها:

$$\frac{l_1}{r_1}\le\text{Min}\left\{40,\ \frac{2}{3}\lambda_y\right\}=\text{Min}\{46,69\}=40$$

$r_1=2.14\Rightarrow l_1\le86\rightarrow l_1=50\ \text{cm}$ انتخاب

$$T_1=\frac{VL_1}{2b}=\frac{0.02\times50\times10^3\times50}{2\times15.98}=1565\ \text{kg}$$

$$M_1 = T_1 \times \frac{b}{2} = 12500 \text{ kg.cm}$$

$$t \geq \frac{b}{40} = \frac{15.98}{40} = 0.4 \rightarrow t = 0.5\text{cm} \quad \text{انتخاب}$$

$$f_{v_{max}} = \frac{1.5T_1}{d.t} \leq 0.4F_y \longrightarrow d \geq \frac{1.5T_1}{0.4F_y.t} = \frac{1.5\times1565}{0.4\times2400\times0.5} = 4.9 \text{ cm}$$

$$f_b = \frac{6M_1}{t\,d^2} \leq 0.6\,F_y \rightarrow d \geq \sqrt{\frac{6\times12500}{0.6\times2400\times0.5}} = 10.2$$

$$\Rightarrow \text{انتخاب} \begin{cases} d = 11 \text{ cm} \\ t = 0.5 \text{ cm} \end{cases}$$

کنترل K_1 از فرمول آیین‌نامه:

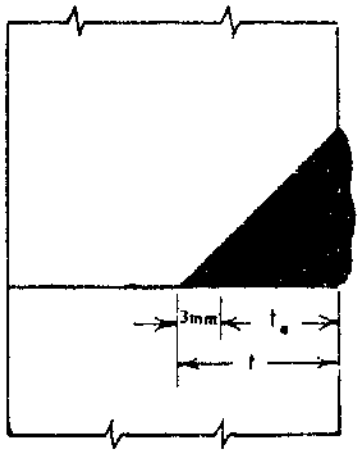
$$K_1 = \sqrt{1 + \frac{0.822}{(\lambda_y)^2}\left[\frac{A}{A_b}.\frac{L_1 b}{r_b^2} + \left(\frac{L_1}{r_1}\right)^2\right]} = 1.04$$

$$\lambda_{y_e} = K_1\lambda_y = 1.04\times102.8 = 107 < \lambda_x = 110.4 \quad \text{O.K.}$$

فصل ۹

وسایل اتصال شامل جوش، پیچ و پرچ

۱ ـ جوش شیاری:



t_e= ضخامت مؤثر جوش شیاری با نفوذ نسبی

D= ضخامت صفحه اتصال

L_e= طول مؤثر جوش

A_e= سطح مقطع مؤثر جوش

t= عمق شیار جوش

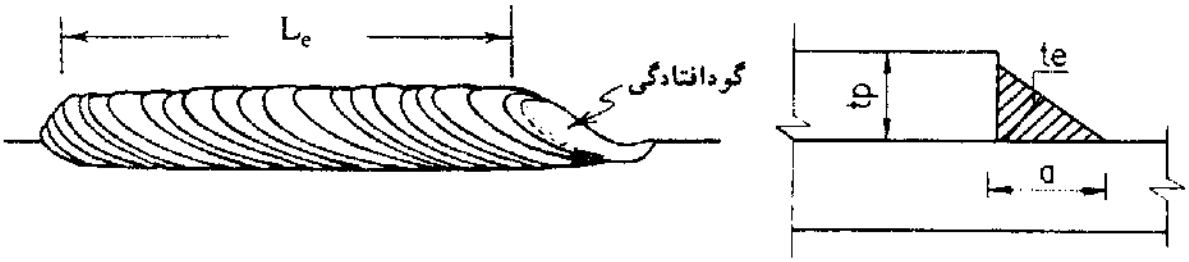
۲ ـ جوش گوشه:

a= ساق جوش

t_e= ضخامت مؤثر جوش

L_e= طول مؤثر جوش

d= فاصلهٔ آزاد بین قطعات جوش



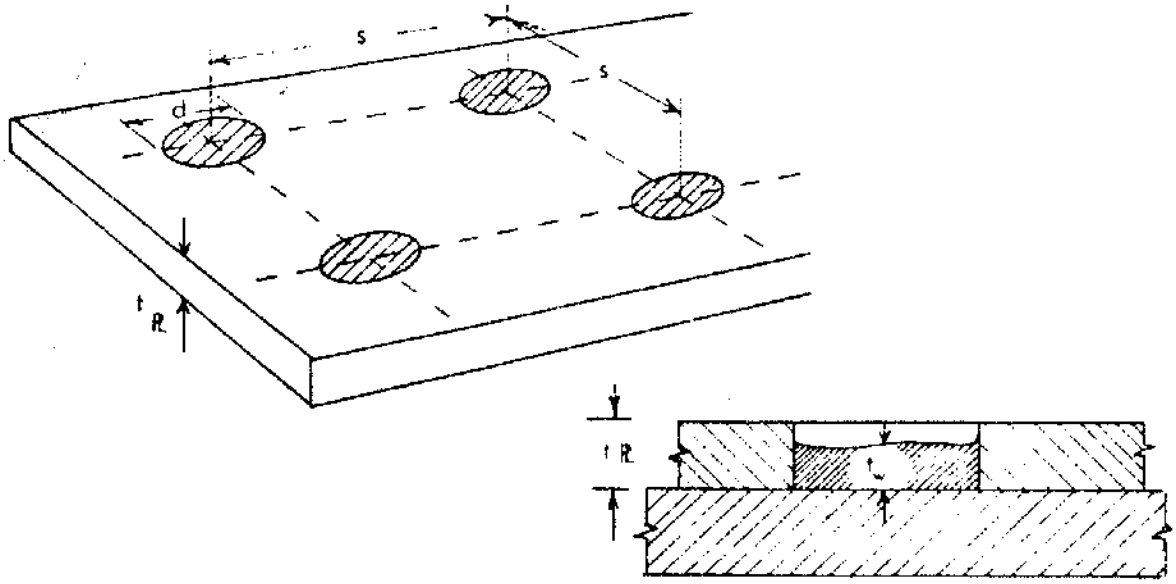
۳ ـ جوش انگشتانه:

t_w= ضخامت جوش

t= ضخامت ورق

d= قطر سوراخ انگشتانه

s= فواصل سوراخ



۴ ـ جوش کام:

t_w = ضخامت جوش

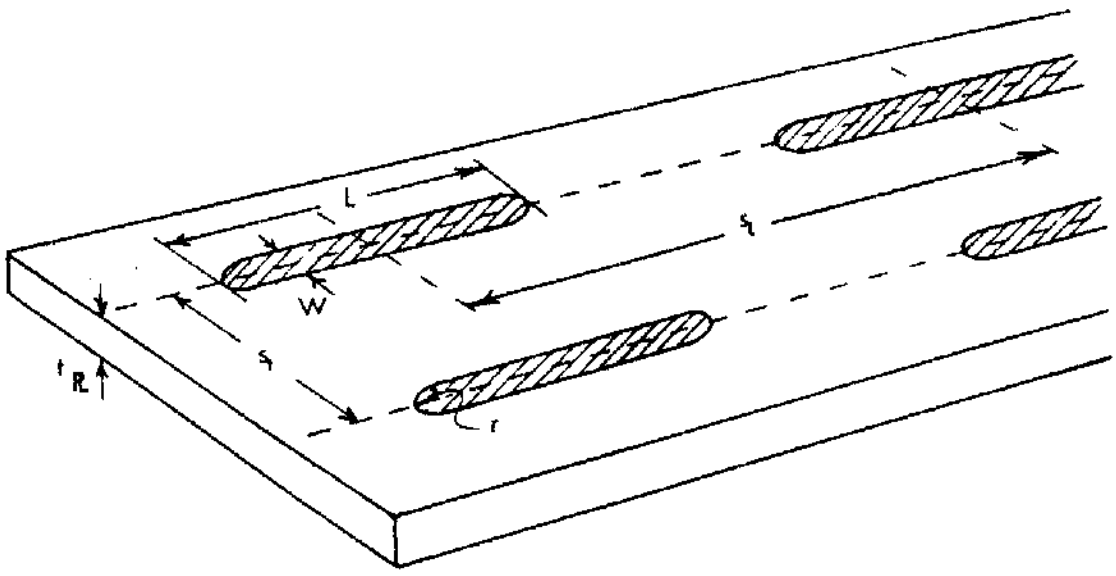
t_{PL} = ضخامت ورق

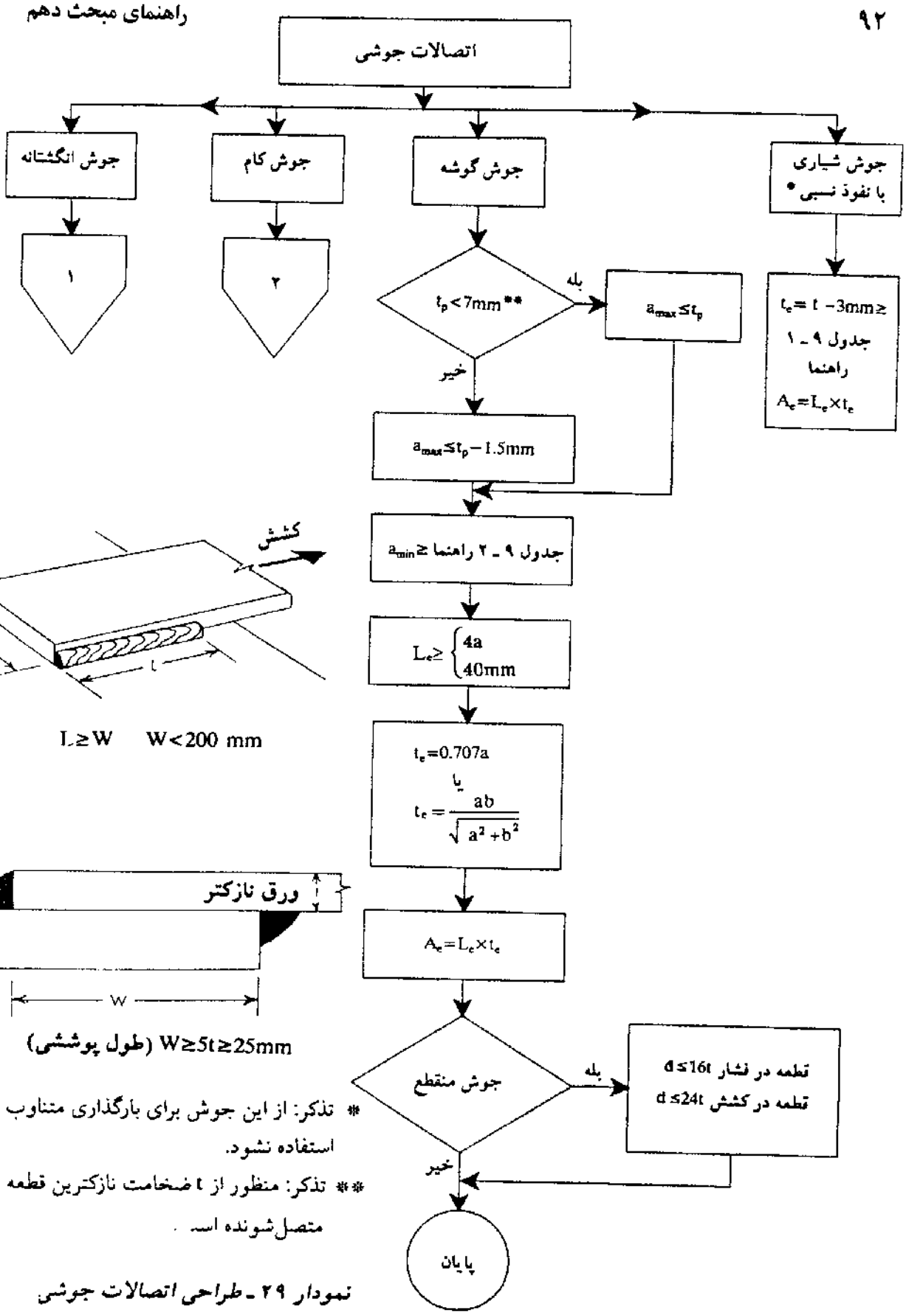
L = طول جوش کام

W = عرض شکاف

S_L = گام طولی

S_t = گام عرضی

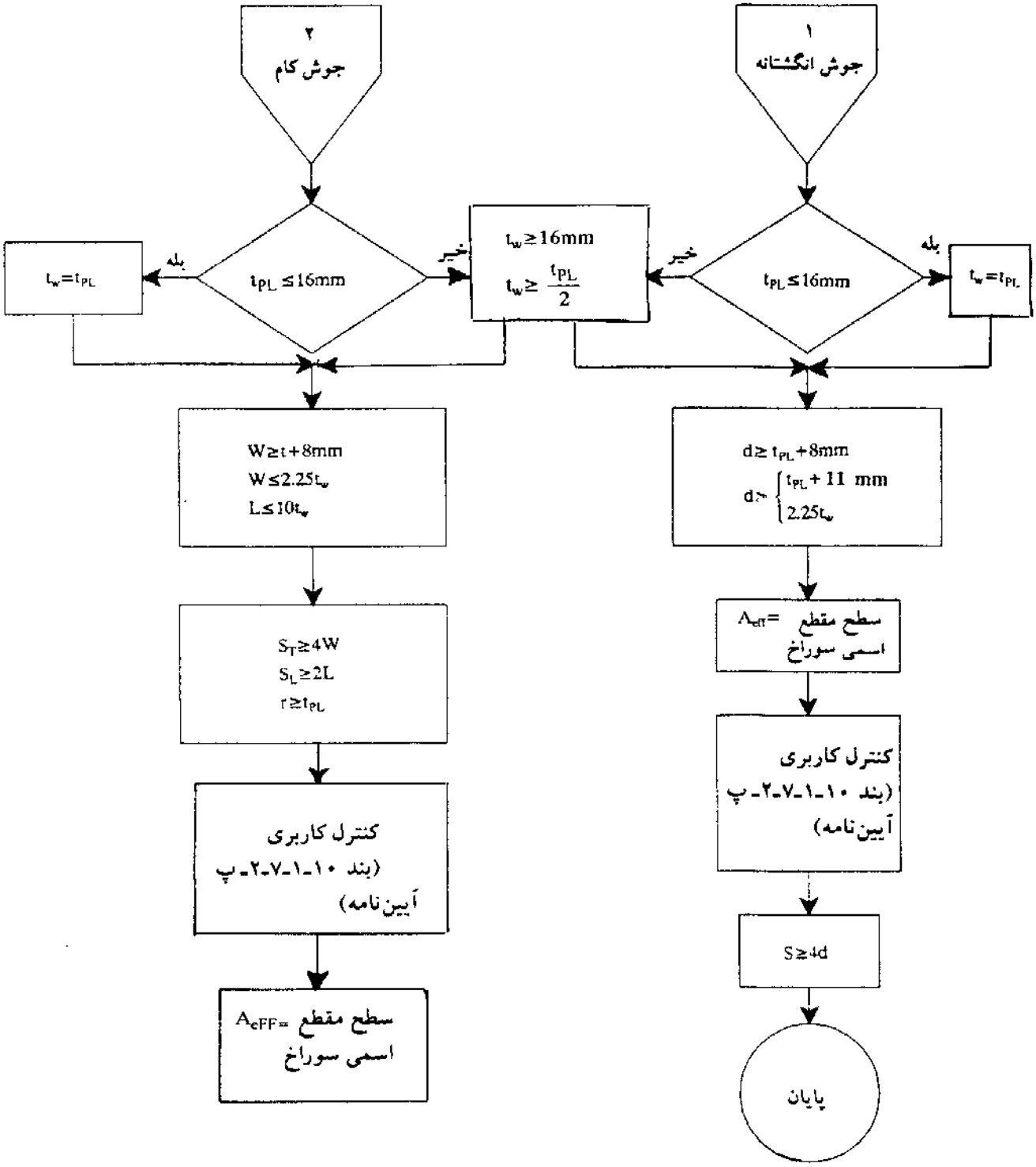




* تذکر: از این جوش برای بارگذاری متناوب استفاده نشود.

** تذکر: منظور از t ضخامت نازکترین قطعه متصل‌شونده است.

نمودار ۲۹ ـ طراحی اتصالات جوشی



نمودار ۲۹ (ادامه)

جدول ۹ ـ ۱. حداقل ضخامت گلوگاه جوش لب

ضخامت قطعه ضخیم‌تر	حداقل گلوگاه جوش
تا ۶ میلیمتر	۳ میلیمتر
۶ تا ۱۲ میلیمتر	۴/۵ میلیمتر
۱۲ تا ۲۰ میلیمتر	۶ میلیمتر
۲۰ تا ۳۸ میلیمتر	۸ میلیمتر
۳۸ تا ۵۷ میلیمتر	۱۰ میلیمتر
۵۷ تا ۱۵۲ میلیمتر	۱۲ میلیمتر
بالاتر از ۱۵۲ میلیمتر	۱۶ میلیمتر

جدول ۹ ـ ۲. حداقل بعد جوش گوشه

ضخامت قطعه ضخیمتر متصل‌شونده	حداقل بعد جوش گوشه
تا ۷ میلیمتر	۳ میلیمتر
۷ تا ۱۲ میلیمتر	۵ میلیمتر
۱۲ تا ۲۰ میلیمتر	۷ میلیمتر
بیش از ۲۰ میلیمتر	۸ میلیمتر

مقاومت نهایی کششی فلز الکترود (F_{ue})	حد جاری شدن فلز مادر (F_y)
4200 kg/cm² (E 60)	تا 2950 kg/cm²
4900 kg/cm² (E 70)	تا 3860 kg/cm²
5600 kg/cm² (E 80)	تا 4570 kg/cm²

بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۷ ـ ۲ ـ ت:

۱ ـ در صورت انجام آزمایشهای غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و اولتراسونیک: $\phi=1.00$

۲ ـ در صورت انجام جوش در کارخانه (و یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب: $\phi=0.85$

۳ ـ در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب: $\phi=0.75$

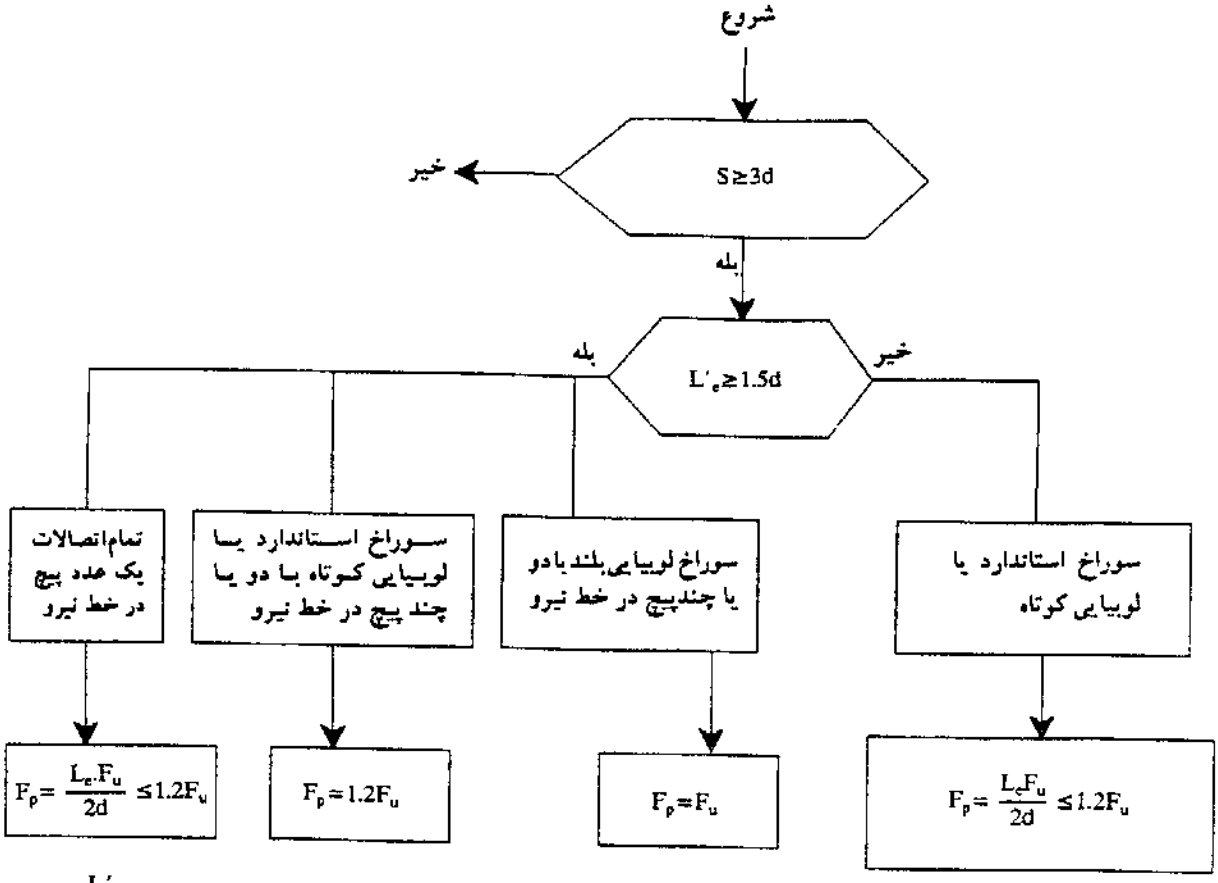
جدول ۹ - ۳. تنشهای مجاز جوش*

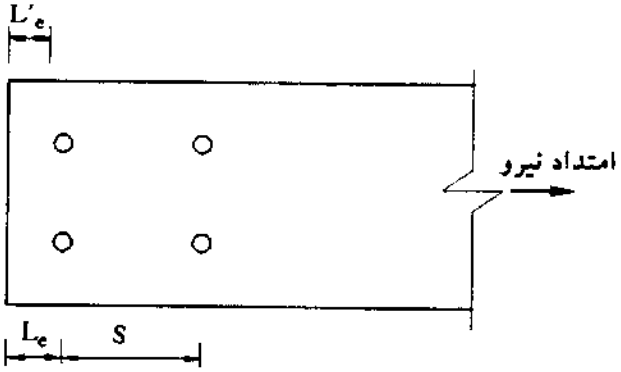
نوع جوش	نوع تنش	تنش مجاز
جوش لب با نفوذ کامل و لبهٔ آماده شده	کششی یا فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	متناسب بافلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	برشی، در مقطع مؤثر	۰/۳× مقاومت نهایی کششی فلز جوش
جوش لب با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	متناسب با فلز مادر**
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
	کششی، در امتداد عمود بر مقطع مؤثر	۰/۳× مقاومت نهایی کششی فلز جوش (تنش‌کششی درفلز مادر نباید از ۰/۶ حد جاری شدن فلز مادر بیشتر شود).
	برشی، موازی با محور جوش	۰/۳× مقاومت نهایی کششی فلز جوش
جوش گوشه	برشی، در مقطع مؤثر	۰/۳× مقاومت نهایی کششی فلز جوش
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	متناسب با فلز مادر**
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	۰/۳× مقاومت نهایی کششی فلز جوش

* این تنشها باید در ضرایب مذکور در بند ۱۰ - ۱ - ۷ - ۲ - ت ضرب شوند.

** فلز جوش (الکترود مصرفی) باید با فلز مادر سازگار باشد و محدودیت مقاومت الکترود مطابق با مقادیر صفحهٔ قبل تأمین شود.

مقدار مجاز فشار تماسی در سوراخهای پیچ (تنش لهیدگی) (F_p) :



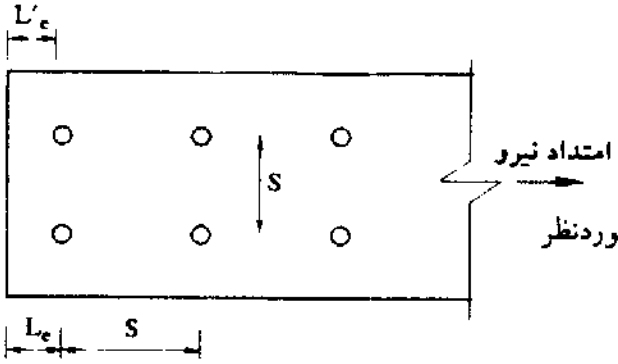


d= قطر پیچ
F_u= تنش نهایی مصالح ورق اتصال
F_p= فشار تماسی مجاز در فشار

جدول ۹ ـ ۴. ابعاد اسمی سوراخ پیچ

قطر پیچ (mm)	اندازهٔ حداکثر سوراخ (mm)			
	استاندارد (قطر)	بزرگ‌شده (قطر)	لوبیایی کوتاه (طول × عرض)	لوبیایی بلند (طول × عرض)
d	d+1.5	d+5	(d+1.5)×(d+7)	(d+1.5)×(2.5d)

نمودار ۳۰ ـ کنترل تنش لهیدگی



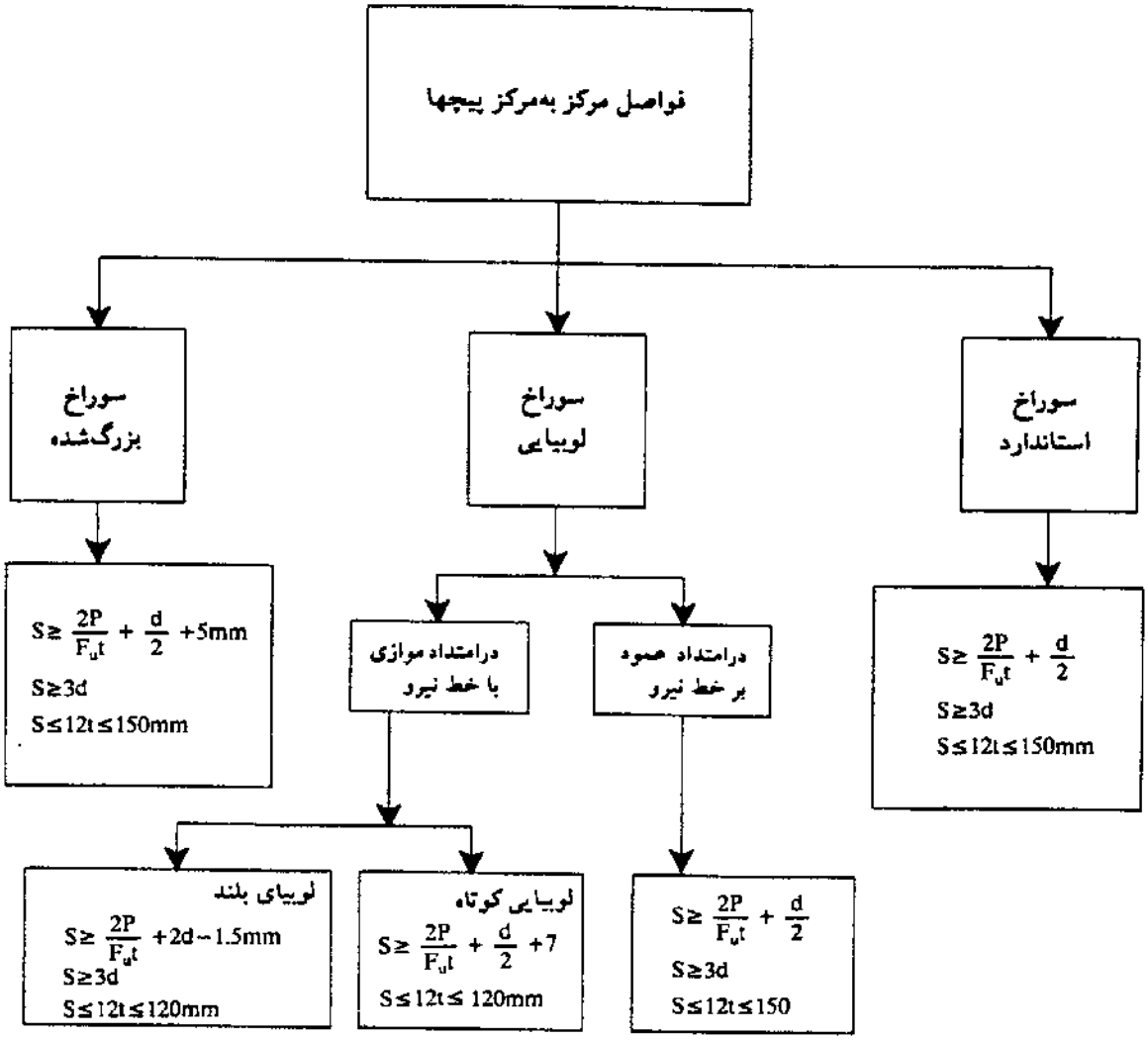
محدودیت فاصلهٔ مرکز به‌مرکز پیچها:

d= قطر سوراخ

t= ضخامت قطعه متصل‌شونده

p= نیروی منتقل‌شده توسط وسیلهٔ اتصال به‌عضو موردنظر

F_u= تنش نهایی مصالح ورق اتصال



نمودار ۳۱ ـ محدودیتهای فواصل پیچها

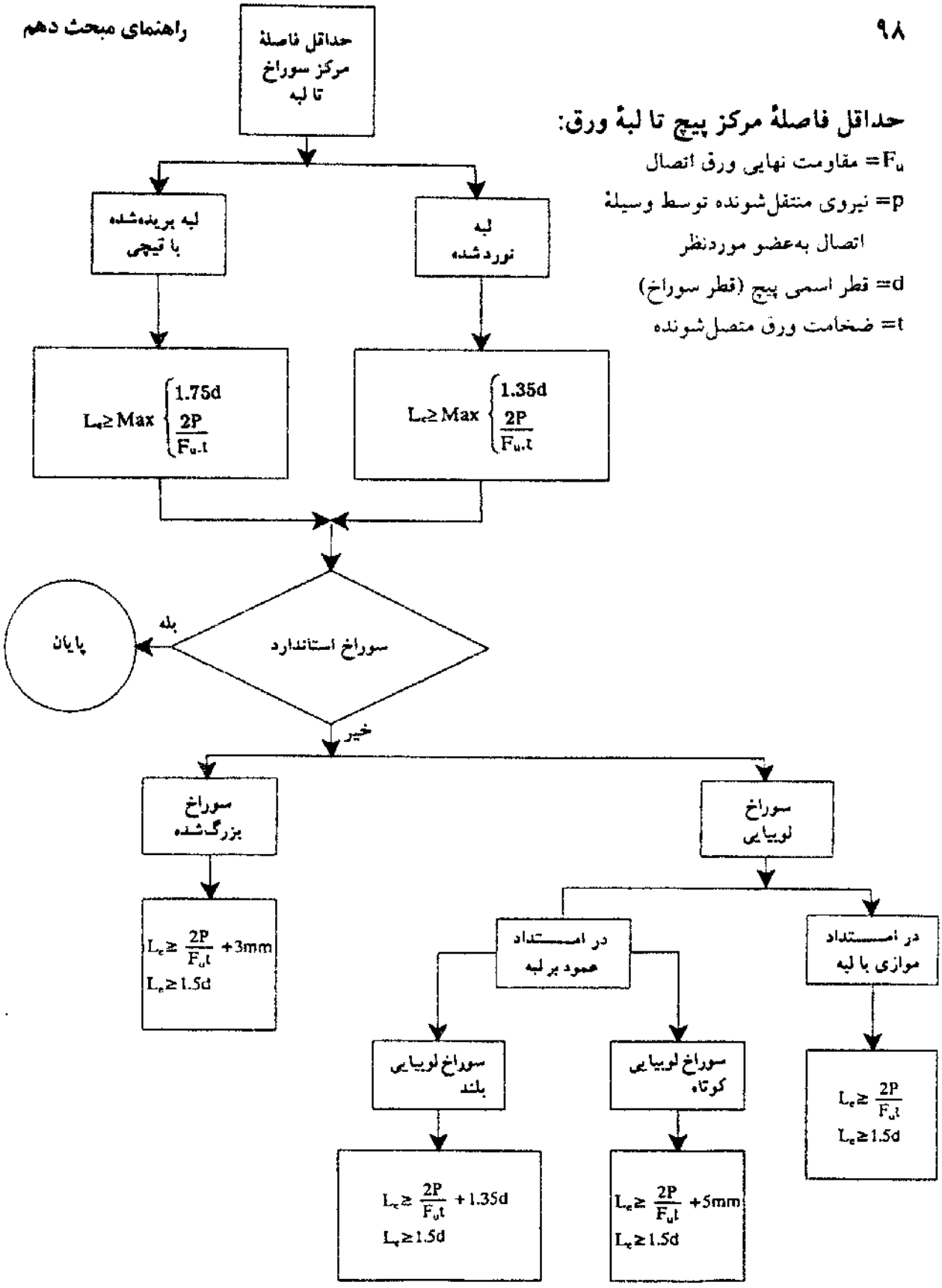
حداقل فاصلهٔ مرکز پیچ تا لبهٔ ورق:

F_u= مقاومت نهایی ورق اتصال

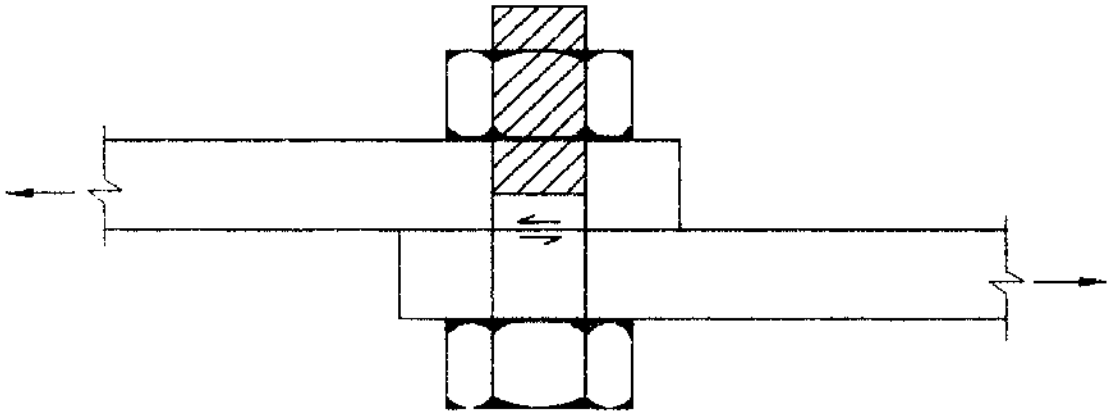
p= نیروی منتقل‌شونده توسط وسیلهٔ اتصال به‌عضو موردنظر

d= قطر اسمی پیچ (قطر سوراخ)

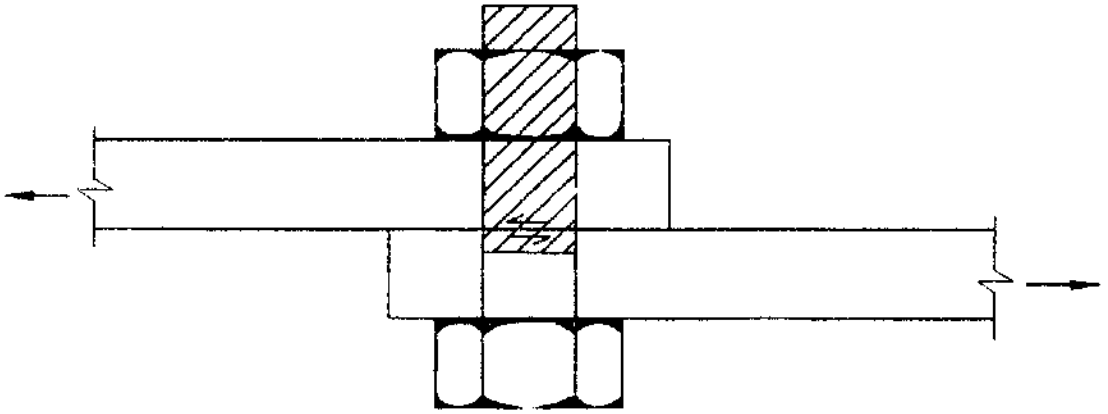
t= ضخامت ورق متصل‌شونده



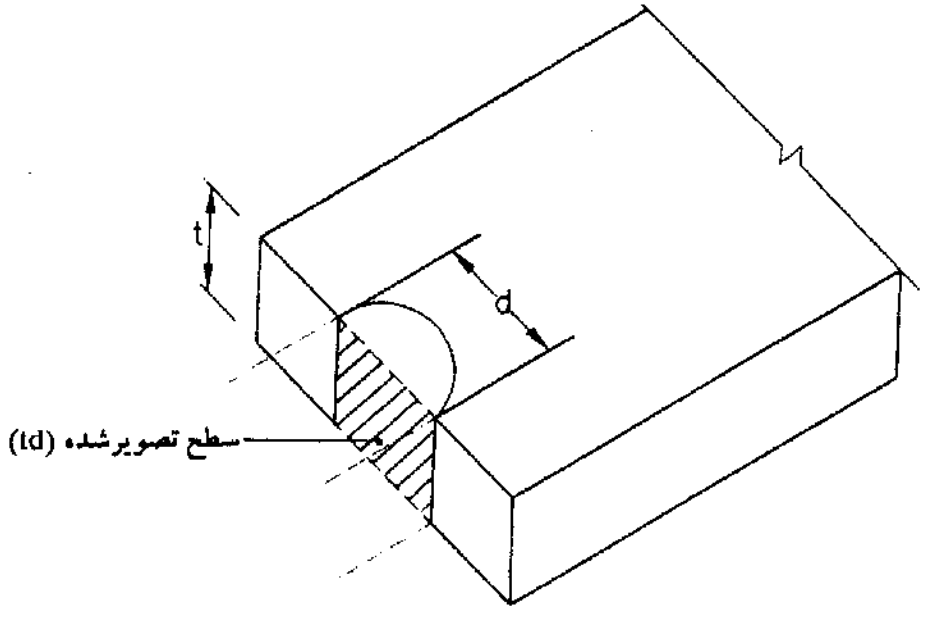
نمودار ۳۲ ـ حداقل فاصلهٔ پیچها از لبه



سطح برش از قسمت دندانه‌شده عبور نمی‌کند



سطح برش از قسمت دندانه شده عبور می‌کند



جدول ۹ ـ ۵. تنشهای مجاز در انواع وسایل اتصال (kg/cm^2)*

نوع وسیلهٔ اتصال	تنش کششی مجاز (F_t)	تنش برشی مجاز (F_v)				
		اتصال اصطکاکی**				اتصال برشی (اتکایی)***
		سوراخ استاندارد	سوراخ بزرگ‌شده‌و لوبیایی‌کوتاه	سوراخ لوبیایی بلند		
				بار در امتداد طولی	بار در امتداد عرضی	
پرچ	$0.75F_y$					$0.6F_y$
پیچ معمولی	$0.33F_u$**** (a)					$0.17F_u$ (b)
قطعهٔ دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده در حالتی‌که سطح‌برش از قسمت‌دندانه‌شده‌می‌گذرد	$0.33F_u$ (a)					$0.17F_u$
قطعهٔ دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد	$0.33F_u$ (a)					$0.22F_u$
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد	$0.38F_u$ (d)	$0.15F_u$	$0.12F_u$	$0.1F_u$	$0.09F_u$	$0.2F_u$
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی‌گذرد	$0.38F_u$ (d)	$0.15F_u$	$0.12F_u$	$0.1F_u$	$0.09F_u$	$0.28F_u$

* در این جدول (a) بار استاتیک، (b) قرار گرفتن دندانه‌ها در سطح برش مجاز است و (d) برای پیچهای A325, A490 و یا مشابه تحت اثر خستگی.

** با ضریب اصطکاک 0.33 برای وضعیتی که سطوح تماس تمیز با فلس ناشی از عمل نورد کارخانه‌ای باشد.

*** وقتی که فاصلهٔ اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۱۲۵۰ میلیمتر تجاوز کند این تنشهای مجاز را باید ۲۰٪ کاهش داد.

**** F_u تنش نهایی مصالح پیچ (kg/cm^2) و F_y تنش جاری شدن مصالح پرچها می‌باشد (kg/cm^2). به‌عنوان مثال F_u برای پیچهای معمولی A307 برابر $4200kg/cm^2$، برای پیچ A325 با قطری مساوی و یا کمتر از ۲۵ میلیمتر مساوی $8250kg/cm^2$ و قطر بزرگتر از ۲۵ میلیمتر مساوی $7250kg/cm^2$ و برای پیچ A490 مساوی $10000kg/cm^2$ می‌باشد.

F_u= تنش نهایی مصالح پیچ (kg/cm^2)

F_y= تنش جاری شدن مصالح پیچ (kg/cm^2)

جدول ۹ ـ ۶. تنش کششی مجاز (F_t) برای وسایل اتصال با اتصال برشی (تماسی) برحسب kg/cm^2 (تنش مجاز کششی همراه با تنش برشی)

نوع وسیلهٔ اتصال	سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد	سطح برش خارج از قسمت دندانه‌شده قرار دارد
پیچ معمولی	$0.43F_u - 1.8f_v \le 1400$	
پیچ پرمقاومت	$\sqrt{(0.38F_u)^2 - 4.39f_v^2}$	$\sqrt{(0.38F_u)^2 - 2.15f_v^2}$
قطعهٔ دنده شده	$0.43F_u - 1.8f_v \le 0.33F_u$	$0.43F_u - 1.4f_v \le 0.33F_u$
پرچ	$1.05F_y - 1.3f_v \le 1600$	

* در این جدول:

F_u = تنش نهایی مصالح پیچ (kg/cm^2)

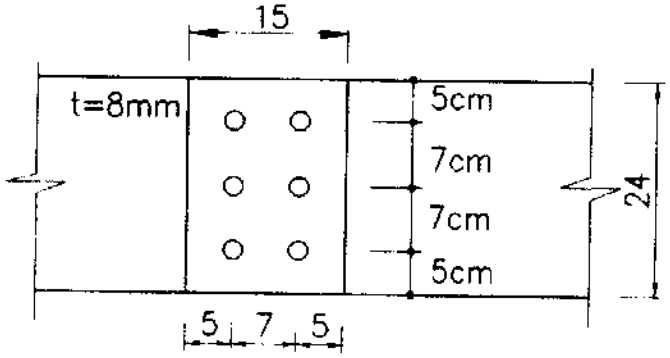
F_y = تنش جاری شدن مصالح پرچ (kg/cm^2)

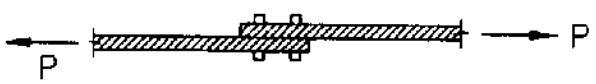
f_v = تنش برشی موجود (kg/cm^2)

مثال

دوصفحه‌به‌ابعاد $0.8\times24cm$ با $\begin{cases}F_y=2400\\F_u=3700\end{cases}$ توسط 6عدد پیچ به‌قطر اسمی 20mm با $\begin{cases}F_u=4000\\F_y=2500\end{cases}$

به‌صورت زیر متصل شده‌اند. چه تعداد از این پیچها موردنیاز است تا نیرویی معادل P=16 تن را انتقال دهد. اتصال از نوع اتکایی است و قطعهٔ دنده شده و سطح برش از قسمت دنده شده نمی‌گذرد.





حل:

$F_P=1.2F_u=1.2\times3700=4440\ kg/cm^2$

$F_v=0.22F_u=0.22\times4000=880\ kg/cm^2$ برش (جدول ۹ ـ ۵ راهنما)

$=4440\times2\times0.8=7104\ kg$ نیروی لهیدگی در اتصال برای یک‌پیچ

$=880\times\pi\times\frac{2^2}{4}=2764\ kg$ نیروی برشی

$=\frac{16\times10^3}{2764}=5.78\longrightarrow$ از شش پیچ استفاده می‌شود = تعداد پیچها

b) اتصال فوق را با استفاده از پیچ A325 با قطر 20 میلیمتر و $F_u=8250kg/cm^2$ به‌صورت اصطکاکی طرح نمایید. (سوراخ استاندارد در سطح برش از قسمت دنده شده نمی‌گذرد).

$\underline{\text{برش}=0.15F_u}\times A_b=0.15\times8250\times\pi\times\frac{2^2}{4}=3888\ kg$

برش مجاز (جدول ۹ ـ ۵ راهنما)

$\frac{16\times10^3}{3888}=4.11\longrightarrow$ از شش پیچ استفاده می‌شود : تعداد پیچها

$A=24\times0.8=19.2\ cm^2\rightarrow A_n=19.2-3\times(2\times0.8)=14.4\ cm^2$ ورق

$U=1\rightarrow A_e=A_n=14.4\ cm^2$

$0.6F_y\times A_e=28.74\ ton>16\ ton$

$=7cm>3d=3\times2=6\ cm$ فاصلهٔ پیچها

$=L_e=5cm>2d=2\times2=4\ cm$ فاصله از لبه

مثال

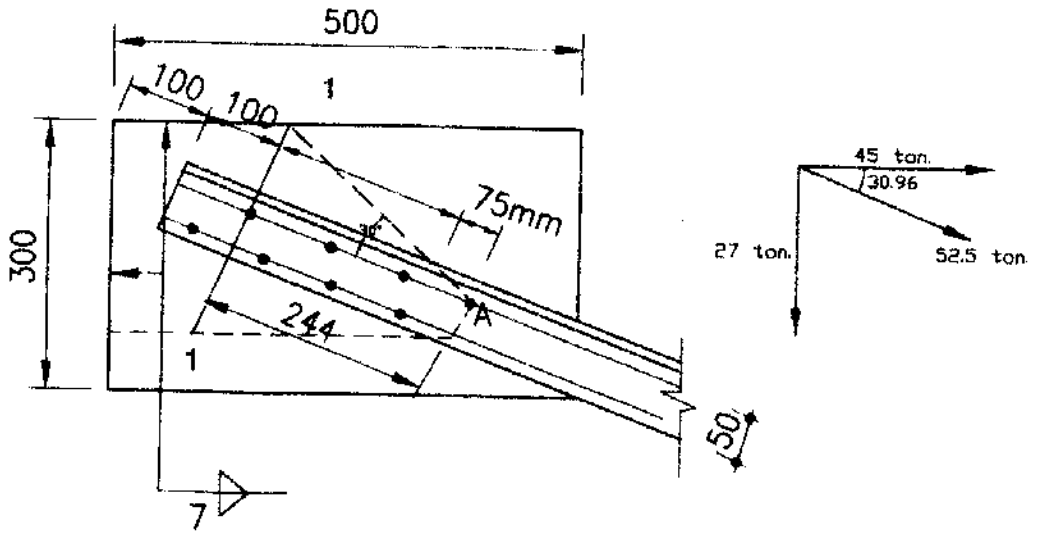
مطلوب است طرح اتصال بادبندی زیر با استفاده از پیچ 19 میلیمتر از نوع A325 و $F_u=8250$.
نیروی طرح =52.5ton (25% اضافه نیرو برای زلزله در نظر بگیرید).
(دوبل نبشی) و ورق اتصال 10×300×500 می‌باشد.

(اتصال از نوع اتکایی)

حل:

$=0.2\times F_u=0.2\times8250=1650\ kg/cm^2$ تنش برشی مجاز

$=1.2F_u=1.2\times3700=4440\ kg/cm^2$ تنش لهیدگی



مقاومت برشی در حالت دوبرشه $R_{DS}=\frac{\pi}{4}\times1.9^2\times2\times1650=9350$ kg

مقاومت لهیدگی در ورق اتصال 10 میلیمتر:

$R_B=1.9\times1\times4440=8430$ kg

پس لهیدگی کنترل می‌کند.

تعداد پیچ لازم $=52.5\times1.25/8.43=7.78$

از 8 پیچ 19 میلیمتر استفاده می‌شود.

کنترل ورق اتصال

ورق اتصال را با جوش 7 میلیمتر به‌بال تیر و بال ستون متصل می‌کنیم.

$R_w=\tau(\cos45)\phi a=0.3\times4200\times0.707\times0.75a=668a$

$R_w=2\times668\times a=2\times668\times0.7=935.2$ kg/cm کنترل می‌کند

ارزش ورق اتصال $=0.4\times2400\times1=960$

طول جوش افقی $=45\times10^3/935.2=48.11\text{cm}\rightarrow 50\text{cm}$

طول جوش عمودی $=27\times10^3/935.2=28.87\text{ cm}\rightarrow 30\text{ cm}$

کنترل ورق لچکی با استفاده از روش ویتمور

عرض مؤثر در مقطع ۱ - ۱ $=(24.4\times\text{tg}30)\times2+5=33$

در این مقطع 7 پیچ برای انتقال نیرو به‌کار می‌رود.

نیرو در مقطع ۱ - ۱ $= \frac{7}{8} \times 52.5 = 45.94$

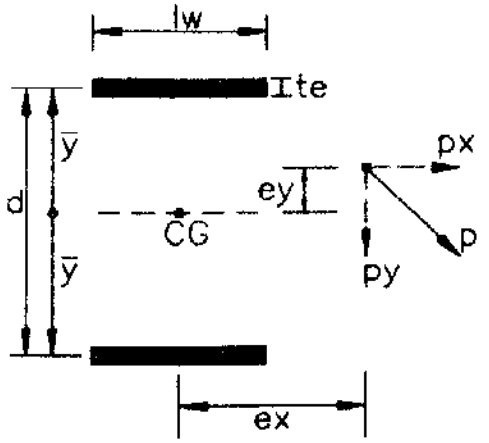
تنش موجود ورق $f_t = \frac{45.94 \times 10^3}{33 \times 1} = 1392 \ kg/cm^2$

تنش مجاز ورق $= 0.6 \times 2400 = 1440 > 1392$ O.K.

فصل ۱۰

اتصالات

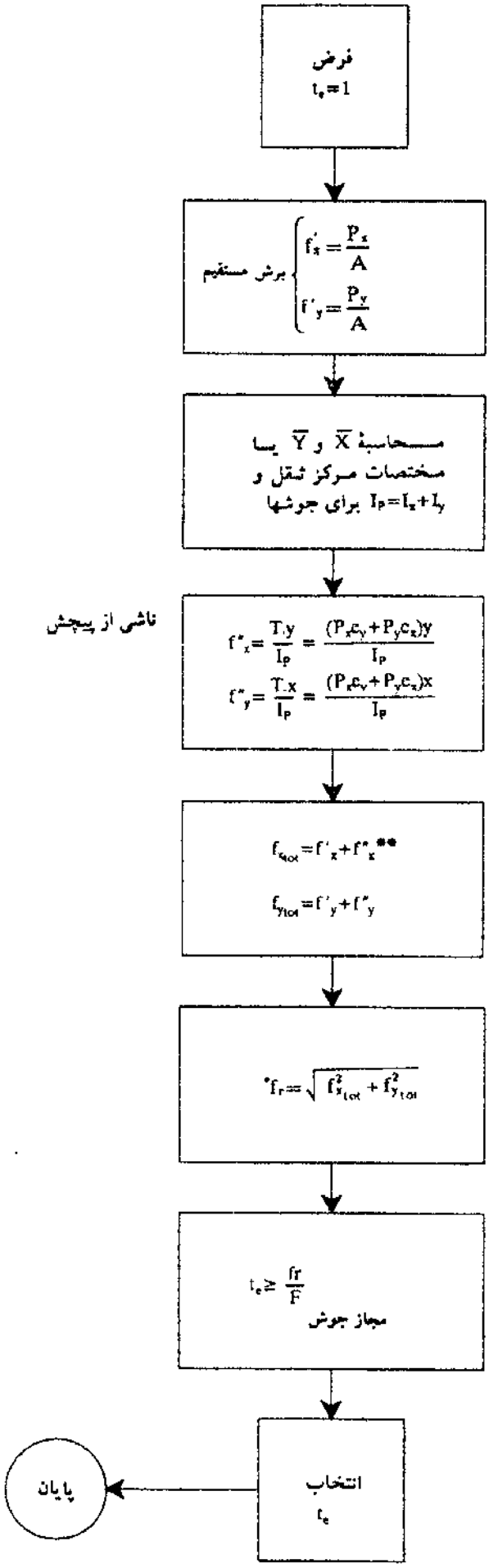
اثر پیچش و برش در محاسبهٔ جوشها:



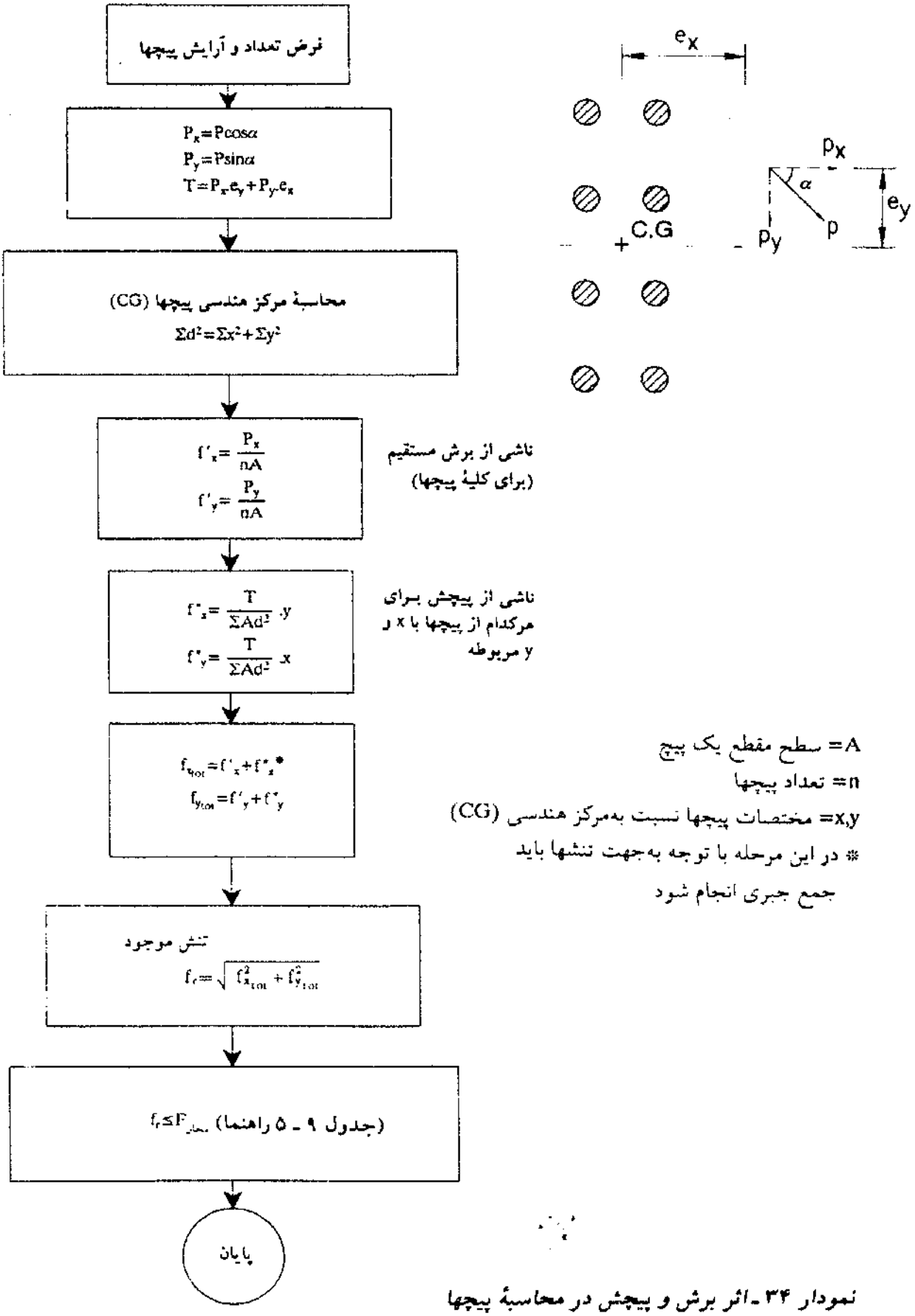
** جمع جبری برای نقاط مختلف

A= طول کل جوش

t_e= بعد جوش



نمودار ۳۳ ـ اثر پیچش و برش در محاسبهٔ جوشها



A= سطح مقطع یک پیچ

n= تعداد پیچها

x,y= مختصات پیچها نسبت به‌مرکز هندسی (CG)

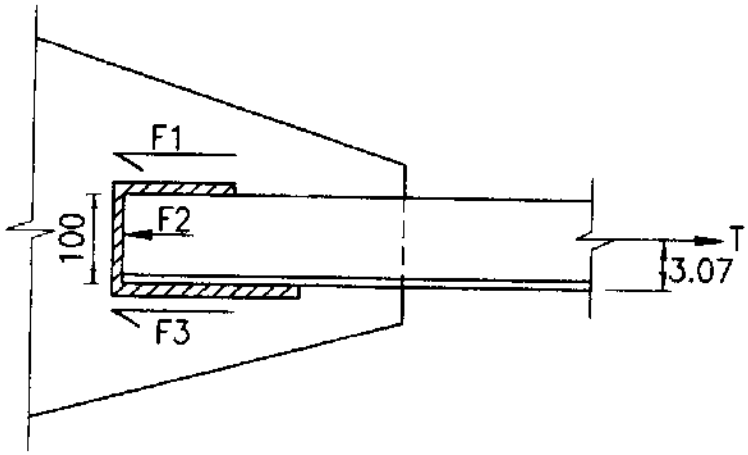
* در این مرحله با توجه به‌جهت تنشها باید جمع جبری انجام شود

نمودار ۳۴ ـ اثر برش و پیچش در محاسبهٔ پیچها

مثال

اتصال بادبندی زیر را طوری طرح نمایید که بتواند نیرویی معادل T=27.65 تن را تحمل نموده و آن را بدون خروج از مرکزیت منتقل سازد، (ورق لچکی کنترل‌کننده نمی‌باشد.

نبشی (100×100×10) و f_y=2400



تعیین ارزش جوش:

تنش مجاز جوش (جدول ۹ ـ ۳ راهنما) =0.75×0.3×4200=945 kg/cm

عمق مؤثر جوش =0.707a

ارزش جوش R_w=0.707a×945=668a

حداقل ساق جوش =5 mm

حداکثر ساق جوش =10−1.5=8.5 mm → a=6mm

R_w=668a=668(.6)=401 kg/cm

Max R_w=0.4F_y.t=0.4×2400×1=960

F_2=R_w.L_w=401×10=4010=4.01 ton

$$F_1=\frac{27.65(3.07)-4.01(5)}{10}=6.48 \text{ ton}$$

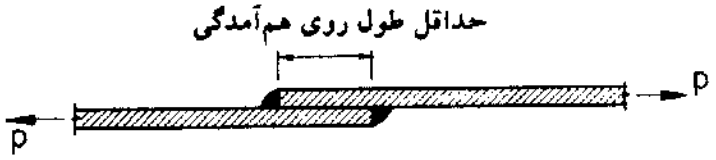
$$F_3=T-F_1-F_2=27.65-6.48-4.01=17.16 \text{ ton}$$

$$l_{w_1}=\frac{F_1}{R_w}=\frac{6.48\times10^3}{401}=16.16\text{cm}\cong17 \text{ cm}$$

$$l_{w_3}=\frac{F_3}{R_w}=\frac{17.16\times10^3}{401}=42.8\cong43 \text{ cm}$$

مثال:

اتصال روی هم زیر را طوری طرح کنید که بتواند نیروی کششی معادل 23 ton را تحمل نماید. ابعاد صفحه 1.3×20 سانتیمتر و فولاد آن $F_y=2400$ و مقاومت نهایی کششی هر جوش معادل 4900 kg/cm^2 است. بعد جوش را محاسبه کنید.



حل:

کمترین طول روی‌هم‌آمدگی $=5\times t>25\text{mm} \Rightarrow 5\times1.3=6.5 \text{ cm}>2.5 \text{ cm}$

طول کل جوش $=20\times2=40 \text{ cm}$

نیروی برشی وارد بر واحد طول جوش $=\frac{23\times10^3}{40}=575 \text{ kg/cm}$

مجاز جوش $F_v=(\phi)0.3F_u=0.75\times0.3\times4900=1102.5$

مجاز $R_w=F_{\text{مجاز}}\times t_e=1102.5\times0.707\ a=780a \text{ kg/cm}$

$780a=575 \rightarrow a=0.737 \text{ cm}$ انتخاب $a=8 \text{ mm}$

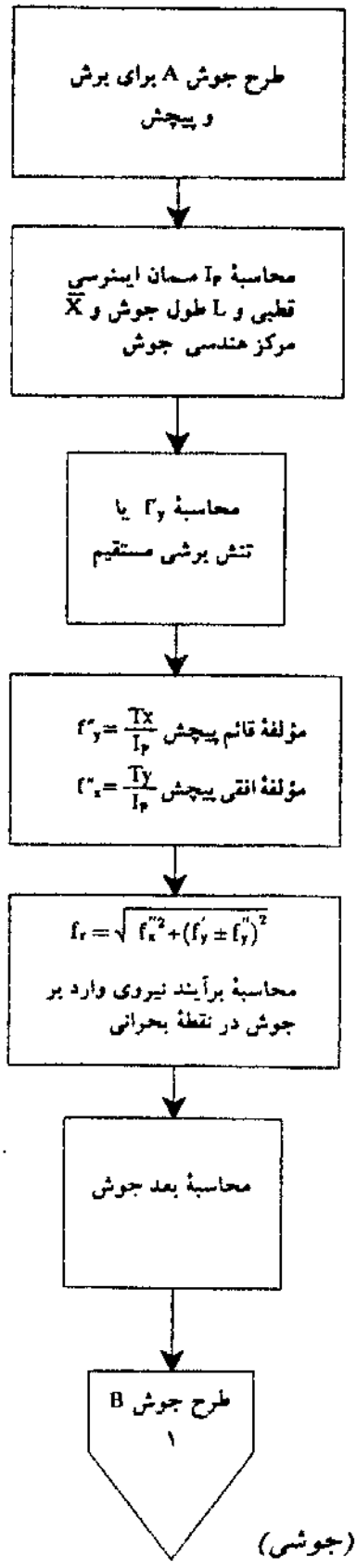
$a_{min}=7 \text{ mm}$ (جدول ۹ ـ ۲ راهنما)

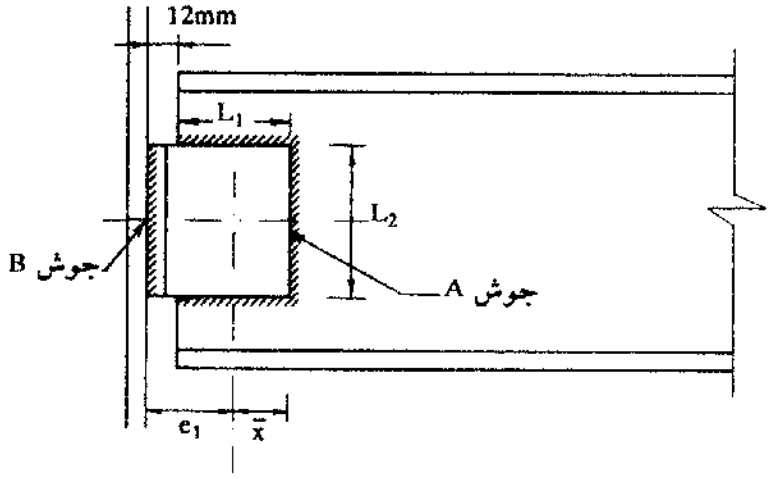
$a_{max}=1.3-0.15=1.15 \text{ cm}$

مثال

در اتصال نبشی جان زیر ظرفیت جوش A را به‌دست آورید تیر مورد استفاده IPB600 و اندازهٔ ساق‌جوش ۸ میلیمتر می‌باشد ابعاد نبشیها $100\times100\times10\text{mm}$ به‌طول ۴۰ سانتیمتر بوده و از الکترود E60 استفاده می‌شود:

مرکز هندسی نوار جوش $\bar{X}=\frac{40\times10+2\times8.8\times(4.4+1.2)}{40+2\times8.8}=8.66$





طول جوش A $L=2L_1+L_2$

تنش برشی مستقیم $f'_y=\frac{P}{2L}$

واکنش اتصال $P=$

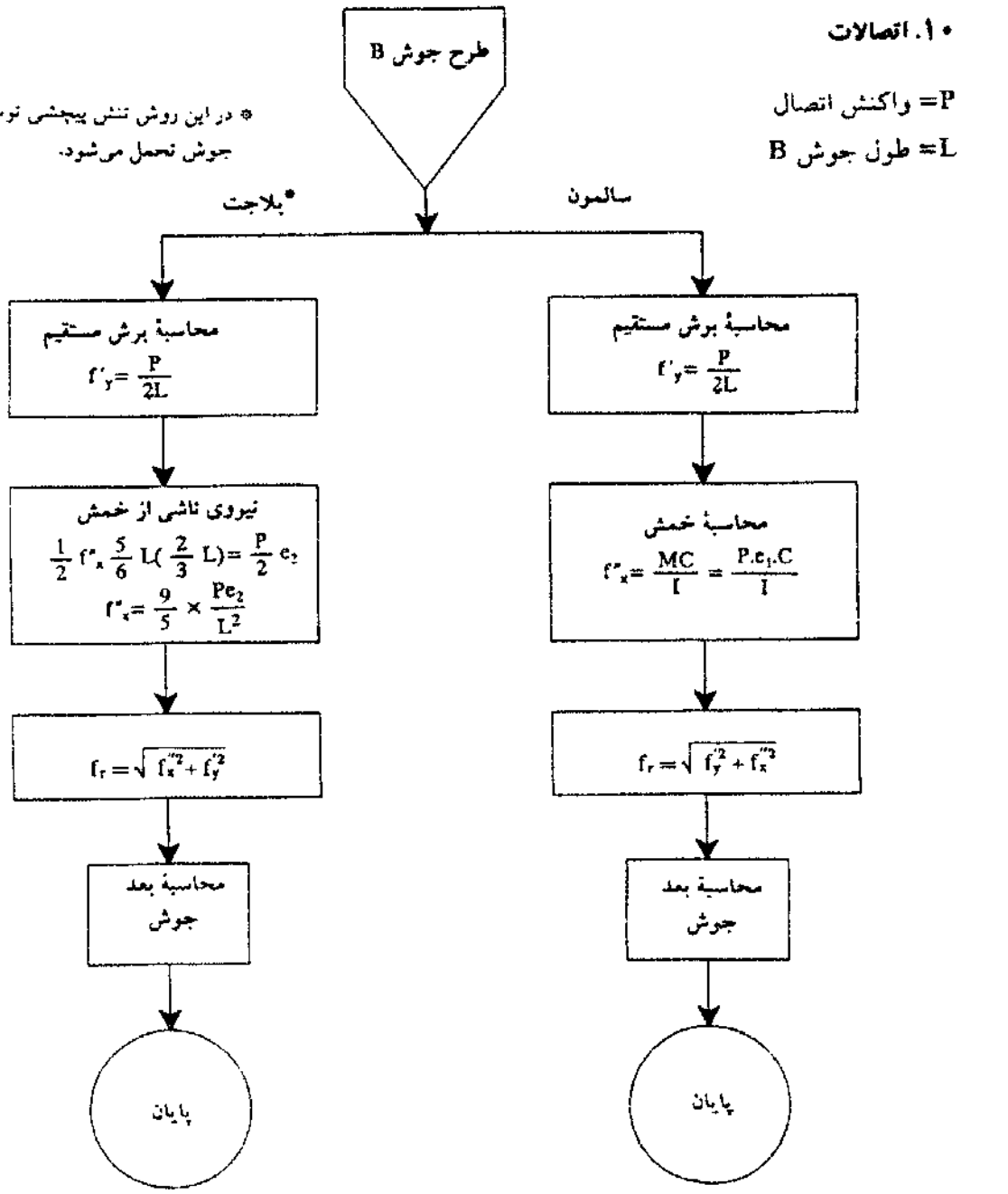
پیچشی $T=P\times e_1$

نمودار ۳۵ ـ اتصال ساده با نبشی جان (جوشی)

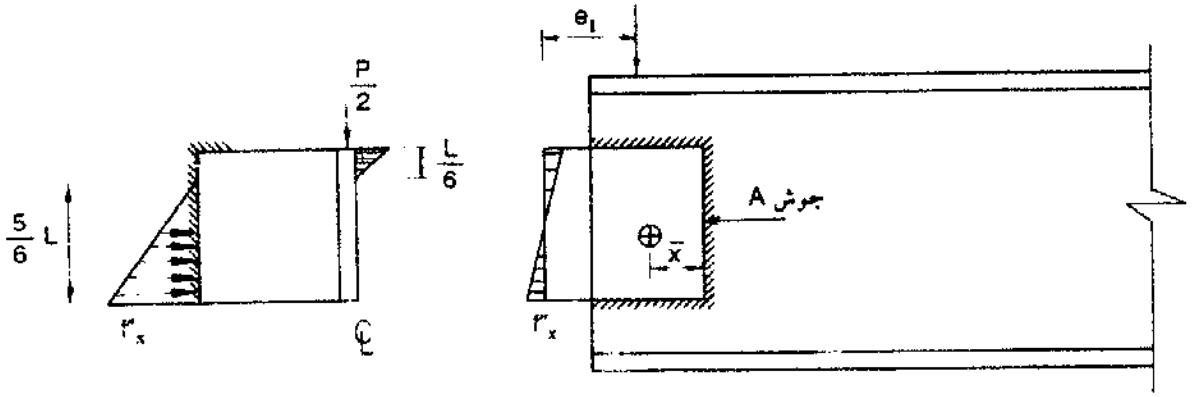
۱۰. اتصالات

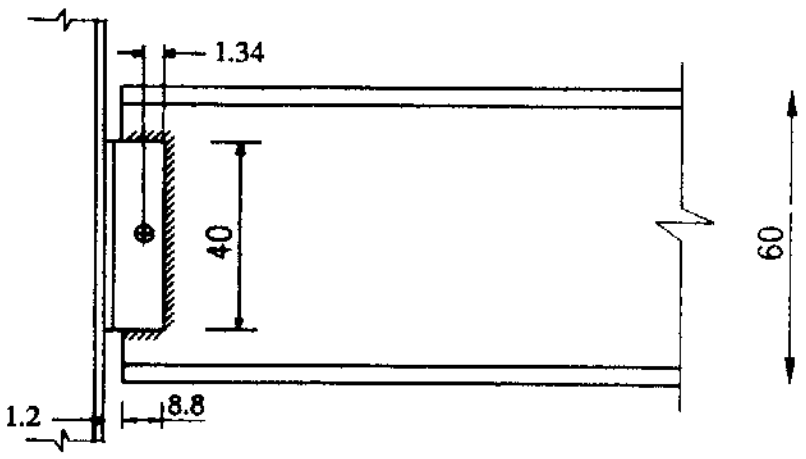
P= واکنش اتصال

L= طول جوش B



* در این روش تنش پیچشی توسط $\frac{5}{6}$ طول جوش تحمل می‌شود.





$10-8.66=1.34$

$I_p=I_x+I_y$

$$I_p=\frac{1}{12}\times40^3+2\times8.8\times20^2+2\left[\frac{1}{12}\times8.8^3+8.8\times(4.4-1.34)^2\right]+$$

$$+40\times1.34^2=12723.5\ cm^3$$

$$f'_y=\frac{P/2}{(40+2\times8.8)}=0.0087P$$ (مؤلفهٔ برش مستقیم)

مؤلفه‌های x و y تنش پیچشی:

$$f''_y=\frac{T.x}{I_p}=\frac{P(10-1.34)(10-1.34-1.2)}{2(12723.5)}=0.00254\ P\downarrow$$

$$f''_x=\frac{T.y}{I_p}=\frac{P(10-1.34)(20)}{2(12723.5)}=0.0068\ P\rightarrow$$

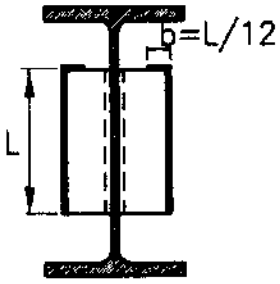
$$f_r=P\sqrt{(0.0087+0.00254)^2+(0.0068)^2}=0.01314\ P$$

$R_w=$ ارزش جوش $=0.707a\times945=668\ a$

$$R_w=668\times0.8=534.5\ kg/cm \rightarrow P=\frac{534.5}{0.01314}=40677\ kg\cong40.7\ ton$$

مثال

ظرفیت جوش را در شکل تعیین نمایید. در صورتی‌که اندازهٔ ساق‌جوش ۸ میلیمتر بوده و طول L مساوی ۵۰ سانتیمتر باشد نبشیهای به‌کار رفته در اتصال $100\times75\times9$ میلیمتر و دارای ساقهای نامساوی می‌باشند که ساق کوتاهتر به‌تیر جوش می‌گردد. الکترود مصرفی در طرح E60 است.



(استفاده از روش سالمون)

حل:

$$R_w = 668a = 668(0.8) = 534.4$$

$$S = \frac{I}{y} = 2\left(\frac{4bd+d^2}{6}\right) = \frac{4L^2}{9}$$

$$\text{مؤلفهٔ تنش خمشی} = f''_x = \frac{M}{S} = \frac{Pe_1}{S} = \frac{9Pe_1}{4L^2}$$

$$f'_y = \frac{P}{2L}$$

$$\text{واقعی} \quad f_r = \sqrt{\left(\frac{P}{2L}\right)^2 + \left(\frac{9P.e_1}{4L^2}\right)^2} = \frac{P}{2L^2}\sqrt{L^2 + 20.25c_1^2}$$

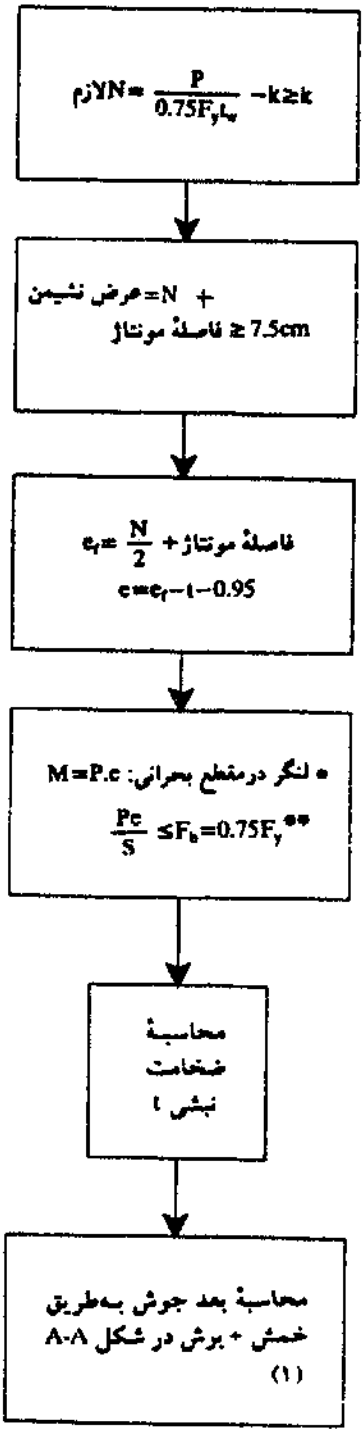
$$\bar{X} = \frac{(7.5-1.2)^2}{2(7.5-1.2)+50} = 0.63 \text{ cm} \qquad e_1 = 7.5-0.63 = 6.87$$

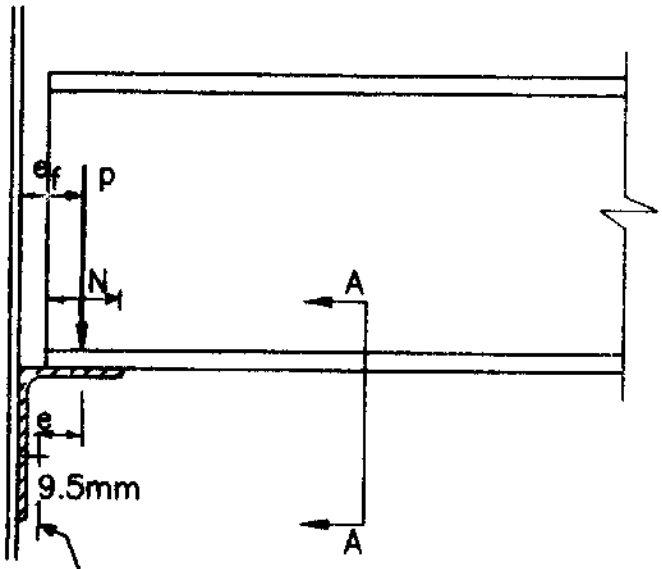
$$\text{واقعی} \quad f_r = \frac{P}{2(50)^2} \times \sqrt{50^2 + 20.25\times(6.87)^2} = 0.01176P$$

$$P = \frac{534.4}{0.01176} = 45442 \text{ kg} \approx 45.44 \text{ ton}$$

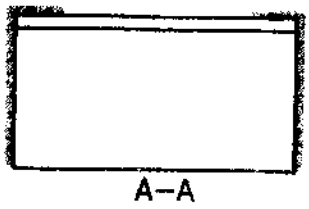
مثال

نبشی نشیمن برای تکیه‌گاه تیر ساده‌ای از نیمرخ IPE300 و به‌دهانهٔ 7.5 متر که دارای تکیه‌گاه جانبی کافی می‌باشد طراحی نمایید. تیر از جنس فولاد نرمه با تنش جاری شدن 2400 kg/cm^2 می‌باشد.





مقطع بحرانی خمش برای نبشی نشیمن



(۱) لنگر $M=P\times e_f$

تذکر:

* محل مقطع بحرانی در ۹/۵ میلیمتری وجه نبشی واقع است.

** خمش حول محور ضعیف می‌باشد.

نمودار ۳۶ ـ اتصال ساده با نبشی نشیمن

حل:

تعیین عرض، طول و ضخامت نشیمن:

$$M=0.66F_y.S_x=0.66(2400)(557)\times10^{-5}=8.82 \text{ ton.m}$$

$$M=wL^2/8\rightarrow w=\frac{8M}{L^2}$$

$$P=\frac{wL}{2}=\frac{8M}{2L}=\frac{4(882)}{7.5}=4.7 \text{ ton}=4700 \text{ kg}$$

طول لازم برای جلوگیری از لهیدگی بین بال و جان:

$$N=\frac{P}{0.75F_y.t_w}-k=\frac{4.7\times10^3}{0.75\times2400\times0.71}-2.55=1.13\text{cm}<K \Rightarrow N=K=2.55$$

اختلاف فاصلهٔ مونتاژ =2cm طول نشیمن =15 cm

$$e_f=\frac{2.55}{2}+2=3.28 \text{ cm}$$

با امتحان ضخامت t=12mm

$$e=e_f-t-0.95=3.28-1.2-0.95=1.13 \text{ cm}$$

$$M=P.e=4700\times1.13$$

$$\frac{Pe}{S}\leq0.75F_y\rightarrow\frac{4700\times1.13}{bt^2/6}\leq0.75\times2400\rightarrow t\geq1.09 \text{ cm}$$

از یک نبشی به‌ضخامت ۱۲ میلیمتر و طول ۱۵ سانتیمتر استفاده می‌شود.

طرح جوش اتصال نبشی به‌ستون:

طول L=12cm را برای ضلع قائم نبشی انتخاب می‌کنیم.

حداکثر بعد جوش =10mm

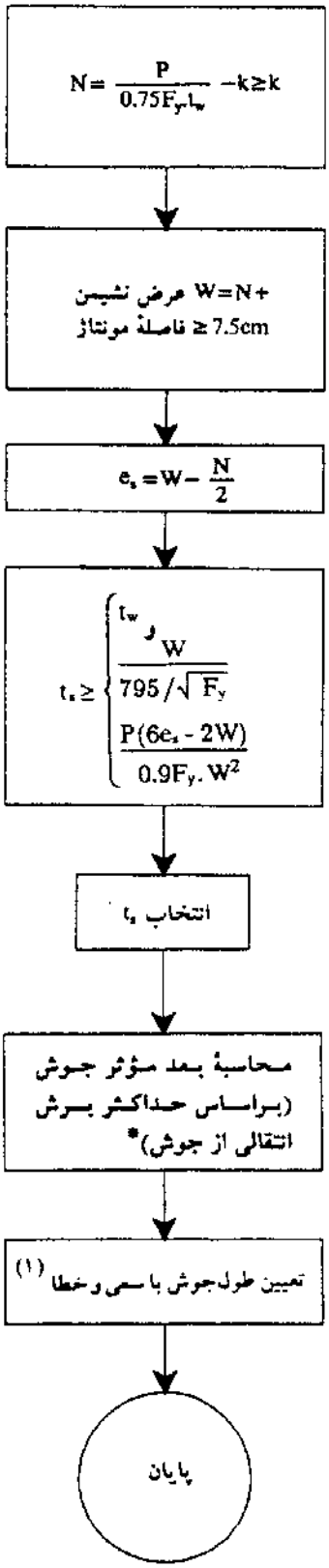
حداقل بعد جوش =5mm

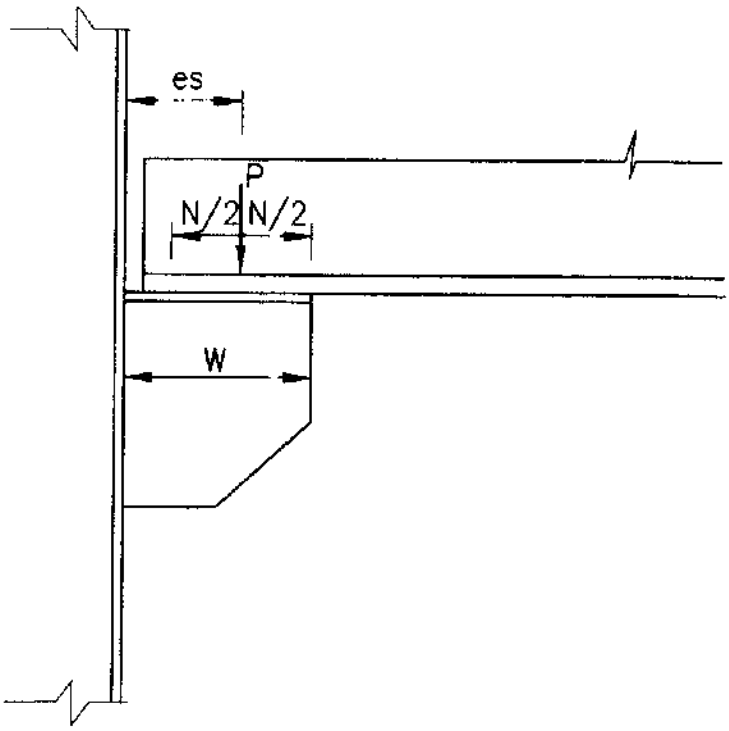
با استفاده از رابطهٔ مثال قبلی

$$f_r=\frac{P}{2L^2}\sqrt{L^2+20.25e_f^2}=\frac{4.7\times10^3}{2\times12^2}\sqrt{12^2+20.25\times3.28^2}=310.44\,\text{kg/cm}$$

$$R_w=a\times0.707\times945=668\,a$$

$a=\frac{310.44}{668}=0.465$ cm ⟶ به‌علت مسائل اجرایی a=8 mm انتخاب می‌کنیم





(۱) راهنمای AISC ، برای محاسبهٔ جوش نشیمن تقویت‌شده مقدار $e_s\cong 0.8\ w$ را توصیه می‌کند.

t_s= ضخامت سخت‌کننده

t_w= ضخامت جان تیر

k= فاصلهٔ سطح خارجی بال تا آغازگردی بین جان و بال تیر

* مثلاً برای الکترود E60 داریم: $2\times 0.707a\times 945=0.4Fy.t_s$

$2\times 0.707a\times 0.3F_u\times 0.75=0.4Fy.t_s$ $\quad F_y=4200$

نمودار ۳۷ ـ اتصال ساده با نشیمن تقویت‌شده

مثال

نشیمن تقویت‌شده‌ای با استفاده از جوش را طوری طراحی نمایید که یک تیر IPE450 با واکنش تکیه‌گاهی 40ton را تحمل نماید. فولاد مورد استفاده دارای تنش جاری شدن 2400 kg/cm^2 است.

$$N=\frac{P}{0.75F_y t_w}-k=\frac{40\times10^3}{0.75\times2400\times0.94}-3.56=20.08\ \text{cm}$$

لازم $W=20.08+1.2=21.28$

انتخاب $=22$ cm عرض نشیمن

چون ضخامت بال IPB450 مساوی 1.46 سانتیمتر است از ورقی به‌ضخامت 1.5 سانتیمتر استفاده می‌کنیم.

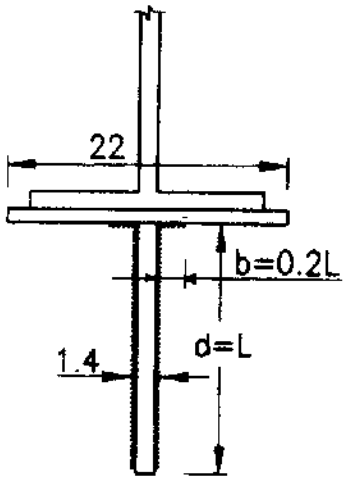
$t_s\geq t_w=0.94$ cm

$$t_s>\frac{w}{795/\sqrt{F_y}}=\frac{22}{795/\sqrt{2400}}=1.35\,\text{cm}$$

$$e_s=W-\frac{N}{2}=22-\frac{20.08}{2}=11.96\ \text{cm}$$

$$t_s\geq\frac{P(6e_s-2w)}{0.9F_y w^2}=\frac{40000(71.76-44)}{0.9\times2400\times22^2}=1.06\ \text{cm}$$

$t_s=1.4$ cm انتخاب می‌کنیم



$$\bar{y}=\frac{L^2}{2(L+b)}=\frac{L^2}{2\times1.2L}=\frac{L}{2.4}$$

$$S_x=\frac{2(4bL+L^2)}{6}=0.6L^2$$

$$f''_x=\frac{M}{S_x}=\frac{Pe_s}{0.6L^2}\rightarrow$$

$$f'_y=\frac{P}{2(L+0.2L)}=\frac{P}{2.4L}\downarrow$$

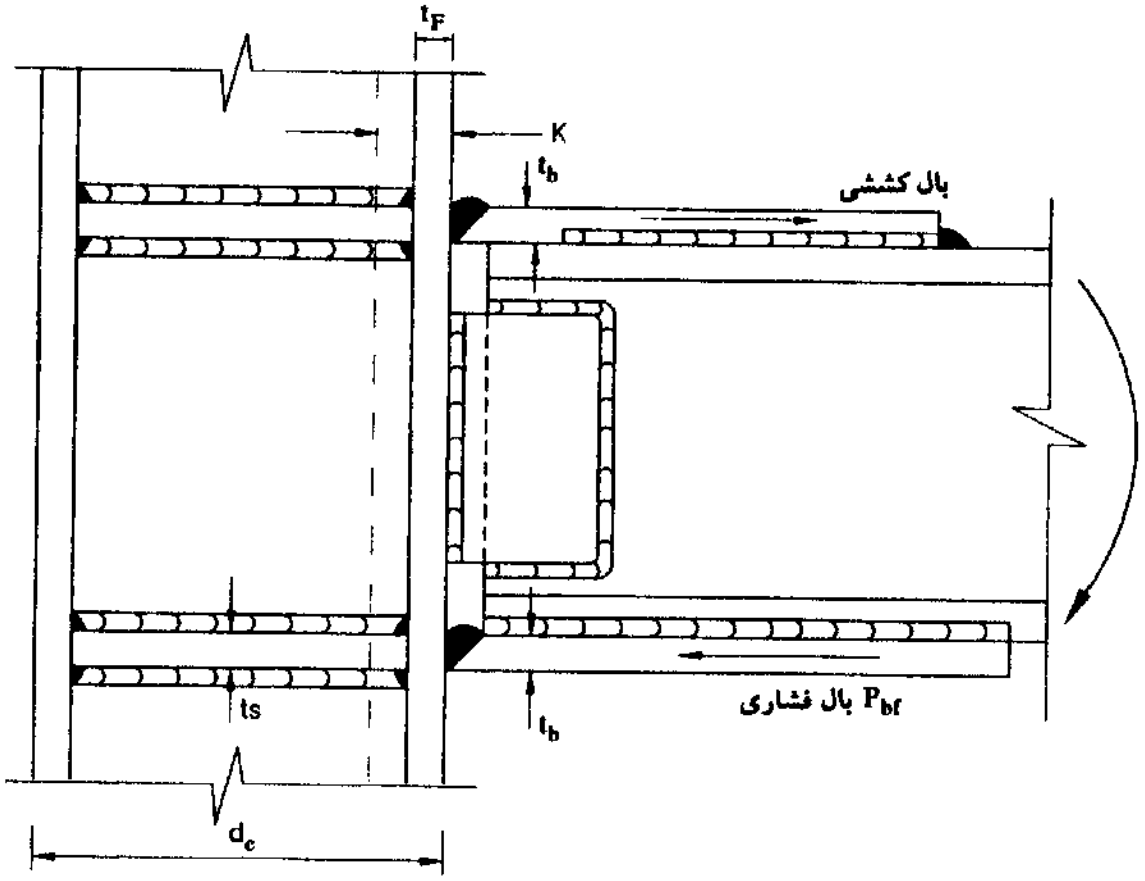
$$f_r=\sqrt{\left(\frac{Pe_s}{0.6L^2}\right)^2+\left(\frac{P}{2.4L}\right)^2}=\frac{P}{2.4L^2}\sqrt{16e_s^2+L^2}$$

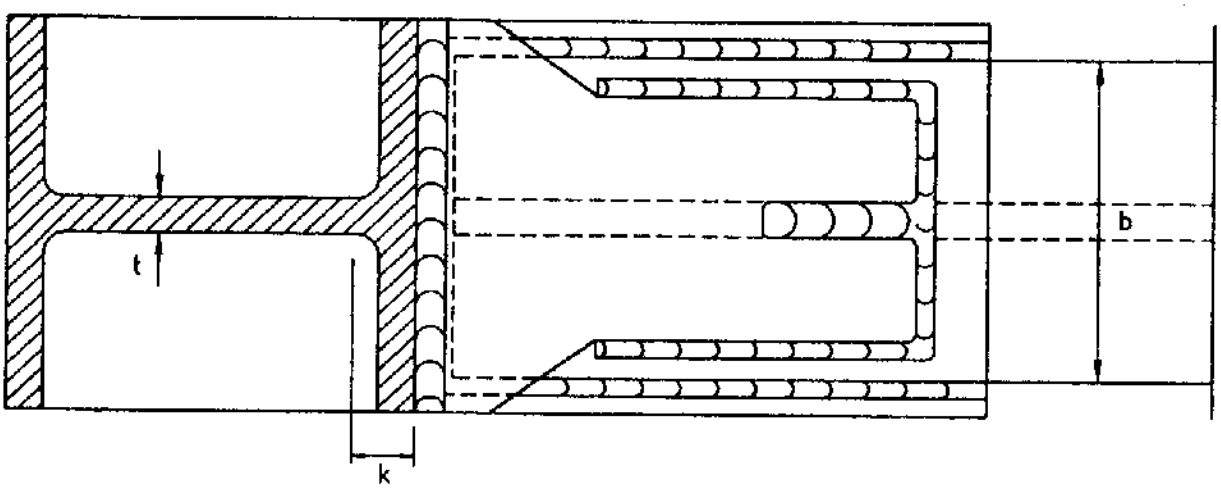
(با فرض اینکه $0.8\ W\cong\frac{L}{3}$) و با استفاده از رابطهٔ فوق $e_s=0.8W\rightarrow f_r=0.69\frac{P}{L}$

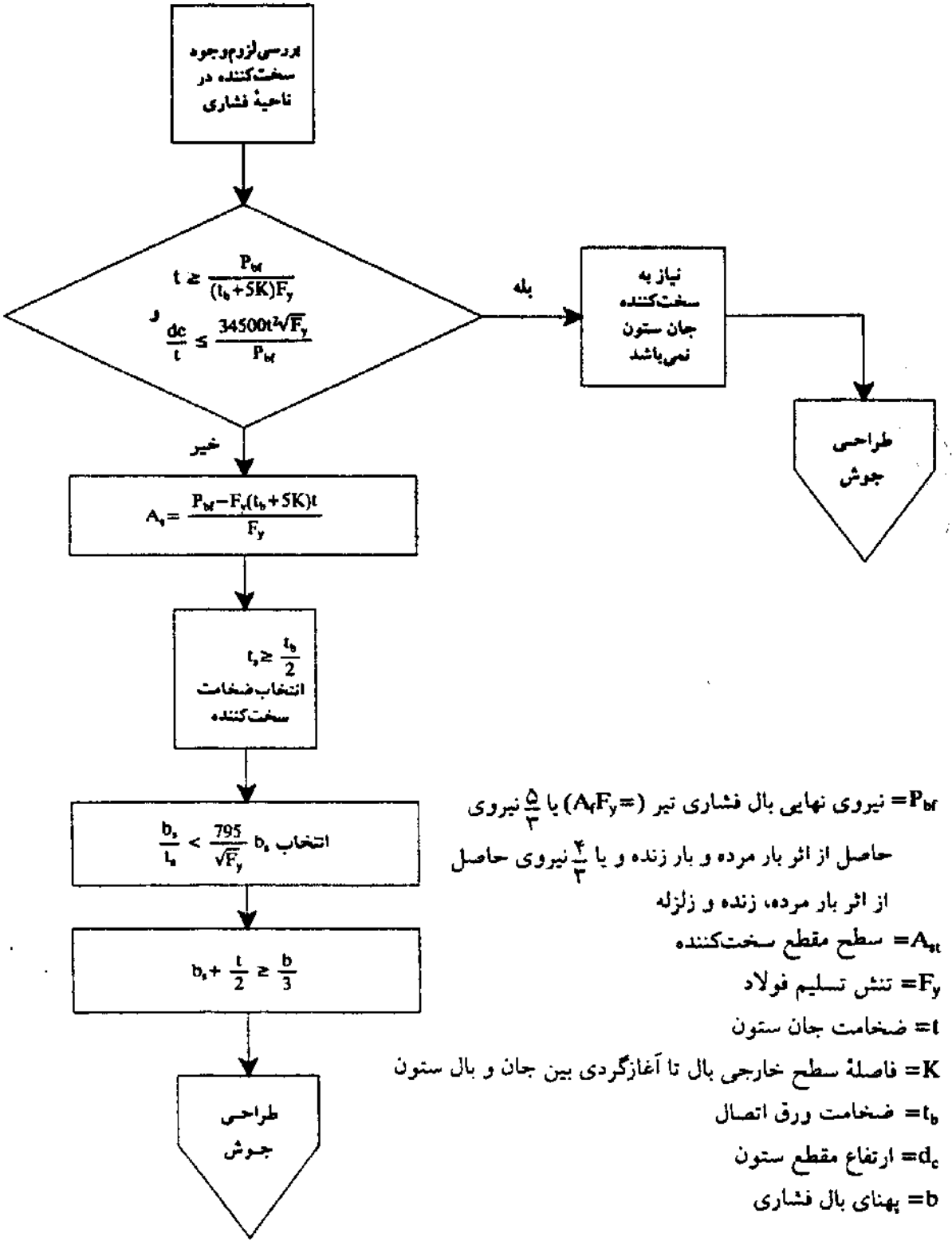
اگر از جوش ۸ میلیمتر استفاده نماییم:

$$R_w=0.707\times0.8\times945=534.5$$

اتصال صلب تیر به‌ستون







P_{bf}= نیروی نهایی بال فشاری تیر ($=A_fF_y$) یا $\frac{5}{3}$ نیروی حاصل از اثر بار مرده و بار زنده و یا $\frac{4}{3}$ نیروی حاصل از اثر بار مرده، زنده و زلزله

A_{st}= سطح مقطع سخت‌کننده

F_y= تنش تسلیم فولاد

t= ضخامت جان ستون

K= فاصلهٔ سطح خارجی بال تا آغازگردی بین جان و بال ستون

t_b= ضخامت ورق اتصال

d_c= ارتفاع مقطع ستون

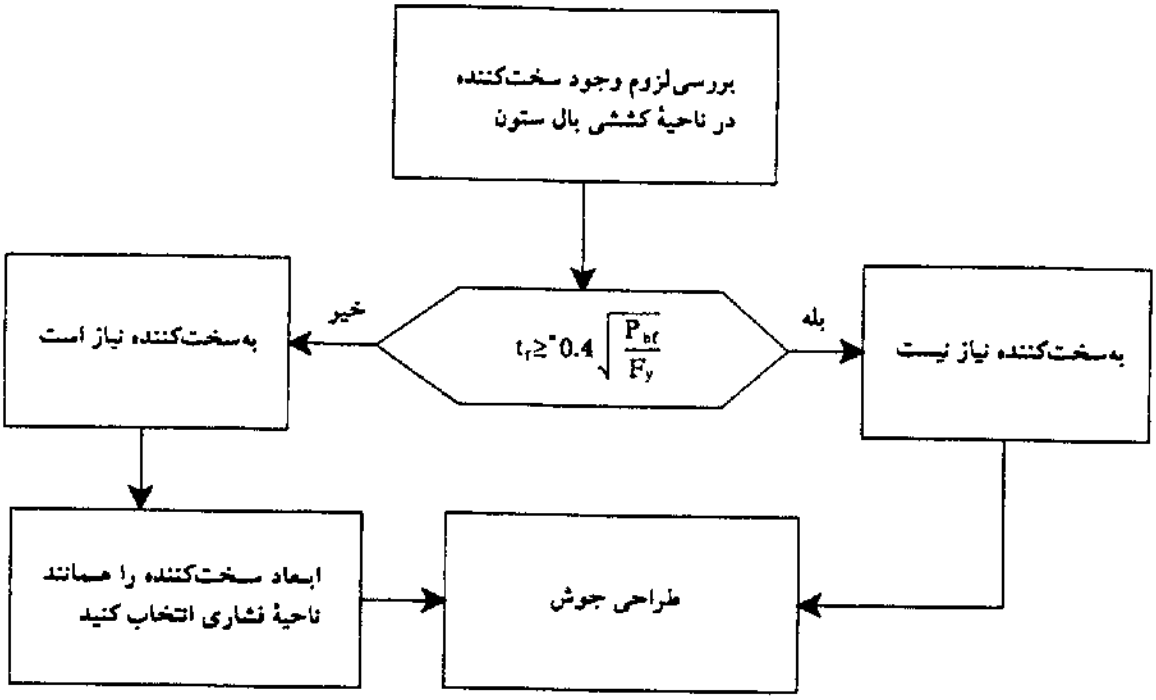
b= پهنای بال فشاری

نمودار ۳۸ ـ بررسی لزوم وجود سخت‌کننده در مقابل بال فشاری تیر

$$\text{لازم } L=\frac{0.69\times 90\times 10^3}{534.5}=51.64 \text{ cm}$$

انتخاب می‌کنیم $L=52$ cm

بررسی لزوم سخت‌کننده در ناحیهٔ کششی:



F_y= تنش جاری شدن

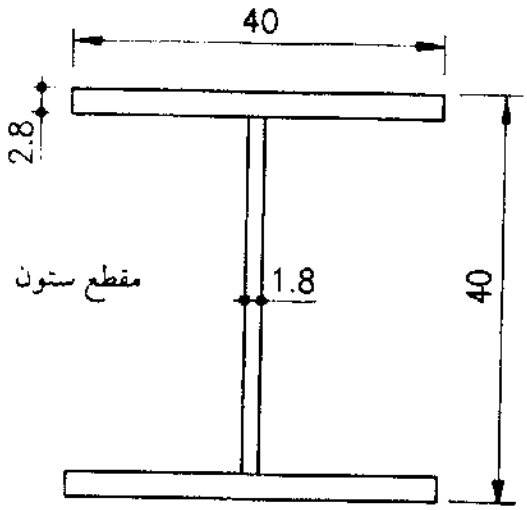
t_f= ضخامت بال ستون در مقابل بال کششی تیر

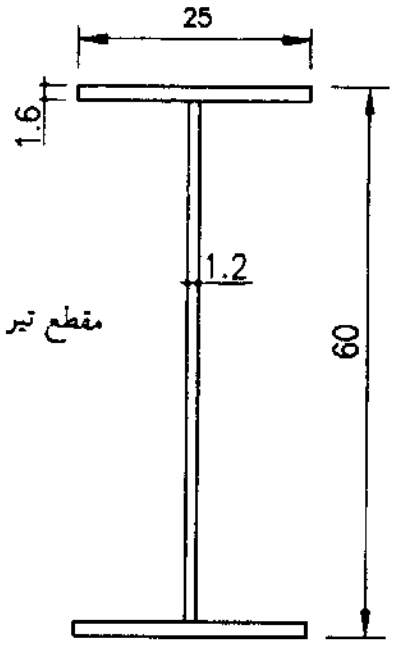
* مطابق آیین‌نامه ایران اگر عرض بارگذاری شده بر روی بال ستون از 0.15b (b عرض بال ستون) کمتر باشد. بررسی رابطهٔ فوق لازم نبوده و نیاز به‌سخت‌کننده نخواهد بود.

نمودار ۳۹ ـ بررسی لزوم وجود سخت‌کننده در مقابل بال کششی تیر

مثال

مطابق شکل زیر، طراحی اتصال صلب یک تیر ورق به‌یک ستون ساخته شده از ورق موردنظر می‌باشد. الکترود E60(F_u=4200) و Φ=0.7 و فولاد St37 با تنش جاری‌شدن 2400kg/cm^2 است.





$C_t=C_b=20cm$
A=285.92
I=83747.52
r=17.11
$S_t=S_b=4187.38$

$C_t=C_b=30cm$
A=148.16
I=86553.31
r=24.17
$S_t=S_b=2885.11$

جدول بارهای طرح

بار	برش (تن)	لنگر (تن ـ متر)
DL	10	14
LL	3.8	7
DL+LL	13.8	21
EQ	11.2	32.33
DL+LL+EQ	25	53.33
0.75(DL+LL+EQ)	18.75	40 تعیین‌کننده

حل:

طرح ورق فوقانی:

$$\text{نیروی کششی ورق} = T = \frac{40}{0.6} = 66.67$$

$$\text{تنش کششی مجاز ورق} = 0.6 \times 2400 = 1440 \ kg/cm^2$$

جوش شیاری اتصال‌دهندهٔ ورق فوقانی به‌ستون در کارگاه تحت نظر بازرسیهای چشمی انجام می‌شود. لذا $\phi = 0.75$

$$\text{تنش کششی مجاز جوش شیاری} = 0.75 \times 1440 = 1080 \ kg/cm^2$$

$$\text{عرض ورق فوقانی} = 20 \ cm$$

$$\text{ضخامت ورق فوقانی} = \frac{66.67 \times 10^3}{1080 \times 20} = 3.09 \ cm$$

بنابراین برای ورق فوقانی از ورق 200×30mm استفاده می‌شود.

$$\text{عرض ورق تحتانی} = 30 \ cm$$

$$\text{ضخامت ورق تحتانی} = \frac{66.67 \times 10^3}{1080 \times 30} = 2.06$$

از ورق 20×300 میلیمتر استفاده می‌شود.

جوش گوشه اتصال‌دهندهٔ ورق فوقانی $D = 15 \ mm$

$$\text{ارزش جوش} = (0.3 \times 4200) \times 0.75 \times \cos 45 \quad D = 668 \ D$$

$$\text{طول جوش لازم} = \frac{66.67 \times 10^3}{668 \times 1.5} = 66.54 \approx 68 \ cm$$

۲۰ سانتیمتر از جوش فوق در انتها و ۲۶ سانتیمتر در دو لبهٔ کناری انجام می‌شود.

جوش گوشهٔ اتصال‌دهندهٔ ورق تحتانی:

$D = 15mm$

طول جوش لازم = 68 cm (مثل ورق فوقانی)

$V = 18.75 \ ton$

طراحی نبشی جان به‌منظور انتقال برش:

برای اتصال از دو نبشی 12×120×120 میلیمتر به‌طول 30 سانتیمتر استفاده می‌شود.

$t_w = 12 \ mm$

حداکثر ضخامت مؤثر جوش جان $2\times 0.668\times D_{max}=0.4\times 2400\rightarrow D_{max}=0.718$ cm

انتخابی D=7 mm

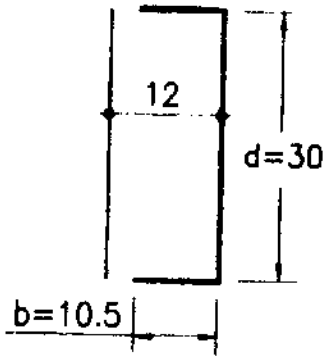
کنترل جوش A (جوش نبشیها به‌جان تیر):

$$I_p=I_x+I_y=\frac{8b^3+6bd^2+d^3}{12}$$

$$\bar{X}=\frac{b^2}{2b+d}$$

$$\bar{X}=\frac{10.5^2}{2\times 10.5+30}=2.16$$

$$I_p=\frac{8\times 10.5^3+6+10.5\times 30^2+30^3}{12}=7747\ cm^3$$



برش مستقیم =P

لنگر $=P.e_1=P(12-2.16)=9.84\ P$

برش مستقیم $f'_y=\frac{P/2}{(2\times 10.5+30)}=0.0098\ P$

$$f''_y=\frac{Tx}{I_p}=\frac{\frac{9.84P}{2}\times(10.5-2.16)}{7747}=0.0053P$$

$$f''_x=\frac{Ty}{I_p}=\frac{\frac{9.84P}{2}(15)}{7747}=0.0095P$$

$$f_r=P\sqrt{(0.0098+0.0053)^2+0.0095^2}=0.0178P$$

$668D=0.0178\ P\longrightarrow 668\times 0.7=0.0178\times P\longrightarrow P=26269$ kg

$P=26.27$ ton >18.75 ton

کنترل جوش B:

$$f_r=\frac{P}{2L^2}\sqrt{L^2+20.25e_1^2}$$

$P=18.75$

$L=30$

$e_1=9.84$

$$f_r = \frac{18.75\times10^3}{2\times30^2}\times\sqrt{30^2+20.25\times9.84^2} = 557\ \text{kg/cm}$$

$$668\,D = 557 \rightarrow D = 0.834 \rightarrow D = 9\,\text{mm}$$

بررسی لزوم وجود سخت‌کننده در ناحیهٔ فشاری

$$P_{bf} = \frac{53.33}{0.6}\times\frac{4}{3}^{*} = 118.51\ \text{ton}$$

$$\frac{P_{bf}}{(t_b+5K)Fy_c} = \frac{118.51\times10^3}{(2+5\times2.8)2400} = 3.086\ \text{cm}$$

$t_{w_c} = 1.8 < 3.17$ به‌ورق سخت‌کننده نیاز داریم

محاسبهٔ سطح مقطع سخت‌کننده:

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_y t(t_b+5K)}{F_y}$$

$$A_{sr} = \frac{118.51\times10^3 - 2400\times1.8(2+5\times2.8)}{2400} = 20.6\ \text{cm}^2$$

از دو ورق 160×10 میلیمتر استفاده می‌شود.

$$\frac{b_s}{t_s} = 16 < \frac{795}{\sqrt{F_y}}$$

طراحی سخت‌کننده در ناحیهٔ کششی اتصال

ضخامت بال ستون $t_{f_c} \geq 0.4\sqrt{\frac{P_{bf}}{Fy_c}} = 0.4\sqrt{\frac{118.51\times10^3}{2400}} = 2.81 \approx 2.8$

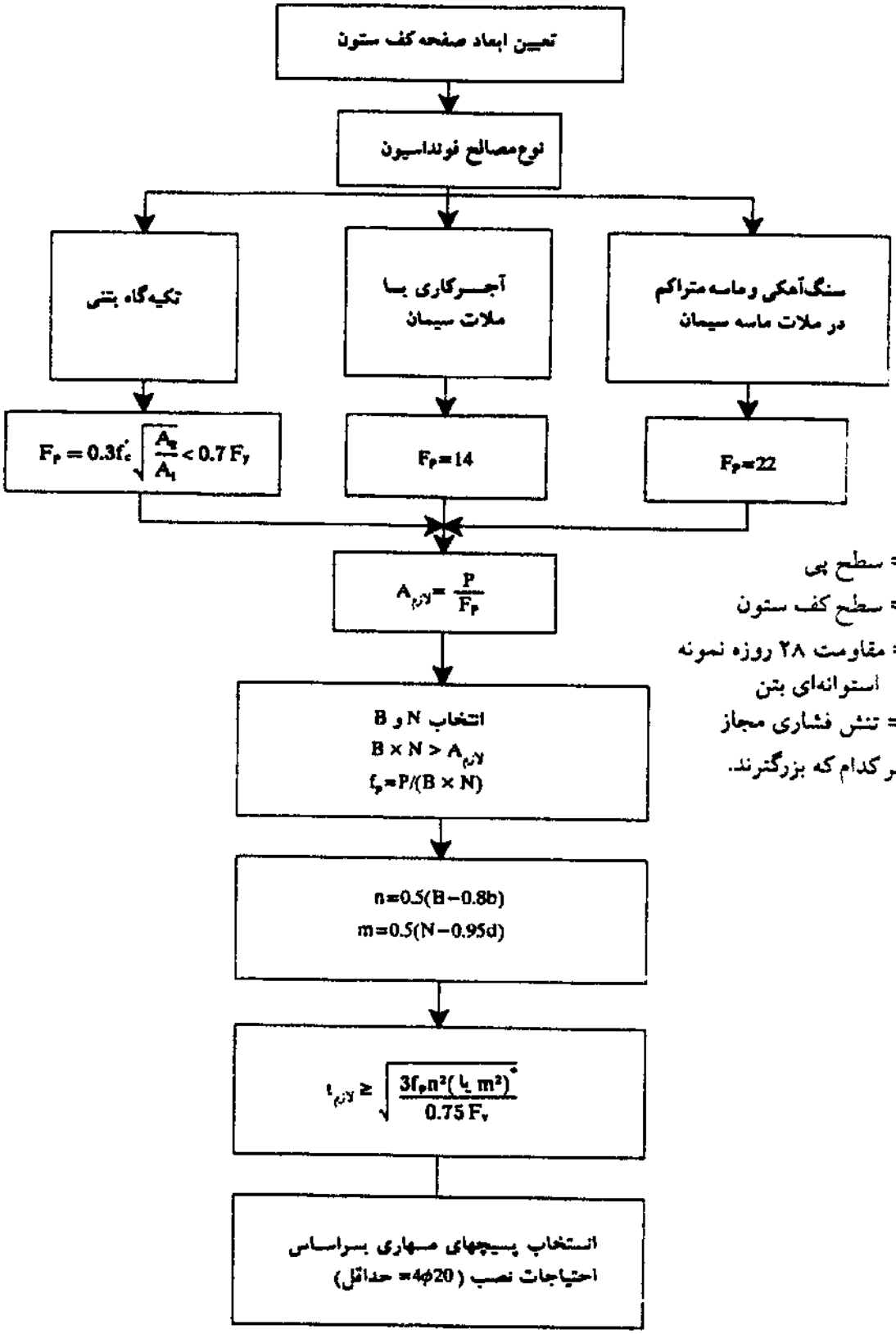
از لحاظ نظری نیاز به‌تقویت‌کنندهٔ کششی نیست لیکن قرار دادن آن همواره توصیه می‌شود.

---

* تذکر: مطابق مقررات ملی ساختمان مبحث ده وقتی P_{bf} حاصل از اثر بار مرده و زنده است در 5/3 و هنگامی‌که حاصل از اثر بار مرده و زنده به‌اضافهٔ زلزله است در 4/3 ضرب می‌شود.

فصل ۱۱

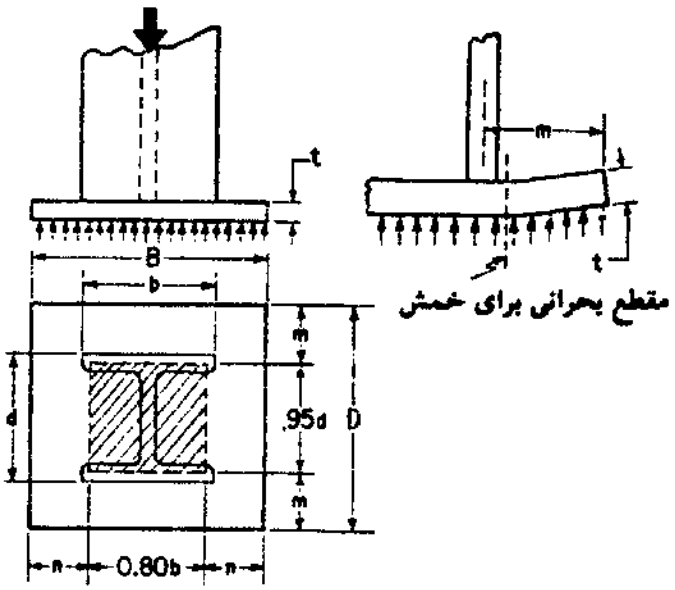
صفحات زیرستون



A_2= سطح پی
A_1= سطح کف ستون
f'_c= مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای بتن
F_p= تنش فشاری مجاز
* هر کدام که بزرگترند.

نمودار ۴۰ ـ تعیین ابعاد ورق کف ستون

اتصال سادهٔ ستون به کف ستون (پای مفصلی)



مثال

مطلوب است طرح یک ورق پای ستون برای ستونی از نیمرخ IPB360 که باری معادل 300 تن ناشی از بار مرده، زنده و باد تحمل می‌کند. فولاد ستون و ورق پای ستون از نوع نرمه با تنش جاری شدن $2400\ kg/cm^2$ می‌باشد. تنش مجاز بین ورق پای ستون و شالوده را $70kg/cm^2$ در نظر بگیرید:

$$\text{لازم } A=\frac{P}{1.33F_p}=\frac{300\times10^3}{1.33\times70}=3222\ cm^2$$

حل:

$0.8b=0.8(30)=24$ cm

$0.95d=0.8(36)=34.2$ cm

$n=0.5(B-0.8b)=0.5(B-24)$

$m=0.5(N-0.95d)=0.5(N-34.2)$

با فرض $\Leftrightarrow m=n$

$0.5(B-24)=0.5(N-34.2)$

$$\begin{cases} B=N-10.2 \\ B\times N=3222 \end{cases}$$

$(N-10.2)(N)=3222 \rightarrow N=62.09$ cm

$$B=62.09-10.2=51.89$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N=62 \text{ انتخاب} \rightarrow A_{\text{موجود}}=3224 \\ B=52 \end{cases}$$

$n=0.5(52-24)=14$ cm

$m=0.5(62-34.2)=13.9$ cm

$$\text{موجود } f_p=\frac{300\times10^3}{62\times52}=93.05 \text{ kg/cm}^2$$

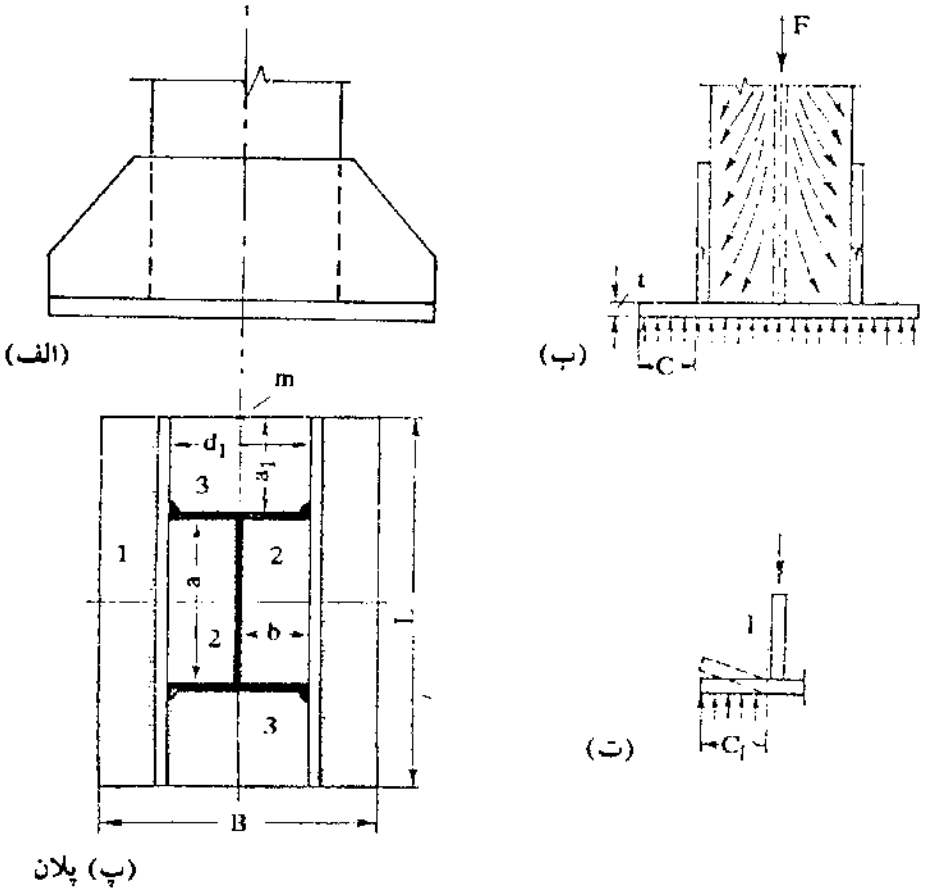
$$\text{لازم } t=\sqrt{\frac{3f_p(n^2 \text{ یا } m^2)}{0.75F_y}}=\sqrt{\frac{3(93.05)\times14^2}{0.75\times2400\times1.33}}=4.78 \text{ cm}$$

(اثر باد)

بنابراین از ورق 48×620×520 میلیمتر استفاده می‌شود.

برای اتصال از ۴ پیچ ۲۰ میلیمتر استفاده می‌شود.

استفاده از سخت‌کننده در اتصال پای ستون

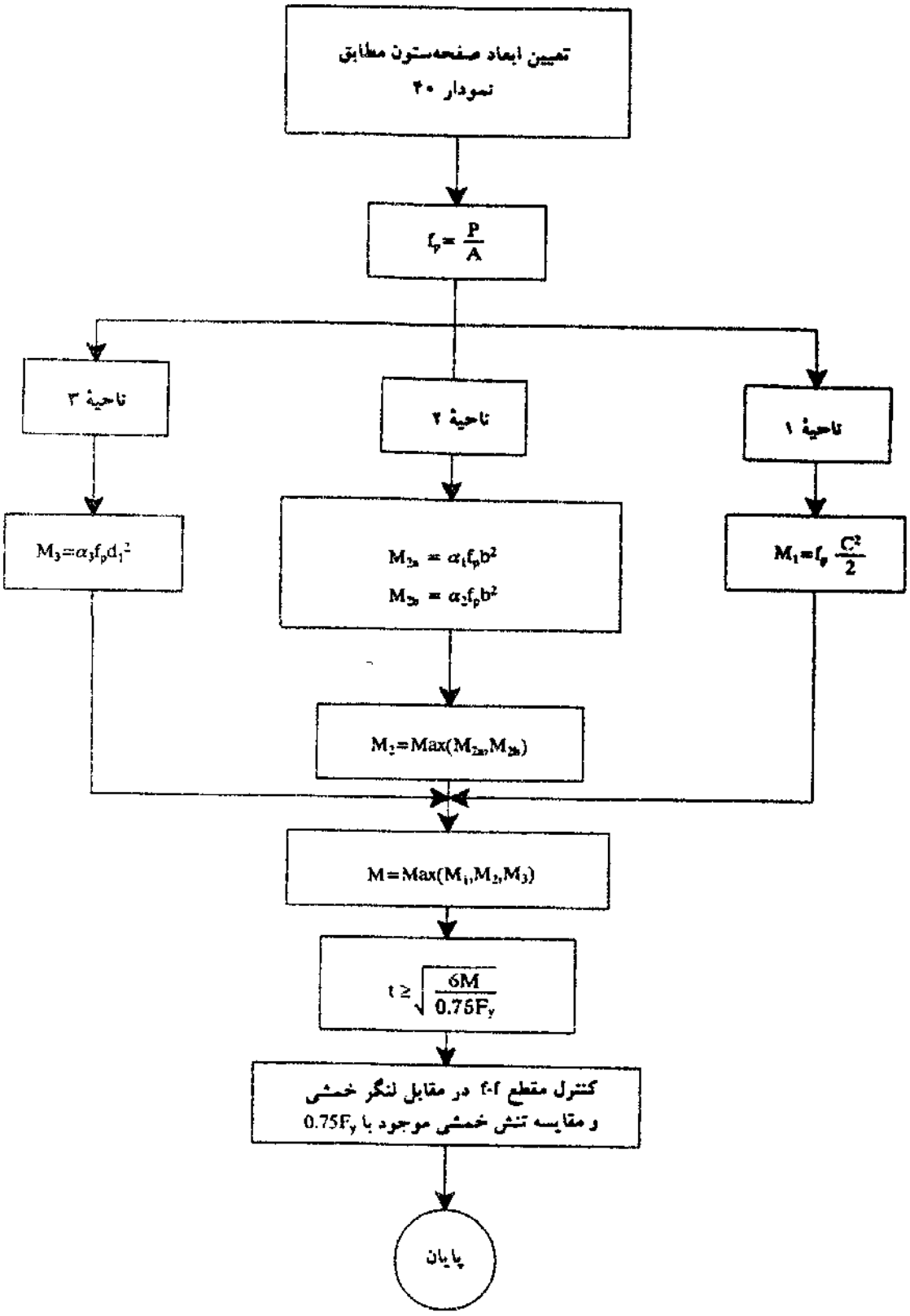


شکل ۵

ورق در هر چهار طرف تکیه دارد	ضرایب	نسبت a/b											
		1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	بالای 2
	α_1	0.048	0.055	0.063	0.069	0.075	0.081	0.086	0.091	0.094	0.098	0.100	0.125
	α_2	0.048	0.049	0.050	0.050	0.050	0.050	0.049	0.048	0.048	0.047	0.046	0.037
		نسبت a_1/d_1											
*ورق در سه طرف تکیه‌دارد	α_3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	2	بالای 2		
		0.060	0.074	0.088	0.097	0.107	0.112	0.120	0.126	0.132	0.133		
d_1= طول لبهٔ آزاد ورق													

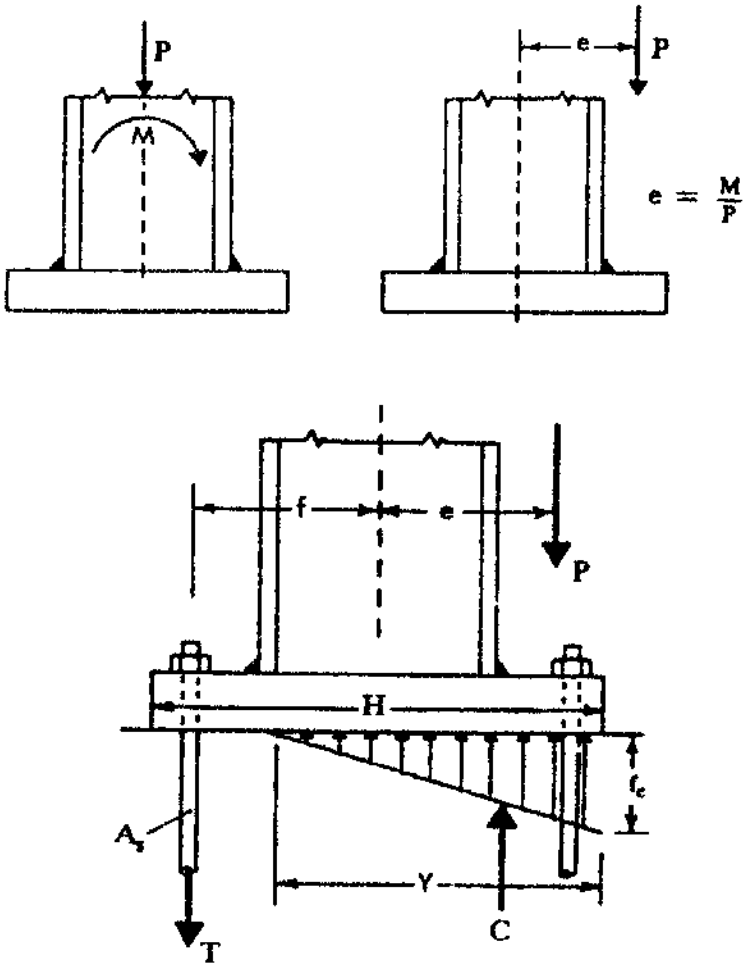
* اگر نسبت a_1/d_1 کوچکتر از 0.5 گردد، ورق در این ناحیه به‌صورت تیر طره‌ای تحلیل می‌گردد.

استفاده از سخت‌کننده در اتصال پای ستون



نمودار ۴۱ ـ استفاده از سخت‌کننده در پای ستون

اتصال صلب پای ستون



$$\frac{E_s}{E_c} \cong 10 = n$$

ابعاد صفحه ستون B×H

T= نیروی کششی در میل‌مهارها

A_s= سطح مقطع میل‌مهارهای کششی

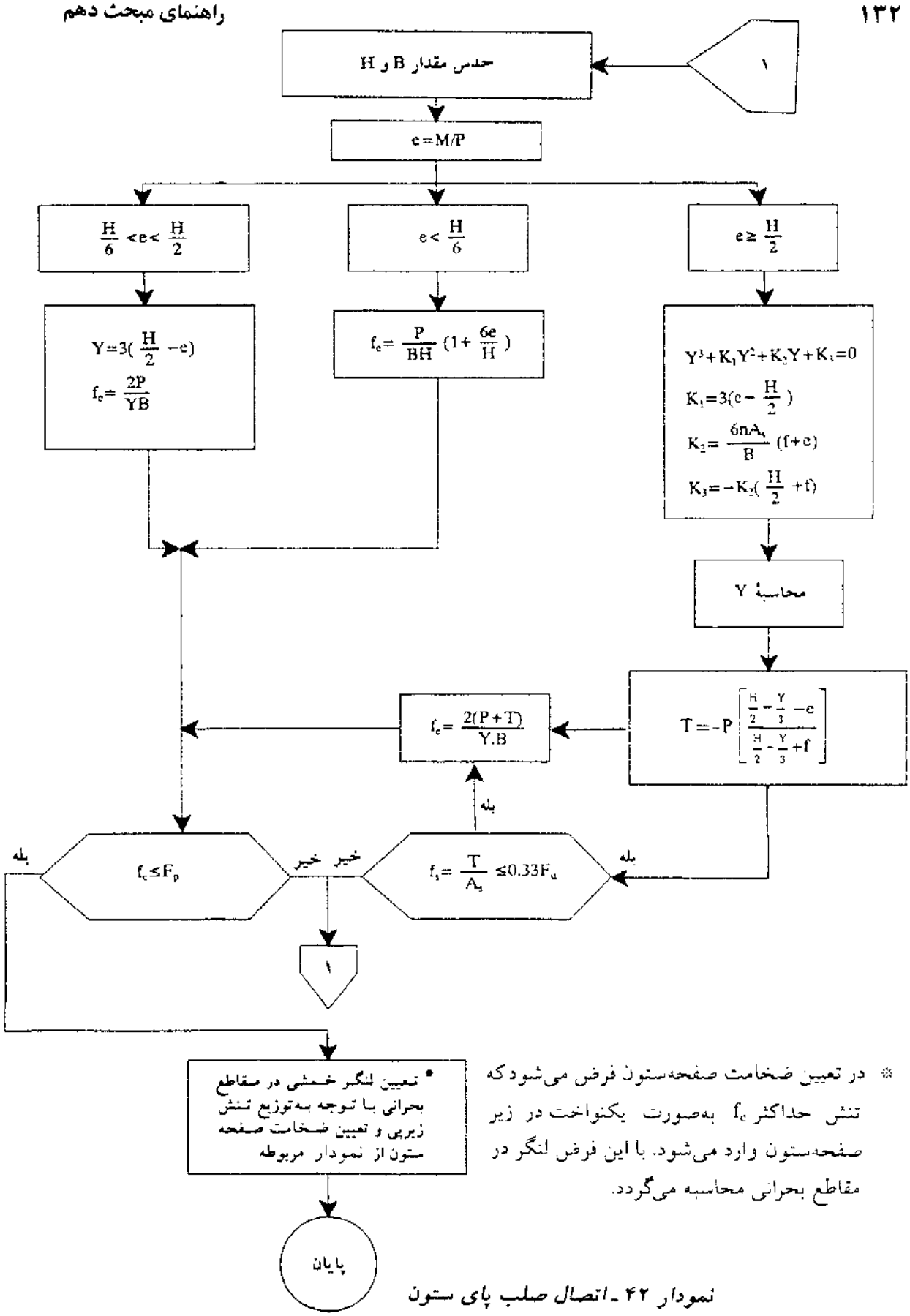
F_u= مقاومت نهایی مصالح میل‌مهار

F_p= تنش مجاز تماسی بین صفحه ستون و بتن

f_c= تنش فشاری حداکثر موجود بین صفحه ستون و بتن

P= نیروی وارده از طرف ستون

M= لنگر وارده از طرف ستون



* در تعیین ضخامت صفحه‌ستون فرض می‌شود که تنش حداکثر f_c به‌صورت یکنواخت در زیر صفحه‌ستون وارد می‌شود. با این فرض لنگر در مقاطع بحرانی محاسبه می‌گردد.

نمودار ۴۲ ـ اتصال صلب پای ستون

مثال

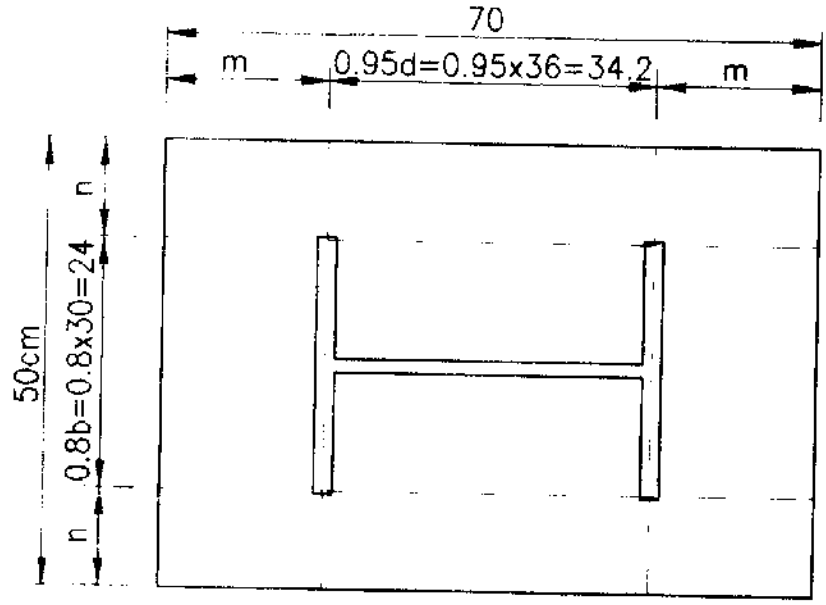
مطلوب است طرح یک اتصال کف ستون گیردار برای تحمل نیروی محوری 40ton و لنگر خمشی 20t.m که از یک ستون IPB360 برآن وارد می‌شود. فولادمصرفی از نوع نرمه با $F_y=2400\ kg/cm^2$ بوده و ورق پای ستون بر روی یک شالودهٔ بتنی بزرگ با مقاومت $f'_c=210\ kg/cm^2$ قرار گرفته است. فاصلهٔ مرکز پیچها از لبهٔ ورق 5cm است.

$e=M/P=50\ cm$

انتخاب :

$B=50\ ,\ H=70\ cm$

$e>H/2=35\ cm \longrightarrow$ به‌میله مهار کششی نیاز است.



$f=30\ cm$

$k_1=45\ cm$

$k_2=1086\ cm^2$

$k_3=-70593\ cm^3$

$$Y^3+45Y^2+1086Y^3-70593=0 \xrightarrow{\text{از روش حدس و خطا}} Y=24.9\ cm$$

$$T=-P\left[\frac{\frac{H}{2}-\frac{Y}{3}-e}{\frac{H}{2}-\frac{Y}{3}+f}\right]=16.44\,ton$$

$$f_c = \frac{2(P+T)}{Y.B} = 91 \text{ kg/cm}^2 < F_p = 0.7f'_c = 147 \text{ kg/cm}^2 \qquad \text{O.K.}$$

مجاز پیچها $F_t = 0.33F_u = 0.33 \times 3700 = 1221 \text{ kg/cm}^2$

(بولتها) لازم $A_s = \frac{T}{F_t} = \frac{16.44 \times 10^3}{1221} = 13.5 \text{ cm}^2$

$$4\Phi 22 (A_s = 15.2 \text{cm}^2)$$

$n = 0.5(B - 0.8b) = 0.5(50 - 24) = 13 \text{ cm}$

$m = 0.5(H - 0.95d) = 0.5(70 - 34.2) = 17.9 \text{ cm}$

لازم $t \geq \sqrt{\frac{3 f_c m^2}{0.75 F_y}} = \sqrt{\frac{3 \times 91 \times 17.9^2}{0.75 \times 2400}} \simeq 6 \text{ cm}$

از دو ورق 3 cm ضخامت بر روی هم استفاده می‌شود.

پیوست

جـــداول

جدول ۱ ـ تنش مجاز فشاری ستونها برحسب ضریب لاغری برای $F_y=2400\ kg/cm^2$

$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a
۱	۱۴۳۷	۴۱	۱۲۷۸	۸۱	۱۰۲۶	۱۲۱	۶۹۵	۱۶۱	۴۰۶
۲	۱۴۳۵	۴۲	۱۲۷۲	۸۲	۱۰۱۹	۱۲۲	۶۸۶	۱۶۲	۴۰۱
۳	۱۴۳۲	۴۳	۱۲۶۷	۸۳	۱۰۱۲	۱۲۳	۶۷۷	۱۶۳	۳۹۶
۴	۱۴۲۹	۴۴	۱۲۶۲	۸۴	۱۰۰۴	۱۲۴	۶۶۷	۱۶۴	۳۹۱
۵	۱۴۲۶	۴۵	۱۲۵۶	۸۵	۹۹۷	۱۲۵	۶۵۸	۱۶۵	۳۸۶
۶	۱۴۲۳	۴۶	۱۲۵۱	۸۶	۹۸۹	۱۲۶	۶۴۸	۱۶۶	۳۸۲
۷	۱۴۲۰	۴۷	۱۲۴۵	۸۷	۹۸۲	۱۲۷	۶۳۸	۱۶۷	۳۷۷
۸	۱۴۱۷	۴۸	۱۲۴۰	۸۸	۹۷۴	۱۲۸	۶۲۹	۱۶۸	۳۷۳
۹	۱۴۱۴	۴۹	۱۲۳۴	۸۹	۹۶۷	۱۲۹	۶۳۲	۱۶۹	۳۶۸
۱۰	۱۴۱۱	۵۰	۱۲۲۸	۹۰	۹۵۹	۱۳۰	۶۲۳	۱۷۰	۳۶۴
۱۱	۱۴۰۸	۵۱	۱۲۲۳	۹۱	۹۵۱	۱۳۱	۶۱۳	۱۷۱	۳۶۰
۱۲	۱۴۰۴	۵۲	۱۲۱۷	۹۲	۹۴۳	۱۳۲	۶۰۴	۱۷۲	۳۵۶
۱۳	۱۴۰۱	۵۳	۱۲۱۱	۹۳	۹۳۶	۱۳۳	۵۹۵	۱۷۳	۳۵۲
۱۴	۱۳۹۷	۵۴	۱۲۰۵	۹۴	۹۲۸	۱۳۴	۵۸۶	۱۷۴	۳۴۸
۱۵	۱۳۹۴	۵۵	۱۱۹۹	۹۵	۹۲۰	۱۳۵	۵۷۷	۱۷۵	۳۴۴
۱۶	۱۳۹۰	۵۶	۱۱۹۳	۹۶	۹۱۲	۱۳۶	۵۶۹	۱۷۶	۳۴۰
۱۷	۱۳۸۶	۵۷	۱۱۸۷	۹۷	۹۰۴	۱۳۷	۵۶۱	۱۷۷	۳۳۶
۱۸	۱۳۸۲	۵۸	۱۱۸۱	۹۸	۸۹۶	۱۳۸	۵۵۳	۱۷۸	۳۳۲
۱۹	۱۳۷۹	۵۹	۱۱۷۵	۹۹	۸۸۷	۱۳۹	۵۴۵	۱۷۹	۳۲۸
۲۰	۱۳۷۵	۶۰	۱۱۶۸	۱۰۰	۸۷۹	۱۴۰	۵۳۷	۱۸۰	۳۲۵
۲۱	۱۳۷۱	۶۱	۱۱۶۲	۱۰۱	۸۷۱	۱۴۱	۵۲۹	۱۸۱	۳۲۱
۲۲	۱۳۶۷	۶۲	۱۱۵۶	۱۰۲	۸۶۳	۱۴۲	۵۲۲	۱۸۲	۳۱۸
۲۳	۱۳۶۳	۶۳	۱۱۴۹	۱۰۳	۸۵۵	۱۴۳	۵۱۵	۱۸۳	۳۱۴
۲۴	۱۳۵۸	۶۴	۱۱۴۳	۱۰۴	۸۴۶	۱۴۴	۵۰۷	۱۸۴	۳۱۱
۲۵	۱۳۵۴	۶۵	۱۱۳۷	۱۰۵	۸۳۸	۱۴۵	۵۰۰	۱۸۵	۳۰۷
۲۶	۱۳۵۰	۶۶	۱۱۳۰	۱۰۶	۸۲۹	۱۴۶	۴۹۴	۱۸۶	۳۰۴
۲۷	۱۳۴۵	۶۷	۱۱۲۳	۱۰۷	۸۲۱	۱۴۷	۴۸۷	۱۸۷	۳۰۱
۲۸	۱۳۴۱	۶۸	۱۱۱۷	۱۰۸	۸۱۲	۱۴۸	۴۸۰	۱۸۸	۲۹۸
۲۹	۱۳۳۶	۶۹	۱۱۱۰	۱۰۹	۸۰۳	۱۴۹	۴۷۴	۱۸۹	۲۹۵
۳۰	۱۳۳۲	۷۰	۱۱۰۳	۱۱۰	۷۹۵	۱۵۰	۴۶۸	۱۹۰	۲۹۱
۳۱	۱۳۲۷	۷۱	۱۰۹۷	۱۱۱	۷۸۶	۱۵۱	۴۶۱	۱۹۱	۲۸۸
۳۲	۱۳۲۲	۷۲	۱۰۹۰	۱۱۲	۷۷۷	۱۵۲	۴۵۵	۱۹۲	۲۸۵
۳۳	۱۳۱۸	۷۳	۱۰۸۳	۱۱۳	۷۶۸	۱۵۳	۴۴۹	۱۹۳	۲۸۳
۳۴	۱۳۱۳	۷۴	۱۰۷۶	۱۱۴	۷۵۹	۱۵۴	۴۴۴	۱۹۴	۲۸۰
۳۵	۱۳۰۸	۷۵	۱۰۶۹	۱۱۵	۷۵۰	۱۵۵	۴۳۸	۱۹۵	۲۷۷
۳۶	۱۳۰۳	۷۶	۱۰۶۲	۱۱۶	۷۴۱	۱۵۶	۴۳۲	۱۹۶	۲۷۴
۳۷	۱۲۹۸	۷۷	۱۰۵۵	۱۱۷	۷۳۲	۱۵۷	۴۲۷	۱۹۷	۲۷۱
۳۸	۱۲۹۳	۷۸	۱۰۴۸	۱۱۸	۷۲۳	۱۵۸	۴۲۲	۱۹۸	۲۶۸
۳۹	۱۲۸۸	۷۹	۱۰۴۱	۱۱۹	۷۱۴	۱۵۹	۴۱۶	۱۹۹	۲۶۶
۴۰	۱۲۸۳	۸۰	۱۰۳۴	۱۲۰	۷۰۵	۱۶۰	۴۱۱	۲۰۰	۲۶۳

l= طول آزاد عضو

r= شعاع ژیراسیون حداقل

k= ضریب طول مؤثر

F_a= تنش فشاری مجاز برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

جدول ۲ ـ تنش مجاز فشاری ستونها برحسب ضریب لاغری برای $F_y=3600\ kg/cm^2$

$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a
۱	۲۱۵۵	۴۱	۱۸۴۱	۸۱	۱۳۲۹	۱۲۱	۷۱۹	۱۶۱	۴۰۶
۲	۲۱۵۰	۴۲	۱۸۳۰	۸۲	۱۳۱۴	۱۲۲	۷۰۷	۱۶۲	۴۰۱
۳	۲۱۴۵	۴۳	۱۸۱۹	۸۳	۱۲۹۸	۱۲۳	۶۹۵	۱۶۳	۳۹۶
۴	۲۱۴۰	۴۴	۱۸۰۸	۸۴	۱۲۸۳	۱۲۴	۶۸۴	۱۶۴	۳۹۱
۵	۲۱۳۵	۴۵	۱۷۹۷	۸۵	۱۲۶۸	۱۲۵	۶۷۳	۱۶۵	۳۸۶
۶	۲۱۲۹	۴۶	۱۷۸۶	۸۶	۱۲۵۲	۱۲۶	۶۶۳	۱۶۶	۳۸۲
۷	۲۱۲۳	۴۷	۱۷۷۵	۸۷	۱۲۳۷	۱۲۷	۶۵۲	۱۶۷	۳۷۷
۸	۲۱۱۷	۴۸	۱۷۶۴	۸۸	۱۲۲۱	۱۲۸	۶۴۲	۱۶۸	۳۷۳
۹	۲۱۱۱	۴۹	۱۷۵۳	۸۹	۱۲۰۵	۱۲۹	۶۳۲	۱۶۹	۳۶۸
۱۰	۲۱۰۵	۵۰	۱۷۴۱	۹۰	۱۱۸۹	۱۳۰	۶۲۳	۱۷۰	۳۶۴
۱۱	۲۰۹۹	۵۱	۱۷۲۹	۹۱	۱۱۷۳	۱۳۱	۶۱۳	۱۷۱	۳۶۰
۱۲	۲۰۹۲	۵۲	۱۷۱۸	۹۲	۱۱۵۷	۱۳۲	۶۰۴	۱۷۲	۳۵۶
۱۳	۲۰۸۵	۵۳	۱۷۰۶	۹۳	۱۱۴۰	۱۳۳	۵۹۵	۱۷۳	۳۵۲
۱۴	۲۰۷۹	۵۴	۱۶۹۴	۹۴	۱۱۲۴	۱۳۴	۵۸۶	۱۷۴	۳۴۸
۱۵	۲۰۷۲	۵۵	۱۶۸۲	۹۵	۱۱۰۷	۱۳۵	۵۷۷	۱۷۵	۳۴۴
۱۶	۲۰۶۴	۵۶	۱۶۶۹	۹۶	۱۰۹۰	۱۳۶	۵۶۹	۱۷۶	۳۴۰
۱۷	۲۰۵۷	۵۷	۱۶۵۷	۹۷	۱۰۷۴	۱۳۷	۵۶۱	۱۷۷	۳۳۶
۱۸	۲۰۵۰	۵۸	۱۶۴۵	۹۸	۱۰۵۷	۱۳۸	۵۵۳	۱۷۸	۳۳۲
۱۹	۲۰۴۲	۵۹	۱۶۳۲	۹۹	۱۰۴۰	۱۳۹	۵۴۵	۱۷۹	۳۲۸
۲۰	۲۰۳۴	۶۰	۱۶۲۰	۱۰۰	۱۰۲۲	۱۴۰	۵۳۷	۱۸۰	۳۲۵
۲۱	۲۸۲۶	۶۱	۱۶۰۷	۱۰۱	۱۰۰۵	۱۴۱	۵۲۹	۱۸۱	۳۲۱
۲۲	۲۰۱۸	۶۲	۱۵۹۴	۱۰۲	۹۸۷	۱۴۲	۵۲۲	۱۸۲	۳۱۸
۲۳	۲۰۱۰	۶۳	۱۵۸۱	۱۰۳	۹۷۰	۱۴۳	۵۱۵	۱۸۳	۳۱۴
۲۴	۲۰۰۲	۶۴	۱۵۶۸	۱۰۴	۹۵۲	۱۴۴	۵۰۷	۱۸۴	۳۱۱
۲۵	۱۹۹۳	۶۵	۱۵۵۵	۱۰۵	۹۵۴	۱۴۵	۵۰۰	۱۸۵	۳۰۷
۲۶	۱۹۸۵	۶۶	۱۵۴۱	۱۰۶	۹۳۶	۱۴۶	۴۹۴	۱۸۶	۳۰۴
۲۷	۱۹۷۶	۶۷	۱۵۲۸	۱۰۷	۹۱۹	۱۴۷	۴۸۷	۱۸۷	۳۰۱
۲۸	۱۹۶۷	۶۸	۱۵۱۴	۱۰۸	۹۰۲	۱۴۸	۴۸۰	۱۸۸	۲۹۸
۲۹	۱۹۵۸	۶۹	۱۵۰۱	۱۰۹	۸۸۶	۱۴۹	۴۷۴	۱۸۹	۲۹۵
۳۰	۱۹۴۹	۷۰	۱۴۸۷	۱۱۰	۸۶۹	۱۵۰	۴۶۸	۱۹۰	۲۹۱
۳۱	۱۹۴۰	۷۱	۱۴۷۳	۱۱۱	۸۵۴	۱۵۱	۴۶۱	۱۹۱	۲۸۸
۳۲	۱۹۳۱	۷۲	۱۴۵۹	۱۱۲	۸۳۹	۱۵۲	۴۵۵	۱۹۲	۲۸۵
۳۳	۱۹۲۱	۷۳	۱۴۴۵	۱۱۳	۸۲۴	۱۵۳	۴۴۹	۱۹۳	۲۸۳
۳۴	۱۹۱۱	۷۴	۱۴۳۱	۱۱۴	۸۱۰	۱۵۴	۴۴۴	۱۹۴	۲۸۰
۳۵	۱۹۰۲	۷۵	۱۴۱۷	۱۱۵	۷۹۶	۱۵۵	۴۳۸	۱۹۵	۲۷۷
۳۶	۱۸۹۲	۷۶	۱۴۰۲	۱۱۶	۷۸۲	۱۵۶	۴۳۲	۱۹۶	۲۷۴
۳۷	۱۸۸۲	۷۷	۱۳۸۸	۱۱۷	۷۶۹	۱۵۷	۴۲۷	۱۹۷	۲۷۱
۳۸	۱۸۷۲	۷۸	۱۳۷۳	۱۱۸	۷۵۶	۱۵۸	۴۲۲	۱۹۸	۲۶۸
۳۹	۱۸۶۱	۷۹	۱۳۵۹	۱۱۹	۷۴۳	۱۵۹	۴۱۶	۱۹۹	۲۶۶
۴۰	۱۸۵۱	۸۰	۱۳۴۴	۱۲۰	۷۳۱	۱۶۰	۴۱۱	۲۰۰	۲۶۳

L= طول آزاد عضو

r= شعاع ژیراسیون حداقل

k= ضریب طول مؤثر

F_a= تنش فشاری مجاز برحسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

جدول ۳ ـ تنش برشی مجاز در اتصالات اصطکاکی در پیچهای پرمقاومت

شرح	A307	A325 d≤25	A325 d>25	A490
سوراخ استاندارد	630	1238	1088	1500
سوراخ بزرگ‌شده و لوبیایی کوتاه	504	990	870	1200
سوراخ لوبیایی بلند (بار در امتداد طولی)	420	825	725	1000
سوراخ لوبیایی بلند (بار در امتداد عرضی)	378	743	653	900

جدول ۴ ـ تنش مجاز کششی در وسایل اتصال

شرح		A307	A325 d≤25mm	A325 d>25mm	A490	پرچ
پرچ	F_y=2400	–	–	–	–	1800
	F_y=3500	–	–	–	–	2625
پیچ معمولی		1386	2723	2393	3300	–
قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین‌شده در حالتی‌که سطح برش از قسمت دنده‌شده می‌گذرد		1386	2723	2393	3300	–
قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین‌شده در حالتی که سطح برش از قسمت‌دندانه‌شده‌نمی‌گذرد		1386	2723	2393	3300	–
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد		1596	3135	2755	3800	–
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دندانه‌شده نمی‌گذرد		1596	3135	2755	3800	–

جدول ۵ ـ تنش برشی مجاز (در اتصالات اتکایی)

شـــرح		A307	d≤25mm A325	d>25mm A325	A490	پرچ
پرچ	F_y=2400	—	—	—	—	1440
	F_y=3500	—	—	—	—	2100
پیچ معمولی		714	—	—	—	—
قطعه دنده‌شده درحالتی که سطح برش از قسمت دنده‌شده می‌گذرد		714	—	—	—	—
قطعه دنده‌شده در حالتی که سطح برش از قسمت دنده شده نمی‌گذرد		924	—	—	—	—
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دنده شده می‌گذرد		—	1650	1450	2000	—
پیچ پرمقاومت که سطح برش از قسمت دنده‌شده نمی‌گذرد		—	2310	2030	2800	—

جدول ۶ ـ حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت

عضو تحت تنش	پهنا به ضخامت	مقطع فشرده $F_y=2400$	مقطع نشرده $F_y=3500$	مقطع غیرفشرده $F_y=2400$	مقطع غیرفشرده $F_y=3500$
بالهای تیر نوردشدهٔ I و ناودانی در خمش	b/t	11	9	16	13
بالهای تیر مرکب I با اتصال جوش در خمش	b/t	11	9	$16\sqrt{K_c}$ *	$13\sqrt{K_c}$ *
عضو فشاری تک‌نبشی یا جفت نبشی با اتصال و لقمه‌هایی بین دو نیمرخ	b/t	—	—	13	11
بالهای برجسته در عضو فشاری جفت نبشی در تماس سرتاسری با یکدیگر، تسمه‌ها یا نبشیها که به‌طور برجسته بر تیر یا ستون قرار گیرند قطعات تقویتی در تیرهای مرکب	b/t	—	—	16	13
تیغه (جان) نیمرخ سپری	d/t	—	—	22	18
پهنای آزادی در ورقهای تقویتی سوراخدار	b/t	—	—	54	45

* اگر $\frac{h}{t} > 70$ باشد، $K_C = \frac{4.05}{\left(\frac{h}{t}\right)^{.46}}$ در غیر این‌صورت $K_C=1$

جدول ۶ ـ حداکثر نسبت پهنای آزاد به‌ضخامت

عضو تحت تنش		پهنا به ضخامت	مقطع فشرده $F_y=2400$	مقطع فشرده $F_y=3500$	مقطع غیرفشرده $F_y=2400$	مقطع غیرفشرده $F_y=3500$
ورقهای تقویتی روی بال تیر بادو خط اتصال در دو لبهٔ موازی، بالهای مقطع قوطی‌شکل با ضخامت ثابت جدار در خمش یا فشار		b/t	32	27	41	34
تمام عناصر دیگری که در دو لبه تحت‌اثر فشار یکنواخت نگهداری شده باشند		b/t یا h/t	—	—	43	36
جان قطعات تحت اثر فشار حاصل از خمش		d/t	110	91	—	—
		h/t_w	—	—	130	108
جان قطعات تحت اثر مشترک فشار حاصل از خمش و فشار محوری		d/t_w	$f_a \le 384$ $109.51(1-0.00156f_a)$	$f_a \le 560$ $90.68(1-0.00107f_a)$	—	—
			$f_a > 384$ 44	$f_a > 560$ 36	—	—
		h/t_w	–	–	$\frac{6370}{\sqrt{F_b}}$	$\frac{6370}{\sqrt{F_b}}$
مقطع دایره‌ای توخالی	تحت فشار محوری	D/t	97	66	—	—
	تحت خمش	D/t	97	66	—	—

برگه‌های طراحی

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
شمارهٔ کف	کاربری	بارمردهٔ کف	بار تیغه	وزن اسکلت	بار زنده	درصد بارزنده	مساحت کل	مساحت خالص	دیوار محیطی N–S	طول دیوار N–S	دیوار محیطی E–W	طول دیوار E–W	وزن‌مردهٔ کف	وزن تیغه	وزن اسکلت	وزن دیوار محیطی	وزن‌مردهٔ کل‌کف ۱۳+۱۴+۱۵+۱۶	وزن زندهٔ کف	وزن‌مرده و زنده (۱۷+۱۸)	وزن‌زندهٔ کاهش یافته	وزن‌مرده‌و وزن‌زندهٔ کاهش‌یافته (۱۷+۲۰)
	واحد	T/m^2	T/m	T/m^2	T/m^2		m^2	m^2	T/m	m	T/m	m	T	T	T	T	T	T	T	T	T
جمع																					

(۱) ـ محاسبهٔ وزن ساختمان

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
کف	سطح بارگیر	$q_d+q_{fr}+q_P$	$P_i(d+fr+P)$	$P_i(wall)$	$P_i(D)$	q_L	$P_{i(L)}$	طبقه	P(D)	$P_{(L)}$	$P_{(D+L)}$	ضریب کاهش بار زنده	P(L) کاهش یافته	P(D+L) کاهش یافته	زلزله X		زلزله Y	
															P_e	0.75P(d+l+e)	P_e	0.75P(d+l+e)
	m^2	T/m	T	T	T	T/m	T		T	T	T		T	T	T	T	T	T

(۲) - محاسبهٔ بار محوری ستون

نام پروژه | مهندس محاسب | تاریخ | محل ستون در پلان

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
کف	بارگیر سطح	q(D+L)	P(D+L)	P(W) دیوار	P کل کف	طبقه	P(D+L)	M_x(D+L)	M_y(D+L)	زلزله در امتداد								زلزله در امتداد							
										E		.75(D+L+E)			.75(D+L−E)			E		.75(D+L+E)			.75(D+L−E)		
	m^2	T/m^2	T	T	T					P	M	P	M_x	M_y	P	M_x	M_y	P	M	P	M_x	M_y	P	M_x	M_y
							T	T.m	T.m	T	T.m	T	T.m	T.m	T	T.m	T.m	T	T.m	T	T.m	T.m	T	T.m	T.m

(۳) ـ محاسبهٔ بارهای طراحی ستون

شمارهٔ تراز کف	h_i	w_i	w_ih_i	F_i
R				

طبقه	برش طبقه (V_i)	ارتفاع طبقه (h_i)	برش طبقه $h_i \times V_i$	لنگر طبقه	

(۴) - توزیع نیروی زلزله در طبقات

برگهٔ طراحی برای تیرهای فلزی (روش تنش مجاز)

طبقه :
محور
ابتدا : انتها :
شمارهٔ تیر در تحلیل :

نام پروژه :
مهندس محاسب :
تاریخ :
صفحه : از :

Fy=

طول دهانه (L)=

ترکیبات بارگذاری	برش			لنگر خمشی		
	ابتدا	وسط	انتها	ابتدا	وسط	انتها
D + L						
0.75(D + L + E)						
0.75(D + L − E)						

طراحی خمشی

مهار جانبی نشده	مهار جانبی شده	
	غیرفشرده	فشرده
$\beta = L/r_t$ = $\beta b = 2683(Cb/Fy)^{1/2}$= $\beta c = 6000(Cb/Fy)^{1/2}$=		
$\beta \le \beta b$: Fb=0.6Fy=	Fb=0.6Fy=	Fb=0.66Fy=
$\beta b < \beta \le \beta c$: Fb= $[2/3 - Fy\beta^2/(1075\times10^5 Cb)]Fy$=		
$\beta > \beta c$: $Fb = 120\times10^5 Cb/\beta^2$=		
Fb=840000Cb/(Ld/Af)=		

(۵) ـ طراحی تیر

Sreq=M/Fb=	Cb=1.75+1.05(M1/M2)+0.3(M1/M2)^2= ≤2.3			
PROFILE:	Ix=	Sx=	tf=	h=
(SHAPE):	tw=	ry=	k=	b=
	Af=	Aw=	Ld=	rt=
				(rt#1.2 ry)
طراحی برشی				
fv = V / Aw =				
h/tw= ≤ 3185/(Fy)^{½} : Fv=0.4Fy=				
کنترل تغییرشکل				
Max Deflection = δmax =				
Exis. Deflection = δ = δ / L = ≤				
کنترل لهیدگی بین جان و بال				
N=	Fc=R/t_w(N+2k)=		≤ .75 Fy =	بارهای متمرکز داخلی:
	Fc=R/t_w(N+k)=		≤ .75 Fy =	واکنشهای تکیه‌گاهی:

(۵) ـ طراحی تیر (ادامه)

برگه طراحی ستون فلزی (روش تنش مجاز)

موقعیت ستون : نام پروژه :

طبقه : مهندس محاسب :

شماره ستون در تحلیل : تاریخ :

گره ابتدا : انتها : صفحه : از :

نیروها و لنگرهای وارده

ترکیبات بارگذاری	P	Mix	Mjx	Miy	Mjy
D + L					
.75(D+L+Ex)					
.75(D+L−Ex)					
.75(D+L+Ey)					
.75(D+L−Ey)					

ستون بالایی :

تیرهای بالایی (X) : Gax= Kx=

تیرهای بالایی (Y) : Gay=

ستون پایینی :

تیرهای پایینی (X) : Gbx= Ky=

تیرهای پایینی (Y) : Gby=

مشخصات عضو

L =

A = Fy=

Ix =

Iy =

Sx =

Sy =

rx = ry=

تنشهای مجاز

(KL/r)x= F'ex= Fa= Fbx=

(KL/r)y= F'ey= Fby=

(۶) ـ طراحی ستون

ترکیب تنشهای محوری و خمشی													
(1) $fa/Fa+\beta x.fbx/Fbx+\beta y.fby/Fby \leq 1$ $\quad \beta x=Cmx/(1-fa/F'ex)$													
(2) $fa/.6Fy+fbx/Fbx+fby/Fby \leq 1$ $\quad \beta y=Cmy/(1-fa/F'ey)$													
ترکیبات بارگذاری	fa	fa/Fa	fa/.6Fy	fbx	fbx/Fbx	Cmx	βx	fby	fby/Fby	Cmy	βy	#1	#2
D + L													
.75(D + L + Ex)													
.75(D + L − Ex)													
.75(D + L + Ey)													
.75(D + L − Ey)													

(۶) ـ طراحی ستون (ادامه)

قاب مهاربندی شده :	نام پروژه :	
طبقه :	مهندس محاسب :	
شماره بادبند در تحلیل :	تاریخ :	صفحه :

نیـروها				
نیروی زلزله در جهت ...		نیروی زلزله در جهت ...		بارهای ثقلی
.75(D+L−E)	.75(D+L+E)	.75(D+L−E)	.75(D+L+E)	D+L
P	P	P	P	P

Ag= Anet= rx= ry= L= Fy= Fu=

Ft=.6Fy (سطح مقطع کل)= یا (سطح مقطع مؤثر)=Ft=.5Fu

(KL/r)x= (KL/r)y= Fa=

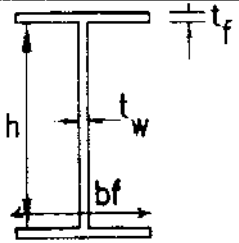
Ag . Fa		Ft . Ag	Ft . Aen

(۷) ـ طراحی اعضاء مهاربندی

برگـه طراحـی تیـر ورق		
F_y=	طول دهانه (L)=	

نیروها و لنگرهای وارده						
ترکیبات بارگذاری	برش			لنگر خمشی		
D+L	ابتدا	وسط	انتها	ابتدا	وسط	انتها
$0.75(D+L+E_x)$						
$0.75(D+L-E_x)$						
$0.75(D+L+E_y)$						
$0.75(D+L-E_y)$						

مشخصات تیر



h=	t_w=	
b_f=	t_f=	
A_w=	A_f=	A=
I_x=	I_y=	S_x=
S_y=	r_x=	r_y=
r_t=	L_d=	

$\frac{b_f}{2t_f}$= $795/\sqrt{F_y}$=

$\frac{h}{t_w}$= $\frac{985\times10^3}{\sqrt{F_y(F_y+1160)}}$=

if $\frac{a}{h}<1.5$: $\frac{h}{t_w}$= $\frac{16770}{\sqrt{F_y}}$=

(۸) ـ طراحی تیر ورق

<table>
<tr><th colspan="3">طراحی خمشی</th></tr>
<tr><th>مهار جانبی نشده</th><th colspan="2">مهار جانبی شده</th></tr>
<tr><td rowspan="2">$\beta=L/r_t$ $\qquad \beta_b=2683(C_b/F_y)^{1/2}=$
$\beta_c=6000(C_b/F_y)^{1/2}=$
$\beta\le\beta_b : F_b=0.6F_y=$
$\beta_b<\beta<\beta_c : F_b=(2/3-F_y\beta^2/\ 1075\times10^5C_b)F_y$
$\beta>\beta_c : F_b=\dfrac{120\times10^5\times C_b}{\beta^2}$
$Fb=\dfrac{840000C_b}{Ld/A_f}$</td><th>فشرده</th><th>غیرفشرده</th></tr>
<tr><td>$F_b=0.66F_y=$</td><td>$F_b=0.6F_y$</td></tr>
<tr><td colspan="3">$C_b=1.75+1.05(\dfrac{M_1}{M_2})+0.3(\dfrac{M_1}{M_2})^2=\quad \le 2.3$</td></tr>
<tr><td colspan="3">$\dfrac{h}{t_w}=\quad >\dfrac{6370}{\sqrt{F_b}} \Rightarrow F'_b=F_b\left[1-0.005\dfrac{A_w}{A_f}\left(\dfrac{h}{t_w}-\dfrac{6370}{\sqrt{F_b}}\right)\right]=$
$f_b=\dfrac{M}{S_x}=\quad \le(F'_b)$ یا (F_b)</td></tr>
</table>

(۸) - طراحی تیر ورق (ادامه)

$$a= \quad , \quad \frac{a}{h}<1.5 \quad , \quad \frac{a}{h}<\left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}}\right)^2 \leq 3$$

$$\therefore \quad \frac{a}{h}\leq 1 \rightarrow K_v = 4+\frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = \qquad C_v = \frac{315\times 10^4 \times K_v}{F_y\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} = \quad (\quad C_v \leq 0.8)$$

$$\therefore \quad \frac{a}{h} > 1 \rightarrow K_v = 5.34+\frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} =$$

$$(\quad C_v > 0.8) \rightarrow C_v = \frac{1600}{\frac{h}{t_w}}\sqrt{\frac{K_v}{F_y}} =$$

طراحی برشی

$$\therefore \quad \frac{h}{t_w} \leq 260 \rightarrow f_v = \frac{V}{A_w} = \qquad \leq F_v = \frac{F_y \cdot C_v}{2.89} \leq 0.4F_y$$

$$\therefore \quad \frac{h}{t_w} \geq 260 \rightarrow f_v = \frac{V}{A_w} = \qquad \leq \frac{F_y}{2.89}\left[C_v - \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] = \leq 0.4F_y$$

$F_b=$ ناشی از کشش $\qquad \leq (0.825 - 0.375\, f_v/F_v)F_y \leq 0.6F_y$

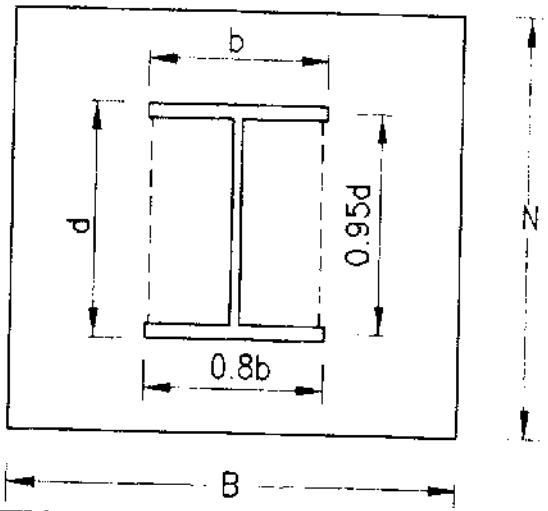
(۸) - طراحی تیر ورق (ادامه)

برگه طراحی صفحه زیر ستون

Fy =

نیروها

ترکیبات بارگذاری	P
D + L	
$0.75(D + L + E_x)$	
$0.75(D + L - E_x)$	
$0.75(D + L + E_y)$	
$0.75(D + L - E_y)$	



سنگ آهک و ماسه سنگ متراکم در ملات ماسه و سیمان	تکیه‌گاه آجری با ملات ماسه و سیمان	تکیه‌گاه نبشی
$F_p=22$	$F_p=14$	$F_p = 0.3 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \le 0.7 F_y$

n=	$n=0.5(B-0.8b)=$
m=	$m=0.5(N-0.95d)=$

$A=\frac{P}{F_p}$

b= d=

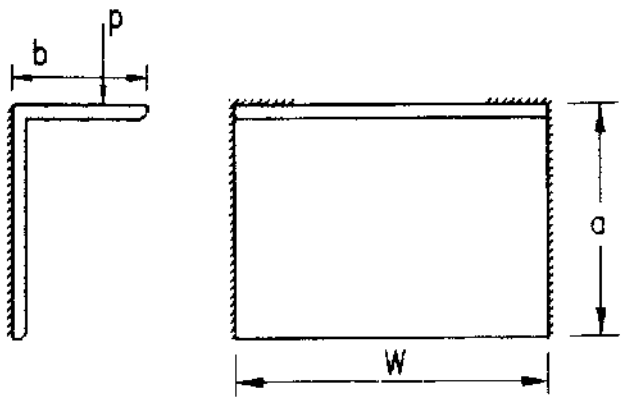
B= N=

$f_p=\frac{P}{B\times N}=$

$t=\sqrt{\frac{3 f_p (n^2 \text{ یا } m^2)}{0.75 Fy}}$

ابعاد نهایی صفحه ستون :

(۹) ـ طراحی صفحه زیر ستون

بـرگه طراحی اتصال ساده تبشی نشیمن انعطاف‌پذیر		Fy =
نیـروها		
ترکیبات بارگذاری	P	
D + L		
$0.75(D + L + E_x)$		
$0.75(D + L - E_x)$		
$0.75(D + L + E_y)$		
$0.75(D + L - E_y)$		

a=

b= t= w= $k_{نیر}$=

$N = \frac{P}{0.75F_y t_w} - k =$ $\geq k \Rightarrow N =$

W=N+ فاصلهٔ مونتاژ = $\geq 7.5\ cm \Rightarrow W =$

c_f=N/2 + فاصلهٔ مونتاژ =

$e = e_f - t - 0.95 =$ $S = \frac{1}{12} t^3.W =$

M=P.e=

$\frac{P.e}{S} =$ $\leq F_b = 0.75\ F_y$

تبشی مصرفی:

طراحی جوش اتصال

(۱۰) ـ طراحی اتصال ساده

F_y=	برگه طراحی اتصال گیردار
نام پروژه:	

نیروها و لنگرهای وارده

ترکیبات بارگذاری	لنگر خمشی			برش		
	ابتدا	وسط	انتها	ابتدا	وسط	انتها
D+L						
$0.75(D+L+E_x)$						
$0.75(D+L-E_x)$						
$0.75(D+L+E_y)$						
$0.75(D+L-E_y)$						

طرح اتصال برای انتقال برش با استفاده از نشیمن تقویت‌شده

$N=\frac{P}{0.75F_y t_w}-k=$ $\geq k$ $N=$

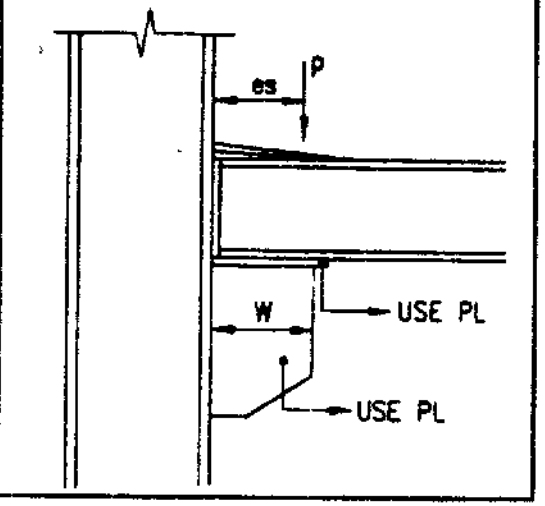
فاصله مونتاژ $W=N+$ $W=$

$t_s \geq t_w=$

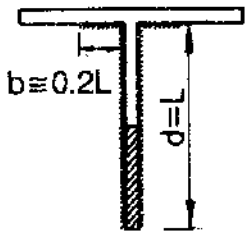
$t_s \geq \frac{W}{795/\sqrt{F_y}}=$ $t_s=$

$t_s \geq \frac{P(6e_s-2W)}{0.9F_y W^2}=$

مشخصات مقاطع
$k_{beam}=$
$t_{w\ beam}=$
$b_{beam}=$
$S_{x\ beam}=$
$d_{beam}=$



(۱۱) ـ طراحی اتصال گیردار

طرح جوش اتصال با نشیمن تقویت‌شده	
$f_r = \frac{P}{2.4L^2}\sqrt{26e_S^2 + L^2}$ $a = \frac{f_r}{668}$ $a \le t_s / 1.41$	

طراحی جوش صفحهٔ فوقانی	طراحی صفحهٔ فوقانی
a=	$M = F_b.S_x =$
l_w لازم $= \frac{T}{668\ a}$	$T = \frac{M}{d_{beam}} =$
	$A_g = \frac{T}{0.6F_y}$ $> \frac{T}{0.5F_u}$ $A_g =$
ورق مصرفی	$\begin{cases} b_P = \\ t_P = \end{cases}$

(۱۱) ـ طراحی اتصال گیردار (ادامه)

ISBN 964 - 6561 - 04 - 7

قیمت ۷۰۰۰ ریال