بسم الله الرحمن الرحيم

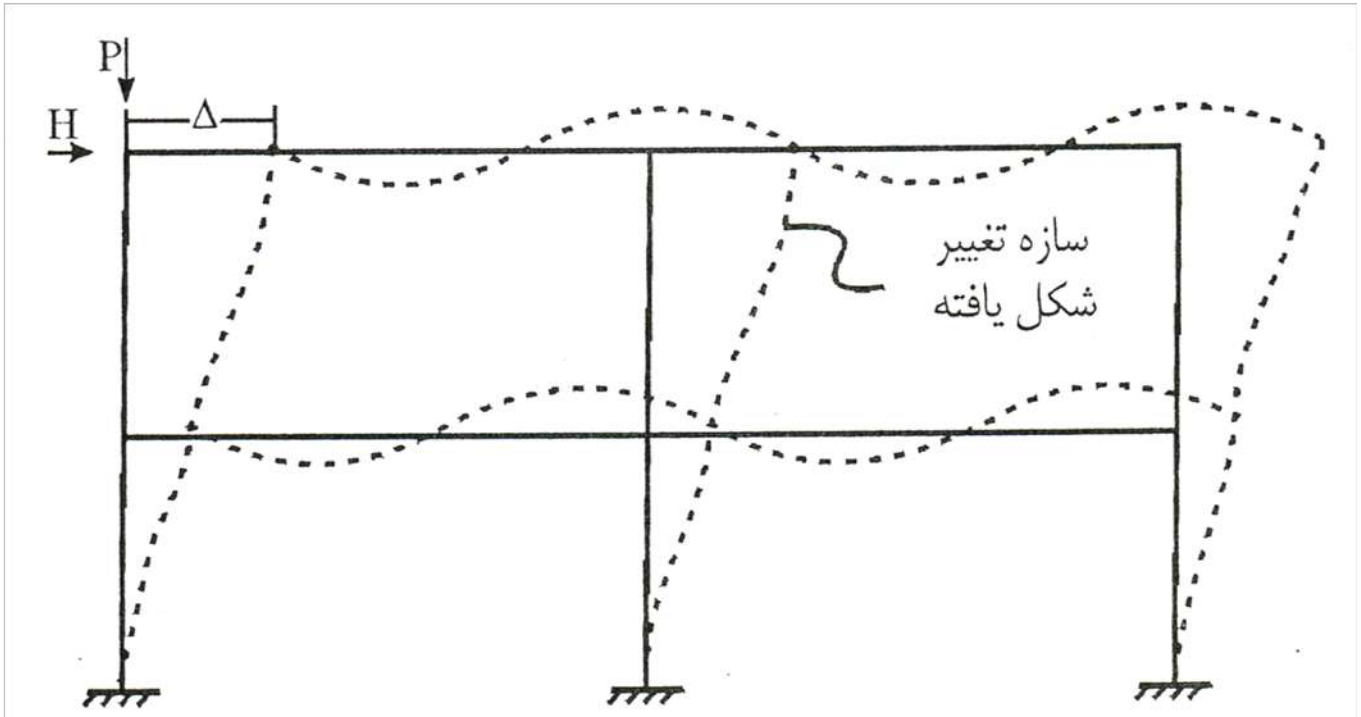
سیستم های متداول جنب انرژی در سازه های فولادی

سیستم‌های متداول فولادی مقاوم در برابر زلزله

- سیستم قاب مقاوم خمشی (MRF)
- سیستم قاب مهاربندی شده هم مرکز(CBF)
- سیستم قاب مهاربندی شده خارج از مرکز (EBF)
- سیستم دوگانه (ترکیبی)
- سیستم قاب خمشی فولادی به همراه دیوار های برشی فولادی

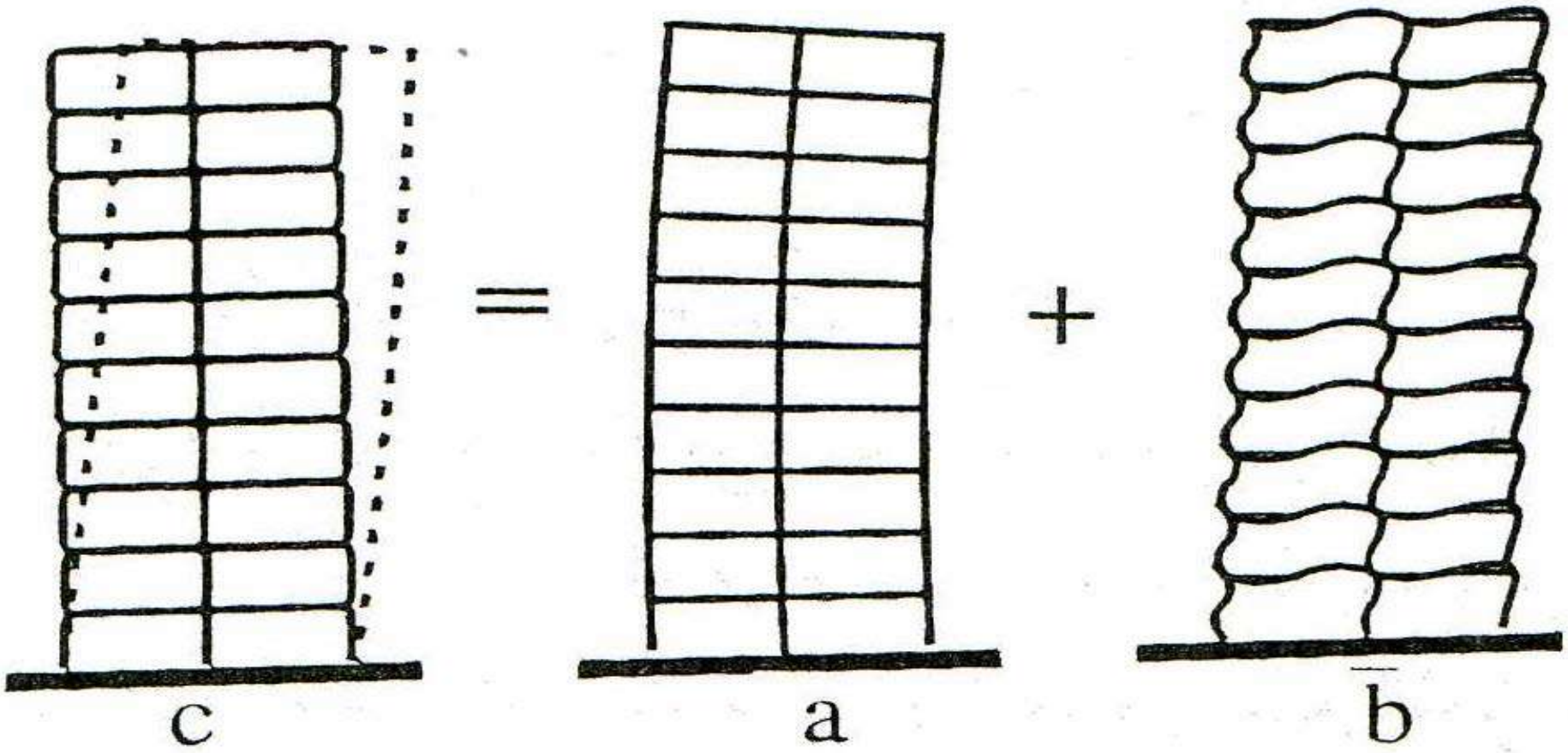
❑ سیستم قاب خمشی

- این سیستم دارای شکل پذیری قابل ملاحظه ای نسبت به سایر سیستم های باربرمی باشد.هرچند به علت سختی نسبتاً کم ارضای محدودیت های تغییر مکان جانبی در ساختمانهای بلند ممکن است منجر به یک طرح غیر اقتصادی شود.



تغییر شکل قاب صلب خمشی

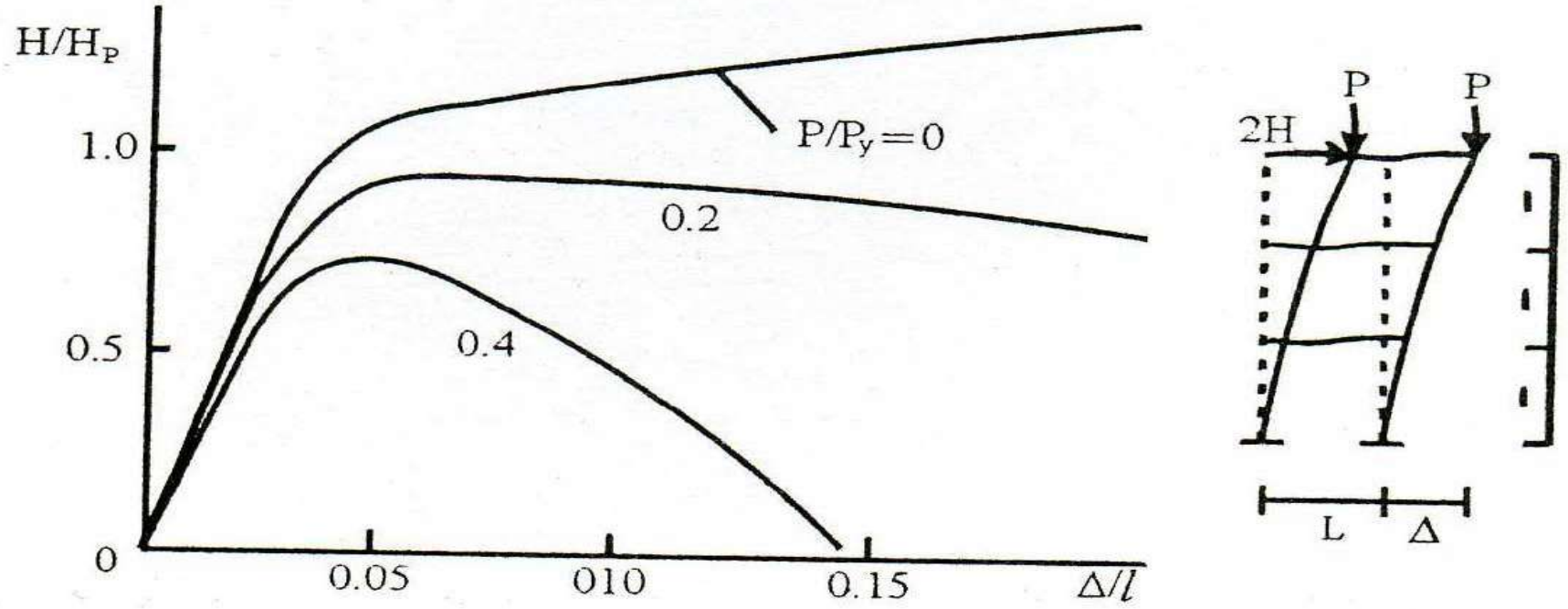
- تغییر شکلهای قاب در اثر دو عامل عمده بوجود می آید:
- ***۱ - تغییر شکل ناشی از خمش طره ای***
- ***۲ - تغییر شکل ناشی از خمش تیرها وستونها***



تغییر شکل قاب‌های خمشی

- ***تغییر شکل ناشی از خمش طره ای***
- در اثر واژگونی، قاب بصورت یک تیر طره ای عمل میکند وبدلیل تغییر شکل محوری، ستونهای فشاری قاب کاهش طول می دهند وستونهای کششی قاب افزایش طول می دهند.بررسی ها نشان داده اند سهم این عامل حدود ۲۰٪ کل تغییر شکل قاب خمشی است.(شکل a)
- ***تغییر شکل ناشی از خمش تیرها وستون ها***
- در این حالت دوران اتصال باعث ایجاد خمش در تیرها وستونهای متصل به آن می شود.در واقع تغییر مکان جانبی قاب در اتصالات به دوران تبدیل می شود.بررسی ها نشان داده است که سهم این عامل حدود ۸۰٪ کل تغییر شکل قاب است که از این ۸۰٪ حدود ۶۵٪ سهم خمش تیرها و۱۵٪ سهم خمش ستونها است.

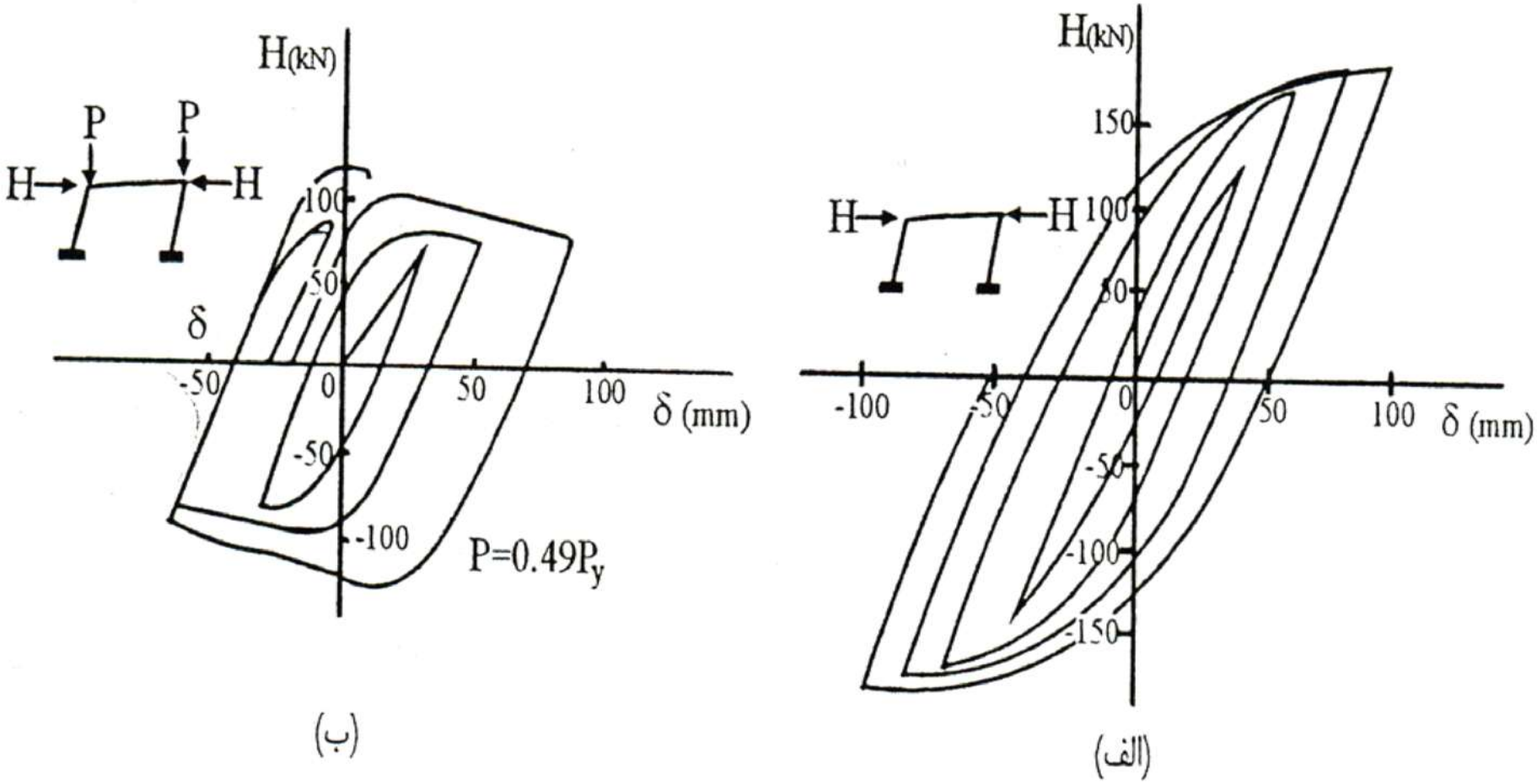
- ***روابط بار-تغییر مکان افقی*** قابهی خمشی چند طبقه وابسته به بار قائم است.مقاومت یک قاب خمشی با افزایش بار قائم به دلیل اثر P-Δ کاهش می یابد.لذا در صورت بزرگتر شدن جابجایی نسبی طبقات از مقدار 02/R. در نظر گیری اثرات P-Δ ضروری است.



روابط بار- تغییر مکان برای قاب خمشی تحت بار ثقلی

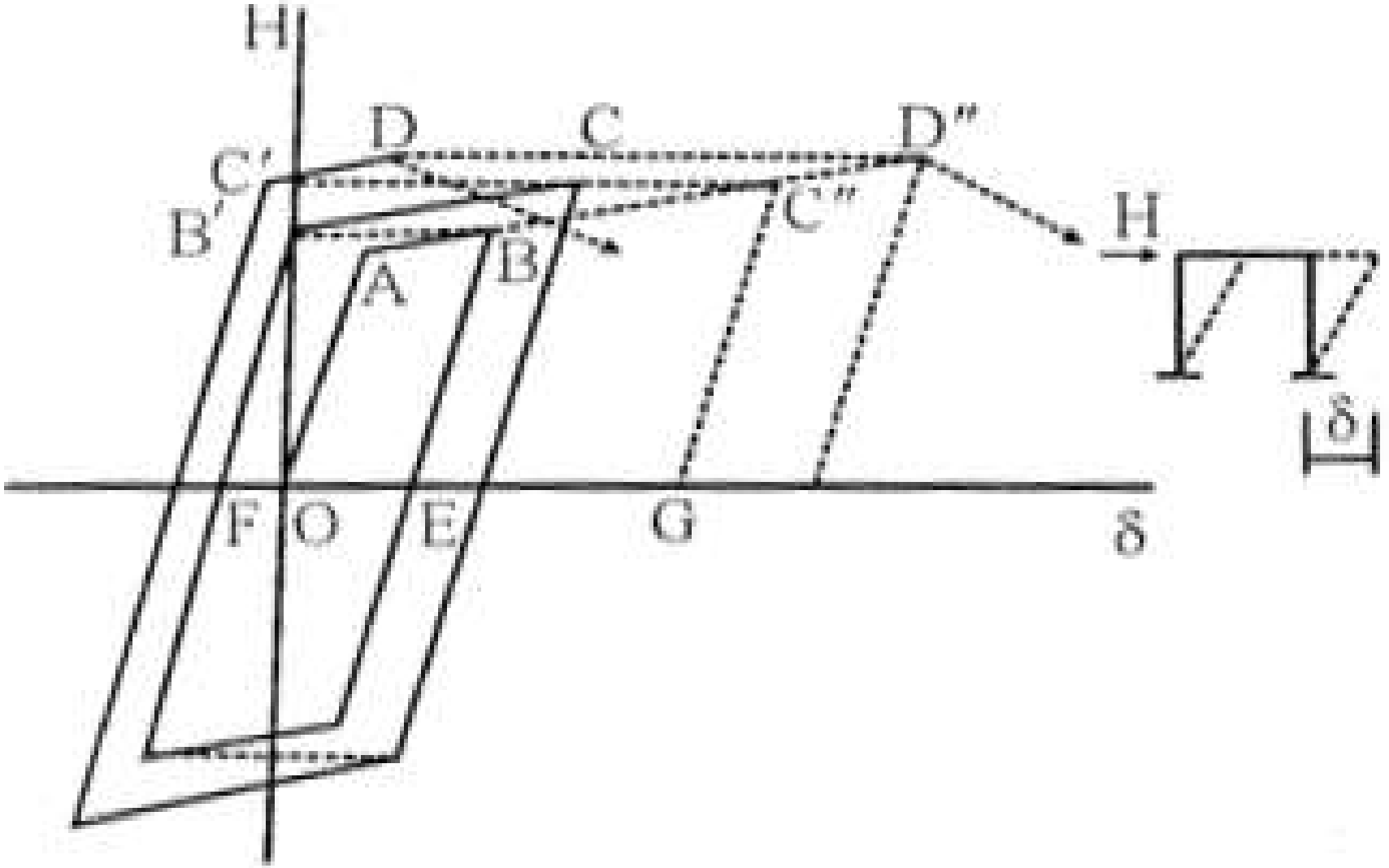
- ***رفتارچرخه ای قابهای خمشی***
- شکل زیر روابط بار-تغییر مکان یک قاب خمشی را تحت یک بار افقی سیکلی نشان می دهد.در شکل (الف) چون هیچ نیروی قائمی اعمال نمی شودچرخه های هیسترزیس دوکی شکل هستند.شیب منفی ظاهر شده در شکل (ب) پس از فرارسیدن مقاومت حداکثرناشی از اثر P-Δ حاصل می شود.

رفتار چرخه ای قاب ها



روابط بار- تغییر مکان قاب‌های خمشی پرتال

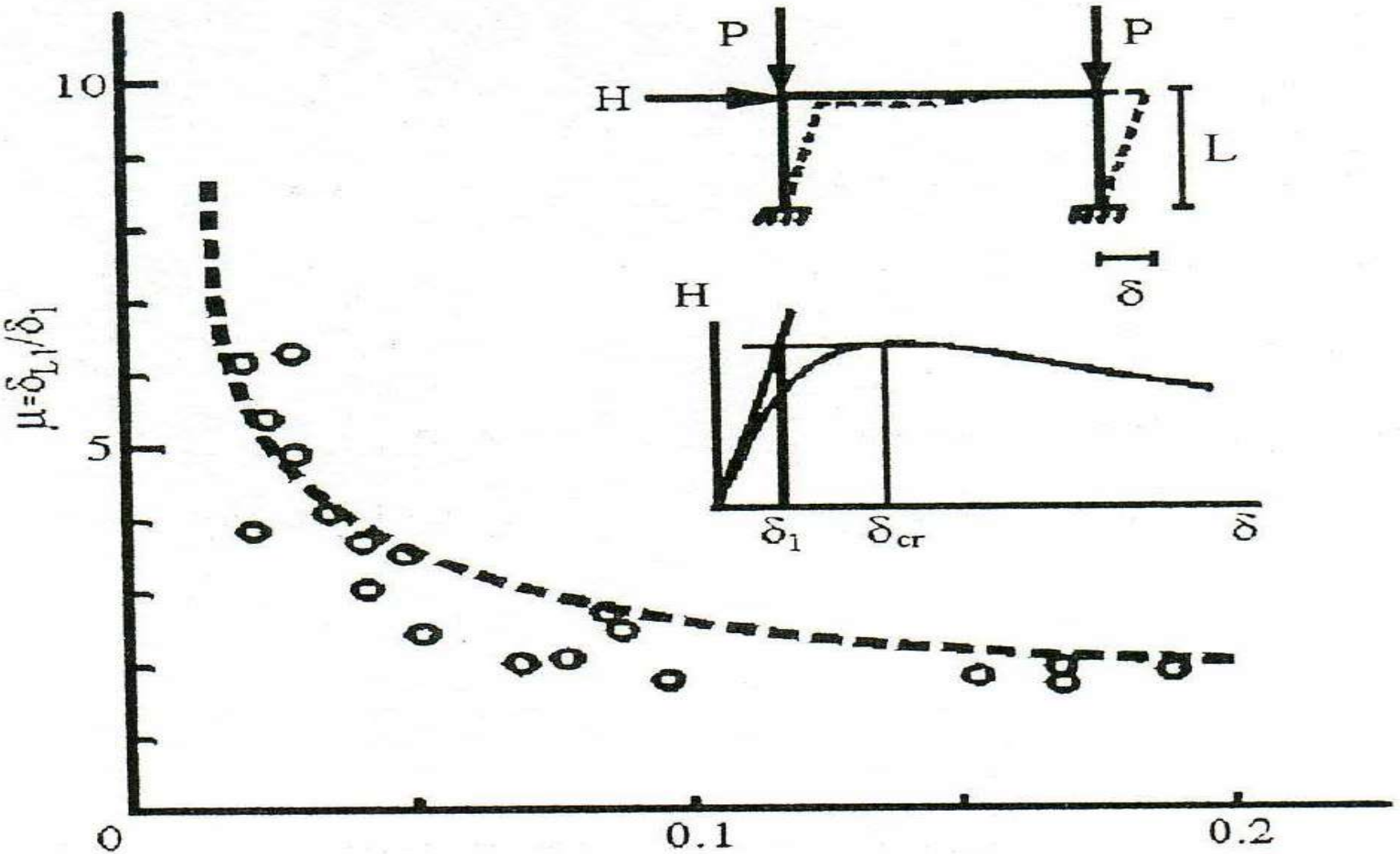
- شکل مقابل رابطه حلقه ای بین یک بار افقی تکراری رفت وبرگشتی H وجابجایی δ را نشان می دهد.در فرآیند بارگذاری هنگامی که حداکثر مقدار بار حاصل شده در سیکل های قبلی زیادترشود،یعنی در مسیر بارگذاری B’C تغییر شکل پلاستیک بوجود آید،مقدار تغییر شکل پلاستیک انباشته شده در مسیر B’C مساوی تغییر شکل مشابه آن در مسیر ”BC در منحنی بارگذاری صعودی است.بنابراین تغییر شکل پلاستیک بوجود آمده در منحنی بارگذاری صعودی ”OABC”D است.مثلاً اگر در یک قاب تحت بارگذاری صعودی در ”D کمانش موضعی پدید آید، در این صورت در همین قاب تحت بارگذاری تکراری در D کمانش موضعی بوجود می آید.



مدل تئوری هیستروزیس روابط بار- تغییر مکان برای قاب‌ها

• شکل پذیری قاب های خمشی

- این قاب‌ها در برابر زلزله‌های خفیف و متوسط در محدوده ارتجاعی عمل می‌نمایند ولی در زلزله‌های شدید اتلاف انرژی بواسطه رفتار پلاستیک اتصال تیر و ستون و در واقع خصوصیت شکل‌پذیری فولاد صورت می‌گیرد. در صورتی که اتصال تیر و ستون به نحو مناسبی طراحی گردد و جزئیات مناسبی برای آن در نظر گرفته شود قاب، شکل‌پذیری مناسبی خواهد داشت.نتیجه اینکه سیستم‌های *MRF* دارای شکل‌پذیری زیاد، ظرفیت اتلاف انرژی زیاد و چرخه‌های هیسترزیس پایدار بدون کاهش مقاومت، هستند.

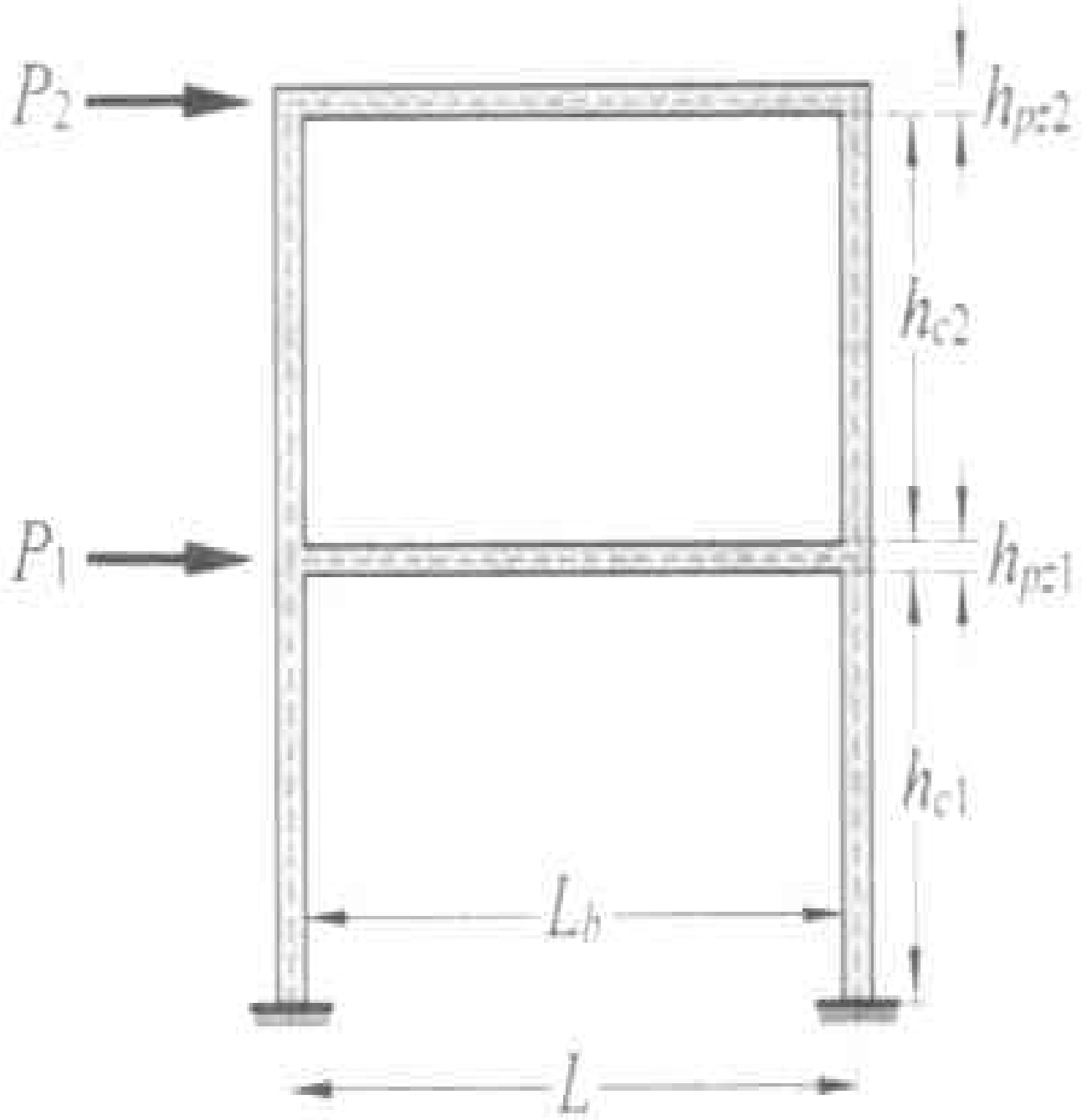


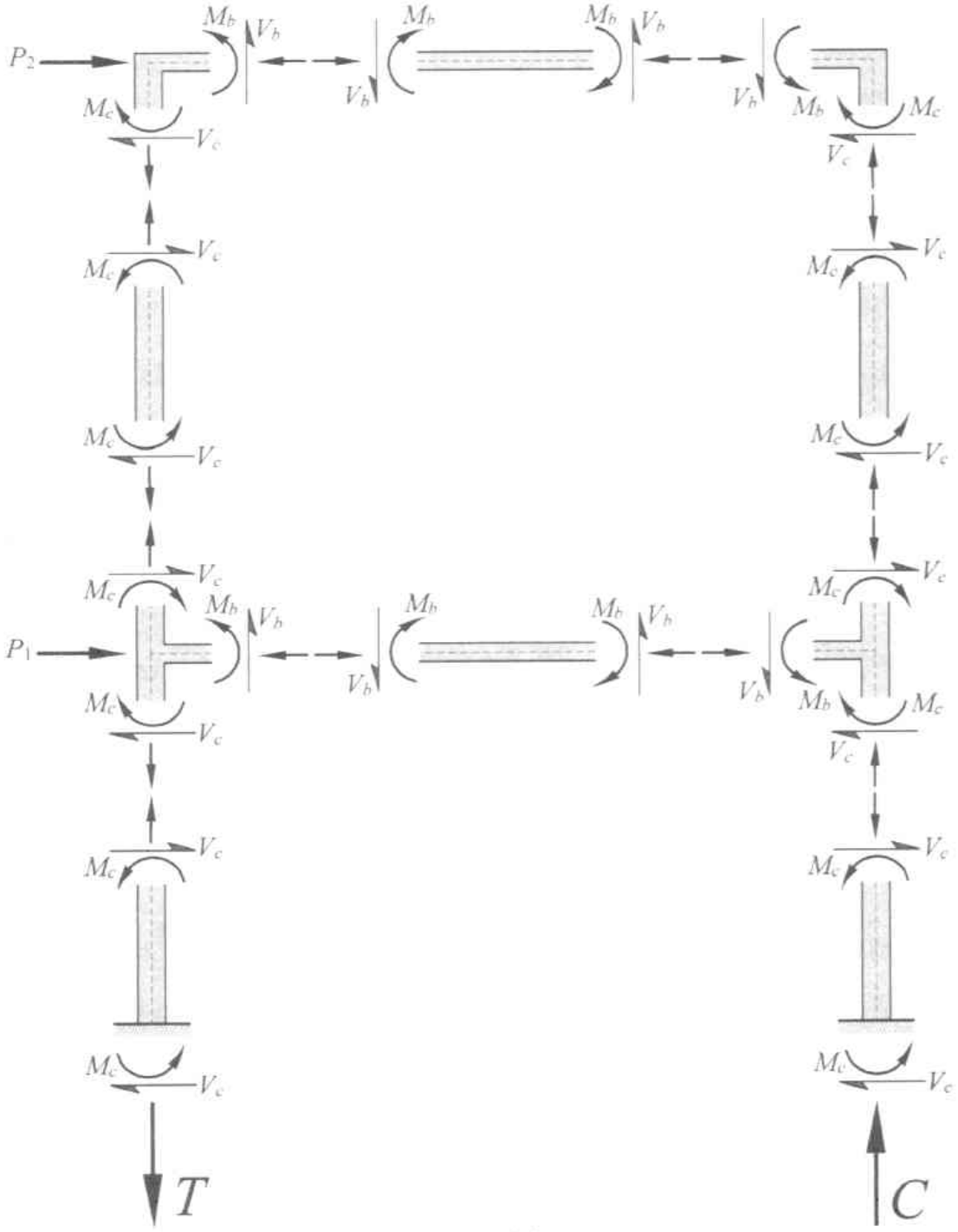
$$\frac{P}{P_{cr}} = \frac{F}{\pi^2 E} - \frac{P}{P}\left(\frac{K\,1}{I}\right)^2$$

روابط شکل پذیری برای قاب خمشی پر تال

رفتار لرزه ای قاب های خمشی فولادی

- سه قسمت اصلی تشکیل دهنده قابهای خمشی عبارتند از:
- ***تیر***
- ***ستون***
- ***چشمه اتصال***
- دیاگرام آزاد نیروهای برشی، لنگر خمشی ونیروی محوری یک قاب خمشی در اثر نیروهای جانبی مطابق شکل مقابل می باشد.


P_2
P_1
h_{pz2}
h_{c2}
h_{pz1}
h_{c1}
L_b
L


P_2
M_b
V_b
M_c
V_c
P_1
T
C

▪ مفصل پلاستیک در قابهای خمشی

- *تغییر شکلهای غیر خطی قابهای خمشی در نواحی مشخصی از سازه رخ می دهند.در کرنشهای غیر الاستیک بالا این نواحی می توانند به مفصلی تبدیل شوند که قابلیت تحمل دورانهای زیاد با نیروی تقریباً ثابتی را دارند.*
- *نواحی ذکر شده معمولاً در انتهای تیرها وناحیه چشمه اتصال می باشند.*
- *توسعه* **مفصل پلاستیک در انتهای تیر ودر وجه ستون**،*منجر به ایجاد کرنش های* **غیر الاستیک بزرگی روی جوش وناحیه تحت تأثیر حرارت وبال ستون** *می گردد، که این عوامل منجر به گسیختگی ترد اتصال می گردند.*

- در یک سازه با ستون ضعیف تغییر شکل های پلاستیک ممکن است در یک طبقه متمرکز گردد ومنجر به ایجاد مکانیزم طبقه نرم وگسیختگی سازه گردد.
- جاری شدن ستون ها در اثر برش وخمش،افت مقاومت بیشتری نسبت به جاری شدن تیرها ایجاد می کند.عامل عمده این افت مقاومت اثرات نیروی محوری در ستونها می باشد.

- تحقیقات پژوهشگران نشان داده است که انتخاب تیرها به عنوان عضو شکل پذیر ولنگر خمشی آن به عنوان مولفه شکل پذیر در راستای بهبود رفتار لرزه ای قابهای می باشد.

➢ ***در طراحی لرزه ای قابهای خمشی مطلوب آن است که:***

- بین اعضاء ومولفه های شکل پذیر که نقش جذب واستهلاک انرژی زلزله را با رفتار پایداروبدون کاهش مقاومت در روند تغییر شکلهای غیر ارتجاعی را دارند (***اعضای تغییرمکان –کنترل***)، با سایر المانها که با رفتار ارتجاعی خود انتقال نیروهای ایجاد شده در اعضای شکل پذیر را به تکیه گاه ها تضمین می کنند، (***اعضای نیرو – کنترل***) تفکیک شوند.

- لازمه امکان تجربه تغییر شکلهای غیر الاستیک در اعضای شکل پذیر،
  - ***جلوگیری از کمانش موضعی*** و
  - ***جلوگیری از کمانش جانبی- پیچشی*** تا حصول تحمل کرنشهای چندین برابر کرنش حد تسلیم است.

- در طراحی اعضای با ***رفتار ارتجاعی (اعضای نیرو – کنترل)*** نیز بایستی به افزایش نیروها در اثر

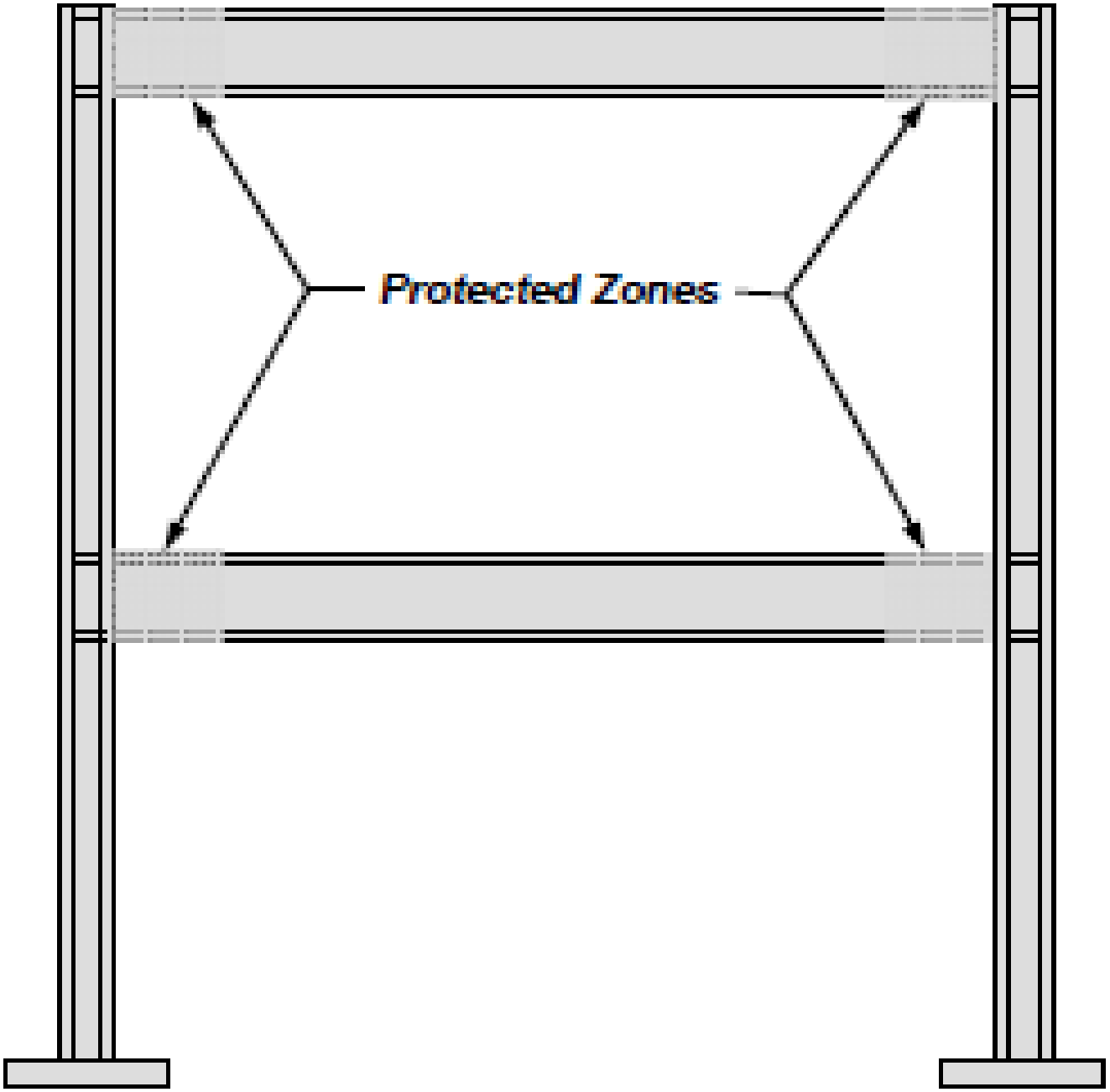
- ازدیاد تنش تسلیم واقعی فولاد (***تنش تسلیم مورد انتظار فولاد***) و
- ازدیاد تنش تسلیم فولاد بعلت ***اثرات سخت شدگی، قیدهای موضعی وملحقات موجود در اعضا*** توجه نمود.بنابراین این المانها باید برای نیروی بزرگتری طراحی شوند.

منطقه محافظت شده

- ***به ناحیه ای از عضو که تحت تأثیر کرنش های بزرگ غیرالاستیک قرار گیرد ناحیه حفاظت شده یا ناحیه شکل پذیر عضو می گویند.***

- نظر به اهمیت این ناحیه ورفتار حساس آن در حرکات رفت وبرگشتی سازه، دراین ناحیه باید از هرگونه عملیاتی که موجب دگرگونی عملکرد عضو شود،نظیر

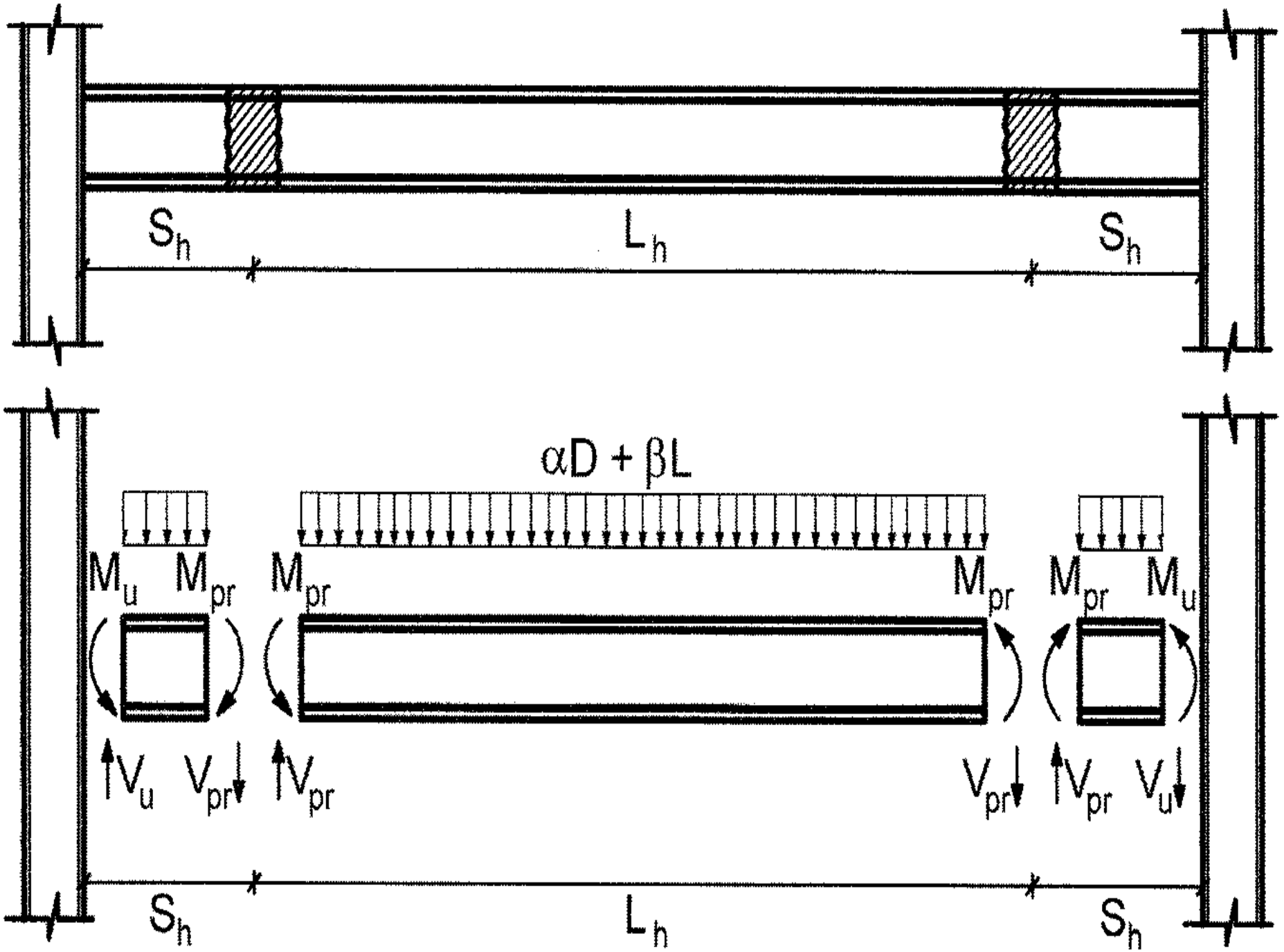
- ***ناپیوستگی های ناشی از عملیات جوشکاری***
- ***تغییر ناگهانی در سطح مقطع***
- ***تغییر ناگهانی پهنای بال یا ضخامت بال***
- ***بکار بردن هرگونه وصله***
- ***خودداری گردد.***


Protected Zones

▪ اتصال تیر به ستون

- اتصال تیر به ستون باید به گونه ای طراحی شود که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در داخل تیر فراهم نماید.
- انجام این امریا با تضعیف مقطع در فاصله ای محدود از بر ستون ویا با تقویت محل اتصال تیر به ستون صورت می پذیرد.
- مقاومت خمشی مورد نیاز M_u ومقاومت برشی مورد نیاز V_u اتصال باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبدار که با نیروی زلزله ترکیب می شوند واثرات لرزه ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr}=C_{pr}.R_y.M_p$ در محل های تشکیل مفصل پلاستیک تعیین شوند.
- C_{pr} ضریبی است که در برگیرنده آثار عواملی از قبیل سخت شدگی، قیدهای موضعی وملحقات موجود در اتصال تیر به ستون است وبرای محاسبه حداکثر نیروی ایجاد شده در اعضاء ووسایل اتصال بکار میرود.

$$1.1 \le C_{pr} = \frac{(F_y + F_u)}{2F_y} \le 1.2$$

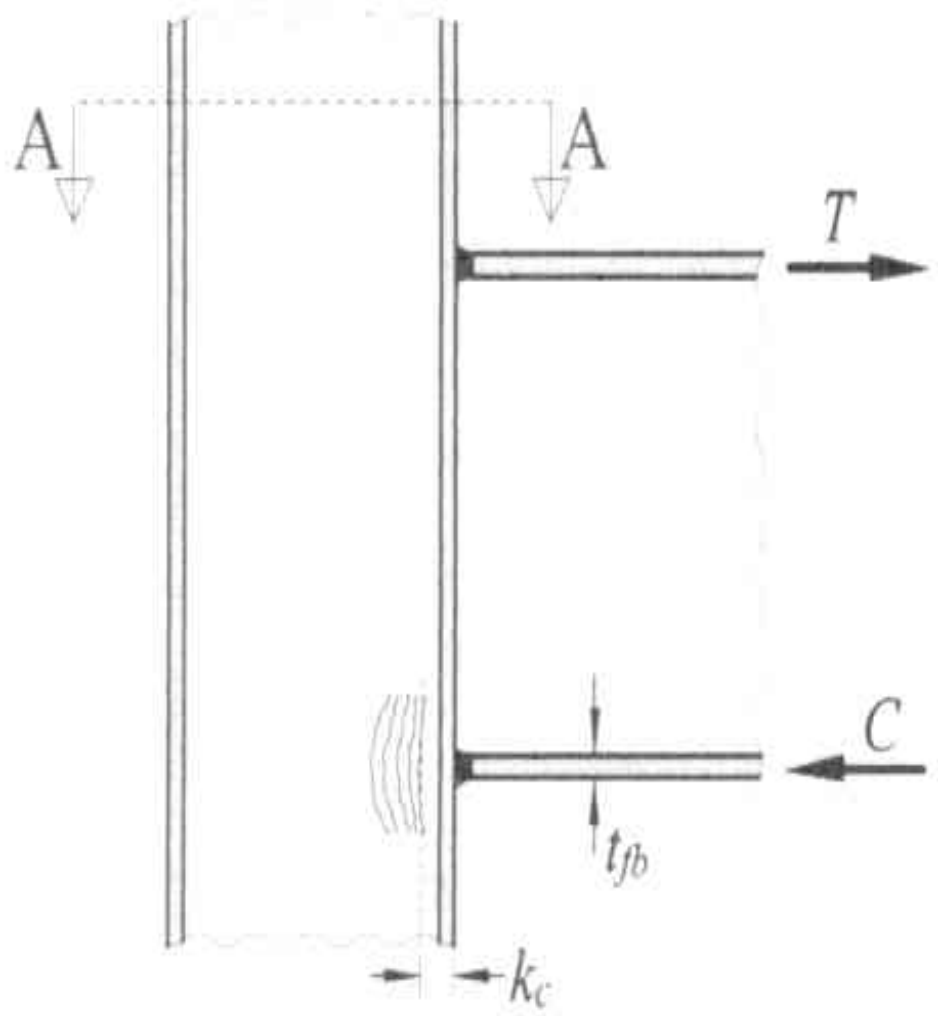

S_h
L_h
S_h
$\alpha D + \beta L$
M_u
M_{pr}
M_{pr}
M_{pr}
M_{pr}
M_u
V_u
V_{pr}
V_{pr}
V_{pr}
V_{pr}
V_u
S_h
L_h
S_h

• چشمه اتصال

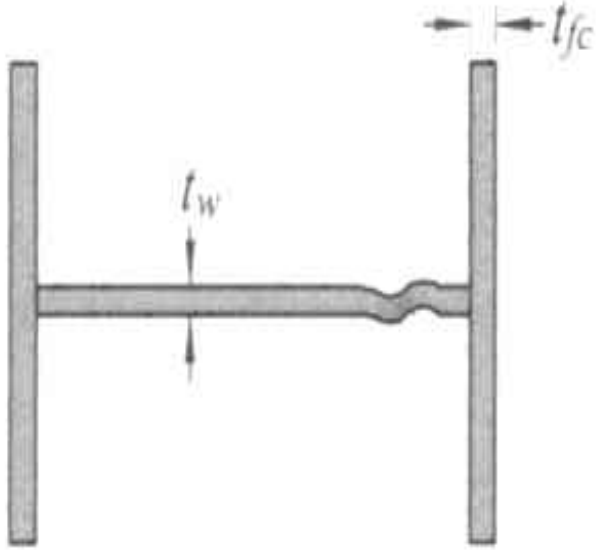
- چشمه اتصال ناحیه ای از جان ستون می باشد که محصور بین امتداد بال های تیر وامتداد بال های ستون است.
- چشمه اتصال واسطه انتقال لنگر تیرها به ستون ها می باشند.در واقع چشمه اتصال باعث پیوستگی تیر وستون است.در صورت ضعف چشمه اتصال، بین تیر وستون یک دوران نسبی ایجاد می شود ودوران تیر وستون یکسان نخواهد بود.
- چشمه اتصال باید توانایی مقابله با برش نظیر نیروهای کششی وفشاری از لنگرهای مورد انتظارکه در برستون ایجاد می شوند را داشته باشد.بنابراین جلوگیری از
- ***انهدام چشمه اتصال***
- ***انهدام وتغییر شکل بال ستون***
- ***تسلیم موضعی جان ستون و***
- ***چین خوردگی جان ستون*** از اهداف اصلی است.

(الف) بال ستون تحت کشش

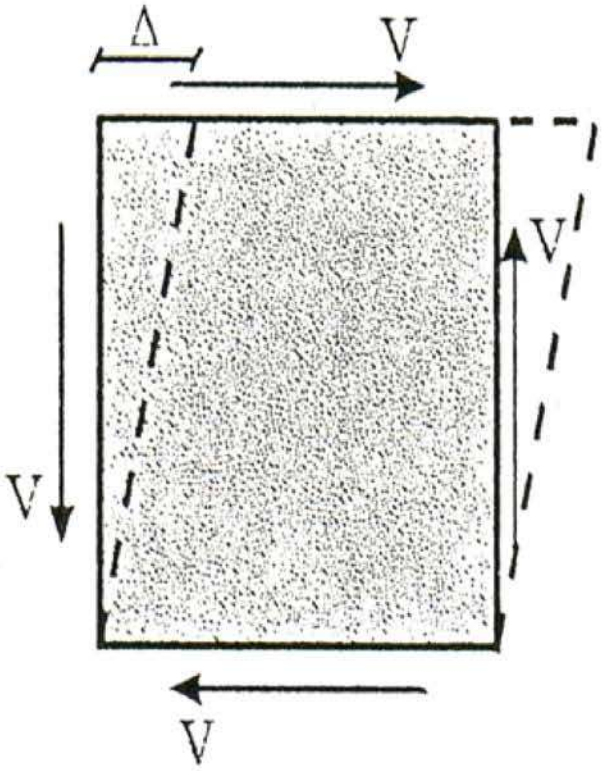
(ب) تغییر شکل بال ستون

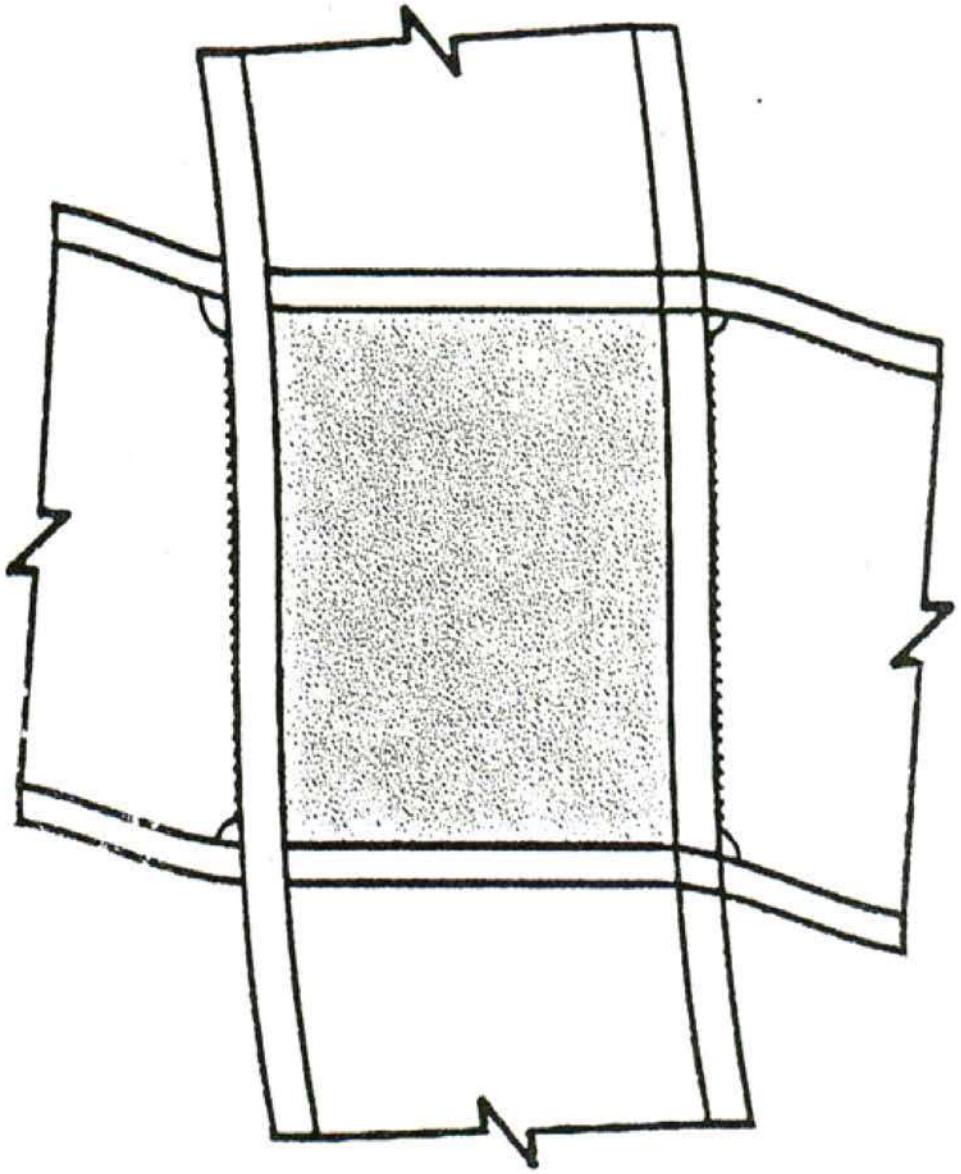


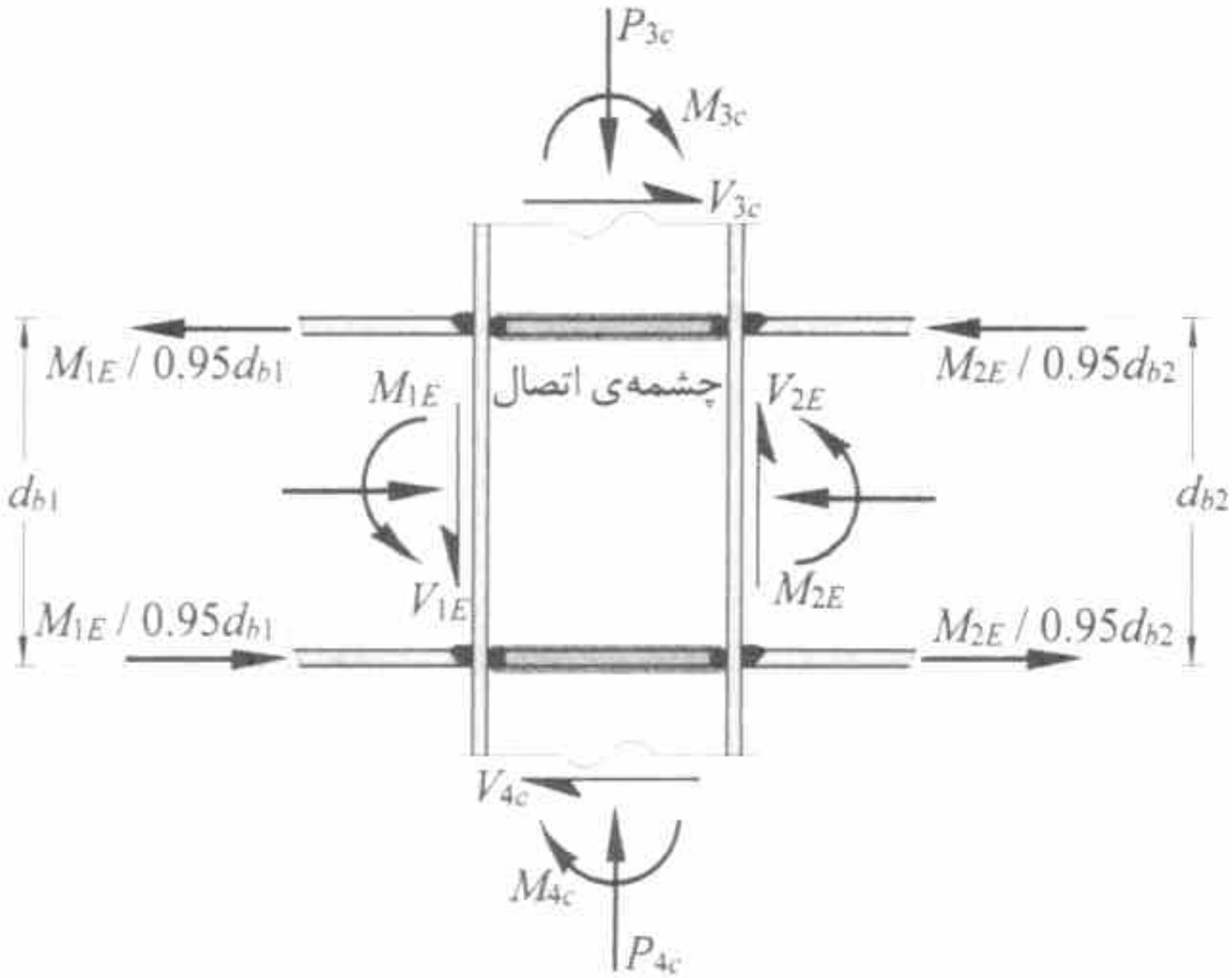
(الف) لهیدگی جان ستون

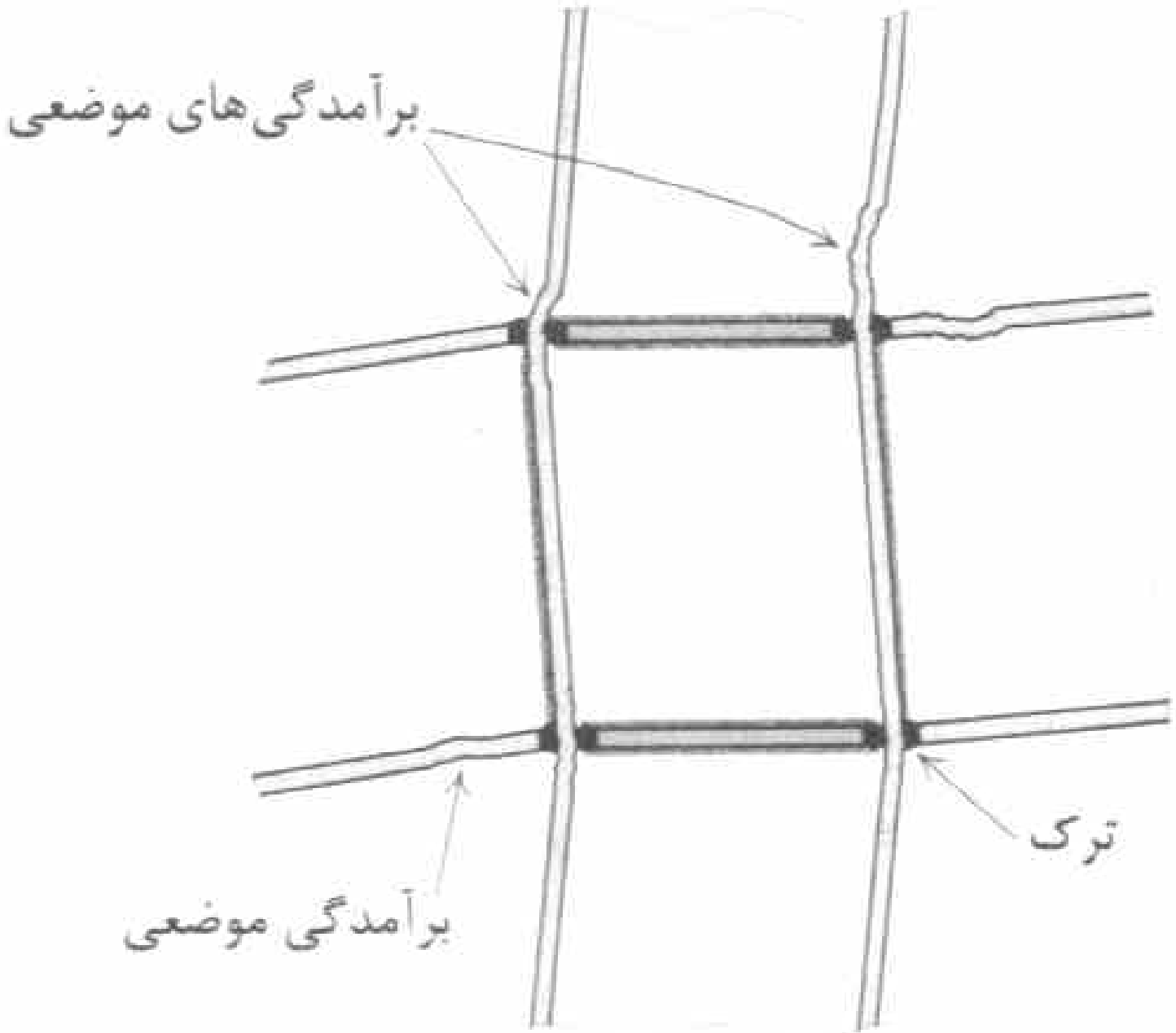


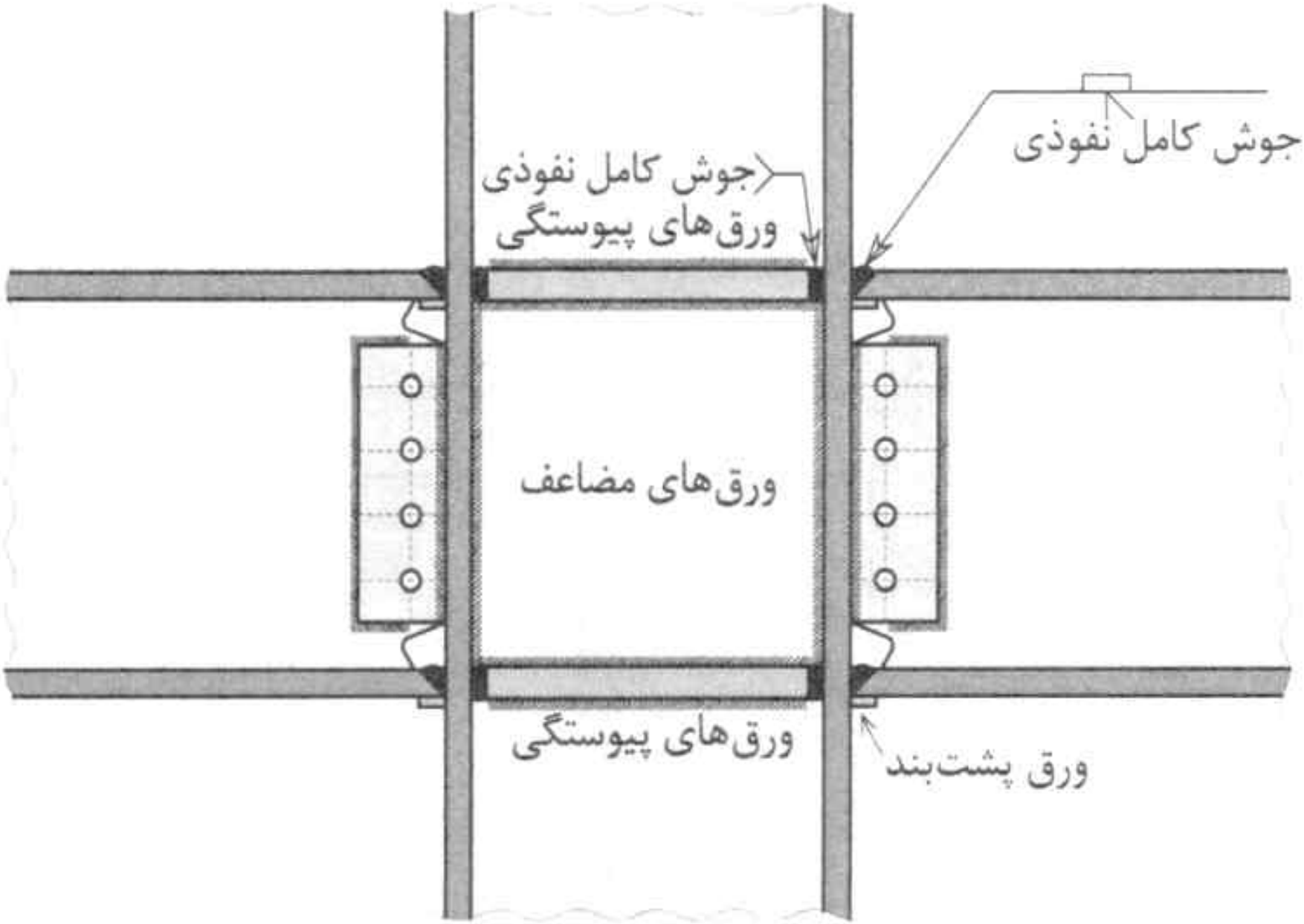
(ب) مقطع A-A تسلیم موضعی جان

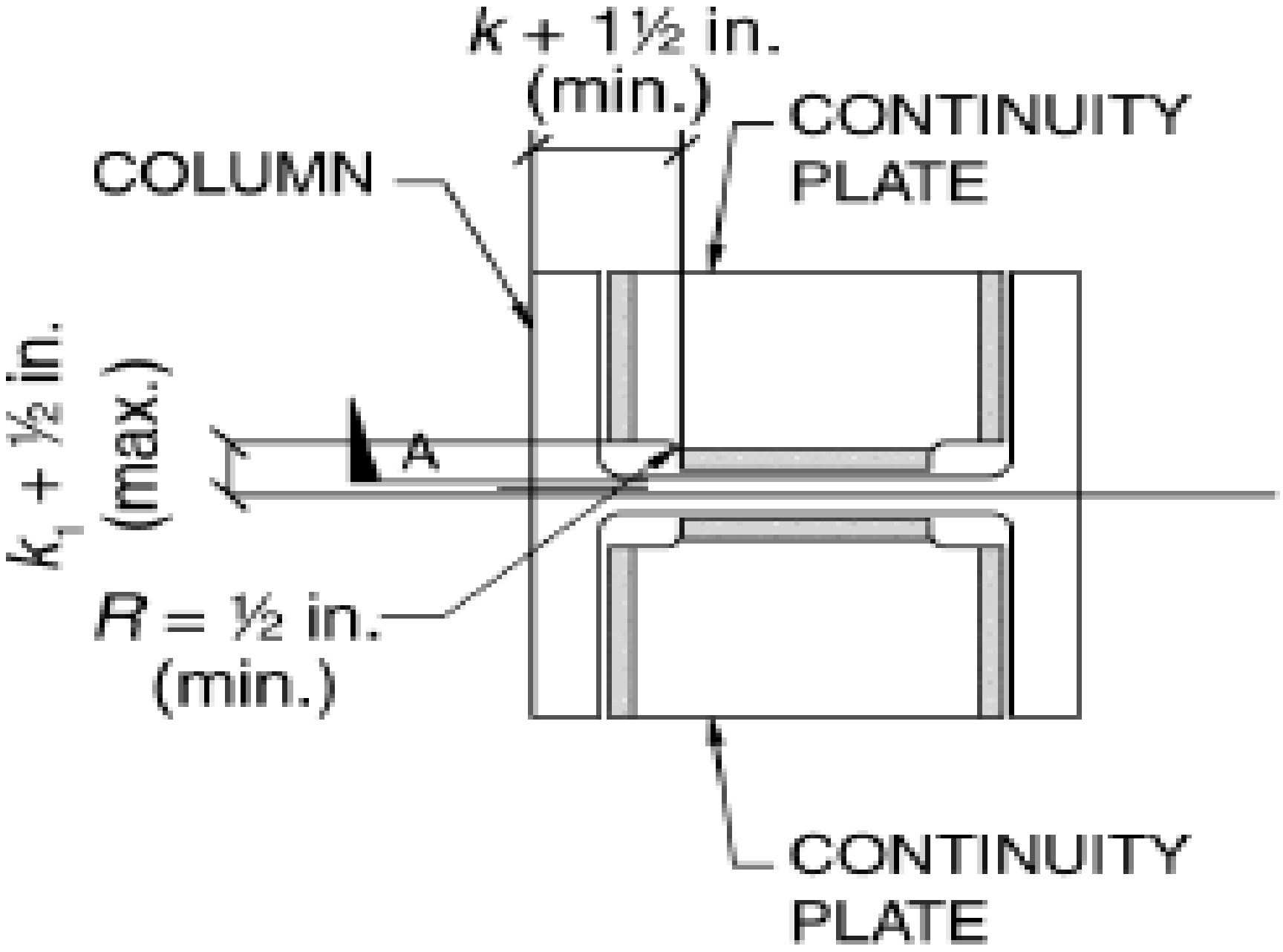

Δ
V
V
V
V

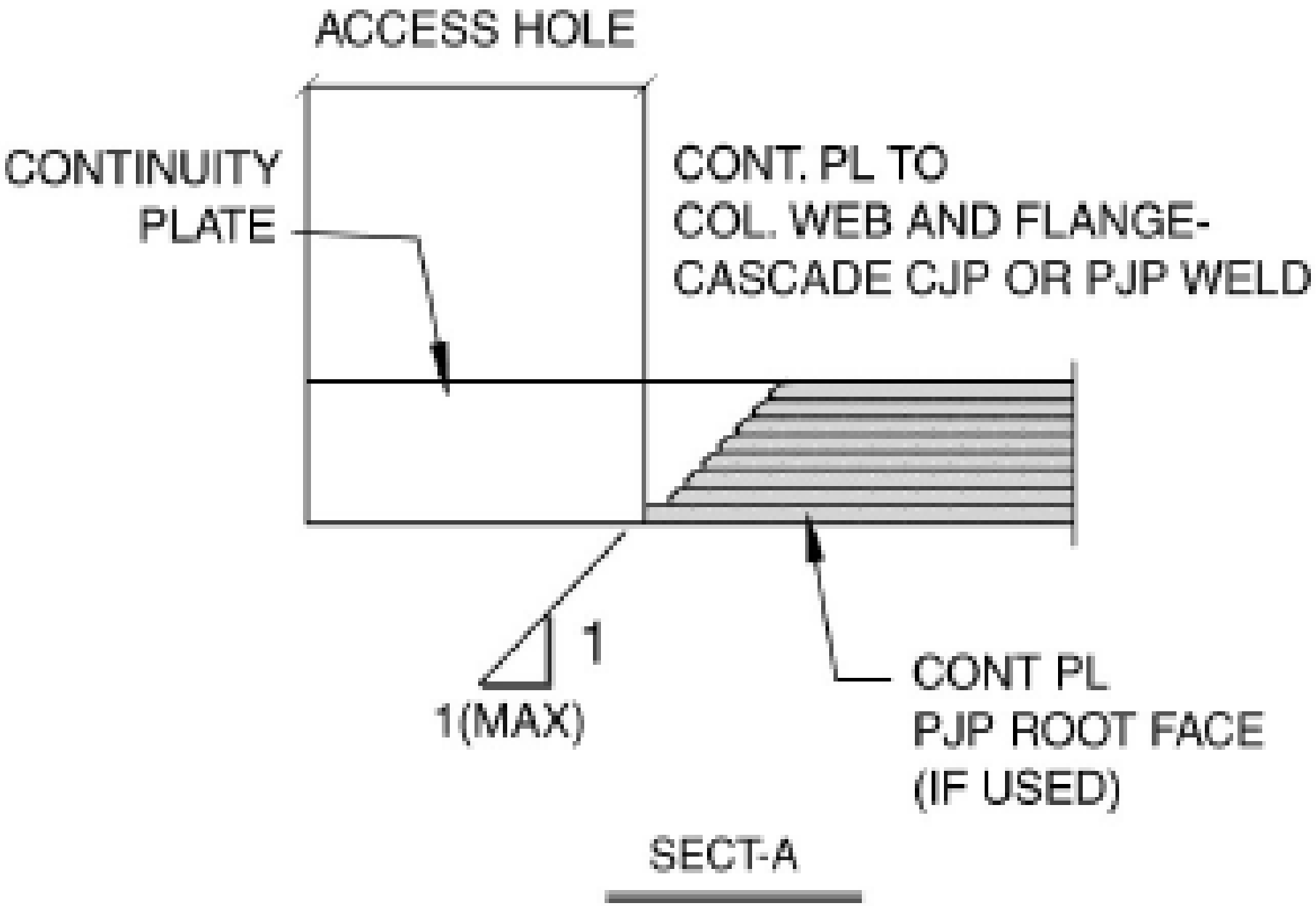



P_{3c}
M_{3c}
V_{3c}
$M_{1E} / 0.95d_{b1}$
M_{1E}
چشمه‌ی اتصال
V_{2E}
$M_{2E} / 0.95d_{b2}$
d_{b1}
d_{b2}
V_{1E}
M_{2E}
$M_{1E} / 0.95d_{b1}$
$M_{2E} / 0.95d_{b2}$
V_{4c}
M_{4c}
P_{4c}

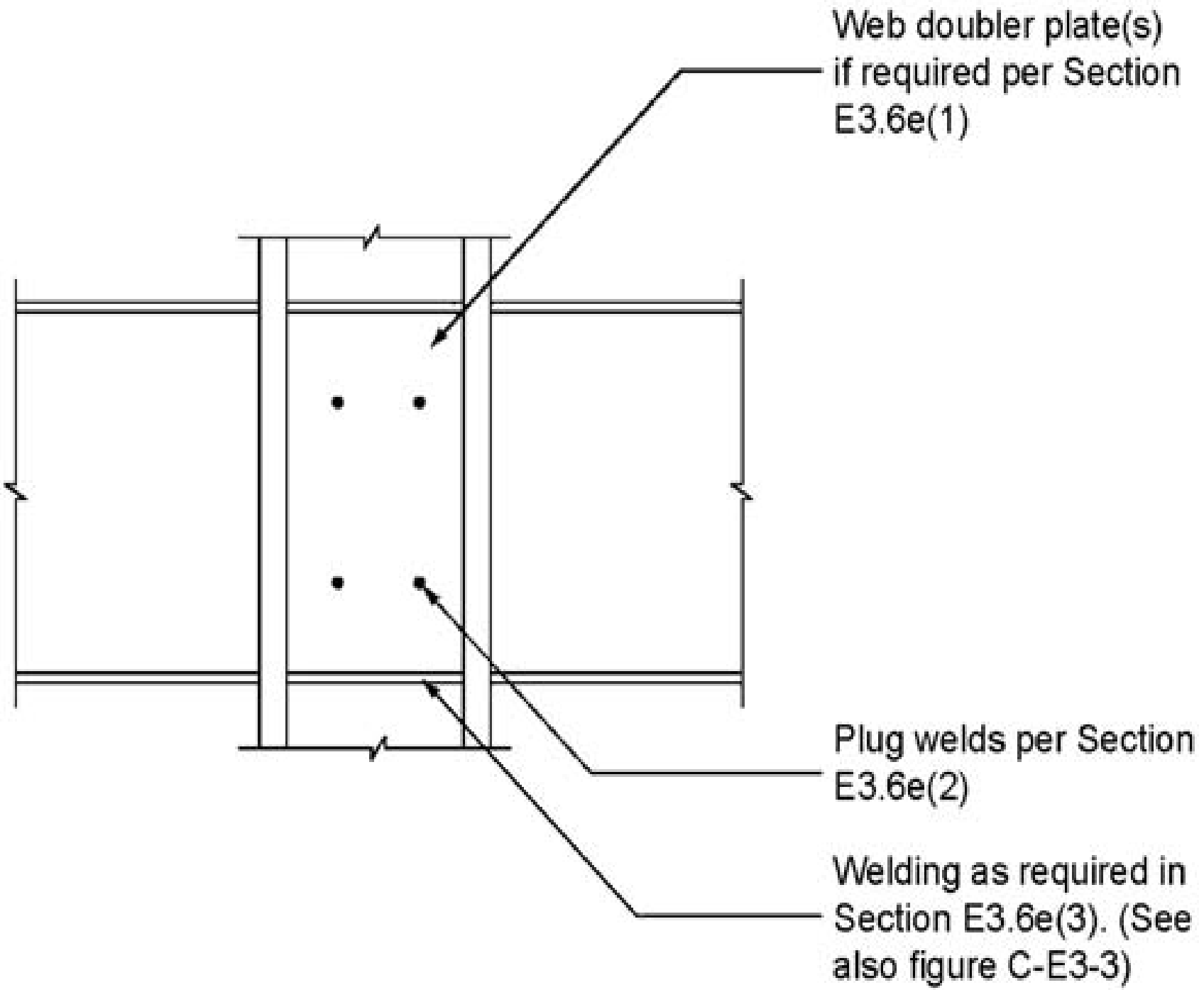

برآمدگی‌های موضعی
ترک
برآمدگی موضعی

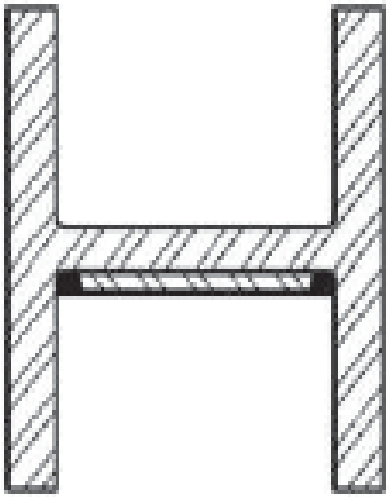

جوش کامل نفوذی
جوش کامل نفوذی
ورق‌های پیوستگی
ورق‌های مضاعف
ورق‌های پیوستگی
ورق پشت‌بند


k + 1½ in.
(min.)
CONTINUITY
PLATE
COLUMN
k1 + ½ in.
(max.)
A
R = ½ in.
(min.)
CONTINUITY
PLATE

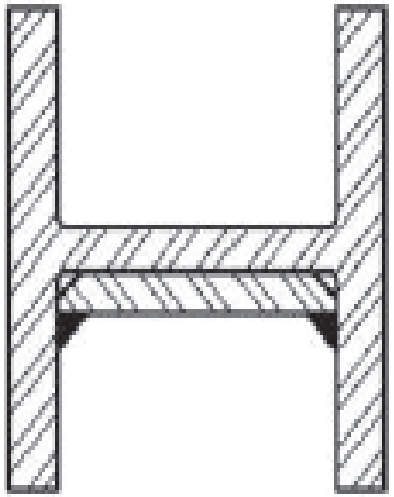

ACCESS HOLE
CONTINUITY PLATE
CONT. PL TO COL. WEB AND FLANGE-CASCADE CJP OR PJP WELD
1
1(MAX)
CONT PL PJP ROOT FACE (IF USED)

SECT-A

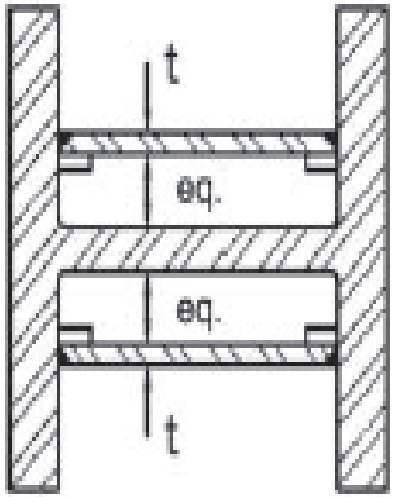

Web doubler plate(s) if required per Section E3.6e(1)
Plug welds per Section E3.6e(2)
Welding as required in Section E3.6e(3). (See also figure C-E3-3)



(a) Groove-welded (see k-area discussion, Commentary Sections A3.1 and D2.4)



(b) Fillet-welded (fillet weld size may be controlled by geometry, due to back-side bevel on web doubler plate)



(c) Pair of equal-thickness web doubler plates, groove-welded to column

• اثرات چشمه اتصال بررفتار قاب خمشی

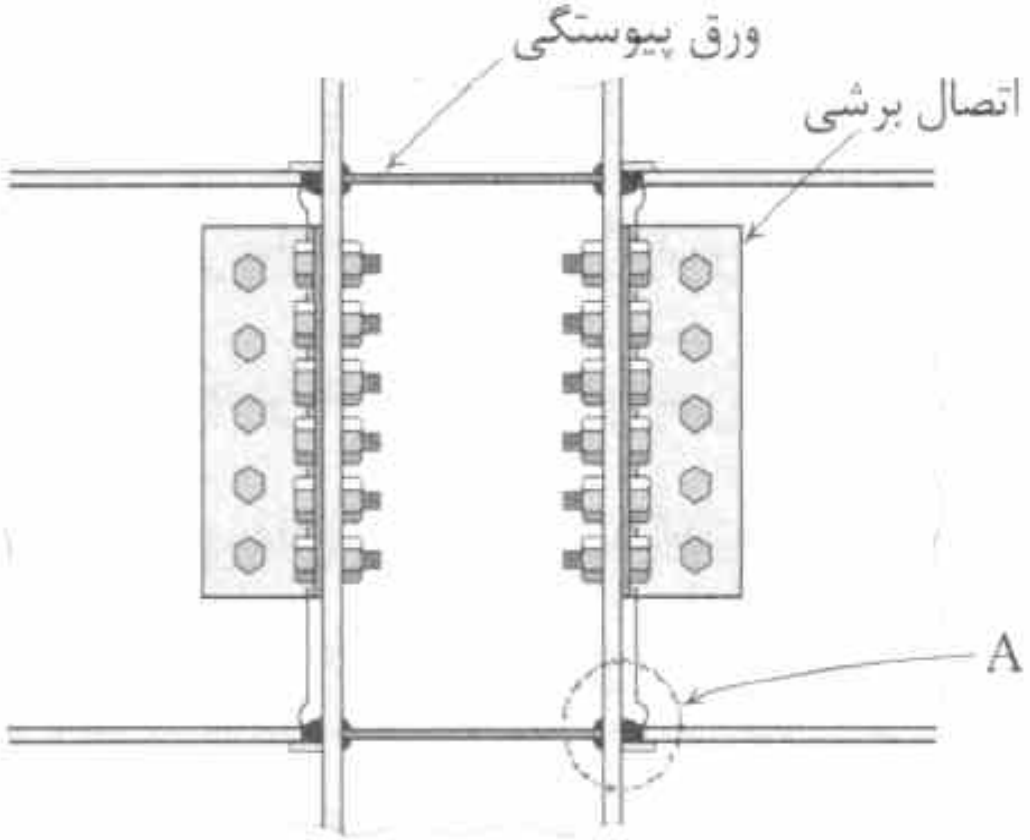
- اگر تغییر شکل چشمه اتصال در مدل تحلیلی نادیده گرفته شود،جایجایی های نسبی طبقات دست پایین برآورد شده ومقاومت جانبی سازه دست بالا تخمین زده می شود.(اختلاف گاهی تا ۲۰٪ نیز می باشد.)
- نتایج تحلیل اجزاء محدود نشان می دهد که دوران پلاستیک مورد نیاز در یک اتصال با چشمه اتصال ضعیف کمتر است.
- یک چشمه اتصال ضعیف می تواند باعث ایجاد پتانسیل بیشتری برای گسیختگی ترد در دوران های پلاستیک بالا گردد.

•طراحی چشمه اتصل

- در طراحی چشمه اتصال فولادی در نواحی زلزله خیز سه فلسفه به شرح زیر وجود دارد:
- *۱- چشمه اتصال الاستیک باقی بماند وتغییر شکل های پلاستیک در اتصال تیر به ستون صورت گیرد.(طرح غیر اقتصادی)*
- ۲- همه تغییر شکلهای پلاستیک در چشمه اتصال رخ دهد واز تشکیل مفصل پلاستیک در تیرها جلوگیری شود.این فلسفه به طور شدیدی شکل پذیری اتصال را تحت تأثیر قرار می دهد وباعث کاهش آن می شود.
- ۳- اجازه تغییر شکل های پلاستیک کنترل شده در چشمه اتصال داده شود.به عبارت دیگر از تغییر شکل غیر الاستیک تیرها وچشمه اتصال به طور همزمان در استهلاک انرژی استفاده شود.

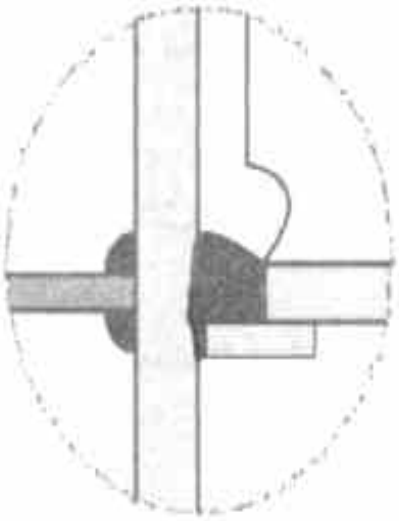
• علل اصلی انهدام اتصالات در قابهای خمشی

- جوش بال تحتانی تیر به ستون

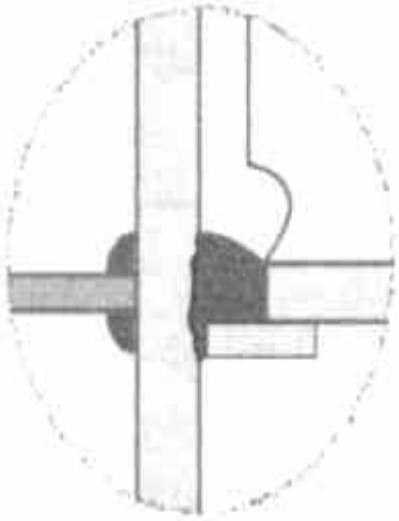


(الف) اتصال نمونه از قاب خمشی

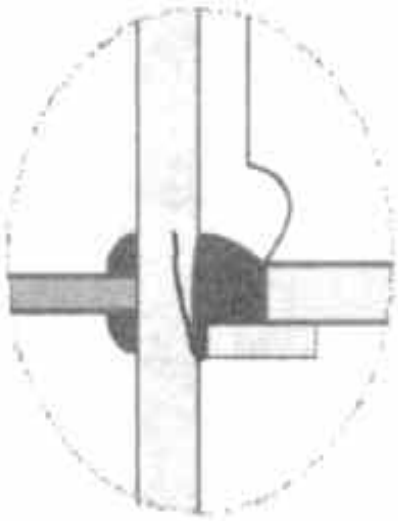
(ب) جزئیات قسمت



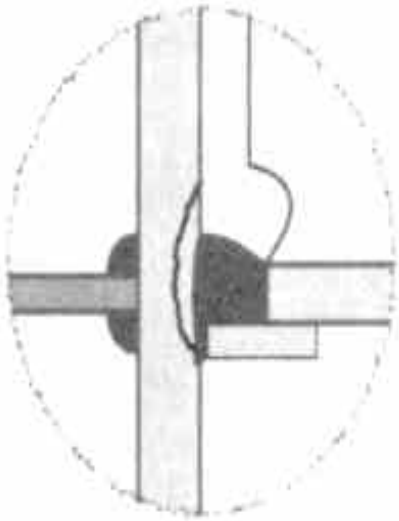
نمونه ۱



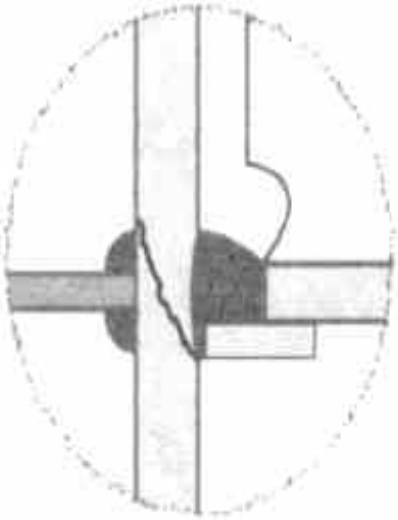
نمونه ۲



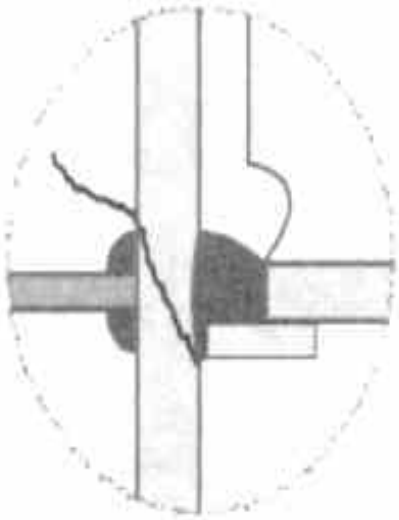
نمونه ۳



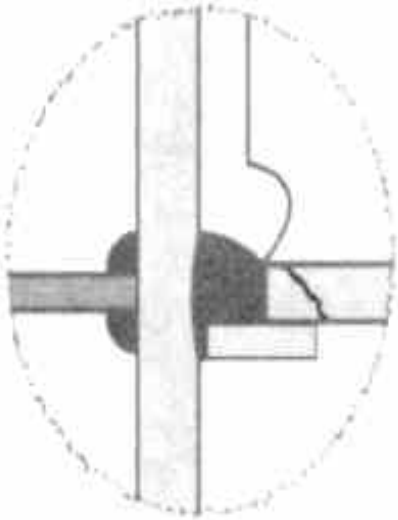
نمونه ۴



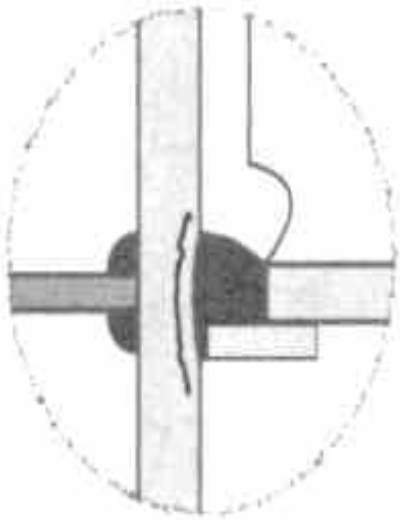
نمونه ۵



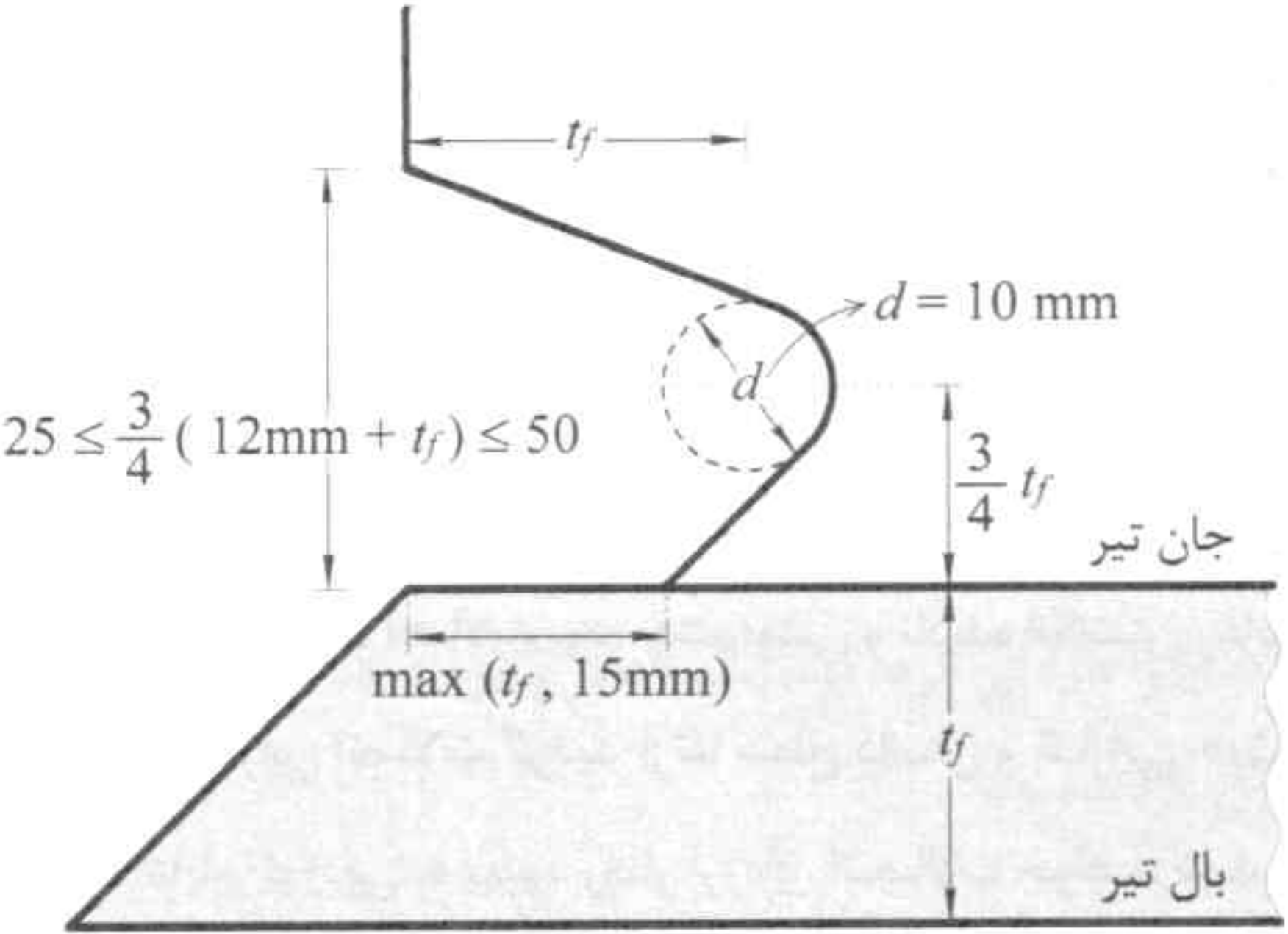
نمونه ۶



نمونه ۷



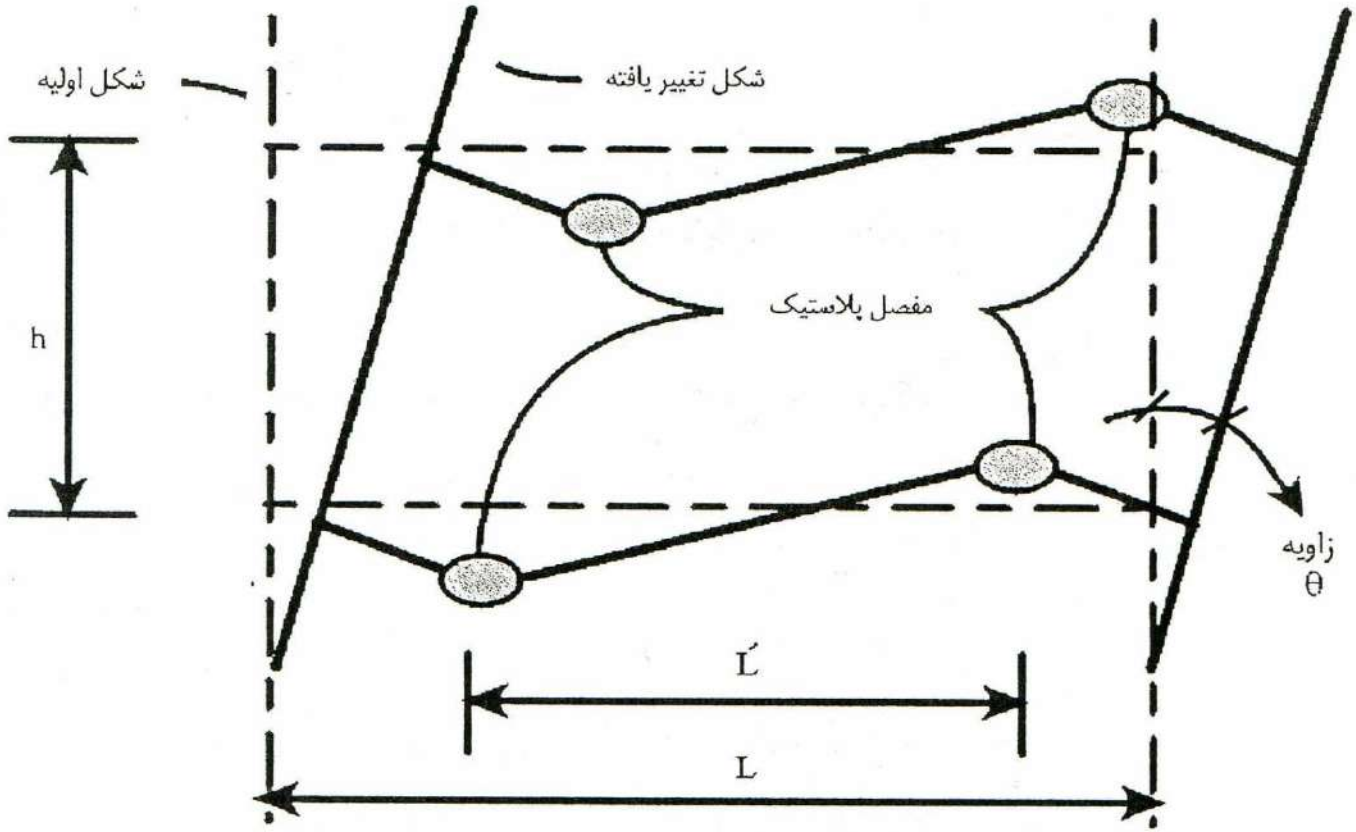
نمونه ۸


t_f
$d = 10$ mm
d
$25 \le \frac{3}{4}(12\text{mm} + t_f) \le 50$
$\frac{3}{4} t_f$
جان تیر
$\max(t_f, 15\text{mm})$
t_f
بال تیر

- کیفیت بازرسی ونحوه اجرای اتصالات
- تنش تسلیم واقعی فولاد
- تنش در جوش ها
- تمرکز تنش بعلت عدم تعبیه ورق های پیوستگی در برابر بالهای تیر درستون
- اثر تنش های سه محوری
- نرخ بارگذاری
- تأثیر عملکرد مرکب دال های بتنی

•ظرفیت دوران پلاستیک

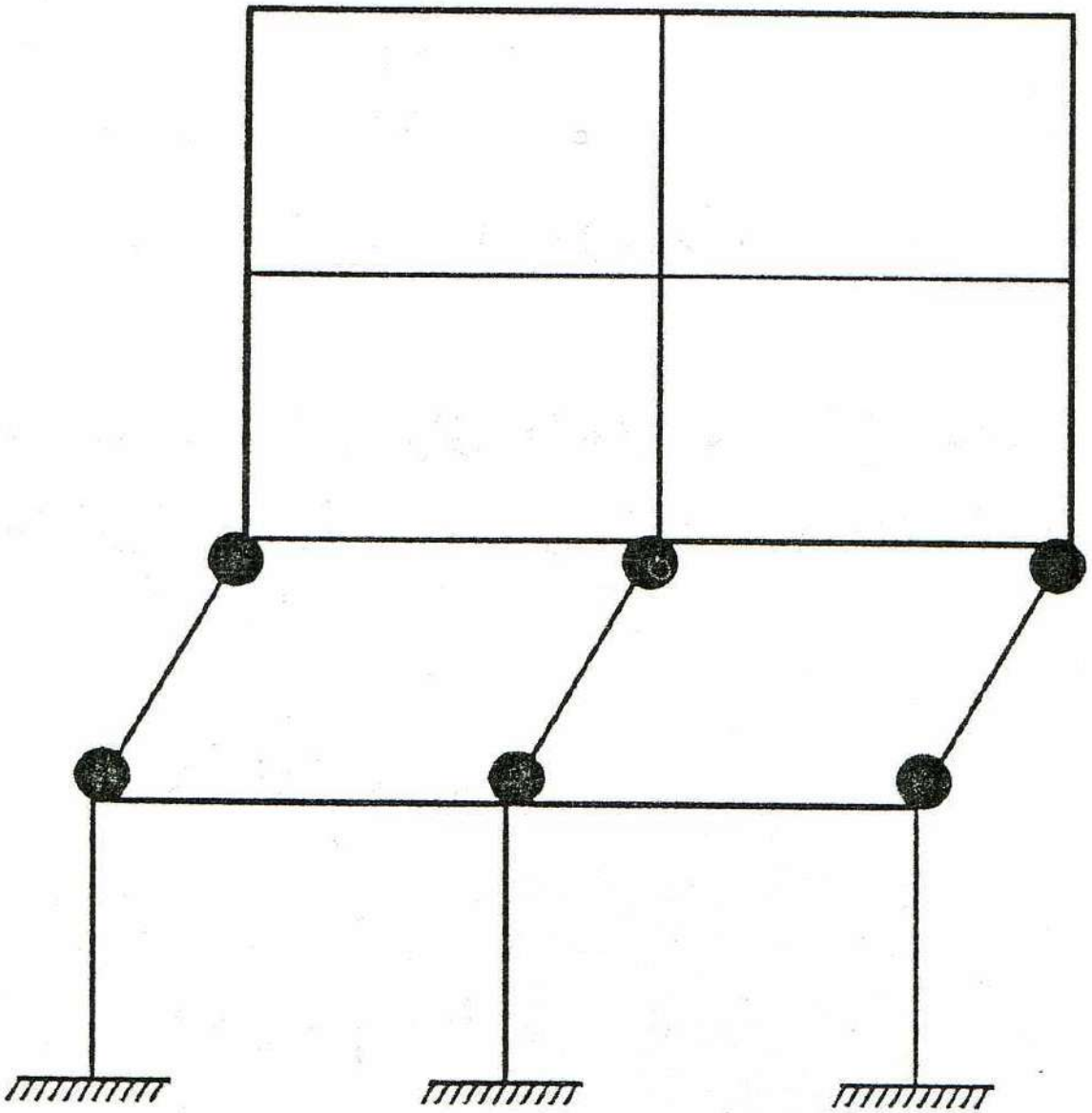
- ظرفیت دورانی پلاستیک یک اتصال منعکس کننده کل جابجایی نسبی ایجاد شده در اثربارهای زلزله وچگونگی هندسه قاب می باشد.



ظرفیت دوران پلاستیک مورد نیاز قاب‌های خمشی

• معیار تیرضعیف- ستون قوی

- دلایل عمده مربوط به ضرورت ارضای این رابطه عبارتند از:
- ***۱- گسیختگی ستونها عموماً منجر به گسیختگی کل سازه میشود.***
- ***۲- در یک سازه با ستون ضعیف تغییر شکل های پلاستیک ممکن است در یک طبقه متمرکز گردد ومنجر به ایجاد مکانیزم طبقه نرم وگسیختگی سازه گردد.***
- ***۳- جاری شدن ستون ها در اثر برش وخمش،افت مقاومت بیشتری نسبت به جاری شدن تیرها ایجاد می کند.عامل عمده این افت مقاومت اثرات نیروی محوری در ستونها می باشد.***



مد گسیختگی و تشکیل طبقهٔ نرم

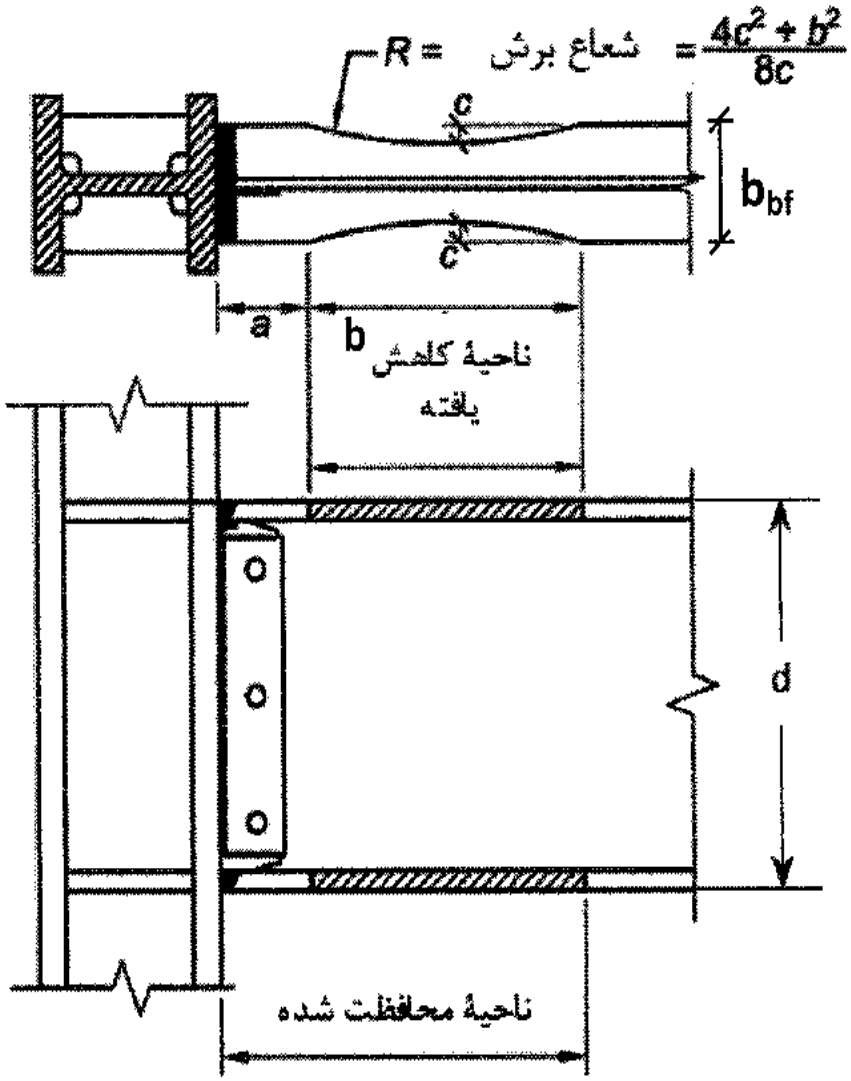
• اثرات نامعینی

- در بررسی رفتارلرزه ای سیستم های مختلف هر چه تعداد درجات نامعینی سیستم باربر جانبی بیشتر باشد،سیستم مورد نظر رفتار مناسب تری خواهد داشت.
- افزایش تعداد درجات نامعینی باعث می شود که سیستم شکل پذیری مناسبی داشته باشد واز تشکیل زود هنگام مکانیسم خرابی جلوگیری می شود.
- افزایش تعداد اعضای سازه واتصالات گیردار باعث افزایش پتانسیل سازه برای جذب واستهلاک انرژی می شود.
- مشارکت تعداد زیادی از قابهای ساختمان در تحمل نیروهای جانبی منجربه کوچک شدن اعضای مورد استفاده شده وقابلیت اعتماد در اتصالات به علت افزایش آنها بیشتر خواهد شد.

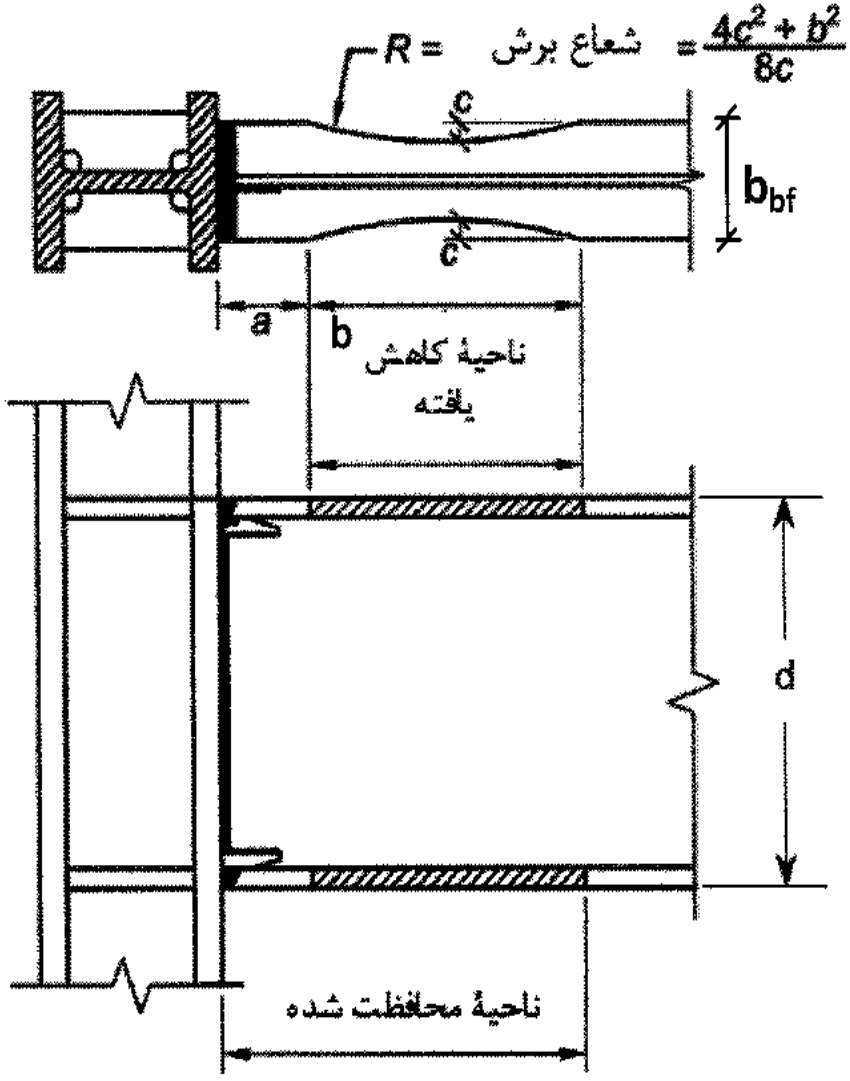
جدول ۱۰-۳-۱۳-۱ انواع اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

ردیف	نوع اتصال	مخفف	نوع سیستم سازه‌ای قابل کاربرد	بخش مربوطه
۱	اتصال مستقیم تیر با مقطع کاهش‌یافته	RBS	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۱۰-۳-۱۳-۲)
۲	اتصال فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی	BUEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۱۰-۳-۱۳-۳)
۳	اتصال فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی	BSEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۱۰-۳-۱۳-۳)
۴	اتصال پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	BFP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۱۰-۳-۱۳-۴)
۵	اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	WFP	قاب‌های خمشی متوسط	(۱۰-۳-۱۳-۵)
۶	اتصال مستقیم تقویت نشدهٔ جوشی	WUF-W	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۱۰-۳-۱۳-۶)

• اتصال گیردار مستقیم تیر بامقطع کاهش یافته

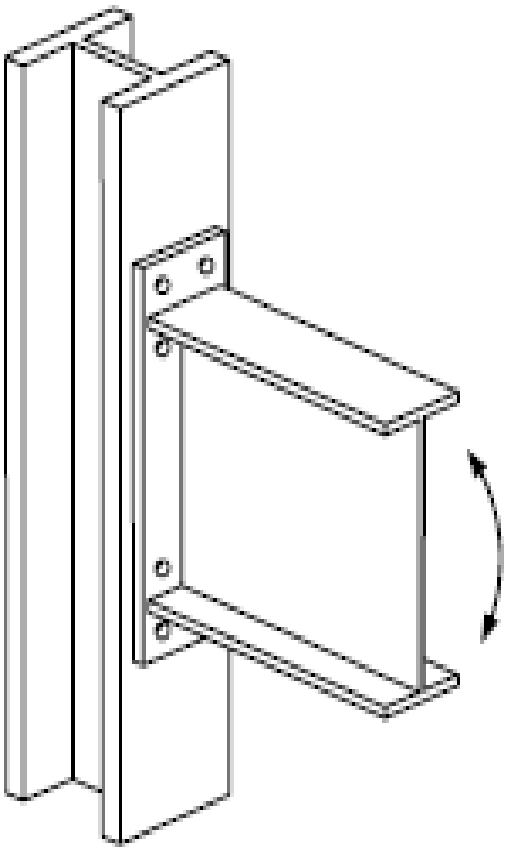


ب) فقط برای قاب‌های خمشی متوسط

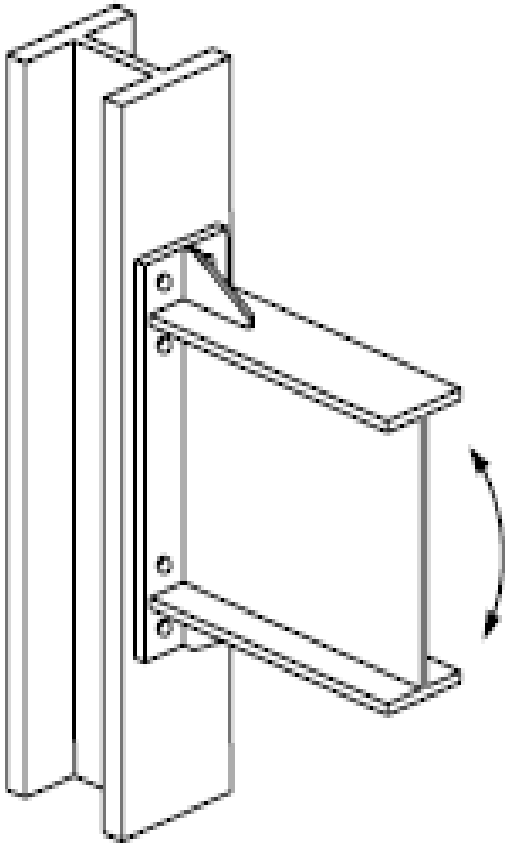


الف) برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه

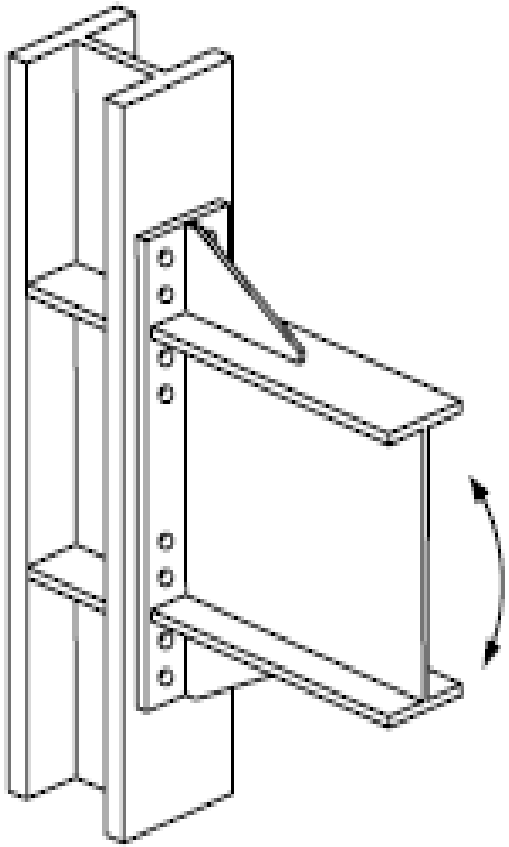
- اتصال گیردارفلنجی چهار یا هشت پیچی با ویا بدون استفاده از ورق لچکی



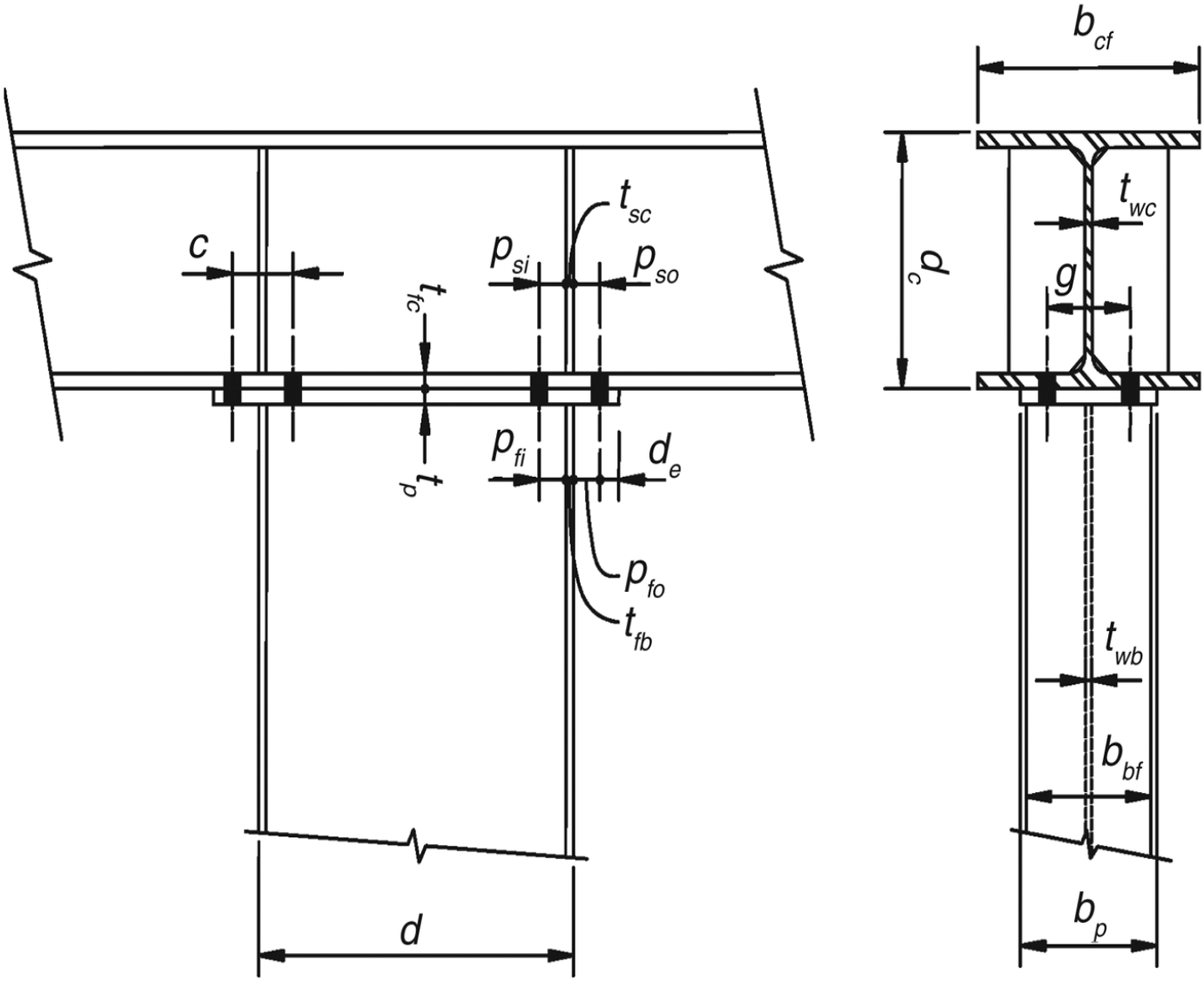
(a) Four-Bolt
Unstiffened, 4E

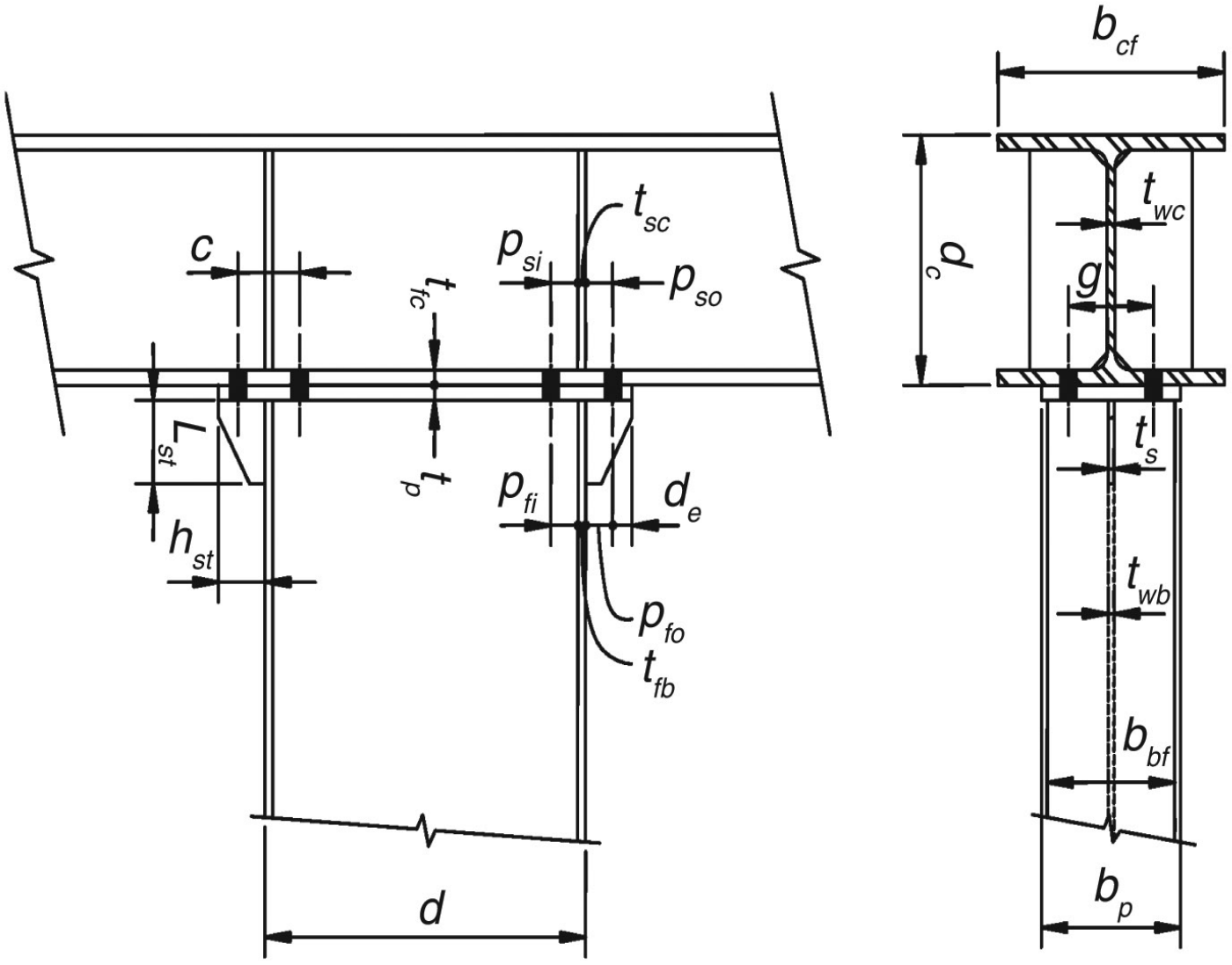


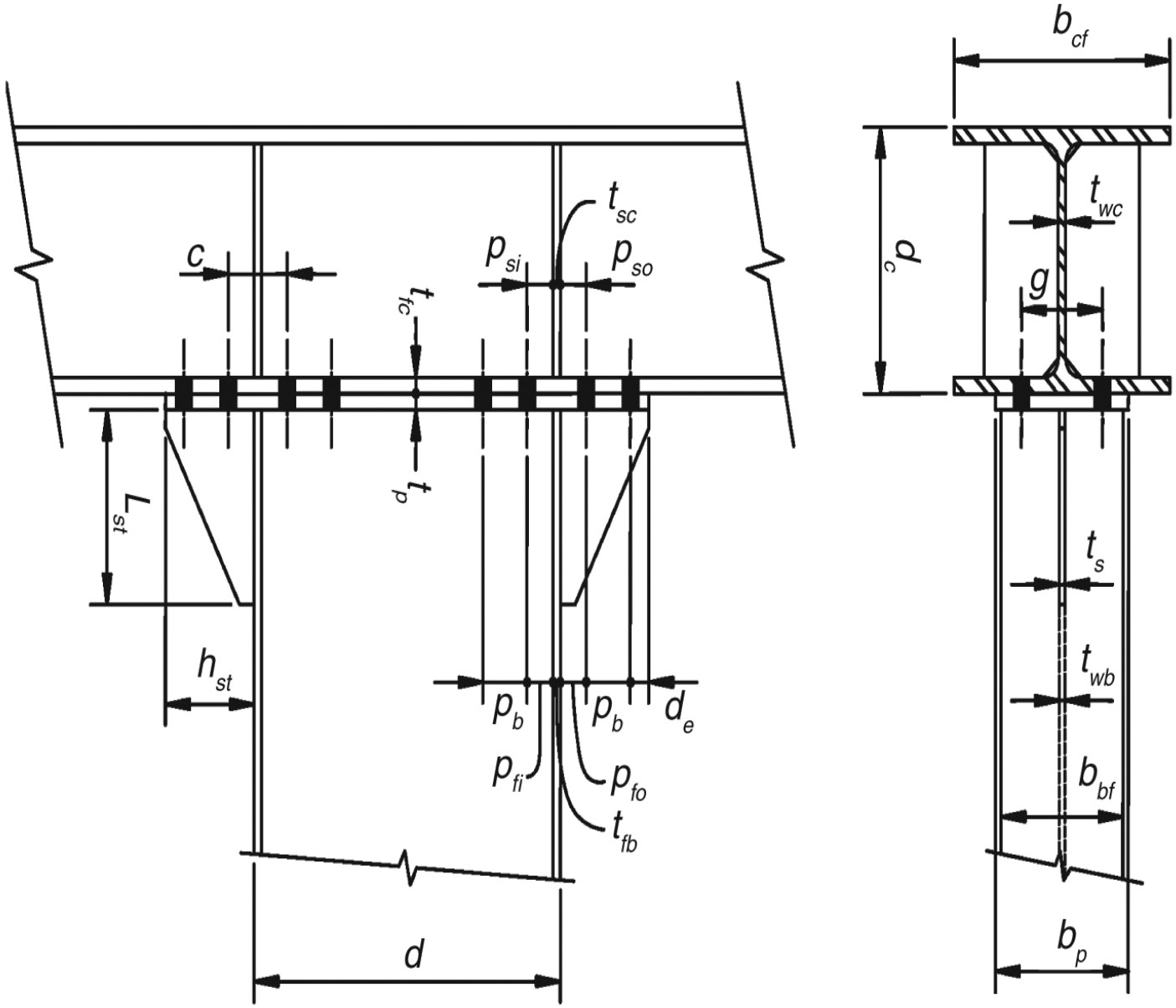
(b) Four-Bolt
Stiffened, 4ES

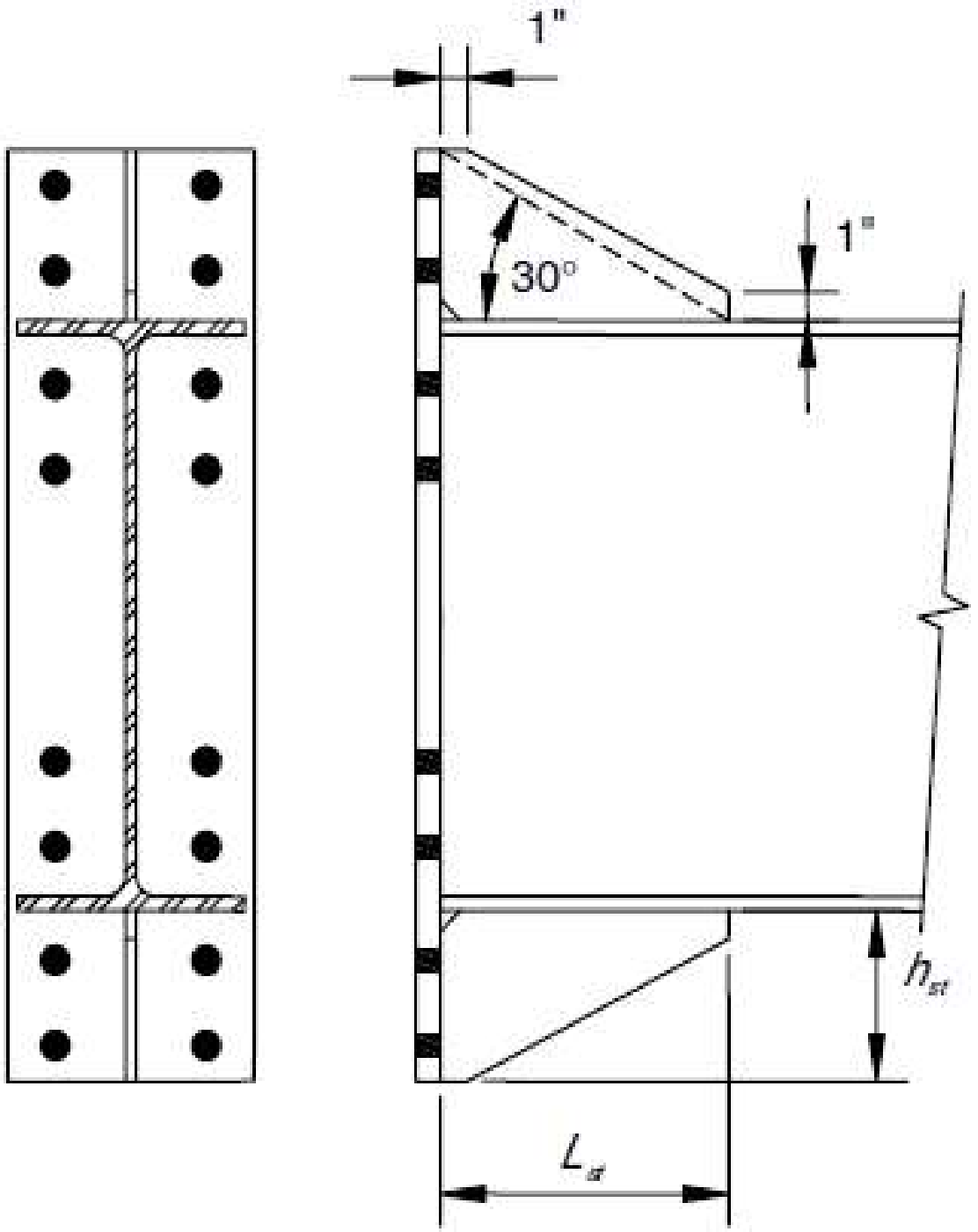


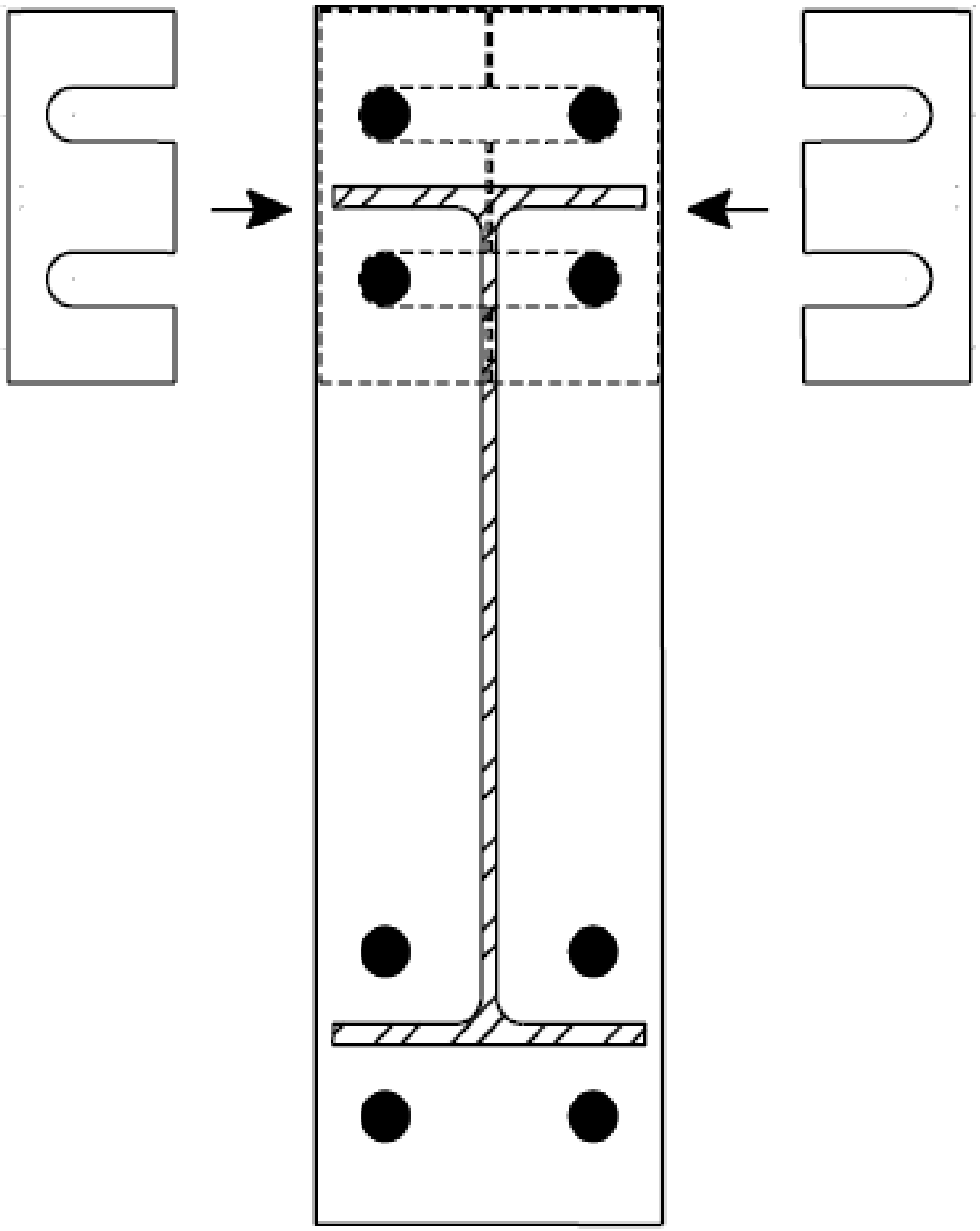
(c) Eight-Bolt
Stiffened, 8ES


b_{cf}
t_{wc}
d_c
g
t_{sc}
c
p_{si}
p_{so}
t_{fc}
t_p
p_{fi}
d_e
p_{fo}
t_{fb}
t_{wb}
b_{bf}
d
b_p

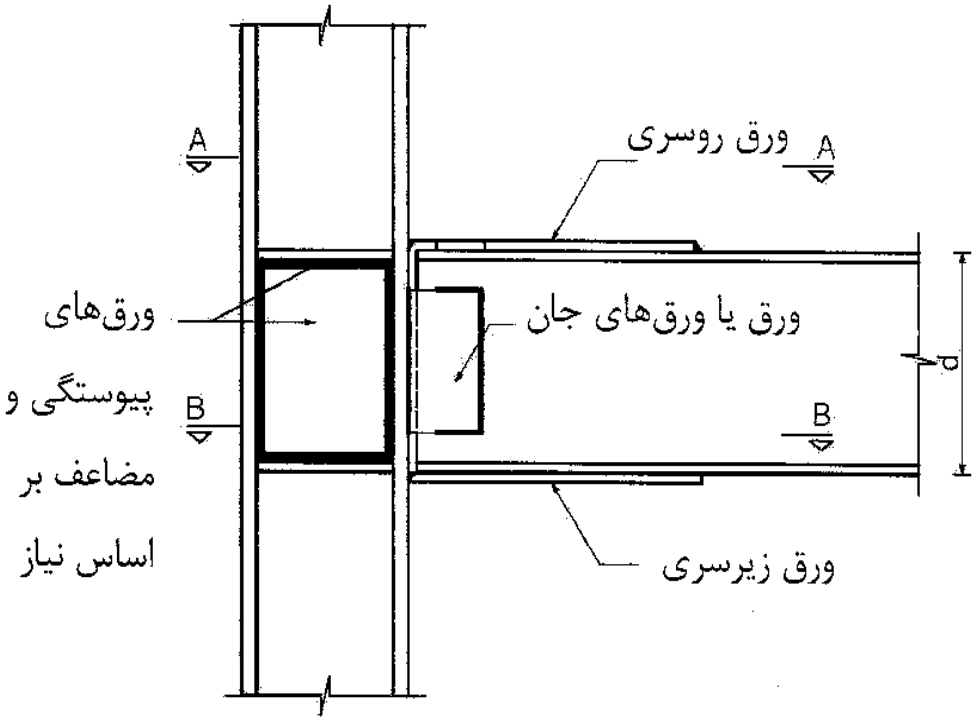

b_{cf}
t_{wc}
d_c
g
t_{sc}
p_{si}
p_{so}
c
t_{fc}
t_s
L_{st}
t_p
p_{fi}
d_e
h_{st}
t_{wb}
p_{fo}
t_{fb}
b_{bf}
d
b_p

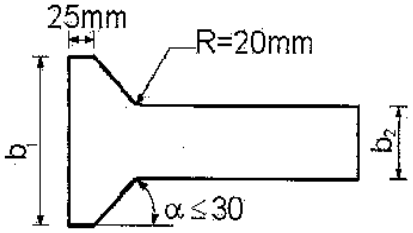

b_{cf}
t_{wc}
d_c
g
t_{sc}
p_{si}
p_{so}
c
t_{fc}
t_p
L_{st}
h_{st}
t_s
t_{wb}
b_{bf}
p_b
p_b
d_e
p_{fi}
p_{fo}
t_{fb}
d
b_p


1"
30°
1"
h_{st}
L_{st}

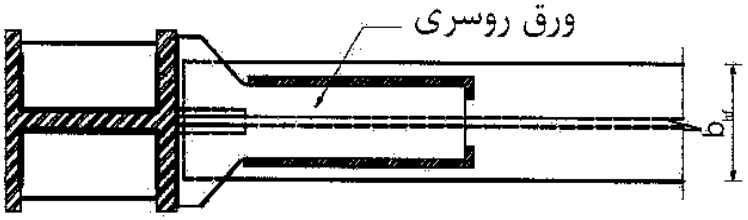


• اتصال گیردارجوشی با ورق های روسری وزیر سری

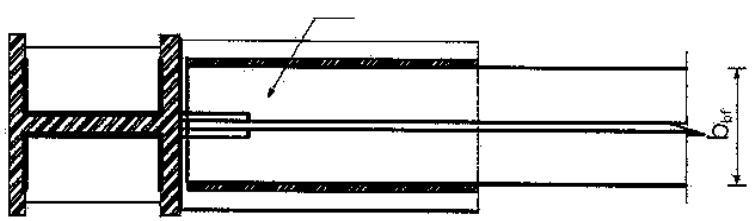




β= ضریب بازرسی جوش ورق روسری



مقطع A-A



مقطع B-B

• اتصال گیردار تقویت نشده جوشی