Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures

# 3. Seismic Load Resisting Systems for Steel Buildings

# ۳. سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای برای ساختمان‌های فولادی

# سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای برای ساختمان‌های فولادی

پنج نوع اصلی سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای برای ساختمان‌های فولادی عبارتند از:

- قاب های مقاوم خمشی Moment Resisting Frames
- قاب های مهاربندی همگرا Concentrically Braced Frames
- قاب های مهاربندی واگرا Eccentrically Braced Frames
- قاب های مهاربندی کمانش‌ناپذیر Buckling Restrained Braced Frames
- دیوارهای برشی فولادی ویژه Special Plate Shear Walls

# سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای برای ساختمان‌های فولادی

- قاب های مقاوم خمشی Moment Resisting Frames
- قاب های مهاربندی همگرا Concentrically Braced Frames
- قاب های مهاربندی واگرا Eccentrically Braced Frames
- قاب های مهاربندی کمانش‌ناپذیر Buckling Restrained Braced Frames
- دیوارهای برشی فولادی ویژه Special Plate Shear Walls

# قاب های مقاوم خمشی (MRF)

تیرها و ستون‌ها با اتصالات مقاوم خمشی؛ تحمل نیروهای جانبی به واسطه خمش و برش در تیرها و ستون‌ها – به عبارت دیگر به واسطه عمل قابی (frame action).

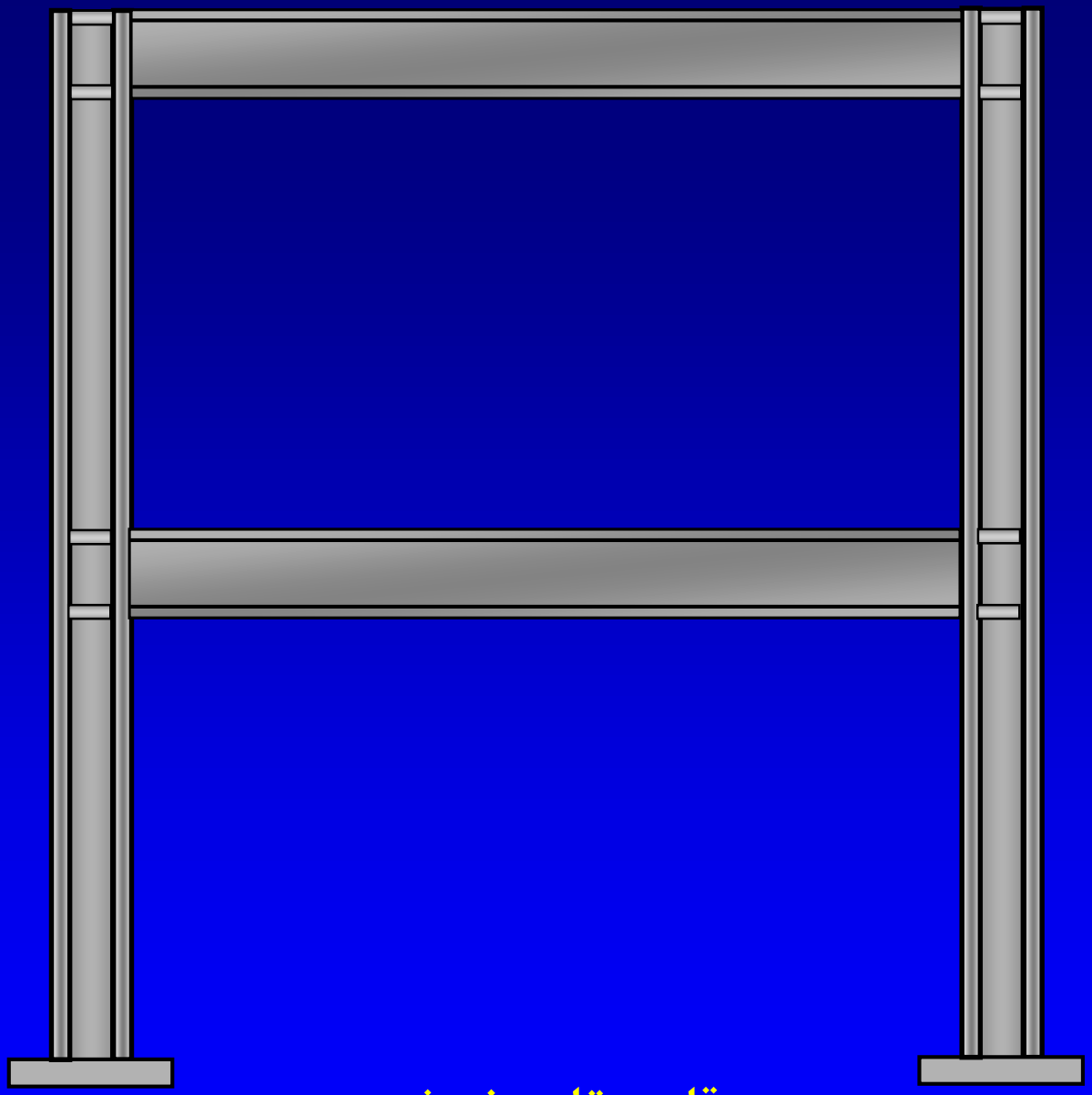
شکل‌پذیری در درجه اول به واسطه تسلیم خمشی تیرها تامین می‌گردد:

## مزایا

- تطبیق‌پذیری از لحاظ معماری
- ایمنی و شکل‌پذیری بالا

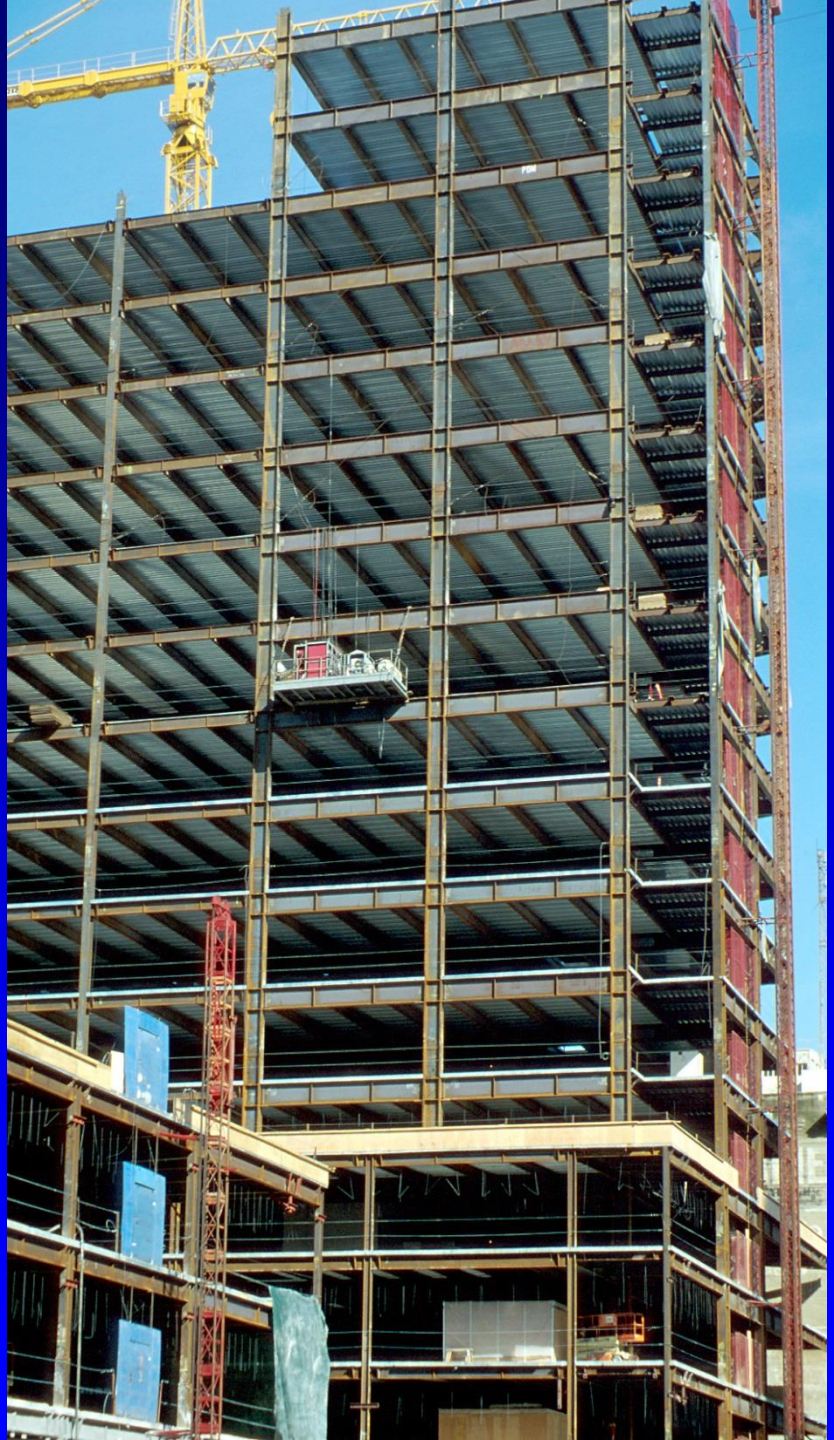
## معایب

- سختی ارتجاعی کم



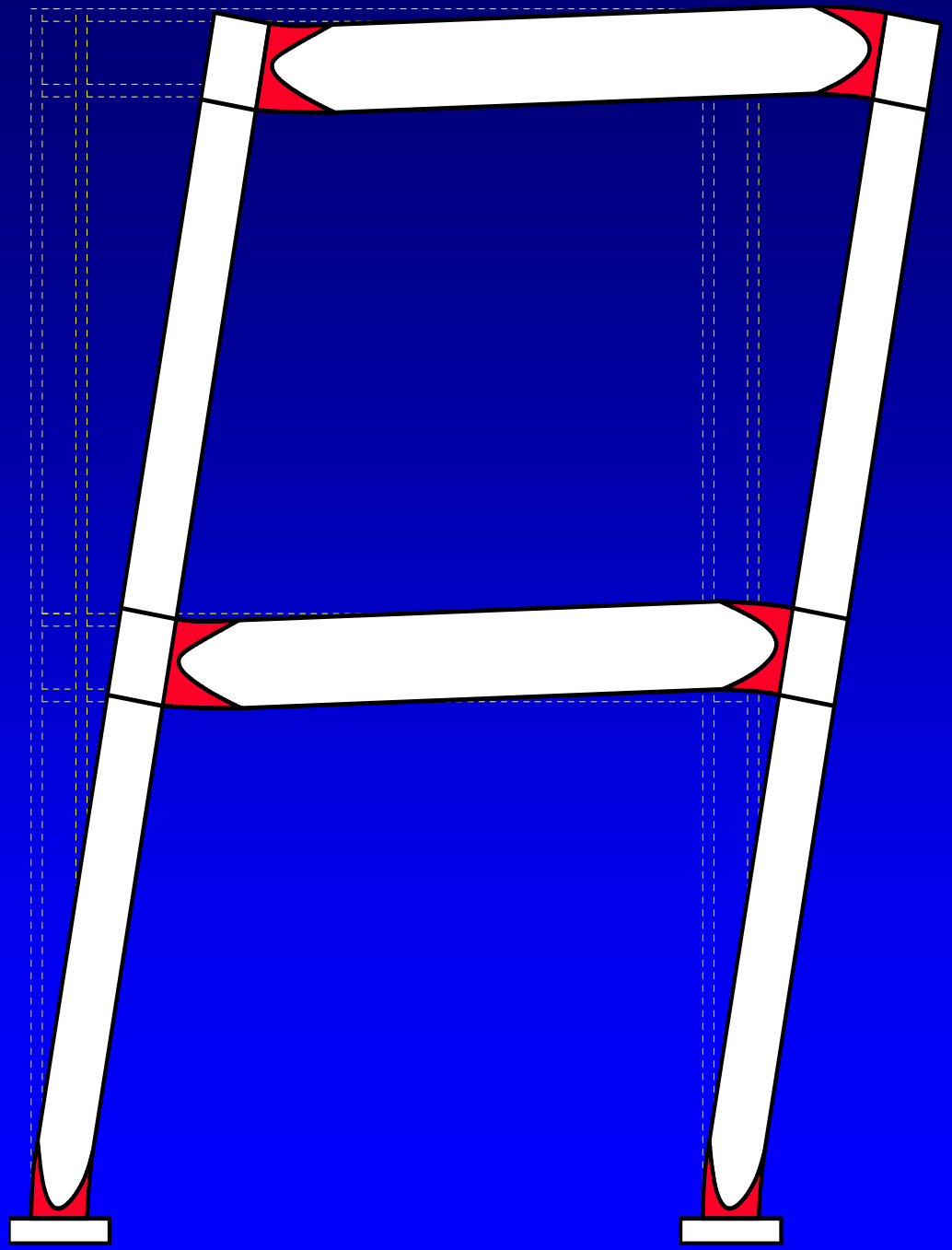
**قاب مقاوم خمشی**

# A steel MRF



# A closer view of the steel MRF

A steel MRF. Columns are steel box columns.



# پاسخ غیرارتجاعی یک قاب مقاوم خمشی فولادی

«مفاصل پلاستیک» در دو انتهای اعضای تیر تشکیل می‌شوند، و پاسخ غیرارتجاعی قاب متاثر از تسلیم خمشی در انتهای تیرها است.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی معمولی (OMF)

### ۱۰-۳-۷ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی معمولی

قاب‌های خمشی معمولی به قاب‌هایی اطلاق می‌شوند که از آنها انتظار تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی در برابر نیروی جانبی زلزله نمی‌رود و به این علت برای طراحی اعضا و اتصالات آنها مقررات تکمیلی محدودی در نظر گرفته شده است. در طراحی و اتصالات این نوع قاب‌ها علاوه بر الزامات متعارف فصل‌های ۱۰-۱ و ۱۰-۲ و نیز الزامات لرزه‌ای بخش‌های ۱۰-۳-۲ ، ۱۰-۳-۳ و ۱۰-۳-۵ باید الزامات تکمیلی این بخش نیز رعایت شود.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی معمولی (OMF)

**۱۰-۳-۷-۱ محدودیت تیرها و ستون‌ها**

تیرها و ستون‌ها در قاب‌های خمشی معمولی باید دارای شرایط زیر باشند.

**الف)** مقاطع تیرها و ستون‌ها باید فشرده باشند.

**ب)** استفاده از ستون‌های با مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز است.

**پ)** استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیهٔ حفاظت‌شدهٔ دو انتهای تیر و در نیمهٔ میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

**ت)** در ناحیهٔ حفاظت‌شدهٔ دو انتهای تیر، ایجاد هر گونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ صورت گیرد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی معمولی (OMF)

**۱۰-۳-۷-۲ اتصالات تیر به ستون**

اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی معمولی باید دارای شرایط زیر باشند.

**الف)** در طراحی اتصالات تیر به ستون و نیز وصلهٔ تیرهای این نوع قاب‌های خمشی می‌توان محل تشکیل مفصل پلاستیک را در محل اتصال تیر به ستون در نظر گرفت.

**ب)** مقاومت خمشی مورد نیاز ($M_u$) اتصال تیر به ستون باید از رابطهٔ زیر تعیین شود.

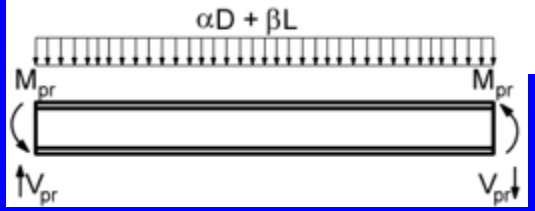
$$M_u = ۱/۱ R_y M_p \qquad (۱۰-۷-۳-۱)$$

که در آن:

$R_y$ = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین‌شدهٔ مصالح تیر مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۲-۱

$M_p$ = لنگر پلاستیک مقطع تیر در محل اتصال تیر به ستون

**پ)** مقاومت برشی مورد نیاز ($V_u$) اتصال تیر به ستون باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و برش لرزه‌ای ناشی از $M_{pr} = ۱/۱ R_y M_p$ در دو انتهای تیر، تعیین شود.



# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

**۱۰-۳-۸ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط**

قاب خمشی متوسط به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه حداقل به ۰/۰۲ رادیان برسد که حدود ۰/۰۱ رادیان آن در ناحیهٔ فرا ارتجاعی باشد.

در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها باید الزامات تکمیلی سخت‌گیرانه‌تری نسبت به قاب‌های خمشی معمولی منظور شود. به همین منظور در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها علاوه بر الزامات متعارف فصل‌های ۱۰-۱ و ۱۰-۲ و نیز الزامات لرزه‌ای بخش‌های ۱۰-۳-۲ الی ۱۰-۳-۶ باید الزامات تکمیلی این بخش نیز رعایت شود.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

**۱۰-۳-۸-۱ محدودیت تیرها و ستون‌ها**

تیرها و ستون‌ها در قاب‌های خمشی متوسط باید دارای شرایط زیر باشند.

**الف)** مقاطع تیرها و ستون‌ها باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر $\lambda_{md}$ مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴-۱ باشند.

**ب)** استفاده از ستون‌های با مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز است، مشروط بر آنکه خمش در ستون حول محور با مصالح باشد.

**پ)** استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیهٔ حفاظت‌شده دو انتهای تیر و در نیمهٔ میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طورکامل فراهم گردد.

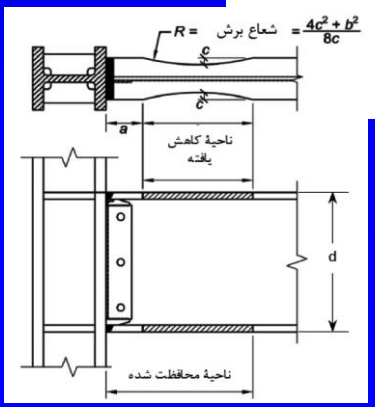
**ت)** در ناحیهٔ حفاظت‌شده دو انتهای تیر، ایجاد هر گونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵صورت گیرد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط (IMF)

**۱۰-۳-۸-۲ مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر**

(۱) به جز در طراحی تیرهای با اتصالات تیر با مقطع کاهش‌یافته، در طراحی مقطع تیرها برای خمش، رعایت ضابطهٔ تکمیلی خاصی الزامی نیست. در تیرهای با اتصالات تیر با مقطع کاهش‌یافته، در دو انتهای تیر، مقاومت خمشی مورد نیاز تیر باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr} = C_{pr}R_yM_p$ در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود. در این حالت در دو انتهای تیر، مقاومت خمشی طراحی تیر را می‌توان برابر $R_yM_{po}$ در نظر گرفت.

(۲) در دو انتهای تیر، مقاومت برشی مورد نیاز تیرها باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr} = C_{pr}R_yM_p$ در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود. مقاومت برشی طراحی تیرها باید براساس الزامات فصل ۱۰-۲ تعیین شود.



# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

در روابط فوق:

$R_y$= نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شدهٔ مصالح تیر

$M_p$= لنگر پلاستیک مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک

$M_{po}$= لنگر پلاستیک مقطع تیرهای با مقطع کاهش‌یافته در ابتدا و انتهای تیر

$C_{pr}$= ضریبی است که دربرگیرندهٔ آثار عواملی از قبیل سخت‌شدگی، قیدهای موضعی و ملحقات موجود در اتصال تیر به ستون است و برای محاسبهٔ حداکثر نیروی ایجاد شده در اعضا و وسایل اتصال به‌کار گرفته می‌شود. به‌جز در موردی‌که در بخش ۱۰-۳-۱۳-۶ برای $C_{pr}$ عدد خاصی پیش‌بینی شده است، مقدار آن باید از رابطهٔ زیر تعیین شود

$$۱/۱ \le C_{pr} = \frac{(F_y + F_u)}{۲F_y} \le ۱/۲ \qquad (۱۰-۳-۸-۱)$$

که در آن:

$F_y$= تنش تسلیم فولاد تیر

$F_u$= تنش کششی نهائی فولاد تیر

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

**۱۰-۳-۸-۳ اتصال تیر به ستون**

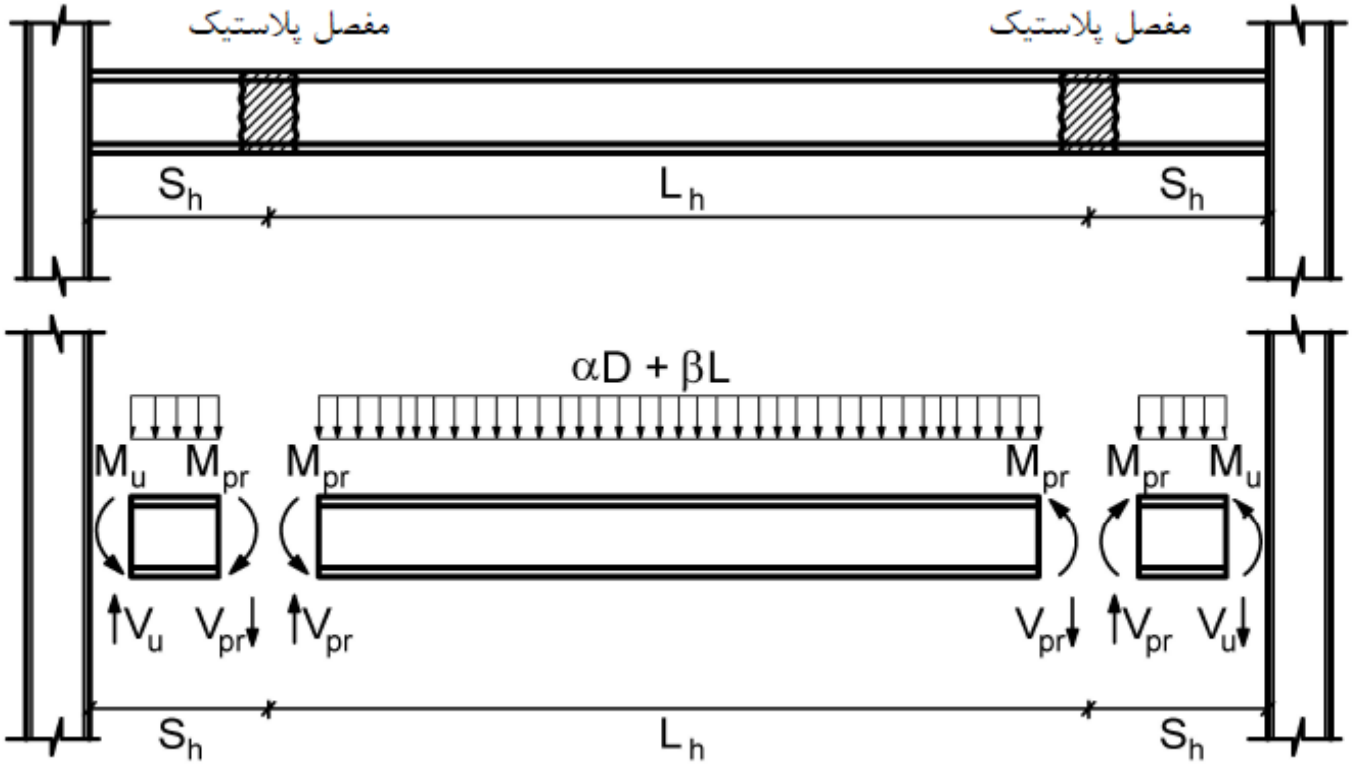
کلیهٔ اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی متوسط که نیروهای جانبی لرزه‌ای را تحمل می‌کنند، باید دارای شرایط زیر باشند.

**الف)** اتصالات خمشی تیر به ستون باید توانایی تحمل تغییرشکل‌های دورانی حداقل به میزان ۰/۰۲ رادیان را بدون کاهش قابل توجه در مقاومت خود دارا باشند. برای احراز این شرط لازم است اتصالات خمشی به‌کار رفته در قاب‌های خمشی متوسط از طریق آزمایشات توصیه شده توسط مراجع معتبر تایید شوند. در صورت عدم دسترسی به آزمایشات فوق استفاده از اتصالات از پیش تأیید شدهٔ ارائه شده در بخش ۱۰-۳-۱۳ بلامانع می‌باشد.

**ب)** اتصال تیر به ستون باید به‌گونه‌ای طراحی شود که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در داخل تیر فراهم نماید. انجام این امر می‌تواند از طریق ضعیف کردن مقطع تیر در فاصله‌ای محدود از بر ستون صورت گیرد. روش‌های دیگر برای دستیابی به‌منظور فوق در اتصالات از پیش تأیید شدهٔ بخش ۱۰-۳-۱۳ ارائه شده است.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

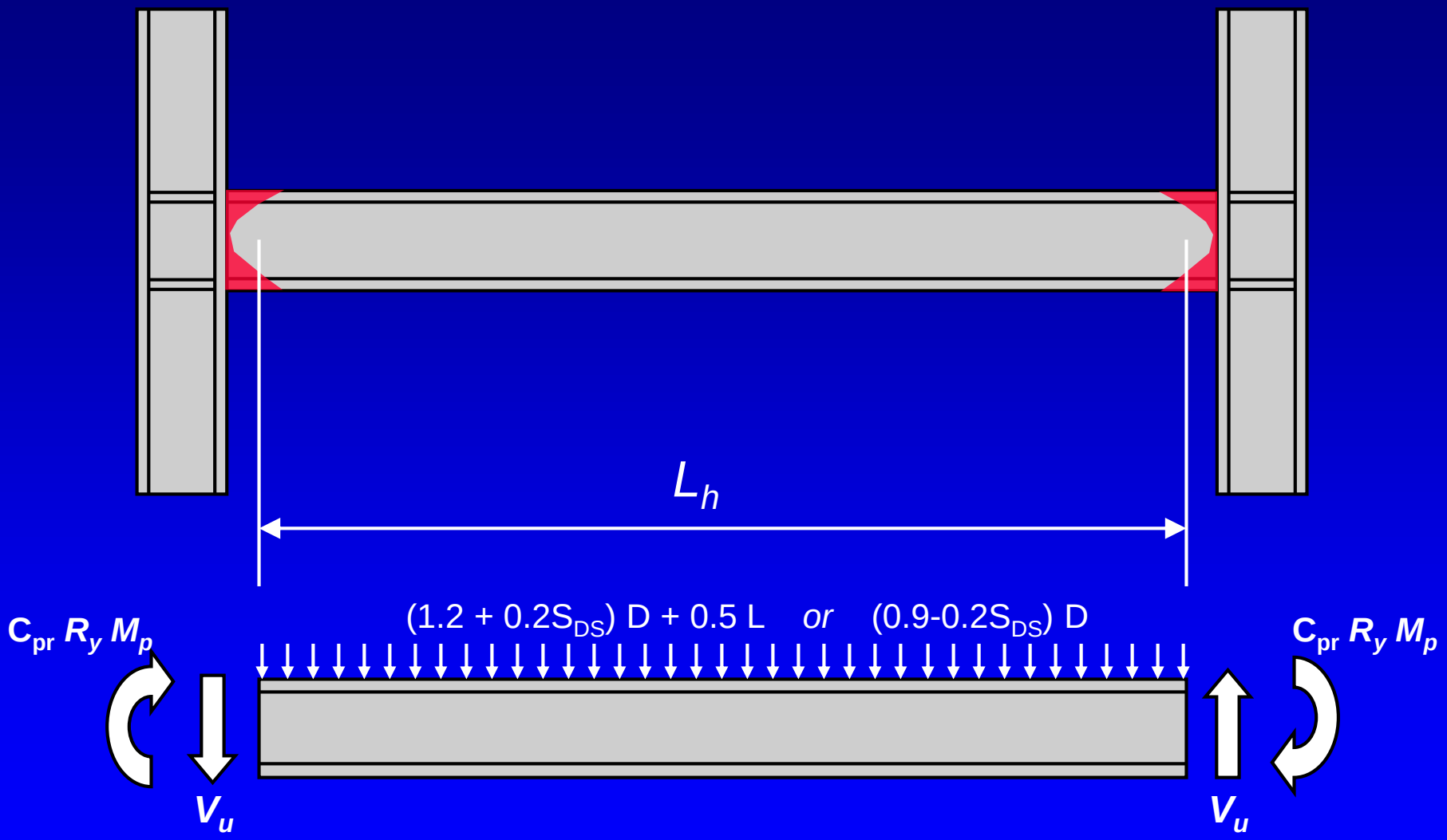
پ) مقاومت خمشی مورد نیاز ($M_u$) و مقاومت برشی مورد نیاز ($V_u$) اتصال باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr}= C_{pr}R_yM_p$ در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شوند (شکل ۱۰-۳-۸-۱). که در آن، $M_p$، $R_y$ و $C_{pr}$ مطابق تعاریف بند ۱۰-۳-۸-۲ می‌باشد.




شکل ۱۰-۳-۸-۱ نمودار پیکرهٔ آزاد تیرهای باربر جانبی

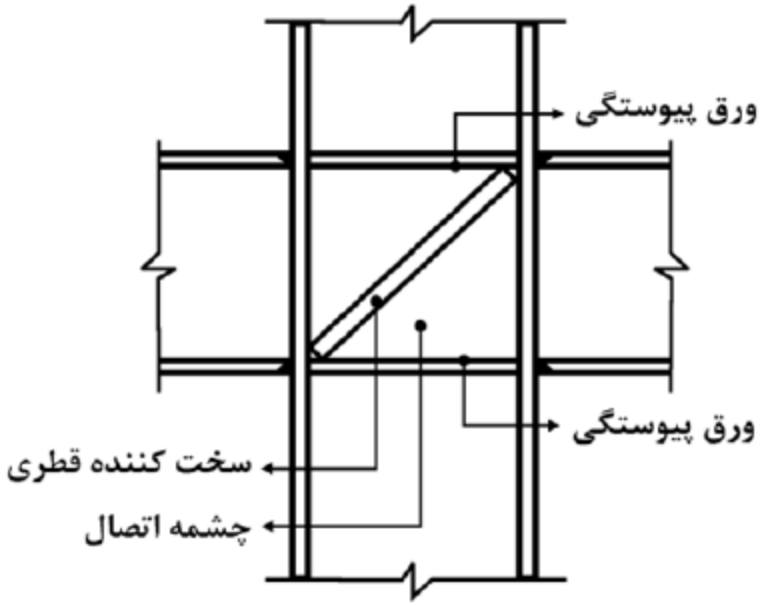
# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط (IMF)

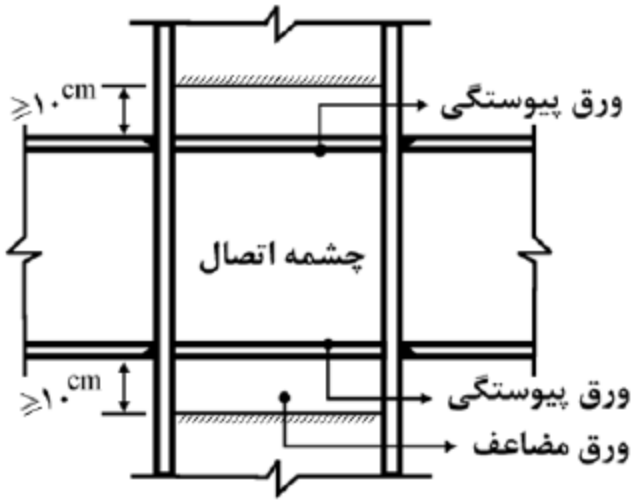
## Required Shear Strength of Beam-to-Column Connection




$$V_u = 2\ [C_{pr}\ R_y\ M_p\ ]\ /\ L_h\ + V_{gravity}$$

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)



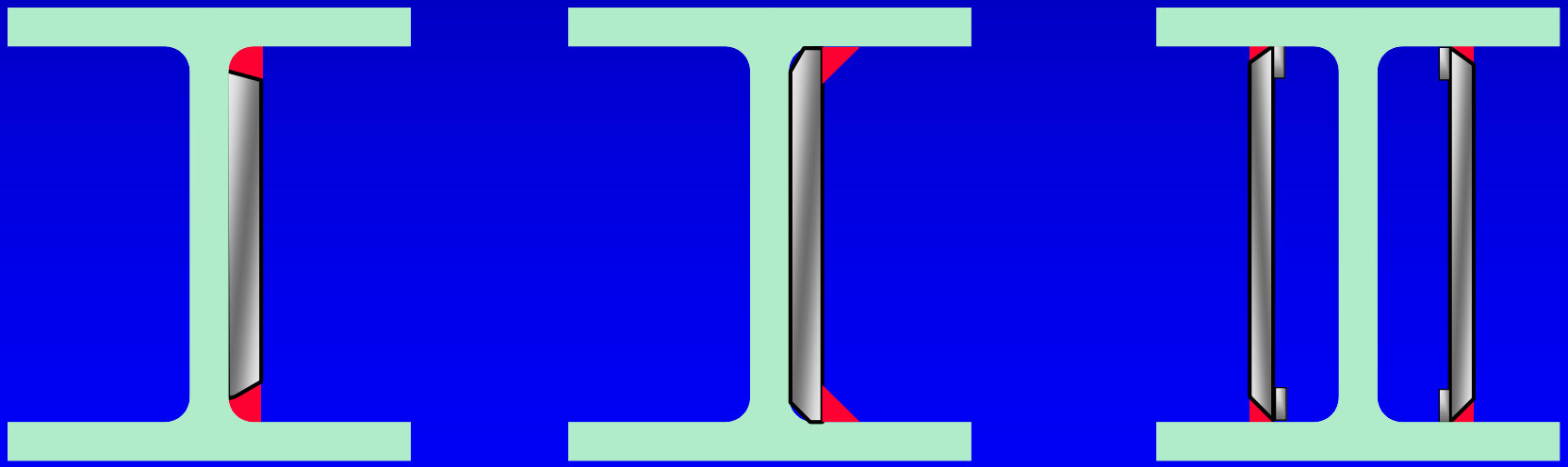




شکل ۱۰-۲-۹-۲۲ سخت‌کننده‌های قطری و ورق‌های مضاعف در چشمهٔ اتصال

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

If shear strength of panel zone is inadequate:

- Choose column section with larger web area
- Weld doubler plates to column



**Options for Web Doubler Plates**

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

**۱۰-۳-۸-۴ ورق‌های تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف)**

در صورت نیاز به تعبیهٔ ورق‌های تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف) در محل اتصال تیر به ستون، ورق‌های مضاعف علاوه بر تامین الزامات بخش ۱۰-۲-۹-۱۰ باید دارای شرایط زیر نیز باشند.

**الف)** اتصال ورق‌های مضاعف به بال ستون می‌تواند از نوع جوش شیاری با نفوذ کامل یا جوش گوشه باشد

**ب)** ورق‌های مضاعف باید به‌صورت متقارن و در ستون‌های H شکل باید در دو طرف جان و در ستون‌های قوطی شکل در دو وجه ستون به‌کار برده شوند.

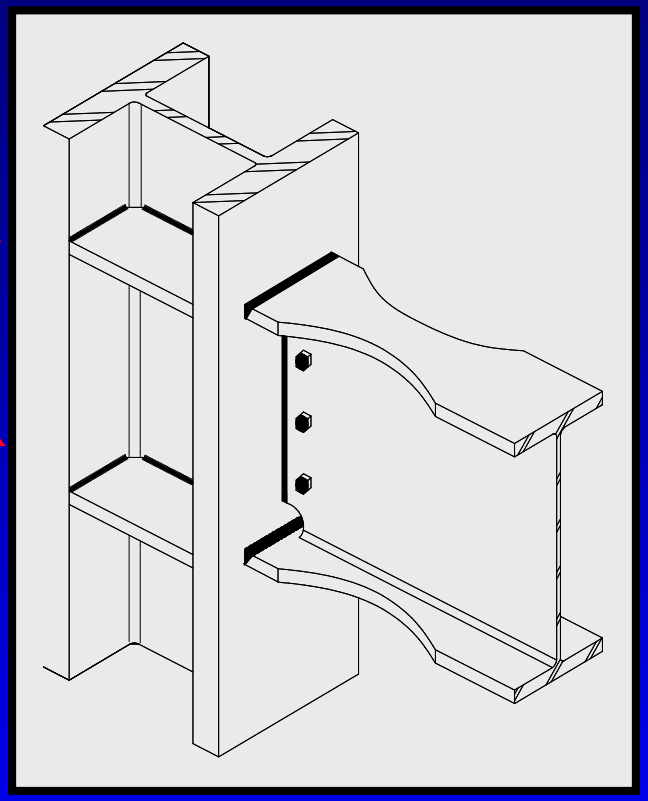
**پ)** در مواردی‌که نیاز به تعبیهٔ سخت‌کننده‌های عرضی (ورق‌های پیوستگی) نباشد، بالا و پایین ورق‌های مضاعف باید حداقل ۱۵۰ میلی‌متر از بال فوقانی و تحتانی تیر فاصله داشته باشند.

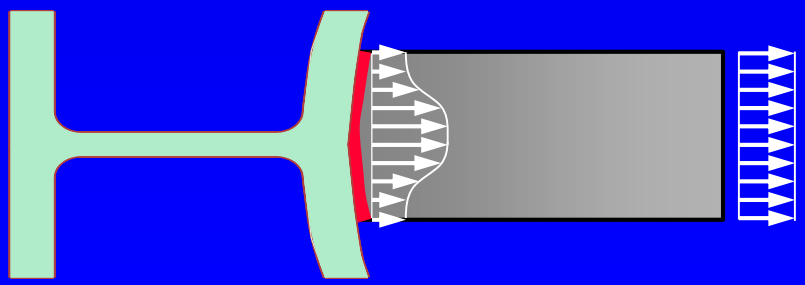
**ت)** در صورت وجود ورق‌های پیوستگی، ورق‌های مضاعف می‌توانند در محل ورق‌های پیوستگی قطع شده و از طریق جوش شیاری با نفوذ کامل یا جوش گوشه به ورق‌های پیوستگی جوش شوند.

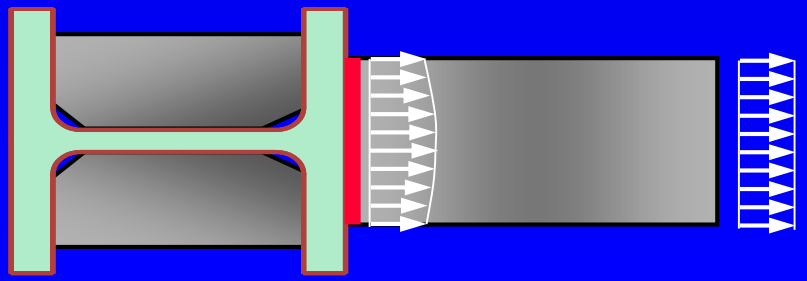
**ث)** در مواردی‌که ورق‌های مضاعف از جان ستون فاصله داشته باشند، این ورق‌ها باید به‌صورت متقارن و در یک سوم میانی فاصلهٔ بین مرکز صفحه جان ستون و نوک بال تیر تعبیه شود.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

Continuity Plates







# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

### ۱۰-۳-۸-۵ ورق‌های پیوستگی

ورق‌های پیوستگی (سخت‌کننده‌های عرضی) در مقابل بال‌های تیر یا ورق‌های پوششی اتصال بال بالایی و پایینی تیرهای متصل شونده به ستون علاوه بر تامین الزامات بخش ۱۰-۲-۹-۱۰ باید دارای شرایط زیر نیز باشند.

**الف)** در ستون‌های H شکل در صورتی‌که ضخامت بال ستون بزرگتر از مقادیر تعیین شده توسط روابط ۱۰-۳-۸-۲ و ۱۰-۳-۸-۳ باشد، تعبیهٔ ورق‌های پیوستگی در چشمهٔ اتصال الزامی نیست. در غیر اینصورت تعبیهٔ یک جفت سخت‌کننده (ورق‌های پیوستگی) در داخل ستون و با رعایت شرایط (پ) تا (ح) همین بند الزامی است.

$$t_{cf} \geq ۰/۴ \sqrt{۱/۸ b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \qquad (۱۰-۸-۳-۲)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{۶} \qquad (۱۰-۸-۳-۳)$$

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

**ب)** در ستون‌های جعبه‌ای (قوطی شکل) در صورتی‌که ضخامت بال ستون بزرگتر از مقادیر تعیین شده توسط روابط ۱۰-۳-۸-۴ و ۱۰-۳-۸-۵ باشد، تعبیهٔ ورق‌های پیوستگی در چشمه اتصال الزامی نیست. در غیر اینصورت تعبیهٔ یک جفت سخت‌کننده (ورق‌های پیوستگی) در داخل ستون و با رعایت شرایط (پ) تا (ح) همین بند الزامی است.

$$t_{cf} \geq ۰/۴\sqrt{\left[۱ - \frac{b_{bf}}{b_{cf}^{۲}}\left(b_{cf} - \frac{b_{bf}}{۴}\right)\right] ۱/۸ b_{bf}\, t_{bf} \frac{F_{yb}R_{yb}}{F_{yc}R_{yc}}}] \qquad (۱۰-۳-۸-۴)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{۱۲} \qquad (۱۰-۳-۸-۵)$$

در روابط فوق:

$F_{yb}$ = حداقل تنش تسلیم مصالح بال تیر

$F_{yc}$ = حداقل تنش تسلیم مصالح بال ستون

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

$R_{yb}$ = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شدهٔ مصالح تیر مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۲-۱

$R_{yc}$ = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح ستون مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۲-۱

$b_{bf}$ = پهنای بال تیر

$t_{bf}$ = ضخامت بال تیر

$t_{cf}$ = ضخامت بال ستون

**پ)** طول ورق‌های پیوستگی باید برابر با فاصلهٔ خالص دو بال ستون باشد.

**ت)** پهنای ورق‌های پیوستگی در ستون‌های با مقطع قوطی شکل باید برابر فاصلهٔ خالص دو جان مقطع ستون بوده و در ستون‌های با مقطع H شکل مجموع پهنای ورق‌های پیوستگی در هر طرف جان مقطع ستون نباید از پهنای بال تیر یا پهنای ورق پوششی اتصال کمتر باشد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط(IMF)

ث) ضخامت ورق‌های پیوستگی نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ضخامت ورق‌های پوششی اتصال (ورق‌های روسری و زیرسری) در اتصالات گیرداری که در امتداد موردنظر فقط به یک وجه ستون متصل هستند و از ضخامت بال تیر یا ضخامت ورق‌های پوششی اتصال (ورق‌های روسری و زیرسری) در اتصالات گیرداری که در امتداد موردنظر به هر دو وجه ستون متصل هستند، کمتر در نظر گرفته شود.

ج) جوش ورق‌های پیوستگی به بال ستون باید از نوع جوش شیاری با نفوذ کامل باشد. در صورتی‌که ضخامت ورق پیوستگی کوچکتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر باشد، استفاده از جوش گوشهٔ دو طرفه نیز مجاز است.

چ) جوش ورق‌های پیوستگی به جان ستون باید از نوع جوش شیاری با نفوذ کامل یا جوش گوشه دو طرفه باشد.

ح) نسبت پهنا به ضخامت در ورق‌های پیوستگی با یک لبهٔ متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های H شکل، نباید از $۰/۵۵\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ و در ورق‌های پیوستگی با دو لبهٔ متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های با مقطع قوطی شکل، نباید از $۱/۴\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ کوچکتر باشد. در این روابط E مدول الاستیسیته فولاد و $F_y$ تنش تسلیم فولاد ورق پیوستگی می‌باشد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

### ۱۰-۳-۹ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه

قاب خمشی ویژه به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله تغییرشکل‌های فراارتجاعی قابل ملاحظه‌ای را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه حداقل به ۰/۰۴ رادیان برسد که حدود ۰/۰۳ رادیان آن در ناحیهٔ فرا ارتجاعی باشد.

در این بخش برای طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها الزامات تکمیلی سخت‌گیرانه‌تری نسبت به قاب‌های خمشی متوسط در نظر گرفته شده است. به همین منظور در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها علاوه بر الزامات متعارف فصل‌های ۱۰-۱ و ۱۰-۲ و نیز الزامات لرزه‌ای بخش‌های ۱۰-۳-۲ تا ۱۰-۳-۶ باید الزامات تکمیلی این بخش نیز رعایت شوند.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

**۱۰-۳-۹-۱ محدودیت تیرها و ستون‌ها**

تیرها و ستون‌ها در قاب‌های خمشی ویژه باید دارای شرایط زیر باشند.

**الف)** مقاطع تیرها و ستون‌ها باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر $\lambda_{hd}$ مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴-۱ باشند.

**ب)** در ستون‌ها استفاده از مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز نیست. اجزای مقطع ستون باید در تمامی طول آن به صورت پیوسته به یکدیگر متصل شوند.

**پ)** استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیهٔ حفاظت شده دو انتهای تیر و در نیمهٔ میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

**ت)** در ناحیهٔ حفاظت‌شده دو انتهای تیر، ایجاد هرگونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ انجام پذیرد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

**۱۰-۳-۹-۲ نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر**

در کلیهٔ گره‌های اتصالات خمشی تیر به ستون باید به طور مجزا در امتداد هریک از محورهای اصلی مقطع ستون رابطهٔ زیر برآورده گردد.

$$\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} > ۱/۰ \qquad (۱۰-۳-۹-۱)$$

که در آن:

$\sum M^*_{pc}$= مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین گره اتصال در امتداد مورد نظر مطابق با رابطهٔ زیر:

$$\sum M^*_{pc} = \sum Z_c(F_{yc} - P_{uc}/A_g) \qquad (۱۰-۳-۹-۲)$$

$\sum M^*_{pb}$= مجموع تصاویر لنگرهای خمشی تیرها در گره اتصال نسبت به راستای مورد نظر. این لنگرهای خمشی باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی $M_{pr}=C_{pr}R_{yb}M_{pb}$ در محل تشکیل مفصل پلاستیک نسبت به محور ستون تعیین شوند (شکل ۱۰-۳-۸-۱).

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

در روابط فوق:

$Z_c$= اساس مقطع پلاستیک ستون

$A_g$= سطح مقطع ستون

$F_y$= تنش تسلیم فولاد ستون

$P_{uc}$= مقاومت فشاری مورد نیاز ستون حاصل از ترکیبات بار زلزلهٔ تشدیدیافته

$M_{pb}$= لنگر خمشی پلاستیک تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک

$R_{yb}$= نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شدهٔ مصالح تیر مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۲-۱

$C_{pr}$= مطابق تعریف بند ۱۰-۳-۵-۴

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

**تبصره:** در صورتی‌که یکی از حالت‌های زیر برقرار باشد، رعایت رابطهٔ ۱۰-۳-۹-۱ در گرهٔ فوقانی ستون الزامی نیست.

۱- ستون‌هایی که در کلیهٔ ترکیبات بار متعارف دارای $P_c$ $P_{uc}<0/3$ (که در آن $P_{uc}$ مقاومت فشاری مورد نیاز، $P_c=F_{yc}A_g$ ، $F_{yc}$ تنش تسلیم فولاد ستون و $A_g$ سطح مقطع ستون است) بوده و دارای شرایط زیر باشند.

الف) ستون‌های ساختمان‌های یک‌طبقه و ستون‌های طبقهٔ آخر ساختمان‌های چند طبقه

ب) تعدادی از ستون‌های هر طبقه که مجموع مقاومت برشی طراحی آنها کمتر از ۲۰ درصد کل مقاومت برشی طراحی ستون‌های آن طبقه و مجموع مقاومت برشی طراحی آنهایی که بر روی یک محور قرار دارند کمتر از ۳۳ درصد کل مقاومت برشی طراحی آن محور باشد. در این بند محور ستون به محور یا محورهای موازی اطلاق می‌شود که در فاصلهٔ کمتر از ۱۰ درصد بعد پلان طبقه، در جهت عمود بر محور، از یکدیگر قرار گرفته باشند.

۲- ستون‌های طبقه‌ای که در آن نسبت مجموع مقاومت برشی طراحی ستون‌ها به مجموع مقاومت برشی مورد نیاز ستون‌ها در آن طبقه ۵۰ درصد بیشتر از این نسبت در طبقهٔ فوقانی آن باشد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

**۱۰-۳-۹-۳ مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر**

مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر در قاب‌های خمشی ویژه عیناً مشابه مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر در قاب‌های خمشی متوسط می‌باشد.

**۱۰-۳-۹-۴ اتصال تیر به ستون**

کلیهٔ اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی ویژه که نیروهای جانبی لرزه‌ای را تحمل می‌کنند، باید دارای شرایط زیر باشند.

**الف)** اتصالات خمشی تیر به ستون باید توانایی تحمل تغییرشکل‌های دورانی حداقل به میزان ۰/۰۴ رادیان را بدون کاهش قابل توجه در مقاومت خود دارا باشند. برای احراز این شرط لازم است اتصالات خمشی به کار رفته در قاب‌های خمشی ویژه از طریق آزمایشات توصیه‌شده توسط مراجع معتبر تأیید شوند. در صورت عدم دسترسی به آزمایشات فوق استفاده از اتصالات از پیش تاییدشده ارائه‌شده در بخش ۱۰-۳-۱۳ بلامانع می‌باشد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

ب) اتصال تیر به ستون باید به گونه‌ای طراحی شود که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در داخل تیر فراهم نماید. انجام این امر می‌تواند از طریق ضعیف‌کردن مقطع تیر در فاصله‌ای محدود از برستون صورت گیرد. روش‌های دیگر برای دستیابی به منظور فوق در اتصالات از پیش تأیید شدهٔ بخش ۱۰-۳-۱۳ ارائه شده است.

پ) در قاب‌های خمشی ویژه مقاومت خمشی مورد نیاز ($M_u$) و مقاومت برشی مورد نیاز ($V_u$) اتصال باید عیناً مشابه مقاومت‌های مورد نیاز اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی متوسط در نظر گرفته شود.

### ۱۰-۳-۹-۵ ورق‌های تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف)

الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای ورق‌های تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف) در قاب‌های خمشی ویژه عیناً مشابه الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای ورق‌های تقویتی چشمهٔ اتصال (ورق‌های مضاعف) در قاب‌های خمشی متوسط می‌باشد.

### ۱۰-۳-۹-۶ ورق‌های پیوستگی

الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای ورق‌های پیوستگی در قاب‌های خمشی ویژه عیناً مشابه الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای ورق‌های پیوستگی در قاب‌های خمشی متوسط می‌باشد.

# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

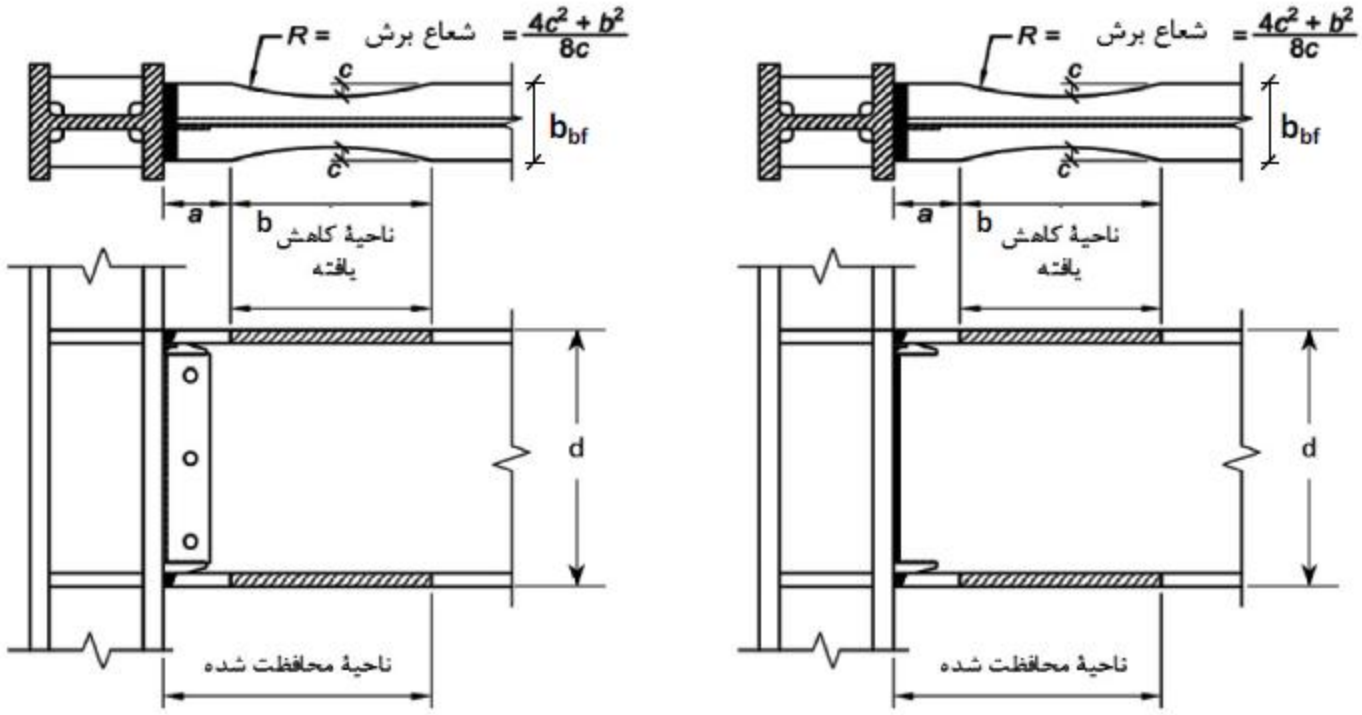
## ۱۰-۳-۱۳ اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

اتصالات گیردار ارائه شده در شکل‌های ۱۰-۳-۱۳-۱ تا ۱۰-۳-۱۳-۵ در صورت تأمین الزامات و محدودیت‌های این بخش به عنوان اتصالات گیردار از پیش تأیید شده محسوب می‌شوند. مطابق الزامات این بخش، انواع اتصالات گیردار از پیش تأیید شده به شرح جدول ۱۰-۳-۱۳-۱ می‌باشند.

**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) |

# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده




ب) فقط برای قاب‌های خمشی متوسط

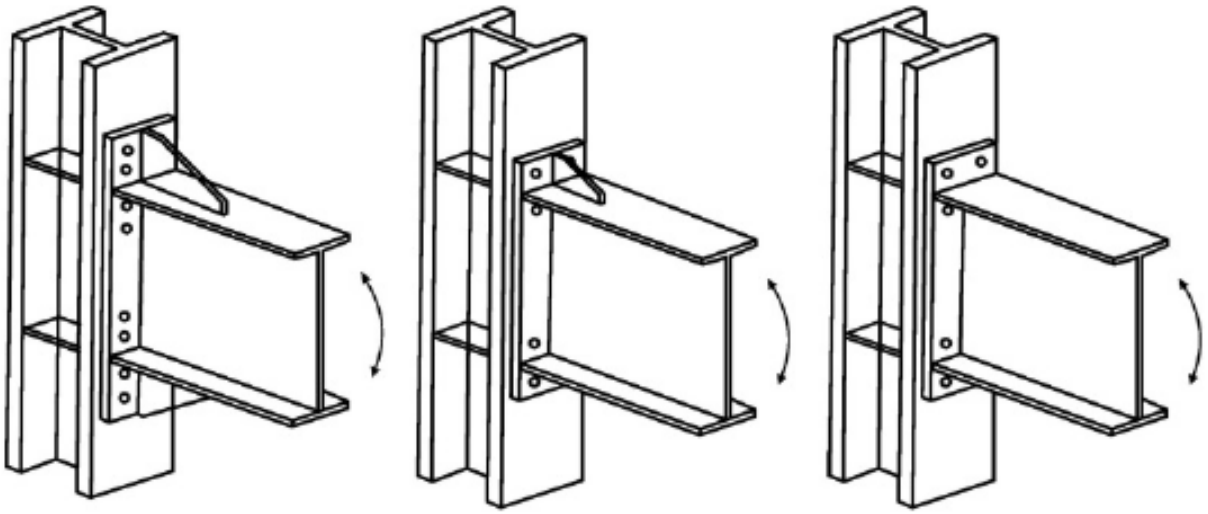
الف) برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه

شکل ۱۰-۳-۱۳-۱ اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش‌یافته (RBS)

# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

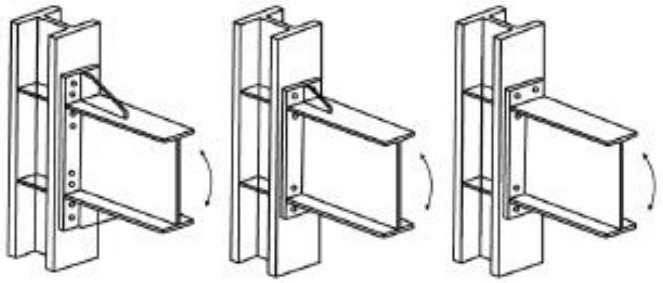
# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده



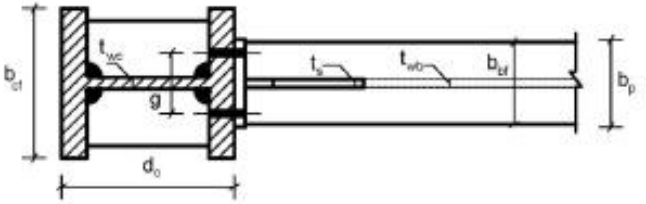
الف) چهارپیچی بدون ورق سخت‌کننده  ب) چهارپیچی با ورق سخت‌کننده  پ) هشت‌پیچی با ورق سخت‌کننده

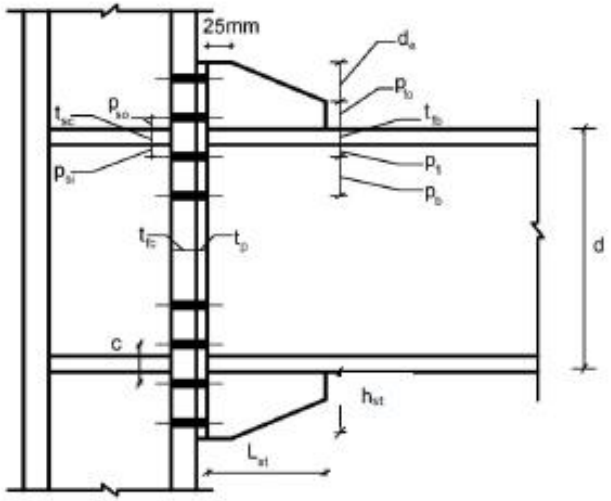
شکل ۱۰-۳-۱۳-۲ اتصال گیردار فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی(BUEEP)و اتصال گیردار فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی(BSEEP)

# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده



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

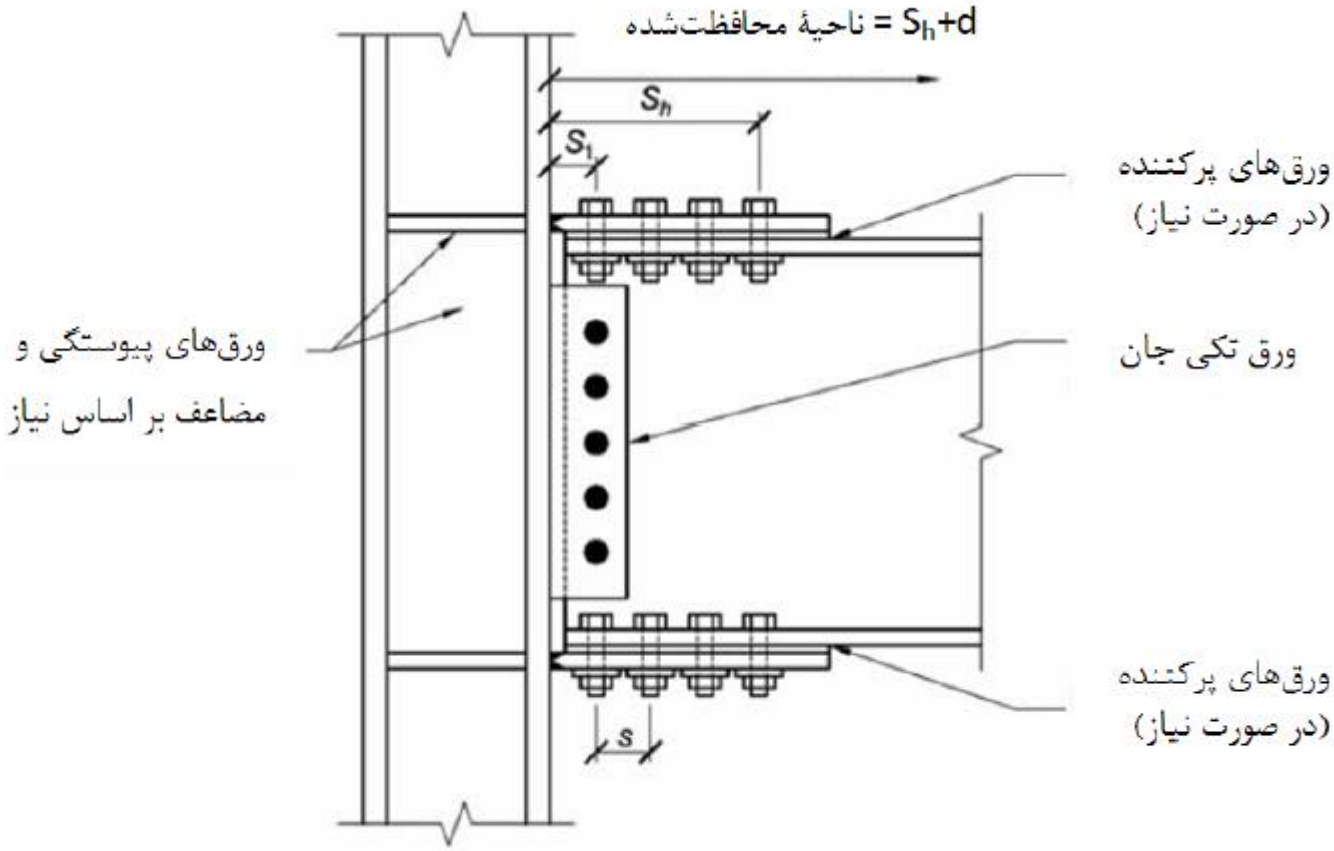



ت) هندسهٔ اتصال فلنجی هشت‌پیچی با استفاده از ورق لچکی

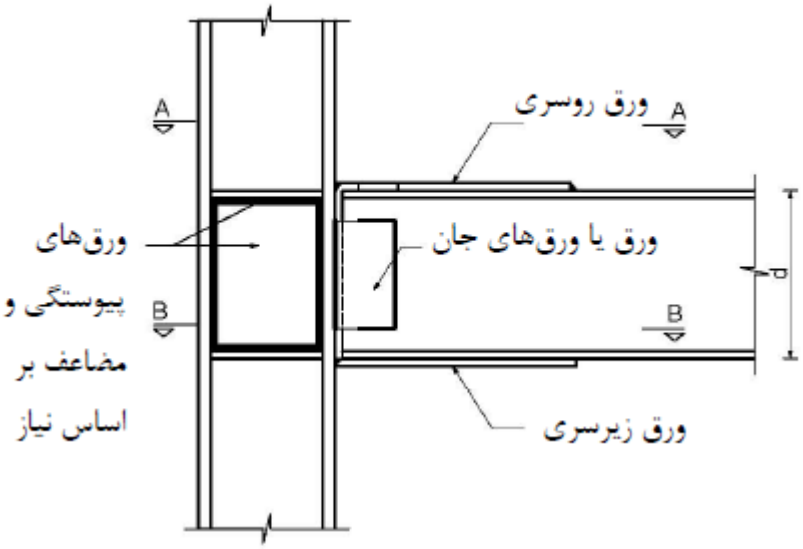
شکل ۱۰-۳-۱۳-۲ اتصال گیردار فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی(BUEEP)و اتصال گیردار فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی(BSEEP)

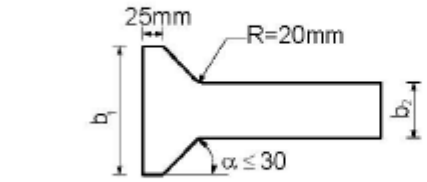
# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده



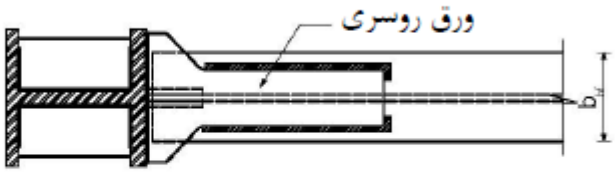

شکل ۱۰-۳-۱۳-۳ اتصال گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیر سری (BFP)

# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

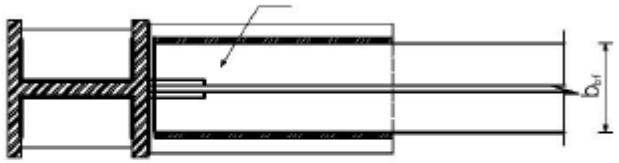



β= ضریب بازرسی جوش ورق روسری



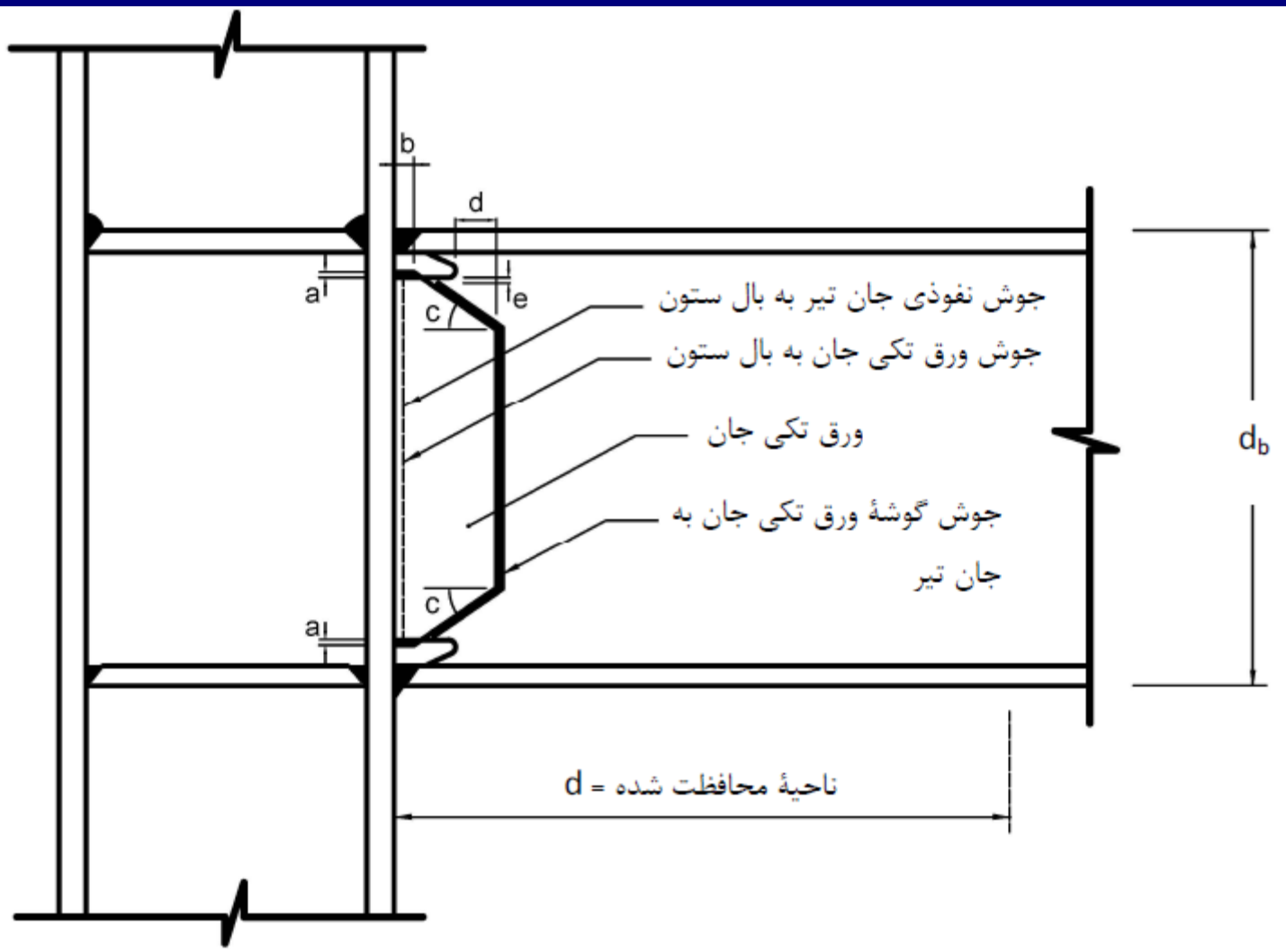

مقطع A-A




مقطع B-B

شکل ۱۰-۳-۱۳-۴ اتصال گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری(WFP)

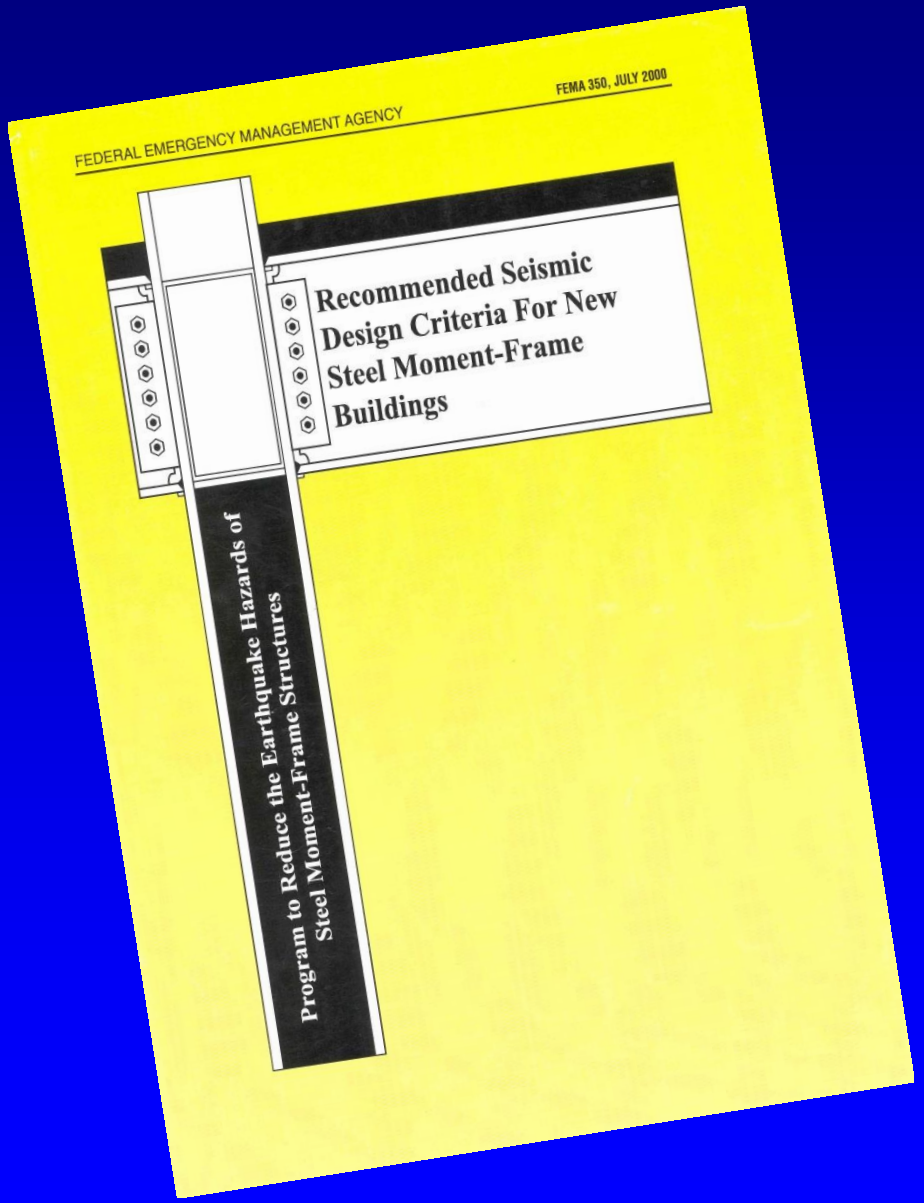
# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده




شکل۱۰-۳-۱۳-۵ اتصال گیردار تقویت نشدهٔ جوشی (WUF-W)

# اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

**FEMA 350**



# سیستم‌های باربر جانبی لرزه‌ای برای ساختمان‌های فولادی

- قاب های مقاوم خمشی Moment Resisting Frames
- قاب های مهاربندی همگرا Concentrically Braced Frames
- قاب های مهاربندی واگرا Eccentrically Braced Frames
- قاب های مهاربندی کمانش‌ناپذیر Buckling Restrained Braced Frames
- دیوارهای برشی فولادی ویژه Special Plate Shear Walls

# قاب های مهاربندی همگرا (CBFs)

تیرها، ستون ها و مهاربندها طوری چیده شده اند که تشکیل یک خرپای قائم می دهند. تحمل نیروهای جانبی زلزله به واسطه عمل خرپایی (truss action) صورت می گیرد.
شکل پذیری از طریق عملکرد غیرارتجاعی مهاربندها تامین می شود.

- مهاربندها در کشش تسلیم می شوند
- مهاربندها در فشار کمانه می کنند

مهاربندها اعضای فیوزی در یک سیستم CBF هستند.

تیرها و ستون ها با این هدف که ارتجاعی باقی بمانند طراحی می شوند.

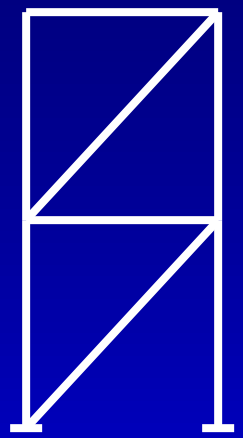
## مزایا

- *سختی ارتجاعی بالا* ⟵ اجازه می‌دهد محدودیت های دریفت آیین نامه‌ای با بکارگیری اعضای نسبتا سبک ارضا گردد.

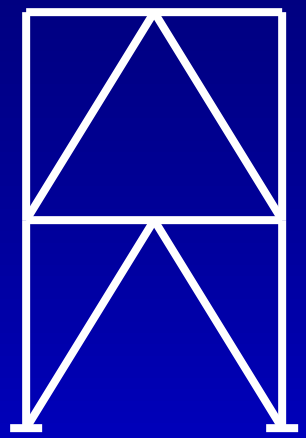
## معایب

- *شکل‌پذیری کمتر* در مقایسه با سایر سیستم‌ها (SMFs, EBFs, BRBFs) ⟵ ضرایب R کوچکتر
- *تطبیق‌پذیری کمتر از لحاظ معماری*

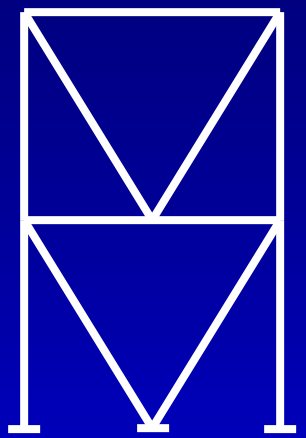
# انواع CBFs



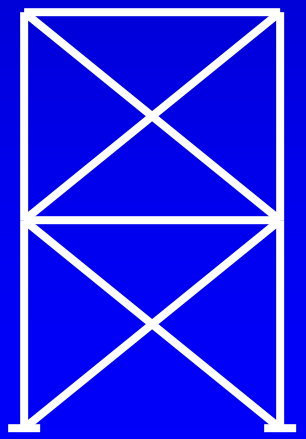
قطری تکی
Single Diagonal



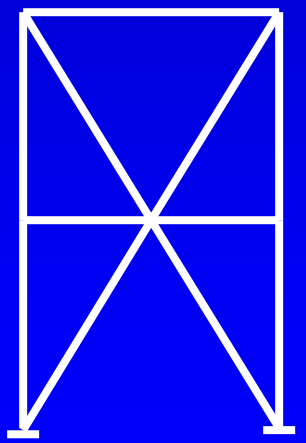
مهاربندی V معکوس
Inverted V- Bracing



مهاربندی V
V- Bracing



مهاربندی X
X- Bracing



مهاربندی X دو طبقه
Two Story X- Bracing

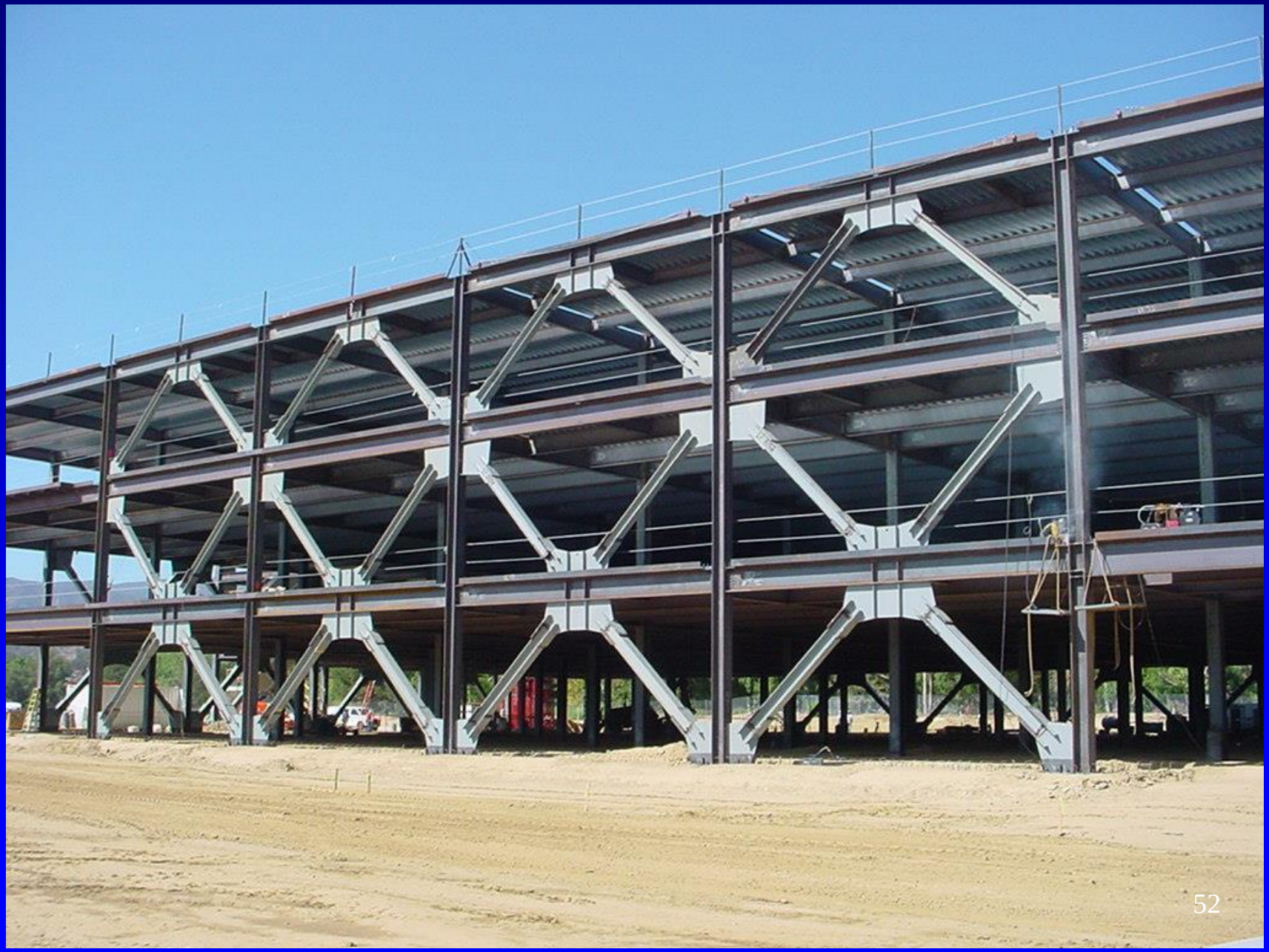
# Inverted V-bracing

# Two story X-bracing

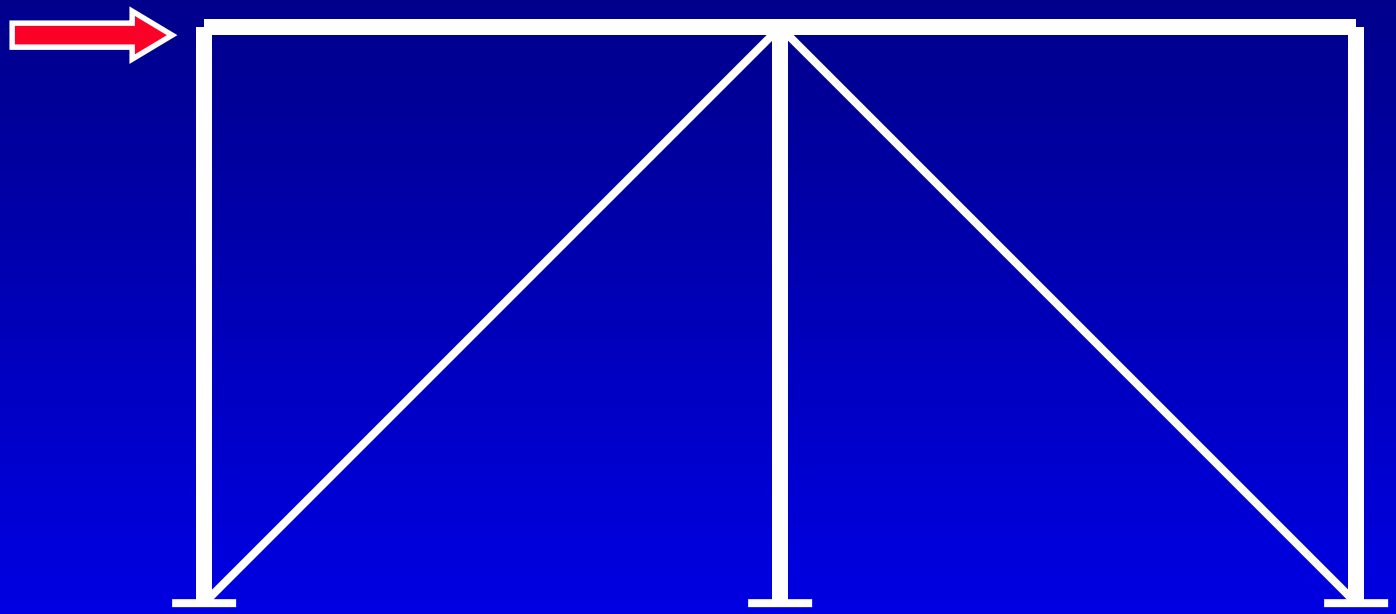
# a very heavy two-story X-bracing

# Two story X-bracing

# Two story X-braced frame for bottom stories, with a inverted V-braced frame at the top story

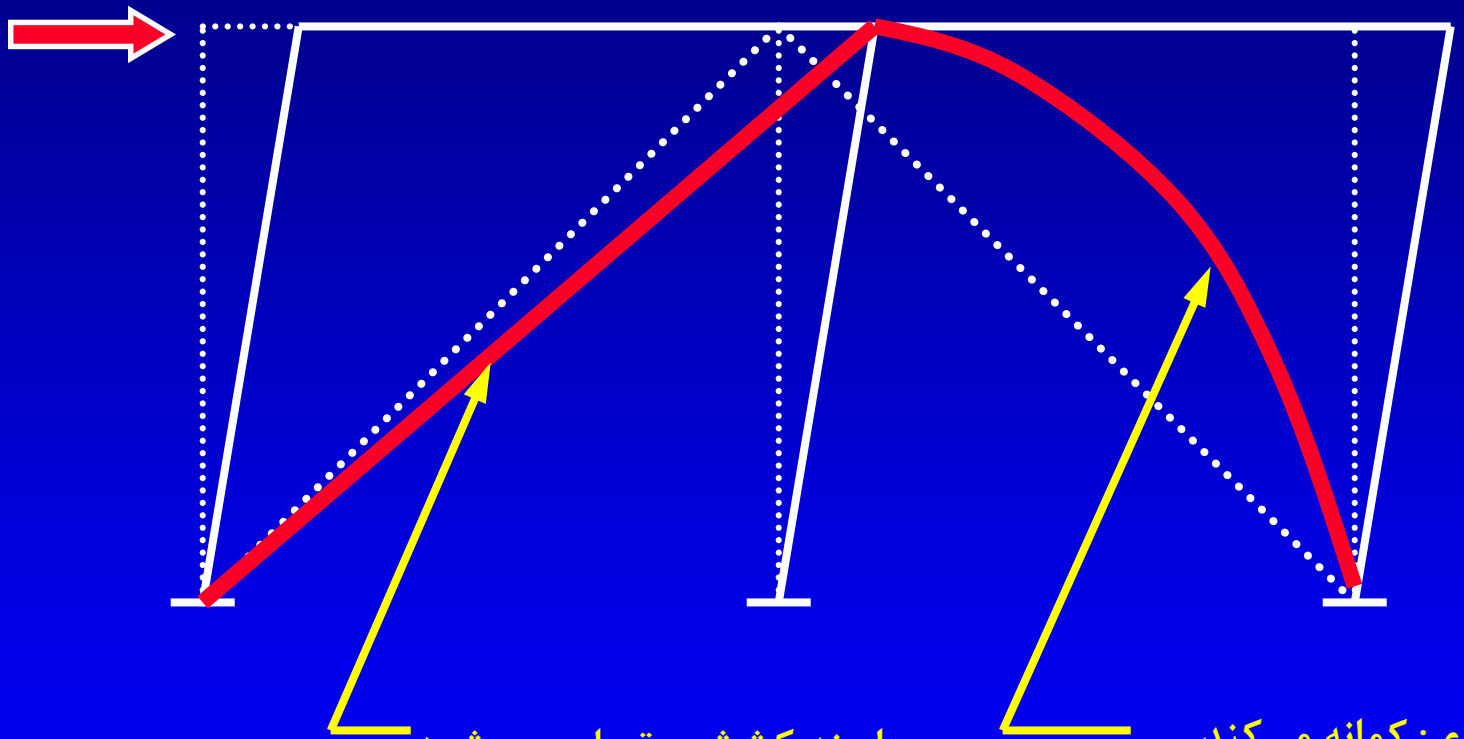


# پاسخ غیرارتجاعی مهاربندهای CBF تحت بارگذاری زلزله



سازه طوری طراحی می شود که عمل غیرارتجاعی
در اعضای مهاربند ایجاد شود

# پاسخ غیرارتجاعی مهاربندهای CBF تحت بارگذاری زلزله



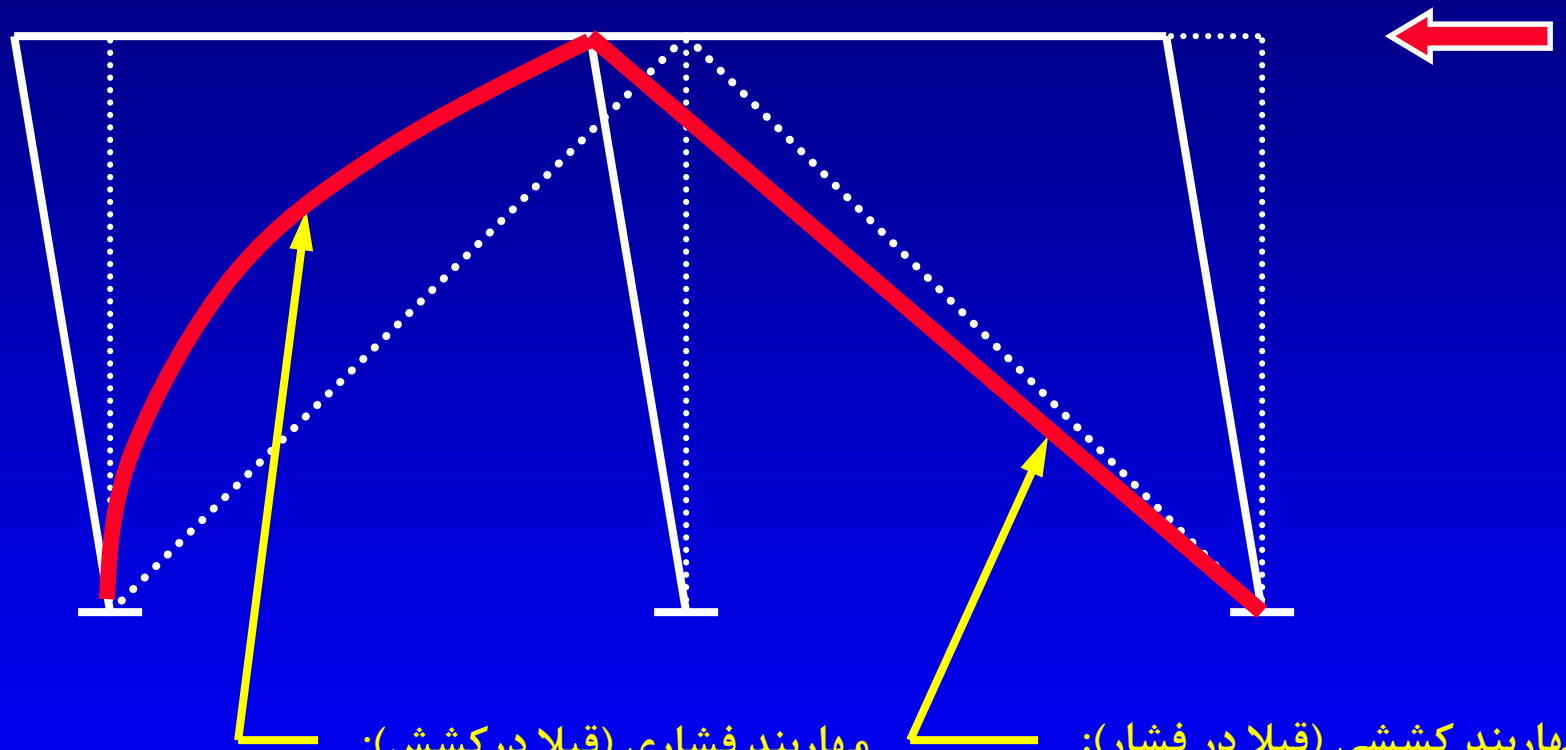
مهاربند فشاری: کمانه می‌کند
(غیرشکل پذیر)

مهاربند کششی: تسلیم می‌شود
(شکل پذیر)

تیرها و ستون ها: ضرورتا ارتجاعی باقی می‌مانند

منشا اصلی شکل پذیری در سیستم‌های CBF تسلیم مهاربندهای کششی است

# پاسخ غیرارتجاعی مهاربندهای CBF تحت بارگذاری زلزله



مهاربند کششی (قبلا در فشار):
تسلیم می شود
(شکل پذیر)

مهاربند فشاری (قبلا درکشش):
کمانه می کند
(غیرشکل پذیر)

تیرها و ستون ها: ضرورتا ارتجاعی باقی می‌مانند

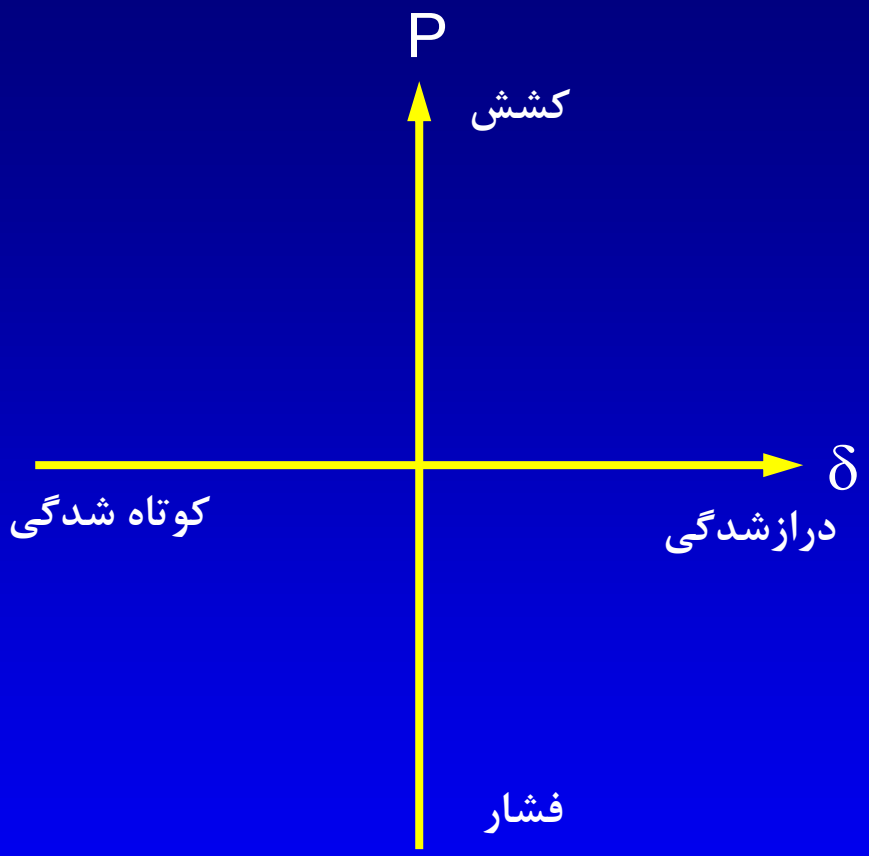
a CBF with heavy wide-flange braces

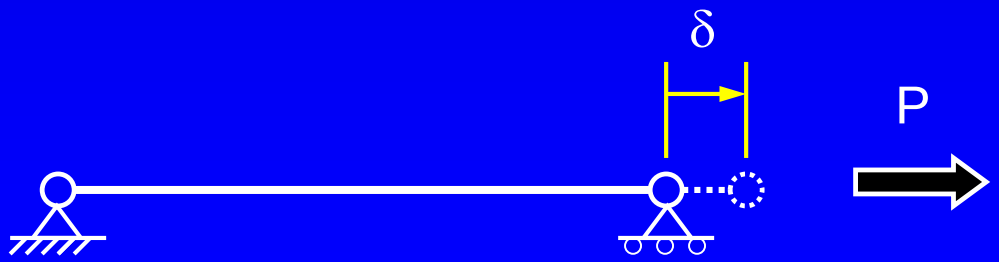
# a light CBF

# a CBF

# An X-braced CBF

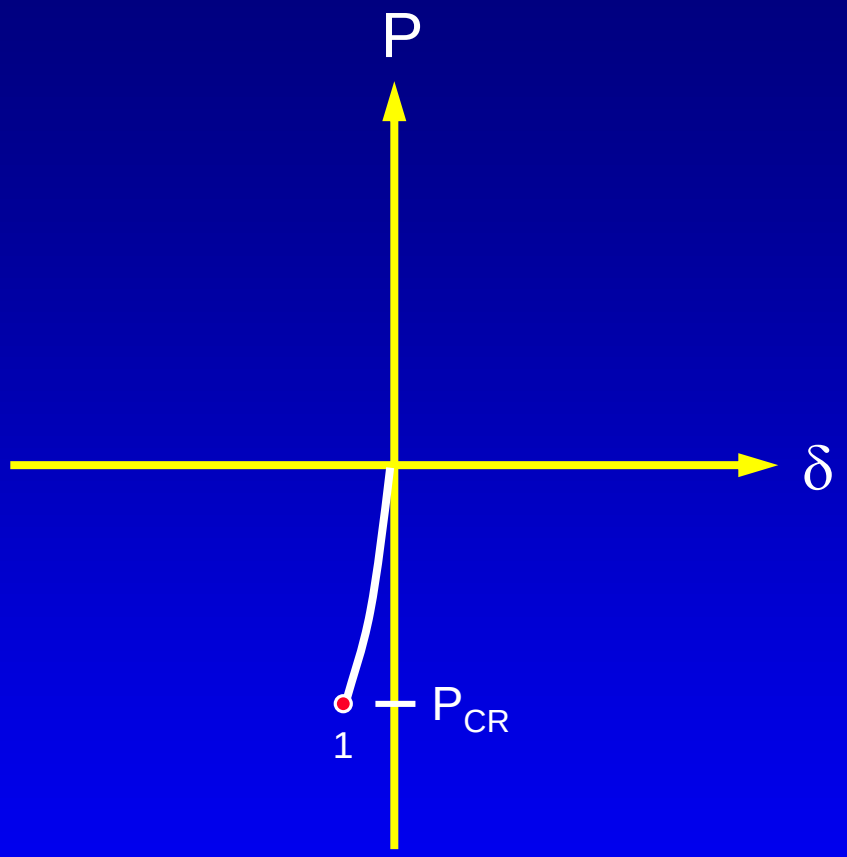
# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

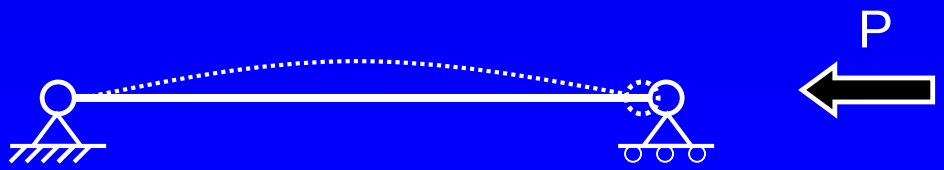


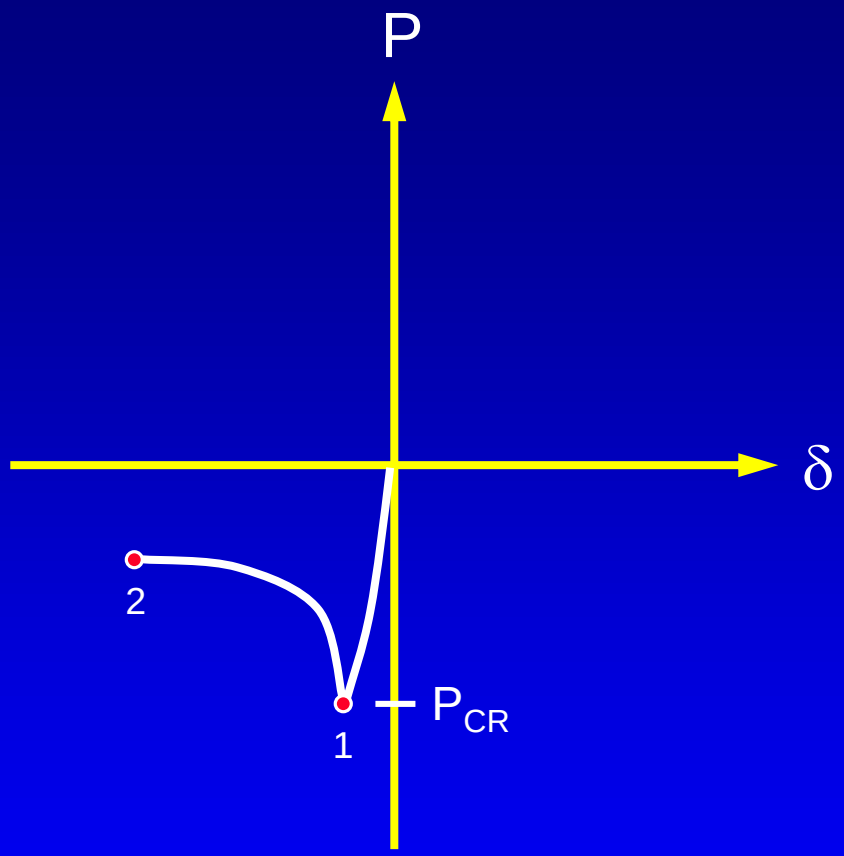
# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

1. مهاربند تا رسیدن به حداکثر ظرفیت فشاری (کمانش) تحت بار فشاری قرار می‌گیرد.

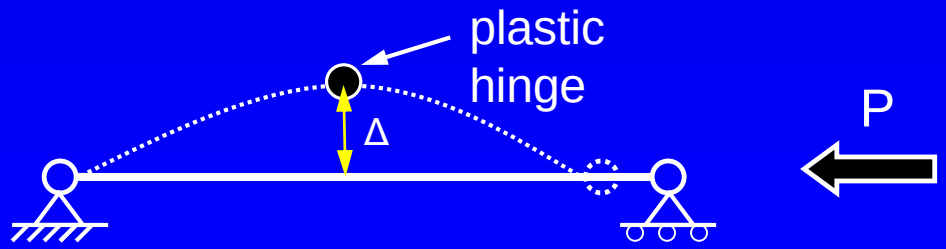


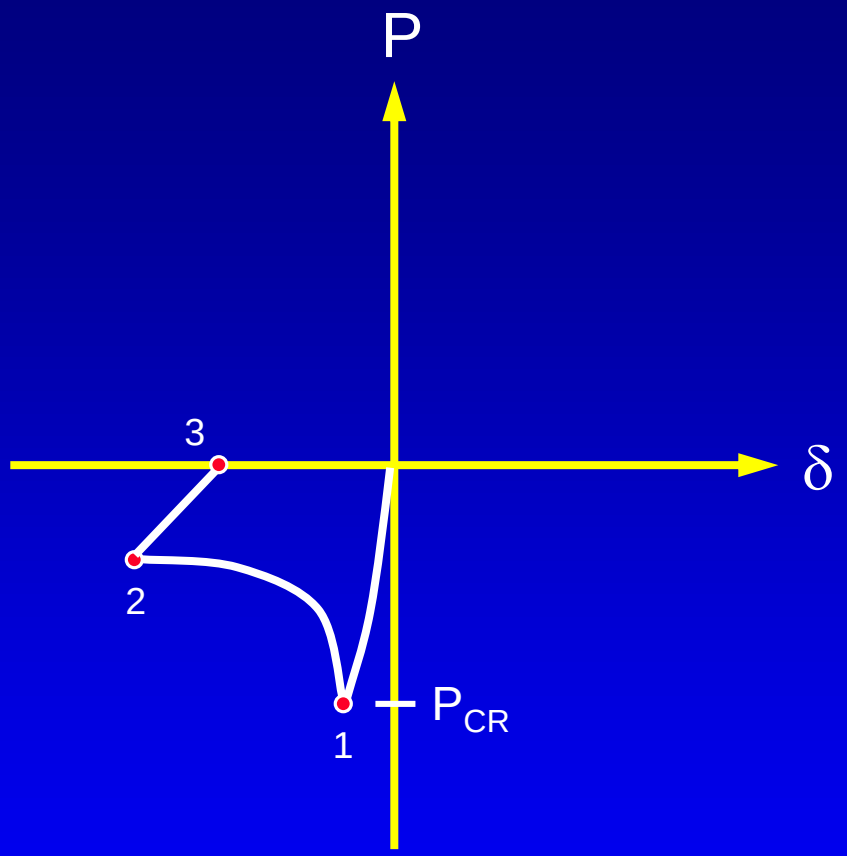
# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای




1. مهاربند تا رسیدن به حداکثر ظرفیت فشاری (کمانش) تحت بار فشاری قرار می‌گیرد.
2. بارگذاری فشاری ادامه می‌یابد. ظرفیت فشاری به یکباره کاهش می‌یابد. مفصل پلاستیک خمشی در وسط دهانه تشکیل می‌شود (به علت لنگر ناشی از P-Δ در عضو).



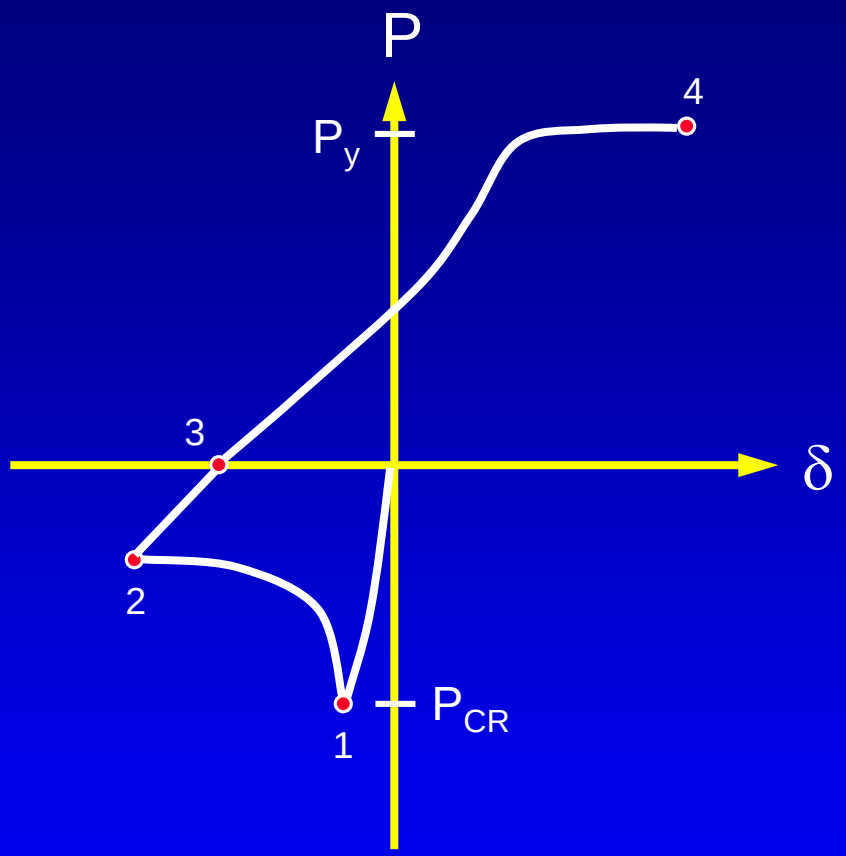
# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

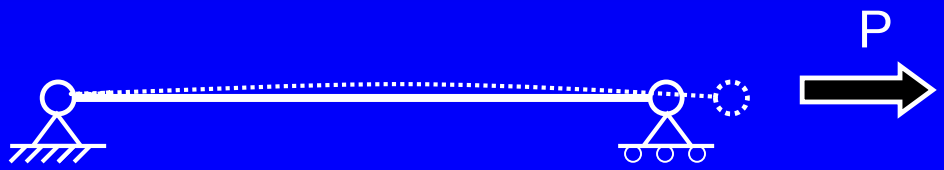



1. مهاربند تا رسیدن به حداکثر ظرفیت فشاری (کمانش) تحت بار فشاری قرار می‌گیرد.
2. بارگذاری فشاری ادامه می‌یابد. ظرفیت فشاری به یکباره کاهش می‌یابد. مفصل پلاستیک خمشی در وسط دهانه تشکیل می‌شود (به علت لنگر ناشی از P-Δ در عضو).
3. باربرداری از عضو انجام می‌گیرد(P=0). عضو دارای تغییرشکل خارج از صفحه ماندگار می‌باشد.

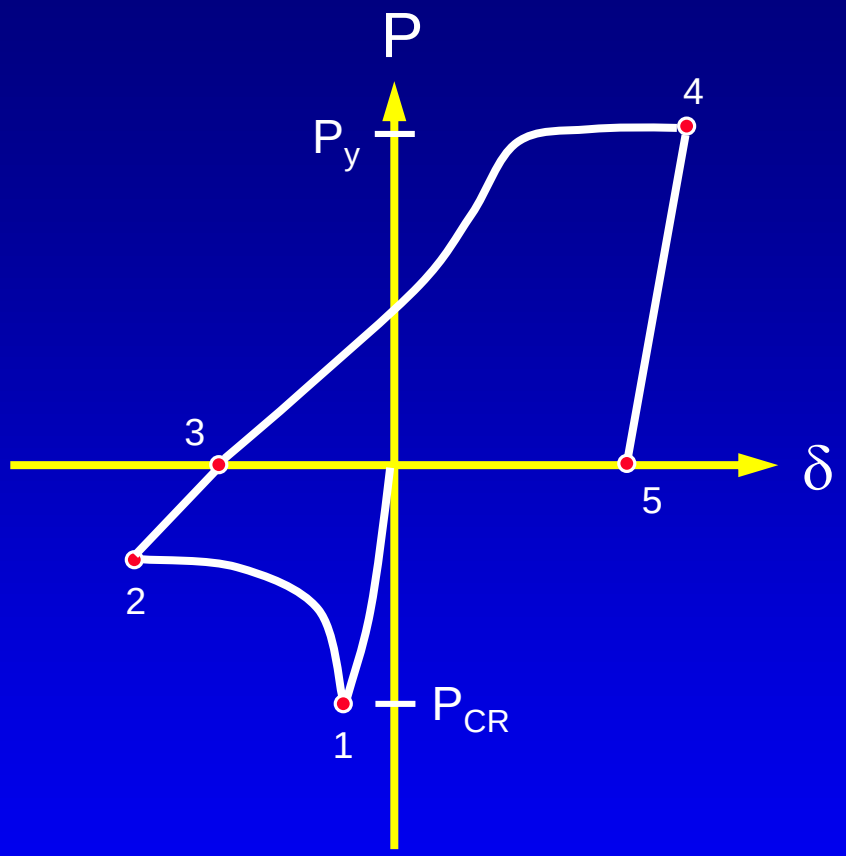
# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

4. مهاربند تحت بار کششی قرار می‌گیرد.



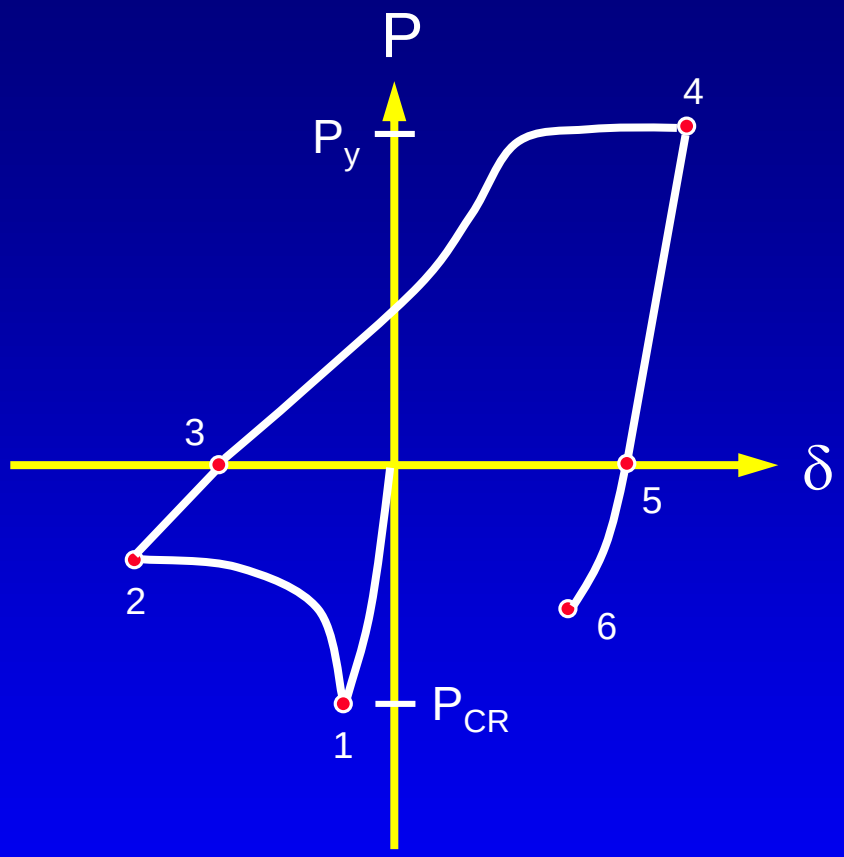



# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

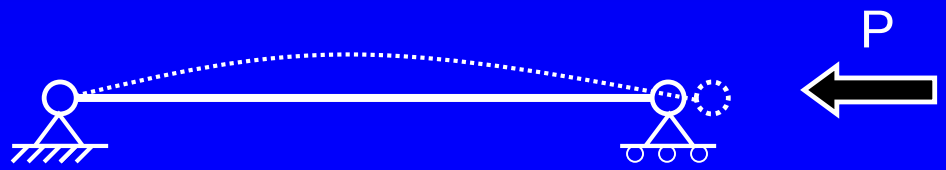



4. مهاربند تحت بار کششی قرار می‌گیرد.
5. باربرداری از عضو انجام می‌گیرد(P=0). عضو هنوز هم دارای تغییرشکل خارج از صفحه ماندگار می‌باشد.

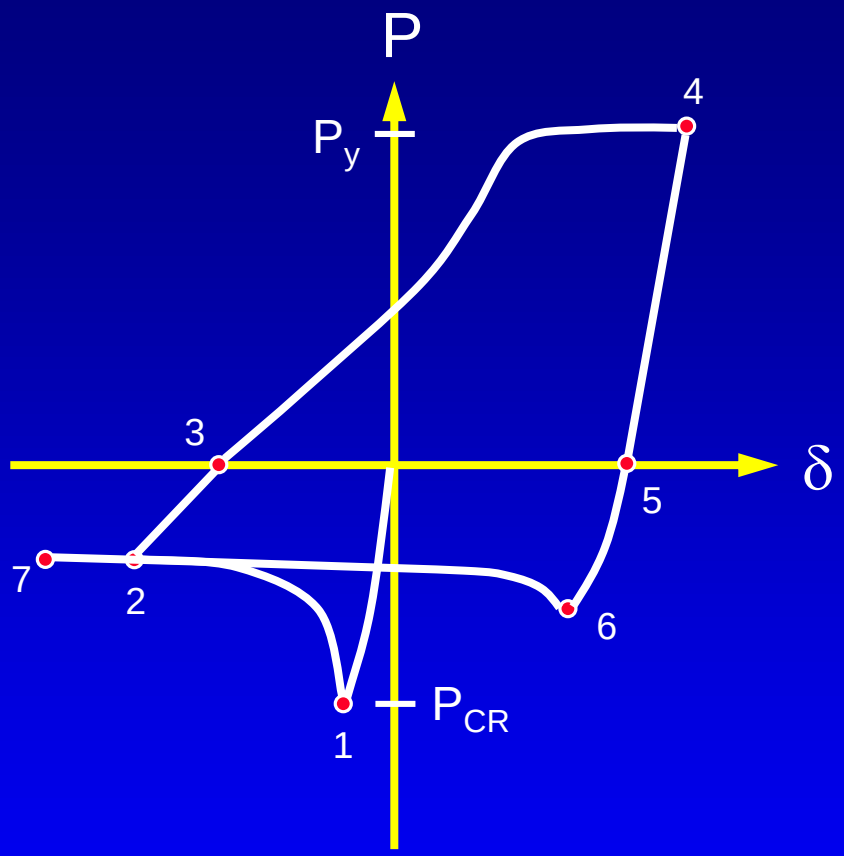
# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای



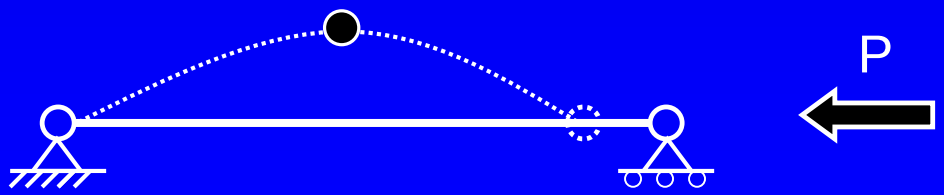

4. مهاربند تحت بار کششی قرار می‌گیرد.
5. باربرداری از عضو انجام می‌گیرد(P=0). عضو هنوز هم دارای تغییرشکل خارج از صفحه ماندگار می‌باشد.
6. مهاربند تا رسیدن به حداکثر ظرفیت فشاری (کمانش) تحت بار فشاری قرار می‌گیرد. ظرفیت فشاری حداکثر در مقایسه با چرخه قبلی کاهش یافته است.



# رفتار مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

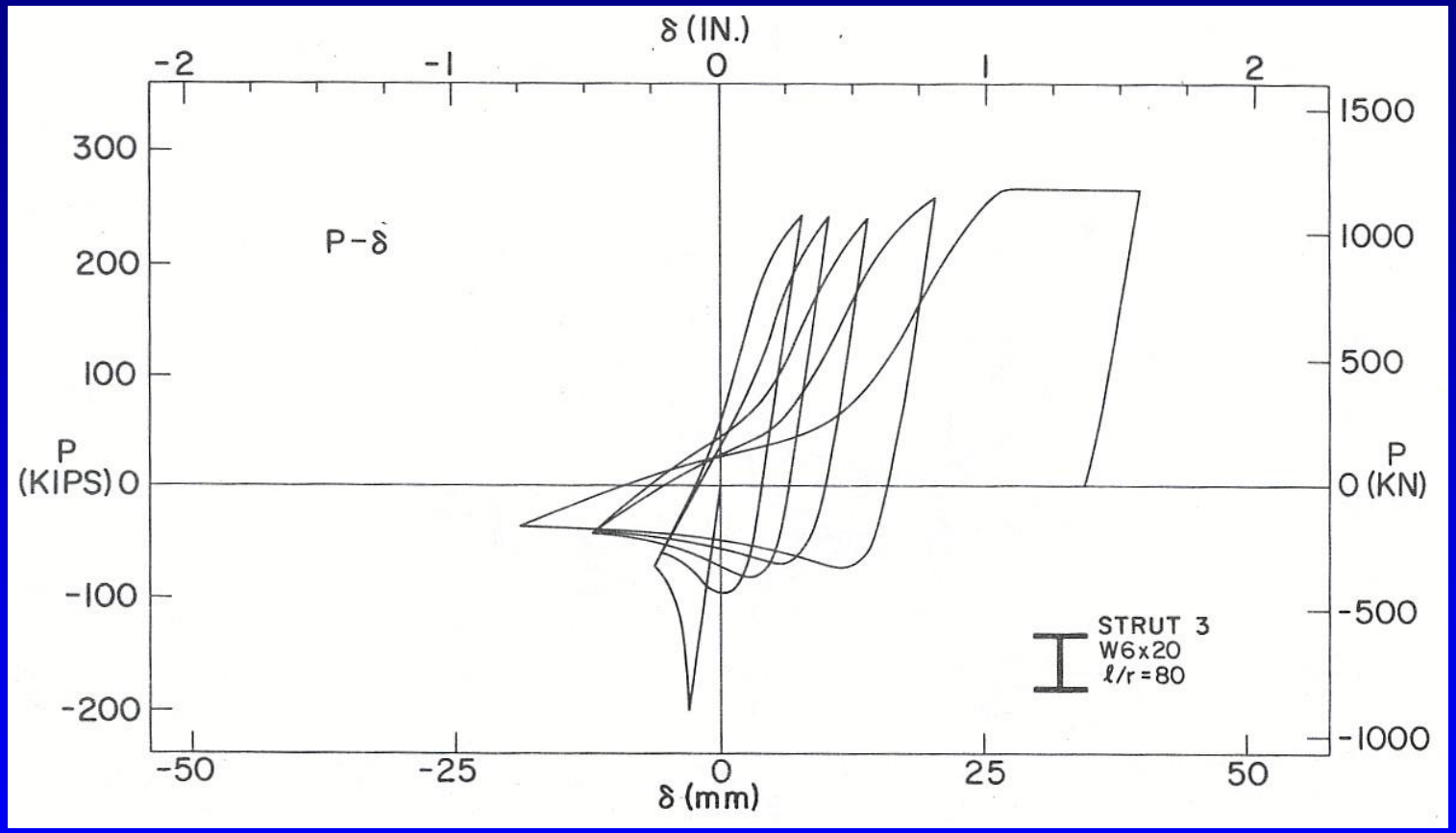


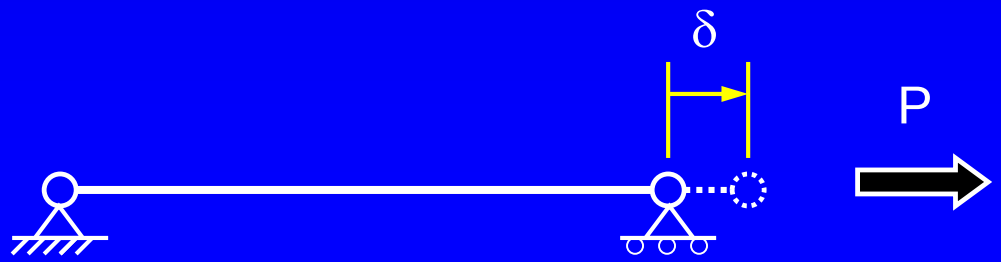

4. مهاربند تحت بار کششی قرار می‌گیرد.
5. باربرداری از عضو انجام می‌گیرد(P=0). عضو هنوز هم دارای تغییرشکل خارج از صفحه ماندگار می‌باشد.
6. مهاربند تا رسیدن به حداکثر ظرفیت فشاری (کمانش) تحت بار فشاری قرار می‌گیرد. ظرفیت فشاری حداکثر در مقایسه با چرخه قبلی کاهش یافته است.
7. بارگذاری فشاری ادامه می‌یابد. ظرفیت فشاری به یکباره کاهش می‌یابد. مفصل پلاستیک خمشی در وسط دهانه تشکیل می‌شود (به علت لنگر ناشی از P-Δ در عضو).



# رفتار آزمایشگاهی مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

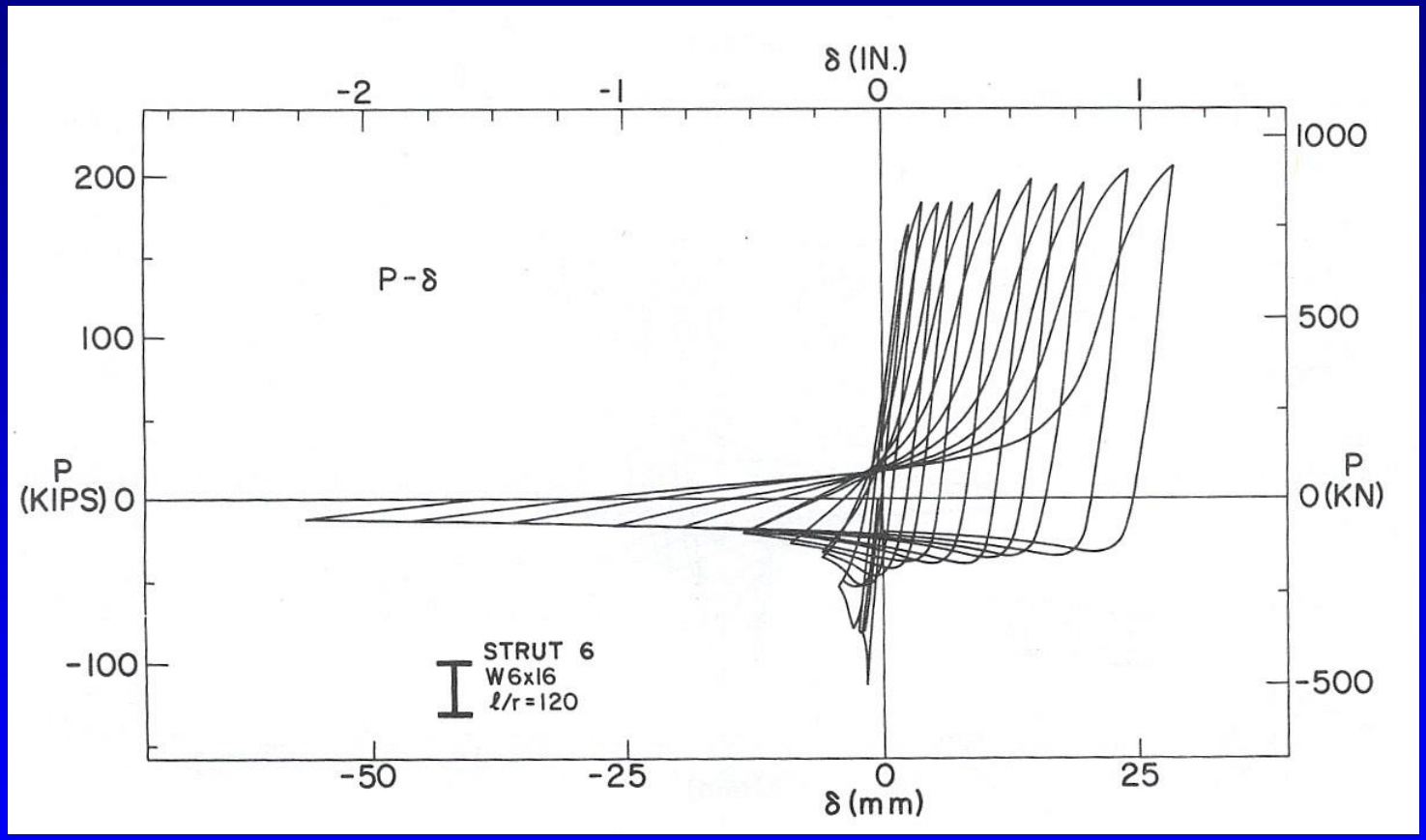
W6x20  Kl/r = 80

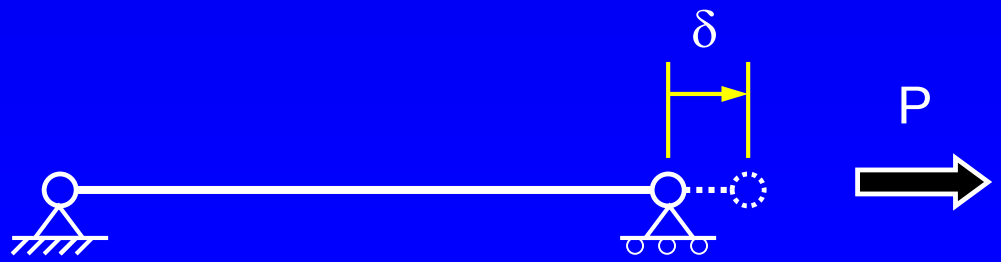


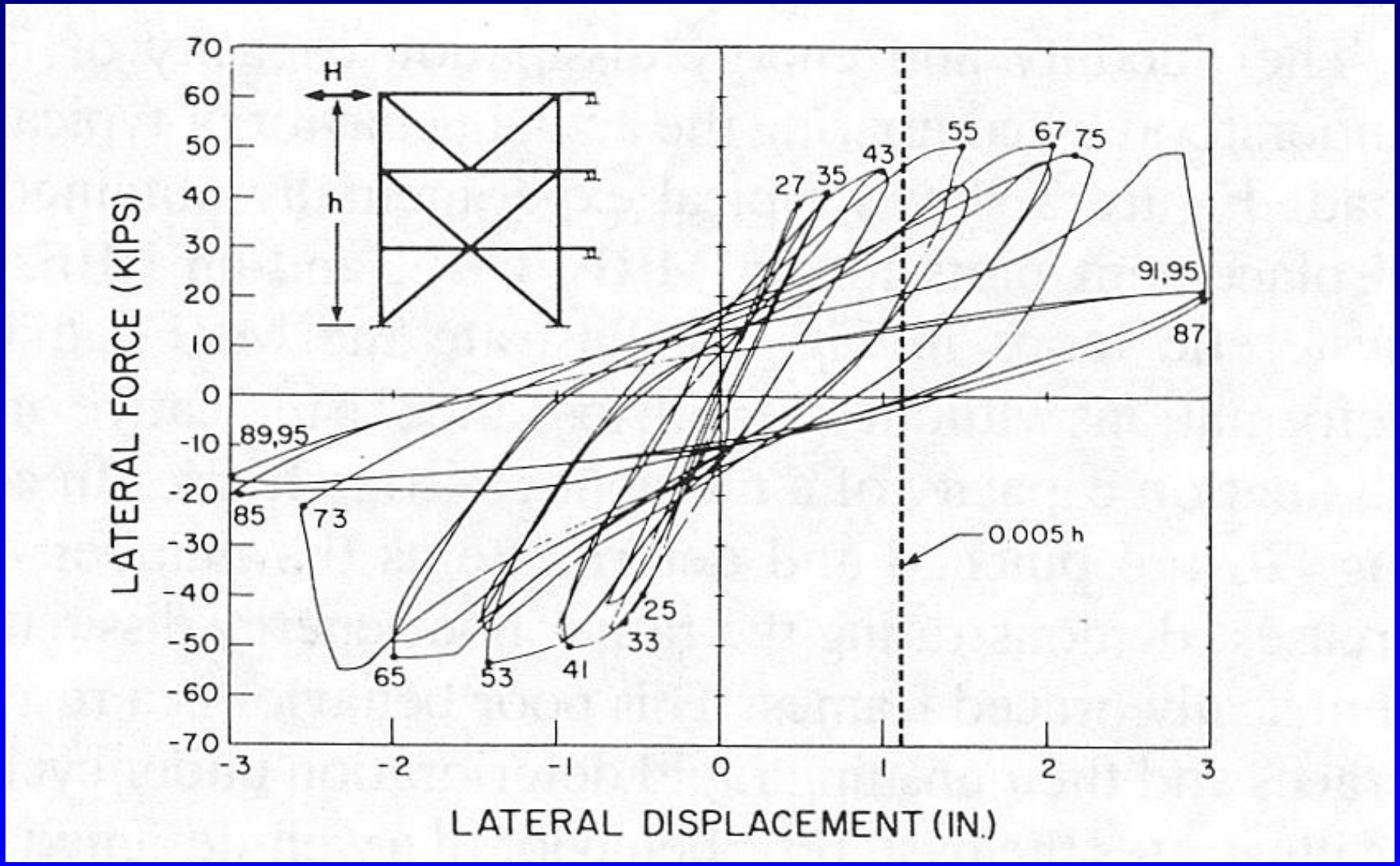
# رفتار آزمایشگاهی مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای

W6x16  Kl/r = 120



# رفتار آزمایشگاهی مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای



# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی(OCBF)

**۱۰-۳-۱۰ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ همگرای معمولی**

قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ همگرای معمولی به قاب‌هایی گفته می‌شود که از آنها انتظار تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی، بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت اعضا و اتصالات آن‌ها، تحت اثر زلزله طرح می‌رود. در طراحی اعضا و اتصالات قاب‌های دارای دهانه‌های مهاربندی علاوه بر الزامات متعارف فصل‌های ۱۰-۱ و ۱۰-۲ و نیز الزامات لرزه‌ای بخش‌های ۱۰-۳-۲ تا ۱۰-۳-۶ باید الزامات تکمیلی این بخش نیز رعایت شود.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی(OCBF)

**۱۰-۳-۱۰-۱ الزامات عمومی**

**الف)** پیکربندی مهاربندی‌های مجاز در این نوع قاب‌ها شامل مهاربندی‌های قطری، ضربدری و مهاربندی‌های به شکل ۷و۸ می‌باشند. استفاده از مهاربندی‌های به شکل K در این نوع قاب‌ها مجاز نمی‌باشد.

**ب)** در این نوع قاب‌ها نیروی جانبی باید بین کلیهٔ مهاربندی‌های کششی و فشاری توزیع شود و مهاربندها باید برای حداکثر نیروی ایجاد شده در آنها طراحی شوند. طراحی مهاربندهای قطری و ضربدری در قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای معمولی به صورت کششی تنها نیز مجاز است.

**پ)** مقاطع اعضای مهاربندی‌ها و تیرهای نظیر دهانه‌های مهاربندی‌شده در مهاربندی‌های از نوع ۷ و ۸ باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت نسبت پهنا به ضخامت برابر $\lambda_{md}$ مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴ و مقاطع کلیهٔ ستون‌ها و تیرهای نظیر دهانه‌های مهاربندی‌شده در مهاربندی‌های از نوع قطری و ضربدری باید فشرده باشند.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی(OCBF)

### ۱۰-۳-۱۰-۲ مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸

قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی با مهاربندی‌های از نوع ۷و۸ باید دارای شرایط زیر باشند.

**الف)** ضریب لاغری $(KL/r)$ مهاربندی‌های از نوع ۷و ۸ نباید از $۴\sqrt{E/F_y}$ تجاوز نماید.

**ب)** تعبیهٔ سوراخ‌های متوالی در جان تیرهای دهانه‌های مهاربندی‌شده با هر نوع مهاربندی (قطری، ضربدری،۷و۸) مجاز نیست. در صورت لزوم به تعبیه سوراخ دسترسی در جان تیر، اطراف آن باید به نحوی تقویت گردد که مقاومت‌های طراحی در مقطع سوراخ‌دار از مقاومت‌های طراحی مقطع کامل تیر کمتر نباشد.

**پ)** مهاربندی‌های به شکل ۷و ۸ ای که در محل اتصال به تیر دارای خروج از مرکزیت کمتر از ارتفاع تیر هستند، به عنوان مهاربندی‌های همگرا محسوب می‌شوند و می‌توانند بر اساس الزامات این بخش طراحی شوند.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی(OCBF)

ت) تیرهای دهانه‌های مهاربندی‌شده با مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸ باید قادر به تحمل نیروهای قائم حاصل از ترکیب بارهای ثقلی بدون حضور مهاربندی‌ها باشند.

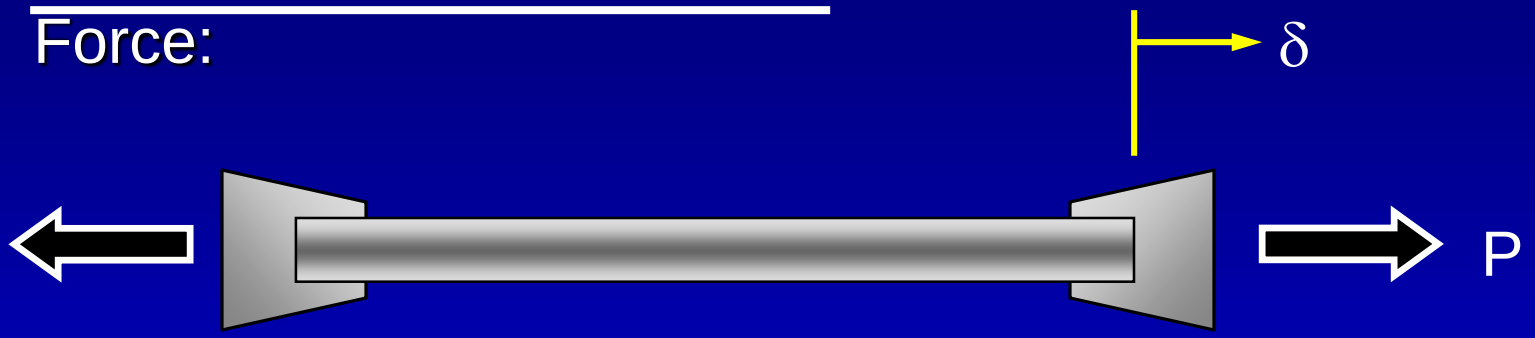
ث) تیرهای دهانه‌های مهاربندی‌شده با مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸ باید در حد فاصل دو ستون پیوسته بوده و دارای مهار جانبی کافی برای جلوگیری از کمانش پیچشی - جانبی باشند. در هر صورت، وجود حداقل یک جفت مهار جانبی در محل اتصال مهاربندی‌ها به تیر الزامی است.

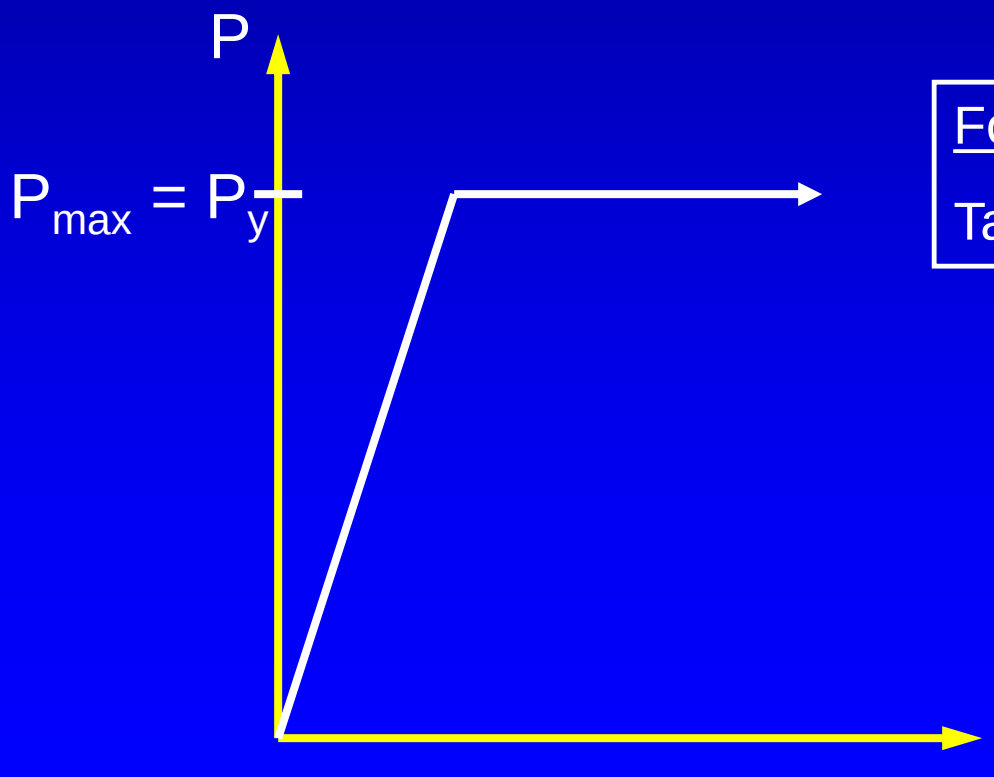
ج) تیرهای دهانه‌های مهاربندی‌شده با مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸ و اتصالات آنها به ستون باید قادر به تحمل نیروهای نامتعادل ناشی از زلزله در ترکیب با بارهای ثقلی ضریبدار باشند. برای منظور کردن اثر توزیع نامتعادل نیروهای مهاربندی‌های کششی و فشاری ناشی از زلزله، تیرهای دهانه‌های مهاربندی‌شده باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریبدار که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از نیروهای زیر در مهاربندی‌ها محاسبه شوند.

- نیروی لرزه‌ای مهاربند کششی کمترین دو مقدار $R_yF_yA_g$ و نیروی کششی ناشی از ترکیبات بار زلزلهٔ تشدیدیافته. که در آن، $R_y$ = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربندی، $F_y$= تنش تسلیم فولاد مهاربندی و $A_g$ = سطح مقطع کلی عضو مهاربندی است.
- نیروی لرزه‌ای مهاربند فشاری برابر ۰/۳$P_n$ که در آن $P_n$مقاومت فشاری اسمی مهاربند فشاری است.

# Maximum Forces Developed by Braces

## Braces in Tension - Axial Force:



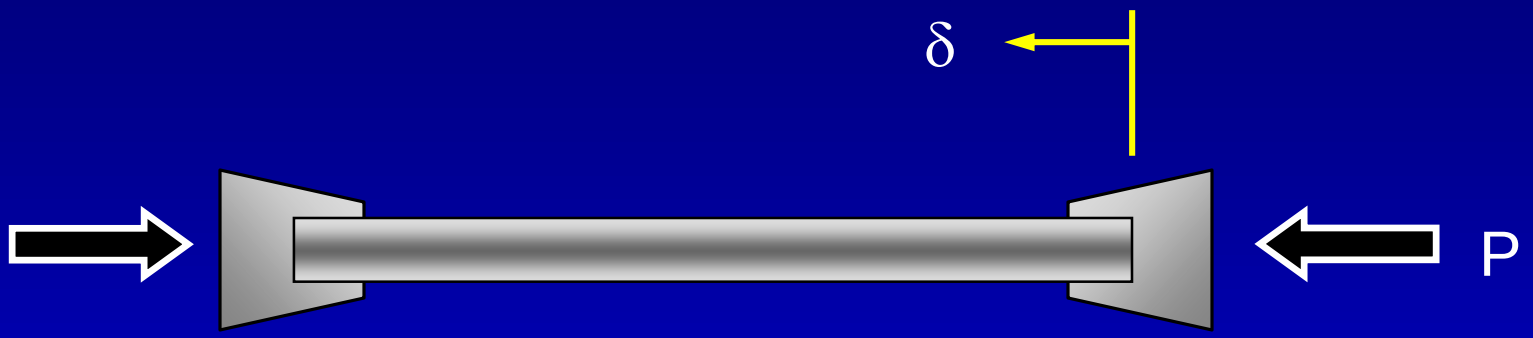



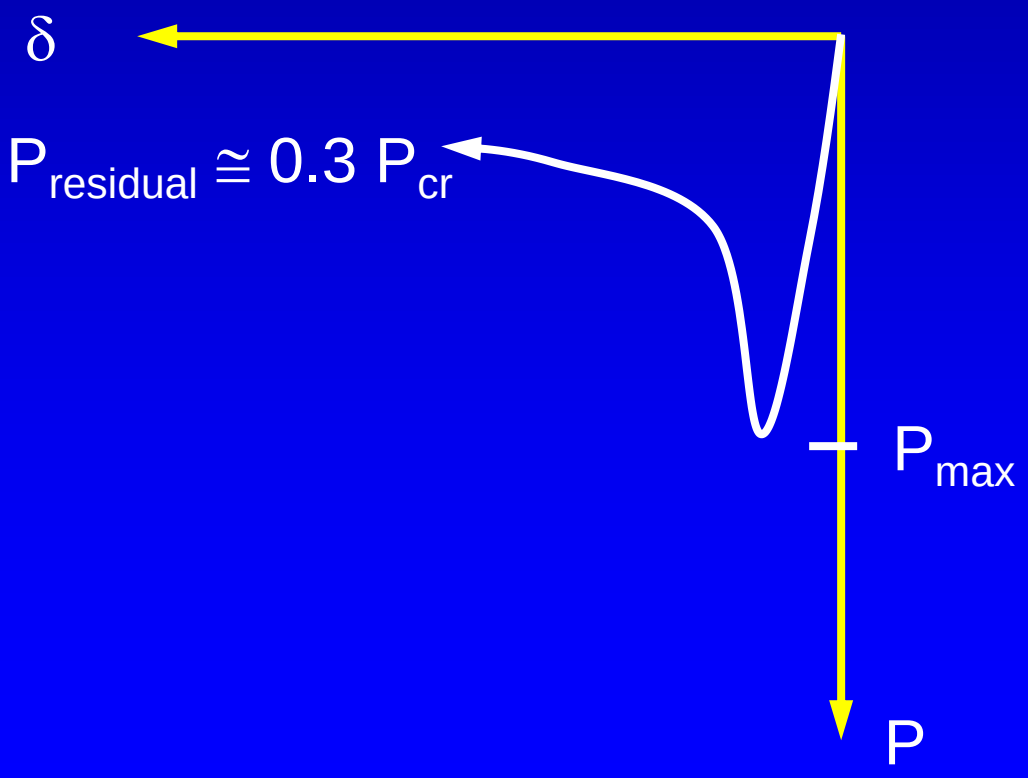

For design:

Take $P_{max} = R_y F_y A_g$

# Maximum Forces Developed by Braces

## Braces in Compression - Axial Force




**For design:**

Take $P_{max} = 1.1 R_y P_n$

( $P_n = A_g F_{cr}$ )

Take $P_{residual} = 0.3 P_n$

# Maximum Forces in Columns and Beams

To estimate maximum axial forces imposed by braces on columns and beams:

## Braces in tension:

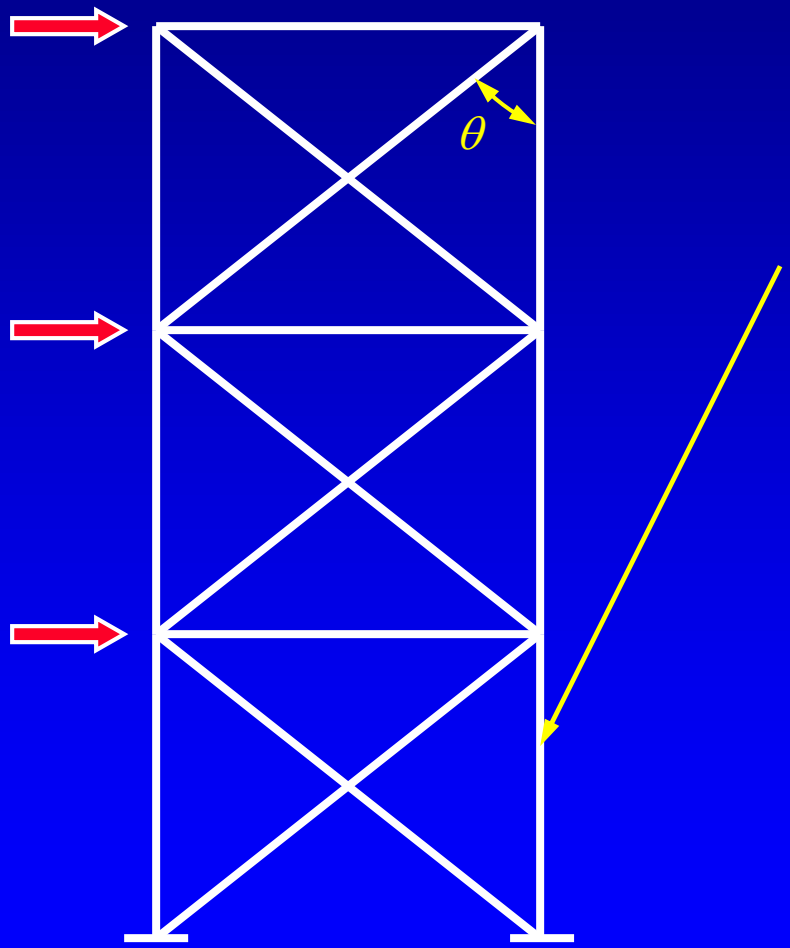
Take $P = R_y F_y A_g$

## Braces in compression:

Take $P = 1.1 R_y P_n$ or $P = 0.3 P_n$

whichever produces critical design case

# Example

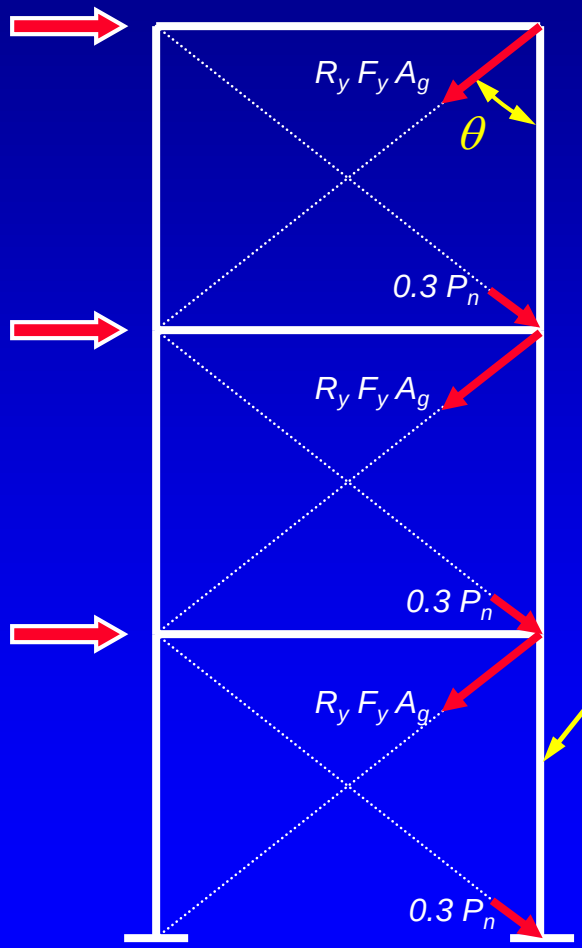



Find maximum axial compression in column.

Tension Braces:
Take $P = R_y F_y A_g$

Compression Braces:
Take $P = 0.3 P_n$

# Example




Column Axial Compression =

$[ \Sigma (R_y F_y A_g) \cos \theta + \Sigma (0.3 P_n) \cos \theta ] + P_{gravity}$

(sum brace forces for all levels above column)

# Example

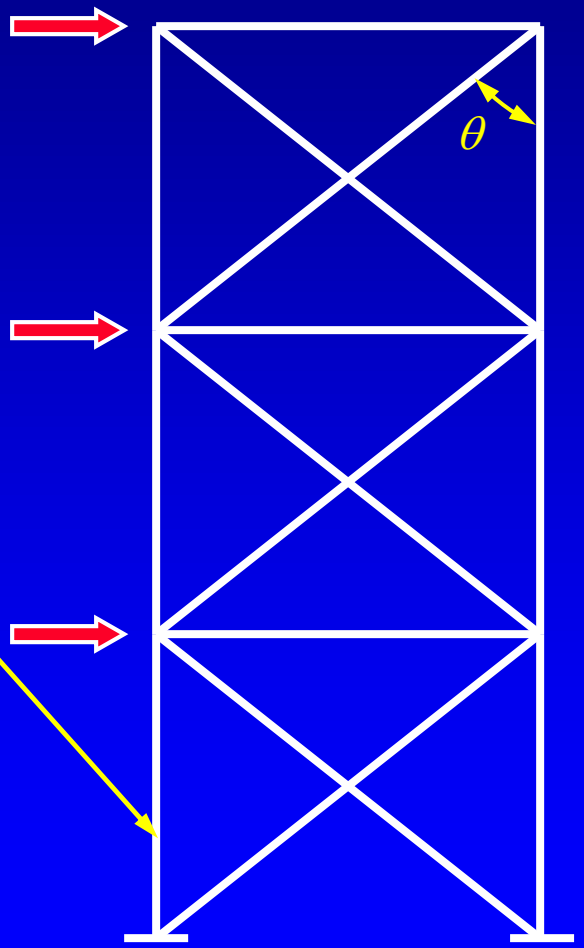
Find maximum axial tension in column.

Tension Braces:

Take $P = R_y F_y A_g$

Compression Braces:

Take $P = 0.3 P_n$

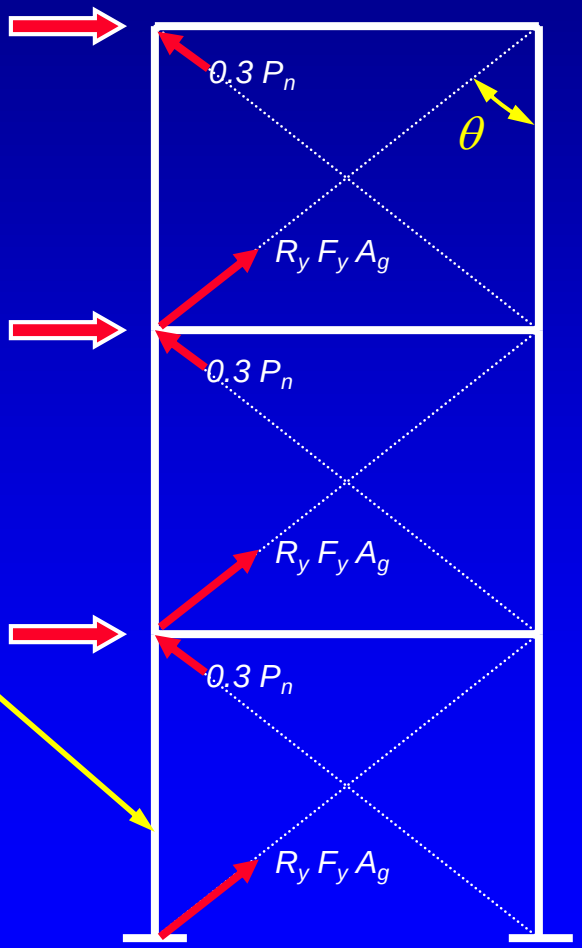


# Example

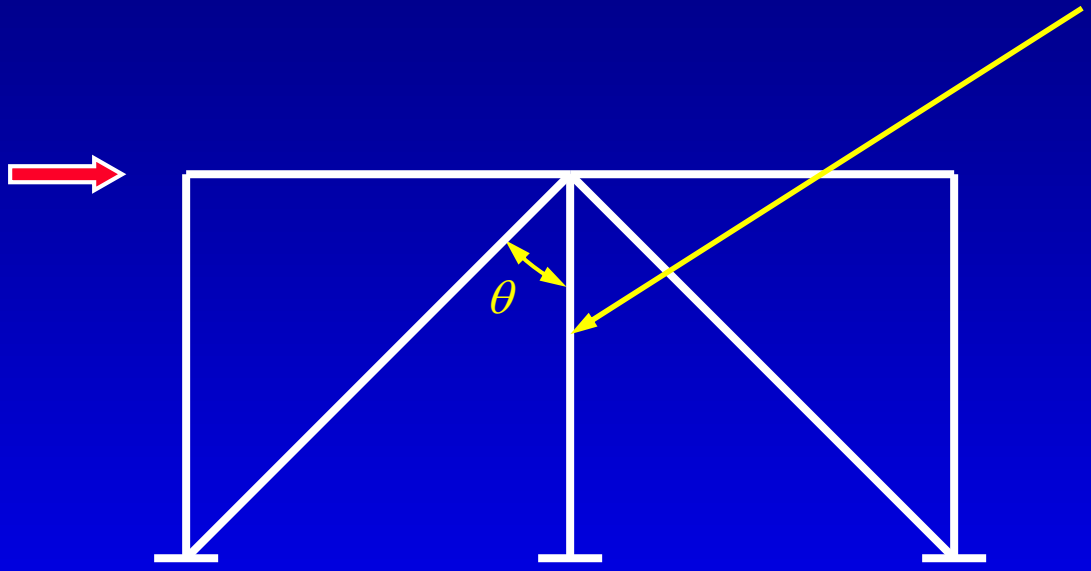
Column Axial Tension =

$[\ \Sigma\ (R_y\ F_y\ A_g\ )\ \cos\theta + \Sigma\ (0.3\ P_n)\ \cos\theta\ ]\ -\ P_{gravity}$

(sum brace forces for all levels above column)



# Example




Find maximum axial compression in column.

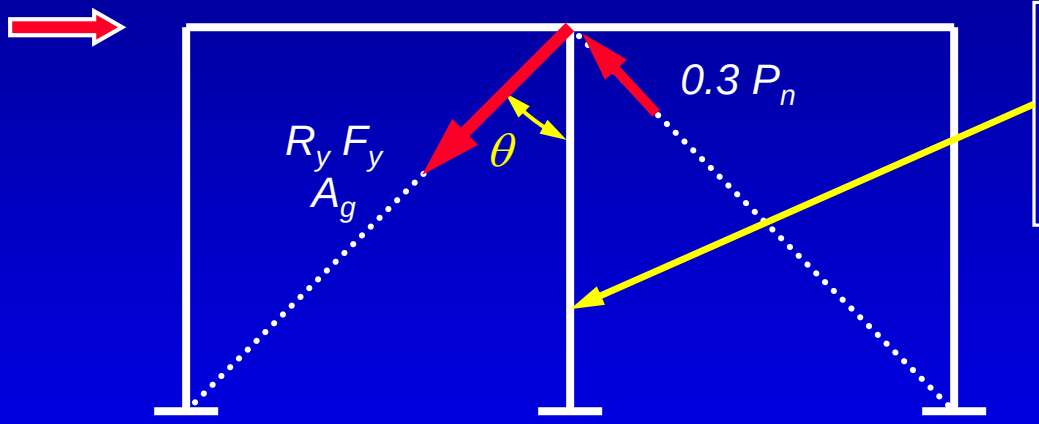
Tension Brace:

Take $P = R_y F_y A_g$

Compression Brace:

Take $P = 0.3 P_n$

# Example




Column Axial Compression =

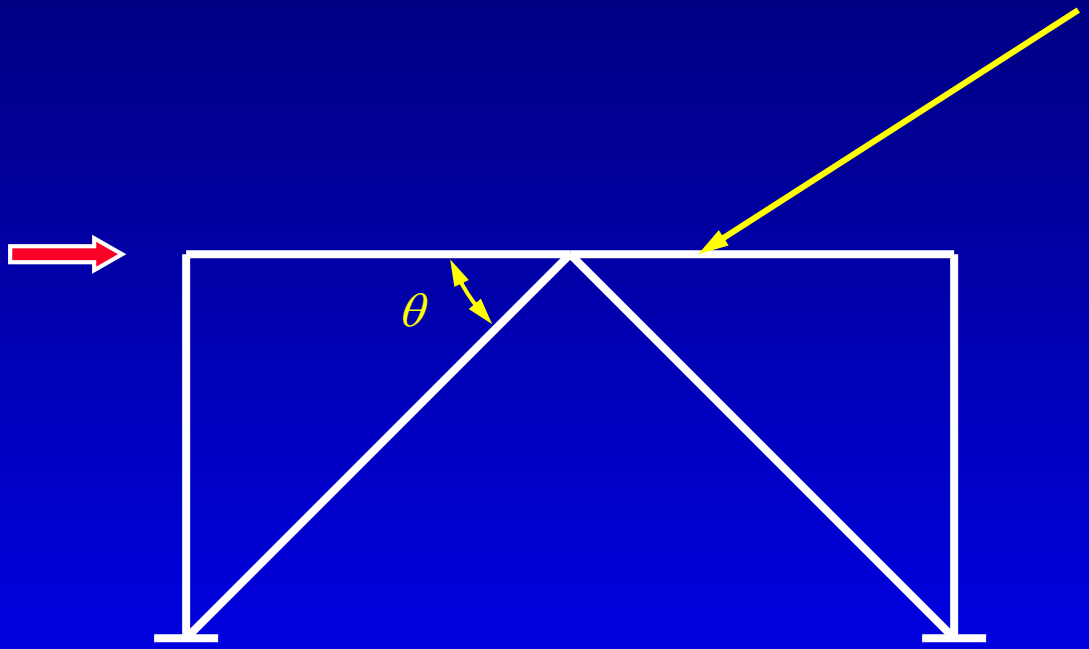
$(R_y F_y A_g) \cos \theta + (0.3 P_n) \cos \theta + P_{gravity}$

Note

Based on elastic frame analysis:

Column Axial Force = $P_{gravity}$

# Example




Find maximum bending moment in beam.

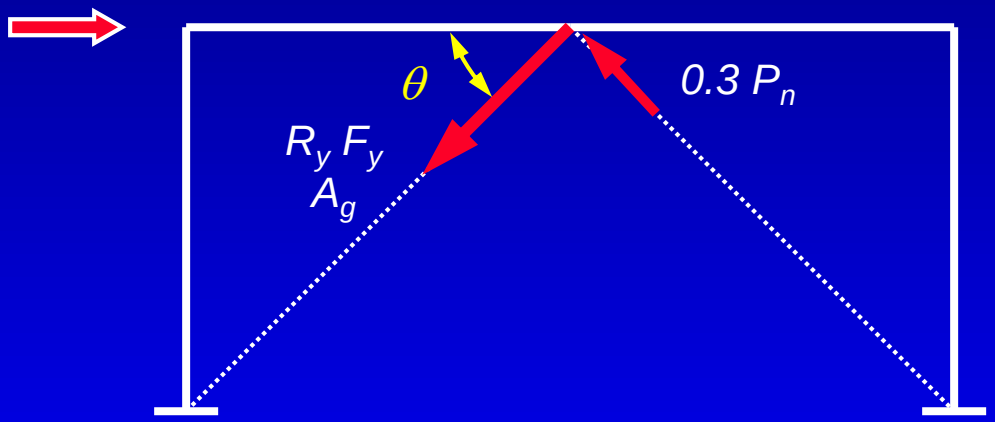
Tension Brace:

Take $P = R_y F_y A_g$

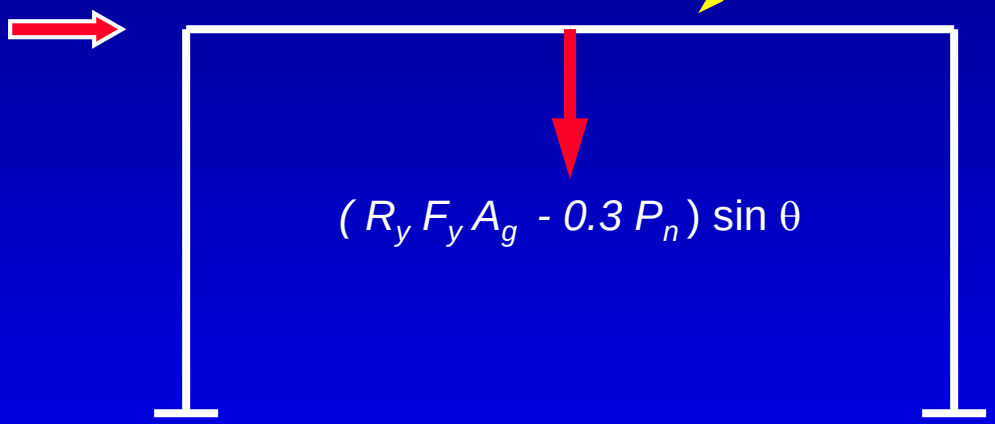
Compression Brace:

Take $P = 0.3 P_n$

# Example



# Example




Compute moment in beam resulting from application of concentrated load at midspan of $(R_y F_y A_g + 0.3 P_n) \sin \theta$

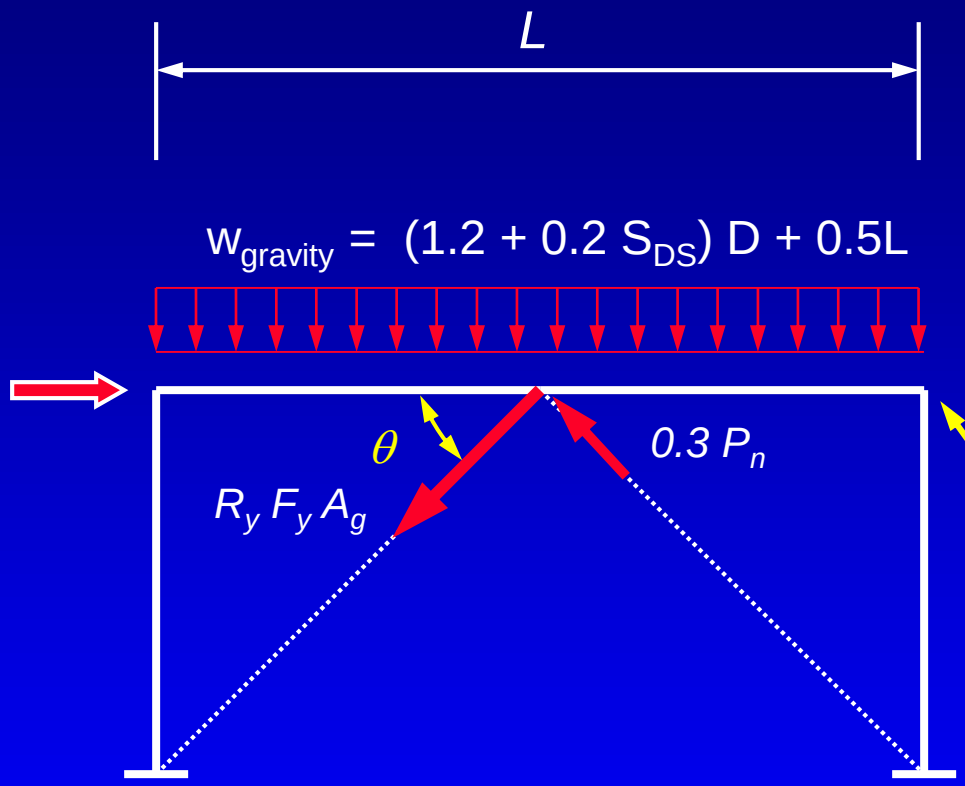
and add moment due to gravity load

Note

Based on elastic frame analysis:

Moment in beam $\cong 0$

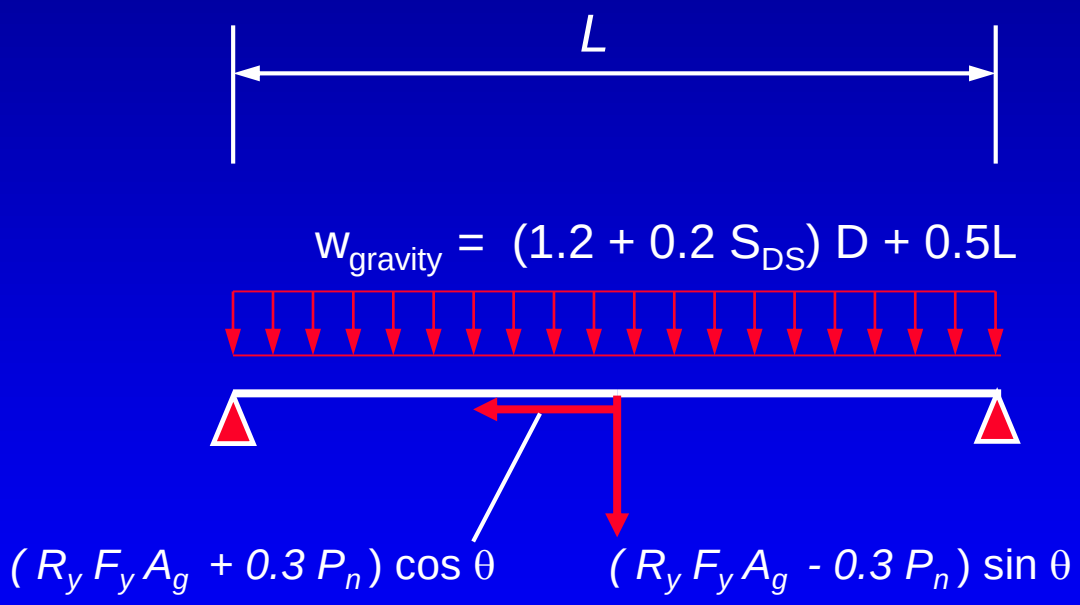
# Example




Beam-to-column connections: simple framing

# Example

Forces acting on beam:



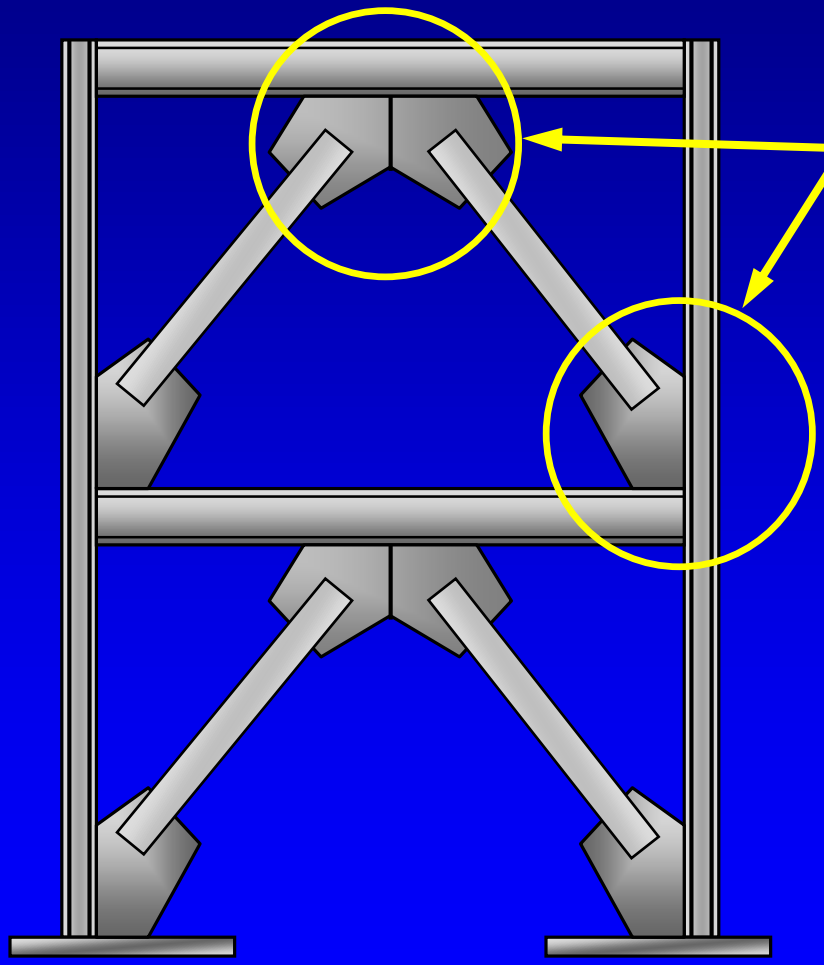
# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمولی(OCBF)

### ۱۰-۳-۱۰-۳ اتصالات مهاربندی‌ها

مقاومت مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها در قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ همگرای معمولی نباید از یکی از دو مقدار (الف) و (ب) این بند کمتر در نظر گرفته شود.

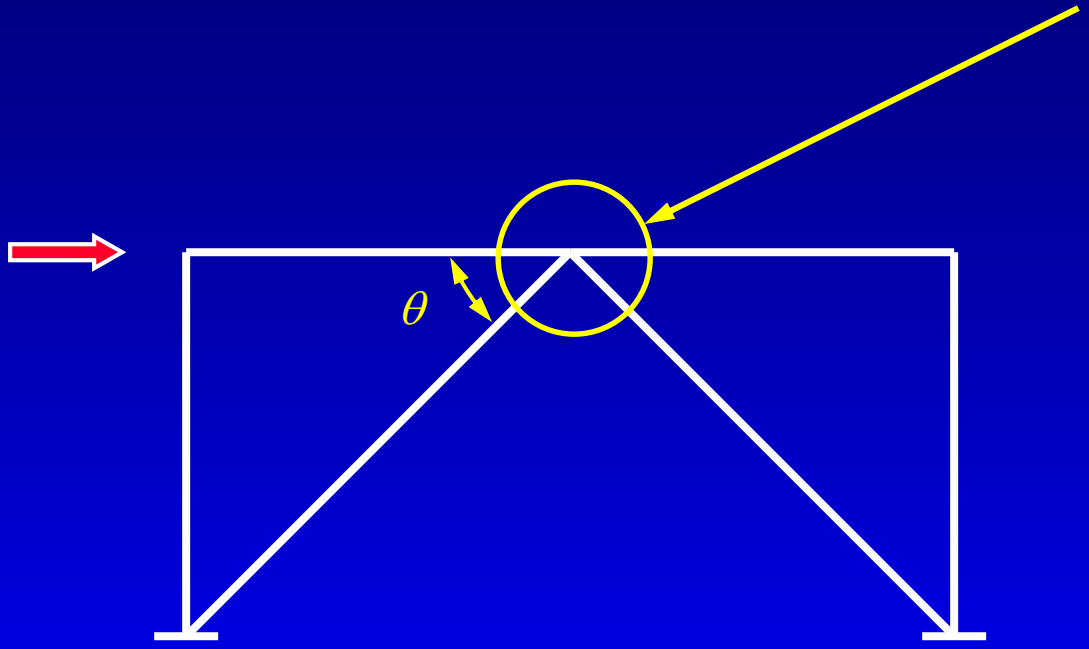
**الف)** مقاومت کششی مورد انتظار اعضای مهاربندی برابر $R_yF_yA_g$ که در آن $R_y$ نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربند، $F_y$ تنش تسلیم فولاد مهاربند و $A_g$ سطح مقطع کلی عضو مهاربندی است.

**ب)** بیشترین نیروی محوری حاصل از ترکیبات بار زلزلهٔ تشدیدیافته در مهاربندی‌ها.



- Design brace connections for maximum forces and deformations imposed by brace during cyclic yielding/buckling

# Example




Find maximum axial tension and compression that will be applied to gusset plate.

---

Tension Brace:

Take $P = R_y F_y A_g$

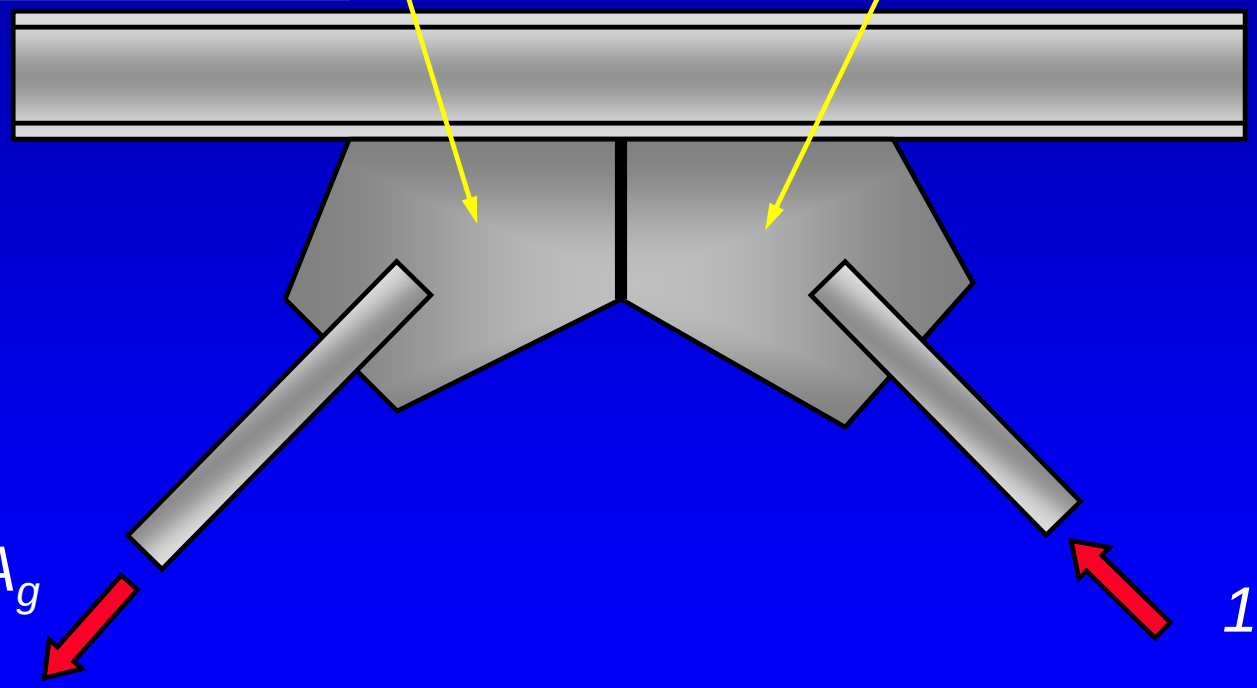
Compression Brace:

Take $P = 1.1 R_y P_n$

# Example

Check gusset yield, gusset net section fracture, gusset block shear fracture, local beam web yielding, etc.

Check gusset buckling, beam web crippling, etc.



$R_y F_y A_g$

$1.1 R_y P_n$

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

### ۱۰-۳-۱۱ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی‌شدهٔ همگرای ویژه

قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرای ویژه به قاب‌هایی گفته می‌شوند که در آنها از مهاربندی‌ها انتظار می‌رود تحت اثر بار جانبی زلزلهٔ طرح تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای تحمل کنند و در آنها کاهش مقاومت چندانی رخ ندهد. رفتار فرا ارتجاعی موردنظر ممکن است به مرحلهٔ بعد از کمانش مهاربند توسعه یابد. از اینروی، پیکربندی و طراحی مهاربندی‌ها و اتصالات آن باید چنان باشد که از عهده این تغییرشکل‌ها بر آیند و رفتار تیرها و ستون‌ها در قاب عملاً در مرحلهٔ ارتجاعی باقی بماند.

در طراحی اعضا و اتصالات قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای ویژه علاوه بر الزامات متعارف فصل‌های ۱۰-۱ و ۱۰-۲ و نیز الزامات لرزه‌ای بخش‌های ۱۰-۳-۲ تا ۱۰-۳-۶ باید الزامات تکمیلی این بخش نیز رعایت شود.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

**۱۰-۳-۱۱-۱ الزامات عمومی**

**الف)** پیکربندی مهاربندی‌های مجاز در این نوع قاب‌ها شامل مهاربندی‌های قطری، ضربدری و مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸ می‌باشند. استفاده از مهاربندی‌های به شکل K در این نوع قاب‌ها مجاز نیست.

**ب)** مقاطع اعضای مهاربندی‌ها و ستون‌های نظیر دهانه‌های مهاربندی‌شده باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر $\lambda_{hd}$ مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴ و مقاطع تیرهای دهانه‌های مهاربندی‌شده باید از نوع فشردهٔ لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر $\lambda_{md}$ مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴ و مقاطع بقیهٔ ستون‌ها باید فشرده باشند.

**پ)** در قاب‌های مهاربندی شدهٔ همگرا، نیروی جانبی باید بین کلیهٔ مهاربندی‌های کششی و فشاری توزیع شود و مهاربندی‌ها باید برای حداکثر نیروی ایجاد شده در آنها تحت اثر ترکیبات بار متعارف طراحی شوند. در قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای ویژه طراحی مهاربندی‌ها به صورت کششی تنها مجاز نمی‌باشد.

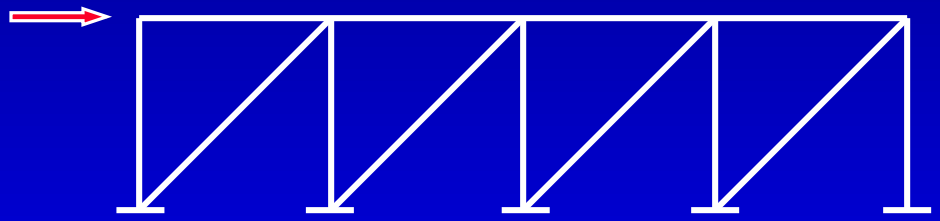
# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

ت) مهاربندی‌ها در امتداد هر محور در هر طبقه باید طوری در نظر گرفته شوند که در هر راستای بارگذاری حداقل ۳۰ درصد و حداکثر ۷۰ درصد نیروی جانبی سهم آن محور در کشش تحمل شود، مگر آن‌که اعضای مهاربندی‌های فشاری دارای مقاومتی بیشتر از آنچه تحلیل سازه برای بار زلزله از جمله ترکیبات بار تشدیدیافته نشان می‌دهد، باشند. منظور از محور مهاربندی در این بند، یک یا چند محور مهاربندی‌شده مستقیم موازی است که به فاصله‌ای کمتر از ۱۰ درصد بُعد ساختمان در پلان، در جهت عمود بر محور، از یکدیگر قرار گرفته باشند.

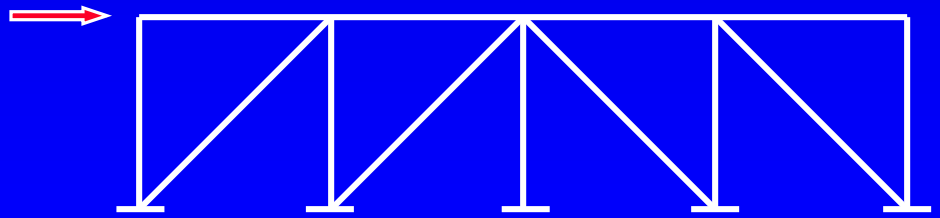
ث) ضریب لاغری $(KL/r)$ مهاربندهای فشاری در قاب‌های مهاربندی‌شده با هر نوع مهاربندی (قطری، ضربدری، ۷ و۸ )، نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید.

ج) در مهاربندی‌های با مقطع ساخته‌شده (تشکیل‌شده از چند نیمرخ و اتصال‌دهنده‌ها)، فاصلهٔ اتصال‌دهنده‌های اعضا باید به گونه‌ای انتخاب شوند که نسبت لاغری $a/r_i$ که در آن $a$ فاصلهٔ اتصال دهنده‌ها از یکدیگر و $r_i$ شعاع ژیراسیون حداقل تک نیمرخ است) هر عضو ما بین اتصال‌دهنده‌ها از ۰/۴ برابر ضریب لاغری حاکم عضو ساخته‌شده بیشتر نشود. مجموع مقاومت‌های برشی طراحی اتصال‌دهنده‌ها باید برابر یا بیشتر از مقاومت کششی طراحی هر عضو باشد. فاصلهٔ اتصال‌دهنده‌ها باید به طور یکنواخت اختیار شده و تعداد آنها در طول عضو از دو عدد کمتر نباشد. اتصال‌دهنده‌ها نباید در یک چهارم میانی طول آزاد مهاربندی‌ها تعبیه شوند. در مواردی‌که کمانش مهاربندی‌ها حول محور بحرانی کمانش ایجاد برش در اتصال‌دهنده‌ها نمی‌شود، رعایت شرط $a/r_i \leq 0.4(KL/r)_{max}$ برای تک تک اعضا الزامی نیست.

Deploy braces so that about half are in tension (and the other half in compression)



All braces in tension (or compression) *NG*



*OK*

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

چ) تعبیهٔ سوراخ‌های متوالی در جان تیرهای دهانه‌های مهاربندی‌شده با هر نوع مهاربندی (قطری، ضربدری، ۷ و۸ ) مجاز نیست. در صورت لزوم به تعبیهٔ سوراخ دسترسی در جان تیر، اطراف آن باید به نحوی تقویت گردد که مقاومت‌های طراحی در مقطع سوراخ‌دار از مقاومت‌های طراحی مقطع کامل تیر کمتر نباشد.

ح) مهاربندی‌های ۷ و ۸ ای که در محل اتصال به تیر دارای خروج از مرکزیت کمتر از ارتفاع تیر هستند، به عنوان مهاربندی‌های همگرا محسوب می‌شوند و می‌توانند بر اساس الزامات این بخش طراحی شوند.

خ) تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده با مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸ باید قادر به تحمل نیروهای قائم حاصل از ترکیب بارهای ثقلی بدون حضور مهاربندی‌ها باشند.

د) تیرهای دهانه‌های مهاربندی شده با مهاربندی‌های به شکل ۷ و ۸ باید در حد فاصل دو ستون پیوسته بوده و دارای مهار جانبی کافی برای جلوگیری از کمانش جانبی- پیچشی باشند. در هر صورت، وجود حداقل یک جفت مهار جانبی در محل اتصال مهاربندی‌ها به تیر الزامی است.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

**۱۰-۳-۱۱-۲ تیرها، ستون‌ها و اتصالات آنها**

مقاومت‌های طراحی تیرها، ستون‌ها و اتصالات آنها در قاب‌های مهاربندی‌شده همگرای ویژه نباید از نیروهای ناشی از تحلیل‌های زیر کوچکتر در نظر گرفته شوند.

**الف)** تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندی‌های کششی برابر $R_yF_yA_g$ و نیروی مهاربندی‌های فشاری برابر $1/14\ F_{cre}A_g$ می‌باشد.

**ب)** تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندی‌های کششی برابر $R_yF_yA_g$ و نیروی مهاربندی‌های فشاری برابر $0/3\times 1/14\ F_{cre}A_g$ می‌باشد.

که در آن:

$R_y$ = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربندی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۲-۱.

$F_y$ = تنش تسلیم فولاد مهاربندی.

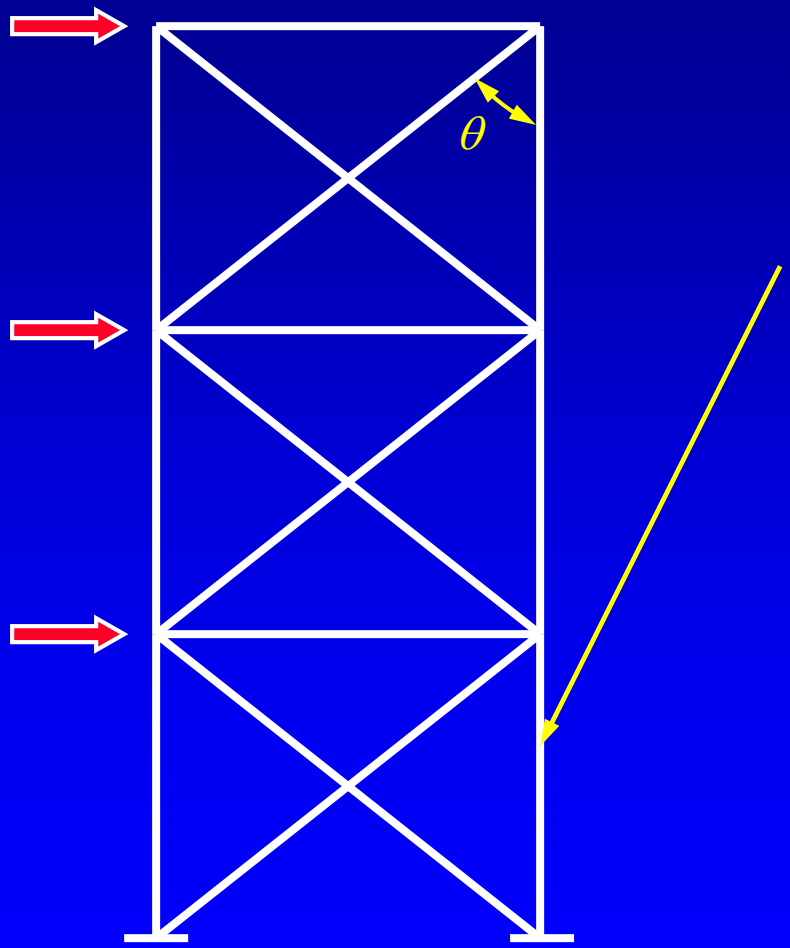
$A_g$ = سطح مقطع کلی عضو مهاربندی.

$F_{cre}$ = تنش فشاری مورد انتظار ناشی از کمانش مطابق ضوابط بخش ۱۰-۲-۴ با این شرط که در آن بجای $F_y$ از $R_yF_y$ استفاده شده باشد.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

**تبصره:** برای انجام تحلیل‌های فوق اعضای مهاربندی می‌توانند از مدل تحلیلی حذف گردیده و در محل اتصال آنها مطابق بندهای (الف) و (ب) در فوق، نیروی نظیر آنها به مدل تحلیلی اعمال شود. سپس با بستن حرکت جانبی قاب و اعمال بارهای ثقلی ضریبدار (ضرایبی که در حضور نیروی زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند)، اقدام به تحلیل سازه شود.

# Example

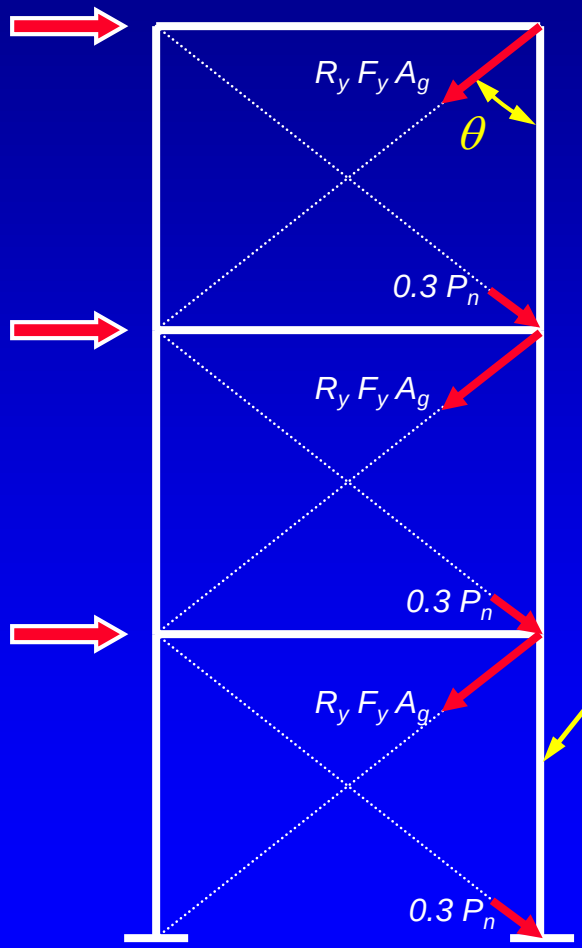



Find maximum axial compression in column.

Tension Braces:
Take $P = R_y F_y A_g$

Compression Braces:
Take $P = 0.3 P_n$

# Example




Column Axial Compression =

$[ \Sigma (R_y F_y A_g) \cos \theta + \Sigma (0.3 P_n) \cos \theta ] + P_{gravity}$

(sum brace forces for all levels above column)

# Example

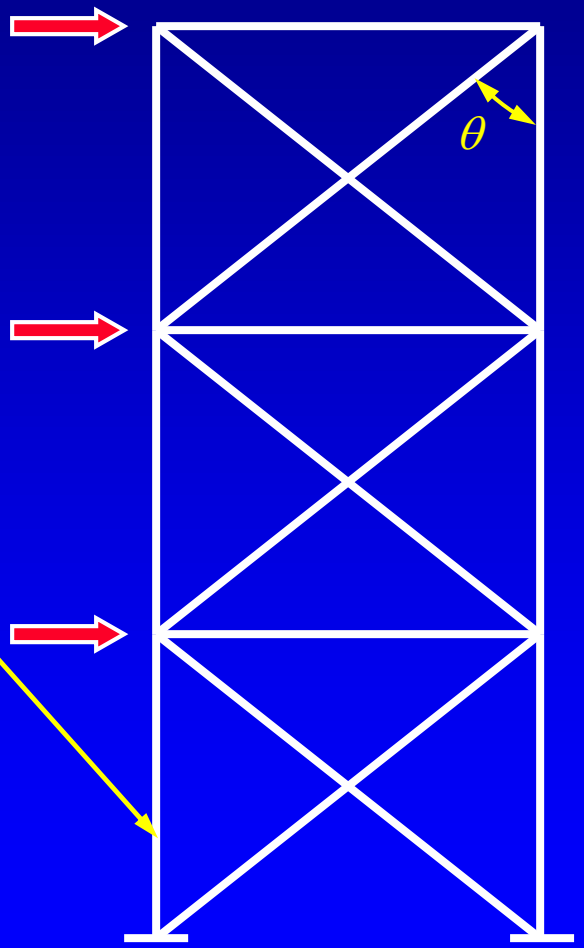
Find maximum axial tension in column.

Tension Braces:

Take $P = R_y F_y A_g$

Compression Braces:

Take $P = 0.3 P_n$

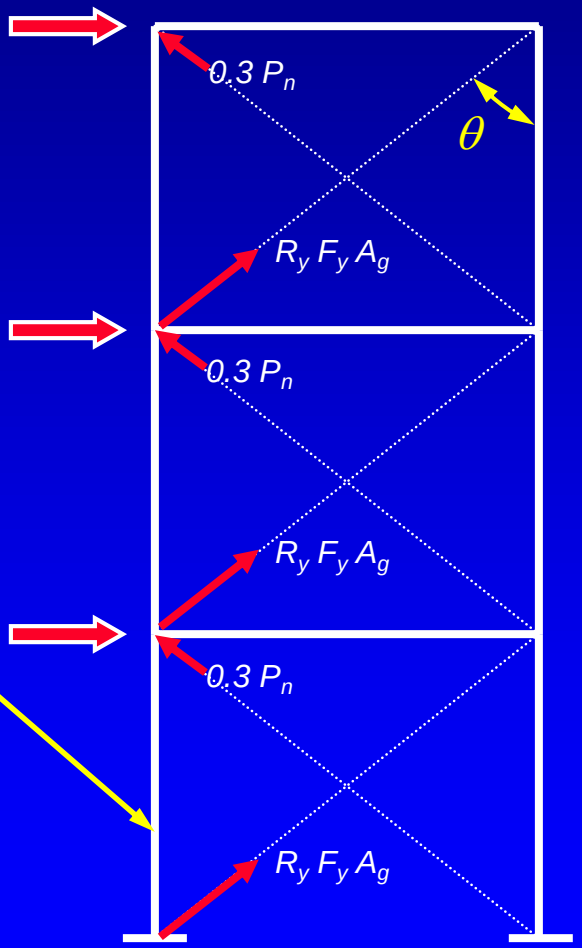


# Example

Column Axial Tension =

$[\ \Sigma\ (R_y\ F_y\ A_g\ )\ \cos\theta + \Sigma\ (0.3\ P_n)\ \cos\theta\ ]\ -\ P_{gravity}$

(sum brace forces for all levels above column)



# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

**۱۰-۳-۱۱-۳ اتصال مهاربندی‌ها**

مقاومت مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها، شامل اتصال تیر به ستون اگر بخشی از سیستم مهاربندی باشد، باید به شرح زیر در نظر گرفته شوند.

**الف)** مقاومت کششی مورد نیاز

مقاومت کششی مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها باید حداقل برابر $R_y F_y A_g$ باشد.

**ب)** مقاومت فشاری مورد نیاز

مقاومت فشاری مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها باید حداقل ۱/۱ برابر $F_{cre} A_g$ ۱/۱۴ باشد.

**پ)** سازگاری اتصال با کمانش مهاربندی‌ها

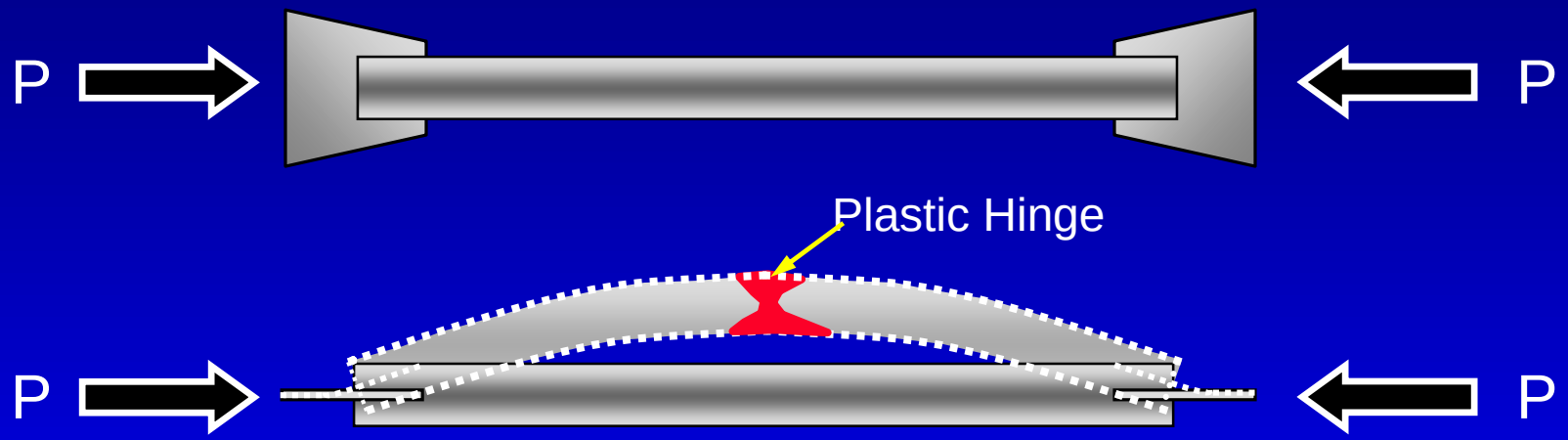
به منظور سازگاری اتصال با کمانش مهاربندی‌ها، اتصالات مهاربندی‌ها باید یکی از الزامات زیر را برآورده نمایند.

(۱) اتصال اعضای مهاربندی باید دارای مقاومت خمشی مورد نیاز حداقل برابر $R_y M_p$ ۱/۱ باشد که در آن، $M_p$ لنگر خمشی پلاستیک مقطع عضو مهاربندی حول محور کمانش بحرانی مقطع است.

# الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه(SCBF)

(۲) سازگاری با دوران غیرالاستیک حاصل از تغییرشکل‌های پس از کمانش در خارج از صفحهٔ مهاربندی از طریق مهیا نمودن شرایط کمانش بحرانی مهاربندی در خارج از صفحهٔ قاب و قطع مهاربندی به اندازهٔ دو برابر ضخامت صفحهٔ اتصال (۲t) قبل از خط تکیه‌گاهی ورق اتصال (خط آزاد خمش). در این مبحث رعایت ضابطهٔ تکمیلی خاصی برای کنترل کمانش لبهٔ آزاد ورق اتصال الزامی نیست.

در بندهای (الف) و (ب)، پارامترهای $R_y$ ، $F_y$ ، $A_g$ ، $F_{cre}$ همان تعاریفی هستند که در بند ۱۰-۳-۱۱-۲ به کار گرفته شده‌اند.



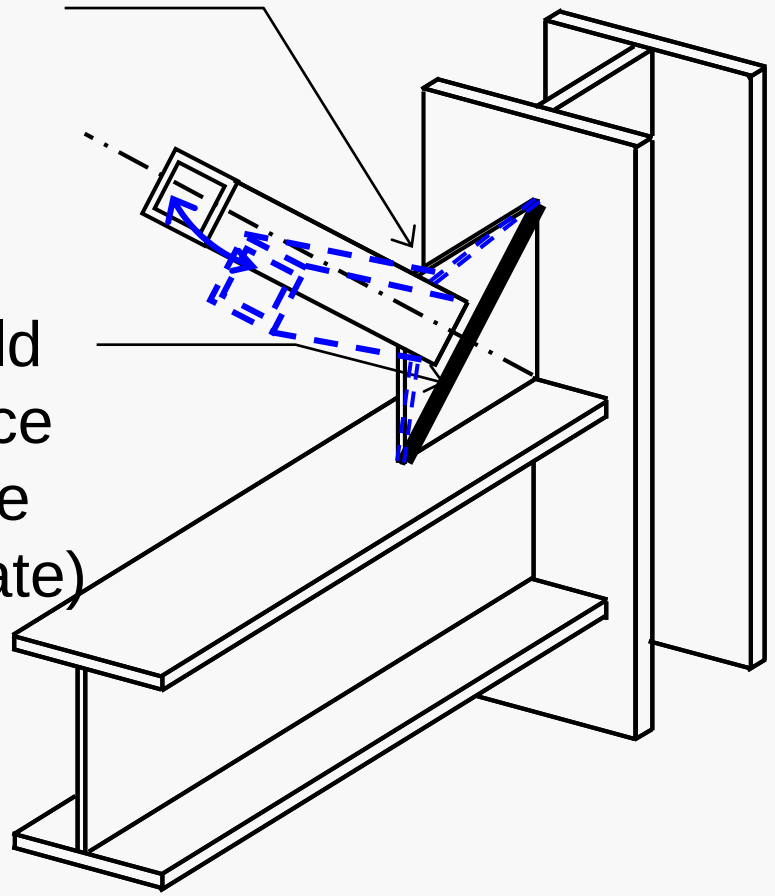

For "pinned" end braces: flexural plastic hinge will form at mid-length only. Brace will impose no bending moment on connections and adjoining members.

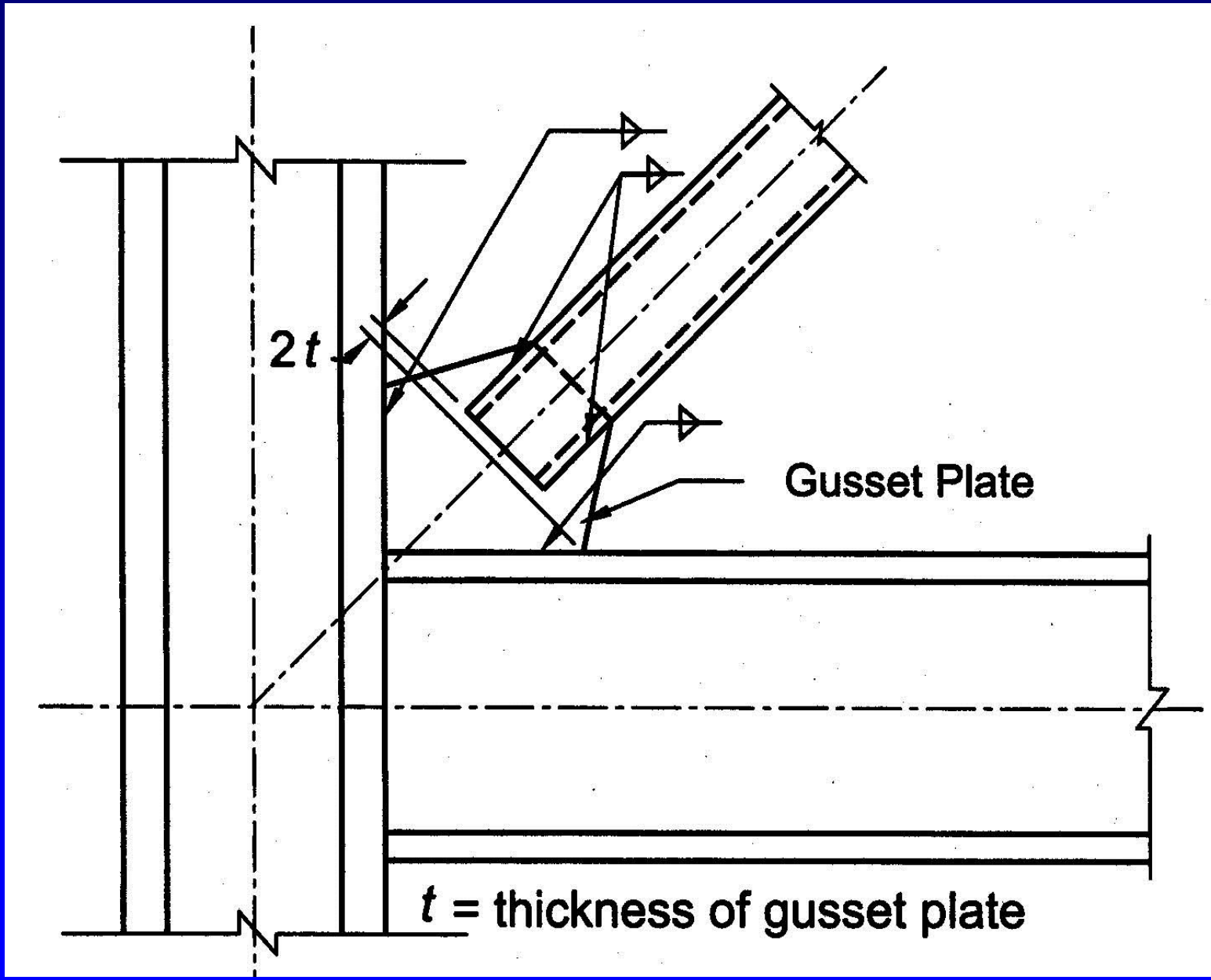
Must design brace connection to behave like a "pin"

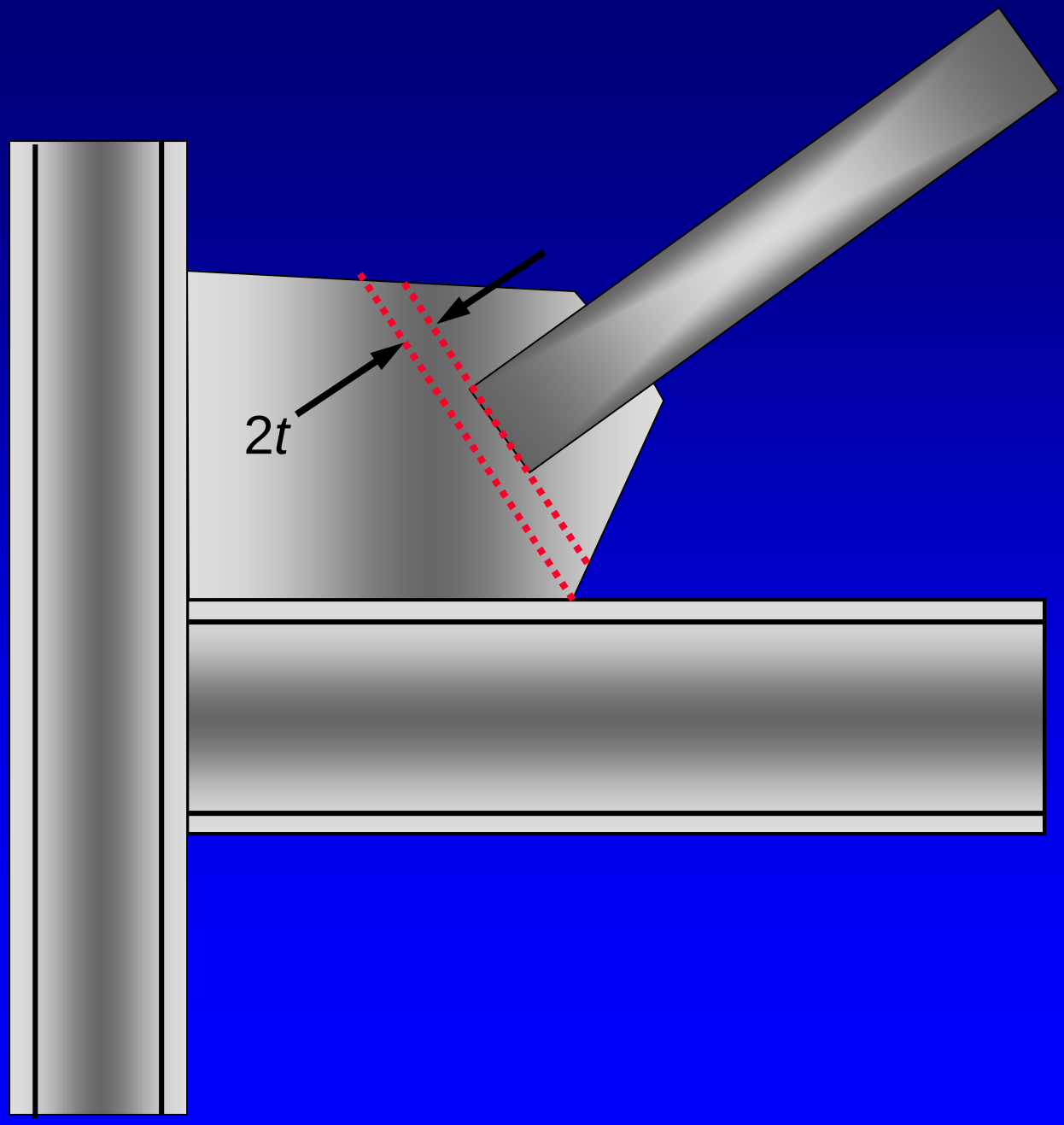
# To accommodate brace end rotation: provide "fold line"

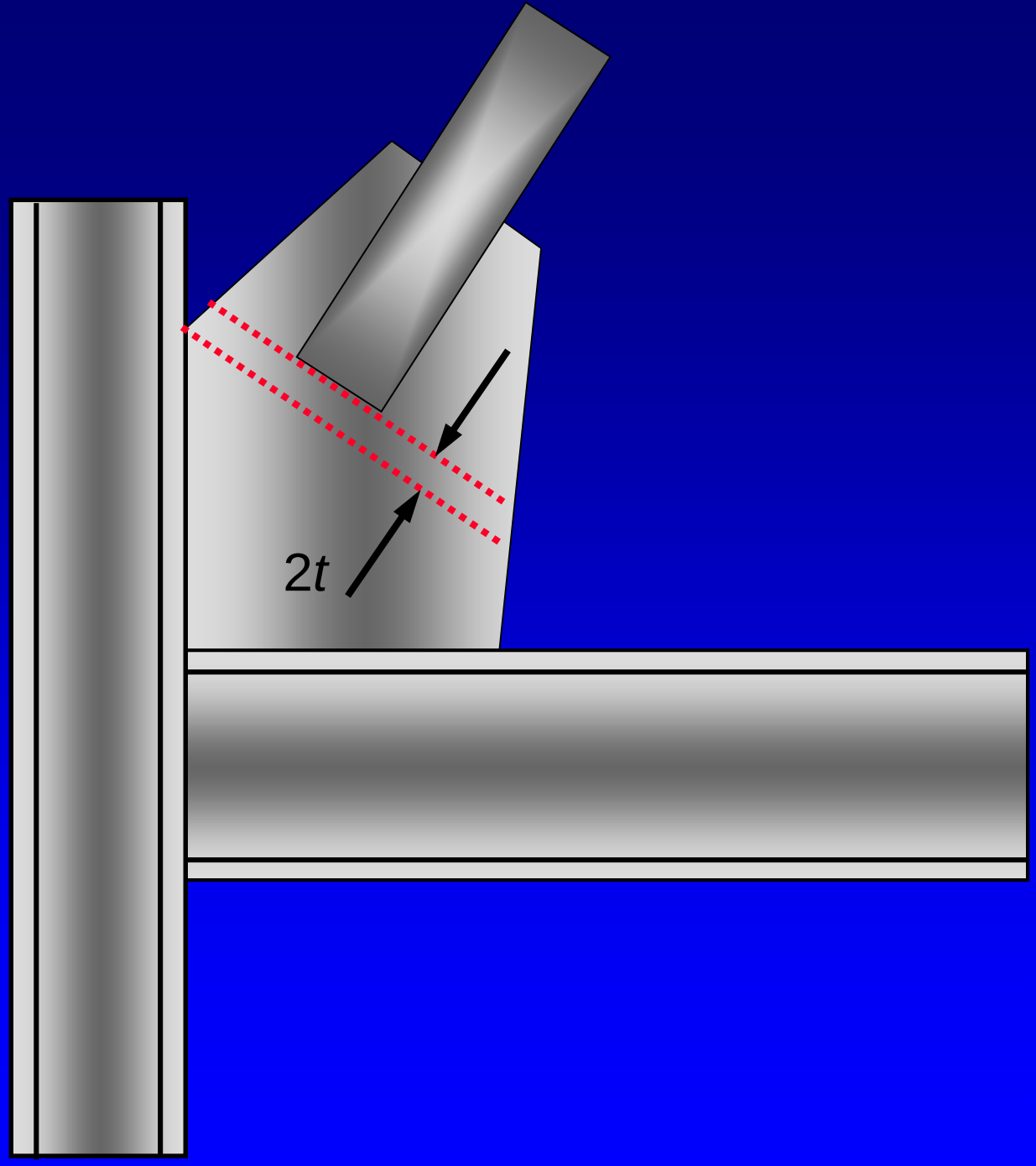
Buckling perpendicular to gusset plate

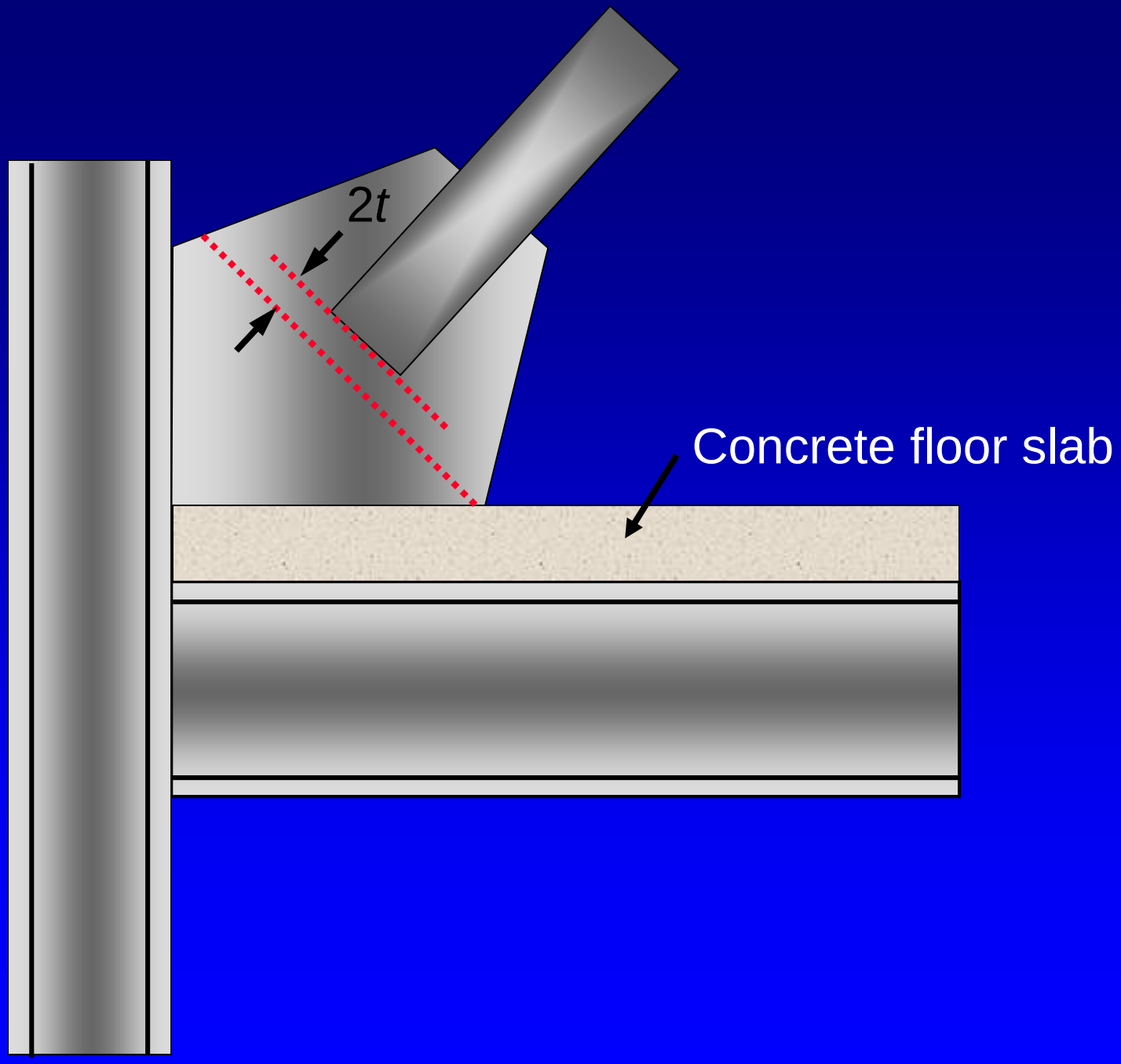
Line of rotation ("fold line") when the brace buckles out-of-plane (thin direction of plate)

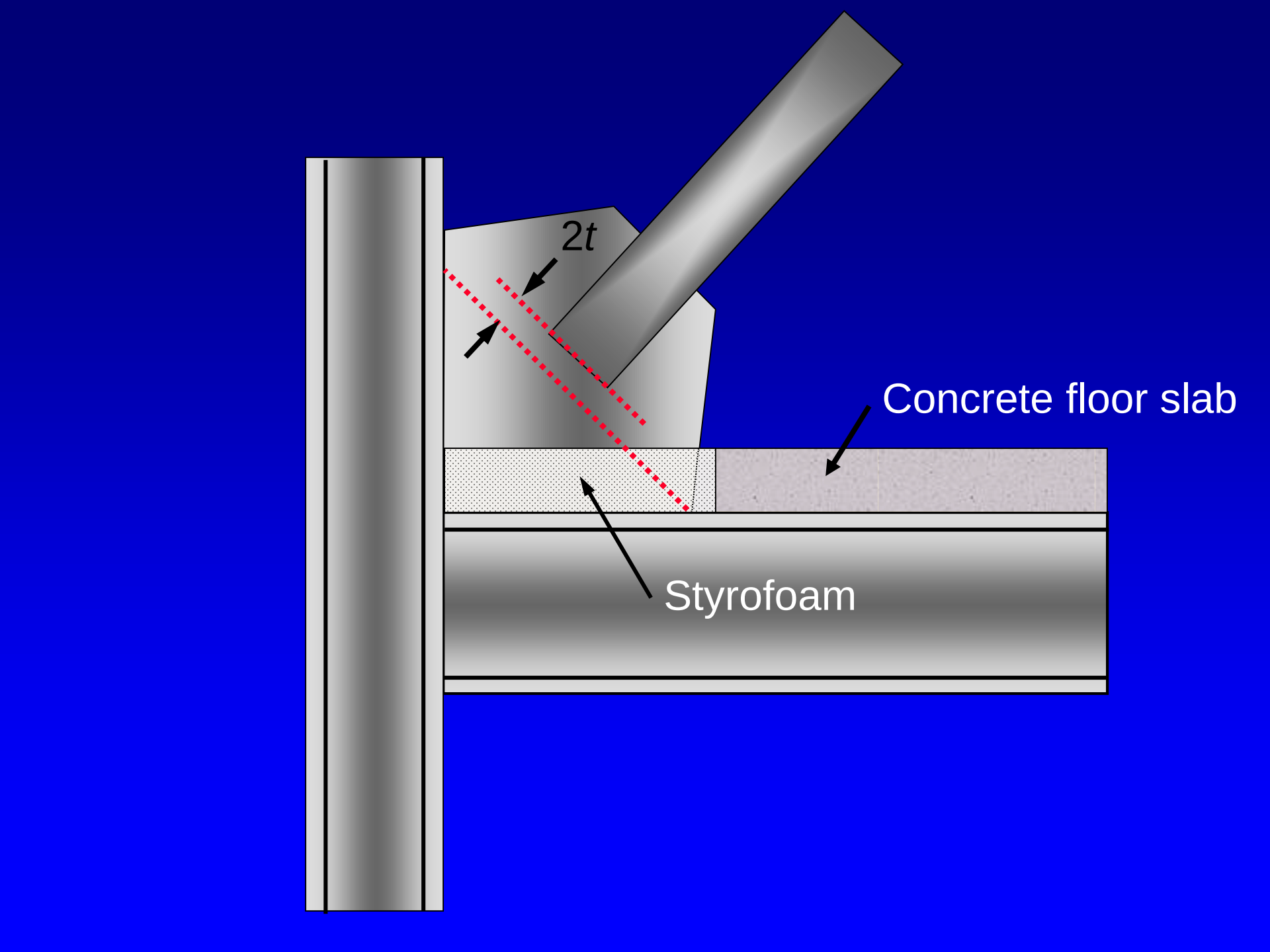


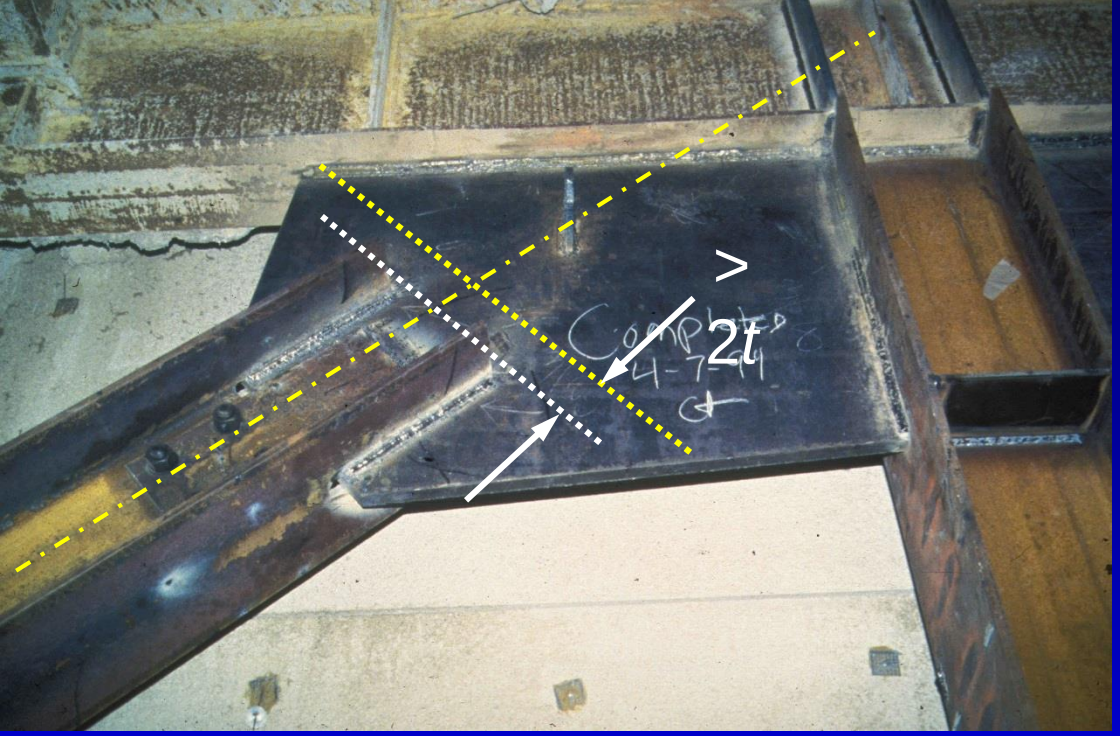

2t
Gusset Plate
t = thickness of gusset plate


2t

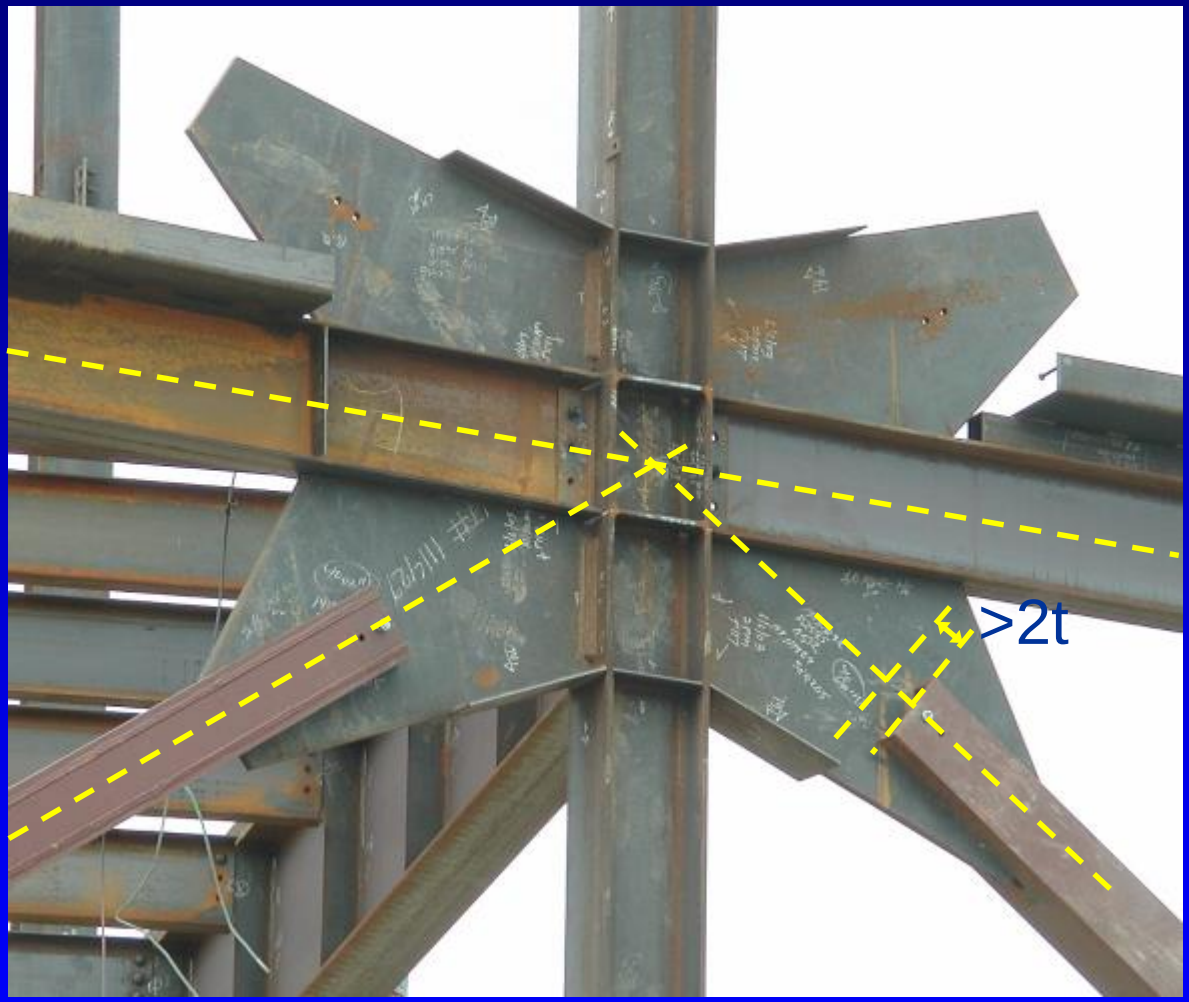

2t


2t
Concrete floor slab


2t
Concrete floor slab
Styrofoam


>
2t

>2t


>2t

05DI

>
2t