

Handwritten Arabic calligraphy in a dense, overlapping style, possibly representing a name or a specific phrase. The script is highly stylized and difficult to decipher.

Handwritten Arabic characters, possibly a signature or a date, located at the bottom right of the page.

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

رفتار قابهای مهاربندی شده با سیستم مهاربندی

ناهمرس (EBF) با اعضاء مهاری قوطی شکل

۱۳۸۰ / ۷ / ۳۰

روزهای پنجشنبه و شنبه
تیرماه ۱۳۸۰

روزهای پنجشنبه و شنبه
تیرماه ۱۳۸۰

نگارش: بهزاد پیله چیان لنگرودی

استاد راهنما: آقای دکتر شاهرخ مالک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

014954

در

مهندسی سازه



۳۸۱۸۸

تیر ماه ۱۳۸۰

چکیده:

شیوه طراحی صحیح اتصال عضو مهاربند به تیر پیوند در مهاربندی‌های ناهم‌رس، می‌تواند باعث ایجاد مهار پیچشی مناسب در انتهای مهاربند گشته و همچنین با تقویت قطعه تیر خارج پیوند شرایط لازم برای امکان دستیابی به مقاومت نهایی برشی تیر پیوند را به نحو مطلوبی مهیا سازد. همچنین انتخاب مسیر مناسب برای انتقال تنش‌های عضو مهاربند به تیر پیوند علاوه بر آنکه باعث کاهش تمرکز تنش‌ها می‌گردد، از پتانسیل کماتش‌های موضعی در قسمت‌های مختلف اتصال می‌کاهد و این همه موجب بهبود عملکرد قاب مهاربندی شده می‌گردد. از سوی دیگر چنانچه اتصال مذکور بتواند امکان مناسب برای بکارگیری عضو مهاربند قوطی شکل را فراهم سازد، علاوه بر بهبود شرایط مهار پیچشی و ظرفیت خمشی در انتهای تیر پیوند، استفاده از مقاطع سبکتر برای عضو مهاربند را مهیا ساخته و در نتیجه از نظر جنبه‌های اقتصادی طرح نیز حائز اهمیت خواهد بود.

در این مطالعه ابتدا سعی بر ایجاد مدل اجزاء محدود واقع‌گرایانه، از لحاظ نوع اجزاء محدود، شرایط مرزی، ویژگی‌های مصالح و حالات سخت‌شدگی و نظایر آن شده و سپس به ساخت مدل قاب کامل مهاربندی شده پرداخته و پارامترها و حالات مختلف اتصال عضو مهاربندی به تیر پیوند مورد بررسی قرار گرفته است. در این بین اتصال پیشنهادی توسط آقای دکتر مالک نیز معرفی گشته و با سایر شیوه‌های مورد بررسی مقایسه گردیده است.

فهرست مطالب:

فصل اول

۱ مقدمه

فصل دوم

- ۲ بررسی شیوه رفتاری در مهاربندی ناهم‌رس بر اساس نتایج مطالعات گذشته
- ۱۳ تعیین حد جاری شدن در اندرکنش برش و خمش
- ۱۴ تأثیر نیروی محوری در ظرفیت برشی و خمشی تیر پیوند
- ۱۶ تعیین آرایش مناسب سخت‌کننده‌ها برای جلوگیری از کماتش‌های موضعی و افزایش ظرفیت استهلاک انرژی
- ۲۳ نصب سخت‌کننده‌ها در خارج از طول تیر پیوند
- ۲۴ بررسی رفتار پس از کماتش در تیرهای پیوند برشی

فصل سوم

۲۷ بررسی اتصالات در طرح یک سیستم مهاربندی ناهم‌رس

فصل چهارم

- ۳۴ مدل آزمونی M1
- ۳۶ شیوه مدل‌سازی A
- ۳۸ شیوه مدل‌سازی B
- ۳۹ شیوه مدل‌سازی C
- ۴۱ شیوه مدل‌سازی D
- ۴۲ خلاصه نتایج حاصل از مدل آزمونی M1

فصل پنجم

- انتخاب نوع رفتار غیرخطی مصالح تحت بارگذاری تناوبی ۵۰
- شیوه انجام آنالیزها و ایده موجود در طرح هر مدل ۵۹
- نتایج حاصله ۶۲
- جمع بندی نتایج ۶۳
- مقایسه نتایج حاصله با حاصل تحقیقات اخیر در خصوص سعی در ایجاد مدل تحلیلی مناسب برای تیرهای پیوند ۶۴

فصل ششم

- بررسی مشروح اتصال مهاربند به تیر ۷۰
- ساخت مدل قاب کامل ۷۳
- بررسی نتایج حاصل از آنالیز مدل های ۷۴
- مدل M4-C ۷۵
- نتیجه گیری در ارتباط با شیوه اتصال عضو مهاربندی به تیر پیوند ۷۶
- پیشنهاد موضوعات جدید برای مطالعات آتی ۷۷

- منابع و مآخذ ۱۰۶

فصل اول - مقدمه

در یک طراحی لرزه‌ای مناسب، سازه می‌بایست بتواند چند نوع از نیازها را برآورده سازد. اول آنکه تحت یک حادثه معمول مانند باد یا زلزله نه چندان شدید بتواند با کمترین خسارات سازه‌ای و غیرسازه‌ای حادثه را پشت‌سرگذارد. از سوی دیگر در خلال زلزله‌های شدید سازه باید در مقابل فرو ریختن مقاوم باشد. این ایمنی غالباً با توجه به ظرفیت غیرالاستیک سازه تحت بارهای افزوده میسر می‌گردد و تحت نیروهای بسیار زیاد حتی برخی از آسیب دیدگی‌های سازه‌ای نیز تا حدی قابل قبول تلقی می‌گردند.

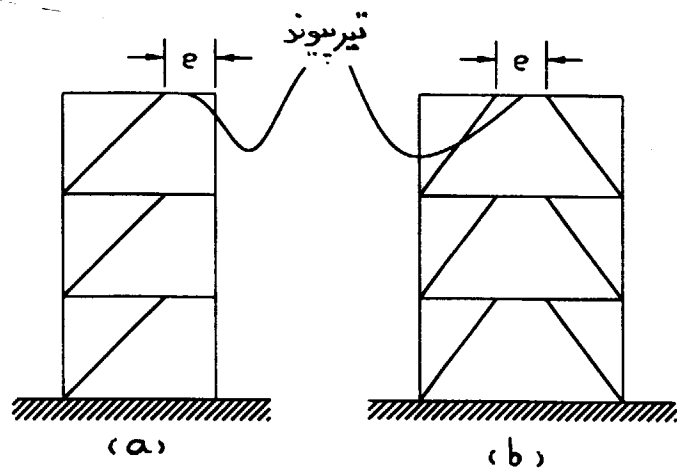
سیستم‌های معمول در مقاوم‌سازی جانبی سازه، سیستم قاب خمشی^(۱) و سیستم مهاربندی هم‌مرس^(۲)، عموماً می‌توانند فقط یکی از دو نیاز فوق‌الذکر را به خوبی برآورده سازند. قابهای خمشی شکل‌پذیرند اما در مقابل از سختی پایینی برخوردارند لذا در این قابها کنترل تغییر مکان‌های نسبی جانبی و اقتصاد طرح در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند. به طور مشابه، مهاربندی‌های هم‌مرس از سختی جانبی خوبی برخوردارند ولی ظرفیت اتلاف انرژی محدودی دارند.

طی دو دهه اخیر، سیستم‌های مهاربندی ناهم‌مرس^(۳)، که توسط پرفسور پوپوف^(۴) ابداع شده است، به عنوان یک راه حل اقتصادی طراحی لرزه‌ای گسترش یافته است و مطالعات در خور توجهی را به خود اختصاص داده است. اصطلاح مهاربندی ناهم‌مرس به سیستم قاب مهاربندی شده‌ای اطلاق می‌گردد که در آن نیروی محوری ایجاد شده در مهاربند^(۵) مستقیماً به ستون یا مهاربند دیگری انتقال نمی‌یابد بلکه این انتقال توسط برش و خمش در قسمت خاصی از تیر صورت می‌گیرد، که این ناحیه از تیر را «تیر پیوند»^(۶) می‌نامیم و معمولاً با طول آن (e) معرفی می‌گردد. (شکل ۱-۱)

وظیفه تیر پیوند این است که در خلال زلزله‌های شدید انرژی زیادی را توسط سیلان مصالح خود تلف سازد، در حالیکه تحت نیروهای متعارف به صورت الاستیک باقی‌بماند. در حالت غیر خطی می‌توان گفت تیر پیوند قلب یک سیستم مهاربندی ناهم‌مرس است، لذا دستیابی به توابع توصیفی آن برای تعیین چگونگی رفتار مهاربندی ناهم‌مرس حایز اهمیت است.

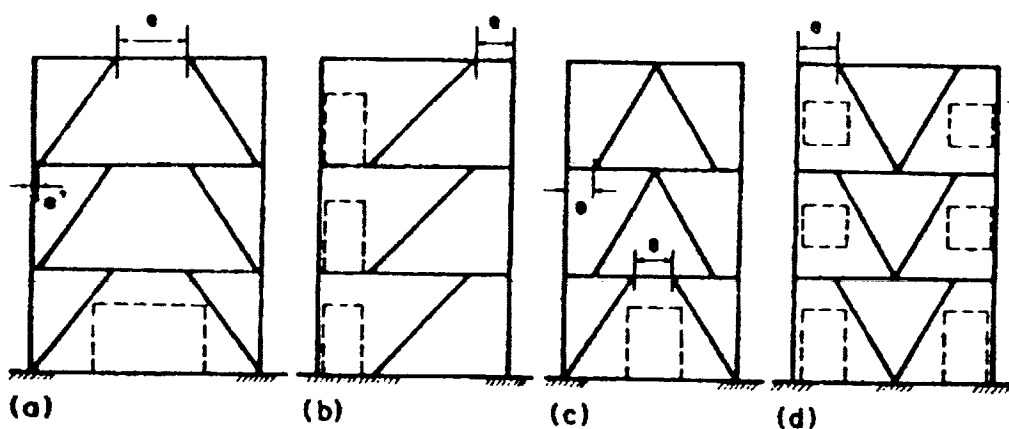
1- moment resisting frames
3- eccentrically braced frames
5- brace

2- concentrically braced frames
4- popov
6- link or active link beams



شکل ۱-۱: شکل کلی یک مهاربندی ناهم‌رس: a- مهاربندی قطری b- مهاربندی k

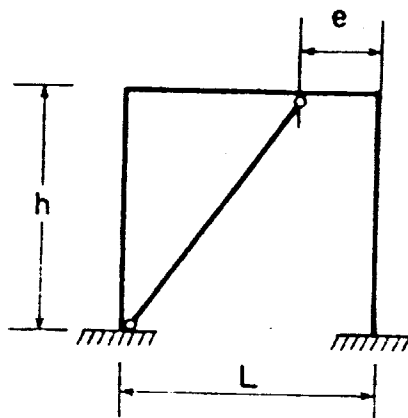
از مزایای دیگر استفاده از مهاربندی‌های ناهم‌رس، آزادی عمل بیشتر نسبت به مهاربندی هم‌رس در انتخاب محل مهاربند و در نتیجه تداخل کمتر با مقاصد معماری طرح می‌باشد که امکان استفاده از بازشوهای معماری مورد نیاز را فراهم می‌سازد. شکل ۱-۲ نمایانگر این گفته است.



شکل ۱-۲: گزینه‌های مختلف در شکل‌بندی مهاربندی‌های ناهم‌رس

فصل دوم - بررسی شیوه رفتاری در مهاربندی ناهم‌مرس بر اساس نتایج مطالعات گذشته

در دسته‌بندی مهاربندی‌های ناهم‌مرس از نسبت طول تیرپیوند (e) به طول دهانه مهاربندی (L) که «نسبت ناهم‌مرسی»^(۱) ($\frac{e}{L}$) نامیده می‌شود استفاده می‌گردد (شکل ۲-۱). اینگونه به نظر می‌رسد که با تغییر نسبت ناهم‌مرسی طیف رفتاری پیوسته‌ای از حالت قاب خمشی ($\frac{e}{L} = 1$) تا مهاربندی هم‌مرس ($\frac{e}{L} = 0$) موجود است ولی فقط محدوده کوچکی از آن است که بهترین رفتار لرزه‌ای را داراست و نیازهای شکل‌پذیری یک طراحی مقاوم لرزه‌ای را نیز برآورده می‌سازد. تعریف نسبت ناهم‌مرسی ما را در انتخاب این محدوده کمک می‌کند تا بتوانیم تعادل مناسبی بین سختی جانبی قاب و شکل‌پذیری آن برقرار سازیم.



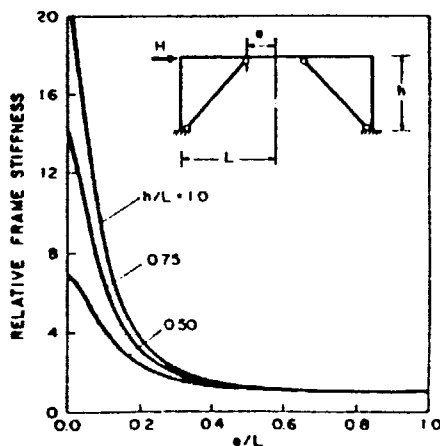
شکل ۲-۱: ساده‌ترین شکل مهاربندی ناهم‌مرس

برخی از ویژگیهای مهم مهاربندی‌های ناهم‌مرس توسط ساده‌ترین شکل این مهاربندی، که در شکل ۲-۱ نمایش داده شده است، قابل بررسی است. این قاب یک دهانه یک طبقه، اصول کلی رفتار سایر قابهای مهاربندی شده را نیز نشان می‌دهد و می‌توان قسمتی از خصوصیات رفتاری قابهای مهاربندی شده پیچیده‌تر را از مطالعه این قاب ساده استخراج نمود، لذا بیشتر مطالعات اولیه را به خود معطوف داشته است. در حالت الاستیک سختی جانبی این قاب را می‌توان به صورت تابعی از

1- eccentricity ratio

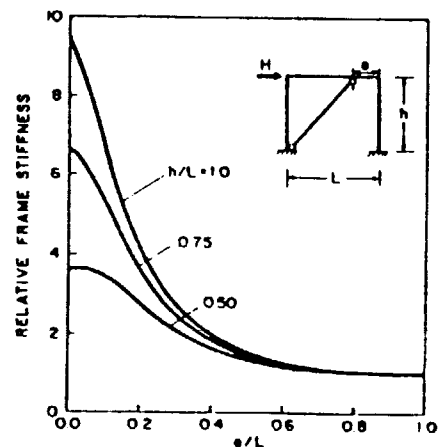
پارامتری‌های ذیل بیان کرد: سختی‌های خمشی یا برشی و محوری اعضاء (EA و GA' ، EI) که در آن E مدول الاستیسیته، G مدول الاستیسیته برشی، I ممان ایزسی، A سطح مقطع کل و A' سطح مقطع برشی عضو می‌باشد) و پارامترهای هندسی $\frac{h}{L}$ و $\frac{e}{L}$.

Hjelmstad, popov (1983) رابطه بین سختی جانبی قاب شکل ۱-۲ و پارامترهای فوق‌الذکر را در حالت الاستیک توسط نمودارهایی (اشکال ۲-۲، ۲-۴، ۲-۵) بیان کردند. به منظور سادگی آنالیزها برای ترسیم این نمودارها، سختی محوری و برشی ستون بزرگ فرض شده است. برای آنکه با بررسی این نمودارها بتوان تأثیر موقعیت اتصال عضو مهاربند به تیر که با نسبت ناهمرسی ($\frac{e}{L}$) بیان می‌گردد را بر سختی الاستیک قاب مشاهده کرد، در ترسیم هر منحنی، سختی‌های تمام اعضا و همچنین نسبت ارتفاع به دهانه قاب ($\frac{h}{L}$) ثابت فرض شده و $\frac{e}{L}$ بین مقادیر ۰ تا ۱ متغیر در نظر گرفته شده است و نیز به منظور امکان مقایسه بین نمودارها در هر حالت سختی قاب با تقسیم بر سختی قاب خمشی متناظر، بی‌بعد شده است.



شکل ۲-۳: تغییرات سختی برای نسبت‌های مختلف ارتفاع به طول دهانه مهاربندی k (پارامترهای دیگر مشابه با پارامترهای معرفی شده در شکل ۲-۲ می‌باشد).

[Hjelmstad, popov, 1983]

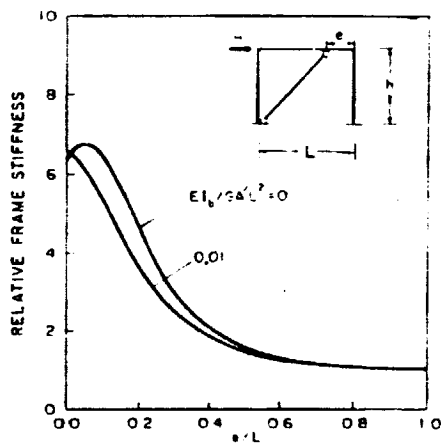


شکل ۲-۲: تغییرات سختی برای نسبت‌های مختلف ارتفاع به طول دهانه برای مهاربندی تک قطری [Hjelmstad, popov, 1983]

$$\frac{I_b}{I_c} = 0.25, \frac{I_b}{A_{br}L^2} = 0.001, \frac{EI_b}{GA_bL^2} = 0.01$$

در شکل ۲-۲ تغییرات سختی یک مهاربندی تک قطری در مقابل نسبت ناهمرسی مهاربند برای مقادیر نسبت ابعادی ($\frac{h}{L}$): ۰/۷۵ و ۰/۵ نمایش داده شده است. با توجه به این نمودار مشخص می‌شود که برای مقادیر

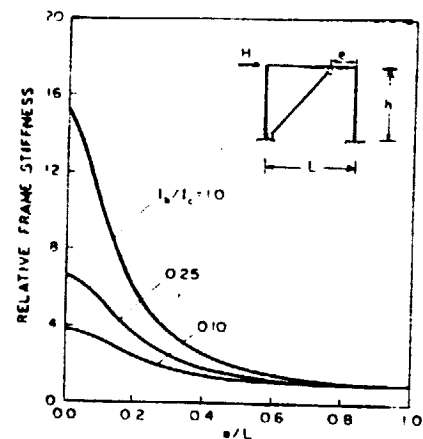
$\frac{e}{L} > 0.5$ ، مهاربندی قاب تأثیر چندانی در افزایش سختی آن ایفانمی‌کند. اما برای حدود $0.5 < \frac{e}{L}$ به تدریج باعث افزایش قابل ملاحظه سختی قاب می‌گردد و این افزایش در مورد قابهای مرتفع و بادهانه کوچک (مثلاً $\frac{h}{L} = 1$) قابل ملاحظه‌تر است. با آنکه کاهش $\frac{e}{L}$ باعث افزایش سختی قاب می‌گردد، در مطالب آتی خواهیم دید که این نسبت باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا قاب در خلال نیروهای بزرگ رفتاری شکل‌پذیر از خود نشان دهد.



شکل ۲-۵: تأثیر تغییر شکل‌های برشی بر سختی قاب

[Hjelmstad, popov, 1983]

$$\frac{I_b}{A_{br} L^2} = 0.001, \frac{EI_b}{A_b L^2} = 0.01, \frac{h}{L} = 0.75$$



شکل ۲-۴: تأثیر ابعاد ستون بر سختی قاب

[Hjelmstad, popov, 1983]

$$\frac{I_b}{A_{br} L^2} = 0.001, \frac{I_b}{I_c} = 0.25, \frac{h}{L} = 0.75$$

در مورد قابهای بادهانه بزرگ استفاده از مهاربندی‌های تک قطری عموماً غیر عملی می‌باشد چرا که طول مهاربند به طور نامطلوبی بزرگ می‌شود. لذا در این حالات، استفاده از سیستم‌های مهاربندی K شکل که طول دهانه مهاربندی را نصف می‌کند و یا سایر سیستم‌های مشابه می‌تواند مناسب باشد. نمودار مشابهی برای اینگونه از مهاربندی‌های ناهمرس در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است. با مقایسه دو نمودار اخیر می‌توان نتیجه گرفت که سختی مهاربندی ناهمرس K نسبت به مهاربندی‌های تک قطری، حساسیت بیشتری در برابر تغییرات نسبت ناهمرسی دارد و کوچک بودن نسبت $\frac{e}{L}$ برای این مهاربندی‌ها افزایش سختی بیشتری را موجب می‌گردد که با افزایش $\frac{e}{L}$ به سرعت کاهش می‌یابد.

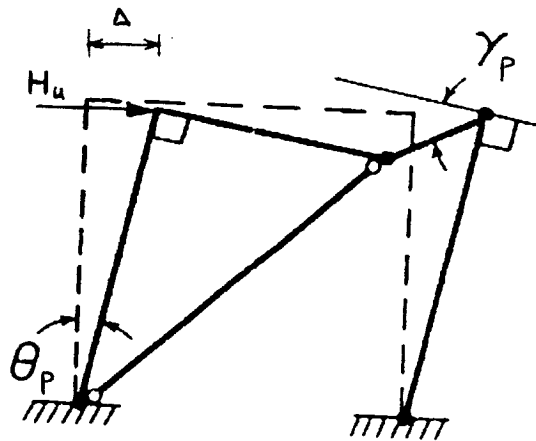
همانطور که در شکل ۲-۴ مشاهده می‌گردد وقتی سختی خمشی ستون در مقابل تیر بزرگ است، سختی جانبی در مقابل محل مهاربندی حساسیت چندانی ندارد، از سوی دیگر وقتی ستون و تیر دارای ابعاد مشابهی هستند، مهاربندی می‌تواند باعث افزایش قابل ملاحظه سختی قاب گردد. در مورد

قابهای یک طبقه اثر گیرداری پای ستون‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای در این امر داراست و برای قابهای چند طبقه نتیجه ممکن است تا حدودی متفاوت باشد. برای مقادیر $\frac{e}{L} < 0.5$ ، اثر تغییر شکل‌های برشی در سختی جانبی قاب محسوس‌تر می‌گردد. آنالیزهای خطی عموماً با فرض $GA = \infty$ از این اثر صرف‌نظر می‌کنند. شکل ۲-۵ نشان می‌دهد که این تقریب می‌تواند باعث تخمین‌های بیشتر از واقع برای سختی قاب، در محدوده نسبت‌های ناهم‌رسی کوچک گردد.

پس از بررسی چگونگی تأثیر نسبت ناهم‌رسی بر سختی جانبی قاب با مهاربندی ناهم‌رس در حالت الاستیک، گام بعدی تعیین اثرات پارامتر فوق بر شکل پذیری قاب می‌باشد.

مجدداً قاب ساده شکل ۲-۱ را در نظر می‌گیریم. برای بررسی شکل پذیری قاب ابتدا لازم است تا ارتباط بین تغییر شکل جانبی قاب و تغییر شکل در اعضاء قاب پس از تشکیل مکانیزم خرابی را تعیین کنیم. در راستای هدف فوق از یک تحلیل رفتاری صلب - پلاستیک^(۱) استفاده می‌کنیم. مکانیزم خرابی قاب تحت بارهای بزرگ جانبی در شکل ۲-۶ نمایش داده شده است. با توجه به این مکانیزم خرابی ارتباط بین خمشدگی پلاستیک طبقه^(۲) (θ_p) و خمشدگی پلاستیک در تیرپیوند^(۳) (γ_p) به صورت رابطه (۲-۱) بیان می‌شود:

$$\theta_p = \frac{e}{L} \times \gamma_p \dots \dots \dots (2-1)$$



شکل ۲-۶: مکانیزم خرابی در ساده‌ترین شکل قاب با مهاربندی ناهم‌رس

- 1- rigid-plastic analysis
- 3- plastic link deformation angle

- 2- plastic story - drift angle

رابطه (۲-۱) یک تناسب مستقیم را بین چرخش پلاستیک در قاب و تیرپیوند بیان می‌کند. بنابراین می‌توان تغییر شکل جانبی ماکزیمم در قاب را متناظر با ظرفیت چرخش پلاستیک تیرپیوند دانست. برای بررسی بهتر این مسئله پارامتری بعد شکل‌پذیری سازه^(۱) (μ_s) را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\mu_s = \frac{\Delta}{\Delta_y} = \frac{K}{H_u} \Delta \quad (2-2)$$

که در این رابطه K سختی جانبی الاستیک قاب، Δ تغییر مکان جانبی ماکزیمم در بالای قاب و H_u بارنهایی متناظر آن است. از مقایسه دو رابطه (۲-۱) و (۲-۲) می‌توان نتیجه گرفت که برای دستیابی به یک شکل‌پذیری معین برای قاب با کاهش نسبت ناهم‌رسی ($\frac{e}{L}$) باید ظرفیت چرخش پلاستیک تیرپیوند افزایش یابد. مطالعات انجام گرفته توسط Kasai, Popov (1986a) نشان می‌دهد که برای آنکه فرآیند استهلاک انرژی در تیرپیوند به صورت سیلان برشی جان صورت گیرد، طول آن نباید از حد مشخصی بلندتر باشد. در این حالت تیرپیوند را «تیرپیوند برشی»^(۲) می‌نامند. این مطالعات حد بالای فوق برای اطمینان از رفتار برشی تیرپیوند را مطابق رابطه (۲-۳) تعریف می‌کند.

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad (2-3)$$

که در آن M_p ، گشتاور پلاستیک کل مقطع و V_p برش پلاستیک جان طبق روابط (۲-۴) و (۲-۵) تعریف می‌شوند:

$$M_p = \sigma_y \cdot Z \quad (2-4)$$

$$V_p = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} (d-t_f) \cdot t_w \quad (2-5)$$

در تیرپیوند برشی چرخش پلاستیک توسط تغییر شکل‌های برشی در طول آن صورت می‌گیرد و زاویه ماکزیمم چرخش پلاستیک در تیرپیوندی که جان آن توسط سخت‌کننده‌های جان در برابر کم‌انرژی برشی به طور مطوب مقاوم شده باشد می‌تواند تا حدود ۰/۱ رادیان برای بارهای متناوب و ۰/۲ رادیان برای بارهای غیر متناوب برسد. [Hjelmstad, popov (1983)] که البته این زاویه چرخش می‌تواند باعث وارد آمدن خسارات بر دال کف گردد. لذا زاویه چرخش ماکزیمم در تیرهای پیوند برشی در آیین‌نامه‌ها به حد بالایی که مانع خسارات ناسازه‌ای گردد محدود شده است. این حد بالا در آیین‌نامه AISC برابر با ۰/۰۸ رادیان بیان شده است. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان دریافت که عواملی که

باعث محدودیت در کوچک کردن طول تیر پیوند می‌باشد، محدودیت در ظرفیت چرخشی تیر پیوند و نیز جلوگیری از خسارات در ناسازه‌ها به علت ایجاد تغییر شکل‌ها و چرخش‌های بزرگ در تیر پیوند می‌باشد.

آزمایشات (Engelhard, popov (1992 بر روی قابهای مهاربندی شده با تیرهای پیوند بلند نشان می‌دهد که با بلند شدن طول عضو، رفتار خمیری آن از حالت سیلان برشی جان در طول عضو به سوی تشکیل مفصل‌های پلاستیک در دو انتهای آن تغییر می‌کند و چنانچه طول آن از حد معینی بیشتر گردد رفتار کاملاً خمشی از خود نشان داده و مشابه با یک قاب خمشی عمل می‌کند. مطالعات بیان شده حد پایین طول تیر پیوند را برای اطمینان از رفتار خمشی آن، مطابق رابطه (۲-۶) تعریف می‌کند.

$$e > 3 \frac{M_p}{V_p} \dots \dots \dots (2-6)$$

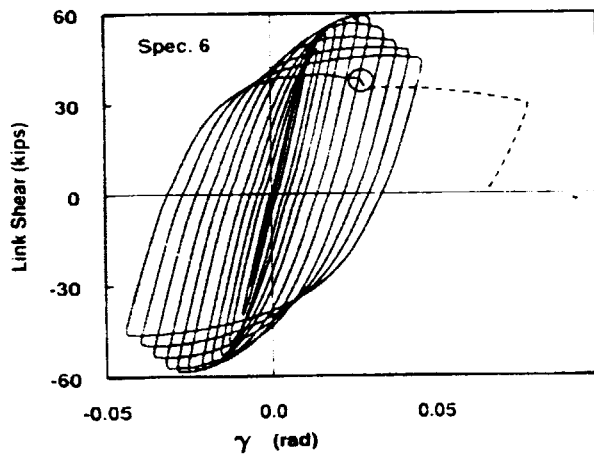
که در این رابطه نیز V_p و M_p مطابق روابط (۲-۴) و (۲-۵) تعریف می‌گردد.

در تیرهای پیوند بلند چرخش پلاستیک عضو توسط تغییر شکل‌های پلاستیک متمرکز در دو انتهای آن صورت می‌گیرد و بقیه طول عضو در حالت الاستیک باقی می‌ماند لذا شکل پذیری عضو ارتباط مستقیم با شکل پذیری اتصال آن به ستون پیدا می‌کند. بنابراین استفاده از اینگونه تیرهای پیوند بلند در مهاربندی‌های ناهم‌رس تک قطری مجاز نمی‌باشد (آیین‌نامه 1992 - AISC) مگر آنکه تمهید خاص در خصوص فراهم نمودن شکل پذیری اتصال تیر پیوند به ستون در نظر گرفته شده باشد. لیکن مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که بطور کلی ظرفیت جذب و استهلاک انرژی از طریق چرخش پلاستیک در تیرهای پیوند بلند به مراتب کمتر از تیرهای پیوند برشی می‌باشد، لذا در کل با افزایش نسبت ناهم‌رسی در این نوع مهاربندی‌ها (افزایش نسبت $\frac{e}{L}$)، افزایش شکل پذیری کل سازه (μ_s) را نمی‌توان انتظار داشت. (رابطه ۲-۱)

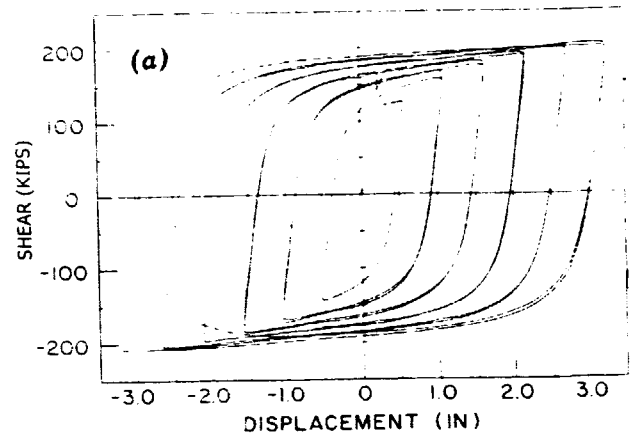
از دیدگاه استهلاک انرژی در خلال نیروهای متناوب بزرگ نیز از آنجا که تغییر شکل‌های پلاستیک در اینگونه اعضاء فقط در نواحی تشکیل مفصل پلاستیک خمشی^(۱) (ابتدا و انتهای عضو) وجود دارد لذا استهلاک انرژی ایجاد شده به مراتب کمتر از تیرهای پیوند برشی می‌باشد و چرخه‌های هیستریزس در این اعضاء بسته‌تر و دارای مساحت داخلی کوچکتری می‌باشند (شکل ۲-۷ a,b).

در تیرهای پیوند با طولی بین دو حد فوق، رفتار عضو به صورت ترکیب رفتار برشی و خمشی بوده و

با افزایش طول عضو به شدت از ظرفیت چرخش پلاستیک و استهلاک انرژی عضو کاسته می‌شود. نمودارهای اشکال ۲-۸ و ۲-۹ که با توجه به آنالیزهای (Ghobarah, Ramadan (1991) بر روی

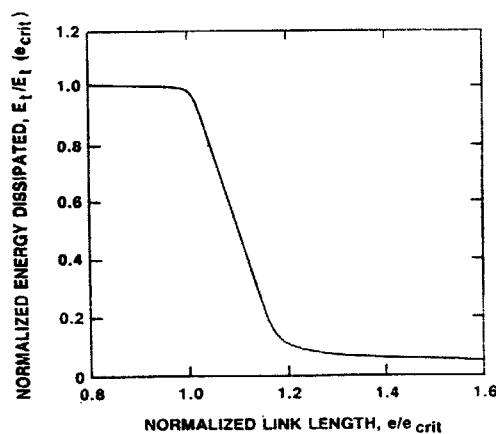


شکل ۲-۷b: حلقه‌های هیسترزیس برای تیرپیوند بلند
[Engelhard & popov, 1983]

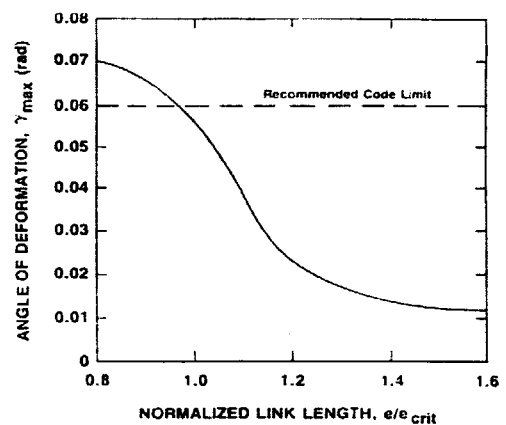


شکل ۲-۷a: حلقه‌های هیسترزیس برای تیرپیوند برشی
[Hjelmstad, popov, 1983]

تیرهای پیوند با طولهای مختلف ارائه شده است نمایانگر این کاهش می‌باشد. مطالب آتی علت این تفاوت در شیوه رفتار تیرپیوند با تغییر در طول آن را با فرض آنکه به نحو مقتضی از کمانش‌های کلی و یا موضعی در بال و جان جلوگیری به عمل آمده باشد بیان می‌کند.



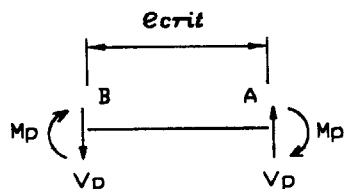
شکل ۲-۹: تغییرات انرژی تلف شده در تیر پیوند بر حسب طول آن
[Ghobarah & Ramadan, 1991]



شکل ۲-۸: تغییرات ظرفیت تغییر شکل چرخشی متناوب در تیرپیوند بر حسب طول آن
[Ghobarah & Ramadan, 1991]

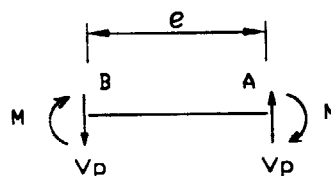
با بلند شدن طول تیر پیوند. بزرگی لنگرهای انتهایی که در حالت نهایی در دوسر آن ایجاد می‌گردد افزایش می‌یابد. شکل ۲-۱۰a این موضوع را با فرض تساوی لنگرهای انتهایی نشان می‌دهد. صحت فرض این تساوی در مورد مهاربندی‌های متقارن K (شکل ۱-۱b) با توجه به تقارن قاب واضح است و در مورد مهاربندی‌های قشری و سایر مهاربندی‌های ناهم‌مرس نامتقارن باز توزیع لنگرها در حالت پلاستیک می‌تواند باعث این تساوی در حالت نهایی گردد. چگونگی این باز توزیع و نیز شرایط لازم و عوامل مؤثر در ایجاد این تساوی در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد.

همانطور که در قبل گفته شد، تیرهای پیوند با طول کوچک به صورت برشی و تیرهای پیوند با طول بزرگ به صورت خمشی کار می‌کنند. لذا می‌توان انتظار داشت که طولی بین این دو محدوده داشته باشد که با عبور از آن شیوه رفتار تیر پیوند از رفتاری برشی به سمت رفتاری خمشی تغییر یابد این طول بحرانی، طول تیر پیوندی است که در آن با بزرگ شدن تغییر شکل‌ها، همزمان با جاری شدن جان مفصل پلاستیک خمشی نیز در دو انتهای آن بوجود آید. شکل (۲-۱۰b) این وضعیت را نمایش می‌دهد.



$$2M_p = e_{crit} \times V_p$$

$$e_{crit} = 2M_p / V_p$$



$$2M_p = e \times V_p$$

$$e = 2M_p / V_p$$

شکل ۲-۱۰b: عکس‌العمل‌های انتهایی پلاستیک در دو انتهای تیر پیوند با طول بحرانی

شکل ۲-۱۰a: محاسبه لنگرهای انتهایی در دو سر تیر پیوند برشی

اگر پدیده سخت شدگی تنجشی^(۱) در فولاد وجود نداشت، می‌توانستیم اینگونه نتیجه‌گیری کنیم که برای تیرهای پیوند با طول کمتر از این طول بحرانی قبل از رسیدن لنگرهای انتهایی به