

بررسی ضوابط آیین نامه برای تیرهای پیوند متوسط در بادبندهای خارج محور

اردشیر دانشمند (کارشناس ارشد)

بهرخ حسینی هاشمی* (دانشیار)

پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

مهندسی عمران شریف
دربی ۲-۱۹، شماره ۱، ص. ۳۶-۲۷

در بین انواع تیرهای پیوند، رفتار تیرهای با طول کوتاه به علت جذب انرژی بالاتر و شکل پذیری بهتر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. اما الزامات معماری در بسیاری از مواقع استفاده از تیرهای با طول متوسط و بلند را ناگزیر می سازد. علاوه بر این، نتایج گزارش شده از تحقیقات پیشین مؤید نایمن بودن برخی از نمونه ها با طول متوسط و ارضانشدن ضوابط آیین نامه برای آن ها است. برای بررسی دقیق تر ضوابط آیین نامه یی در این تحقیق، تعدادی تیر پیوند با طول متوسط با استفاده از روش اجزاء محدود مدل سازی و ضوابط آیین نامه یی این نوع تیرها و تأثیر پارامترهای مختلف بر رفتار آن ها بررسی شده است. در انتها با توجه به نتایج مشاهده شده، توصیه هایی برای طراحی تیرهای متوسط به منظور حصول اطمینان از رفتار مطمئن تر آن ها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: شکل پذیری تیر پیوند، بادبندهای مهاربندی شده ی واگرا، اندرکنش برش و خمش، تیرهای پیوند با طول متوسط، بررسی اجزاء محدود سازه های فولادی.

ardeshir.daneshmand@gmail.com
behrokh@iiees.ac.ir

۱. مقدمه

در اواسط دهه ی ۷۰، سیستم مهاربندی واگرا در دانشگاه کالیفرنیا ابداع شد،^[۱] که برای اولین بار در کالیفرنیا به منزله ی سیستم باربر جانبی مورد استفاده قرار گرفت. در سیستم مهاربندی شده ی واگرا، نیروهای محوری ایجاد شده در مهاربندها توسط برش و خمش در قسمتی از تیر که تیر پیوند نامیده می شود؛ به ستون یا مهاربند مجاور منتقل می شود. جاری شدن فولاد در تیر پیوند رخ می دهد و بدین وسیله قسمت اعظم انرژی زلزله تلف خواهد شد که میزان آن بستگی به مشخصات و جزئیات این تیر دارد. بدین ترتیب تیرهای پیوند به صورت فیوزی عمل می کنند که مانع از کمانش مهاربندها می شوند. با توجه به عملکرد فیوز مانند تیر پیوند در طراحی قاب های واگرا ابتدا تیر پیوند و جزئیات آن محاسبه و پس از آن بقیه ی اجزای قاب طراحی می شوند که نشان دهنده ی اهمیت بالای طراحی صحیح این عضو است.^[۱] فاکتور کلیدی کنترل کننده ی رفتار تیر پیوند، طول آن است. تیرهای پیوند کوتاه، متوسط، و بلند براساس پیشنهاد کاسای و پوپوف^۱ به صورت رابطه های ۱ تا ۳ تعریف می شوند:

$$e < 1/6 M_p / V_p \quad \text{کوتاه} \quad (1)$$

$$e > 2/6 M_p / V_p \quad \text{بلند} \quad (2)$$

* نویسنده مستقر

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۲۰، اصلاحیه ۱۳۹۰/۷/۳، پذیرش ۱۳۹۰/۱۰/۱۹.

$$\text{متوسط} \quad (3) \quad 1/6 M_p / V_p < e < 2/6 M_p / V_p$$

تیرهای پیوند کوتاه در برش جاری می شوند، در حالی که تیرهای پیوند بلند در اثر خمش جاری می شوند. تیرهای پیوند متوسط در اثر ترکیب برش و خمش جاری خواهند شد. مشاهده شده است که عملکرد و جذب انرژی تیرهای پیوند کوتاه که در برش جاری می شوند، مناسب تر از عملکرد و جذب انرژی تیرهای پیوند متوسط و بلند است. با توجه به ابهاماتی که در عملکرد تیرهای پیوند متوسط مشاهده شده است، در این پژوهش تلاش شده است که رفتار این نوع تیرها با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. با بررسی رفتارهای نایمن مشاهده شده در برخی از نمونه های تحقیقات پیشین^[۲،۳] سعی در شناسایی تأثیر پارامترهای مختلف بر این رفتارها و معرفی راه حلی برای آن ها شده است. علاوه بر این، سایر خصوصیات مؤثر در شکل پذیری تیرهای پیوند با طول متوسط نیز مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است.

۲. مروری بر مطالعات پیشین

اولین تحقیق در سال ۱۹۹۲ به صورت متمرکز بر روی رفتار تیرهای پیوند غیر برشی به صورت کار آزمایشگاهی بر روی مجموعه یی از تیرهای پیوند با طول متوسط و بلند انجام شد، که مهم ترین دستاورد آن، مجاز نبودن به کارگیری تیرهای بلند به صورت متصل به ستون بود. علت این امر وقوع شکست های ناگهانی به علت گسیختگی

اتصال ناشی از لنگرهای بسیار بالا گزارش شد.^[۴] هر چند ۱۲ سال بعد نتایج آزمایش برخی پژوهشگران نشان داد که نه فقط اتصال تیرهای بلند، بلکه اتصال تمامی انواع تیرهای پیوند مستقیماً به ستون تا انجام تحقیقات بیشتر و ارائه‌ی جزئیات اتصال مناسب مجاز نیست.^[۵] پس از آن تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی متفاوتی که یکی از مهم‌ترین اهداف آن‌ها بررسی اثر طول تیر پیوند بر روی رفتار آن بود صورت پذیرفت،^[۶,۳,۲] که نتایج تمامی آن‌ها حاکی از آن بود که مقاومت، سختی، و شکل‌پذیری تیرهای برشی بسیار بهتر از سایر انواع تیر پیوند است. در برخی از این تحقیقات^[۷] چند نمونه از تیرهای پیوند با طول متوسط به ظرفیت دورانی تعیین‌شده‌ی آیین‌نامه‌ی AISC ۲۰۰۵ (که از این به بعد آیین‌نامه خطاب می‌شود) نرسیدند و این نگرانی را ایجاد کردند که ضوابط آیین‌نامه در این خصوص ایمن نباشد.

تحقیقاتی در زمینه‌ی پارامترهای مؤثر در رفتار تیرهای متوسط از جمله نسبت پهنا به ضخامت بال، فواصل سخت‌کننده‌ها و پروتکل بارگذاری در گذشته انجام شده است و تأثیر این پارامترها بررسی شده و اصلاحات لازم در برخی از این موارد صورت گرفته است. مثلاً نسبت پهنا به ضخامت بال و پروتکل بارگذاری در ویرایش سال ۲۰۰۵ آیین‌نامه نسبت به ویرایش سال ۲۰۰۲ آن اصلاح شده است. یکی از پارامترهایی که مطالعات پیشین حاکی از ضعف آن بوده فواصل سخت‌کننده‌های تیرهای پیوند متوسط بوده است.^[۲] با توجه به اینکه روابط جاری آیین‌نامه‌ها در مورد فواصل سخت‌کننده‌های تیرهای مورد بحث از بسط تئوری روابط کمانش کشسانی برای ورق‌ها تحت برش خالص و بر مبنای پژوهشی در سال ۱۹۸۶^[۱] استخراج شده است، استفاده از این روابط برای تیرهای با طول متوسط و بلند باید با اصلاحاتی همراه باشد که در ضوابط آیین‌نامه‌های موجود چنین اصلاحاتی مشاهده نمی‌شود. این تذکر لازم است که عموم تحقیقات انجام‌شده در این زمینه با استفاده از خصوصیات فولادهای با استاندارد آمریکایی شامل A ۹۹۲ و A ۳۶ است.

۳. مروری بر روابط جاری آیین‌نامه

در این قسمت مهم‌ترین ضوابط آیین‌نامه در مورد تیر پیوند در قاب‌های مهاربندی شده‌ی و اگرچه در ارتباط با موضوع این تحقیق است، مرور می‌شود. در این راستا محدودیت‌های لاغری جان و بال تیر پیوند و همچنین مشخصات سخت‌کننده‌های میانی مذکور در آیین‌نامه ارائه می‌شود.

۱. نسبت عرض به ضخامت باید این شرایط (روابط ۴ الی ۶) را برآورده سازد:

الف) برای بال مقاطع I شکل:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.38 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} \quad (4)$$

ب) برای جان مقاطع I شکل:

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.14 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} (1 - 1.54 \frac{P_u}{\phi_b P_y}), \quad \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0.125 \quad (5)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} (2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y}), \quad \frac{P_u}{\phi_b P_y} > 0.125 \quad (6)$$

۲. فواصل سخت‌کننده‌های میانی براساس این ضوابط مشخص می‌شود:

الف) در تیرهای پیوند که در آن‌ها $e < 1/6 MP/VP$ ، فاصله‌ی تقویت‌کننده‌های عرضی میانی، a ، باید روابط ۷ الی ۹ را برآورده کند:

$$\alpha \leq \left(30 t_w - \frac{d_b}{5} \right), \quad \gamma_p = 0.08 \quad \text{برای} \quad (7)$$

$$\alpha \leq \left(52 t_w - \frac{d_b}{5} \right), \quad \gamma_p = 0.02 \quad \text{برای} \quad (8)$$

$$\alpha \leq (60 - 367 \gamma_p) t_w - \frac{d_b}{5}, \quad 0.02 < \gamma_p < 0.08 \quad \text{برای} \quad (9)$$

ب) در تیرهای پیوندی که $1/5 MP/VP < e < 5 MP/VP$ ، در جان تیر پیوند به فاصله‌ی ۱/۵ برابر عرض بال تیر، از هر یک از تقویت‌کننده‌های عرضی انتهایی، یک تقویت‌کننده‌ی عرضی میانی قرار داده شود.

ج) در تیرهای پیوندی که $1/6 MP/VP < e < 2/6 MP/VP$ ، فاصله‌ی تقویت‌کننده‌های عرضی میانی، باید شرایط الف و ب را برآورده کند.

د) برای تیرهای پیوند که در آن‌ها $(e > 5 MP/VP)$ ، لزومی به تعبیه‌ی تقویت‌کننده‌ی عرضی میانی نیست.

۳. مشخصات هندسی تقویت‌کننده‌های عرضی میانی براساس این ضوابط تعیین می‌شود:

برای تیرهای پیوندی که عمق آن‌ها کمتر از ۶۳/۵ سانتی‌متر باشد، تقویت‌کننده‌های عرضی میانی فقط لازم است در یک طرف جان تیر پیوند به‌کار برده شوند. در غیر این صورت، تقویت‌کننده‌های عرضی میانی باید به‌صورت جفت، در دو طرف جان تیر پیوند تعبیه شوند. عرض هر کدام از تقویت‌کننده‌ها در هر طرف جان، نباید از $(b_f/2 - t_w)$ و ضخامت آن‌ها نباید از t_w و یک سانتی‌متر کمتر باشد. اتصال تقویت‌کننده‌های عرضی به جان و هر یک از بال‌های تیر پیوند، باید توسط جوش گوشه برقرار شود.

در رابطه‌های ۱ الی ۹، b_f, t_f, h, t_w, d_b مشخصات هندسی مقطع تیر پیوند و به ترتیب نشان‌دهنده‌ی پهنای بال، ضخامت بال، عمق جان، ضخامت جان، و ارتفاع کل جان تیر پیوند است. سایر پارامترهای استفاده‌شده در این روابط عبارت‌اند از:

E_s : ضریب کشسانی فولاد

F_y : تنش تسلیم فولاد

P_u : تنش محوری موجود در روش طراحی نهایی

P_y : ظرفیت تسلیم محوری

ϕ_b : ضریب تقلیل مقاومت

e : طول تیر پیوند

M_p : لنگر خمیری تیر پیوند

V_p : برش خمیری تیر پیوند

γ_p : چرخش خمیری نیاز تیر پیوند

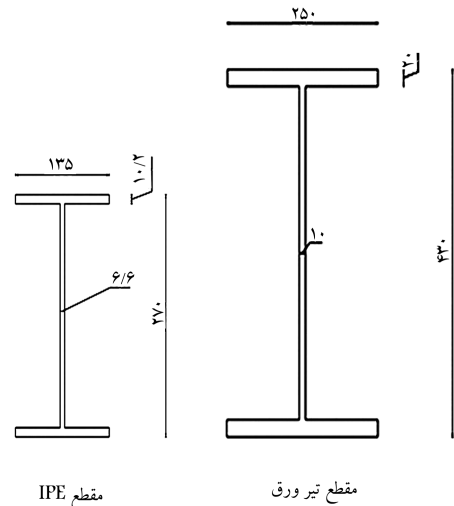
a : فواصل سخت‌کننده‌های میانی

۴. روش تحقیق

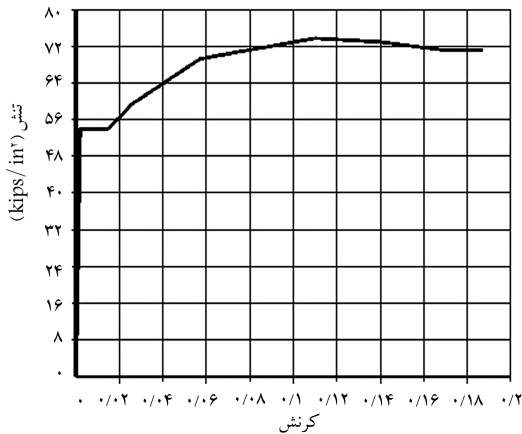
هدف اصلی این پروژه بررسی شکل‌پذیری و ظرفیت تیر پیوند با طول متوسط و مقایسه‌ی آن با شکل‌پذیری و ظرفیت مجاز آیین‌نامه است. قابل ذکر است که در

قانون جریان مرتبط استفاده شده، انتخاب شده است. لازم به ذکر است که با توجه به مطالعات قبلی انجام شده در این زمینه، استفاده از معیار کرنش سختی کینماتیک با توجه به رفتار واقعی تیر پیوند مناسب و کافی است.

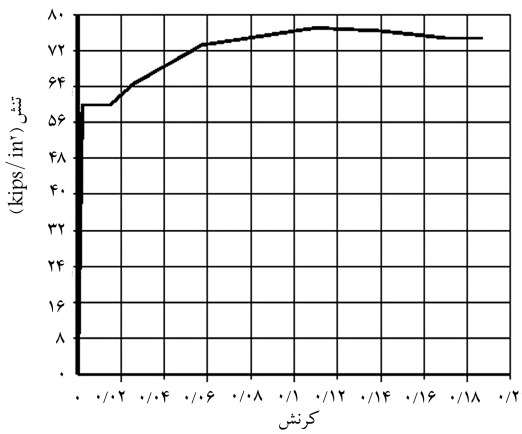
دو نوع فولاد به کار برده شده در این پژوهش عبارتند از: فولاد A992 و St37. نمودار تنش کرنش به کار برده شده برای فولاد A992 که فقط در نمونه‌یی که به منظور صحت‌سنجی نتایج به کار رفته، مطابق شکل ۲ است. قابل توجه است که بنا به آزمایش‌های انجام شده بر روی این نمونه‌ها منحنی خصوصیات رفتاری برای فولاد



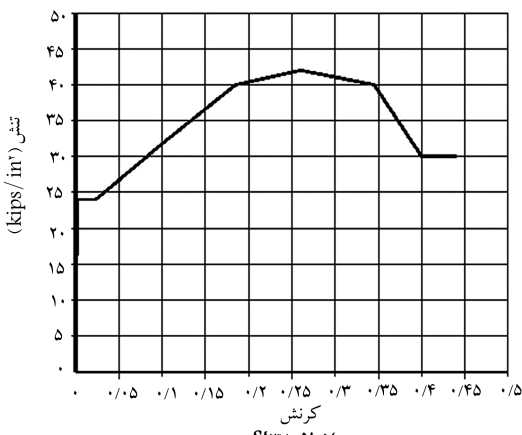
شکل ۱. مقاطع استفاده شده برای نمونه‌ها.



الف) فولاد بال در مدل صحت سنجی؛



ب) فولاد جان در مدل صحت سنجی؛



ج) فولاد St37.

شکل ۲. منحنی تنش کرنش فولادهای مختلف استفاده شده در این تحقیق.

این تحقیق اثر نیروی محوری در نظر گرفته نشده است. با توجه به اینکه نمونه‌های از جنس فولاد نرمه ساختمانی و با مقاطع منطبق با استاندارد DIN آلمان کمتر در مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است و با در نظر گرفتن اینکه در طراحی‌های رایج در کشورمان استفاده از این مشخصات معمول است، تمرکز کار بیشتر بر روی این نوع موارد خواهد بود.

مدل سازی تیر پیوند به صورت مجزا و با شرایطی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، در نرم افزار ANSYS صورت گرفته است [۸]. مطالعات پیشین در این زمینه دو نوع گسیختگی محتمل در تیرهای پیوند را نشان می‌دهد که شامل شکست ناشی از خستگی مواد در سیکل‌های پایین و کاهش مقاومت مرتبط با کماتش موضعی اجزای تیر است [۱]. با توجه به اینکه تحقیقات آزمایشگاهی و عددی [۹، ۱۰] صورت گرفته، نشانگر عملکرد بحث برانگیز برخی از نمونه‌هاست که شکست نوع دوم را تجربه می‌کنند، در این پژوهش تلاش شده است شرایط مدل استفاده شده به گونه‌یی در نظر گرفته شود که این مدل شکست که در تیرهای پیوند متوسط و بلند محتمل است، بررسی شود. بدین منظور در هر مرحله با ساختن مدل‌های مورد نیاز که ویژگی مشخصی از تیر پیوند را بررسی می‌کنند، رفتار تیر پیوند مورد ارزیابی و تحلیل قرار می‌گیرد. خلاصه‌ی مشخصات تمامی مدل‌های استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است. همچنین مقاطع استفاده شده نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است اسامی انتخاب شده برای مدل‌ها بر اساس منطق زیر است: قسمت اول از سمت چپ معرف سطح مقطع انتخابی و طول تیر پیوند (برحسب سانتی‌متر) است. دو قسمت بعدی به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ضخامت و تعداد سخت‌کننده‌های مدل است که ۱M، ۲M، ۱L و ۲L به ترتیب نشان‌دهنده‌ی حالاتی که تعداد سخت‌کننده‌ها ۱ یا ۲ عدد کمتر و ۱ یا ۲ عدد بیشتر از تعداد مربوط به نمونه‌ی مبنا و همچنین حرف n نشان‌دهنده‌ی ثابت بودن آن پارامتر نسبت به نمونه‌ی مبناست. قسمت بعدی استفاده شده در اسم‌گذاری‌ها مشخص می‌کند که آیا سخت‌کننده‌ها در یک طرف یا دو طرف جان قرار گرفته‌اند.

۵. مشخصات مواد

در این پژوهش برای مدل کردن فولاد با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار استفاده شده، گزینه‌ی کرنش سختی کینماتیک چندخطی که در آن از سطوح تسلیم فون میززو

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های استفاده‌شده.

مشخصات سخت‌کننده		مشخصات تیر پیوند				شماره
t_s (mm)	a_s (mm)	$\rho = e/(M_p/V_p)$	e (mm)	مقطع	عنوان	
۱۰	۱۲۵	۱٫۶۱	۷۵°	IPE۲۷°	IP۷۵-n-n-۲-n	۱
۱۰	۱۶۰	۱٫۷۲	۸۰°	IPE۲۷°	IP۸۰-n-n-۲-n	۲
۱۰	۱۷۰	۱٫۸۲	۸۵°	IPE۲۷°	IP۸۵-n-n-۲-n	۳
۱۰	۱۸۰	۱٫۹۳	۹۰°	IPE۲۷°	IP۹۰-n-n-۲-n	۴
۱۰	۲۰۰	۲٫۱۵	۱۰۰°	IPE۲۷°	IP۱۰۰-n-n-۲-n	۵
۱۰	۲@۲۰۰(دو انتها)+۳@۲۳۵(وسط)	۲٫۳۶	۱۱۰°	IPE۲۷°	IP۱۱۰-n-n-۲-n	۶
۱۰	۲@۲۰۰(دو انتها)+۳@۲۶۵(وسط)	۲٫۵۸	۱۲۰°	IPE۲۷°	IP۱۲۰-n-n-۲-n	۷
۱۰	یک سمت) ۱۲۵	۱٫۶۱	۷۵°	IPE۲۷°	IP۷۵-n-n-۱-n	۸
۱۰	یک سمت) ۱۶۰	۱٫۷۲	۸۰°	IPE۲۷°	IP۸۰-n-n-۱-n	۹
۱۰	یک سمت) ۱۷۰	۱٫۸۲	۸۵°	IPE۲۷°	IP۸۵-n-n-۱-n	۱۰
۱۰	یک سمت) ۱۸۰	۱٫۹۳	۹۰°	IPE۲۷°	IP۹۰-n-n-۱-n	۱۱
۱۰	یک سمت) ۲۰۰	۲٫۱۵	۱۰۰°	IPE۲۷°	IP۱۰۰-n-n-۱-n	۱۲
۱۰	یک سمت) ۲@۲۰۰(دو انتها)+۳@۲۳۵(وسط)	۲٫۳۶	۱۱۰°	IPE۲۷°	IP۱۱۰-n-n-۱-n	۱۳
۱۰	یک سمت) ۲@۲۰۰(دو انتها)+۳@۲۶۵(وسط)	۲٫۵۸	۱۲۰°	IPE۲۷°	IP۱۲۰-n-n-۱-n	۱۴
۱۰	۲۱۲٫۵	۱٫۶۴	۱۷۰°	built-up	BU۱۷۰-n-n-۲-n	۱۵
۱۰	۲۳۷٫۵	۱٫۸۳	۱۹۰°	built-up	BU۱۹۰-n-n-۲-n	۱۶
۱۰	۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-n-n-۲-n	۱۷
۱۰	۳۲۸٫۶	۲٫۲۱	۲۳۰°	built-up	BU۲۳۰-n-n-۲-n	۱۸
۱۰	۵@۳۵(دو انتها)+۲@۳۷۵(وسط)	۲٫۴۱	۲۵۰°	built-up	BU۲۵۰-n-n-۲-n	۱۹
۱۰	۵@۳۹۰(دو انتها)+۲@۳۷۵(وسط)	۲٫۶۰	۲۷۰°	built-up	BU۲۷۰-n-n-۲-n	۲۰
۱۰	یک سمت) ۲۱۲٫۵	۱٫۶۴	۱۷۰°	built-up	BU۱۷۰-n-n-۱-n	۲۱
۱۰	یک سمت) ۲۳۷٫۵	۱٫۸۳	۱۹۰°	built-up	BU۱۹۰-n-n-۱-n	۲۲
۱۰	یک سمت) ۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-n-n-۱-n	۲۳
۱۰	یک سمت) ۳۲۸٫۶	۲٫۲۱	۲۳۰°	built-up	BU۲۳۰-n-n-۱-n	۲۴
۱۰	یک سمت) ۵@۳۵(دو انتها)+۲@۳۷۵(وسط)	۲٫۴۱	۲۵۰°	built-up	BU۲۵۰-n-n-۱-n	۲۵
۱۰	یک سمت) ۵@۳۹۰(دو انتها)+۲@۳۷۵(وسط)	۲٫۶۰	۲۷۰°	built-up	BU۲۷۰-n-n-۱-n	۲۶
۱۰	۲۴۲٫۹	۱٫۶۴	۱۷۰°	built-up	BU۱۷۰-n-۱L-۲-n	۲۷
۱۰	۲۷۱٫۴	۱٫۸۳	۱۹۰°	built-up	BU۱۹۰-n-۱L-۲-n	۲۸
۱۰	۳۵۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-n-۱L-۲-n	۲۹
۱۰	۳۸۳٫۳	۲٫۲۱	۲۳۰°	built-up	BU۲۳۰-n-۱L-۲-n	۳۰
۱۰	۲۴۲٫۹	۱٫۶۴	۱۷۰°	built-up	BU۱۷۰-n-۱L-۱-n	۳۱
۱۰	۲۷۱٫۴	۱٫۸۳	۱۹۰°	built-up	BU۱۹۰-n-۱L-۱-n	۳۲
۱۰	۳۵۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-n-۱L-۱-n	۳۳
۱۰	۳۸۳٫۳	۲٫۲۱	۲۳۰°	built-up	BU۲۳۰-n-۱L-۱-n	۳۴
۰٫۵	۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-۰٫۵-n-۱-n	۳۵
۰٫۶	۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-۰٫۶-n-۱-n	۳۶
۰٫۸	۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-۰٫۸-n-۱-n	۳۷
۱٫۲	۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-۱٫۲-n-۱-n	۳۸
۱٫۴	۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-۱٫۴-n-۱-n	۳۹
۱٫۵	۳۰۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-۱٫۵-n-۱-n	۴۰
۱۰	یک سمت) ۴۲۰	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-n-۲L-۱-n	۴۱
۱۰	یک سمت) ۲۶۲٫۵	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-n-۱M-۱-n	۴۲
۱۰	یک سمت) ۲۳۳٫۳	۲٫۰۲	۲۱۰°	built-up	BU۲۱۰-n-۲M-۱-n	۴۳

۷. تنظیمات مدل و صحت‌سنجی نتایج

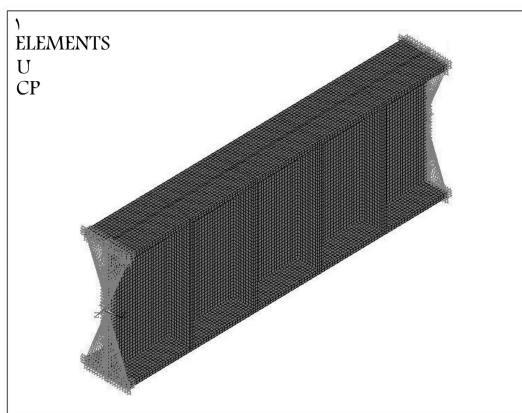
پس از آنالیز مدلی با ریزش‌دگی موضعی شبکه‌بندی در نواحی حساس و مقایسه‌ی نتایج آن با مدلی با شبکه‌بندی یکنواخت در رفتار کلی سازه تغییر چندانی مشاهده نشد. با توجه به این موضوع و همچنین در نظر گرفتن این واقعیت که در این تحقیق رفتار کلی مدل مدنظر بوده است و رفتار موضعی مناطق حساس مورد بحث قرار نمی‌گیرد، از ریزکردن موضعی شبکه در مناطق با تمرکز تنش بالا صرف‌نظر شد.

موضوع دیگری که در مدل‌سازی دارای اهمیت خاصی است، نحوه‌ی اعمال شرایط مرزی و بارگذاری بر روی گره‌های انتهایی مدل است. به منظور عدم مواجهه با مشکل تمرکز تنش که در صورت اعمال بار به یکی از گره‌های سطوح انتهایی ایجاد می‌شود، از ویژگی جفت کردن^۲ در نرم‌افزار استفاده شد. بدین منظور تمامی درجه‌های آزادی گره‌های سطوح مذکور به یکی از گره‌های آن سطح وابسته شد و تمامی شرایط مرزی و بارگذاری‌های به آن گره (گره‌ی اصلی^۳) اعمال شد.

به منظور بررسی صحت مدل‌سازی‌ها، یک نمونه تیر پیوند (نمونه‌ی مورد استفاده، نمونه‌ی UTA۲ است) با مشخصات آزمایش‌های انجام‌شده توسط آرکه^۴ ساخته شد و منحنی هیستریزیس آن با مورد نظیر آزمایش مقایسه شد که انطباق مناسبی بین نتایج مشاهده شد. برای بارگذاری نمونه همانند آنچه در آزمایش استفاده شده بود، از پروتکل بارگذاری آیین‌نامه‌ی AISC۲۰۰۲^[۱۱] بهره گرفته شده است. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نمونه‌ی ساخته‌شده برای صحت‌سنجی و مقایسه‌ی منحنی هیستریزیس استخراج شده با آزمایش و همچنین کار تحلیلی انجام‌شده‌ی ریچاردز و یوانگ^[۱۲] را نشان می‌دهد.

۸. ارزیابی نتایج

به منظور به دست آوردن ظرفیت دورانی هر نمونه‌ی منحنی پوش آن با استفاده از پیشینه‌ی پاسخ در سیکل‌های اول هر تغییر مکان بر روی منحنی هیستریزیس آن ترسیم شد و ظرفیت چرخش خمیری که در این تحقیق متناظر با نقطه‌ی افت مقاومت منحنی پوش در نظر گرفته شده است، محاسبه شد (شکل ۶). در جدول ۲ خروجی‌های هر نمونه ارائه شده است. کرنش‌های خمیری، تنش‌های خمیری معادل، نسبت تنش معادل و تغییر مکان‌های هر گام بارگذاری مخصوصاً گام‌های حساس خروجی‌هایی از نرم‌افزار است که برای تحلیل و بررسی نتایج از آن‌ها استفاده شده است.



شکل ۴. نمونه‌ی ساخته‌شده برای صحت‌سنجی.

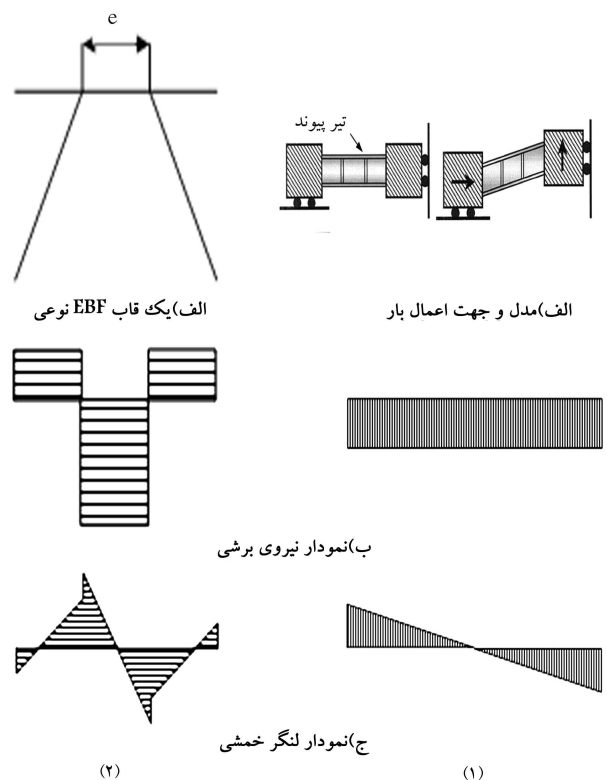
جان و بال به صورت جداگانه در گزارش مربوطه ارائه شده و بنابراین در مدل‌سازی نیز برای جان و بال دو منحنی رفتاری جداگانه در نظر گرفته شده است.

نمونه‌های ساخته‌شده در این تحقیق از جنس فولاد St۳۷ است که منحنی تنش کرنش تک محوری آن بر اساس کمیته‌ی مقادیر ذکر شده در استاندارد دین آلمان مورد استفاده قرار گرفته است. منحنی تنش - کرنش استفاده‌شده برای این نوع فولاد نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. ضریب پواسون معادل ۰/۳ و مقدار مدول کشسانی 21000 kg/mm^2 در نظر گرفته شده است.^[۱۰]

با توجه به موارد فوق‌الذکر شرایط مرزی مدل به صورت شکل ۳ انتخاب می‌شود. همچنین در این شکل نیروهای معمول ایجاد شده در تیر پیوند در قاب‌های مهاربندی شده‌ی واگرا نشان داده شده است. به هر حال، اعمال شرایط مرزی و بارگذاری به نحوه‌ی مذکور به مدل که مطابق با پیشنهاد ریچاردز و یوانگ است،^[۱۲] باعث ایجاد برش ثابت در طول تیر و لنگرهای خمشی انتهایی مساوی و همچنین عدم ایجاد نیروی محوری می‌شود.

۶. بارگذاری

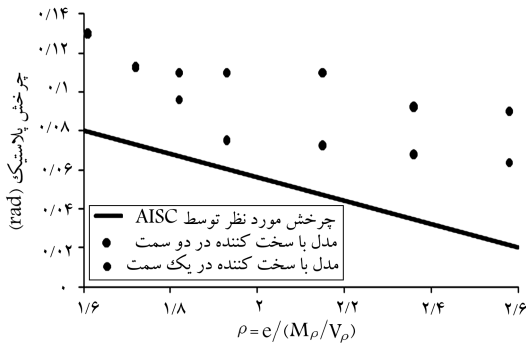
بارگذاری مدل‌ها به صورت شبه‌استاتیکی غیرخطی است. برای بارگذاری مدل‌ها از پروتکل پیشنهادی آیین‌نامه‌ی AISC۲۰۰۵ استفاده شده است. با توجه به اهمیت کماتش موضعی جان و بال در رفتار تیر پیوند بارها به صورت رفت و برگشتی به نمونه‌ها اعمال شد. بارگذاری با اعمال تغییر مکان قائم به گره‌ی سمت راست مدل برای حصول دوران کل مورد نیاز در هر چرخه‌ی بار انجام شد.



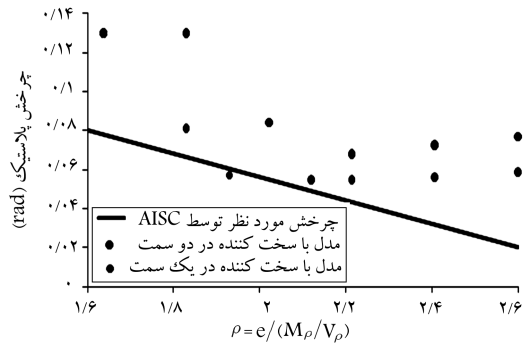
شکل ۳. مدل و شرایط مرزی به همراه نمودار برش و لنگر خمشی آن (۱) و توزیع نیروهای معمول در یک قاب EBF (۲).

جدول ۲. نتایج مدل‌ها.

چرخش پلاستیک براساس AISC۲۰۰۵ ^[۱۰]	مشخصات تیر پیوند						عنوان	شماره
	نتیجه			V_n (ton)	M_p (t.m)	V_p (ton)		
	λ_p	V_{ult}/V_n	V_{ult} (ton)					
۰٫۰۸	۰٫۱۳۰	۱٫۳۹۶	۳۳٫۱۳	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۷۵-n-n-۲-n	۱
۰٫۰۷	۰٫۱۱۳	۱٫۱۴۸	۲۷٫۲۳	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۸۰-n-n-۲-n	۲
۰٫۰۷	۰٫۱۱۰	۱٫۱۰۵	۲۶٫۲۰	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۸۵-n-n-۲-n	۳
۰٫۰۶	۰٫۱۱۰	۱٫۰۶۶	۲۵٫۲۹	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۹۰-n-n-۲-n	۴
۰٫۰۵	۰٫۱۱۰	۱٫۰۶۸	۲۳٫۶۱	۲۲٫۱۱	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۱۰۰-n-n-۲-n	۵
۰٫۰۳	۰٫۰۹۲	۱٫۰۹۳	۲۱٫۹۶	۲۰٫۱۰	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۱۱۰-n-n-۲-n	۶
۰٫۰۲	۰٫۰۹۰	۱٫۱۲۴	۲۰٫۷۱	۱۸٫۴۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۱۲۰-n-n-۲-n	۷
۰٫۰۸	۰٫۱۳۰	۱٫۳۵۱	۳۲٫۰۶	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۷۵-n-n-۱-n	۸
۰٫۰۷	۰٫۱۱۳	۱٫۱۴۲	۲۷٫۰۸	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۸۰-n-n-۱-n	۹
۰٫۰۷	۰٫۰۹۶	۱٫۰۸۴	۲۵٫۷۰	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۸۵-n-n-۱-n	۱۰
۰٫۰۶	۰٫۰۷۵	۱٫۰۴۴	۲۴٫۷۶	۲۳٫۷۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۹۰-n-n-۱-n	۱۱
۰٫۰۵	۰٫۰۷۳	۱٫۰۶۶	۲۳٫۵۷	۲۲٫۱۱	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۱۰۰-n-n-۱-n	۱۲
۰٫۰۳	۰٫۰۶۸	۱٫۰۸۶	۲۱٫۸۲	۲۰٫۱۰	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۱۱۰-n-n-۱-n	۱۳
۰٫۰۲	۰٫۰۶۴	۱٫۰۹۴	۲۰٫۱۵	۱۸٫۴۲	۱۱٫۰۵	۲۳٫۷۲	IP۱۲۰-n-n-۱-n	۱۴
۰٫۰۸۰	۰٫۱۳۰	۱٫۲۴۹	۷۰٫۱۵	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۷۰-n-n-۲-n	۱۵
۰٫۰۶۶	۰٫۱۳۰	۱٫۲۴	۶۳٫۱۲	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۹۰-n-n-۲-n	۱۶
۰٫۰۵۵	۰٫۰۸۴	۱٫۰۱۷	۵۶٫۴۸	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-n-n-۲-n	۱۷
۰٫۰۴۳	۰٫۰۶۸	۱٫۰۴۵	۵۲٫۹۹	۵۰٫۷۲	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۳۰-n-n-۲-n	۱۸
۰٫۰۳۲	۰٫۰۷۳	۱٫۰۶۵	۴۹٫۶۹	۴۶٫۶۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۵۰-n-n-۲-n	۱۹
۰٫۰۲۰	۰٫۰۷۷	۱٫۰۷۳	۴۶٫۳۶	۴۳٫۲۰	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۷۰-n-n-۲-n	۲۰
۰٫۰۸۰	۰٫۱۳۰	۱٫۲۴۷	۷۰٫۰۲	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۷۰-n-n-۱-n	۲۱
۰٫۰۶۶	۰٫۰۸۱	۱٫۰۹۱	۶۱٫۲۵	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۹۰-n-n-۱-n	۲۲
۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۳	۰٫۹۹۳	۵۵٫۱۴	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-n-n-۱-n	۲۳
۰٫۰۴۳	۰٫۰۵۵	۱٫۰۵۲	۵۳٫۳۶	۵۰٫۷۲	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۳۰-n-n-۱-n	۲۴
۰٫۰۳۲	۰٫۰۵۶	۱٫۰۶۹	۴۹٫۸۸	۴۶٫۶۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۵۰-n-n-۱-n	۲۵
۰٫۰۲۰	۰٫۰۵۹	۱٫۰۷۲	۴۶٫۳۲	۴۳٫۲۰	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۷۰-n-n-۱-n	۲۶
۰٫۰۸۰	۰٫۱۳۰	۱٫۲۴۰	۶۹٫۶۲	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۷۰-n-۱L-۲-n	۲۷
۰٫۰۶۶	۰٫۱۳۰	۱٫۱۰۸	۶۲٫۲۵	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۹۰-n-۱L-۲-n	۲۸
۰٫۰۵۵	۰٫۰۵۵	۱٫۰۰۴	۵۵٫۸۰	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-n-۱L-۲-n	۲۹
۰٫۰۴۳	۰٫۰۶۹	۱٫۰۴۳	۵۲٫۸۸	۵۰٫۷۲	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۳۰-n-۱L-۲-n	۳۰
۰٫۰۸۰	۰٫۱۰۰	۱٫۱۶۴	۶۵٫۳۸	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۷۰-n-۱L-۱-n	۳۱
۰٫۰۶۶	۰٫۰۶۶	۱٫۰۶۶	۵۹٫۸۶	۵۶٫۱۶	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۱۹۰-n-۱L-۱-n	۳۲
۰٫۰۵۵	۰٫۰۳۴	۰٫۹۹۰	۵۵٫۰۰	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-n-۱L-۱-n	۳۳
۰٫۰۴۳	۰٫۰۵۱	۱٫۰۴۵	۵۳٫۰۱	۵۰٫۷۲	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۳۰-n-۱L-۱-n	۳۴
۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۱۹	۰٫۹۹۲	۵۵٫۰۹	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-۰٫۵-n-۱-n	۳۵
۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۲۷	۰٫۹۹۱	۵۵٫۰۷	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-۰٫۶-n-۱-n	۳۶
۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۲۱	۰٫۹۹۲	۵۵٫۰۸	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-۰٫۸-n-۱-n	۳۷
۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۲۸	۰٫۹۹۳	۵۵٫۱۷	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-۱٫۲-n-۱-n	۳۸
۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۳۲	۰٫۹۹۶	۵۵٫۳۱	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-۱٫۴-n-۱-n	۳۹
۰٫۰۵۵	۰٫۰۴۳۲	۰٫۹۹۶	۵۵٫۳۰	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-۱٫۵-n-۱-n	۴۰
۰٫۰۵۵	۰٫۰۳۶	۰٫۹۸۷	۵۴٫۸۲	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-n-۲L-۱-n	۴۱
۰٫۰۵۵	۰٫۰۵۹	۱٫۰۰۷	۵۵٫۹۴	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-n-۱M-۱-n	۴۲
۰٫۰۵۵	۰٫۰۶۵	۱٫۰۲۳	۵۶٫۸۱	۵۵٫۵۵	۵۸٫۳۳	۵۶٫۱۶	BU۲۱۰-n-۲M-۱-n	۴۳

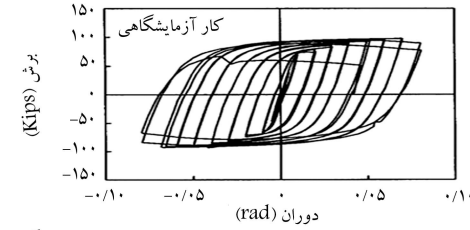
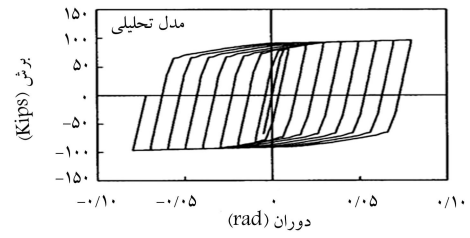


الف) نیمرخ IPE270 و تیر ورق؛

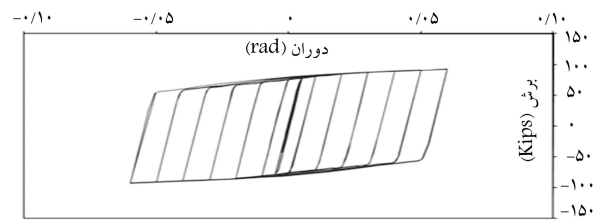


ب) نیمرخ IPE270 و مقایسه با ظرفیت مجاز.

شکل ۷. دوران خمیری مدل‌های ساخته شده.

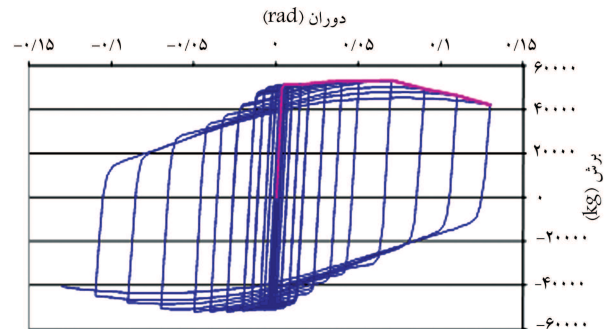


الف) منحنی هیستریزس نمونه UTA2 در کار تحلیلی ریچاردز و یوانگ و کار آزمایشگاهی آرکه؛



ب) منحنی هیستریزس استخراج شده از مدل.

شکل ۵. صحت‌سنجی نتایج.



شکل ۶. منحنی هیستریزس یکی از مدل‌ها (نمونه‌ی شماره‌ی ۲۴) و منحنی پوش حاصله از آن.

۲.۸. بررسی رفتار نمونه‌های ساخته شده از تیر ورق

در گام بعدی نتایج مدل‌های ساخته شده از تیر ورق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به ابعاد نشان داده شده در شکل ۱ نسبت عرض به ضخامت بال ضابطه‌ی آیین‌نامه را ارضا کرده و داریم:

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{25}{2 \times 2} = 6.25 \leq 8.87 \quad \text{مناسب}$$

همچنین در مورد نمونه‌های ساخته شده از پروفیل IPE این نسبت عبارت است از:

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{13.5}{2 \times 1.02} = 6.62 \leq 8.87 \quad \text{مناسب}$$

مشاهده می‌شود علی‌رغم لاغری بال بیشتر این پروفیل نسبت به مقاطع تیر ورق استفاده شده باز هم ضابطه‌ی آیین‌نامه در این مورد ارضا می‌شود.

نسبت طولی تمامی نمونه‌های ساخته شده از تیر ورق (نسبت طولی نامیده

می‌شود) به نحوی است که تماماً در محدوده‌ی رفتاری خمشی - برشی هستند. برای این نمونه‌ها ظرفیت دورانی نمونه‌ها همانند آنچه برای مدل‌های ساخته شده از نیمرخ IPE270 انجام گرفت، محاسبه شد و در شکل ۷ با ظرفیت مجاز آن مقایسه شد.

موضوعی که در این شکل بیش از همه جلب توجه می‌کند، کمتر بودن ظرفیت دورانی دو نمونه از ظرفیت مجاز آن است. با در نظر گرفتن این مطلب که لاغری بال با فاصله‌ی مناسبی کمتر از مقدار مجاز آن است و همچنین فواصل سخت‌کننده‌ها

۱.۸. بررسی رفتار نمونه‌های ساخته شده از پروفیل IPE270

ظرفیت چرخش خمیری استخراج شده برای مدل‌های ساخته شده از پروفیل IPE270 تماماً بیشتر از ظرفیت چرخش خمیری مورد نیاز بیان شده توسط آیین‌نامه‌ی AISC2005 است و بنابراین ضوابط آیین‌نامه برای این پروفیل‌ها مناسب به نظر می‌رسد. در شکل ۷ الف مقادیر چرخش این نمونه‌ها به همراه چرخش مجاز آن‌ها نشان داده شده است.

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در بسیاری از نواحی مقادیر حاصل شده به مقدار کافی از مقادیر مورد نیاز بیشتر بوده و فقط در یک محدوده‌ی طولی محدوده‌ی مقادیر (2/2 < rho < 1/8) به مقادیر مورد نیاز نزدیک‌تر شده است، ولی حتی در این محدوده نیز از مقادیر مورد نیاز کمتر نمی‌شود. این محدوده،

محافظه‌کارانه و به عبارت دیگر کمترین مقدار ممکن آن از دید آیین‌نامه است، نرسیدن ظرفیت دورانی این دو نمونه به ظرفیت مجاز آن نگرانی از نایم‌بودن ضوابط آیین‌نامه در این زمینه را به همراه دارد. بررسی دقیق‌تر یکی از این نمونه‌ها (نمونه‌ی شماره‌ی ۲۳) در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

با مقایسه‌ی دو نمودار موجود در شکل ۷ دو وجه تشابه مهم قابل تشخیص است. اولین پدیده‌ی مشترکی که در این دو شکل مشاهده می‌شود، این است که در محدوده‌ی طولی که قبلاً به‌عنوان محدوده‌ی رفتاری بحث‌برانگیز معرفی شده بود، تأثیر یک طرفه‌کردن سخت‌کننده‌ها در کاهش ظرفیت دورانی تیرها به مراتب بیشتر از تأثیر آن در سایر طول‌های تیر پیوند است.

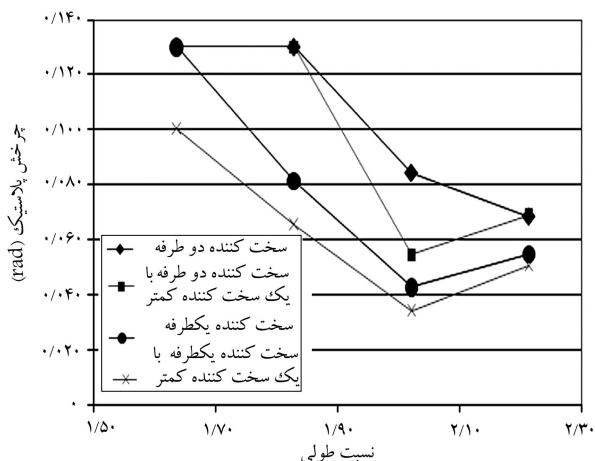
روند یکسان دیگر در مقایسه‌ی ظرفیت دورانی نمونه‌های ساخته‌شده از تیر ورق و پروفیل IPE۲۷۰ پایین‌تر بودن محسوس ظرفیت دورانی نمونه‌ها در محدوده‌ی رفتاری بحث‌برانگیز به نسبت محدوده‌های طولی مجاور خود است.

۳.۸. بررسی تأثیر فواصل سخت‌کننده در محدوده‌ی طولی تیرهای متوسط

به‌منظور بررسی میزان اهمیت فواصل سخت‌کننده‌ها تعدادی از نمونه‌های ساخته‌شده با تیر ورق با تعداد سخت‌کننده‌هایی به میزان یک عدد کمتر از مقادیر موجود آن‌ها ساخته شد و مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت (نمونه‌های شماره‌ی ۲۷ تا ۳۴). البته در ادامه‌ی این بررسی به‌صورت عمیق‌تری بر روی مدل شماره‌ی ۲۳ انجام شد.

ظرفیت دورانی هر نمونه با نمونه‌ی متناظر آن با یک سخت‌کننده‌ی کمتر در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل داده‌های پررنگ مربوط به نمونه‌های با تعداد سخت‌کننده‌ی اولیه هستند و داده‌های کم‌رنگ نمونه‌های با یک عدد سخت‌کننده‌ی کمتر را نشان می‌دهد که بسته به قرار داشتن سخت‌کننده‌ها در یک طرف یا دو طرف جان هر کدام در دو سری ارائه شده‌اند.

همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، به‌نظر می‌رسد تأثیر زیاد شدن فواصل سخت‌کننده در کاهش ظرفیت دورانی مدل‌هایی که در محدوده‌ی طولی با رفتار بحث‌برانگیز قرار دارند، بیشتر باشد و این تأثیر در نمونه‌های با سخت‌کننده‌ی دو طرفه قابل ملاحظه‌تر است. همچنین از روی شکل می‌توان نتیجه گرفت که برخلاف نسبت لاغری بال که تحقیقات قبلی نشان‌دهنده‌ی نامشخص بودن تأثیر افزایش یا کاهش آن



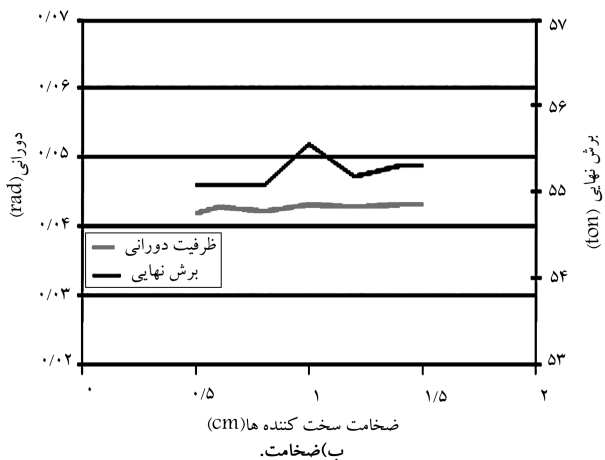
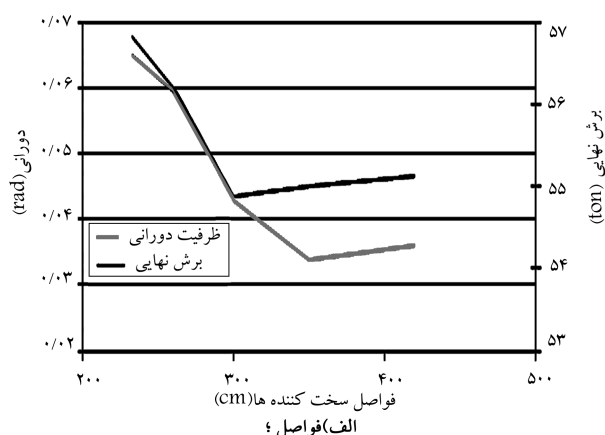
شکل ۸. مقایسه‌ی ظرفیت دورانی نمونه‌ها با نمونه‌های متناظر با یک سخت‌کننده‌ی کمتر.

بر بهبود یا تضعیف رفتار تیر پیوند بوده است، افزایش فاصله‌ی سخت‌کننده‌ها قطعاً تأثیر منفی در ظرفیت دورانی تیر پیوند دارد.

۴.۸. رفتار مدل شماره‌ی ۲۳

یکی از پارامترهای مؤثر در رفتار تیر پیوند مشخصات سخت‌کننده‌هاست که مخصوصاً برای تیرهای واقع در محدوده‌ی برشی و برشی - خمشی نقش به‌سزایی در افزایش یا کاهش ظرفیت باربری تیر پیوند دارد. برای نمونه‌ی شماره‌ی ۲۳، سه نمونه‌ی دیگر علاوه بر نمونه‌ی که با یک سخت‌کننده‌ی کمتر در قسمت‌های قبلی ساخته شده بود در این قسمت مدل شد (نمونه‌های ۴۱ تا ۴۳) تا بررسی تأثیر فاصله‌ی سخت‌کننده‌ها به‌صورت دقیق‌تر ممکن باشد، نتیجه‌ی که از این مدل‌ها حاصل شد این بود که با اضافه‌کردن سخت‌کننده‌ی ظرفیت دورانی نمونه‌ها به‌شدت افزایش پیدا کرد و هر دو نمونه با سخت‌کننده‌ی بیشتر به ظرفیت مجاز تعیین‌شده توسط آیین‌نامه رسیدند. همچنین برای بررسی تأثیر ضخامت سخت‌کننده‌ها، ۶ نمونه با ضخامت سخت‌کننده‌ی کمتر و بیشتر از مقدار موجود نمونه‌ی شماره‌ی ۲۳ مدل شد (نمونه‌های ۳۵ تا ۴۰). نتایج حاصله نشان داد که تغییر ضخامت سخت‌کننده‌ها تأثیر زیادی در رفتار تیر پیوند ندارد.

شکل ۹ تغییر ظرفیت چرخشی و ظرفیت نیرویی نهایی را براساس تغییر در مشخصات سخت‌کننده‌ها برای نمونه‌ی شماره‌ی ۲۳ نشان می‌دهد.



شکل ۹. تغییر رفتار تیر پیوند شماره‌ی ۲۳ با تغییر فواصل، ضخامت و سخت‌کننده‌ها.

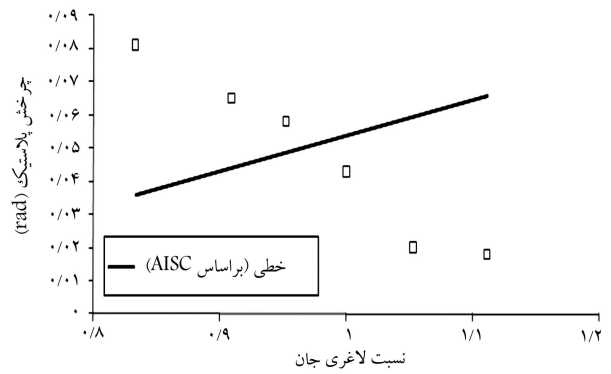
بیشتر است. این تأثیر در محدوده‌ی طولی که در این تحقیق به عنوان محدوده‌ی رفتاری بحث‌برانگیز معرفی شده است ($0.18 < \rho < 0.2$) بسیار ملموس‌تر است.

۲. ضخامت سخت‌کننده‌های میانی تأثیر چندانی بر روی رفتار تیر پیوند ندارد.

۳. یک طرفه‌کردن سخت‌کننده‌ها در تیرهای واقع در محدوده‌ی رفتاری بحث‌برانگیز باعث کاهش ظرفیت دورانی تیر پیوند شده و در برخی از حالات باعث بیش از ۵۰٪ کاهش ظرفیت دورانی تیر می‌شود.

۴. در ضوابط جاری آیین‌نامه از پارامترهای هندسی تیر پیوند فقط نسبت عرض به ضخامت بال ذکر شده است. لاغری بال مقطع پروفیل استفاده‌شده در این تحقیق کمی بیشتر از تیر ورق استفاده‌شده است، ولی لاغری جان آن کمتر از مقطع تیر ورق است، با این حال رفتار نمونه‌های ساخته‌شده از پروفیل مخصوصاً در ناحیه‌ی رفتاری بحث‌برانگیز بهتر از رفتار نمونه‌های ساخته‌شده از تیر ورق است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده‌ی این حقیقت باشد که برای تیرهای پیوند واقع در محدوده‌ی رفتاری بحث‌برانگیز نسبت ارتفاع به ضخامت جان نیز می‌تواند از پارامترهای تأثیرگذار بر رفتار تیر پیوند باشد. نمونه‌های تکمیلی ساخته‌شده بدین منظور نیز این موضوع را تأیید کردند.

۵. با توجه به رفتار ناایمن یکی از نمونه‌های واقع در محدوده‌ی رفتاری بحث‌برانگیز و همچنین موارد مشابه مشاهده‌شده در تحقیقات پیشین پیشنهاد می‌شود که در صورت امکان طراحان از طراحی تیر پیوند در محدوده‌ی مذکور خودداری کنند. در شرایطی که گزینه‌ی دیگری برای طراح وجود نداشته باشد توصیه می‌شود فواصل سخت‌کننده‌های میانی براساس بیشینه‌ی ظرفیت دورانی تیر محاسبه‌شده (محافظه‌کارانه‌ترین مقدار) و سخت‌کننده‌ها حتماً در دو طرف جان تیر پیوند قرار بگیرند.



شکل ۱۰. تغییر رفتار تیر پیوند با تغییر نسبت لاغری جان.

برای بررسی تأثیر لاغری جان بر روی رفتار تیر پیوند مدل‌هایی با نسبت لاغری‌های متفاوت جان که با تغییر ضخامت جان حاصل می‌شد، ایجاد شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی این موضوع بود که لاغری جان نیز نقش به‌سزایی در ظرفیت دورانی قابل تحمل تیر پیوند دارد (شکل ۱۰).

۹. نتیجه‌گیری

با توجه به بحث‌های ارائه‌شده در این تحقیق نتایج به‌صورت خلاصه در چند بند زیر ارائه می‌شود:

۱. با بررسی‌های انجام‌گرفته به‌نظر می‌رسد فواصل سخت‌کننده‌های میانی مهم‌ترین پارامتر هندسی در رفتار تیرهای پیوند برشی - خمشی بوده و تأثیر آن از لاغری بال

پانویس‌ها

1. Kasai and Popov
2. coupling
3. master node
4. Arce

منابع (References)

1. Roeder, C.W. and Popov, E.P. "Eccentrically braced steel frames for earthquake", *Journal of Structural Division, ASCE*, **104**(ST3), pp. 391-412 (1978).
2. Richards, P.W. and Uang, C.M. "Effect of flange width thickness ratio on eccentrically braced frames link cyclic

rotation capacity", *Journal of Structural Engineering*, **131**(10), pp. 1546-1552 (October 2005).

3. Okazaki, T. and Engelhardt, M.D. "Cyclic loading behavior of EBF links constructed of ASTM A992 steel", *Journal of Constructional Steel Research*, **63**(6), pp. 51-765 (2007).
4. Engelhardt, M.D. and Popov, E.D. "Experimental performance of long links in eccentrically braced frames", *Journal Struct. Eng.*, **118**(11), pp. 3067-3088 (1992).
5. Okazaki, T., *Seismic Performance of Link-to-Column Connections in Steel Eccentrically Braced Frames*, Ph.D. dissertation, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Texas at Austin, Tex. (2004).
6. Ozhendekci, D. and Ozhendekci, N. "Effects of the frame geometry on the weight and inelastic behavior of eccen-

- trically braced chevron steel frames", *Journal of Constructional Steel Research*, **64**(3), pp. 326-343 (2008).
7. AISC., *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, Chicago : American Institute of Steel construction, ANSI/AISC341-05 (2005).
 8. ANSYS User's manual. Swanson Analysis Systems, Inc (1992).
 9. Arce. G., *Impact of Higher Strength Steels on Local Buckling and Overstrength of Links in Eccentrically Braced Frames*, Masters Thesis, University of Texas at Austin, Austin, TX (advisor: M.D. Engelhardt) (2002).
 10. DIN17100, *Steels for General Structural Purposes*, s.l.: German National Standard (1980).
 11. AISC., *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, Chicago : American Institute of Steel construction, ANSI/AISC341-02 (2002).

STUDYING CURRENT PROVISIONS FOR INTERMEDIATE LINKS IN EBFS

A. Daneshmand

B. Hosseini Hashemi

**International Institute of Earthquake Engineering and Seismology
Tehran, Iran**

Abstract:

Among different link types, short links are always considered the best alternative due to their better energy dissipation capacity and ductility. But, architectural limitations, in some cases, leave no choice other than intermediate and long links. Furthermore, the results of recent studies have revealed some non-conservative behavior of intermediate links, i.e. they do not satisfy the provisions. To investigate the validity of the current provisions for intermediate links, some separated link beams are modeled here, and the effect of different parameters on their performance are studied. The boundary conditions of models are selected so they could realistically reflect link behavior in a real structure. The concerned links are modeled using the finite element method in the ANSYS program. Verifying the modeling approach with previous experimental, as well as analytical, works, stiffener spacing, thickness, slenderness ratio of web and flange, link length, section, and other significant parameters on link performance, are inserted in the study, and their role in link behavior are investigated. Considering the intended aim of the paper, monotonic loading is not suitable, and cyclic loading according to protocols prescribed by codes like AISC2005, ATC24, etc, were applied to the models. By analyzing model outputs, the hysteretic behavior of the links is extracted and the plastic rotation capacity of links, that is, the main parameter utilized to judge link behavior, is deduced. Also, the graphical outputs of models, such as displacement, and elastic and plastic strains, at different load steps, are used to support the results. Stiffener spacing and position (whether they are provided on one or two sides of the web) and the web slenderness ratio are discerned as the most effective parameters on the behavior of intermediate links. The current plastic rotation capacity considered for intermediate links is shown to be unreliable for specified length ratios of these links. Finally, some design suggestions have been provided for these types of link.

Keywords: Link ductility, eccentrically braced frames, shear moment interaction, intermediate links, finite element method in steel structures