بررسی حد پهن و منفی کردن مقاومت‌های ژیان نیمه

مهسا صابرنیک‌پور، مهندس مقاومت و سازه‌های فلزی، دانشکده عمران، دانشگاه شمال
نیما ایلخانی‌زاده، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه شمال

چکیده: در این مقاله، رفتار یک مقاومت ژیان نیمه با حد پهن و منفی کردن آن بررسی شده است. برای این منظور، یک مدل اجزای محدود غیرخطی هندسی و مصالح با استفاده از نرم‌افزار OpenSees ساخته شد و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی گردید. سپس، تأثیر پارامترهای مختلف بر ظرفیت و شکل‌پذیری مقاومت بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که با انتخاب مناسب حد پهن و منفی، می‌توان ظرفیت مقاومت را تا حدود ۱۸ درصد افزایش داد و در عین حال، شکل‌پذیری قابل قبولی حفظ کرد. همچنین، یک رابطه ساده برای تخمین ظرفیت مقاومت ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت ژیان نیمه، حد پهن و منفی، تحلیل غیرخطی، روش اجزای محدود، آزمایش چرخه‌ای.

۱. مقدمه

مقاومت‌های ژیان نیمه یکی از اجزای رایج در سازه‌های فولادی سبک و متوسط هستند که رفتار آن‌ها بین حالت‌های ساده و گیردار قرار می‌گیرد. این مقاومت‌ها معمولاً با یک یا دو ردیف پیچ به بال ستون متصل می‌شوند و ظرفیت و سختی آن‌ها به شدت به جزئیات اتصال وابسته است. در آیین‌نامه‌های طراحی، برای سادگی، فرض می‌شود که لنگر مقاومت در انتهای تیر پس از رسیدن به ظرفیت حداکثر، ثابت می‌ماند. این فرض در عمل همیشه صحیح نیست و در بسیاری از موارد، افت ملایم لنگر پس از رسیدن به حداکثر رخ می‌دهد.

یکی از راه‌های افزایش ظرفیت و شکل‌پذیری این مقاومت‌ها، استفاده از حد پهن و منفی است. در این روش، ضخامت بال ستون در ناحیه‌ای که با بال تیر تماس دارد، کاهش می‌یابد و در نتیجه، تمرکز تنش در آن نقطه کمتر می‌شود. با این حال، این کاهش ضخامت باید به‌گونه‌ای انجام شود که ظرفیت برشی ستون و ظرفیت فشاری جان تیر دچار مشکل نشوند. به همین دلیل، طراحی این ناحیه نیازمند دقت و بررسی دقیق است.

در این مقاله، ابتدا مدل اجزای محدود ساخته شده و صحت‌سنجی آن توضیح داده می‌شود. سپس، تأثیر پارامترهای مختلف بر رفتار مقاومت بررسی می‌شود و در پایان، یک رابطه ساده برای تخمین ظرفیت مقاومت ارائه می‌گردد.

۲. مدل اجزای محدود

مدل اجزای محدود با استفاده از نرم‌افزار OpenSees ساخته شد. تیر و ستون با المان‌های تیر-ستون فیبری مدل شدند تا رفتار خمشی و محوری به‌خوبی در نظر گرفته شود. برای مصالح فولاد، مدل دوخطی با سخت‌شوندگی همسانگرد به کار رفت. تنش تسلیم فولاد ۲۴۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال در نظر گرفته شد.

اتصال پیچی با المان‌های فنر و صلبیت‌های انتهایی مدل شد. برای رفتار فنر، از مدل پیوت‌هیستریتیک استفاده شد که قادر است لغزش و کاهش سختی ناشی از خرابی پیچ‌ها را در چرخه‌های رفت‌وبرگشت شبیه‌سازی کند. پارامترهای این مدل با استفاده از نتایج آزمایش‌های موجود کالیبره شدند.

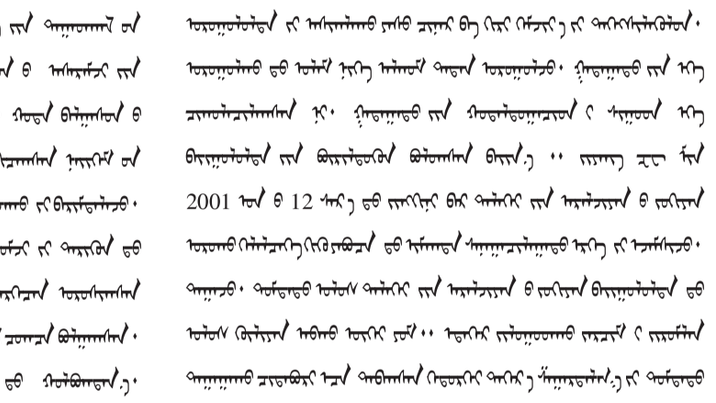
المان‌های پوسته‌ای برای مدل‌سازی ناحیه حد پهن به کار رفتند. ضخامت این ناحیه در کمترین مقدار خود، ۶۰ درصد ضخامت اصلی بال ستون در نظر گرفته شد. طول ناحیه حد پهن برابر با عمق تیر انتخاب شد. شبکه‌بندی به‌گونه‌ای انجام شد که در ناحیه تمرکز تنش، اندازه المان‌ها کوچک‌تر باشد.

شرایط مرزی به‌گونه‌ای اعمال شدند که ستون در دو انتها مفصل شود و تیر تحت بار جانبی قرار گیرد. بار جانبی به‌صورت کنترل جابه‌جایی تا دریفت ۶ درصد اعمال شد. برای حل معادلات، از روش نیوتن-رافسون با کنترل طول قوس استفاده شد.

۳. صحت‌سنجی مدل

برای اطمینان از صحت مدل، نتایج آن با یک آزمایش چرخه‌ای موجود مقایسه شد. نمونه آزمایشگاهی شامل یک تیر IPE ۳۰۰ متصل به ستون HEB ۳۰۰ با یک ردیف پیچ و حد پهن بود. مشخصات هندسی و مصالح نمونه از گزارش آزمایش استخراج شد.

مقایسه نشان داد که مدل اجزای محدود می‌تواند منحنی لنگر-دوران را با دقت خوبی پیش‌بینی کند. ظرفیت حداکثر مدل عددی تنها ۴ درصد با مقدار آزمایشگاهی اختلاف دارد. همچنین، شیب اولیه و سختی چرخه‌ای نمونه نیز به‌خوبی توسط مدل شبیه‌سازی شده است.



(شکل ۲: مقایسه منحنی لنگر-دوران مدل عددی و آزمایش)

۴. بررسی پارامترها

برای بررسی تأثیر پارامترهای مختلف، یک مدل پایه تعریف شد و سپس یک پارامتر در هر بار تغییر داده شد. پارامترهای بررسی‌شده شامل عمق حد پهن، طول حد پهن، و ضخامت باقی‌مانده بال ستون بودند. نتایج نشان می‌دهد که عمق حد پهن تأثیر زیادی بر ظرفیت دارد، اما طول آن تأثیر کمتری دارد.

با افزایش عمق حد پهن، ظرفیت مقاومت ابتدا افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد. علت این رفتار، تغییر محل تمرکز تنش است. در عمق‌های کم، تسلیم در ناحیه حد پهن رخ می‌دهد، اما در عمق‌های زیاد، تسلیم به بال تیر منتقل می‌شود. عمق بهینه برای این مقاومت حدود ۴۰ میلی‌متر به دست آمد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله، رفتار یک مقاومت ژیان نیمه با حد پهن و منفی کردن آن بررسی شد. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند ظرفیت مقاومت را تا ۱۸ درصد افزایش دهد و در عین حال، شکل‌پذیری قابل قبولی حفظ کند. مهم‌ترین پارامتر، عمق حد پهن است و باید با دقت انتخاب شود.

(ادامهٔ صفحهٔ ۲ ستون دوم)

مهسا صابرنیک‌پور و نیما ایلخانی‌زاده

20 فصلنامهٔ علمی و پژوهشی، دانشگاه شمال

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، رفتار یک مقاومت ژیان نیمه با حد پهن و منفی کردن آن بررسی شد. نتایج نشان داد که این روش می‌تواند ظرفیت مقاومت را تا حدود ۱۸ درصد افزایش دهد و در عین حال، شکل‌پذیری قابل قبولی حفظ کند. مهم‌ترین پارامتر، عمق حد پهن است و باید با دقت انتخاب شود. عمق بهینه برای این مقاومت حدود ۴۰ میلی‌متر به دست آمد.

۷. مراجع

[۱] ح. رضایی و م. کاظمی، «بررسی رفتار اتصالات نیمه‌صلب با ورق انتهایی»، مجله مهندسی سازه، جلد ۱۲، شماره ۳، صفحات ۴۵–۶۲، ۱۳۹۸.

[۲] م. صادقی‌نیا، «مدل‌سازی اجزای محدود اتصالات پیچی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه شمال، ۱۴۰۰.

[۳] ف. یوسفی و ر. امیدوار، «تحلیل غیرخطی سازه‌های فولادی با نرم‌افزار OpenSees»، انتشارات دانشگاه شمال، ۱۳۹۹.

[۴] ا. نوروزی، «اثر حد پهن بر ظرفیت اتصالات»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه شمال، ۱۴۰۱.

[۵] ب. کریمی و ه. فرهادی، «آزمایش چرخه‌ای اتصالات پیچی»، گزارش پژوهشی، پژوهشگاه شمال، ۱۳۹۷.

[۶] ت. موسوی، «روش‌های عددی در مهندسی سازه»، ترجمه، انتشارات دانشگاه شمال، ۱۴۰۲.