

بررسی اتصال صلب صفحه کناری در قابهای خمشی فولادی

مرتضی نقی پور*، دانشیار دانشکده فنی بابل

حمید پارسا**، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه غیر انتفاعی شمال-آمل

* پست الکترونیکی : m-naghi@nit.ac.ir

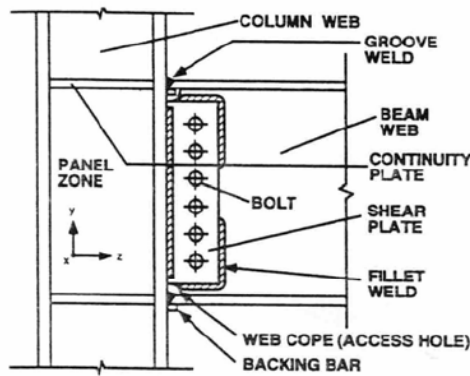
** پست الکترونیکی : parsa_hamid2000@yahoo.com

چکیده

اتصال صفحه کناری (Side Plate)، یکی از انواع اتصالات صلب فولادی می باشد. صفحه کناری یک روش ایده آل برای حفاظت از سازه‌ها در مقابل حوادث ناشی از انفجار، زمین لرزه و سایر بلایای طبیعی می باشد. هدف استفاده از این نوع اتصال در طراحی قابهای خمشی فولادی، از بین بردن تمرکز تنش‌های پیچیده ذاتی هندسه‌ای اتصالات متعارف می باشد. در این اتصال تنشهای ناشی از خمش و برش از طریق ورقهای اتصال، که دو طرف تیر و ستون را در بر می‌گیرند انتقال می‌یابد. کلید واژه‌ها: اتصالات Side Plate، SMF، مفصل پلاستیک، ستون درختی، عملکرد کابلی

۱- مقدمه

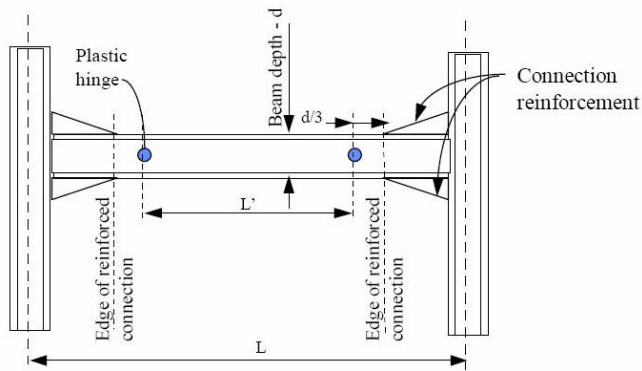
مشخصات مقاومت لرزه‌ای قابهای مقاوم خمشی فولادی به مقدار زیادی به اتصالات تیر به ستون آنها بستگی دارد. معمولاً فرض می‌شود که انرژی ناشی از نیروهای لرزه‌ای شدید در مفاصل پلاستیک تشکیل شده در اتصالات تیر به ستون، مستهلک می‌شود. در ساختمانهای فولادی متداول معمولاً بوسیله پیچ کردن جان تیر به ورق برشی جوش شده به بال ستون و سپس جوشکاری بالهای تیر به بال ستون، یک اتصال خمشی تیر به ستون شکل می‌گیرد (شکل ۱). طی زلزله‌های نثریج در آمریکا و کوبه در ژاپن بسیاری از ساختمان‌های فولادی شکست‌هایی را در اتصالات خمشی جوش شده متحمل شدند. محققان طی آزمایشات متعدد بیان کردند که تمرکز تنش بزرگ ناشی از لنگر لرزه‌ای مانع از پخش شدن ناحیه پلاستیک حول اتصال می‌شود و این نکته احتمالاً عامل اصلی شکست ترد اتصالات می‌باشد. انواع مختلفی از روش‌های اتصال برای حل مشکلات مشاهده شده پیشنهاد شده بودند، که این روشها را می‌توان به انواع تقویت شده و تضعیف شده طبقه‌بندی کرد. یکی از روشهای پیشنهاد شده، استفاده از اتصال صفحه کناری در قابهای خمشی فولادی می‌باشد.



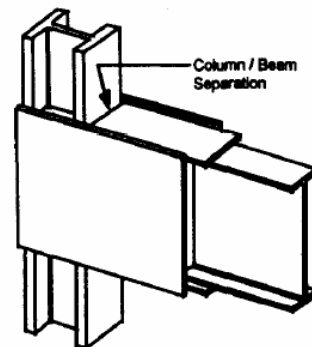
شکل ۱) طرح اتصال متداول جان پیچی - بال جوشی

۲- اتصال صفحه کناری

هندسه اتصال صفحه کناری یک جدایی فیزیکی بین رخ ستون و انتهای تیرها ایجاد می‌کند و سبب از بین رفتن تمرکز تنش‌های پیچیده ذاتی اتصالات متعارف می‌شود (شکل ۲). تمامی بارهای خمشی از تیر به ستون بوسیله ورق انتقال و جوش‌های گوشه صورت می‌گیرد. صفحات کناری موازی تمام عمق با مقاومت و سختی کافی طوری طراحی شده‌اند که برای رفتار خمیری سیستم مورد نظر، جوابگو باشند. صفحات کناری که تمام عمق را در بر گرفته‌اند این اطمینان را ایجاد می‌کنند که محل اتلاف انرژی و تغییر شکل اتصال در خارج از ستون و در تیر اتفاق افتد. عملکرد چرخشی، از مشارکت ناچیز چشمه اتصال کاملاً مستقل است و بنابراین نگرانی موجود در اتصالات گیردار متعارف، ناشی از پارگی ناگهانی ورقهائی که بال ستون را به جان تیر وصل می‌کنند، دیگر وجود ندارد. در قابهای دارای این سیستم اتصال، مفصل پلاستیک در فاصله $1/3$ عمق تیر از پایان صفحه کناری در تیر تشکیل می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳- محل تشکیل مفصل پلاستیک [۵]



شکل ۲- اتصال صفحه کناری [۴]

۴- چگونگی طراحی، ساخت و نصب اتصال صفحه کناری :

۴-۱- طرح سازه ای :

فرآیندهای طرح سازه‌ای باید با رعایت ضوابط بخش ۲۲، قسمت II, III, IV, V آیین‌نامه UBC به روش ضریب بار و مقاومت و یا به روش تنش مجاز صورت گیرد. همچنین ضوابط طراحی مندرج در

آیین‌نامه انجمن جوش آمریکا AWS بایست مورد توجه قرار گیرد. تمامی جوش‌های گوشه باید با الکتروود E 70 انجام شوند. حداکثر اندازه جوش ۶۳ میلی‌متر می‌باشد. علاوه بر ضوابط آیین‌نامه‌های فوق، بایستی موارد زیر در نظر گرفته شوند :

الف- طرح مفصل پلاستیک : در محاسبات محل قرارگیری مفصل پلاستیک در تیر باید حداقل در فاصله یک سوم ارتفاع تیر از انتهای صفحه کناری، در نظر گرفته شود.
 ب- ظرفیت خمشی پلاستیک تیر: ظرفیت خمشی پلاستیک تیر در محل مفصل پلاستیک از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۳]:

$$M_{Pr} = \beta Z_b F_y$$

که در آن:

F_y : مقاومت تسلیم تیر فولادی

M_{pr} : ظرفیت خمشی پلاستیک تیر

Z_b : مدول پلاستیک مقطع تیر

β : اثر در نظر گرفتن سخت‌شوندگی کرنشی و مقاومت افزوده تیر که برابر ۱/۲ فرض می‌شود.

ج- برش در مفصل پلاستیک: نیروی برشی در محل مفصل پلاستیک براساس روابط استاتیکی محاسبه می‌گردد. در این محاسبه نیروهای ثقلی موثر بر تیر و ظرفیت خمشی پلاستیک تیر نیز باید در نظر گرفته شوند.

د- مقاومت‌های لازم در محل‌های بحرانی: مقاومت‌های لازم برای نواحی بحرانی (شامل ناحیه انتقال از تیر به صفحه کناری، جدایی تیر از ستون و محور ستون) باید براساس محاسبات استاتیکی، که اثرات خمش و برش را در محل تشکیل مفصل پلاستیک در نظر می‌گیرد، انجام شود.
 ه- بررسی شرط ستون قوی تیر ضعیف: این شرط باید براساس رابطه زیر ارضا شود:

$$\sum Z_c (F_{yc} - F_a) / \sum M_c > 1.0$$

که در آن:

F_{yc} : حداقل مقاومت تسلیم تعیین شده برای ستون بالایی و پایینی اتصال

F_a : تنش ناشی از نیروهای محوری در ستون بالایی یا پایینی اتصال

$\sum M_c$: مجموع لنگرهای خمشی ستون در لبه بالایی و پایینی صفحه کناری، براساس تشکیل مفصل

پلاستیک در تیر، با در نظر گرفتن سخت‌شوندگی کرنشی و مقاومت افزوده تیر

$\sum Z_c$: مجموع مدول‌های پلاستیک مقاطع ستون فوقانی و تحتانی اتصال

و- مقاومت برشی چشمه اتصال و ستون: در سیستم اتصال صفحه کناری نیازی به محاسبه مقاومت برشی چشمه اتصال در ستون نیست. زیرا اتصال صفحه کناری، به طور ذاتی مقاومت برشی چشمه اتصال را فراهم می‌نماید (یعنی دو عدد ورق کناری به اضافه جان ستون). بنابراین سیستم

اتصال صفحه کناری به طور خودکار نیازمندیهای مربوط به کنترل مقاومت چشمه اتصال ستون را ارضا می‌نماید.

۴-۲- چگونگی ساخت و نصب سیستم اتصال صفحه کناری :

اجزای مختلف سیستم اتصال صفحه کناری، در حالت افقی و تخت، توسط جوش‌های گوشه‌ای که تماماً در کارخانه انجام می‌گیرد، به یکدیگر متصل می‌شوند. در فرآیند اتصال در کارخانه اصطلاحاً ستونهایی به نام ستون درختی بصورت ۱، ۲، و یا ۳ طبقه ساخته و به کارگاه حمل می‌شود.

۵- ویژگی‌های سیستم اتصال صفحه کناری :

۵-۱- عملکرد زنجیروار (کابلی):

با فرض از بین رفتن ناگهانی یک ستون، بعلت یک حادثه‌ی سازه‌ای شدید، تیرهای قاب خمشی دارای این اتصالات در هر دو طرف ستون شکسته شده، به مقاومت خود در مقابل بارهای ثقلی طبقات بالا ادامه می‌دهند. عملکرد زنجیروار (کابلی) سبب می‌شود طول دو دهانه بین دو ستون که در دو طرف ستون شکسته شده قرار دارند به صورت یک دهانه عمل کند. دو صفحه کناری تمام عمق قائم متصل به ستون شکسته شده، مانند یک المان پیوسته برای انتقال بار محوری (با استفاده از جوش‌های گوشه افقی تحت بار برشی در راستای طولشان) به تیرهای قاب خمشی مجاور عمل می‌کند. سیستم زنجیروار حاصله می‌تواند یک یا چند مفصل پلاستیک را تا وقتی که پایداری سازه‌ای باقی مانده باشد، در طول دهانه‌اش در محل اتصال ستون تحمل کند.

۵-۲- جدایی بین تیر و ستون:

در هندسه اتصال صفحه کناری، انتهای تیر از وجه ستون جدا شده است. این مشخصه کلیدی نگرانی‌های مربوط به شکستن ترد اتصالات متعارف که به واسطه اتصال مستقیم و جوشی بال تیر به بال ستون بوجود آمده بود را به کلی از بین می‌برد.

۵-۳- مسیرهای ساده انتقال بار:

بر خلاف اتصالات گیردار جوشی متعارف، که رفتار غیر قابل اعتماد و تردی از خود نشان می‌دهند، در اتصال صفحه کناری رفتاری مناسب و مسیرهای ساده شده‌ای برای انتقال بار دیده می‌شود. انتقال و توزیع بار از تیر به ورق و جوش‌های گوشه به صورت مکانیزم ساده‌ای صورت می‌گیرد. این قابل فهم بودن مکانیزم انتقال بار باعث می‌شود که عملکرد جزء اتصال به روشنی مشخص شده و منجر به یک فرآیند طراحی منطقی و قابل اطمینان شود.

۵-۴- عملکرد سیکلی مناسب:

به منظور تعیین عملکرد سیکلی و ظرفیت چرخشی پلاستیک سیستم اتصال صفحه کناری و تأیید مقاومت پیش‌بینی شده اجزای اتصال و جوش‌ها، آزمایش‌هایی تحت بارگذاری سیکلی بر روی مدل‌های واقعی در دانشگاه کالیفرنیا واقع در سن‌دیگو انجام شده است. سه نمونه از اتصال صفحه کناری تمام

عمق بصورت یکطرفه شامل تیر با مقطع 150×36 W و ستون با مقطع 426×14 W در سالهای ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌ها بدون هیچگونه کاهش مقاومتی در ورقها، جوش‌ها و ستون، در طول چرخش‌های پلاستیک سیکلی، هنگامی که تیر به مقاومت خمشی پلاستیک خود رسیده بود، رفتار خوبی از خود نشان دادند. با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده، مقدار متوسط ظرفیت چرخشی پلاستیک ایجاد شده، 0.36 رادیان (اندازه‌گیری شده از وجه بال ستون) برای یک سیکل قبل از به وجود آمدن 83% مقاومت اسمی تیر به دست آمد.

۵-۵- مزیت ویژه در استفاده با ستونهای با مقطع تو خالی (لوله ای- جعبه ای)

مزیتی را که می‌توان برای استفاده از این اتصال با ستونهای قوطی و جعبه ای، نسبت به اتصالات رایج ذکر کرد این است که دیگر در محل‌های اتصال بال تیر به ستون، نیازی به گذاشتن ورق دیافراگم در درون ستون نمی‌باشد و لذا می‌توان مقطع قوطی شکل را به سهولت از بتن پر کرد. بدین ترتیب ظرفیت باربری ستون افزایش می‌یابد. به علاوه مقاومت ستون در برابر آتش‌سوزی (با تبدیل شدن به ستون خیس^۱) نیز افزایش می‌یابد.

۵-۶- صرفه جویی در هزینه:

در ساخت و سازهای فولادی جدید، با مطالعات موردی دقیقی که از نظر هزینه در مورد استفاده صفحه کناری و دیگر اتصالات بعد از نورثریج انجام شده است، مشخص گردیده که در سازه‌های مقاوم خمشی که از سیستم اتصال صفحه کناری استفاده می‌کنند، به ترتیب در مورد مناطق با لرزه‌خیزی کم تا متوسط، تا 2% درصد، و مناطق با لرزه‌خیزی زیاد تا 20% درصد صرفه‌جویی صورت می‌گیرد. دلایل این مقرون به صرفه بودن به شرح زیر است:

تیرهایی که اتصال صفحه کناری در آنها استفاده شده، همیشه 20% تا 40% درصد سبکتر از تیرهایی هستند که در آنها انواع دیگر اتصالات کار رفته است. علت این امر هم وجود صفحات کناری تمام عمقی است که روی سختی کلی سیستم تاثیر می‌گذارد.

تیرها و ستون‌های سبکتر، باعث کاهش هزینه جوشکاری در محل به میزان 50% تا 65% درصد می‌شود که این صرفه‌جویی خصوصاً برای کارفرما، به دلیل کم شدن زمان ساخت قابل ملاحظه خواهد بود.

۶- نتیجه گیری

از آنجا که اتصال صفحه‌کناری به راحتی در هندسه سیستم قابهای دوگانه قابل استفاده است و از سوی دیگر چون اغلب سیستم‌های دو گانه مهاربندی شده نیاز به عملکرد قاب مقاوم خمشی و قاب مهاربندی قطری در هر جهت اصلی دارند (یعنی یک ترکیب اتصال مقاوم دو گانه دو محوره) و اتصال صفحه کناری با موفقیت برای سازگاری با چنین سیستمی جواب داده است، لذا این اتصال به عنوان گزینه‌ای مناسب برای اینگونه سازه‌ها مطرح می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد گفته شده در مورد اتصالات صفحه کناری، استفاده از این نوع اتصالات برای قابهای خمشی فولادی در کشور توصیه می‌گردد.

۱- ستون خیس اصطلاحاً به ستون‌های تو خالی اطلاق می‌شود که بتوان از آنها به عنوان معبر یک سیال خنک‌کننده برای تعدیل اثر آتش‌سوزی استفاده نمود.

۷- مراجع

- ۱) مقدم ، حسن ، مهندسی زلزله مبانی و کاربرد ، نشر فرهنگ ، بهار ۱۳۸۴.
- ۲) راهنمای اتصالات در ساختمانهای فولادی ، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ، خرداد ۱۳۸۶.
- ۳) اصل حمدا... نیا ، مجتبی ، ملاحظات ویژه طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی طبق AISC 2005 ، نشر علم ایران ، زمستان ۱۳۸۶
- 4) " *Side Plate Steel Frame Connection Technology* " , ES.Report 1275 , August 2006.
- 5) FEMA 350 , June 2000 , " *Recommended Seismic Design Criteria For New Steel Moment- Frame Buildings* " Prepared by the SAC Joint Venture for the federal Emergency Management Agency , Washington , DC