

# معرفی اتصال خمشی تیر به ستون قوطی فولادی با استفاده از صفحات کناری

فریبرز ناطقی الهی (استاد)

زهرا طباطبائی (دانشجوی کارشناسی ارشد)  
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

استفاده از تیرهای I شکل و ستون‌های قوطی در سازه‌های فولادی ایران در ساختمان‌های بلند بسیار متداول است. نقطه ضعف اساسی این سازه‌ها اتصالات آنهاست. برای اصلاح این اتصالات استفاده از اتصال با صفحه‌ی کناری توصیه می‌شود. برای دسترسی به رفتار این نوع اتصال از تحلیل استاتیکی غیرخطی و با استفاده از برنامه‌ی ANSYS رفتار هیستریزس این اتصال با توجه به تغییر ابعاد تیر و ستون و تغییر ضخامت ورق کناری تحلیل شده است. نتایج این تحلیل نشان‌دهنده‌ی تشکیل مفصل خمیری در تیر و در فاصله‌ی دور از بر ستون است. نمودارهای استخراج شده از نتایج تحلیل نشان‌دهنده‌ی مقاومت، سختی و میزان شکل‌پذیری قابل قبول برای این اتصال پیشنهادی است و می‌توان از آن‌ها در قاب‌های خمشی ویژه در مناطقی با لرزه‌خیزی زیاد استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین مزایای این اتصال عدم نیاز به ورق‌های پیوستگی در داخل ستون است.

nat.eghi@iiees.ac.ir  
tabatabaee.z@gmail.com

واژگان کلیدی: اتصال گیردار، ستون قوطی، صفحه‌ی کناری، سازه‌ی مقاوم.

## مقدمه

در یک طرح لرزه‌ی، ساختمان‌های فولادی جوشی با قاب‌های مقاوم خمشی بر این اساس باید طراحی شوند که بدون از دست دادن مقاومت، قابلیت تسلیم و تغییرشکل زیادی را داشته باشند. این تغییر شکل خمیری بایستی درون تیرهای متصل شده به ستون‌ها به وجود آید تا انرژی ناشی از بارهای لرزه‌ی را به خوبی مستهلک کند. بدین ترتیب رفتار مورد انتظار از اتصال، رفتاری کاملاً شکل‌پذیر است. اما زلزله‌ی ۱۷ ژانویه‌ی ۱۹۹۴ نورتریج کالیفرنیا مشخص کرد که اتصالات صلب جوشی تیر به ستون در قاب‌های خمشی در مقایسه با قبل بیشتر آسیب‌پذیر هستند.<sup>[۱]</sup>

در حال حاضر مشخص است که برای دست‌یابی به رفتار شکل‌پذیر مطمئن در سازه‌هایی با قاب‌های خمشی فولادی انجام تغییراتی در روش طراحی قدیم، مصالح، ساخت، نصب و تضمین کیفیت آن‌ها الزامی است. در واقع زلزله‌ی نورتریج (۱۹۹۴) نقطه‌ی عطفی در طراحی سازه‌های فولادی قاب خمشی و به خصوص اتصالات آن‌ها به حساب می‌آید. پس از این زلزله، دانشمندان و مهندسان علم ساختمان بر آن شدند تا به ابتکارها و نوآوری‌های جدید پردازند و کارایی هر کدام از ایده‌ها را با انجام تحلیل‌های اجزاء محدود و انجام آزمایش‌ها بسنجند. رقابت بین دانشمندان و مهندسان در زمینه‌ی اتصالات که حتی تا امروز هم ادامه دارد به آنجا کشید که بعضی افراد پس از پیشنهاد جزئیات اتصال و آزمایش آن اطمینان از عملکرد آن، جزئیات اتصال خود را به عنوان اختراع به ثبت رساندند و حق مالکیت آن جزئیات

## هنده‌ی اتصال صفحات کناری

در پژوهش‌های انجام شده رفتار اتصالات خمشی با ستون‌های دویل در اثر بارگذاری یکساخت بررسی شده‌اند.<sup>[۲]</sup> نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که وجود ورق تقویتی ستون در مسیر انتقال نیرو باعث می‌شود که اتصال به صورت نیمه‌گیردار عمل کند. مشکل تغییرشکل‌های بیش از حد ورق تقویتی ستون‌های دویل در اثر نیروی کششی بسیار شبیه به تغییرشکل‌های بال ستون قوطی در اتصالات خمشی بدون دیاگرام داخلی است. پژوهشگران مختلف برای حل این مشکل در ستون‌های قوطی مطالعاتی انجام داده و به این نتیجه رسیده‌اند که بهترین روش انتقال نیروهای بال تیر به ستون قوطی، بدون تغییرشکل مقطع ستون قوطی، انتقال آن از طریق

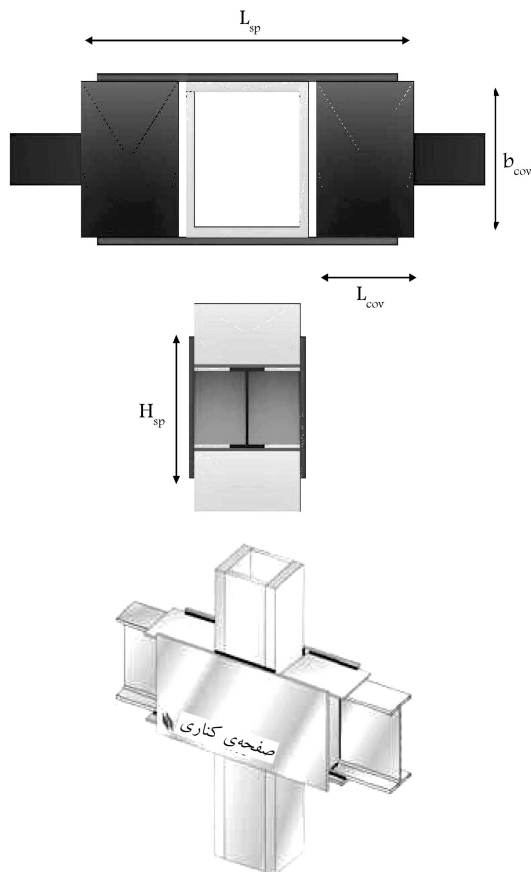
تاریخ: دریافت ۱۰/۴/۱۳۸۶، دوری ۱۴/۹/۱۳۸۶، پذیرش ۱۲/۱/۱۳۸۷.

از طریق دو صفحه‌ی برشی مستطیل شکل که در دو طرف جان تعبیه شده‌اند انتقال می‌یابد.

### فرضیات مدل‌سازی

برای مدل‌سازی از نرم‌افزار ANSYS [1] و از المان 45 SOLID استفاده شده است. این المان برای مدل‌سازی سه‌بعدی و حجمی سازه‌ها به‌کار می‌رود (شکل ۲) و دارای ۸ گره است که هر گره سه درجه‌ی آزادی تغییرمکانی در جهت‌های X و Y و Z دارد. علت استفاده از این المان قابلیت مدل‌سازی رفتار خمیری و تغییرشکل‌های بزرگ آن است. چون با توجه به امکان بروز کمناش در مدل‌ها باید المانی به‌کار رود که توانایی مدل‌سازی تغییرشکل‌های بزرگ را داشته باشد. زیرسازه‌ی ساخته شده در نرم‌افزار متشکل از خود اتصال با صفحات کناری، تیر و ستون تا محل لنگر صفر در وسط دهانه را شامل می‌گردد. (شکل ۳)

تیرها به صورت پروفیل I شکل و ستون‌ها قوطی هستند. ابعاد کلی مدل‌ها و مشخصات پروفیل‌ها و ورق‌های اتصال مورد استفاده در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. در جدول ۲ پارامترهای  $t_{sp}$  و  $L_{sp}$  و  $h_{sp}$  به ترتیب برابر ضخامت، طول و ارتفاع صفحات کناری  $t_{cov}$  و  $L_{cov}$  و  $b_{cov}$  به ترتیب برابر ضخامت، طول و عرض ورق‌های پوششی (ورق‌های تنظیم فاصله بین بال تیر و بال ستون) و  $t_{sh}$  برابر ضخامت صفحات برشی است. ابعاد اتصال ورق‌های روسری و زیرسری ستون



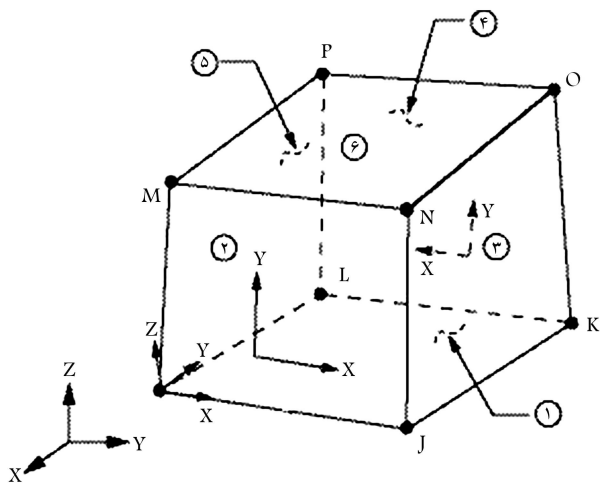
شکل ۱. سیستم اتصال تیر به ستون قوطی با صفحات کناری.

صفحاتی موازی جان ستون است. [3] این صفحات از یک طرف به کناره‌های ستون و از طرف دیگر به بال‌های تیر متصل می‌شوند و اتصال مستقیم بین بال تیر و بال ستون حذف شده است.

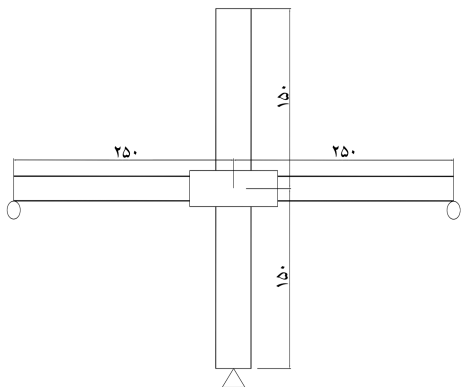
پژوهشگران دیگری نیز از ایده‌ی حذف اتصال مستقیم بین بال تیر و بال ستون استفاده کردند که در آن به جای ورق از نبشی استفاده کردند، [4] در سال ۱۹۹۶ نیز در روشی مشابه از ایده‌ی حذف اتصال مستقیم بین بال تیر و بال ستون استفاده شد. [5] تمام این پژوهش‌ها باعث اصلاحاتی در عملکرد اتصالات خمشی با ستون‌های قوطی شدند، ولی تمامی آنها نقاط ضعفی نیز داشتند. پس از زلزله‌ی نورتریج، برای رفع مشکلات عمومی اتصالات خمشی در مقابل زلزله، اتصال جدیدی پیشنهاد و در آن از ایده‌ی حذف اتصال مستقیم بال تیر و بال ستون استفاده شد. [6] این اتصال برای ستون‌های بال پهن و قوطی و ستون‌های با مقطع صلیبی پیشنهاد و در آن برخلاف روش‌های قبلی به جای استفاده از ۴ ورق در تراز بال‌های تیر، از ۲ صفحه‌ی کناری تمام عمق استفاده شده است.

در این سیستم انتقال ممان خمشی از تیر به ستون به‌جای استفاده از مسیر اتصال مستقیم بال تیر به بال ستون از طریق صفحات کناری انجام می‌شود (شکل ۱).

ممان انتهای تیر به صورت یک زوج نیرو در دو بال فوقانی و تحتانی تیر اثر می‌کند. این زوج نیرو از طریق جوش‌های گوشه به ورق‌های پوششی (ورق‌های تنظیم فاصله بین بال تیر و بال ستون) فوقانی تحتانی منتقل می‌شوند و سپس از طریق این دو صفحه به صفحه‌های کناری انتقال می‌یابند و در آخر نیز با جوش‌های گوشه به ستون منتقل می‌شوند. انتقال نیروی برشی نیز گرچه ممکن است مانند روش‌های متعارف از طریق جان تیر به ستون انجام شود ولی در سیستم پیشنهادی



شکل ۲. هندسه و موقعیت گره‌های 45 SOLID.



شکل ۳. ابعاد کلی مدل‌ها (برحسب سانتی‌متر).

جدول ۴. ابعاد اتصال RBS.

| مدل       | مقطع تیر | مقطع ستون   | a  | b  | c |
|-----------|----------|-------------|----|----|---|
| اتصال RBS | IPE۳۰    | ۴۰ × ۴۰ × ۲ | ۱۰ | ۲۵ | ۳ |

جدول ۵. ابعاد اتصال Side Plate.

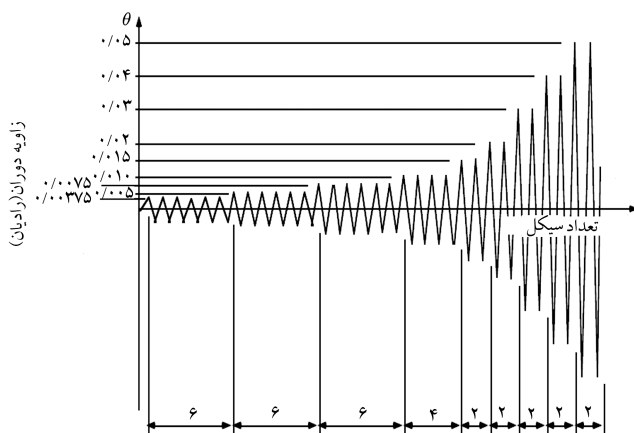
| مدل              | مقطع تیر | مقطع ستون   | tcov | Lcov | Hsp | Lsp | tsp |
|------------------|----------|-------------|------|------|-----|-----|-----|
| اتصال Side Plate | ۳۰ IPE   | ۴۰ × ۴۰ × ۲ | ۰٫۸  | ۴۹   | ۳۵  | ۱۳۴ | ۲٫۵ |

### تحلیل غیرخطی مصالح

مصالح مدل‌های مورد مطالعه ST-۳۷ است که برای مدل‌کردن رفتار آن از مدل تنش کرنش دوخطی استفاده شده است. در این مدل ضریب کشسانی فولاد که برابر شیب خط اول منحنی است،  $۲۱۰ \text{ GPa}$  در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب فولاد با این شیب به تنش تسلیمی برابر با  $۲۴۰۰ \text{ کیلوگرم بر سانتی متر مربع}$  می‌رسد که در این نقطه کرنشی تقریباً برابر  $۰٫۱۲\%$  دارد. پس از نقطه تسلیم، منحنی با شیب خط دوم به روند صعودی خود ادامه می‌دهد تا به تنش نهایی  $۳۷۰۰ \text{ کیلوگرم بر سانتی متر مربع}$  با کرنش  $۰٫۲\%$  برسد. همچنین معیار تسلیم فون میسز و قانون سخت‌شوندگی جنیشی در نظر گرفته شده است چون در فولاد با توجه به اثر پوشینگر سطح تسلیم با افزایش کرنش خمیری بدون تغییر حجم در فضای تنش‌های اصلی جابجا می‌شود.

برای بارگذاری که در انتهای ستون در زیر سازه به صورت افقی اعمال می‌شود از بارگذاری تغییر مکانی رفت و برگشتی افزایش‌یابنده استفاده شده است. این بارگذاری به صورت دوره‌بی مطابق شکل ۴ (بارگذاری ارائه شده‌ی ATC برای تست آزمایشگاهی) انجام شده است.

در این نمودار بارگذاری، واحد تغییر مکان به صورت زاویه داده شده است که برای دست‌یابی به میزان تغییر مکان افقی که بایستی به انتهای ستون اعمال شود، مقدار زوایای داده شده در ارتفاع طبقه ضرب می‌شود. نمودار لنگر-دوران حاصل از این بارگذاری به صورت منحنی‌های هیستریزس است.



شکل ۴. بارگذاری استاندارد پیشنهاد SAC برای انجام آزمایش [۸].

قوطی، ابعاد اتصال RBS و ابعاد اتصال صفحات کناری نیز در جداول ۲ الی ۵ نشان داده شده است.

در برنامه‌ی ANSYS اتصال قطعات به صورت‌های مختلف انجام می‌شود. مثلاً اتصال گره به گره، صفحه به صفحه و...؛ ولی در این نوشتار سطوح اتصال با فرض انجام جوش دقیق، یکپارچه تصور می‌شود.

جدول ۱. ابعاد پروفیل‌های تیر و ستون مورد مطالعه.

| Beam  | Column Profile   | Model |
|-------|------------------|-------|
| IPE۲۰ | BOX۳۰ × ۳۰ × ۱٫۵ | SPD۰۱ |
| IPE۲۲ | BOX۳۰ × ۳۰ × ۱٫۵ | SPD۰۲ |
| IPE۲۴ | BOX۳۰ × ۳۰ × ۱٫۵ | SPD۰۳ |
| IPE۲۷ | BOX۳۰ × ۳۰ × ۱٫۵ | SPD۰۴ |
| IPE۳۰ | BOX۳۰ × ۳۰ × ۱٫۵ | SPD۰۵ |
| IPE۲۰ | BOX۴۰ × ۴۰ × ۱٫۵ | SPD۰۶ |
| IPE۲۲ | BOX۴۰ × ۴۰ × ۱٫۵ | SPD۰۷ |
| IPE۲۴ | BOX۴۰ × ۴۰ × ۱٫۵ | SPD۰۸ |
| IPE۲۷ | BOX۴۰ × ۴۰ × ۱٫۵ | SPD۰۹ |
| IPE۳۰ | BOX۴۰ × ۴۰ × ۱٫۵ | SPD۱۰ |

تمامی ابعاد برحسب سانتی‌متر است.

جدول ۲. ابعاد مدل‌ها.

| tsh | bcov | Lcov | tcov | Hsp | Lsp | tsp | NAME  |
|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-------|
| ۸   | ۲۰   | ۲۴   | ۰٫۸  | ۲۵  | ۷۴  | ۱٫۵ | SPD۰۱ |
| ۸   | ۲۲   | ۲۹   | ۰٫۸  | ۲۷  | ۸۴  | ۱٫۸ | SPD۰۲ |
| ۸   | ۲۴   | ۳۴   | ۰٫۸  | ۲۹  | ۹۴  | ۲   | SPD۰۳ |
| ۱۰  | ۲۷   | ۲۹   | ۱    | ۳۲  | ۸۴  | ۲   | SPD۰۴ |
| ۱۰  | ۳۰   | ۳۴   | ۱    | ۳۵  | ۹۴  | ۲٫۲ | SPD۰۵ |
| ۸   | ۲۰   | ۲۹   | ۰٫۵  | ۲۵  | ۹۴  | ۱٫۵ | SPD۰۶ |
| ۸   | ۲۲   | ۳۴   | ۰٫۵  | ۲۷  | ۱۰۴ | ۱٫۸ | SPD۰۷ |
| ۸   | ۲۴   | ۳۹   | ۰٫۶  | ۲۹  | ۱۱۴ | ۲   | SPD۰۸ |
| ۱۰  | ۲۷   | ۴۴   | ۰٫۸  | ۳۲  | ۱۲۴ | ۲٫۲ | SPD۰۹ |
| ۱۰  | ۳۰   | ۴۹   | ۰٫۸  | ۳۵  | ۱۳۴ | ۲٫۵ | SPD۱۰ |

تمامی ابعاد برحسب سانتی‌متر است.

جدول ۳. ابعاد اتصال دارای ورق روسری و زیرسری به ستون قوطی.

| مدل                         | مقطع تیر | مقطع ستون   | ورق پوشش بالا و پایین |
|-----------------------------|----------|-------------|-----------------------|
| اتصال با ورق روسری و زیرسری | IPE۳۰    | ۴۰ × ۴۰ × ۲ | PL۳۱ × ۲۰ × ۲         |

## بررسی نتایج توزیع تنش و کرنش

نتایج تحلیل در مرحله‌ی اول ارائه‌دهنده‌ی محل تشکیل مفصل خمیری است. این نتیجه را می‌توان در شکل ۵ و به صورت توزیع تنش‌ها و کرنش‌های خمیری در زیر سازه مشاهده کرد. همان‌طورکه انتظار می‌رود کرنش‌های خمیری در تیر و در خارج از اتصال رخ داده است. همچنین می‌توان ملاحظه کرد که تسلیم از بالای تیر شروع شده و به تدریج در جان تیر منتشر می‌شود.

## منحنی‌های هیستریزیس

در شکل ۶ منحنی هیستریزیس لنگر-دوران همه‌ی مدل‌ها آورده شده است. همان‌طورکه در اشکال دیده می‌شود مقاومت خمشی اتصال در همه‌ی موارد بالاتر از ظرفیت خمشی خمیری تیر است.

## پوش منحنی‌های هیستریزیس لنگر-دوران

برای بررسی اثر اندازه‌ی ستون در شکل پوش منحنی‌های هیستریزیس در مدل‌های با تیر یکسان در کنار یکدیگر رسم شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود افزایش اندازه‌ی مقطع ستون تأثیر زیادی در رفتار خطی سیستم ندارد و فقط باعث افزایش مقاومت در ناحیه‌ی غیرکشسانی می‌شود. افت‌هایی که در منحنی‌ها مشاهده می‌شود ناشی از بروز کمانش در تیر هستند. با افزایش ابعاد تیر مقاومت اتصال نیز افزایش می‌یابد ولی افت مقاومت در زوایای چرخش کمتری رخ می‌دهد.

## بررسی تأثیر تغییر ضخامت ورق کناری

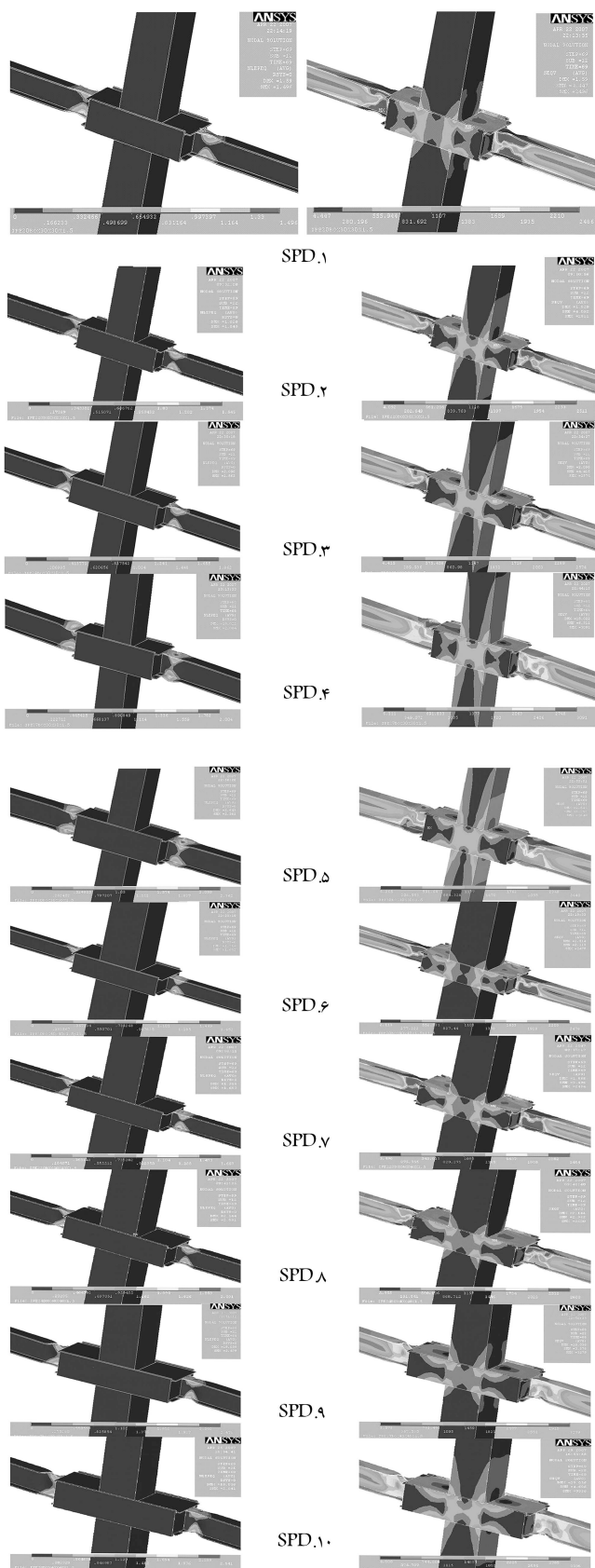
برای بررسی تأثیر افزایش و کاهش ابعاد ورق کناری در نحوه‌ی توزیع کرنش‌های خمیری در ناحیه‌ی اتصال و مقایسه‌ی پوش منحنی‌های هیستریزیس ضخامت ورق کناری را با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها تغییر داده (شکل ۸ و ۹) و مقدار ضخامت برای تیر IPE300 و ستون  $30 \times 30 \times 175$  BOX که از طراحی ۲/۲ سانتی‌متر به دست آمده بود به ۳ افزایش و به ۱/۵ و ۰/۵ کاهش داده‌ایم.

همان‌طورکه از پوش منحنی مشاهده می‌شود افزایش ضخامت در مقدار طراحی، تأثیری در سختی و مقاومت اتصال ندارد. کاهش ضخامت نیز باعث افت ناگهانی مقاومت و سختی می‌شود. مطابق توزیع کرنش فون میسر نیز با کاهش ضخامت ورق کناری محل تشکیل مفصل خمیری به داخل اتصال شیفت پیدا می‌کند. با افزایش ضخامت تا مقدار به دست آمده از طراحی محل تشکیل مفصل خمیری از اتصال دور شده به داخل تیر می‌رود.

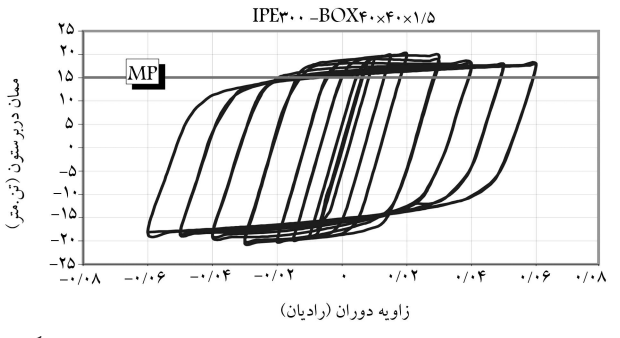
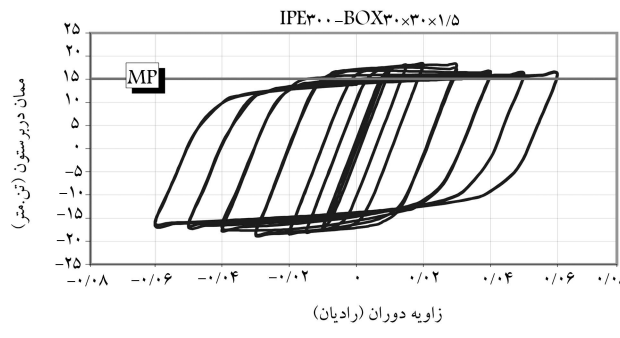
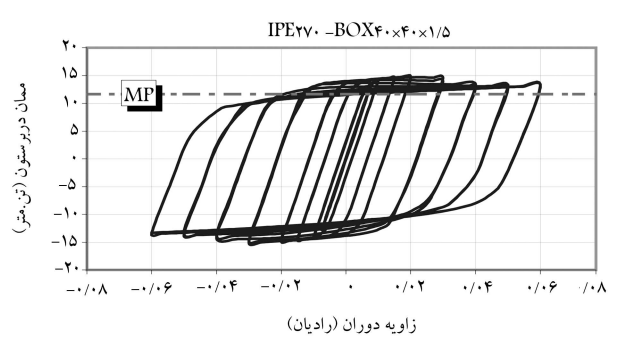
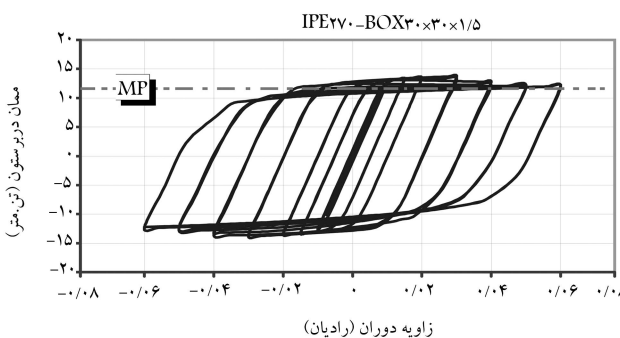
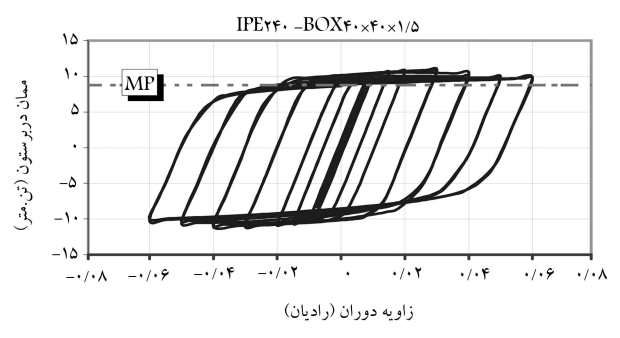
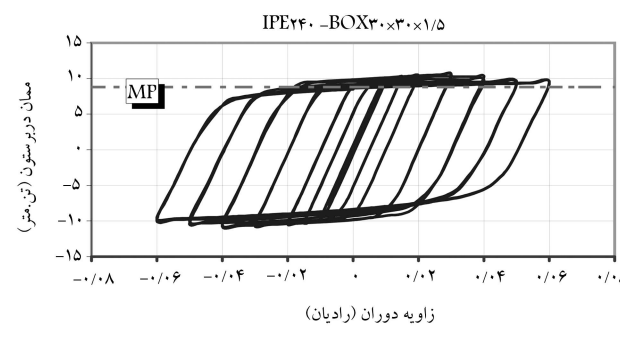
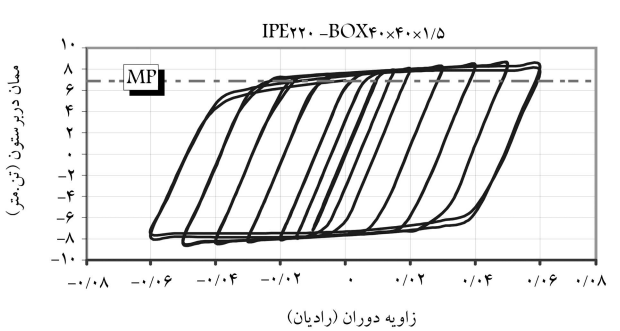
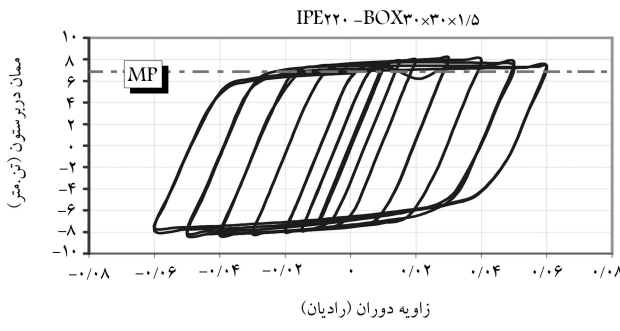
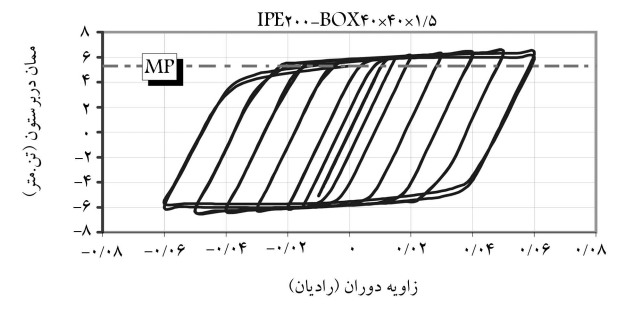
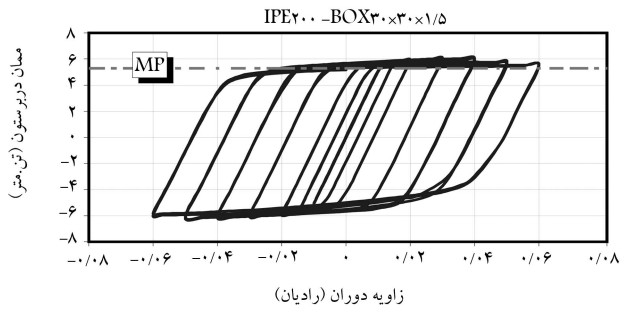
## بررسی اتصال با ورق کناری در مقایسه با اتصال‌های دیگر

سه نوع اتصال صلب با عنوان اتصال با ورق‌های زیرسری و روسری، اتصال مستقیم تیر به ستون و اتصال RBS با مقاطع تیر و ستون یکسان طراحی شدند. در اتصال دارای ورق روسری و زیرسری معرفی شده در آیین‌نامه‌ی طرح لرزه‌ی FEMA350 بال‌های تیر مستقیماً به ستون جوش نمی‌شوند. جزئیات تیپ این اتصالات در اشکال ۱۰ و ۱۱ آمده است.

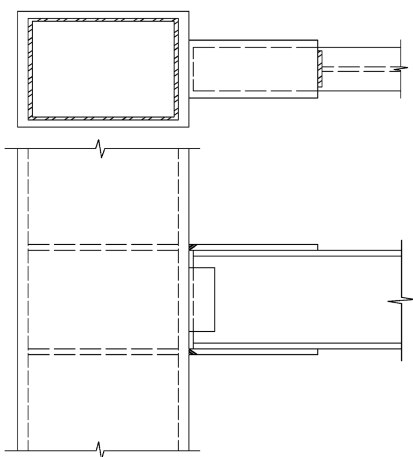
ابعاد به دست آمده از طراحی این سه اتصال در مدل‌سازی استفاده و تمام



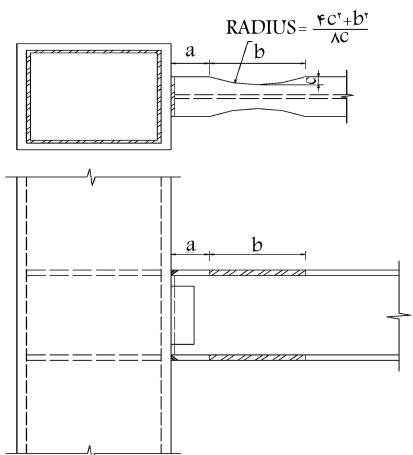
شکل ۵. توزیع تنش و کرنش مدل‌ها در زاویه‌ی دوران ۰/۶ رادیان بارگذاری دوره‌یی.



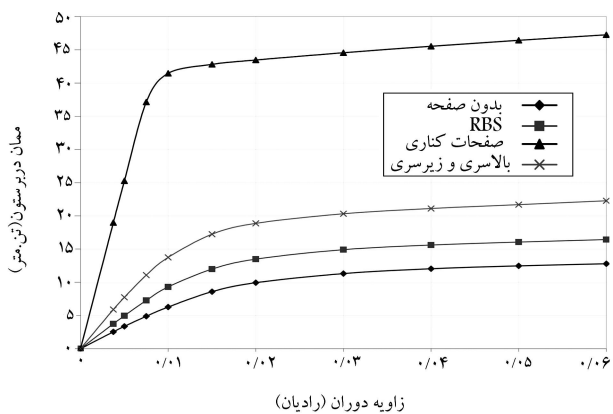
شکل ۶. منحنی هیستریزس لنگر-دوران کل زیرسازه‌ی اتصال با صفحات کناری.



شکل ۱۰. جزئیات اتصال دارای ورق روسری و زیرسری به ستون قوطی.



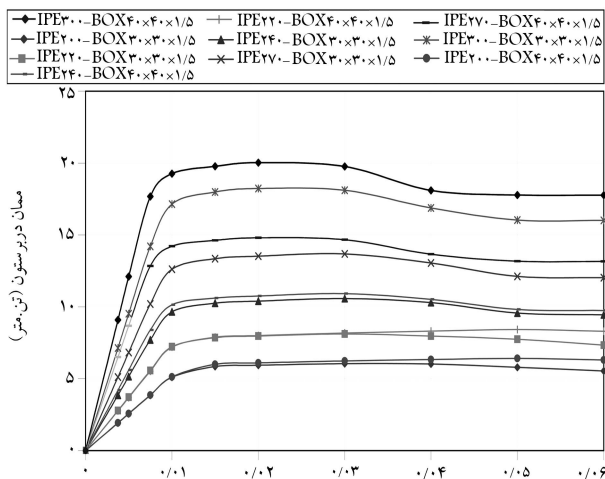
شکل ۱۱. جزئیات اتصال RBS.



شکل ۱۲. منحنی لنگر-دوران کل اتصالات مدل‌سازی شده.

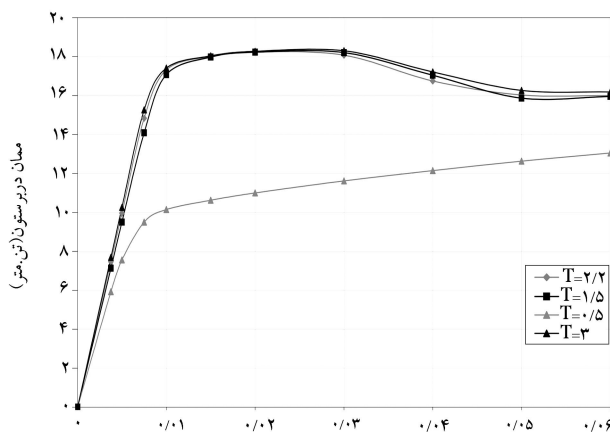
شرایط مدل‌سازی و المان‌های به‌کاررفته مشابه اتصال با ورق کناری در نظر گرفته شدند. در منحنی لنگر-دوران کل زیرسازه همه‌ی اتصالات مدل‌سازی شده تحت بار دوره‌یی، برای مقایسه با اتصال با ورق کناری در شکل ۱۲ قابل مشاهده است.

از آنجایی که تیر و ستون در تمام اتصالات مدل‌سازی شده دارای مقاطع یکسان و در تمام زیرسازه‌ها دارای سختی و مقاومت برابر هستند، می‌توان نتیجه گرفت که اتصال با ورق کناری دارای سختی و مقاومت بسیار مطلوبی است.



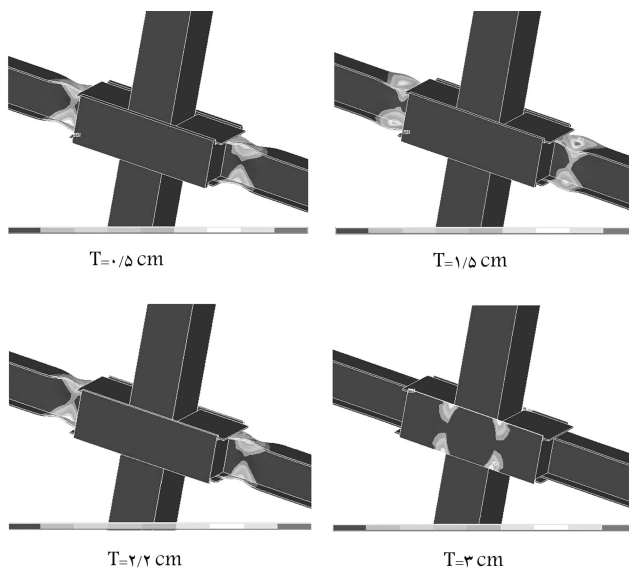
زاویه دوران (رادیان)

شکل ۷. پوش منحنی‌های هیستریزیس لنگر-دوران.



زاویه دوران (رادیان)

شکل ۸. پوش منحنی‌های هیستریزیس لنگر-دوران ورق با ضخامت مختلف.



شکل ۹. توزیع کرنش در زاویه دوران ۰/۰۶ رادیان بارگذاری دوره‌یی.

برابر است با:

$$\theta_a = M_F / (2EI/L) = 455600 \times 500 / 2 * 2,1E6 \times 1940$$

$$= 2,186E - 2Rad$$

بنابراین درصد گیرداری برابر است با:

$$R = \frac{M_{F(1)}}{M_{F(2)}} \times 100 = 3,53 \times 100 / 4,55 = 75,8$$

- حالت بار سرویس

$$F_y = 1584 \quad S_x = 194 \quad I = 1940$$

$$M_F = F_y \times S_x = 1584 \times 194 = 307296 kg.cm^2$$

مختصات نقطه‌ی تلاقی محورافقی دستگاه مختصات لنگر-دوران با خط تیر برابر است با:

$$\theta_a = \frac{M_F}{2EI/L} = 307296 \times 500 / 2 * 2,1E6 \times 1940$$

$$= 1,186Rad$$

بنابراین درصد گیرداری برابر است با:

$$R = \frac{M_{F(1)}}{M_{F(2)}} \times 100 = 2,33 \times 100 / 3,07 = 75,82$$

درصد گیرداری بقیه‌ی نمونه‌ها با همین روش به دست آمده و در جدول ۶ آورده شده است.

### طبقه‌بندی براساس معیار شکل‌پذیری

در منحنی‌های هیستریزس لنگر-دوران، در تمامی مدل‌ها مقدار لنگر در وجه ستون، در زاویه‌ی دوران  $0,4^\circ$  رادیان از  $80 \text{ MP}$  بیشتر است. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این اتصال براساس آیین‌نامه‌ی لرزه‌ی  $AISC 2005$ ، اتصالی کاملاً شکل‌پذیر با قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه است.<sup>[۹]</sup>

### نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحلیل‌ها به‌طور خلاصه عبارتند از:

- سیستم اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از صفحات کناری قادر است تمام ظرفیت خمشی خمیری تیر را به ستون انتقال دهد و باعث تشکیل مفصل خمیری در درون تیر شود. لذا این سیستم اتصال در طبقه‌ی اتصالات کاملاً مقاوم قرار می‌گیرد.
- با توجه به تشکیل مفصل خمیری در درون تیر، اتصال تیر به ستون قوطی با استفاده از صفحات کناری، ظرفیت چرخشی مناسبی را از خود نشان می‌دهد، به طوری که بدون کاهش شدید مقاومت به زاویه‌های چرخش  $0,4^\circ$  رادیان و بالاتر می‌رسد، بنابراین این اتصال کاملاً شکل‌پذیر با قابلیت استفاده در قاب‌های مقاوم خمشی ویژه SMRF است.
- هیچ‌گونه عیب و نقصی در رفتار تحلیلی زیرسازه با این اتصال مشاهده نشد و در صورتی که فقط چند نتیجه‌ی آزمایشگاهی بتواند این نتایج تحلیلی را حمایت کند، می‌توان این اتصال را جزء اتصالات رایج ایران قرار داد.

### طبقه‌بندی اتصال براساس ضوابط آیین‌نامه

در این قسمت با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل اجزاء محدود، این اتصال براساس معیارهای مختلف اتصالات خمشی طبقه‌بندی می‌شود.

### طبقه‌بندی براساس معیار مقاومت

اتصالی کاملاً مقاوم است که مقاومت آن از ظرفیت خمشی خمیری تیر بیشتر باشد. با توجه به منحنی‌های هیستریزس لنگر-دوران به دست آمده از تحلیل اجزاء محدود مشاهده می‌شود که در تمامی مدل‌ها مقاومت اتصال از ظرفیت خمشی خمیری تیر بیشتر است. بنابراین این اتصال کاملاً مقاوم یا (FS) است.

### طبقه‌بندی اتصال براساس معیار سختی

برای طبقه‌بندی براساس این معیار از مفهوم خط تیر استفاده می‌شود. برای طبقه‌بندی اتصال براساس سختی باید نمودار لنگر-دوران اتصال به دست آورده شود، سپس لنگر گیرداری و دوران را برای بار سرویس و حالت نهایی به دست آورد. در ادامه روش به دست آوردن درصد گیرداری برای یک نمونه از اتصالات آورده شده است.

محاسبه‌ی درصد گیرداری مدل SPD<sup>۰۱</sup>

$$IPE200 - BOX30 \times 30 \times 1,5$$

- حالت بار نهایی

$$F_y = 2400 \quad S_x = 194 \quad I = 1940$$

$$M_F = F_y \times S_x = 2400 \times 194 = 455600 kg.cm^2$$

مختصات نقطه‌ی تلاقی محورافقی دستگاه مختصات لنگر-چرخش با خط تیر

جدول ۶. برآورد درصد گیرداری اتصال در بار نهایی و بار سرویس.

| مقاطع ستون                | درصد گیرداری در بار نهایی | درصد گیرداری در بار سرویس |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| IPE200 - BOX30 × 30 × 1,5 | 75,816                    | 75,823                    |
| IPE200 - BOX40 × 40 × 1,5 | 75,816                    | 75,823                    |
| IPE220 - BOX30 × 30 × 1,5 | 67,130                    | 85,177                    |
| IPE220 - BOX40 × 40 × 1,5 | 75,893                    | 75,908                    |
| IPE240 - BOX30 × 30 × 1,5 | 74,043                    | 75,874                    |
| IPE240 - BOX40 × 40 × 1,5 | 75,874                    | 75,991                    |
| IPE270 - BOX30 × 30 × 1,5 | 73,718                    | 73,580                    |
| IPE270 - BOX40 × 40 × 1,5 | 77,894                    | 77,994                    |
| IPE300 - BOX30 × 30 × 1,5 | 73,758                    | 70,158                    |
| IPE300 - BOX40 × 40 × 1,5 | 77,050                    | 77,412                    |

### پانویس

1. reduced beam section (RBS)
2. side plate
3. slotted web
4. bolted bocher
5. reduced web

### منابع

۱. معاونت امور فنی-دقتزدین ضوابط و معیارهای فنی، آیین نامه‌ی اتصالات در سازه‌های فولادی، نشریه‌ی شماره ۲۶۴، (۱۳۸۲).
۲. مزروعی، ع.، سیمونیان، و.، و نیکخواه عشقی، م.، «ارزیابی اتصالات صلب جوشی متداول در ایران»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه ک-۳۵۵، ۱۳۷۸، (۱۹۹۹ م).
3. Blais, R., "Joints soudes pour profiles tubulaires", *MSc. Thesis, Civil Eng. Dep., Laval University, Quebec* (1974).
4. Picard, A, and Giroux, Y.M., "Rigid framing connections for tubular columns" *Canadian Journal of Civil Engineering*, **4**, pp.134-144 (1977).
5. Atsuo, T.; Hiroshi, M., and Akiyoshi, I., "Statistical characteristics of WF beam to RHS column connections using vertical stiffeners", *11th WCEE*, Acapulco, Mexico (1996).
6. Houghton, D.L., "Steel frame connection technology of the new millennium satisfying heightened performance expectations with simplicity and reliability at low cost", *Proceeding of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE)*, Auckland, New Zealand, January 30-February 4 (2000).
7. "ANSYS (Revision 5.4). User's manual, theory", *Swanson Analysis Systems, Inc., IV* (1992).
8. Clark, P., "Protocol for fabrication, inspection, testing and documentation of beam-column connection test and other experimental specimens", *SAC Joint Venture*, Sacramento, California (1997).
9. *AISC, American Institute of Steel Construction*, "Seismic provisions for structural steel bulidins", Chicago, Illinois (2005).