

چکیده

اتصالات به کار رفته در ساختمان‌ها ممکن است در یکی از رده‌های صلب، نیمه‌صلب یا مفصل قرار داشته باشد. فرض رفتار کاملاً مفصل یا صلب برای یک اتصال ممکن است همیشه در راستای اطمینان در طراحی یک سازه نباشد به همین دلیل در این مطالعه سعی شد تا رفتار اتصالاتی که به‌طور معمول در ساخت‌وسازهای کشور مورد استفاده قرار گرفته بررسی شود. در مطالعات آزمایشگاهی به دلیل وجود برخی محدودیت‌ها همواره فرضیاتی در نظر گرفته می‌شود که ممکن است نتایج حاصل از یک آزمایش را تحت تأثیر قرار دهد به همین دلیل بهترین آزمایشگاه برای تعیین رفتار اعضای یک ساختمان بررسی آنها پس از تجربه یک زمین‌لرزه است. یکی زمین‌لرزه‌هایی که می‌توان از آن در بررسی رفتار اعضای یک ساختمان بهره جست زلزله سرپل ذهاب-ازگله است زیرا ساختمان‌های احداث شده در شهر سرپل ذهاب عموماً پس از جنگ بین کشور ایران و عراق (۱۳۵۹-۱۳۶۷) بوده که می‌توانند نماینده‌ای از ساختمان‌های مهندسی کشور باشند. هرچند چندین سال از احداث این ساختمان‌ها می‌گذرد ولی اتصالات به کار رفته در آنها همچنان در بسیاری از ساخت‌وسازهای کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس مشاهدات میدانی، اتصالات مربوط به ساختمان‌های فولادی مناطق زلزله‌زده استان کرمانشاه را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد: ۱- اتصال با ورق روسری و زیرسری به همراه سخت‌کننده؛ ۲- اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده؛ ۳- اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان؛ ۴- اتصال ساده به همراه ورق واسط؛ در این مطالعه به‌منظور بررسی رفتار و آسیب‌های ایجاد شده‌ی این اتصالات در طول زلزله، مدل آزمایشگاهی هر گروه با مقیاس واقعی ساخته شد و تحت بارگذاری سیکلی منحنی لنگر-دوران آنها مشخص شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی دو اتصال گروه یک و چهار در رده اتصالات صلب قرار گرفت و دو گروه دو و سه در رده اتصالات نیمه‌صلب و شکننده ارزیابی شد. در نهایت برای تعیین رفتار این اتصالات در حالت آسیب‌دیده، منحنی هیستریزس اتصالات مورد تحلیل قرار گرفت و پارامترهای اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری استخراج شد. سپس دو سطح آسیب برای هر یک از چهار گروه اتصال در نظر گرفته و منحنی رفتاری آنها در هر یک از دو سطح آسیب ارائه شد.

واژگان کلیدی: اتصال نیمه‌صلب، اتصال صلب، زلزله سرپل ذهاب، اتصال آسیب‌دیده، ضرایب اصلاح.

مطالعات آزمایشگاهی بر رفتار اتصالات به کار رفته در ساختمان‌های فولادی سرپل ذهاب قبل و بعد از آسیب زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶

امیرحسین لوک‌زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

بهرخ حسینی هاشمی (نویسنده مسئول)دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و رئیس انجمن مهندسی زلزله،
behrokh@itees.ac.ir**۱- مقدمه**

فولادی باید رفتار واقعی اتصالات مدل‌سازی شود این در حالی است که در مدل‌سازی ساده یک سازه فولادی، اتصالات معمولاً به‌صورت صلب یا مفصلی در نظر گرفته می‌شود.

اتصالات نقش مهمی در رفتار و ظرفیت سازه‌های فولادی دارند؛ با افزایش سختی اتصالات، سختی سازه در برابر بارهای جانبی افزایش می‌یابد پس به‌منظور تعیین رفتار دقیق یک سازه

مورد بررسی قرار گیرد، بخش اول مربوط به تعیین رفتار اتصالات معمول است که در ساخت‌وسازهای کشور به کار می‌رود و بخش دوم مربوط به تعیین رفتار اتصالات پس از تجربه‌ی زمین‌لرزه است.

در بخش اول این مطالعه ابتدا به بررسی رفتار و آسیب‌های مشاهده شده‌ی اتصالات به کار رفته در ساختمان‌های شهر سرپل ذهاب پرداخته شده است و سپس با ساخت مدل‌های آزمایشگاهی منحنی لنگر- دوران این اعضا مشخص شده است. در بخش دوم این مطالعه با بررسی دقیق‌تر منحنی‌های تولید شده از بخش اول ضرایبی جهت اصلاح رفتار اتصالات به علت وجود آسیب ناشی از زمین‌لرزه ارائه شده است و علت اصلی انجام این بخش از مطالعه در آن است که کشور ایران یکی از نقاط لرزه‌خیز دنیاست و این موضوع سبب می‌شود تا زمین‌لرزه‌های ویرانگری همچون سرپل ذهاب (۱۳۹۶) بم (۱۳۸۲) در دهه‌های اخیر به وقوع بپیوندد، پس از این زلزله‌ها چالش جدیدی برای مهندسين و مقامات این کشور به وجود آمد زیرا تعداد زیادی از ساختمان‌ها دچار آسیب شده بود؛ تخریب و نوسازی این ساختمان‌ها برای مالکین هزینه زیادی داشت به همین دلیل علاقه‌مند به تعمیر ساختمان خود بودند؛ این در حالی است که در این کشور هیچ مقررات خاصی برای ترمیم ساختمان‌ها و نحوه مدل‌سازی آنها وجود ندارد.

پروژه ATC-43 یکی از مجموعه پروژه‌ها و دستورالعمل‌های موجود در دنیا است که مربوط به ارزیابی و تعمیر ساختمان‌های آسیب‌دیده بعد از زلزله است؛ این پروژه در سال ۱۹۹۶ پس از دو زمین‌لرزه ویرانگر در لوماپریتا (۱۹۸۹) و نورث‌ریج (۱۹۹۴) که به تعداد زیادی از ساختمان‌های بتنی و مصالح بنایی آسیب رساندند، آغاز شد که نتایج آن در سال ۱۹۹۸ در قالب سه گزارش (FEMA 306, 1998) ارائه شد. روش تجزیه و تحلیل ساختمان آسیب‌دیده در پروژه ATC-43 به گونه‌ای است که با توجه به میزان خسارت وارد شده به اعضای ساختمان، ضرایبی برای اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری اعضا ارائه می‌شود. یکی از محدودیت‌های پروژه ATC-43 در آن است که

مطالعات زیادی در جهان برای تعیین رفتار اتصالات فولادی انجام شده است. از جمله اولین مطالعات آزمایشگاهی که بر روی اتصالات نیمه‌صلب فولادی که عموماً به صورت پیچ و پرچ بوده‌اند، مربوط به سال‌های ۱۹۱۷ الی ۱۹۴۱ است که در طی این سال‌ها حدود ۱۰۶ نمونه از این اتصالات ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. شش نمونه مربوط به سال ۱۹۱۷ است که تحقیقات آن در دانشگاه Illinois انجام شد (Wilson & Moore, 1917)، ۵۳ نمونه مربوط به سال‌های ۱۹۳۱-۱۹۳۶ است که ۳۵ نمونه توسط دپارتمان تحقیقات علمی و صنعتی بریتانیا (Steel Structures Research Committee, 1936) و ۱۸ نمونه توسط مؤسسه ساخت‌وساز فولاد آمریکا (Rathbun, 1936) مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت ۴۷ نمونه در سال‌های ۱۹۳۹ الی ۱۹۴۱ توسط مؤسسه ساخت‌وساز فولاد آمریکا (Hechtman & Johnston, 1947) ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. تمام این مطالعات یک هدف مشخص را دنبال کرده‌اند و آن تعیین منحنی لنگر- دوران اتصالاتی بوده که تنها وظیفه انتقال برش را داشته‌اند و همه به این نتیجه رسیدند که این اتصالات توانایی انتقال لنگر قابل توجهی را از تیر به ستون دارند. از مطالعاتی که در دهه اخیر بر روی اتصالات ساده‌ی فولادی انجام شد می‌توان به مطالعات در سال ۲۰۰۳ (Abolmaali, Kukreti, & Razavi, 2003) که بر روی دو گروه از اتصالات فولادی که در آنها تیر توسط دو نبشی جان به ستون متصل شده است اشاره کرد. در گروه اول نبشی‌ها به جان تیر و بال ستون توسط پیچ متصل شده و در گروه دوم نبشی‌ها توسط جوش به جان تیر و توسط پیچ به بال ستون متصل شده است. در این مطالعات ۱۲ نمونه از گروه اول و ۸ نمونه از گروه دوم ساخته شد و تحت بارگذاری سیکلی مورد آزمایش قرار گرفت که در نهایت منحنی لنگر- دوران هر اتصال مشخص گردید. این مطالعات نشان داد که اتصالاتی که صرفاً جهت انتقال برش طراحی می‌شوند توانایی انتقال لنگر قابل توجهی از تیر به ستون را دارند. در این مطالعه سعی شده تا دو بخش کلی از رفتار اتصالات

اتصالات بر حسب صلیت آنها، (Batho & Rowan, 1934) روشی را ارائه نموده‌اند که توسط (Sourochinkoff, 1950) توسعه یافت و به نام خط تیر نامیده شد. مطابق شکل (۱) تیر AB که تحت تأثیر لنگرهای خمشی M_a و M_b در انتهای خود قرار دارد. مقدار زاویه دوران دو انتهای این تیر برابر θ_a و θ_b می‌باشد. معادلات شیب-افت برای تیر AB به صورت زیر است:

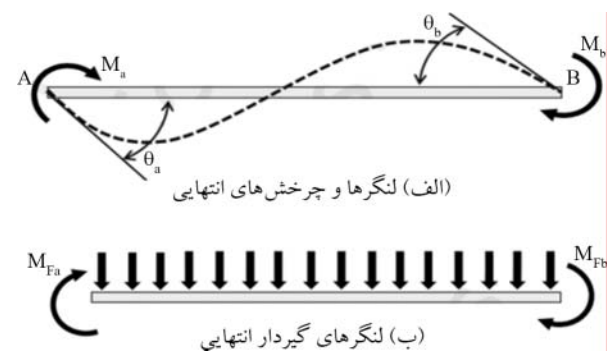
$$M_a = M_{Fa} + \frac{4EI}{L}\theta_a + \frac{2EI}{L}\theta_b \quad (1)$$

$$M_b = M_{Fb} + \frac{2EI}{L}\theta_a + \frac{4EI}{L}\theta_b$$

$$\frac{6EI}{L}\theta_a = 2(M_a + M_{Fa}) - (M_b - M_{Fb}) \quad (2)$$

$$\frac{6EI}{L}\theta_b = 2(M_b + M_{Fb}) - (M_a - M_{Fa})$$

$$\frac{6EI}{L}(\theta_a - \theta_b) = 3(M_a - M_b) - 3(M_{Fa} - M_{Fb}) \quad (3)$$



شکل (۱): لنگرهای خمشی و دوران در تیر.

در صورتی که بارگذاری به صورت متقارن باشد

$$M_b = -M_a \text{ و } \theta_b = -\theta_a \text{ و } M_{Fb} = -M_{Fa} \quad (4)$$

$$M_a = M_{Fa} + \frac{2EI}{L}\theta_a \quad (5)$$

رابطه (۵) را معادله‌ی خط تیر می‌نامند و برای اتصال کاملاً گیردار $M_a = M_{Fa}$ و $\theta_a = 0$ است، برای اتصالات با رفتار کاملاً مفصلی $M_a = 0$ و شیب انتهایی A برابر $\theta_a = -(M_{Fa}L/2EI)$ است. چنانچه بار گسترده با شدت W بر تیر اعمال شود، آنگاه $M_{Fa} = -(WL^2/12)$ و برای انتهای مفصلی $\theta_a = -(WL^3/24EI)$ است. در شکل (۲) معادله خط تیر به صورت شماتیک ترسیم شده است.

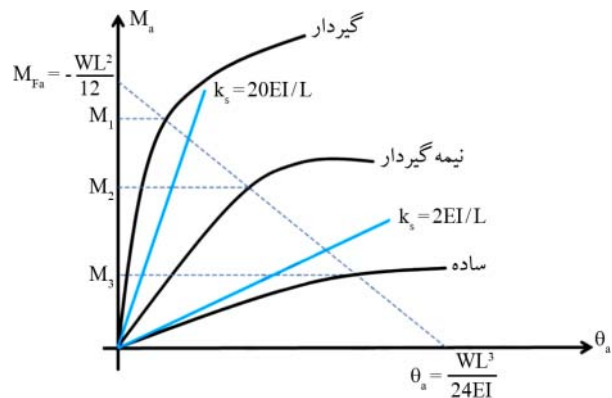
صرفاً ضرایب اصلاحی را برای دیوارهای باربر جانبی ارائه کرده و در مورد تیرها و ستون‌ها مطالبی بیان نکرده است به همین دلیل در سال ۲۰۱۳ مطالعاتی در زمینه تولید منحنی‌های مربوط به ضرایب اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری ستون‌های بتنی توسط (Di Ludovico, Polese, d'Aragona, & et al., 2013) انجام شد؛ حسینی هاشمی و آران ناصرپور در سال ۲۰۱۵ (Hosseini Hashemi & Naserpour, 2015) مدل‌های اجزای محدودی از ستون‌های فولادی ساخته و تأثیر آسیب ناشی از زلزله را بر ظرفیت ستون‌های فولادی مشخص کردند.

روش استفاده از ضرایب اصلاح مشخصات مفصل پلاستیک یکی از روش‌های مدل‌سازی اعضای آسیب‌دیده است که از مطالعه دقیق منحنی هیستریزس عضو حاصل می‌شود در این روش فرض بر این است که هر جابه‌جایی یا دوران از منحنی هیستریزس عضو را می‌توان به عنوان یک سطح آسیب در نظر گرفت و منحنی هیستریزس عضو در جابه‌جایی‌ها یا دوران بیشتر از آن سطح (سطح آسیب) در واقع بیانگر رفتار عضو آسیب‌دیده است. در این مطالعه با همین روش منحنی‌های مربوط به ضرایب اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری مربوط به چهار اتصال مورد آزمایش تولید شده است.

۲- انواع اتصالات تیر به ستون

اتصالات در سازه‌های فولادی را می‌توان بر حسب میزان گیرداری به سه رده مفصلی، صلب و نیمه‌صلب تقسیم نمود. در اتصالات ساده تیر به ستون، هیچ لنگری در محل اتصال ایجاد نشده و زاویه دوران تیر و ستون آزاد است. در اتصال صلب یا گیردار، تمام ظرفیت خمشی عضو متصل شونده توسط اتصال به عضو دیگر منتقل شده و زاویه دوران ثابت می‌ماند. اتصالات با درصد گیرداری بیش از ۹۰ درصد در رده گروه اتصالات صلب، اتصالات با درصد گیرداری کمتر از ۲۰ درصد در گروه اتصالات ساده و اتصالات درصد گیرداری بین ۲۰ تا ۹۰ درصد در گروه اتصالات نیمه‌صلب محسوب می‌شوند (Hosseini Hashemi, Alirezaei, & Ahmadi, 2016). برای درک مناسب‌تر از تفاوت‌های موجود بین انواع

باربر جانبی آنها به سه گروه تقسیم کرد: ۱- قاب خمشی؛ ۲- قاب ساده و ۳- قاب مهاربندی و اتصالات مربوط به این ساختمان‌ها را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد: ۱- اتصال با ورق روسری و زیرسری به همراه سخت‌کننده؛ ۲- اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده؛ ۳- اتصال نشیمن ساده به همراه ورق برشگیر جان و ورق قرارگیری هر گروه از اتصالات در هر یک از گروه‌های مربوط به قاب‌های ساختمان‌های فولادی نشان داده شده است.



شکل (۲): معادله خط تیر و منحنی لنگر خمشی بر حسب دوران.

با توجه به شکل (۲)، اتصال گیردار (صلب) باید، M_1 حداقل معادل ۹۰ درصد لنگر گیرداری M_{Fa} را انتقال دهد. برای یک اتصال نیمه گیردار (نیمه‌صلب) انتظار می‌رود، M_3 لنگری معادل حدود ۵۰ درصد لنگر گیرداری را انتقال دهد. یک اتصال ساده M_{Fa} ، حداکثر لنگری معادل ۲۰ درصد لنگر گیرداری M_{Fa} را انتقال می‌دهد. سختی سکانتی اتصال را می‌توان با $K_s = M_s / \theta_s$ بیان نمود. در صورتی که $K_s < 20EI/L$ باشد، اتصال را می‌توان به صورت گیردار در نظر گرفت. در اتصالات ساده مقدار $K_s < 2EI/L$ است. برای اتصالات با سختی ما بین این دو مقدار نیز می‌توان آن اتصال را به صورت نیمه گیردار در نظر گرفت (Hosseini Hashemi, Alirezaei, & Ahmadi, 2016).

۳- طبقه‌بندی اتصالات به کار رفته در ساختمان‌های فولادی مناطق زلزله‌زده استان کرمانشاه

بر اساس مشاهدات میدانی قاب‌های ساختمان‌های فولادی مناطق زلزله‌زده استان کرمانشاه را می‌توان بر اساس نوع سیستم

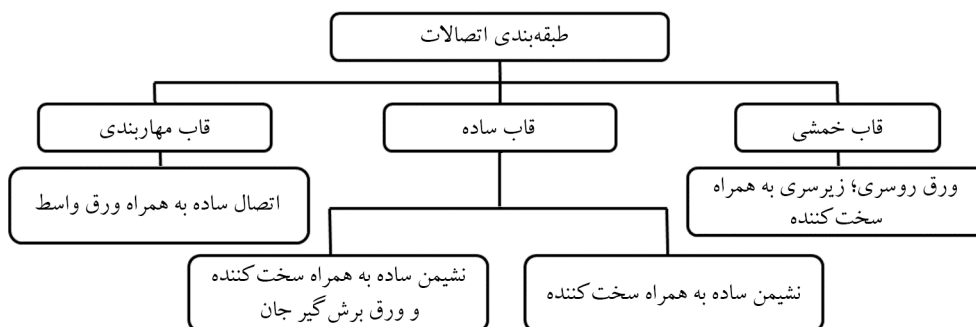
۴- رفتار اتصالات در زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶

در این بخش به مشخصات، اجزای تشکیل دهنده و روش اجرای هر چهار گروه از اتصالات مورد بررسی پرداخته شده است؛ همچنین رفتار و آسیب‌های ایجاد شده در این اتصالات بعد از زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۱- مشخصات، رفتار و آسیب‌های اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت‌کننده

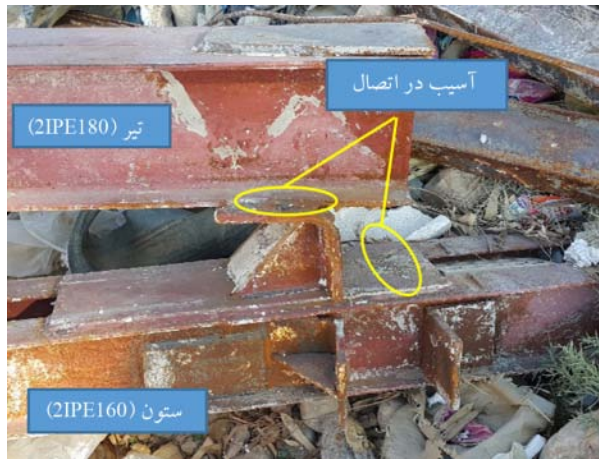
مشخصات: این اتصال تشکیل شده از یک ورق دوزنقه‌ای شکل در بالای تیر (شکل ۴)، یک ورق مستطیلی شکل در پایین تیر به همراه دو سخت‌کننده در زیر آن است (شکل ۵). تمام اجزای این اتصال با جوش گوشه به یکدیگر متصل شده است.

رفتار: بر اساس مشاهدات صورت گرفته از آسیب‌های ایجاد شده در ساختمان‌های فولادی که دارای سیستم باربر جانبی قاب خمشی است عموماً مفصل پلاستیک در ستون‌ها تشکیل شد،



شکل (۳): طبقه‌بندی اتصالات به کار رفته در ساختمان‌های فولادی مناطق زلزله‌زده استان کرمانشاه.

آسیب: بر اساس مشاهدات صورت گرفته دلیل اصلی ایجاد آسیب در این نوع اتصال، کیفیت پایین جوشکاری یا طول جوش ناکافی است. این اتصالات در قاب‌های خمشی به کار می‌رود که در واقع یکی از اعضای اصلی سیستم باربر جانبی است و چنانچه این اتصالات دچار آسیب یا فروپاشی شود کل سیستم باربر جانبی ساختمان دچار آسیب خواهد شد. شکل (۷) نمایی از آسیب‌های ایجاد شده در این نوع اتصال را نشان می‌دهد.



شکل (۷): آسیب‌های ایجاد شده در اتصال.

۴-۲- مشخصات، رفتار و آسیب اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده

مشخصات: این اتصال تشکیل شده از یک نبشی در بالای تیر و یک نبشی به همراه ورق مثلی شکل به عنوان سخت کننده در پایین تیر است. شکل (۸) نمایی از این اتصال را نشان می‌دهد.



شکل (۸): نمایی از اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده.

این موضوع نشان می‌دهد که این اتصال توانایی انتقال لنگری بیشتر از ظرفیت خمشی ستون متصل شده به خود را دارد. معمولاً در ساخت ستون‌های ساختمان‌های فولادی مناطق زلزله زده استان کرمانشاه از دو پروفیل IPE160 یا IPE180 استفاده شده است. شکل (۶) نمایی از مفصل پلاستیک تشکیل شده در ستون متصل به این اتصال را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمایی از ورق روسری.



شکل (۵): نمایی از ورق زیر سری به همراه سخت کننده‌ها.



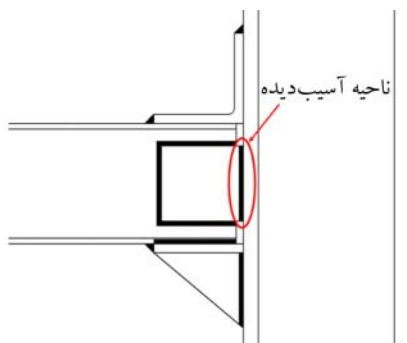
شکل (۶): تشکیل مفصل پلاستیک در ستون.

۳-۴- مشخصات، رفتار و آسیب اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان

مشخصات: این اتصال از یک نبشی در بالای تیر، یک ورق مستطیلی شکل در پایین تیر به همراه یک ورق سخت‌کننده در زیر آن ساخته شده است؛ همچنین به منظور کنترل برش در این نوع اتصال یک ورق، جان تیر را به ستون متصل کرده است.

رفتار: این اتصال رفتاری مشابه با اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده داشته ولی به علت وجود ورق برشگیر جان دارای سختی بیشتری است.

آسیب: بر اساس مشاهدات صورت گرفته آسیب‌های ایجاد شده در این اتصال مربوط به جوش ورقی بوده که جان تیر را به ستون متصل کرده است البته این آسیب در ساختمان‌هایی مشاهده شد که دچار آسیب چندانی نشده‌اند (شکل ۱۱)؛ همچنین جاری شدن (بازشدگی) در نبشی بالایی تیر نیز از جمله آسیب‌هایی بوده که مشاهده شده است.



(الف) نمایی شماتیک از آسیب



(ب) تصویری از آسیب

شکل (۱۱): شکست جوش ورق برشگیر جان.

رفتار: به علت وجود سخت‌کننده در نبشی پایینی که اجازه‌ی باز یا بسته شدن به آن را نمی‌دهد این اتصال در لنگرهای مثبت (تارهای پایینی تیر در کشش) رفتاری مشابه یک اتصال نیمه‌صلب داد و در لنگرهای منفی (تارهای بالایی تیر در کشش) که تنها نبشی بالایی تیر دچار بازشدگی می‌شود رفتاری مشابه یک اتصال ساده دارد. شکل (۹) نمایی از کمانش موضعی در ستون به علت لنگر انتقال پیدا کرده از اتصال را نشان می‌دهد.

آسیب: بر اساس مشاهدات صورت گرفته عمده آسیب‌های ایجاد شده در این اتصال مربوط به شکست جوش و جاری شدن (بازشدگی) نبشی بالایی تیر بوده است. شکل (۱۰) نمایی از آسیب در این اتصال را نشان می‌دهد.



شکل (۹): کمانش موضعی در ستون.



شکل (۱۰): آسیب در اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده.



شکل (۱۳): آسیب در ستون.

۵- نحوه انجام آزمایش

شکل (۱۴) نمایی کلی از نحوه انجام آزمایش‌های صورت گرفته در این مطالعه را نشان می‌دهد. یک جک هیدرولیکی با قدرت ۲۵۰ کیلونیوتن به قاب صلب متصل شده و جابه‌جایی افقی به بالای نمونه اعمال می‌کند. این جک توانایی ارائه نیرو و جابه‌جایی اعمال شده در بالای نمونه را دارد. جک هیدرولیکی توسط یک اتصال مفصلی به نمونه متصل شده و یک مهار جانبی به منظور جلوگیری از حرکت جانبی نمونه در نظر گرفته شده است. نحوه اتصال نمونه به قاب صلب توسط پیچ‌های با مقاومت بالا صورت گرفته تا امکان دوران و جابه‌جایی نمونه در طول بارگذاری وجود نداشته باشد. شکل (۱۵) نحوه قرارگیری نمونه را نشان می‌دهد. مدل‌های ساخته شده در این مطالعه نماینده‌ای از تیر و ادوات مربوط به اتصال است و تیر افقی موجود در قاب صلب موجود در آزمایشگاه نماینده‌ی ستون است. به دلیل آنکه ابعاد ستون در نظر گرفته شده (تیر افقی قاب صلب) به مراتب از تیر و اتصال متصل شده به آن بزرگ‌تر است در طول آزمایش تغییر شکل‌های بسیار ناچیزی در آن ایجاد شد که این تغییر شکل‌ها توسط پردازش تصویر که در حین انجام آزمایش انجام شده است مورد بررسی قرار گرفته است به همین دلیل از تغییر شکل‌های ایجاد شده در تیر افقی قاب صلب که نماینده‌ی ستون است صرف‌نظر شده است.

۴-۴- مشخصات، رفتار و آسیب اتصال ساده به همراه ورق واسط

مشخصات: اجزای این اتصال مشابه با اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان است با این تفاوت که در بالا و پایین تیر دو ورق واسط جهت اتصال مهاربندها وجود دارد؛ البته در برخی از این نوع اتصالات تنها یک ورق واسط در پایین تیر وجود دارد.

رفتار و آسیب: بر اساس مشاهدات صورت گرفته از مناطق

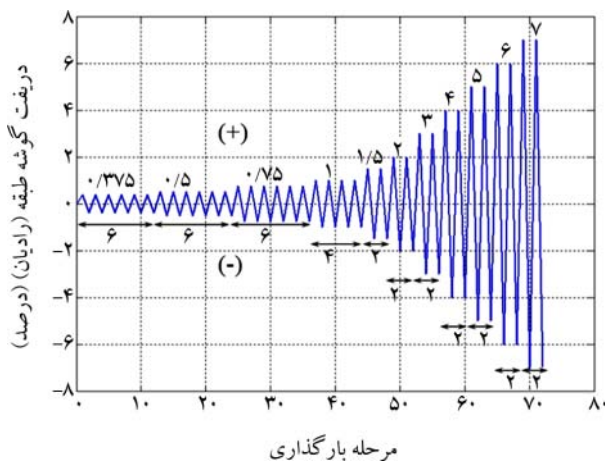
زلزله‌زده استان کرمانشاه به خصوص شهر سرپیل ذهاب در این نوع اتصال آسیب‌های زیادی مشاهده شده است که این آسیب‌ها را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد:

گروه اول مربوط به آسیب‌های ایجاد شده در جوش‌های مربوط به اتصال ورق واسط به تیر و ستون است که علت اصلی آن کیفیت پایین جوشکاری و طول جوش ناکافی است؛ این موضوع سبب شده تا در طول زلزله ورق واسط از تیر و ستون جدا شود که در نتیجه مهاربند متصل به این اتصال از سیستم باربر جانبی ساختمان خارج شده و آسیب‌های جدی به ساختمان وارد شده است (شکل ۱۲).

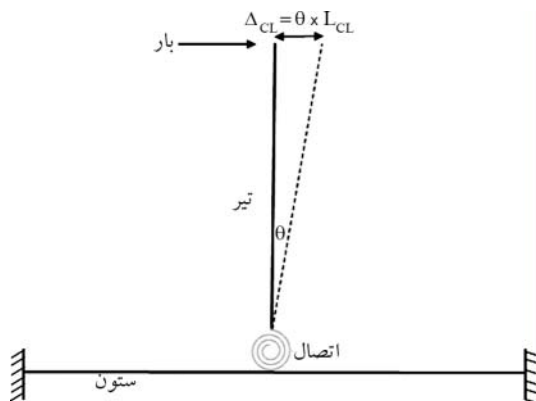
گروه دوم از آسیب‌های ایجاد شده مربوط به تشکیل مفصل پلاستیک در ستون‌های متصل به این اتصال است. وجود ورق‌های واسط سبب شده تا ناحیه‌ای صلب در تیر و ستون به اندازه‌ی ابعاد ورق واسط تشکیل شود که این موضوع سبب شده از جانب تیر به ستون لنگر انتقال پیدا کند (شکل ۱۳).



شکل (۱۲): آسیب در اتصال.



شکل (۱۶): پروتکل بارگذاری.

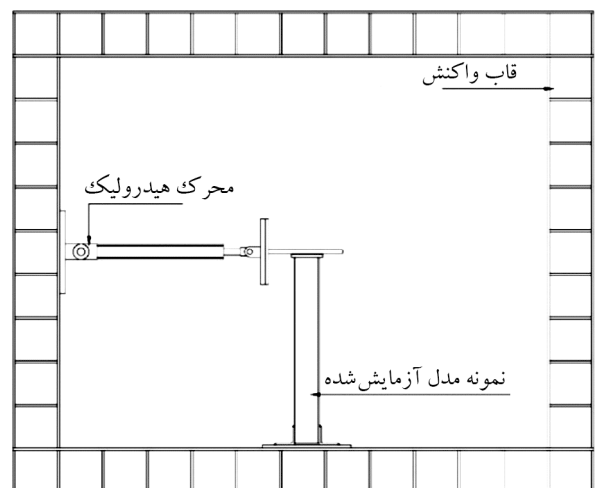


شکل (۱۷): نمایی شماتیک از نحوه جابه‌جایی‌های اعمال شده.

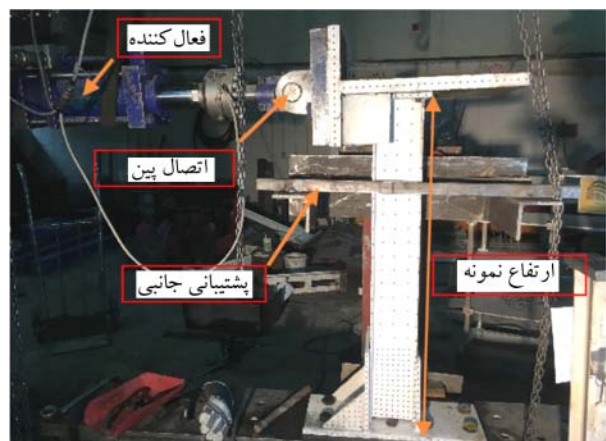
۷- اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت‌کننده (WFS)

۷-۱- مشخصات نمونه

ابعاد اجزای تشکیل‌دهنده‌ی نمونه آزمایش بر اساس ابعاد اتصالات به کار رفته در عموم ساختمان‌های شهر سرپل ذهاب در نظر گرفته شده است. بر این اساس تیر متصل شده به این اتصال تشکیل شده از دو پروفیل IPE160 است؛ ورق قرار گرفته در بالای تیر به شکل یک دوزنقه است که طولی برابر ۲۵۰ میلی‌متر و عرضی برابر ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر و ضخامتی برابر ۱۵ میلی‌متر دارد (شکل ۱۸)؛ ورق قرار گرفته در پایین تیر ضخامتی برابر ۱۵ میلی‌متر و ابعادی برابر ۲۰۰×۳۰۰ میلی‌متر دارد، در پایین آن دو ورق به‌عنوان سخت‌کننده که شکلی مانند مثلث دارد به آن متصل شده است. این سخت‌کننده‌ها ضخامتی برابر ۱۰ میلی‌متر و ابعادی برابر ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر دارد (شکل ۱۹).



شکل (۱۴): نمایی شماتیک از نحوه انجام آزمایش.



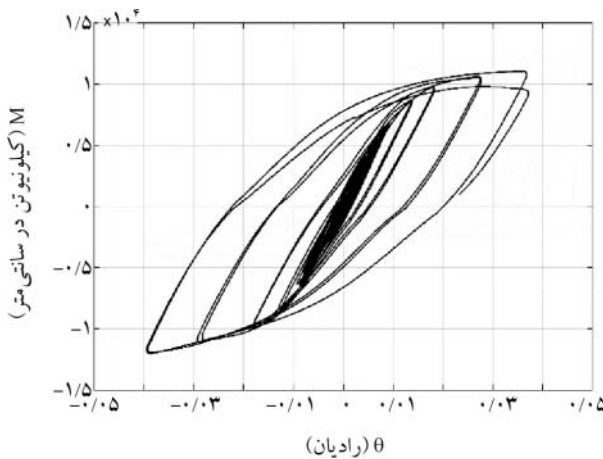
شکل (۱۵): نمایی کلی از نحوه قرارگیری نمونه.

۶- پروتکل بارگذاری

به‌منظور شبیه‌سازی نیروهای لرزه‌ای وارده بر اتصالات، نمونه‌های آزمایش باید تحت بارگذاری چرخه‌ای شبه استاتیکی قرار بگیرد. پروتکل بارگذاری یکی از عوامل تأثیرگذار بر رفتار اتصالات در طول بارگذاری است به همین منظور از پروتکل بارگذاری ارائه شده توسط AISC341-10 (AISC, 2010) استفاده شده است (شکل ۱۶). بر اساس این بارگذاری در هر مرحله از آن باید دوران مشخصی بر اتصال اعمال شود، در این مطالعه به دلیل آنکه بارگذاری توسط یک جک هیدرولیکی به صورت افقی انجام می‌شود باید دوران‌های تعیین شده به جابه‌جایی افقی تبدیل و بر نمونه اعمال شود (شکل ۱۷).

۲-۷- نتایج آزمایش

میزان جابه‌جایی و نیروی اعمال شده به بالای نمونه در طول آزمایش توسط جک هیدرولیکی اندازه‌گیری شد و با توجه به طول نمونه، منحنی لنگر- دوران مربوط به آزمایش محاسبه و در شکل (۲۱) نمایش داده شده است. بر اساس نتایج آزمایش این نوع اتصال می‌تواند تا حدود 0.04 رادیان بدون افت مقاومت دوران کند و حداکثر مقاومتی به اندازه‌ی 1.0×1.0 کیلونیوتن در سانتی‌متر در لنگرهای مثبت و 1.0×1.2 کیلونیوتن در سانتی‌متر در لنگرهای منفی داشته باشد.



شکل (۲۱): منحنی هیستریزس اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت‌کننده (WSF).

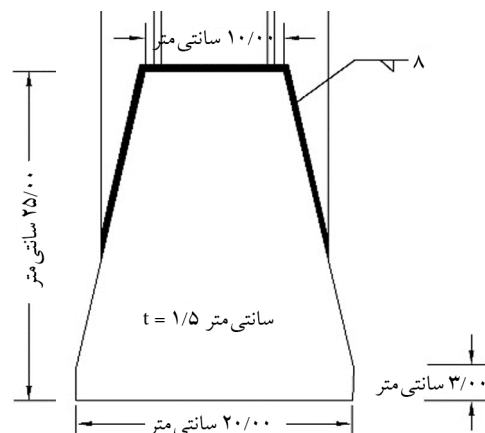
۲-۳- آسیب‌های ایجاد شده در نمونه

در طول آزمایش ترک‌هایی بر روی رینگ‌های مربوط به ورق بالایی تیر و خود تیر متصل شده به اتصال ایجاد شد که نشان‌دهنده‌ی کرنش زیاد فولاد در آن نواحی است (شکل ۲۲).

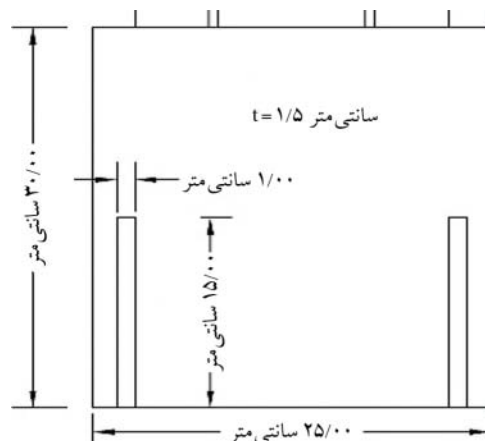


شکل (۲۲): تغییر شکل‌های ایجاد شده در تیر و ورق روسری.

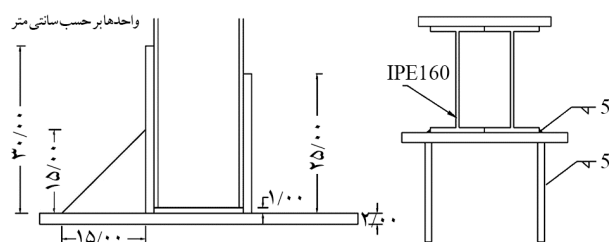
تمام اجزای تشکیل‌دهنده اتصال توسط جوش گوشه به یکدیگر متصل شد که الکتروود مصرفی در فرآیند جوشکاری از نوع E6013 است. از آنجایی که نمی‌توان اجزای نمونه را به قاب صلب توسط جوش متصل کرد؛ تمام این اجرا به یک ورق با ضخامت 200 میلی‌متر متصل شد و آن ورق توسط پیچ‌های با مقاومت بالا به قاب صلب متصل شده است. شکل (۲۰) نمایشی دیگر از نمونه ساخته شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این نمونه طولی برابر $117/5$ سانتی‌متر دارد.



شکل (۱۸): جزئیات ورق روسری.



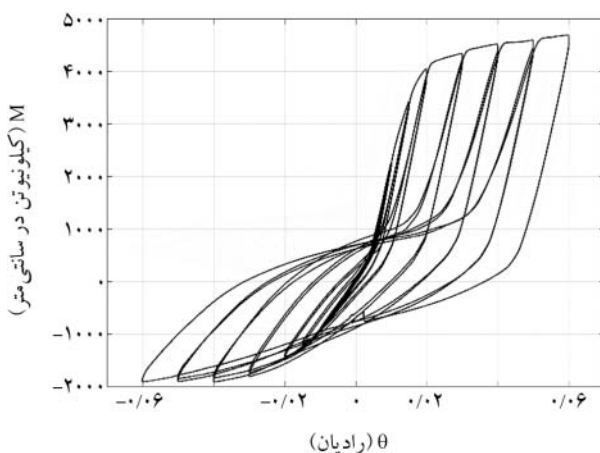
شکل (۱۹): جزئیات ورق زیرسری.



شکل (۲۰): جزئیات اجزای اتصال.

۸-۲- نتایج آزمایش

شکل (۲۵) منحنی لنگر- دوران مربوط به این اتصال با توجه به آزمایش صورت گرفته را نمایش می‌دهد که بر اساس آن این اتصال می‌تواند تا حدود $0/06$ رادیان بدون افت مقاومت دوران کند و در لنگرهای مثبت مقاومتی به اندازه $4/7 \times 10$ کیلونیوتن در سانتی‌متر داشته باشد این در حالی بوده که در لنگرهای منفی به علت بازشدگی نبشی بالای تیر بیشینه مقاومت آن به اندازه $1/9 \times 10$ کیلونیوتن در سانتی‌متر است.



شکل (۲۵): منحنی هیستریزس اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده (SSS).

۸-۳- آسیب‌های ایجاد شده در نمونه

در طول آزمایش ترک‌هایی بر روی رنگ تیر متصل به اتصال در نزدیکی نبشی پایین تیر ایجاد شد که نشان‌دهنده کرنش زیاد فولاد در آن نواحی است (شکل ۲۶).



شکل (۲۶): تغییر شکل‌های ایجاد شده در دوران $0/05$ رادیان.

در نهایت با رسیدن دوران به اندازه $0/04$ رادیان، جوش مربوط به بال تیر به ورق پایین تیر دچار شکست شد (شکل ۲۳). لازم به ذکر است که این نوع آسیب با آسیب‌های ایجاد شده در اتصالات ساختمان‌های آسیب‌دیده از زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ (شکل ۷) مطابقت دارد.

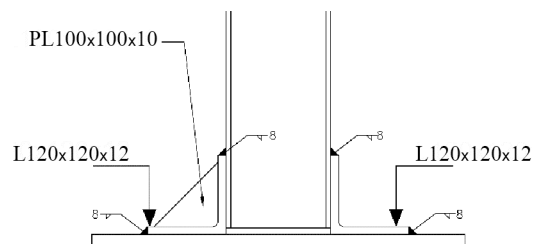


شکل (۲۳): آسیب ایجاد شده در جوش.

۸-۱- اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده (SSS)

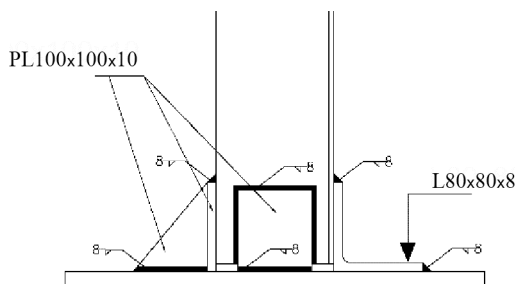
۸-۱- مشخصات نمونه

تیر متصل شده به این اتصال ساخته شده از یک پروفیل IPE160 است که با ورق انتهایی نمونه فاصله‌ای به اندازه 10 میلی‌متر دارد. دو نبشی ($120 \times 120 \times 12$ L) در بالا و پایین تیر قرار دارد که در زیره نبشی پایینی تیر یک ورق با ضخامت 10 میلی‌متر که به شکل مثلث است به عنوان سخت کننده به آن متصل شده است؛ تمام اجزای این اتصال توسط جوش گوشه با الکتروود E6013 به یکدیگر متصل شده است. شکل (۲۴) نمایی شماتیک از این نوع اتصال را نشان می‌دهد لازم به ذکر است که این نمونه طولی به اندازه 121 سانتی‌متر دارد.

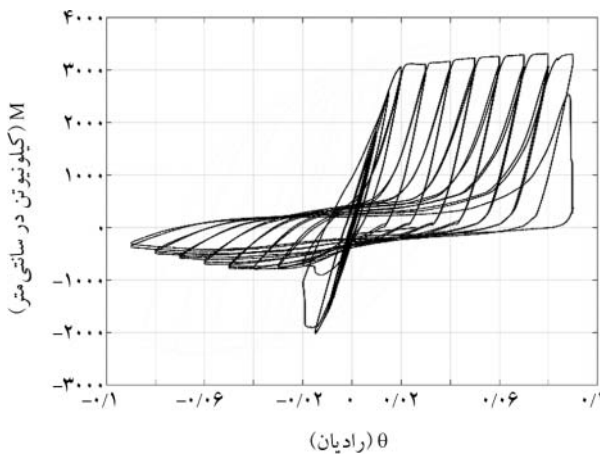


شکل (۲۴): نمایی شماتیک از اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده (SSS).

را نشان می‌دهد که بر اساس آن، اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان می‌تواند به اندازه ۰/۰۹ رادیان دوران کند. این میزان دوران در لنگرهای مثبت که تار پایین تیر در کشش قرار می‌گیرد بدون افت مقاومت بوده ولی در لنگرهای منفی افت ناگهانی مقاومت در دوران به اندازه ۰/۰۲ رادیان اتفاق افتاده است. بیشینه مقاومت این اتصال در لنگرهای مثبت و منفی به ترتیب برابر $3/31 \times 10$ کیلونیوتن در سانتی‌متر $3/03 \times 10$ کیلونیوتن در سانتی‌متر است.



شکل (۲۸): جزئیات اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان (SSSP).



شکل (۲۹): منحنی هیستریزس اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان (SSSP)

۳-۹- آسیب‌های ایجاد شده در نمونه

در سیکل‌های ابتدایی آزمایش (۰/۰۲ رادیان) به‌طور ناگهانی مقاومت اتصال در لنگرهای منفی کاهش پیدا کرد که با بررسی مجدد نمونه مشخص شد این افت مقاومت مربوط به شکست جوش ورق برشگیر جان است که در شکل (۳۰) نمایش داده شده است. این آسیب در اتصال به علت مقاومت کم نبشی

این در حالی بود که در طول بارگذاری نبشی بالایی تیر مانند یک لولا رفتار کرده است. در نهایت بعد از دوران به اندازه ۰/۰۶ رادیان جوش مربوط به نبشی بالایی تیر دچار شکست شد (شکل ۲۷) که این موضوع با آسیب‌های ایجاد شده در این نوع اتصال بعد از زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ مطابقت دارد (شکل ۱۰).



شکل (۲۷): نمایی از آسیب ایجاد شده در اتصال.

۹- اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان (SSSP)

۹-۱- مشخصات نمونه

تیر متصل شده به این اتصال ساخته شده از یک پروفیل IPE140 است که با ورق انتهایی اتصال ۱۰ میلی‌متر فاصله دارد. یک نبشی (L۸۰×۸۰×۱۰) در بالای تیر و یک ورق به ابعاد $100 \times 100 \times 10$ میلی‌متر در پایین تیر که در زیر آن یک ورق مثلثی شکل به ابعاد 100×100 میلی‌متر و ضخامت ۱۰ میلی‌متر به‌عنوان سخت‌کننده قرار دارد. علاوه بر اجزای معرفی شده در این اتصال یک ورق به ابعاد $100 \times 100 \times 10$ میلی‌متر جان تیر را به ورق انتهایی نمونه متصل کرده است. تمامی اجزای اتصال توسط جوش گوشه با الکتروود E6013 به یکدیگر متصل شده است. طول نمونه مورد آزمایش برابر $121/5$ سانتی‌متر است و شکل (۲۸) نمایی شماتیک از اجزای تشکیل‌دهنده این اتصال را نشان می‌دهد.

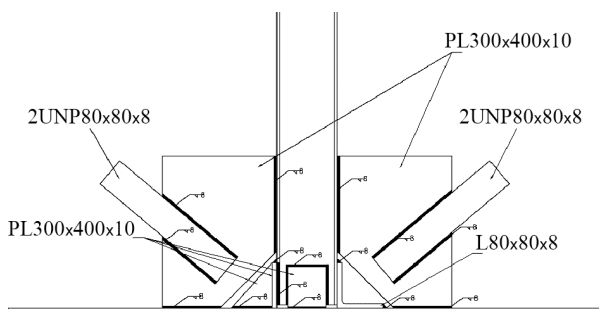
۹-۲- نتایج آزمایش

شکل (۲۹) منحنی لنگر-دوران حاصل از آزمایش این اتصال

۱۰- اتصال ساده به همراه ورق واسط (SSSG)

۱-۱۰- مشخصات نمونه

اجزای تشکیل دهنده‌ی این اتصال کاملاً مشابه اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده و ورق برشگیر جان است با این تفاوت که در این اتصال به علت وجود مهاربندها دو ورق واسط در بالا و پایین تیر نیز قرار دارد. ابعاد ورق‌های واسط برابر ۴۰۰×۳۰۰×۱۰ میلی‌متر است. چهار پروفیل ناودانی به صورت جفت به هر ورق واسط متصل شد تا نماینده حضور مهاربندها در این اتصال باشد لازم به ذکر است که در این آزمایش از اثر وجود نیروهای محوری در مهاربندها صرفه نظر شده است. تمام اجزای این اتصال توسط جوش گوشه با الکتروود E6013 به یکدیگر متصل شده است. طول کلی این نمونه ۱۲۲/۵ سانتی‌متر است که شکل (۳۲) نمایی شماتیک از آن نشان می‌دهد.



شکل (۳۲): جزئیات اتصال ساده به همراه ورق واسط (SSSG).

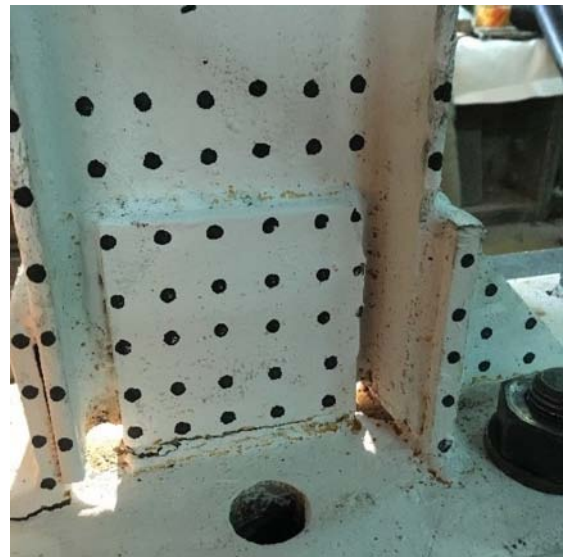
۱-۲- نتایج آزمایش

شکل (۳۳) منحنی لنگر- دوران این اتصال را نشان می‌دهد که بر اساس آن اتصال ساده به همراه ورق واسط می‌تواند به اندازه‌ی ۰/۰۵ رادیان دوران کند و حداکثر مقاومتی به اندازه‌ی ۵×۱۰ کیلونیوتن در سانتی‌متر در لنگرهای مثبت و منفی داشته باشد.

۱-۳- آسیب‌های ایجاد شده در آزمایش

در طول آزمایش هیچ‌یک از اجزای اتصال دچار آسیب نشد ولی در مقابل مفصل پلاستیک در تیر تشکیل شد. این مفصل دقیقاً در ناحیه‌ای از تیر تشکیل شد که ورق‌های واسط حضور نداشت (شکل ۳۴) در واقع آسیب‌های ایجاد شده در تیر و بدون آسیب

بالایی تیر در لنگرهای منفی است که در نتیجه‌ی آن تنش زیادی به جوش مربوط به ورق برشگیر جان وارد می‌شود. این موضوع مطابقت قابل قبولی با آسیب‌های ایجاد شده در این نوع اتصال بعد از زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ دارد زیرا در برخی از ساختمان‌ها با چنین اتصالی جوش ورق برشگیر جان نیز دچار آسیب شده بود (شکل ۱۱).



شکل (۳۰): آسیب در جوش ورق برشگیر جان.

در انتهای بارگذاری نیز علاوه بر شکسته شدن جوش نشی بالایی تیر، جوش بال تیر به ورق زیرسری نیز دچار آسیب شده است (شکل ۳۱).



شکل (۳۱): آسیب در جوش بال تیر به ورق زیرسری.

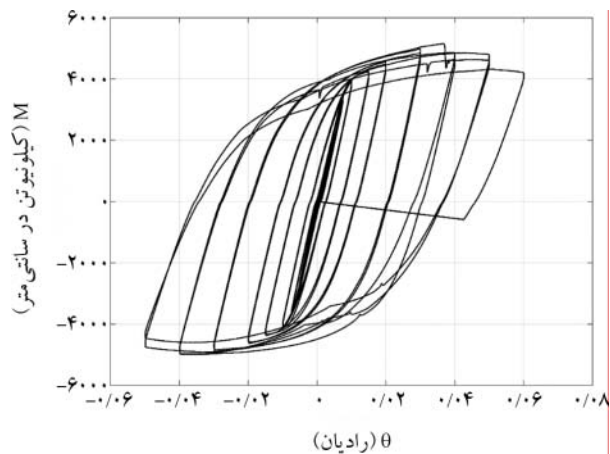
۱۱- ضرایب اصلاح مفصل پلاستیک

پس از زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶، ۱۸۰۰ پس لرزه اتفاق افتاد که این موضوع اهمیت ارزیابی و بررسی عملکرد ساختمان‌های آسیب‌دیده از زلزله را نشان می‌دهد زیرا ممکن است برخی از ساختمان‌ها در اثر پس لرزه‌ها دچار فروریزش شوند.

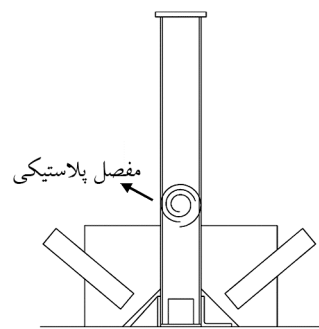
به منظور تعیین رفتار و ظرفیت ساختمان آسیب‌دیده از زلزله باید مشخصات مفاصل پلاستیک اصلاح شود به این منظور باید ضرایب اصلاح مفاصل پلاستیک تعیین شود، این ضرایب وابسته به میزان دوران یا تغییر شکل ایجاد شده در اعضا هستند. دو روش برای تعیین میزان تغییر شکل‌ها و دوران‌های اتفاق افتاده در اعضای ساختمان آسیب‌دیده وجود دارد. در روش اول باید یک مدل رایانه‌ای از ساختمان ساخته و تحلیل تاریخچه زمانی بر اساس تاریخچه شتاب وارده بر ساختمان انجام شود. سپس میزان آسیب و تغییر شکل هر یک از اعضا بر اساس نتایج تحلیل تعیین شود. برای اطمینان از درستی مدل ساخته شده بهتر است میزان خسارت ایجاد شده در مدل رایانه‌ای با واقعیت مقایسه شود. در برخی موارد به علت در دسترس نبودن تاریخچه شتاب وارد شده بر ساختمان نمی‌توان مدل رایانه‌ای ساخت که دقیقاً میزان دوران‌ها و تغییر شکل‌های ایجاد شده در اعضای ساختمان را نشان دهد. به همین منظور پیشنهاد می‌شود که از روش دوم برای تعیین دوران‌ها و تغییر شکل‌ها در اعضا استفاده شود. در این روش با بررسی میزان جابه‌جایی نسبی ماندگار در ساختمان و بر اساس روابطی همچون رابطه ارائه شده در FEMA-p58 (Mahoney & Hanson, 2018)، حداکثر جابه‌جایی نسبی اتفاق افتاده در طول زلزله تعیین می‌شود و در نهایت حداکثر دوران‌ها یا تغییر شکل‌های ایجاد شده در اعضای ساختمان آسیب‌دیده تخمین زده می‌شود.

پس از تعیین میزان دوران یا تغییر شکل تجربه شده توسط هر عضو، باید ضرایب اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری برای اعضا تعیین شود. پس از مشخص شدن این ضرایب، منحنی رفتاری اعضای آسیب‌دیده مشخص می‌شود و در نهایت رفتار و ظرفیت ساختمان آسیب‌دیده تعیین می‌شود.

بودن نواحی از اتصال که ورق‌های واسط در آن نواحی حضور داشتند نشان‌دهنده‌ی آن است که به علت وجود ورق‌های واسط یک ناحیه صلب در اتصال به وجود آمد که سبب می‌شود این اتصال رفتار مشابه یک اتصال صلب داشته باشد. شکل (۳۵) نمایی از آسیب ایجاد شده در نمونه مورد آزمایش را نشان می‌دهد.



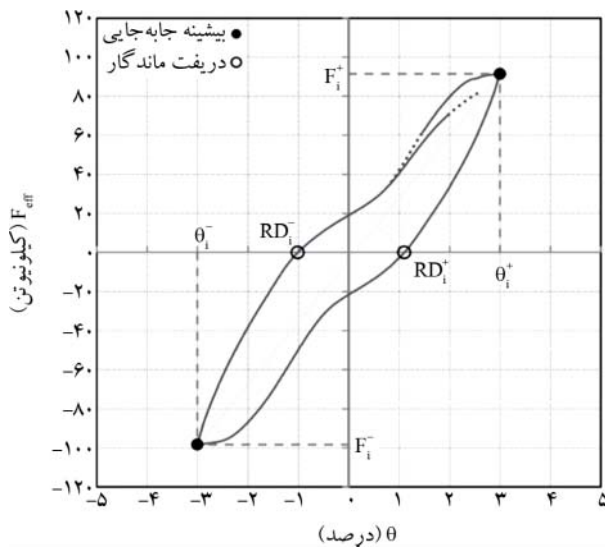
شکل (۳۳): منحنی هیستریزس اتصال ساده به همراه ورق واسط (SSSG).



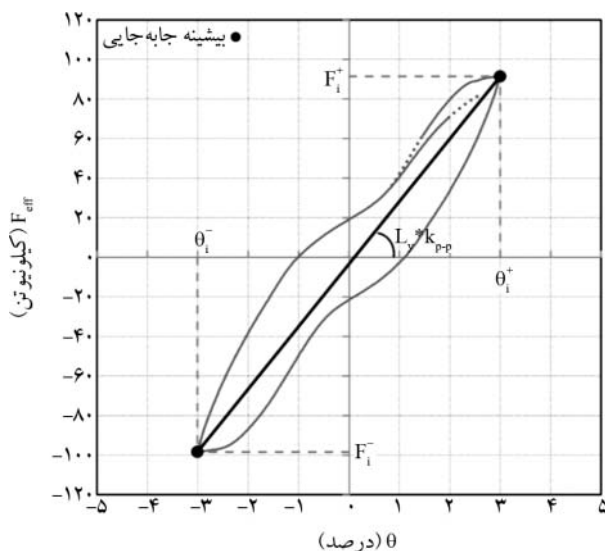
شکل (۳۴): محل تشکیل مفصل پلاستیک در نمونه.



شکل (۳۵): نمای از آسیب ایجاد شده در نمونه.

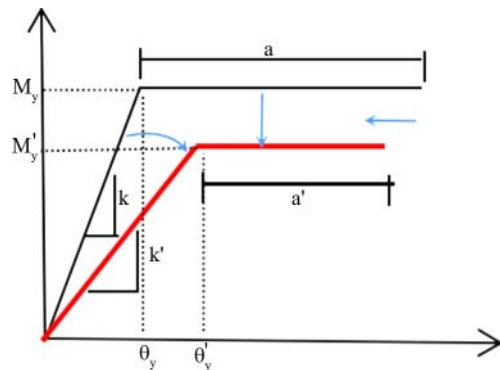


شکل (۳۶): بیشینه مقاومت و دوران ماندگار در هر سیکل بارگذاری [۹].



شکل (۳۷): سختی عضو در هر سیکل بارگذاری [۹].

تغییر شکل مورد نظر (K_{p-p}) (شکل ۳۸) به سختی عضو در حالت الاستیک $(k_{(p-p),y})$ تعیین می‌شود و پارامتر اصلاح مقاومت از محاسبه‌ی نسبت بیشینه مقاومت عضو در دوران یا تغییر شکل مورد نظر (F_i) به بیشینه مقاومت عضو در کل منحنی هیستریزس (F_{max}) تعیین می‌شود. نکته حائز اهمیت در تعیین ضریب اصلاح مقاومت این است که در دوران یا تغییر شکل‌هایی که هنوز عضو به بیشینه مقاومت خود نرسیده این ضریب کمتر از ۱ است که در این دوران‌ها باید این ضریب برابر ۱ فرض شود. روابط (۹) و (۱۰) نحوه تعیین ضرایب اصلاح سختی و مقاومت را



شکل (۳۸): منحنی رفتاری عضو قبل و بعد از آسیب (FEMA 306, 1998).

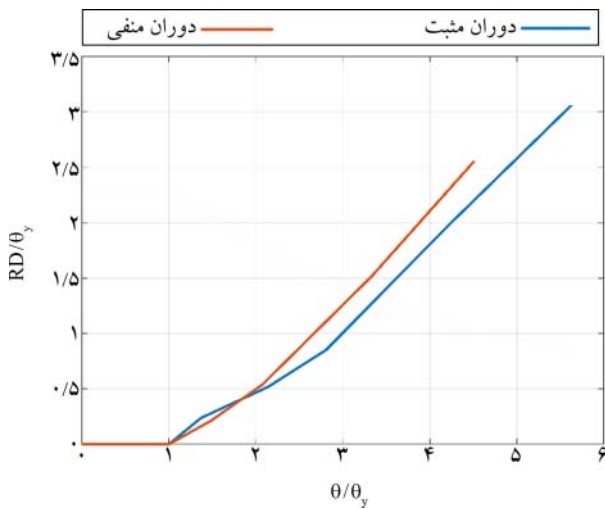
شکل (۳۶) نمایی از منحنی لنگر-دوران یک عضو قبل و بعد از آسیب را نشان می‌دهد که بر اساس آن سختی، شکل‌پذیری و مقاومت عضو به علت آسیب ایجاد شده کاهش یافته است. روابط (۶) الی (۸) مربوط به نحوه تعیین مشخصات عضو آسیب‌دیده است (Di Ludovico, Polese, d'Aragona, et al., 2013):

$$K' = \lambda_k K \quad (۶)$$

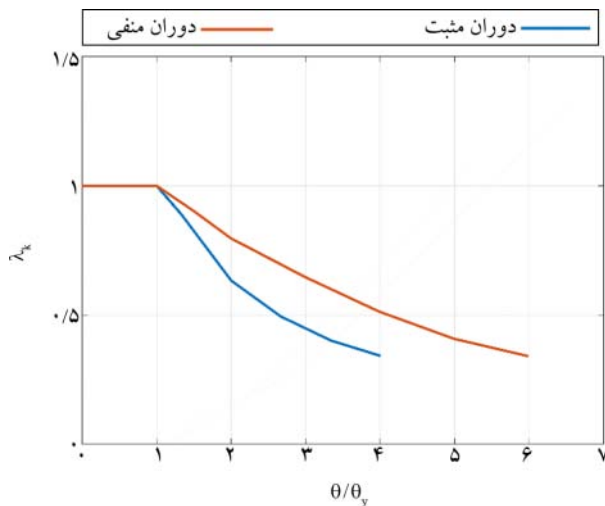
$$M'_y = \lambda_Q M_y \quad (۷)$$

$$a' = a - a_d = a - (\theta'_y - \theta_y) - RD = a - \left[\theta_y \left(\frac{\lambda_Q}{\lambda_k} - 1 \right) \right] - RD \quad (۸)$$

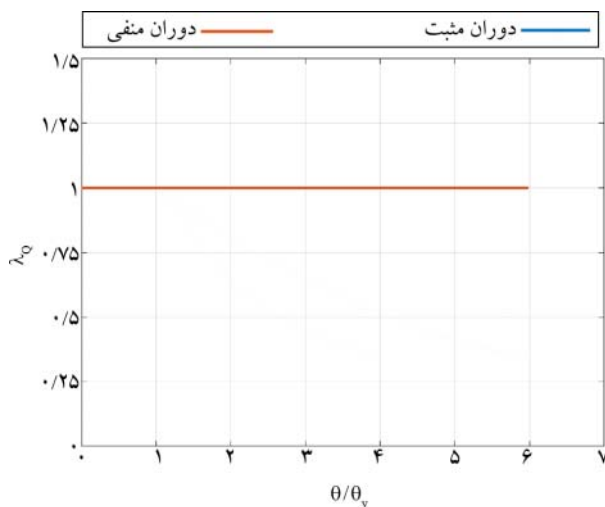
که در این روابط پارامترهای K و K' به ترتیب بیانگر میزان سختی عضو قبل و بعد از آسیب و پارامتر λ_k بیانگر ضریب اصلاح سختی عضو به علت آسیب ایجاد شده است. پارامترهای M_y و M'_y به ترتیب بیانگر میزان مقاومت جاری شدن عضو قبل و بعد از آسیب است و λ_Q بیانگر ضریب اصلاح مقاومت عضو به علت آسیب ایجاد شده است. پارامترهای a و a' به ترتیب بیانگر میزان شکل‌پذیری عضو قبل و بعد از آسیب و پارامتر RD بیانگر میزان تغییر شکل ماندگار در هر سیکل از بارگذاری چرخه‌ای عضو است که بر اساس منحنی هیستریزس آن محاسبه می‌شود. شکل (۳۷) نحوه تعیین RD را نشان می‌دهد. پارامترهای اصلاح سختی (λ_k) و اصلاح مقاومت (λ_Q) وابسته به رفتار عضو در طول بارگذاری چرخه‌ای است؛ زیرا پارامتر اصلاح سختی از محاسبه‌ی نسبت سختی عضو در دوران یا



شکل (۴۱): منحنی تغییرات RD/θ_y برای اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت کننده (WFS).



شکل (۴۲): منحنی تغییرات λ_k برای اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده (SSS).



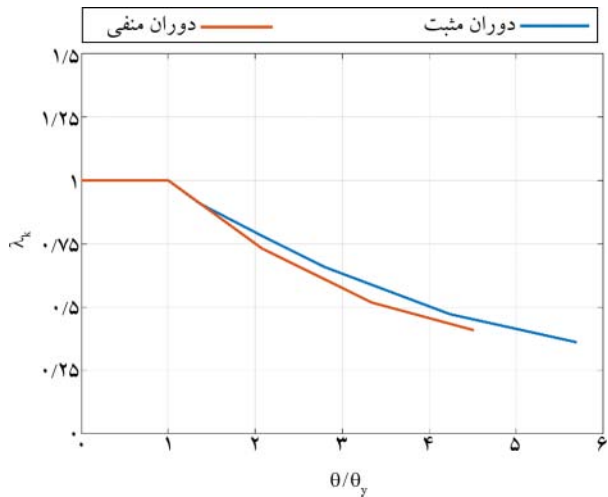
شکل (۴۳): منحنی تغییرات λ_Q برای اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده (SSS).

نشان می‌دهد (Di Ludovico, Polese, d'Aragnona, et al., 2013):

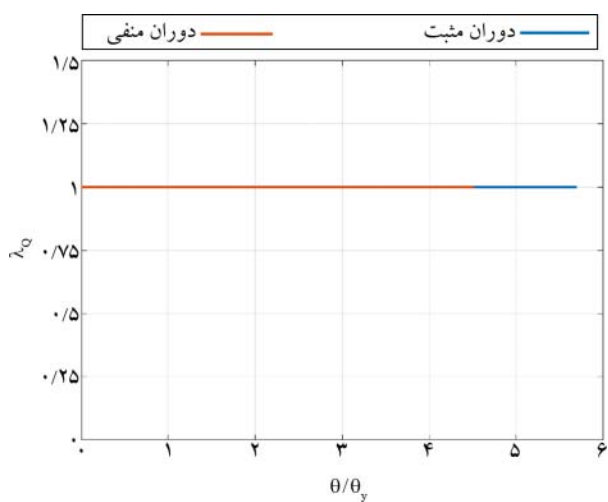
$$\lambda_k = \frac{k_{p-p}}{k_{(p-p).y}} \quad (9)$$

$$\lambda_Q = \frac{|F_i|}{|F_{max}|} \quad (8)$$

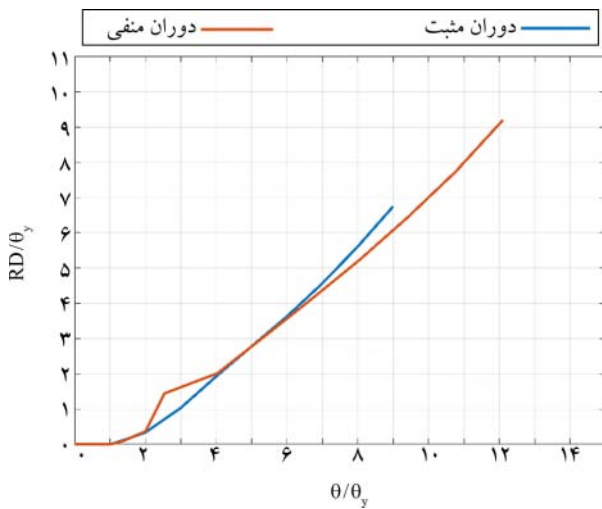
در این مطالعه منحنی‌هایی که ضرایب اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری را برای هر چهار گروه اتصالاتی که مورد آزمایش قرار گرفته، محاسبه و ارائه شد (شکل‌های ۳۹ تا ۵۰)، به دلیل آنکه این اتصالات در دوران‌های مثبت و منفی رفتاری نامتقارن دارند این ضرایب به صورت جداگانه برای دوران‌های مثبت و منفی محاسبه و ارائه شده است.



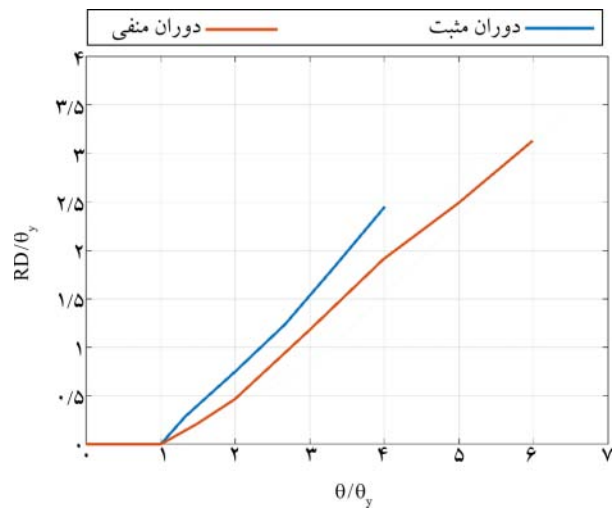
شکل (۳۹): منحنی تغییرات λ_k برای اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت کننده (WFS).



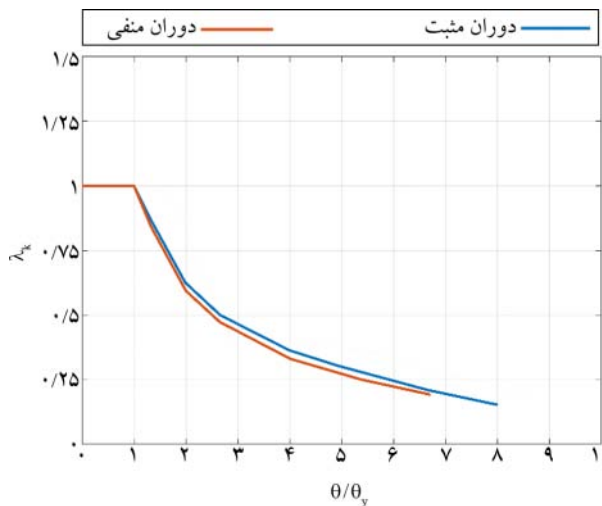
شکل (۴۰): منحنی تغییرات λ_Q برای اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت کننده (WFS).



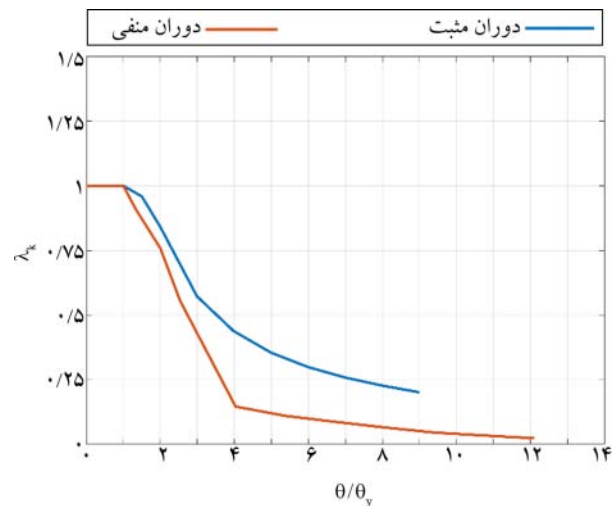
شکل (۴۲): منحنی تغییرات RD/θ_y برای اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده و ورق برشگیر جان (SSSP).



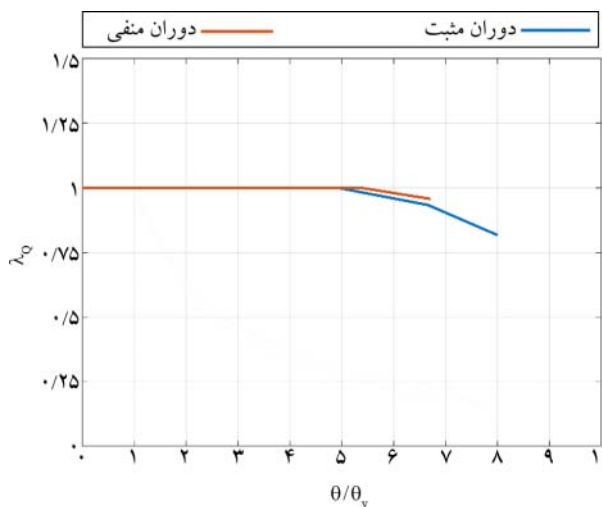
شکل (۴۴): منحنی تغییرات RD/θ_y برای اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت کننده (SSS).



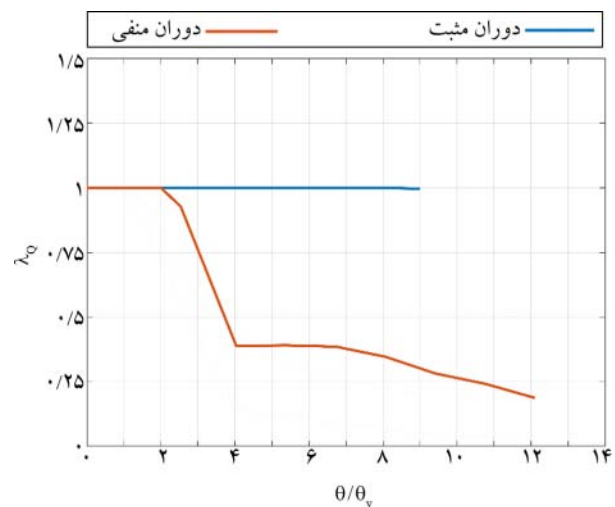
شکل (۴۸): منحنی تغییرات λ_k برای اتصال ساده به همراه ورق واسط (SSSG).



شکل (۴۵): منحنی تغییرات λ_k برای اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده و ورق برشگیر جان (SSSP).



شکل (۴۹): منحنی تغییرات λ_Q برای اتصال ساده به همراه ورق واسط (SSSG).

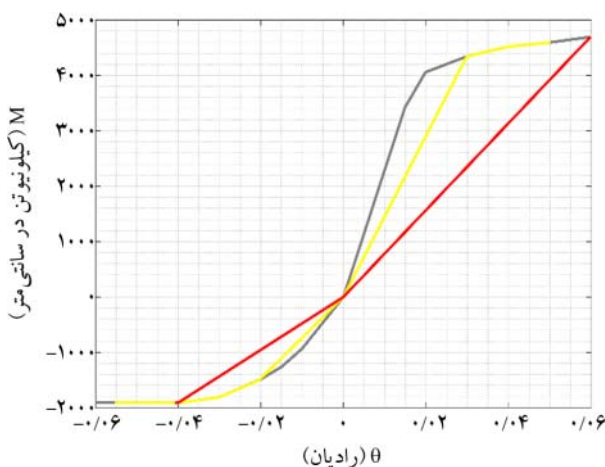


شکل (۴۶): منحنی تغییرات λ_Q برای اتصال نشیمن ساده به همراه سخت کننده و ورق برشگیر جان (SSSP).

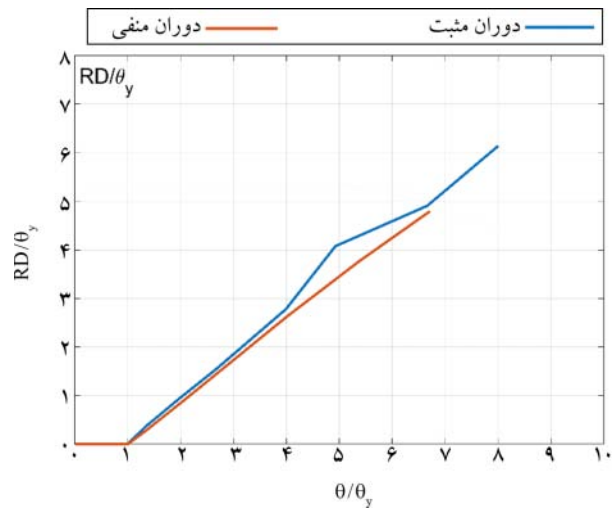
آسیب در جوش ورق برشگیر جان، افت مقاومت به سرعت اتفاق افتاده که نشان‌دهنده ترد بودن این اتصال است. این در حالی است که سایر اتصالات مورد بررسی افت ناگهانی مقاومت نداشته و ضریب اصلاح مقاومت آنها تقریباً برابر با ۱ است. به‌عنوان مثال منحنی رفتاری اتصالات مورد بررسی در این مطالعه، برای دو سطح آسیب فرضی ارائه شده است. سطح یک آسیب بیانگر سطحی است که اتصال به اندازه $2\theta_y$ (Level 1) دوران کرده و سطح دو آسیب بیانگر سطحی است که اتصال به اندازه $4\theta_y$ (Level 2) دوران کرده باشد. جداول (۱) و (۲) ضرایب مربوط به اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری هر یک از اتصالات را در دو سطح آسیب فرضی برای دوران‌های مثبت و منفی را نشان داده و شکل‌های (۵۱) الی (۵۴) منحنی رفتاری اتصالات را در سطوح مختلف آسیب و حالت بدون آسیب نمایش داده‌اند.

جدول (۲): پارامترهای اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری اتصالات در دوران‌های منفی.

اتصالات	Level 1			Level 2		
	λ'_k	λ'_Q	RD/θ_y	λ'_k	λ'_Q	RD
WFS	۰/۷۵	۱	۰/۴۹۶	۰/۴۵۶	۱	۲
SSS	۰/۷۹	۱	۰/۴۷	۰/۵۱۲	۱	۱/۹۱۷
SSSP	۰/۷۶	۱	۰/۳۷	۰/۱۵۵	۰/۴	۲
SSSG	۰/۵۹۴	۱	۰/۸۴۷	۰/۳۳۲	۱	۲/۶۱۹



شکل (۵۲): منحنی رفتاری اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده در سطوح مختلف آسیب (SSS).

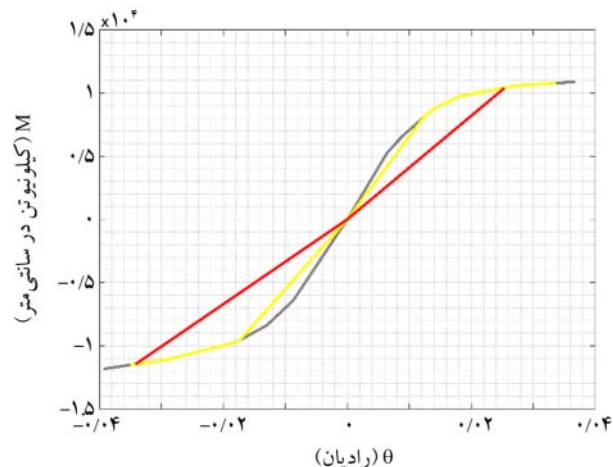


شکل (۵۰): منحنی تغییرات RD/θ_y برای اتصال ساده به همراه ورق واسط (SSSG).

نکته مهم در نمودارهای ارائه شده مربوط به ضریب اصلاح مقاومت در دوران‌های منفی اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان است. در این اتصال به دلیل

جدول (۱): پارامترهای اصلاح سختی، مقاومت و شکل‌پذیری اتصالات در دوران‌های مثبت.

اتصالات	Level 1			Level 2		
	λ'_k	λ'_Q	RD/θ_y	λ'_k	λ'_Q	RD
WFS	۰/۸	۱	۰/۴۷	۰/۵	۱	۱/۸
SSS	۰/۶۳۴	۱	۰/۷۵	۰/۳۴۲	۱	۲/۴۴۷
SSSP	۰/۸۴	۱	۰/۳۴	۰/۴۳۵	۱	۱/۹۳
SSSG	۰/۶۲۳	۱	۰/۹۶۲	۰/۳۶۳	۱	۲/۷۹۲



شکل (۵۱): منحنی رفتاری اتصال ورق روسری و زیرسری به همراه سخت‌کننده در سطوح مختلف آسیب (WFS).

شود که به علت زمین‌لرزه آسیب‌چندانی به آنها وارد نشده است و در صورت عدم بازدید ممکن است این آسیب هرگز بررسی و ترمیم نشود.

اتصال تیر به ستون در دهانه‌های مهاربندی که در عموم مدل‌سازی‌های صورت گرفته در طراحی ساختمان‌های فولادی به صورت مفصلی فرض می‌شود، رفتار مفصلی نداشته و به صورت کاملاً صلب است و این موضوع باید برای تنش‌های وارد بر ستون‌ها در نظر گرفته شود زیرا رفتار این اتصالات سبب خواهد شد تا از سوی اتصال‌لنگری به ستون اعمال شود که در هیچ یک از مراحل طراحی در نظر گرفته نشده است.

در این مقاله تنها ضرایب اصلاح رفتار چهار گروه از اتصالات ارائه شد، این در حالی است که می‌توان با جمع‌آوری منحنی‌های هیستریزس مربوط به مطالعاتی که در گذشته بر روی رفتار لرزه‌ای اعضای ساختمان‌ها انجام شده است، ضرایب اصلاح رفتار برای همه اعضای ساختمان ارائه کرد و در نهایت می‌توان ظرفیت یک ساختمان آسیب‌دیده را تعیین کرد.

مراجع

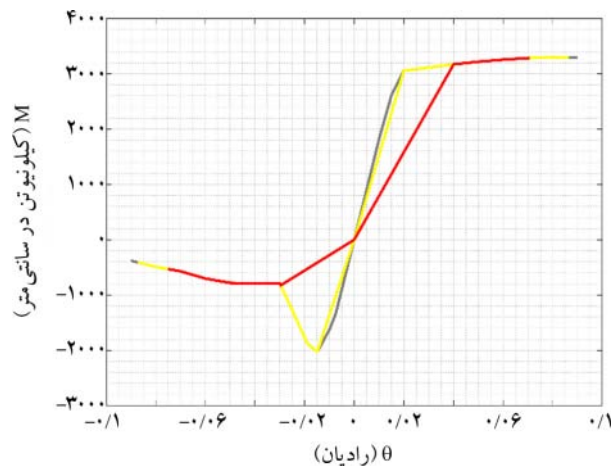
Abolmaali, A., Kukreti, A., & Razavi, H. (2003). Hysteresis behavior of semi-rigid double web angle steel connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 59(8), 1057-1082.

AISC (2010). *AISC 341-10, seismic provisions for structural steel buildings*. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction.

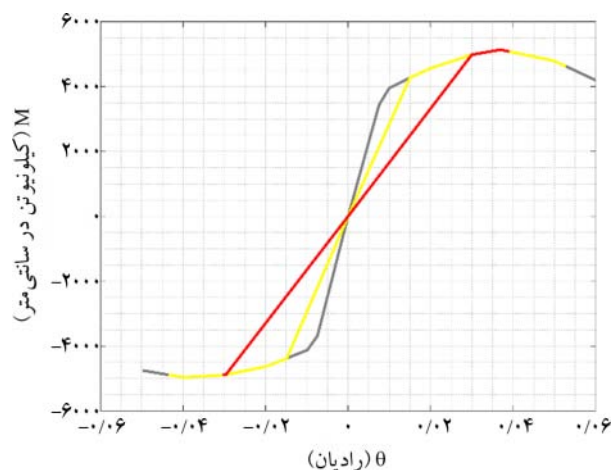
Batho, C., & Rowan, H. (1934). *Investigations of Beam and Stanchion Connections, 2nd Report*. London: Steel Structures Research Committee, Dept. of Scientific and Industrial Research of Great Britain, His Majesty's Stationery Office.

Di Ludovico, M., Polese, M., d'Aragona, M., & et al. (2013). A proposal for plastic hinges modification factors for damaged RC columns. *Engineering Structures*, 51, 99-112.

FEMA 306. (1998). *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings – Basic Procedures Manual*. Washington, DC: Federal



شکل (۵۳): منحنی رفتاری اتصال نشیمن ساده به همراه سخت‌کننده و ورق برشگیر جان در سطوح مختلف آسیب (SSSP).



شکل (۵۴): منحنی رفتاری اتصال ساده به همراه ورق واسط در سطوح مختلف آسیب (SSSG).

۱۲- نتیجه‌گیری

اتصالات مفصلی که در علم مهندسی امروز در طراحی ساختمان‌ها استفاده می‌شود مفصلی نبوده و توانایی انتقال لنگر از جانب تیر به ستون را دارند البته این موضوع در مورد اتصالات ساده‌ای که دارای سخت‌کننده هستند قابل استناد است.

اتصالات ساده‌ای که علاوه بر سخت‌کننده دارای ورق برشگیر جان هستند، اتصالاتی ترد در لنگرهای منفی (تار بالای تیر در کشش) هستند به گونه‌ای که به دلیل تمرکز تنش در جوش ورق برشگیر جان این قسمت از اتصال به سرعت دچار آسیب می‌شود. این آسیب ممکن است در ساختمان‌هایی ایجاد

Emergency Management Agency.

FEMA 307. (1998). *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings – Technical Resources*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency.

FEMA 308. (1998). *Repair of earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency.

Hechtman, R., & Johnston, B. (1947). *Riveted Semi-Rigid Beam-to-Column Building Connections, AISC Research Report 206*. Reprint No. 62 (47-1).

Hosseini Hashemi, B., & Naserpour, A. (2015). A proposal for plastic hinges modification factors for damaged steel moment frame. *7th International Conference on Seismology & Earthquake Engineering* (pp. 18-21). Tehran: IIEES.

Hosseini Hashemi, B., Alirezaei, M., & Ahmadi, H. (2016). *Design of Steel Structures*. Tehran: Danesh Atrak Publications.

Mahoney, M., & Hanson, R. (2018). *FEMA-p58, Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 1 – Methodology*. Washington, DC: FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY.

Rathbun, J. (1936). Elastic properties of riveted connections. *Transactions, ASCE, 101*.

Sourochinkoff, B. (1950). Wind stresses in semi-Rigid Connection of Steel Frame work. *Transactions of the American Society of Civil Engineers, 115*(1), 382-402.

Steel Structures Research Committee. (1936). *First, Second and Final Reports of the Steel Structures Research Committee*. The Institution of Structural Engineers.

Wilson, W., & Moore, H. (1917). *Tests to Determine the Rigidity of Riveted Joints of Steel Structures*. University of Illinois at Urbana Champaign, College of Engineering. Engineering Experiment Station.

Experimental Studies on the Behavior of Connections, Before and After Sarpol-e Zahab Earthquake of November 12, 2017, Used in Steel Structures

Amirhossein Lokzadeh¹ and Bahrokh Hosseini Hashemi²

1. M.Sc. Student in Earthquake Engineering, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran
 2. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IIEES) and President of Iranian Earthquake Engineering Association, Tehran, Iran
- *Corresponding Author, email: behrokh@iiees.ac.ir

This study is divided into two main parts. In the first part, the behavior of four groups of connections that are commonly used in the construction of the country has been investigated, because of which their hysteresis behavior has been determined. In the second part, the behavior of connections damaged in Sarpol-e Zahab Earthquake has been investigated, and finally the changes in the stiffness, strength and ductility parameters of the connections damaged in the earthquake have been determined.

Connections used in buildings may be categorized into rigid, semi-rigid or pinned-end connections. The assumption of perfectly pin or rigid behavior for a connection may not always be reliable in the design of a structure; therefore, in this study, an attempt was made to investigate the real behavior of connections that are commonly used in the country's constructions.

In experimental studies, due to the existence of some limitations, assumptions are always considered that may affect the results of a test. Therefore, the best experiment is to determine the behavior of the members of a building after an earthquake. One of the earthquakes that can be used to investigate the behavior of the members of a building is the Sarpol-e Zahab – Ezgeleh earthquake. Because the buildings built in the city of Sarpol-e Zahab were generally after the war between Iran and Iraq (1367-1359), which can represent engineering constructions in the country. Although several years have passed since the construction of these buildings, this type of connection is still common in many constructions in Iran. For this purpose, in this research, the damages caused to this type of connections and their performance have been investigated.

Based on field observations, the connections related to steel buildings in the earthquake-affected areas of Kermanshah province can be divided into four groups: 1- connection with top and bottom cover plates along with stiffeners; 2- simply supported seat angle connection with stiffener; 3- simply supported seat angle connection with stiffeners and shear plates; 4- like No. 2 or 3 together with gusset plate. In this study, in order to understand the behavior of these connections during an earthquake, the experimental model of each group was made with full scale, and their moment-rotation curves were extracted under cyclic loading. Based on the results obtained from the experimental studies, connections No. 1 and 4 of these groups were classified as rigid connection, and No. 2 and 3 were evaluated as semi-rigid connection with brittle behavior.

Another scope that has been addressed in this study is to determine the behavior of damaged connections in an earthquake. This issue, which is the result of observing the trend of the connection hysteresis curve during loading, makes it possible to determine the remaining capacity of the earthquake-damaged buildings. The remaining capacity of the damaged building is one of the important and crucial parameters in the decisions that to decide whether the building should be repaired or demolished. For this purpose, the hysteresis curve of the tested connections has been investigated and analyzed. As a result of these analyses, the curves that show the modifications in stiffness, strength and ductility have been extracted for all four types of connections investigated in this study.

Finally, two levels of damages were considered for each of the four connection groups. Then their performance curves in each of the two levels of damages were presented along with the performance curve of the connection without damage. The results of the studies showed that stiffness and ductility, unlike strength, are the parameters that are most affected by the damage caused in the connections.

Keywords: Semi-rigid connection; Rigid connection; Sarpol-e Zahab Earthquake; Damaged connection; Modified coefficients