



عملکرد چرخه‌ای اتصال ورق انتهایی با پیچ بلند و حذف ورق پیوستگی

اشکان آقارفعی^۱، میر حمید حسینی^{۲*}

۱- گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی سازه، زلزله و ژئوتکنیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* تهران، صندوق پستی ۱۴۷۷۸۹۳۸۵۵، mirhamid.hosseini@srbiau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵)

چکیده

کیفیت مناسب اتصالات در سازه‌های فولادی عامل اصلی یکپارچگی سیستم‌های سازه‌ای بوده و تخریب بسیاری از ساختمان‌های فولادی در زلزله‌های شدید ناشی از مشکل اتصالات تعیین شده است. یک اتصال ضعیف و نامناسب می‌تواند منجر به یکسری زوال‌های پی در پی و بنیادی در سازه‌های فولادی گردد. با ایجاد اتصالات تیر به ستون مناسب می‌توان به ارتقای کیفیت ساخت کمک شایانی نمود. در این پژوهش، طراحی اتصال ورق انتهایی تیر به ستون بر اساس آیین نامه فولاد آمریکا انجام گرفته است. برای نیل به اهداف این تحقیق و با توجه به اینکه در ستون‌های جعبه‌ای جوش دادن بعد چهارم ورق پیوستگی با توجه به نحوه اجرای این ستون‌ها به خوبی انجام نمی‌پذیرد، در نتیجه ورق پیوستگی از اتصال ورق انتهایی تیر به ستون طراحی شده حذف خواهد شد. لازم به ذکر است مطالعه بر روی این اتصالات بدون ورق پیوستگی انجام می‌پذیرد. در این تحقیق به بررسی رفتار دو اتصال با پیچ‌های معمولی و پیچ‌های بلند پرداخته می‌شود. در اینجا بارورده به صورت دو بار افزایشی و چرخه‌ای بر اتصالات نام برده اعمال خواهد شد. در انتها نمودارهای لنگر-دوران برای بار افزایشی برای هر یک از این دو اتصال به دست خواهد آمد و با توجه به مقایسه نمودارها، اطلاعاتی در مورد شکل پذیری، مقاومت و میزان بار نهایی به دست آمد. با قرار دادن بار چرخه‌ای بر روی نمونه‌ها به نمودارهای هیستریزس مورد نظر برای هر یک از این دو اتصال دست خواهیم یافت، که از مقایسه این دو نمودار نیز به برتری کیفی اتصال با پیچ بلند نسبت به اتصال با پیچ معمولی در مورد مقاومت و بار نهایی دست خواهیم یافت.

واژگان کلیدی

اتصال تیر به ستون، پیچ بلند، بار چرخه‌ای، تنش فون مایسز

Cyclic Performance of End-Plate Connections with Rod-Bolt and Removing Continuous Plate

A. Agharafiei, M.H. Hosseini

Abstract

Good quality of fittings in steel structures and structural systems is integration key factor. In an intense earthquake connection problems designated as the destruction factor of many steel buildings. A poor connection can lead to series of successive and fundamental deterioration in the structural steel. With appropriate beam-to-column connections can be helped to improve the quality of construction. In this study, first, design a beam-to-column end plate connection according to American institute of steel construction. Then, to achieve purposes of this study, and according to this, in box columns welding fourth dimension continuity plate according to the implementation of these columns will not do well. As a result continuity plate will be deleted from connection of beam-to-column end plate designed. Study on the connection will do without continuity plate. In this study, we will survey the behavior of the two connections with bolt and rod bolt under push. There the additive load will applied on connections mentioned into two pushover and cyclic load. Moment-rotation charts for pushover to each of the two connections drawn and according to the comparison charts, information about ductility, resistance and ultimate loading was obtained. Then, by placing the cyclic load on the samples achieve to intended hysteresis charts for each of the two connections. By comparing these two charts we will find that in resistance and ultimate load, rod-bolt connections are superior than bolt connections.

Keywords

Beam-to-column connections, Rod-bolt, Cyclic load, Von Mises stress



۱- مقدمه

اتصالات ورق انتهایی به اتصالاتی گفته می‌شود که در آن تیر به ورق انتهایی جوش می‌شود و سپس ورق انتهایی به وسیله پیچ به بال ستون متصل می‌شود. رفتار این نوع اتصال را می‌توان با تعدادی از روش‌های مختلف حالت حدی کنترل کرد، از جمله تغییر شکل خمشی در تیر، تغییر شکل خمشی در ورق انتهایی، تغییر شکل منطقه چشمه اتصال ستون، گسیختگی برشی پیچ و مهره ورق انتهایی یا گسیختگی مفاصل مختلف جوش داده شده [۱].

ضوابط طراحی در مورد این نوع اتصالات به گونه‌ای مقرر شده است که این اطمینان حاصل گردد، اجزای مختلف اتصال قدرت کافی را دارند تا تغییر شکل غیرارتجاعی اتصال توسط جاری شدن تیر به دست آید از این نوع اتصالات در سیستم‌های قاب خمشی ویژه و قاب خمشی متوسط استفاده می‌شود [۱].

از این اتصالات در مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان به عنوان اتصالات از پیش تایید شده یاد شده است، که از جمله این اتصالات می‌توان به: اتصال مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته، اتصال فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی، اتصال فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی، اتصال پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری، اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری و اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی اشاره کرد [۲].

اتصالات ورق انتهایی در دو نوع چهار پیچی با و بدون ورق سخت کننده و هشت پیچی با ورق سخت کننده در آیین نامه آورده شده است که در شکل (۱) مشاهده خواهید نمود [۱].

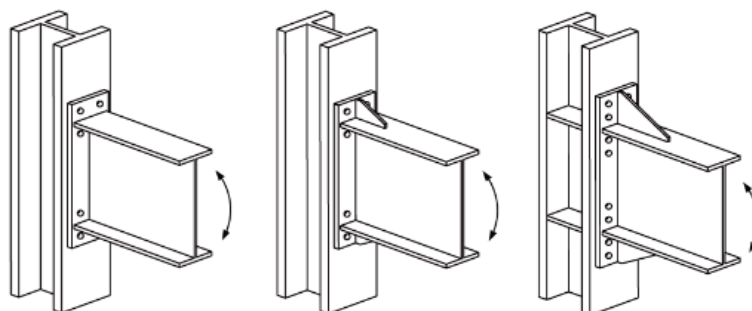
۲- پیشینه تحقیق

در گذشته تحقیقات بسیاری بر روی موضوع اتصالات تیر به

ستون انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات Hu و همکارانش پرداخت که موضوع عملکرد لرزه‌ای اتصالات فولادی پیش ساخته تیر به ستون را مورد بررسی قرار داده‌اند. به این صورت که سه نوع اتصال تیر به ستون فولادی پیش ساخته را در نظر گرفته‌اند. نمونه‌ها را در قیاس کامل آماده کردند. برای بررسی بیشتر عملکرد لرزه‌ای نمونه‌ها را تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار دادند و به نتایجی در مورد حالت شکست، ظرفیت نهایی و شکل پذیری دست یافتند و در نهایت برتری هر یک از این سه نوع اتصال را با توجه به اطلاعات به دست آمده مورد تحلیل قرار دادند [۳].

در همین راستا Saneei Nia و همکارانش بر روی موضوع عملکرد لرزه‌ای و مقایسه اتصال سه تیر مختلف به ستون جعبه‌ای تحقیقاتی را به انجام رسانده‌اند که در اینجا پارامترهای مورد بررسی عبارتند از: عملکرد لرزه‌ای اتصال تقویت نشده، تضعیف اتصال و ارتباط از طریق تقویت می‌باشد. مقایسه ارزیابی انعطاف پذیری و اتلاف انرژی در هر پیکربندی انجام شده است [۴].

سه آزمون در مقیاس کامل با اتصالات مورد نظر انجام شد. تمام نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. نتایج تجربی و تحلیلی نشان داد که عملکرد لرزه‌ای اتصالات تقویت شده با ورق انتهایی و صفحات برشی بهترین عملکرد را در اتصال تیر به ستون باکس دارد البته قابل ذکر است با توجه به نتایج به دست آمده نمونه‌های مختلف می‌توانند در رده اتصالات سخت قرار گیرند و همه آن‌ها مقررات AISC را رای یک قاب خمشی خاص برآورده کنند. علاوه بر قسمت ورق انتهایی همه قسمت‌های باقیمانده نمونه‌ها به طور کامل تحت بارگذاری چرخه‌ای الاستیک قرار گرفت و در نتیجه آن‌ها را می‌توان برای شکل پذیری قاب خمشی توصیه کرد [۴].



شکل ۱- اتصال ورق انتهایی چهار و هشت پیچی [۱]

از دیگر افرادی که بر روی موضوع گسترش اتصال با ورق انتهایی کار کرده‌اند، Van-Long و همکارانش هستند که بر روی موضوعی با نام گسترش اتصالات با ورق انتهایی به وسیله‌ی پیچ بلند به ستون مستطیلی پر شده از بتن کار کرده‌اند. این موضوع از دو جنبه حایز اهمیت است اول اینکه اتصال با ورق انتهایی است و دوم اینکه در این اتصال از پیچ‌های بلند استفاده شده است، این مقاله بر روی یک راه حل برای گسترش اتصال با ورق انتهایی که مورد استفاده برای اتصال تیرهای I شکل به ستون مستطیلی توخالی پر شده از بتن می‌باشد کار شده است. در اتصال از پیچ و مهره بلند استفاده شده است [5].

در همین زمینه Yang و Eatherton مدلی را طراحی کردند برای شبیه سازی لرزه‌ای رفتار اتصالات ورق انتهایی گسترش یافته با پیچ [6].

حالت فنی غیر خطی برای شبیه سازی رفتار هر یک از مولفه‌های کلیدی اتصال در نظر گرفته شد. منطقه پائل ستون با چهار میله صلب شبیه سازی شده است مفصل‌ها در گوشه و کنار با فنر چرخشی غیرخطی در نظر گرفته شده است که توسط کراوینکلر (Krawinkler) بسط داده شده است [7].

از دیگر تحقیقات Eatherton و همکارانش، بررسی تجربی رفتار لرزه‌ای اتصالات خمشی فولادی است. که دوازده آزمایش بر روی اتصالات خمشی در مقیاس کامل انجام گرفت که هدف کشف اثر اتصال دهنده‌های پودری در عملکرد لرزه‌ای اتصالات خمشی فولادی بود. و در نهایت نتایجی در مورد ظرفیت خمشی، اتلاف انرژی و قدرت تخریب قبل از شکست به دست آمد [8].

در ادامه Brunesi و همکارانش بر روی موضوع اتصال پیچی تیر به ستون تحقیقاتی را به انجام رسانده‌اند و پاسخ نیمه محدود این اتصالات را تحت بار چرخه‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. همانطور که می‌دانیم پاسخ سازه درقاب خمشی فولادی بستگی به رفتار اتصال تیر به ستون دارد، با توجه به اینکه اتصال تیر، پیچ و مهره، صفحات و ستون نیاز به یک زنجیره ساختاری دقیق با رعایت اصول طراحی دارد بنابراین یک روش مدل سازی برای اجزای پیچ‌های بالا و پایین اتصالات با پتانسیل استفاده در لرزه ارائه کردند. که در نهایت روشی برای پیش‌بینی رفتار اتصالات پیچ و روابط کلی قطعات از طریق مدل‌های یکپارچه مفاصل بدست آمد [9].

از دیگر موضوعاتی که مورد بررسی قرار گرفته است آزمایش استاتیک و لرزه‌ای برای پیچ و جوش در اجزای مختلف سازه‌های فولادی پیش ساخته است. Liu و همکارانش عملکرد

استاتیک، عملکرد لرزه‌ای، عملکرد انعطاف پذیر، ظرفیت اتلاف انرژی، ظرفیت چرخش و الگوهای سختی تخریب چهار مفصل که توسط آزمایش مدل بدست آمده و همچنین تجزیه و تحلیل المان محدود و اثر ضخامت جان بر عملکرد استاتیک و لرزه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند و در نتیجه یک فرمول ساده برای محاسبه ظرفیت تحمل بارمفاصل پیشنهاد شده است و نتایج محاسبات در کنار نتایج تجربی قرار داده شده است [10].

در همین زمینه Kukreti و همکارانش [11] و Hong و همکارانش [12] بر روی اتصالات تیر به ستون تحقیقاتی را به انجام رسانده‌اند.

Abolmaali در سال ۱۹۸۷ رفتار لنگر-دوران را در اتصالات ورق انتهایی مورد بررسی قرار داد که در ادامه در سال ۲۰۰۵ به توسعه معادلات مدل لنگر-دوران برای قسمت اتصال ورق انتهایی پرداخت [13].

همچنین Shi و همکارانش برای بررسی رفتار لنگر-دوران در اتصالات ورق انتهایی، پنج نمونه اتصال با خصوصیات مختلف را در نظر گرفته است و آزمایشات بر روی این پنج نمونه انجام شده، سپس نمودارهای لنگر-دوران برای هر یک از این پنج نمونه ارائه شده است [14].

۳- صحت سنجی

در این پژوهش برای رسیدن به هدف مورد نظر از برنامه تحلیل اجزا محدود ABAQUS استفاده شده است، در نتیجه با رجوع به یک مقاله آزمایشگاهی معتبر و مدل کردن نمونه‌های آزمایشگاهی آن و بررسی نتایج به دست آمده از نرم افزار و مقایسه نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی موجود در مقاله از صحت عملکرد نرم افزار و نتایج حاصله از آن اطمینان حاصل شد و در حقیقت به نتایج موجود در این مقاله اعتبار بخشیده شده است.

مقاله‌ای که برای هدف صحت سنجی انتخاب شد مقاله Shi و همکارانش [14] است، که به دلیل وجود پنج نوع اتصال متفاوت و در نتیجه به دست آوردن پنج نمودار لنگر-دوران به صورت آزمایشگاهی می‌توانست محک خوبی برای صحت عملکرد و نتایج حاصله از نرم افزار باشد. نمونه مورد استفاده در تحقیق در شکل (۲) آورده شده است. جزئیات اتصال مورد بررسی در شکل (۳) آورده شده است.

نمایش مجموعه مورد آزمایش در مقاله Shi و همکارانش [14] در شکل (۴) نشان داده شده است. جزئیات پنج نمونه‌ی مورد بررسی در تحقیق Shi در جدول (۱) ارائه شده است.



[illegible]

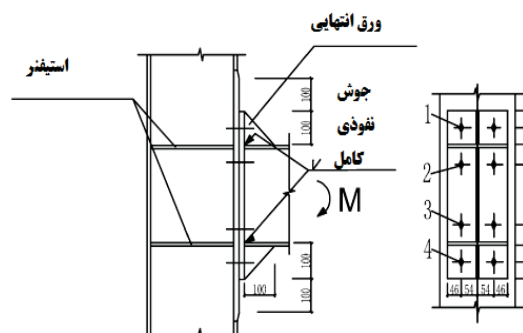
شکل ۲- نمونه مورد آزمون و آرایش بارگذاری [۱۴]

شماره مدل	ضخامت ورق انتهایی (mm)	قطر پیچ (mm)
۱	۲۰	۲۰
۲	۲۵	۲۰
۳	۲۰	۲۴
۴	۲۵	۲۴
۵	۱۶	۲۰

جدول ۲- نتایج به دست آمده از آزمایش [۱۴]

شماره مدل	بار (kN)	لنگر (kN.m)	حالت شکست
۱	۲۸۷/۴	۳۴۳/۷	شکست پیچ
۲	۲۶۸/۴	۳۲۲/۱	شکست پیچ
۳	۳۲۵/۳	۳۹۰/۳	کمانش بال و جان تیر در فشار
۴	۳۴۲/۳	۴۱۰/۸	کمانش بال و جان تیر در فشار
۵	۲۹۶/۱	۳۵۵/۴	شکست پیچ و کمانش ورق انتهایی در فشار

در شکل (۵) حالت شکست در هر پنج نمونه مورد بررسی در تحقیق [۱۴] به همراه پیچ‌های شکسته شده آورده شده است. نتایج نمودارهای لنگر-دوران در شکل (۶) آورده شده است [۱۴].



شکل ۳- جزئیات اتصال مورد آزمایش [۱۴]



نمونه ۳

نمونه ۲

نمونه ۱



پیچ‌های شکسته شده

نمونه ۵

نموده ۴

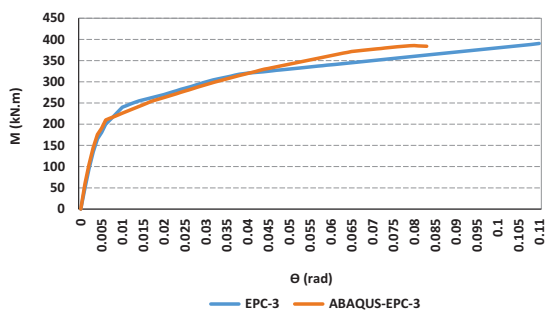
شکل ۵- حالت شکست در نمونه‌های پنجگانه [۱۴]



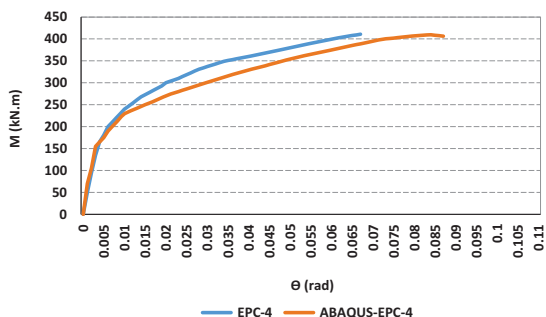
شکل ۴- مجموعه آزمایش [۱۴]

به جز موارد ذکر شده در جدول (۱)، سایر جزئیات در پنج نمونه یکسان است: از قبیل ضخامت جان و بال ستون و تیر که برابر ۳۰۰ میلی متر، ۸ میلی متر و ۲۰۰ میلی متر می باشد.

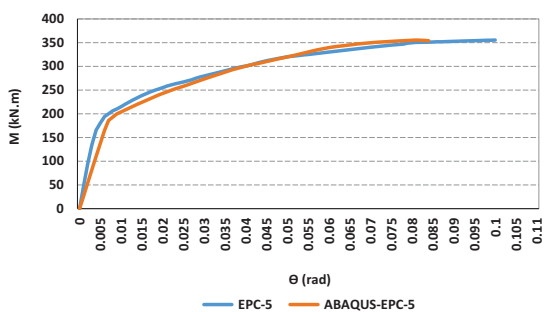
نوع جوش بین قطعات در مرجع [۱۴] بدین صورت است که: جوش نفوذی کامل بین ورق انتهایی و بال تیر و همچنین



شکل ۹- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۳



شکل ۱۰- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۴

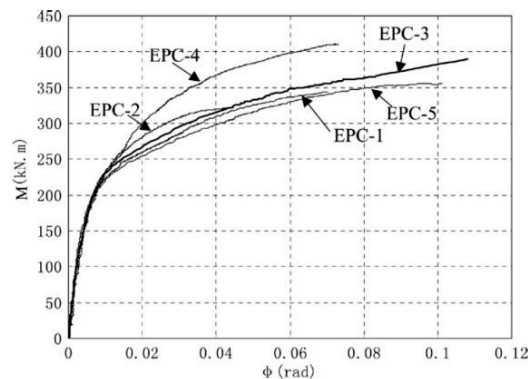


شکل ۱۱- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۵

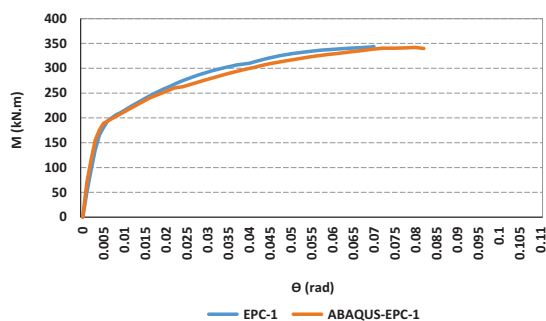
۴- طراحی اتصال

پس از آنکه صحت نتایج بدست آمده از نرم افزار به اثبات رسید، نمونه‌ای براساس آیین نامه فولاد آمریکا طراحی شد. جزئیات نمونه در شکل (۱۲) آورده شده است. سپس برای نیل به اهداف این تحقیق و با توجه به اینکه در ستون‌های جعبه‌ای جوش دادن بعد چهارم ورق پیوستگی با توجه به نحوه اجرای این ستون‌ها به خوبی انجام نمی‌پذیرد، در نتیجه ورق پیوستگی از اتصال ورق انتهایی تیر به ستون طراحی شده حذف شد و مطالعه بر روی این اتصالات بدون ورق پیوستگی انجام شد. اتصالات مورد بررسی با پیچ‌های کوتاه و بلند در شکل (۱۳) آورده شده است.

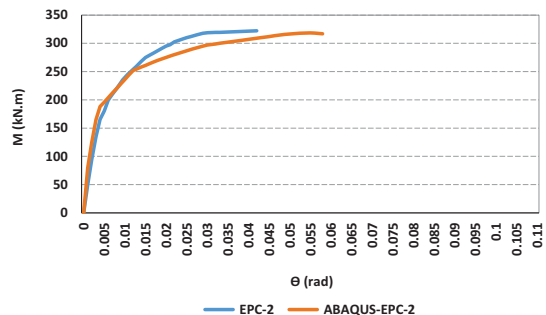
جهت صحت‌سنجی نتایج تحلیل عددی مقاله، پنج نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده با نرم‌افزار ABAQUS مدل و تحلیل گردیده است که نمودارهای لنگر-دوران هر نمونه به صورت مجزا در شکل‌های (۷) تا (۱۱) ترسیم و با مدل آزمایشگاهی مقایسه شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده اختلاف تمامی نقاط در دو نمودار مرجع [۱۴] و تحلیل عددی کمتر از ۲۰ درصد است که این موضوع بیانگر درست مدل کردن نمونه‌ها در نرم افزار المان محدود ABAQUS و به دست آمدن نتایجی دقیق است.



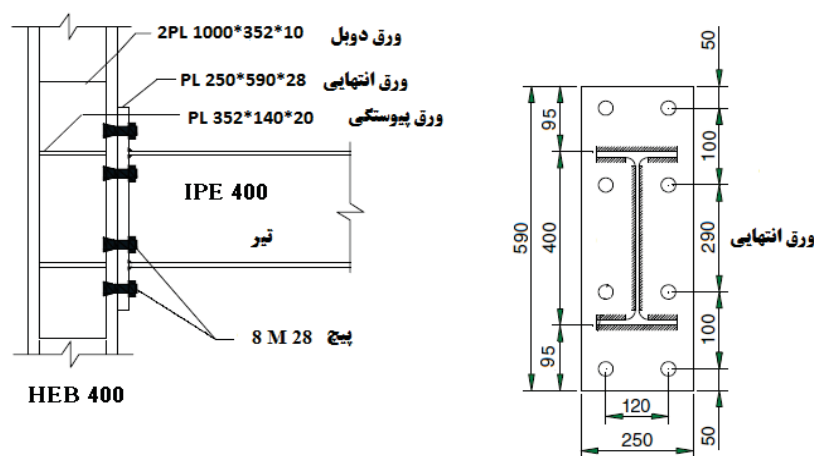
شکل ۶- نمودار لنگر-دوران حاصل از نمونه های پنجگانه [۱۴]



شکل ۷- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۱



شکل ۸- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۲

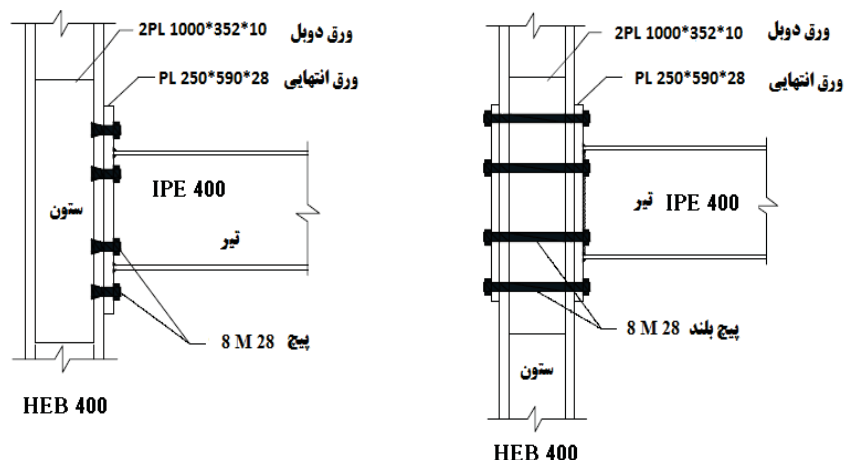


شکل ۱۲- جزئیات اتصال ورق انتهایی طراحی شده (واحد ها بر حسب میلی متر)

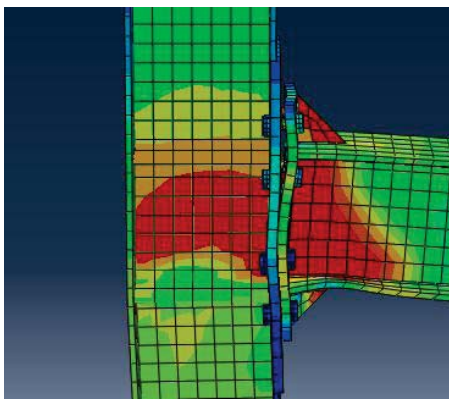
۵- مدل سازی

اینجا برابر با ۲۱۰۰۰ کیلوگرم بر میلی متر مربع است. یکی از قسمت‌های مهم در ABAQUS تعریف اندرکنش‌ها است، اندرکنش اول اندرکنش قفل کردن است که در قسمت‌های زیر از این اندرکنش استفاده شده است: بین ورق سخت کننده و تیر و یا ستون، بین ورق انتهایی و تیر، اتصال بال ضخیم‌تر به بال نازک‌تر ستون در ناحیه ورق انتهایی. دومین اندرکنش اندرکنش اصطکاکی است که فقط بین ورق انتهایی و ستون است. البته لازم به ذکر است که از یک نوع تماس دیگر نیز به نام تماس دار بدون اصطکاک در سایر قسمت‌ها نیز بهره برده شده است.

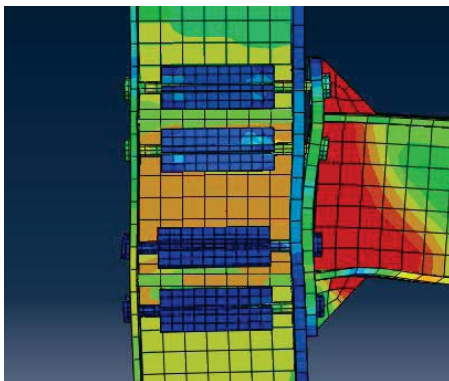
پس از اینکه طراحی نمونه‌ها برای دو اتصال با پیچ کوتاه و بلند انجام شد نوبت به مدل کردن نمونه‌ها توسط برنامه ABAQUS می‌رسد، بعد از اینکه هندسه قطعات شکل گرفت، به مرحله تعریف مشخصات مصالح می‌رسیم که در اینجا فولاد از نوع ST37 می‌باشد در نتیجه تنش تسلیم فولاد برابر با ۲۴ کیلوگرم بر میلی متر مربع می‌باشد و تنش نهایی آن برابر با ۳۷ کیلوگرم بر میلی متر مربع است. پیچ‌های مورد استفاده از نوع پرمقاوت می‌باشد، طبق استاندارد ایزو نوع پیچ در این مدل ۸.۸ است که تنش کششی نهایی آن برابر با ۸۰ کیلوگرم بر میلی متر مربع است. با توجه به نوع فولاد مدول الاستیسیته در



شکل ۱۳- جزئیات اتصالات با پیچ‌های کوتاه و بلند [۱۴]

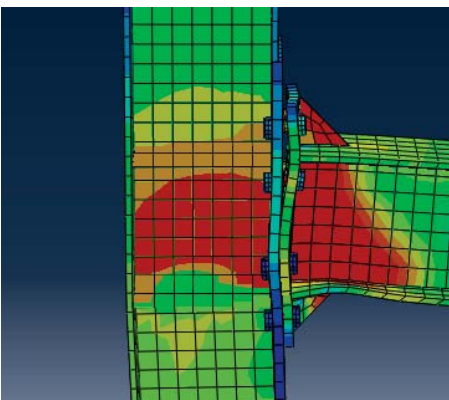


شکل ۱۵- تحلیل اتصال با پیچ کوتاه تحت اثر بار افزایشی



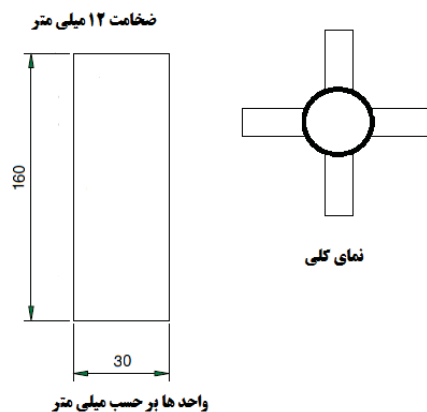
شکل ۱۶- تحلیل اتصال با پیچ بلند تحت اثر بارافزایشی

بعد از تحلیل مدل‌ها تحت بارافزایشی، به تحلیل مدل‌ها تحت بار چرخه‌ای پرداخته شده است. نتایج تحلیل در شکل (۱۷) و (۱۸) آورده شده است.



شکل ۱۷- تحلیل اتصال با پیچ کوتاه تحت اثر بار چرخه‌ای

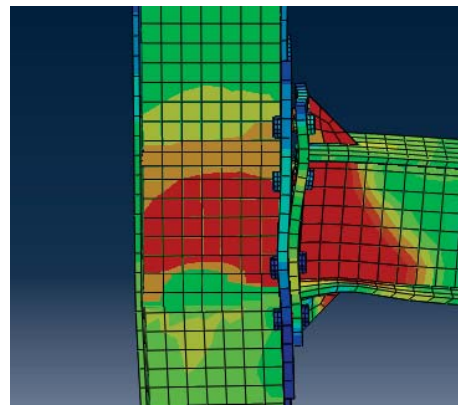
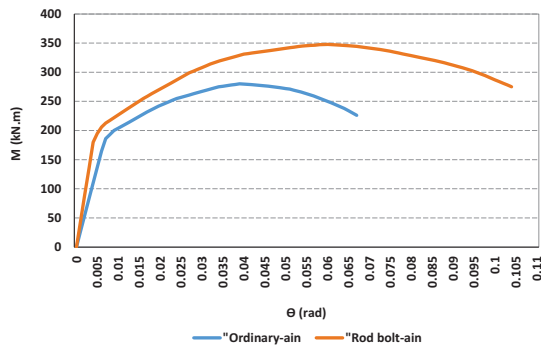
بارگذاری برای بار افزایشی همانند مقاله Shi و همکارانش [۱۴] و برای بار چرخه‌ای همانند پورتوکل بار چرخه‌ای "ای آی اس سی" انجام گرفت و در نهایت مدل به صورت عددی تحلیل شد در مورد اتصال با پیچ کوتاه مشکلی وجود نداشت اما در مورد اتصال با پیچ بلند، پیچ‌ها عمل نمی‌کردند در نتیجه برای رفع این مشکل باید کاری انجام می‌شد، به همین منظور در چهار طرف پیچ چهار ورق فولادی جوش شد. البته لازم به ذکر است که ورق‌ها نمی‌توانستند به بال ستون متصل شوند به این دلیل که کمانش ایجاد شده در بال ستون به این ورق‌ها و در نتیجه به پیچ منتقل می‌شد و در نهایت مشکل پیشین دوباره ایجاد می‌شد، پس طول ورق‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که به بال ستون متصل نشود، در نهایت جزئیات این اتصال در شکل (۱۴) آورده شده است.



شکل ۱۴- ورق‌های جوش داده شده به پیچ بلند

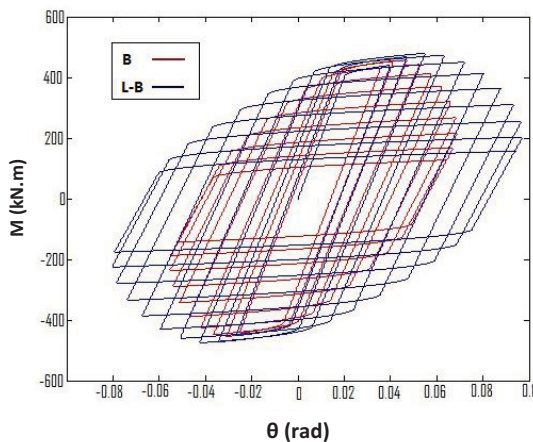
بعد از اینکه پیچ بلند به همراه ورق‌های جوش شده به چهار طرف آن مدل شد، دوباره به وسیله نرم افزار مدل‌ها برای هر دو بار فشاری و چرخه‌ای تحلیل شد، سپس خروجی‌های مورد نظر دریافت شد. در شکل (۱۵) و (۱۶) تنش‌های وارده به هر دو اتصال با پیچ‌های کوتاه و بلند به وسیله طیفی از رنگ‌ها که حاصل از حل عددی می‌باشد- برای بار افزایشی آورده شده است.

ورق‌های پیوستگی منجر به افزایش ۲۵ درصدی شکل پذیری اتصال می‌گردد.



شکل ۱۸- تحلیل اتصال با پیچ بلند تحت اثر بار چرخه‌ای

شکل ۱۹- نمودار لنگر-دوران برای اتصال با پیچ کوتاه و بلند تحت بار افزایشی



شکل ۲۰- نمودار هیستریزس برای دو پیچ کوتاه و بلند

بنابراین با حذف ورق پیوستگی در اتصالات ورق انتهایی با جایگزین نمودن پیچهای بلند به جای پیچهای کوتاه موارد ذیل را می‌توان بیان نمود:

- انتقال مفصل پلاستیک از داخل چشمه اتصال به بر ستون
- افزایش شکل‌پذیری
- افزایش باربری اتصال

۷- مراجع

- [1] ANSI/AISC 358-16, (2016), *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.
- [2] دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۲)، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، نشر توسعه ایران، تهران.
- [3] Hu, F., Shi, G., Bai, Y. and Shi, Y. (2014), "Seismic Performance of Prefabricated Steel Beam-to-Column Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 102, pp. 204-216.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

همانگونه که در شکل‌های (۱۵) تا (۱۸) مشاهده می‌گردد، با مقایسه شکل‌های (۱۵) و (۱۶) در آنالیز بار افزایشی و مقایسه شکل‌های (۱۷) و (۱۸) در آنالیز بار چرخه‌ای، ملاحظه می‌گردد با توجه به حذف ورق‌های پیوستگی، در حالت پیچ کوتاه تنش‌های بیشینه در داخل چشمه اتصال و ورق جان تیر و ورق‌های لچکی اتصال قرار دارند در حالی که در حالت پیچ بلند تنش‌های بیشینه در ورق جان تیر و ورق‌های لچکی اتصال قرار دارند. بنابراین محل تنش‌های بیشینه و تشکیل مفصل پلاستیک با حذف ورق پیوستگی که به داخل چشمه اتصال انتقال می‌یابد با بهره‌گیری از پیچ‌های بلند، این ناحیه به صورت کامل از چشمه اتصال خارج شده و به بر ستون انتقال یافته است و عملکرد مطلوب لرزه‌ای را تامین نموده است.

مطابق شکل (۱۹) برای آنالیز بار افزایشی شکل پذیری افزایش چشم‌گیری داشته است به طوری که تغییر مکان نهایی در حالت با پیچ بلند ۱۱ سانتیمتر و در حالت با پیچ معمولی ۶ سانتیمتر است همچنین بار نهایی نیز افزایش داشته است به صورتی که بار نهایی در حالت با پیچ بلند ۱۲۵ کیلونیوتن و در حالت با پیچ معمولی ۱۱۰ کیلونیوتن می‌باشد.

در شکل (۲۰) بارگذاری چرخه‌ای مقایسه گردیده است. همانگونه که در مقایسه دو نمودار نیز مشاهده می‌گردد با محاسبه سطح زیر نمودارهای هیستریزس، در حالت پیچ بلند سطح زیر نمودار برابر ۴۳/۱۲۵ کیلو ژول و در حالت پیچ معمولی سطح زیر نمودار برابر با ۳۴/۵ کیلوژول است، که نشانگر افزایش ۲۵ درصدی سطح زیر نمودار اتصال با پیچ بلند به نسبت سطح زیر نمودار اتصال با پیچ کوتاه است، که بیانگر این موضوع است استفاده از پیچ‌های بلند در غیاب



- [4] Saneei Nia, Z., Mazroi, A., Ghassemieh, M. and Pezeshki, H. (2014), "Seismic Performance and Comparison of Three Different I Beam to Box Column Joints", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol. 13, No. 4, pp. 717-729.
- [5] Van-Long, H., Jean-Pierre, J. and Jean-François, J. (2015), "Extended End-Plate to Concrete-Filled Rectangular Column Joint Using Long Bolts", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 113, pp. 156-168.
- [6] Yang, P. and Eatherton, M.R. (2014), "A Phenomenological Component-Based Model to Simulate Seismic Behavior of Bolted Extended End-Plate Connections", Vol. 67, No. 10, pp. 1463-1474.
- [7] Krawinkler, H. (1978), "Shear in Beam-Column Joints in Seismic Design of Steel Frames", *Engineering Journal*, American Institute of Steel Construction, Vol. 15, pp. 82-91.
- [8] Eatherton, M.R. (2015), "Experimental Investigation on the Seismic Behavior of Steel Moment Connections with Decking Attachments", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 105, pp. 174-185.
- [9] Brunesi, E., Nascimbene, R. and Rassati, G.A. (2014), "Response of Partially-Restrained Bolted Beam-to-Column Connections under Cyclic Loads", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 97, pp. 24-38.
- [10] Liu, X.C., Pu, S.H., Zhang, A.L., Xu, A.X., Ni, Z., Sun, Y. and Ma, L. (2015), "Static and Seismic Experiment for Bolted-Welded Joint in Modularized Prefabricated Steel Structure", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 115, pp. 417-433.
- [11] Kukreti, A.R., Murray, T.M. and Abolmaali, A. (1987), "End-Plate Connection Moment-Rotation Relationship", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 8, PP. 137-157.
- [12] Hong, K.Yang, J.G. and Lee, S.K. (2002), "Moment-Rotation Behavior of Double Angle Connections subjected to Shear Load", *Engineering Structures*, Vol. 24, No. 1, pp. 125-132.
- [13] Abolmaali, A., Matthys, J.H., Farooqi, M. and Choi, Y. (2005), "Development of Moment-Rotation Model Equations for Flush End-Plate Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, No. 12, pp. 1595-1612.
- [14] Shi, Y., Shi, G. and Wang, Y. (2007), "Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 63, No. 9, pp. 1279-1293.

۱- مقدمه

اتصالات ورق انتهایی به اتصالاتی گفته می‌شود که در آن تیر به ورق انتهایی جوش می‌شود و سپس ورق انتهایی به وسیله پیچ به بال ستون متصل می‌شود. رفتار این نوع اتصال را می‌توان با تعدادی از روش‌های مختلف حالت حدی کنترل کرد، از جمله تغییر شکل خمشی در تیر، تغییر شکل خمشی در ورق انتهایی، تغییر شکل منطقه چشمه اتصال ستون، گسیختگی برشی پیچ و مهره ورق انتهایی یا گسیختگی مفاصل مختلف جوش داده شده [۱].

ضوابط طراحی در مورد این نوع اتصالات به گونه‌ای مقرر شده است که این اطمینان حاصل گردد، اجزای مختلف اتصال قدرت کافی را دارند تا تغییر شکل غیرارتجاعی اتصال توسط جاری شدن تیر به دست آید از این نوع اتصالات در سیستم‌های قاب خمشی ویژه و قاب خمشی متوسط استفاده می‌شود [۱].

از این اتصالات در مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان به عنوان اتصالات از پیش تایید شده یاد شده است، که از جمله این اتصالات می‌توان به: اتصال مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته، اتصال فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی، اتصال فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی، اتصال پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری، اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری و اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی اشاره کرد [۲].

اتصالات ورق انتهایی در دو نوع چهار پیچی با و بدون ورق سخت کننده و هشت پیچی با ورق سخت کننده در آیین نامه آورده شده است که در شکل (۱) مشاهده خواهید نمود [۱].

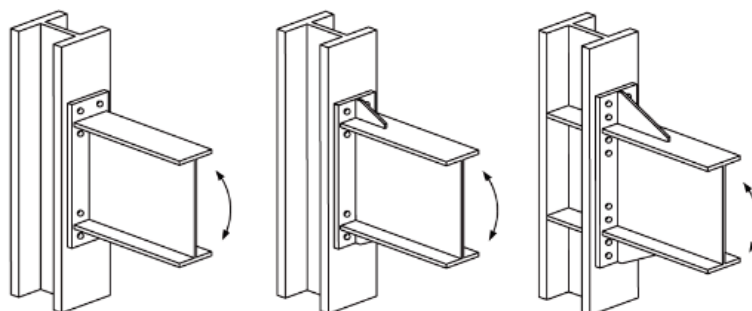
۲- پیشینه تحقیق

در گذشته تحقیقات بسیاری بر روی موضوع اتصالات تیر به

ستون انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات Hu و همکارانش پرداخت که موضوع عملکرد لرزه‌ای اتصالات فولادی پیش ساخته تیر به ستون را مورد بررسی قرار داده‌اند. به این صورت که سه نوع اتصال تیر به ستون فولادی پیش ساخته را در نظر گرفته‌اند. نمونه‌ها را در قیاس کامل آماده کردند. برای بررسی بیشتر عملکرد لرزه‌ای نمونه‌ها را تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار دادند و به نتایجی در مورد حالت شکست، ظرفیت نهایی و شکل پذیری دست یافتند و در نهایت برتری هر یک از این سه نوع اتصال را با توجه به اطلاعات به دست آمده مورد تحلیل قرار دادند [۳].

در همین راستا Saneei Nia و همکارانش بر روی موضوع عملکرد لرزه‌ای و مقایسه اتصال سه تیر مختلف به ستون جعبه‌ای تحقیقاتی را به انجام رسانده‌اند که در اینجا پارامترهای مورد بررسی عبارتند از: عملکرد لرزه‌ای اتصال تقویت نشده، تضعیف اتصال و ارتباط از طریق تقویت می‌باشد. مقایسه ارزیابی انعطاف پذیری و اتلاف انرژی در هر پیکربندی انجام شده است [۴].

سه آزمون در مقیاس کامل با اتصالات مورد نظر انجام شد. تمام نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. نتایج تجربی و تحلیلی نشان داد که عملکرد لرزه‌ای اتصالات تقویت شده با ورق انتهایی و صفحات برشی بهترین عملکرد را در اتصال تیر به ستون باکس دارد البته قابل ذکر است با توجه به نتایج به دست آمده نمونه‌های مختلف می‌توانند در رده اتصالات سخت قرار گیرند و همه آن‌ها مقررات AISC را رای یک قاب خمشی خاص برآورده کنند. علاوه بر قسمت ورق انتهایی همه قسمت‌های باقیمانده نمونه‌ها به طور کامل تحت بارگذاری چرخه‌ای الاستیک قرار گرفت و در نتیجه آن‌ها را می‌توان برای شکل پذیری قاب خمشی توصیه کرد [۴].



شکل ۱- اتصال ورق انتهایی چهار و هشت پیچی [۱]

از دیگر افرادی که بر روی موضوع گسترش اتصال با ورق انتهایی کار کرده‌اند، Van-Long و همکارانش هستند که بر روی موضوعی با نام گسترش اتصالات با ورق انتهایی به وسیله‌ی پیچ بلند به ستون مستطیلی پر شده از بتن کار کرده‌اند. این موضوع از دو جنبه حایز اهمیت است اول اینکه اتصال با ورق انتهایی است و دوم اینکه در این اتصال از پیچ‌های بلند استفاده شده است، این مقاله بر روی یک راه حل برای گسترش اتصال با ورق انتهایی که مورد استفاده برای اتصال تیرهای I شکل به ستون مستطیلی توخالی پر شده از بتن می‌باشد کار شده است. در اتصال از پیچ و مهره بلند استفاده شده است [5].

در همین زمینه Yang و Eatherton مدلی را طراحی کردند برای شبیه سازی لرزه‌ای رفتار اتصالات ورق انتهایی گسترش یافته با پیچ [6].

حالت فنی غیر خطی برای شبیه سازی رفتار هر یک از مولفه‌های کلیدی اتصال در نظر گرفته شد. منطقه پائل ستون با چهار میله صلب شبیه سازی شده است مفصل‌ها در گوشه و کنار با فنر چرخشی غیرخطی در نظر گرفته شده است که توسط کراوینکلر (Krawinkler) بسط داده شده است [7].

از دیگر تحقیقات Eatherton و همکارانش، بررسی تجربی رفتار لرزه‌ای اتصالات خمشی فولادی است. که دوازده آزمایش بر روی اتصالات خمشی در مقیاس کامل انجام گرفت که هدف کشف اثر اتصال دهنده‌های پودری در عملکرد لرزه‌ای اتصالات خمشی فولادی بود. و در نهایت نتایجی در مورد ظرفیت خمشی، اتلاف انرژی و قدرت تخریب قبل از شکست به دست آمد [8].

در ادامه Brunesi و همکارانش بر روی موضوع اتصال پیچی تیر به ستون تحقیقاتی را به انجام رسانده‌اند و پاسخ نیمه محدود این اتصالات را تحت بار چرخه‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. همانطور که می‌دانیم پاسخ سازه درقاب خمشی فولادی بستگی به رفتار اتصال تیر به ستون دارد، با توجه به اینکه اتصال تیر، پیچ و مهره، صفحات و ستون نیاز به یک زنجیره ساختاری دقیق با رعایت اصول طراحی دارد بنابراین یک روش مدل سازی برای اجزای پیچ‌های بالا و پایین اتصالات با پتانسیل استفاده در لرزه ارائه کردند. که در نهایت روشی برای پیش‌بینی رفتار اتصالات پیچ و روابط کلی قطعات از طریق مدل‌های یکپارچه مفاصل بدست آمد [9].

از دیگر موضوعاتی که مورد بررسی قرار گرفته است آزمایش استاتیک و لرزه‌ای برای پیچ و جوش در اجزای مختلف سازه‌های فولادی پیش ساخته است. Liu و همکارانش عملکرد

استاتیک، عملکرد لرزه‌ای، عملکرد انعطاف پذیر، ظرفیت اتلاف انرژی، ظرفیت چرخش و الگوهای سختی تخریب چهار مفصل که توسط آزمایش مدل بدست آمده و همچنین تجزیه و تحلیل المان محدود و اثر ضخامت جان بر عملکرد استاتیک و لرزه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند و در نتیجه یک فرمول ساده برای محاسبه ظرفیت تحمل بارمفاصل پیشنهاد شده است و نتایج محاسبات در کنار نتایج تجربی قرار داده شده است [10].

در همین زمینه Kukreti و همکارانش [11] و Hong و همکارانش [12] بر روی اتصالات تیر به ستون تحقیقاتی را به انجام رسانده‌اند.

Abolmaali در سال ۱۹۸۷ رفتار لنگر-دوران را در اتصالات ورق انتهایی مورد بررسی قرار داد که در ادامه در سال ۲۰۰۵ به توسعه معادلات مدل لنگر-دوران برای قسمت اتصال ورق انتهایی پرداخت [13].

همچنین Shi و همکارانش برای بررسی رفتار لنگر-دوران در اتصالات ورق انتهایی، پنج نمونه اتصال با خصوصیات مختلف را در نظر گرفته است و آزمایشات بر روی این پنج نمونه انجام شده، سپس نمودارهای لنگر-دوران برای هر یک از این پنج نمونه ارائه شده است [14].

۳- صحت سنجی

در این پژوهش برای رسیدن به هدف مورد نظر از برنامه تحلیل اجزا محدود ABAQUS استفاده شده است، در نتیجه با رجوع به یک مقاله آزمایشگاهی معتبر و مدل کردن نمونه‌های آزمایشگاهی آن و بررسی نتایج به دست آمده از نرم افزار و مقایسه نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی موجود در مقاله از صحت عملکرد نرم افزار و نتایج حاصله از آن اطمینان حاصل شد و در حقیقت به نتایج موجود در این مقاله اعتبار بخشیده شده است.

مقاله‌ای که برای هدف صحت سنجی انتخاب شد مقاله Shi و همکارانش [14] است، که به دلیل وجود پنج نوع اتصال متفاوت و در نتیجه به دست آوردن پنج نمودار لنگر-دوران به صورت آزمایشگاهی می‌توانست محک خوبی برای صحت عملکرد و نتایج حاصله از نرم افزار باشد. نمونه مورد استفاده در تحقیق در شکل (۲) آورده شده است. جزئیات اتصال مورد بررسی در شکل (۳) آورده شده است.

نمایش مجموعه مورد آزمایش در مقاله Shi و همکارانش [14] در شکل (۴) نشان داده شده است. جزئیات پنج نمونه‌ی مورد بررسی در تحقیق Shi در جدول (۱) ارائه شده است.



[illegible]

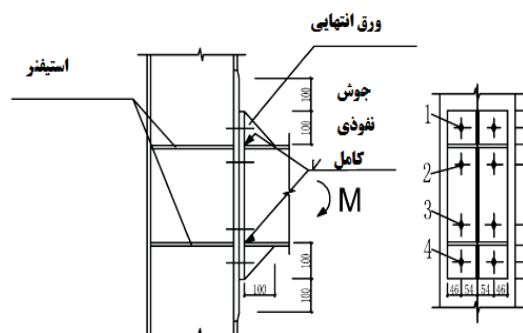
شکل ۲- نمونه مورد آزمون و آرایش بارگذاری [۱۴]

شماره مدل	ضخامت ورق انتهایی (mm)	قطر پیچ (mm)
۱	۲۰	۲۰
۲	۲۵	۲۰
۳	۲۰	۲۴
۴	۲۵	۲۴
۵	۱۶	۲۰

جدول ۲- نتایج به دست آمده از آزمایش [۱۴]

شماره مدل	بار (kN)	لنگر (kN.m)	حالت شکست
۱	۲۸۷/۴	۳۴۳/۷	شکست پیچ
۲	۲۶۸/۴	۳۲۲/۱	شکست پیچ
۳	۳۲۵/۳	۳۹۰/۳	کمانش بال و جان تیر در فشار
۴	۳۴۲/۳	۴۱۰/۸	کمانش بال و جان تیر در فشار
۵	۲۹۶/۱	۳۵۵/۴	شکست پیچ و کمانش ورق انتهایی در فشار

در شکل (۵) حالت شکست در هر پنج نمونه مورد بررسی در تحقیق [۱۴] به همراه پیچ‌های شکسته شده آورده شده است. نتایج نمودارهای لنگر-دوران در شکل (۶) آورده شده است [۱۴].



شکل ۳- جزئیات اتصال مورد آزمایش [۱۴]



نمونه ۳

نمونه ۲

نمونه ۱



پیچ‌های شکسته شده

نمونه ۵

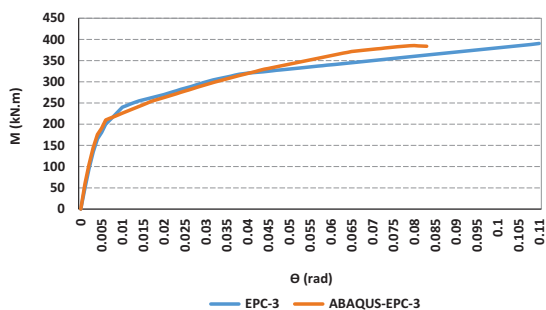
نموده ۴

شکل ۵- حالت شکست در نمونه‌های پنجگانه [۱۴]

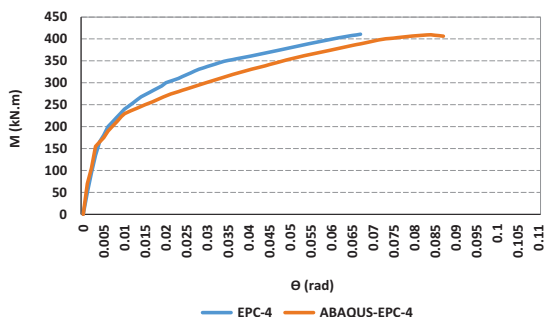


شکل ۴- مجموعه آزمایش [۱۴]

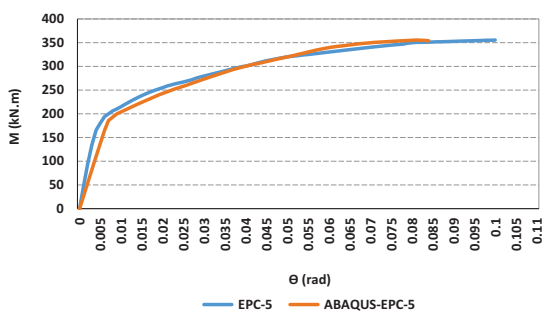
به جز موارد ذکر شده در جدول (۱)، سایر جزئیات در پنج نمونه یکسان است: از قبیل ضخامت جان و بال ستون و تیر که برابر ۳۰۰ میلی متر، ۸ میلی متر و ۲۰۰ میلی متر می باشد. نوع جوش بین قطعات در مرجع [۱۴] بدین صورت است که: جوش نفوذی کامل بین ورق انتهایی و بال تیر و همچنین



شکل ۹- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۳



شکل ۱۰- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۴

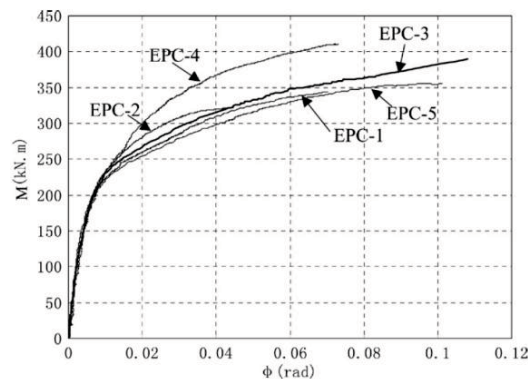


شکل ۱۱- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۵

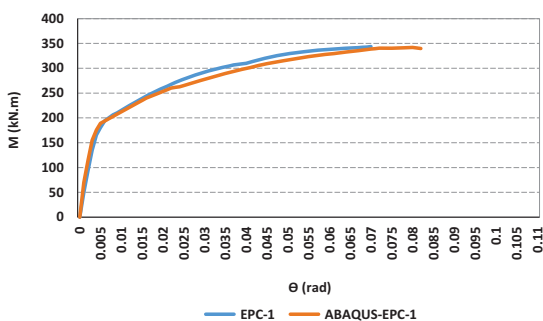
۴- طراحی اتصال

پس از آنکه صحت نتایج بدست آمده از نرم افزار به اثبات رسید، نمونه‌ای براساس آیین نامه فولاد آمریکا طراحی شد. جزئیات نمونه در شکل (۱۲) آورده شده است. سپس برای نیل به اهداف این تحقیق و با توجه به اینکه در ستون‌های جعبه‌ای جوش دادن بعد چهارم ورق پیوستگی با توجه به نحوه اجرای این ستون‌ها به خوبی انجام نمی‌پذیرد، در نتیجه ورق پیوستگی از اتصال ورق انتهایی تیر به ستون طراحی شده حذف شد و مطالعه بر روی این اتصالات بدون ورق پیوستگی انجام شد. اتصالات مورد بررسی با پیچ‌های کوتاه و بلند در شکل (۱۳) آورده شده است.

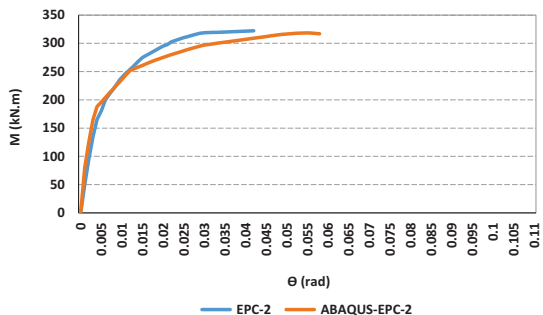
جهت صحت‌سنجی نتایج تحلیل عددی مقاله، پنج نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده با نرم‌افزار ABAQUS مدل و تحلیل گردیده است که نمودارهای لنگر-دوران هر نمونه به صورت مجزا در شکل‌های (۷) تا (۱۱) ترسیم و با مدل آزمایشگاهی مقایسه شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده اختلاف تمامی نقاط در دو نمودار مرجع [۱۴] و تحلیل عددی کمتر از ۲۰ درصد است که این موضوع بیانگر درست مدل کردن نمونه‌ها در نرم افزار المان محدود ABAQUS و به دست آمدن نتایجی دقیق است.



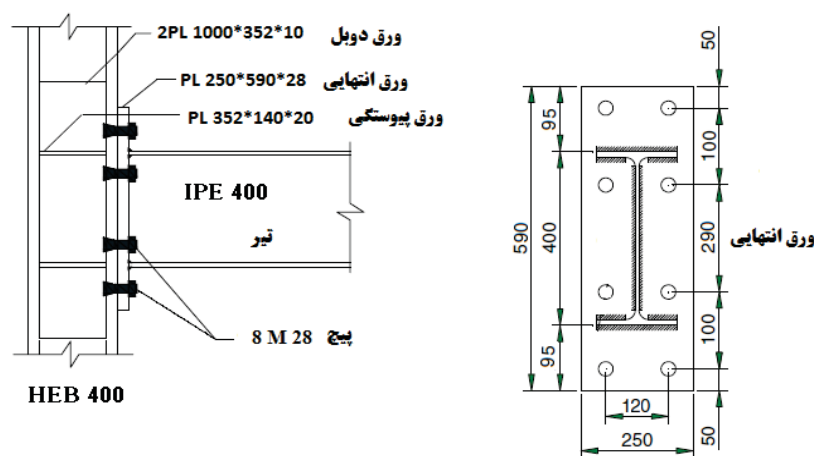
شکل ۶- نمودار لنگر-دوران حاصل از نمونه های پنجگانه [۱۴]



شکل ۷- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۱



شکل ۸- مقایسه نمودار لنگر-دوران نمونه ۲

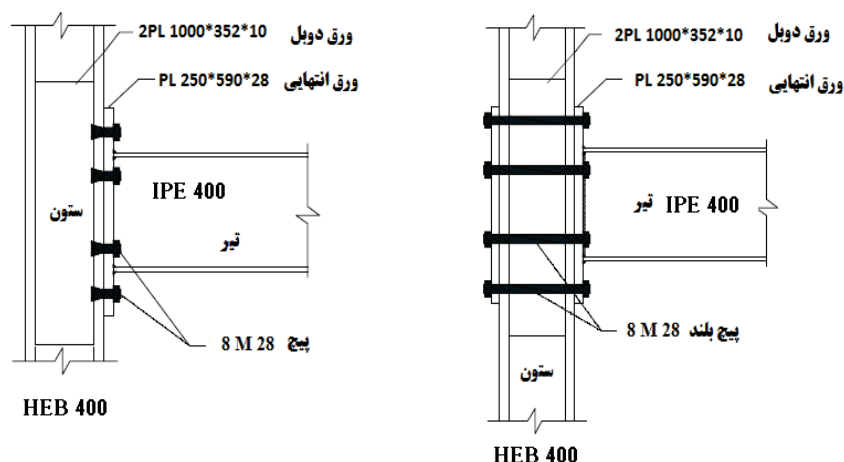


شکل ۱۲- جزئیات اتصال ورق انتهایی طراحی شده (واحد ها برحسب میلی متر)

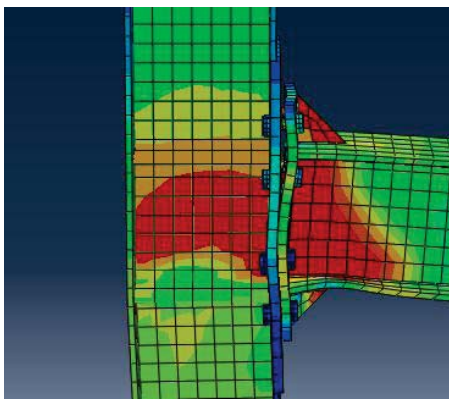
۵- مدل سازی

اینجا برابر با ۲۱۰۰۰ کیلوگرم بر میلی متر مربع است. یکی از قسمت‌های مهم در ABAQUS تعریف اندرکنش‌ها است، اندرکنش اول اندرکنش قفل کردن است که در قسمت‌های زیر از این اندرکنش استفاده شده است: بین ورق سخت کننده و تیر و یا ستون، بین ورق انتهایی و تیر، اتصال بال ضخیم‌تر به بال نازک‌تر ستون در ناحیه ورق انتهایی. دومین اندرکنش اندرکنش اصطکاکی است که فقط بین ورق انتهایی و ستون است. البته لازم به ذکر است که از یک نوع تماس دیگر نیز به نام تماس دار بدون اصطکاک در سایر قسمت‌ها نیز بهره برده شده است.

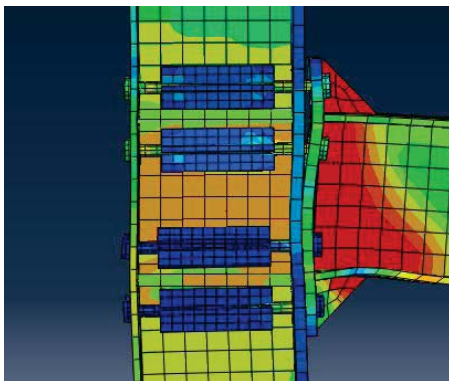
پس از اینکه طراحی نمونه‌ها برای دو اتصال با پیچ کوتاه و بلند انجام شد نوبت به مدل کردن نمونه‌ها توسط برنامه ABAQUS می‌رسد، بعد از اینکه هندسه قطعات شکل گرفت، به مرحله تعریف مشخصات مصالح می‌رسیم که در اینجا فولاد از نوع ST37 می‌باشد در نتیجه تنش تسلیم فولاد برابر با ۲۴ کیلوگرم بر میلی متر مربع می‌باشد و تنش نهایی آن برابر با ۳۷ کیلوگرم بر میلی متر مربع است. پیچ‌های مورد استفاده از نوع پرمقاوت می‌باشد، طبق استاندارد ایزو نوع پیچ در این مدل ۸.۸ است که تنش کششی نهایی آن برابر با ۸۰ کیلوگرم بر میلی متر مربع است. با توجه به نوع فولاد مدول الاستیسیته در



شکل ۱۳- جزئیات اتصالات با پیچ‌های کوتاه و بلند [۱۴]

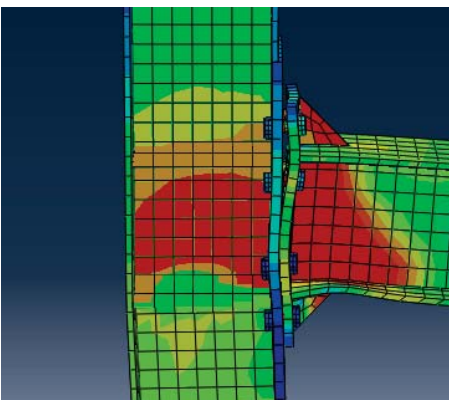


شکل ۱۵- تحلیل اتصال با پیچ کوتاه تحت اثر بار افزایشی



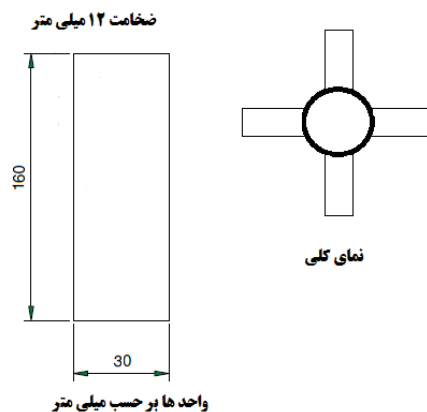
شکل ۱۶- تحلیل اتصال با پیچ بلند تحت اثر بارافزایشی

بعد از تحلیل مدل‌ها تحت بارافزایشی، به تحلیل مدل‌ها تحت بار چرخه‌ای پرداخته شده است. نتایج تحلیل در شکل (۱۷) و (۱۸) آورده شده است.



شکل ۱۷- تحلیل اتصال با پیچ کوتاه تحت اثر بار چرخه‌ای

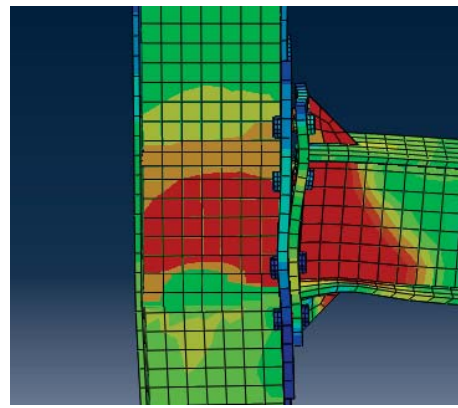
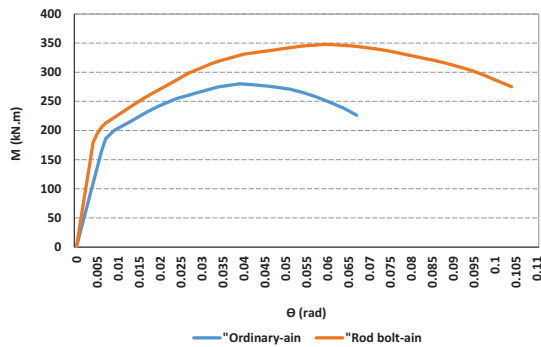
بارگذاری برای بار افزایشی همانند مقاله Shi و همکارانش [۱۴] و برای بار چرخه‌ای همانند پورتوکل بار چرخه‌ای "ای آی اس سی" انجام گرفت و در نهایت مدل به صورت عددی تحلیل شد در مورد اتصال با پیچ کوتاه مشکلی وجود نداشت اما در مورد اتصال با پیچ بلند، پیچ‌ها عمل نمی‌کردند در نتیجه برای رفع این مشکل باید کاری انجام می‌شد، به همین منظور در چهار طرف پیچ چهار ورق فولادی جوش شد. البته لازم به ذکر است که ورق‌ها نمی‌توانستند به بال ستون متصل شوند به این دلیل که کمانش ایجاد شده در بال ستون به این ورق‌ها و در نتیجه به پیچ منتقل می‌شد و در نهایت مشکل پیشین دوباره ایجاد می‌شد، پس طول ورق‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که به بال ستون متصل نشود، در نهایت جزئیات این اتصال در شکل (۱۴) آورده شده است.



شکل ۱۴- ورق‌های جوش داده شده به پیچ بلند

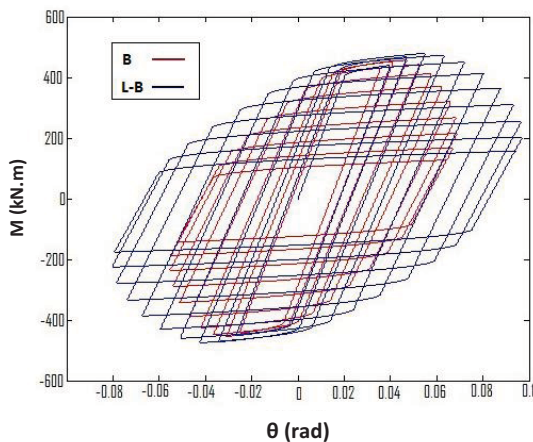
بعد از اینکه پیچ بلند به همراه ورق‌های جوش شده به چهار طرف آن مدل شد، دوباره به وسیله نرم افزار مدل‌ها برای هر دو بار فشاری و چرخه‌ای تحلیل شد، سپس خروجی‌های مورد نظر دریافت شد. در شکل (۱۵) و (۱۶) تنش‌های وارده به هر دو اتصال با پیچ‌های کوتاه و بلند به وسیله طیفی از رنگ‌ها که حاصل از حل عددی می‌باشد- برای بار افزایشی آورده شده است.

ورق‌های پیوستگی منجر به افزایش ۲۵ درصدی شکل پذیری اتصال می‌گردد.



شکل ۱۸- تحلیل اتصال با پیچ بلند تحت اثر بار چرخه‌ای

شکل ۱۹- نمودار لنگر-دوران برای اتصال با پیچ کوتاه و بلند تحت بار افزایشی



شکل ۲۰- نمودار هیستریزس برای دو پیچ کوتاه و بلند

بنابراین با حذف ورق پیوستگی در اتصالات ورق انتهایی با جایگزین نمودن پیچهای بلند به جای پیچهای کوتاه موارد ذیل را می‌توان بیان نمود:

- انتقال مفصل پلاستیک از داخل چشمه اتصال به بر ستون
- افزایش شکل‌پذیری
- افزایش باربری اتصال

۷- مراجع

- [1] ANSI/AISC 358-16, (2016), *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*.
- [2] دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۲)، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، نشر توسعه ایران، تهران.
- [3] Hu, F., Shi, G., Bai, Y. and Shi, Y. (2014), "Seismic Performance of Prefabricated Steel Beam-to-Column Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 102, pp. 204-216.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

همانگونه که در شکل‌های (۱۵) تا (۱۸) مشاهده می‌گردد، با مقایسه شکل‌های (۱۵) و (۱۶) در آنالیز بار افزایشی و مقایسه شکل‌های (۱۷) و (۱۸) در آنالیز بار چرخه‌ای، ملاحظه می‌گردد با توجه به حذف ورق‌های پیوستگی، در حالت پیچ کوتاه تنش‌های بیشینه در داخل چشمه اتصال و ورق جان تیر و ورق‌های لچکی اتصال قرار دارند در حالی که در حالت پیچ بلند تنش‌های بیشینه در ورق جان تیر و ورق‌های لچکی اتصال قرار دارند. بنابراین محل تنش‌های بیشینه و تشکیل مفصل پلاستیک با حذف ورق پیوستگی که به داخل چشمه اتصال انتقال می‌یابد با بهره‌گیری از پیچ‌های بلند، این ناحیه به صورت کامل از چشمه اتصال خارج شده و به بر ستون انتقال یافته است و عملکرد مطلوب لرزه‌ای را تامین نموده است.

مطابق شکل (۱۹) برای آنالیز بار افزایشی شکل پذیری افزایش چشم‌گیری داشته است به طوری که تغییر مکان نهایی در حالت با پیچ بلند ۱۱ سانتیمتر و در حالت با پیچ معمولی ۶ سانتیمتر است همچنین بار نهایی نیز افزایش داشته است به صورتی که بار نهایی در حالت با پیچ بلند ۱۲۵ کیلونیوتن و در حالت با پیچ معمولی ۱۱۰ کیلونیوتن می‌باشد.

در شکل (۲۰) بارگذاری چرخه‌ای مقایسه گردیده است. همانگونه که در مقایسه دو نمودار نیز مشاهده می‌گردد با محاسبه سطح زیر نمودارهای هیستریزس، در حالت پیچ بلند سطح زیر نمودار برابر ۴۳/۱۲۵ کیلو ژول و در حالت پیچ معمولی سطح زیر نمودار برابر با ۳۴/۵ کیلوژول است، که نشانگر افزایش ۲۵ درصدی سطح زیر نمودار اتصال با پیچ بلند به نسبت سطح زیر نمودار اتصال با پیچ کوتاه است، که بیانگر این موضوع است استفاده از پیچ‌های بلند در غیاب



- [4] Saneei Nia, Z., Mazroi, A., Ghassemieh, M. and Pezeshki, H. (2014), "Seismic Performance and Comparison of Three Different I Beam to Box Column Joints", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol. 13, No. 4, pp. 717-729.
- [5] Van-Long, H., Jean-Pierre, J. and Jean-François, J. (2015), "Extended End-Plate to Concrete-Filled Rectangular Column Joint Using Long Bolts", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 113, pp. 156-168.
- [6] Yang, P. and Eatherton, M.R. (2014), "A Phenomenological Component-Based Model to Simulate Seismic Behavior of Bolted Extended End-Plate Connections", Vol. 67, No. 10, pp. 1463-1474.
- [7] Krawinkler, H. (1978), "Shear in Beam-Column Joints in Seismic Design of Steel Frames", *Engineering Journal*, American Institute of Steel Construction, Vol. 15, pp. 82-91.
- [8] Eatherton, M.R. (2015), "Experimental Investigation on the Seismic Behavior of Steel Moment Connections with Decking Attachments", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 105, pp. 174-185.
- [9] Brunesi, E., Nascimbene, R. and Rassati, G.A. (2014), "Response of Partially-Restrained Bolted Beam-to-Column Connections under Cyclic Loads", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 97, pp. 24-38.
- [10] Liu, X.C., Pu, S.H., Zhang, A.L., Xu, A.X., Ni, Z., Sun, Y. and Ma, L. (2015), "Static and Seismic Experiment for Bolted-Welded Joint in Modularized Prefabricated Steel Structure", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 115, pp. 417-433.
- [11] Kukreti, A.R., Murray, T.M. and Abolmaali, A. (1987), "End-Plate Connection Moment-Rotation Relationship", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 8, PP. 137-157.
- [12] Hong, K.Yang, J.G. and Lee, S.K. (2002), "Moment-Rotation Behavior of Double Angle Connections subjected to Shear Load", *Engineering Structures*, Vol. 24, No. 1, pp. 125-132.
- [13] Abolmaali, A., Matthys, J.H., Farooqi, M. and Choi, Y. (2005), "Development of Moment-Rotation Model Equations for Flush End-Plate Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, No. 12, pp. 1595-1612.
- [14] Shi, Y., Shi, G. and Wang, Y. (2007), "Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 63, No. 9, pp. 1279-1293.