



بررسی رفتار اتصالات BSB تحت اثر بارهای تناوبی

مرتضی کاظمی تربقان^۱، محمدرضا سهرابی^{۲*}، حسن حاجی کاظمی^۳

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۲- دانشیار، مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۳- استاد، مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

* زاهدان، صندوق پستی ۹۸۱۵۵-۹۸۷، sohrabi@hamoon.usb.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۴)

چکیده

روش‌های نوین اجرای ساختمان‌ها جهت بهبود کیفیت ساخت، کاهش در زمان و هزینه و افزایش بهره‌وری آن‌ها همواره مورد نظر محققین بوده است که یکی از این روش‌ها، استفاده از فرم‌های سازه‌ای پیش ساخته مدولار می باشد. فرم سازه‌ای BSB (Broad Sustainable Building) یک فرم فولادی پیش ساخته مدولار جدید با اتصالاتی ویژه می باشد. در این پژوهش اثر ضخامت ورق‌های اتصال، استفاده از سخت کننده با ابعاد مختلف و استفاده از زائده هرمی شکل بر منحنی بار-تغییر مکان تحت بارگذاری تناوبی اتصال این فرم سازه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جهت مدل‌سازی اتصالات این فرم سازه‌ای از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS استفاده شده که ابتدا با نتایج یک مدل آزمایشگاهی صحت سنجی شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش ۵۰ درصدی ضخامت ورق‌های اتصال، به ترتیب باعث افزایش حدود ۵۶/۷، ۵۱/۱ و ۱۹ درصدی نیروی جاری شدن، تغییر مکان لحظه شروع جاری شدن و نیروی ماکزیمم قابل تحمل اتصال می‌شود. هم‌چنین نتایج نشان دهنده آن است که، اتصال دارای شکل پذیری بسیار مناسبی می‌باشد به طوری که بیشتر نمونه‌ها دورانی برابر با ۰/۰۷ رادیان را بدون کاهش در نیروی قابل تحمل و گسیختگی در اتصال را تحمل می‌نمایند.

واژگان کلیدی

اتصال ویژه، منحنی نیرو-تغییر مکان، بارهای تناوبی

Study of BSB Connections Behavior under Cyclic Loads

M. Kazemi Torbaghan, M. Sohrabi, H. Haji Kazemi

Abstract

Researchers have been long investigating modern constructional approaches to improve the efficiency and reliability of the constructs and decrease time, costs, and effort. One such modern constructional approach is the use of prefabricated modular construction forms. Broad sustainable building (BSB) is a modern prefabricate modular steel form with special connections. In this paper, we investigate the effects of the thickness of the connection plates, the use of stiffener with different dimensions, and the use of a pyramid-shaped section on the load-displacement curve under cyclic loading. We use the finite-element software "ABAQUS" to model the connections. For verification of the obtained results from the software has been checked by comparing them with experimental models. The obtained results indicate that 50% increment in the thickness of the connection plates causes an increment of approximately 7.56%, 1.51% and 19% in yielding force, the displacement at the beginning of the yielding, and maximum bearable force by the connection respectively. The obtained results also demonstrate that the connection has a good ductility such that most of the samples can bear a rotation of 0.70 radian without a decrease in the bearable load or a failure in the connection.

Keywords

Special connection, Force-displacement curve, Cyclic load



اجزا اتصال در جدول (۱) نشان داده شده است.

از مزایای این فرم می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۲]:

۱- کاهش در مصرف میزان فولاد مصرفی نسبت به ساختمان‌های مشابه

۲- سرعت اجرای زیاد

۳- استفاده از اتصالات فولادی مدولار

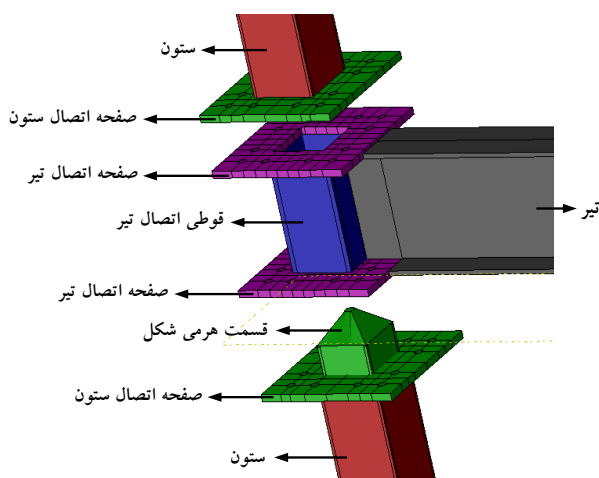
۴- سهولت و کاهش میزان حمل مصالح نسبت به سازه‌های معمولی بطوری‌که تمامی لوازم هر طبقه از قبیل ستون‌ها، بادبندهای قطری، دیوارها، درها و پنجره‌ها بر روی صفحه سقف طبقه زیرین قرار گرفته و به محل حمل می‌گردد.

منحنی تغییرمکان - نیرو را می‌توان به روش‌های نظری یا تجربی تعیین نمود. از آنجا که بررسی رفتار اتصال با استفاده از تحلیل‌های کلاسیک سازه‌ای به دلیل معین نبودن تغییر شکل‌های اجزای اتصال و رفتار غیر خطی هندسی مصالح بسیار سخت و دشوار است و همچنین بررسی آزمایشگاهی دارای هزینه بالا بوده و برای نمونه‌های مختلف غیر عملی می‌باشد، لذا در این پژوهش از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS جهت مدل‌سازی استفاده شده است. صحت سنجی نتایج عددی توسط یک مدل که نتایج آزمایشگاهی آن موجود است صورت گرفته، و سپس اثر پارامترهای موثر اتصال بر منحنی تغییر مکان - نیرو مورد مطالعه قرار گرفته است.

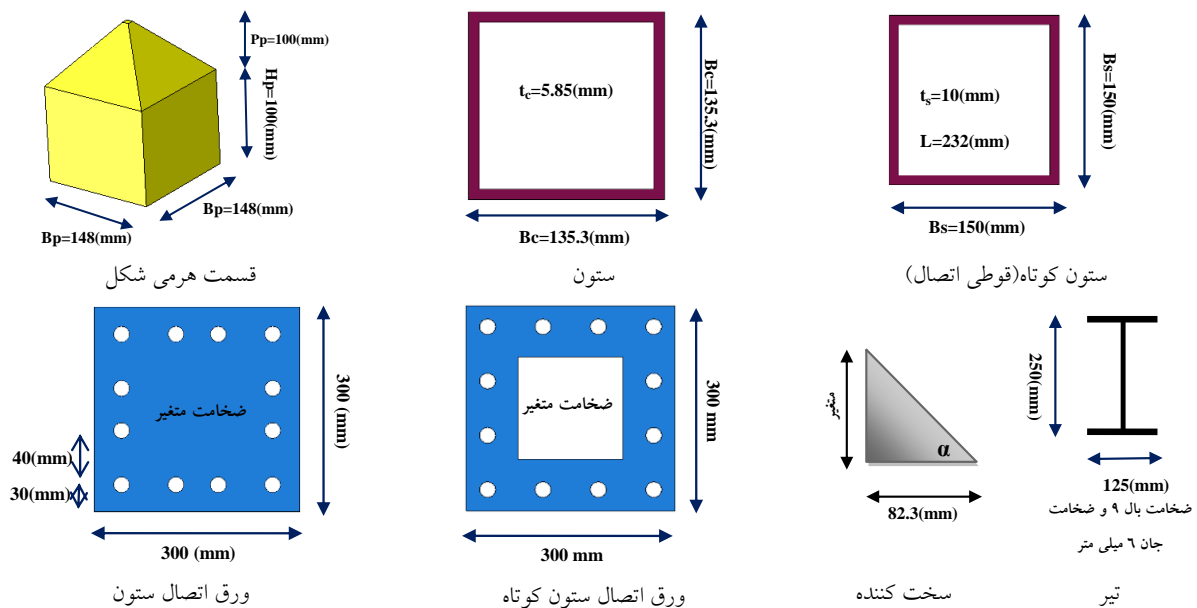
نتایج نشان می‌دهد که اتصالات مورد مطالعه دارای ظرفیت بسیار بالایی بوده و در برابر بارهای تناوبی عملکرد بسیار مناسبی دارد. در ادامه برخی از تحقیقات انجام شده در این زمینه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فرم‌های سازه‌ای متفاوتی جهت طراحی سازه‌ها موجود می‌باشد که از مهم‌ترین عوامل در انتخاب آن‌ها جهت طراحی یک سازه می‌توان به پلان داخلی، روش اجرا، نوع مواد، معماری و شکل خارجی ساختمان، نوع و مقدار بارهای خارجی و ارتفاع ساختمان اشاره نمود [۱]. فرم سازه‌ای BSB جزو فرم‌های فولادی مدولار است که تماماً به صورت پیش ساخته در کارخانه ساخته شده و به محل حمل و اجرا می‌گردد. این فرم به گونه‌ای طراحی شده است که تمام عملیات ساخت و تولید مربوط به تیرها، ستون‌ها، بادبندها، سقف‌ها، درها و پنجره‌ها در کارخانه صورت گرفته و سپس به محل حمل شده و توسط پیچ به یکدیگر متصل و اجرا می‌گردد. در این پژوهش به بررسی اثر پارامترهای موثر این اتصال بر منحنی نیرو-تغییر مکان تحت بارگذاری تناوبی پرداخته می‌شود.

اجزا این فرم سازه‌ای شامل ستون‌هایی با مقطع قوطی شکل می‌باشند که، در ابتدا و انتها به ورق‌های اتصال افقی ختم می‌گردند. برای تیرهای این فرم سازه‌ای می‌توان از مقاطع نبشی به صورت دابل در بالا و پایین و یا از مقاطع I شکل استفاده نمود. در بین ستون‌های طبقات یک ستون کوتاه با مقطع قوطی قرار گرفته است که در ابتدا و انتهای آن ورق‌های اتصال نیز موجود می‌باشد. بر روی صفحات اتصال ستون‌های طبقات و ستون‌های کوتاه سوراخ‌هایی تعبیه شده است که با استفاده از پیچ این مقاطع به یکدیگر متصل می‌شوند. اتصال تیر به ورق‌های اتصال ستون کوتاه به وسیله جوش مستقیم و یا به وسیله ورق‌های اتصال تیر و با استفاده از پیچ صورت می‌گیرد. اجزای اتصال و نحوه اتصال آن‌ها در شکل (۱) و ابعاد و اندازه



شکل ۱- نمایش اجزای اتصال



شکل ۲- نمایش ابعاد و اندازه اجزا اتصال

بتن پرداختند. آن‌ها دو اتصال در مقیاس کامل را تحت بارگذاری تناوبی شبه استاتیکی قرار دادند و مقاومت، سختی، شکل پذیری، ظرفیت اتلاف انرژی و توزیع کرنش را در بارهای تناوبی مختلف ارزیابی نمودند. نتایج نشان می‌دهد که شکل اتصال، رفتار هیستریزس پایدار با سطح مناسبی از مقاومت و سختی را فراهم می‌آورد.

Ghassemieh و همکارانش [۷] با استفاده از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS به بررسی عددی اتصالات با ورق‌های انتهایی تحت بارهای سیکلی پرداختند. آن‌ها در ابتدا جهت صحت سنجی نتایج را با یک مدل آزمایشگاهی مقایسه نموده و سپس به مدل‌سازی با نرم افزار پرداختند. آن‌ها بیان نموده‌اند که تغییر ابعاد اعضای اتصال بر روی پاسخ لرزه‌ای اتصال تاثیر می‌گذارد به طوری که افزایش عمق ستون و سختی اتصال سبب بهبود عملکرد لرزه‌ای می‌شود. هم‌چنین ضخامت ورق‌های انتهایی باید طوری انتخاب گردد که، ظرفیت آن‌ها از لنگر پلاستیک تیر بزرگ‌تر باشد.

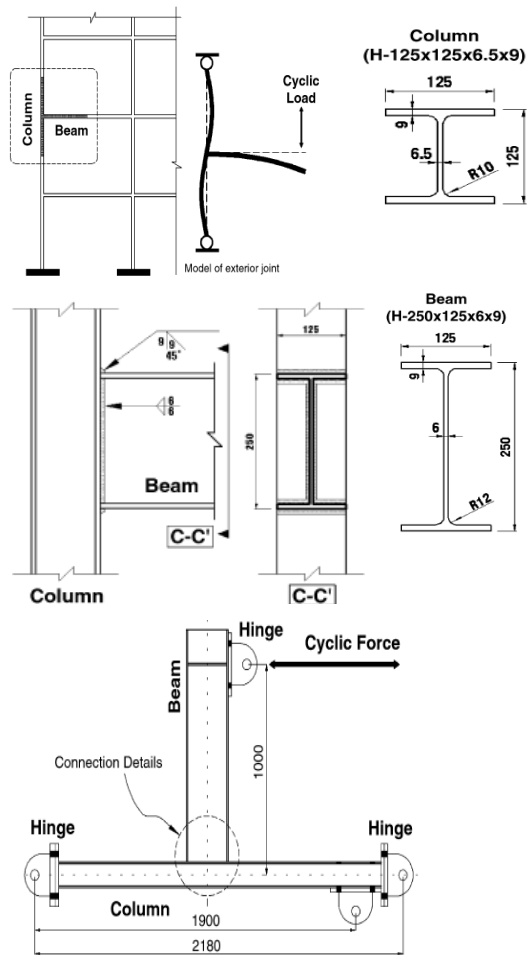
Kulkarni و Gaurang [۸] به بررسی دو نوع اتصال شامل اتصال تیر به ستون با مقطع بال کاهش یافته و بدون مقطع بال کاهش یافته تحت بارگذاری سیکلی پرداختند. آزمایش بر روی اتصال با مقطع کاهش یافته در ایالات متحده، ژاپن و اروپا صورت گرفته بود اما این نوع اتصال برای مقاطع تولیدی در هندوستان صورت نگرفته بود. پژوهشگران برای صحت سنجی نتایج یک مدل اجزا محدود را با نمونه آزمایشگاهی

Gerami و همکارانش [۳] به بررسی اثر آرایش پیچ‌ها در اتصالات فولادی با ورق‌های انتهایی و T-Stud تحت اثر بارهای تناوبی پرداختند. آن‌ها ۴ نمونه از اتصالات ذکر شده را با تغییر در ترتیب قرارگیری پیچ‌ها در جهت افقی و قائم را به روش اجزا محدود مورد بررسی قرار دادند، نتایج بیان‌گر آن است که، ظرفیت لنگر و سختی دورانی اتصال T-Stud بیشتر از اتصال با ورق‌های انتهایی می‌باشد.

AlHendi و Celikag [۴] تلاش نموده‌اند تا بتوانند با استفاده از تغییر در شکل هندسی اتصال ناودانی معکوس (RCC) منحنی لنگر- دوران اتصال آن را بهبود ببخشند. آن‌ها از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS برای مدل‌سازی استفاده نمودند. تاکید اصلی آن‌ها بر روی سختی، مقاومت، عوامل شکل پذیری، ظرفیت دوران و مکانیک شکست اتصال بود. نتایج نشان می‌دهد که، تمامی تست‌ها دارای حداقل ظرفیت دوران ۰/۰۳ رادیان، و در بیشتر موارد ۰/۰۶ رادیان و در یک مورد ۱/۶ رادیان می‌باشد.

Kishi و Chen [۵] با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی به توسعه یک بانک اطلاعاتی مربوط به اتصالات نیمه صلب پرداختند. آن‌ها در این بانک اطلاعاتی نمودارها و جداولی ارائه نموده‌اند که مشخصات و پارامترهای مربوط به منحنی‌های لنگر-دوران برای هر نوع اتصال در آن‌ها بیان شده است.

Qin و همکارانش [۶] به بررسی برآورد رفتار تناوبی اتصالات دیافراگم‌های داخلی جدید با ستون‌های پر شده از



شکل ۳- ابعاد، هندسه مدل و نحوه اعمال بار تناوبی [۱۱]

البته نمونه آزمایشگاهی و نمونه صحت سنجی شده فاقد پیچ می باشد. مدول الاستیسیته برای تمامی مقاطع برابر با ۲۰۰ GPa و ضریب پواسون برابر با ۰/۳ است.

جدول ۱- مشخصات مصالح استفاده شده در نمونه‌های آزمایشگاهی و عددی [۳ و ۱۱]

مصلح	مقاطع	کرنش	تنش (مگاپاسکال)
SS400	تیر، ستون، ورق‌های	۰/۰۰۱۷۸	۳۳۲
	اتصال، سخت کننده،	۰/۰۱۹۶	۳۳۲
	قسمت هرمی	۰/۲۱۳۴	۴۵۰
A490	پیچ	۰/۰۰۳۸۶	۷۹۴
		۰/۰۱۳۵	۱۰۳۵
		۰/۰۳۰۹	۱۰۳۵
		۰/۲	۱۰۴۸

مقایسه نمودند و سپس به مدل‌سازی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اتصال بدون مقطع بال کاهش یافته دارای عملکردی ضعیف می‌باشد بطوری‌که ترک‌ها از قسمت جوش پایین اتصال آغاز می‌شود اما اتصال با مقطع بال کاهش یافته قابلیت تحمل ۰/۰۲ رادیان انحنا را بدون آن‌که در جوش، خرابی ایجاد گردد را دارد.

Mofid و Mohamadi-Shoore [۹] یک مدل تشریحی برای نشان دادن منحنی لنگر-دوران برای اتصالات با ورق‌های انتهایی پیچی ارائه نموده‌اند. مدل پیشنهادی یک روش برای پیش بینی نمودار لنگر-دوران، مودهای شکست احتمالی و پارامترهای موثر بر تغییر شکل اتصال را بیان می‌نماید. نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی برای نمودارهای لنگر-دوران با تحقیقات 3D FEM مقایسه شده است که نشان می‌دهد مدل با رفتار واقعی اتصال منطبق می‌باشد. هم‌چنین مقایسه‌ای بین نتایج مدل و سایر معادلات موجود برای نمودار لنگر-دوران صورت پذیرفت که بیانگر آن می‌باشد که مدل ارائه شده دارای دقت مناسبی است.

F_u و همکارانش [۱۰] یک نوع اتصال مرکب شامل دال‌هایی با هسته مجوف پیش ساخته معرفی نمودند. آن‌ها در تحقیقات خود به بررسی پارامترهای موثر اتصال از جمله نمودار لنگر-دوران آن پرداختند. این پژوهشگران از روش اجزا محدود استفاده نموده و هم‌چنین مدل آزمایشگاهی اتصال را در مقیاس واقعی ساختند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین مدل آزمایشگاهی و مدل اجزا محدود می‌باشد.

۲- مدل‌سازی

به منظور بررسی صحت مدل‌سازی و نرم افزار مورد استفاده، ابتدا یک اتصال که نتایج آزمایشگاهی آن موجود بود [۱۱] توسط نرم‌افزار مدل و تحت بارگذاری تناوبی قرار گردید سپس نتایج بدست آمده با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه شد که در ادامه نتایج حاصل نشان داده می‌شود. شکل (۳) نمونه قاب مقاوم خمشی انتخاب شده، ابعاد و مقطع تیر و ستون و نحوه مدل‌سازی اتصال را نشان می‌دهد.

۳- مشخصات مصالح مصرفی

تمامی مقاطع استفاده شده در این تحقیق شامل ستون‌ها، تیرها، ورق‌های انتهایی، مقطع قوطی و قسمت هرمی شکل از فولاد SS400 و تمامی پیچ‌های استفاده شده از نوع پرمقاومت A490 است که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

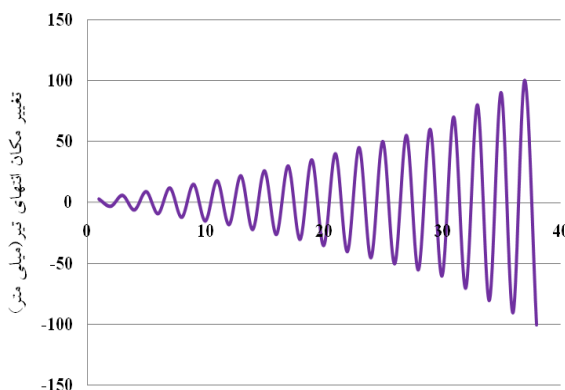
بارگذاری به صورت کنترل تغییر مکان در انتهای تیر مطابق بارگذاری آزمایشگاهی مقاله مرجع و با توجه به ضوابط آیین نامه بارگذاری ATC-24 انجام گرفته است که مقادیر آن در جدول (۲) و شکل (۴) قابل مشاهده می باشد [۱۲].

منحنی نیرو-تغییر مکان حاصل از نمونه آزمایشگاهی و نمونه عددی در شکل (۵) ارائه شده است. نتایج حاصل نشان دهنده تطابق خوب بین نتایج عددی و آزمایشگاهی می باشد.

جدول ۲- مراحل بارگذاری در انتهای تیر

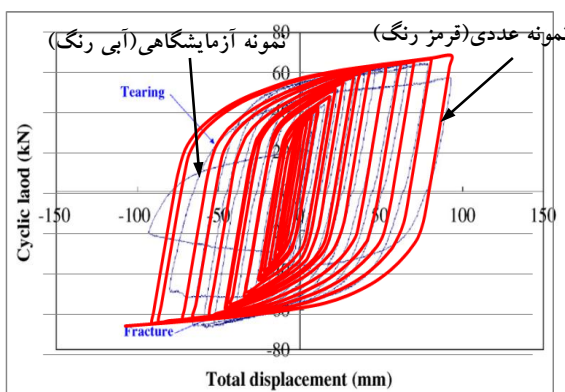
شماره مرحله	۱	۲	۳	...	۶	...	۹	۱۰	...	۱۳	۱۴	...	۱۸
تغییر مکان (میلی متر)	±۳	±۶	±۹	...	±۱۸	...	±۳۰	±۳۵	...	±۵۰	±۶۰	...	±۱۰۰

ابعاد آن طوری انتخاب شده است که دارای مساحت و ممان اینرسی برابر با مقطع ستون نمونه آزمایشگاهی باشد. با توجه به این که در تمامی قطعات ضخامت نسبت به سایر ابعاد کوچک می باشد، در نتیجه برای مدل سازی قطعات از المان SHELL و مدل سازی پیچ ها از المان SOLID استفاده شده است. همچنین برای آن که مدل سازی پیچیده نشود و بتوان از نوع مش بندی STRUCTURAL که نسبت به سایر انواع مش بندی دارای دقت بالاتری می باشد استفاده نمود، قطعات به صورت جداگانه ترسیم و سپس با استفاده از تماس نوع Tie به یکدیگر متصل شده اند. تماس بین پیچ ها و جداره صفحات به صورت General contact و از نوع Penalty با ضریب اصکاک ۰/۵ در نظر گرفته شده است [۱۳].



شکل ۴- بارگذاری اعمال شده بر انتهای تیر

سوراخ ها از نوع استاندارد می باشد. بارگذاری در دو مرحله صورت گرفته است، در مرحله اول با توجه به نوع و سایز پیچ ها نیروی پیش تنیدگی ۱۰۷ کیلونیوتن به پیچ ها اعمال می شود [۱۳] و در مرحله دوم تغییر مکان ها طبق جدول (۲) به انتهای تیر وارد می گردد. مراحل مدل سازی پیچ ها در پیوست ارائه شده است و مراحل اعمال نیروی پیش تنیدگی بر پیچ ها در نرم افزار ABAQUS به صورت زیر می باشد:



شکل ۵- منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی و عددی

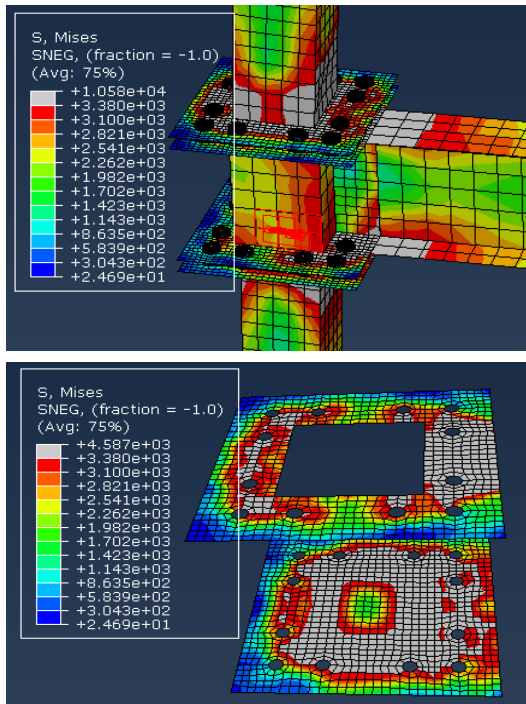
- از منوی Tools گزینه Datum و سپس از قسمت Create datum گزینه Plan انتخاب می شود.
- روی گزینه Offset from plane کلیک نموده و OK می کنیم سپس یک مقدار وارد می گردد.
- از منوی Tools گزینه Partition و سپس از قسمت Use datum plane برای ایجاد یک سطح استفاده می شود.
- با استفاده از منوی Tools گزینه Datum و Principal axis جهت محور Z برای پیچ ها تعریف می گردد.

۴- بررسی اتصال نمونه

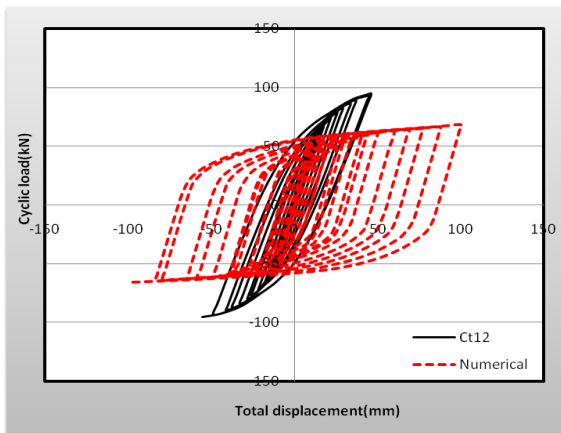
در این قسمت اتصال ارائه شده مورد بررسی قرار گرفته و مشخصات مدل سازی شده آن در ادامه ارائه می شود. تمامی شرایط اتصال از جمله نوع فولاد مصرفی، مقطع تیر، طول تیر و ستون، شکل بارگذاری و شرایط تکیه گاهی مشابه با نمونه آزمایشگاهی می باشد. فقط با توجه به آن که شکل ستون های فرم سازه ای BSB به شکل قوطی می باشد، در تمامی مدل ها به جز یک مدل، ستون ها به شکل قوطی مدل شده و



منحنی نیرو-تغییر مکان انتهایی تیر نمونه Ct12 و نمونه عددی را نشان می‌دهد.



شکل ۶- کانتور تنش فون میسیز در اتصال Ct12



شکل ۷- منحنی بار-تغییر مکان در اتصال Ct12 و نمونه عددی

در نمونه Ct15 هنگامی که نیروی وارده به ۷۱/۶۲ کیلونیوتن می‌رسد، اولین مقطعی که تنش آن در برخی نواحی به تنش تسلیم می‌رسد ورق‌های انتهایی ستون می‌باشد. با افزایش نیرو ناحیه تسلیم شده بیشتر می‌شود و سایر مقاطع نیز در برخی نواحی دچار تسلیم می‌شوند. هنگامی که نیروی وارده به حداکثر مقدار خود یعنی ۱۱۴/۲۵ کیلونیوتن می‌رسد بخش زیادی از ورق انتهایی ستون، قسمتی از ورق‌های انتهایی قوطی و بخشی

از منوی Load گزینه Create load و انتخاب نوع بار Bolt load بار مورد نظر به پیچ اعمال می‌شود. مشخصات و نام‌گذاری نمونه‌های مدل‌سازی شده در جدول (۳) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳- نام‌گذاری اتصالات مدل شده

Ct12	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۲ میلی‌متر
Ct15	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر
Ct18	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۸ میلی‌متر
Ct15H	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + قسمت هرمی شکل
Ct15I	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر & ستون با مقطع I شکل
Ct15S15	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده
Ct15S25	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده
Ct15S35	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده
Ct15S45	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده
Ct15S55	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده
Ct15S65	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده
Ct15S75	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده
Ct15S90	ضخامت ورق‌های اتصال ۱۵ میلی‌متر + سخت کننده

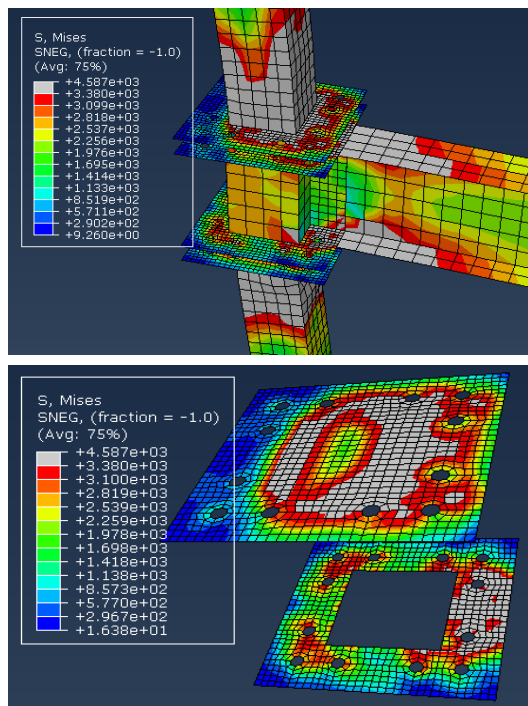
در این جدول عدد بعد از t ضخامت ورق‌های اتصال به میلی‌متر را نشان می‌دهد. نمونه‌هایی که دارای حرف S می‌باشد دارای سخت کننده می‌باشند و عدد بعد از S زاویه سخت کننده را نشان می‌دهد.

در نمونه Ct12 هنگامی که نیروی وارده به ۵۵/۰۳ کیلونیوتن می‌رسد، اولین مقطعی که تنش آن در برخی نواحی به تنش تسلیم می‌رسد ورق‌های انتهایی ستون می‌باشد. با افزایش نیرو ناحیه تسلیم شده بیشتر می‌شود و سایر مقاطع نیز در برخی نواحی دچار تسلیم می‌شوند. هنگامی که مقدار نیرو به ۹۵/۴۵ کیلو نیوتن می‌رسد تنش در ورق‌های انتهایی ستون و قوطی، به تنش گسیختگی رسیده و مقطع دیگر قادر به تحمل نیروی بیشتر نمی‌باشد.

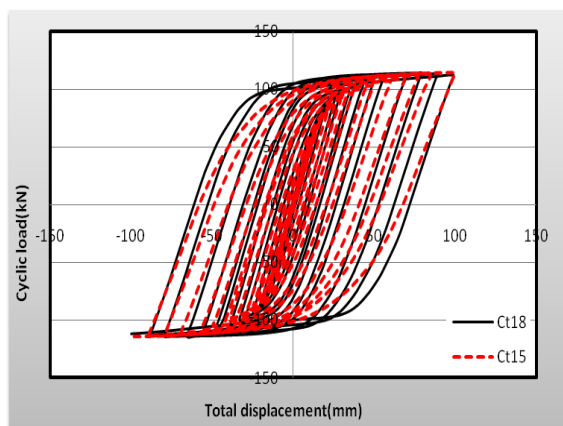
در نتیجه در این حالت ضخامت ورق‌های انتهایی ستون و قوطی مناسب نبوده و سبب گسیختگی اتصال می‌شوند. شکل (۶) نحوه توزیع تنش فون میسیز در اتصال هنگامی که مقدار نیروی وارده برابر با ۹۵/۴۵ کیلونیوتن است و شکل (۷)



ناحیه تسلیم بیشتر شده و سایر مقاطع نیز در برخی نواحی دچار تسلیم می‌شوند. وقتی نیروی وارده به حداکثر مقدار خود یعنی ۱۱۱/۶۴ کیلونیوتن می‌رسد، تنش در بخش‌هایی از ورق‌های انتهایی ستون، قوطی، بال‌ها و قسمتی از جان تیر به تنش تسلیم رسیده و در قسمت‌هایی از ستون مفصل پلاستیک تشکیل می‌گردد، اما در هیچکدام از مقاطع گسیختگی صورت نمی‌پذیرد. شکل (۱۰) تنش فون میسیز را در مقاطع مختلف اتصال در حالت حداکثر نیروی وارده و شکل (۱۱) منحنی نیرو-تغییر مکان انتهایی تیر را برای نمونه های CBT18 و CBT15 نشان می‌دهد.

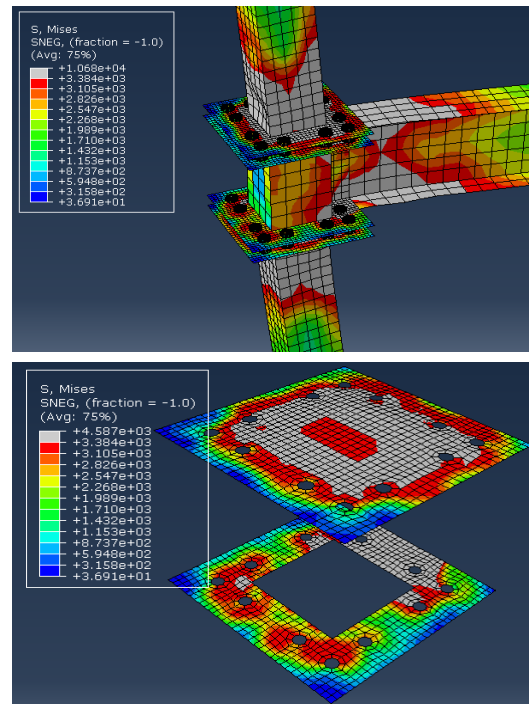


شکل ۱۰- کانتور تنش فون میسیز در اتصال CBT18

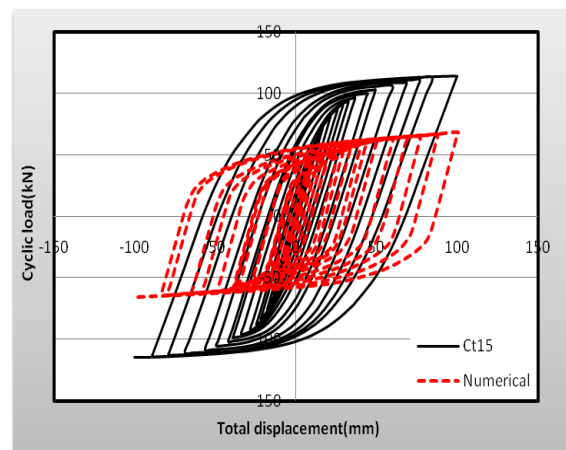


شکل ۱۱- منحنی بار-تغییر مکان در اتصال CBT18 و CBT15

از تیر و ستون دچار تسلیم شده اما هیچکدام از مقاطع دچار گسیختگی نمی‌شوند. یکی از معایب این حالت این است که مفصل پلاستیک در ستون ایجاد می‌گردد. شکل (۸) تنش فون میسیز را در مقاطع مختلف اتصال در حالت حداکثر نیروی وارده و شکل (۹) منحنی نیرو-تغییر مکان انتهایی تیر را نشان می‌دهد.

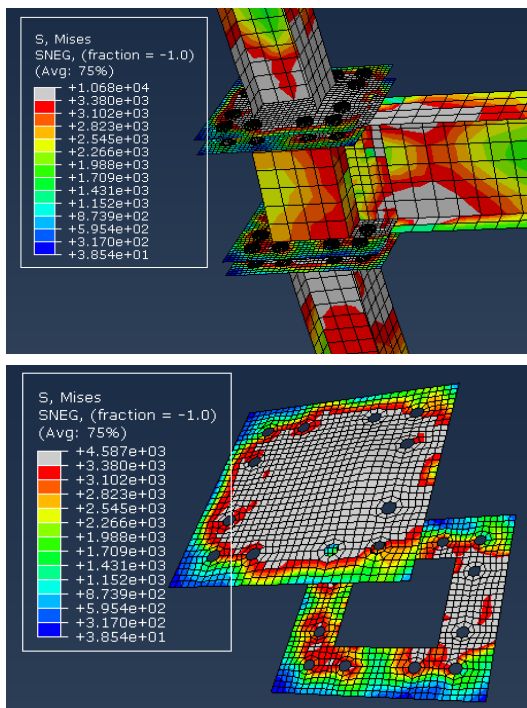


شکل ۸- کانتور تنش فون میسیز در اتصال CBT15



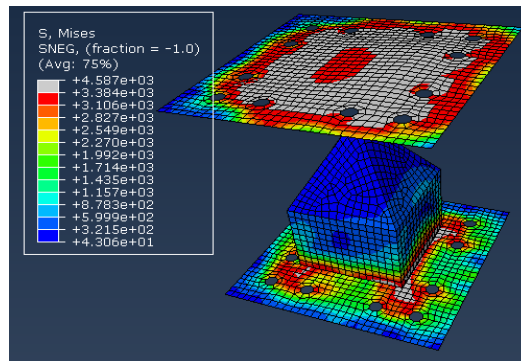
شکل ۹- منحنی بار-تغییر مکان در اتصال CBT15 و نمونه عددی

در نمونه CBT18 هنگامی که نیروی وارده به ۸۶/۲۴ کیلونیوتن می‌رسد، اولین مقطعی که تنش آن در برخی نواحی به تنش تسلیم می‌رسد ورق‌های انتهایی ستون می‌باشد. با افزایش نیرو

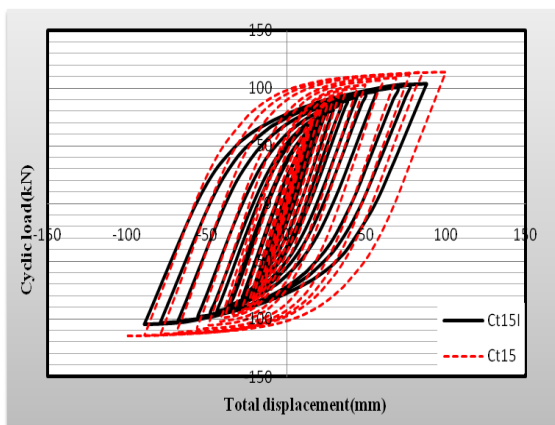


شکل ۱۴- کانتور تنش فون میسیز در اتصال Ct15I

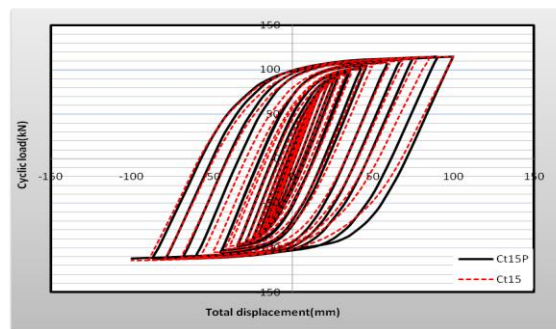
در نمونه Ct15H تقریباً تمامی وارد مشابه نمونه Ct15 بوده و تنها تفاوت مربوط به کاهش مقدار تنش ورق انتهایی ستون است که قسمت هرمی بر روی آن قرار گرفته شده و کاهش مقدار نیروی نهایی به ۱۱۱/۹ کیلونیوتن می‌باشد. کانتور تنش و منحنی بار- تغییر مکان در این حالت در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱۲- کانتور تنش فون میسیز در ورق‌های اتصال Ct15H



شکل ۱۵- منحنی بار-تغییر مکان در اتصال Ct15I و Ct15

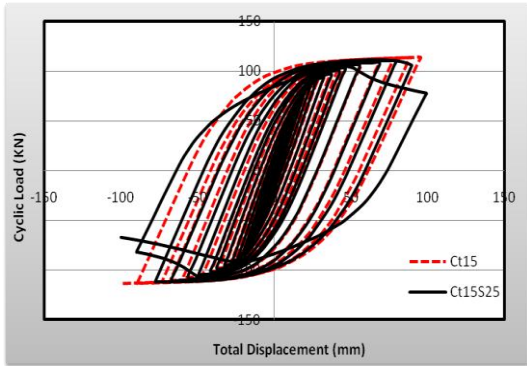


شکل ۱۳- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15H و Ct15

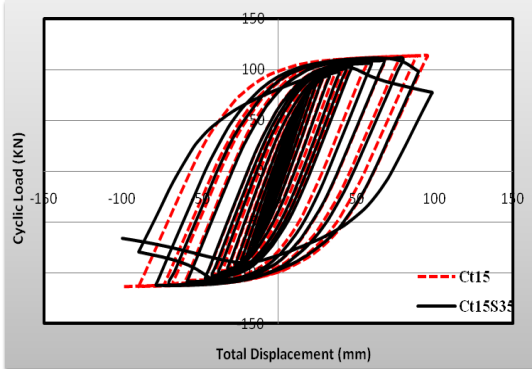
در نمونه Ct15S45 هنگامی که نیروی وارده به ۷۱/۳۹ کیلونیوتن می‌رسد تنش در ورق انتهایی ستون به تنش تسلیم می‌رسد. اما با افزایش نیرو و رسیدن آن به مقدار حداکثر ۱۱۳/۴ کیلونیوتن و تغییر مکان ۷۵/۸۲ میلی متر تنش در بخش‌هایی از ستون، تیر و ورق‌های اتصال به تنش تسلیم رسیده و پس از آن مقدار نیرو کاهش پیدا می‌نماید به طوری که نیرویی که سبب تغییر مکان ۱۰۰ میلی متر در انتهای تیر می‌گردد برابر با ۹۹/۷ کیلونیوتن می‌باشد. در این حالت مفصل پلاستیک به درون تیر منتقل شده و میزان نواحی که در ستون‌ها و ورق‌های اتصال دارای تنش تسلیم می‌باشند، کاهش پیدا می‌نماید. شکل (۱۶)

در نمونه Ct15I هنگامی که نیروی وارده به ۵۷/۸۶ کیلونیوتن می‌رسد، اولین مقطعی که تنش آن در برخی نواحی به تنش تسلیم می‌رسد، ورق‌های انتهایی ستون می‌باشد. با افزایش نیرو ناحیه تسلیم شده بیشتر شده و سایر مقاطع نیز در برخی نواحی دچار تسلیم می‌شوند. هنگامی که مقدار نیرو به ۱۰۴/۶۹ (تغییر مکان انتهای تیر برابر با ۹۰ میلی متر) کیلونیوتن می‌رسد تنش در برخی از قسمت‌های ورق‌های انتهایی ستون به تنش گسیختگی رسیده و مقطع دیگر قادر به تحمل نیروی بیشتر نمی‌باشد. شکل (۱۴) نحوه توزیع تنش فون میسیز در اتصال را در هنگامی که مقدار نیروی وارده برابر با ۱۰۴/۶۹ کیلونیوتن است و شکل (۱۵) منحنی نیرو- تغییر مکان انتهای تیر را نشان می‌دهد.

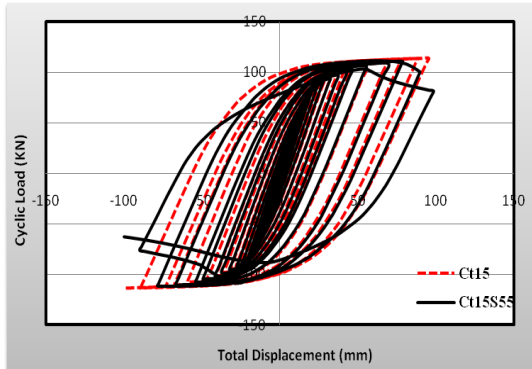
توزیع تنش فون میسیز در حالت تغییر مکان انتهای تیر برابر با ۱۰۰ میلی‌متر و شکل (۱۷) نمودار نیرو-تغییر مکان را نشان می‌دهد.



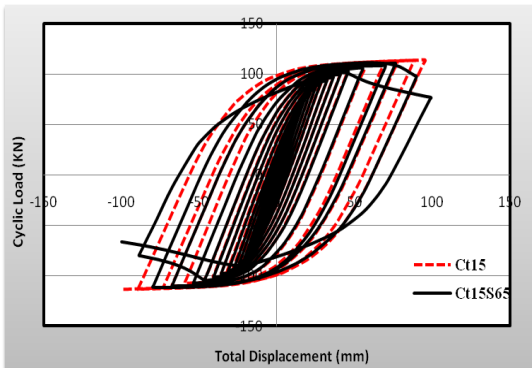
شکل ۱۹- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S25



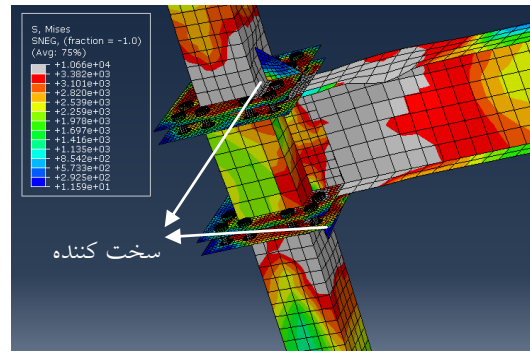
شکل ۲۰- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S35



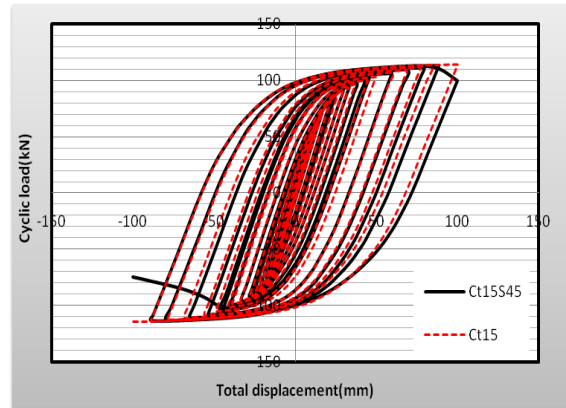
شکل ۲۱- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S55



شکل ۲۲- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S65

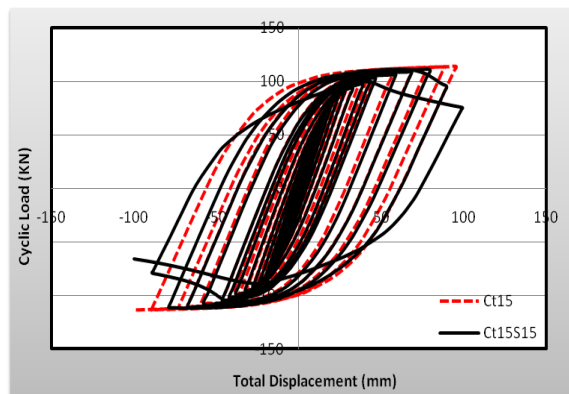


شکل ۱۶- کانتور تنش فون میسیز در ورق‌های اتصال Ct15S45



شکل ۱۷- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S45

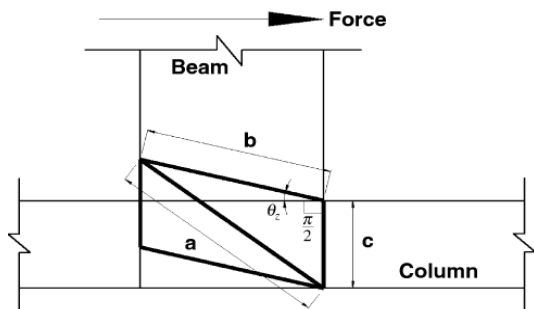
در ادامه نمودار نیرو-تغییر مکان برای سایر نمونه‌های دارای سخت کننده ارائه شده که در شکل‌های (۱۷) الی (۲۴) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱۸- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S15

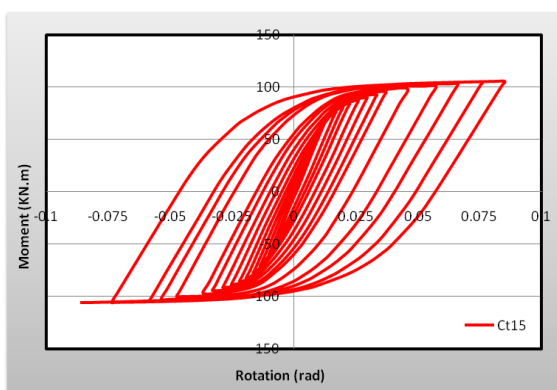
جدول ۴- مقادیر نیرو و تغییر مکان نمونه‌ها

نمونه	P_y (kN)	D_y (mm)	P_{max} (kN)	P_{100} (kN)
Ct12	۵۵/۰۳	۱۳/۴	۹۵/۴۴	---
Ct15	۷۱/۶۲	۱۶/۵۵	۱۱۴/۲۵	۱۱۴/۲۵
Ct18	۸۶/۲۴	۲۰/۲۵	۱۱۳/۵۸	۱۱۱/۶۴
Ct15H	۷۱/۳۴	۱۵/۸	۱۱۴/۴۷	۱۱۱/۹
Ct15I	۵۷/۸۵	۱۵	۱۰۴/۶۸	۱۰۳/۵۹
Ct15S15	۷۲/۳۱	۱۶/۵۵	۱۱۲/۱۵	۶۶/۰۲
Ct15S25	۷۲/۳۱	۱۶/۵۵	۱۱۲	۶۷/۱۴
Ct15S35	۷۲/۳۲	۱۶/۵۵	۱۱۲/۱۸	۶۵/۶۶
Ct15S45	۷۴/۹۲	۱۷/۶۶	۱۱۲/۰۳	۶۶/۶۹
Ct15S55	۷۲/۳۲	۱۶/۵۵	۱۱۱/۹	۶۲/۸۹
Ct15S65	۷۴/۹	۱۷/۶۶	۱۱۱/۸۸	۶۶/۴۹
Ct15S75	۷۲/۳۳	۱۶/۵۵	۱۱۲/۲۵	۶۷/۲۲
Ct15S90	۶۸/۶۳	۱۵	۱۱۲	۷۲/۷۵

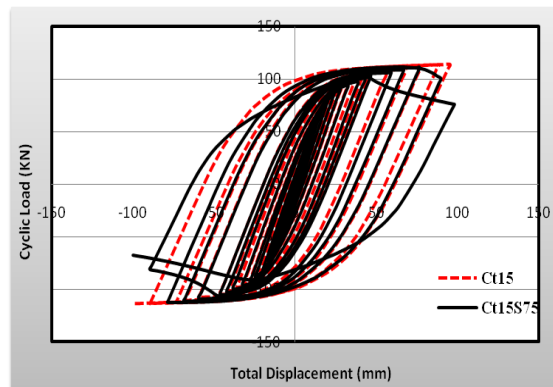


شکل ۲۵- محاسبه دوران اتصال

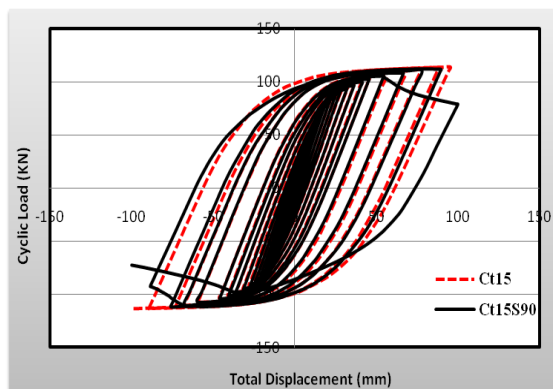
$$\theta_z = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 - b^2 - c^2}{2bc} \right) - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$



شکل ۲۶- منحنی لنگر-دوران اتصال Ct15



شکل ۲۳- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S75

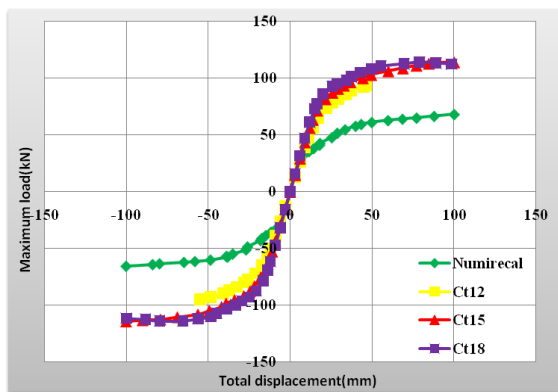


شکل ۲۴- منحنی بار- تغییر مکان در اتصالات Ct15 و Ct15S90

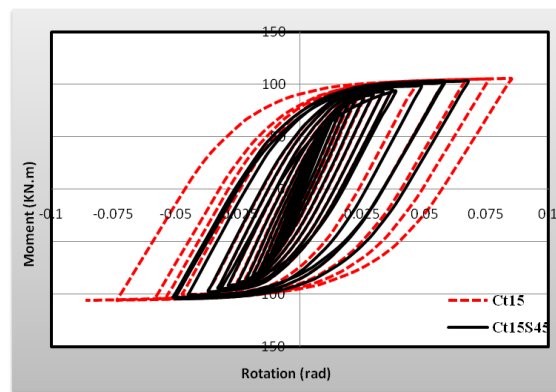
همان‌طور که در شکل‌های (۱۸) الی (۲۴) مشاهده می‌شود، اضافه نمودن سخت کننده با ابعاد و زاویه متفاوت تاثیر تقریباً یکسانی بر نمودار بار-تغییر مکان دارد. مقادیر مربوط به نیروی جاری شدن، تغییر مکان نظیر جاری شدن و حداکثر نیروی قابل تحمل نمونه‌های فوق در جدول (۴) ارائه شده است. در این جدول مقدار نیرویی است که باعث می‌گردد تنش در بخشی از اجزا اتصال به تنش جاری شدن برسد و D_y تغییر مکان انتهای تیر در آن لحظه می‌باشد. P_{max} حداکثر نیروی وارد شده به اتصال در حین بارگذاری و P_{100} مقدار نیرو در لحظه‌ای که تغییر مکان انتهای تیر برابر با ۱۰۰ میلی متر است.

۵- تعیین مقادیر دوران اتصال

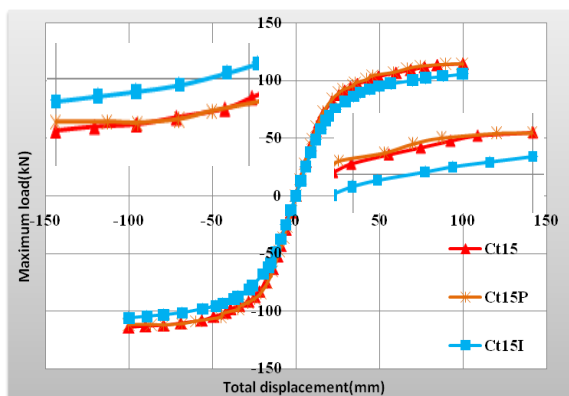
در این قسمت به محاسبه دوران ایجاد شده در اتصال پرداخته می‌شود. مقادیر دوران را می‌توان با توجه به شکل (۲۵) و رابطه (۱) تعیین نمود [۱۱]. نمودار لنگر-دوران به عنوان نمونه برای تعدادی از نمونه‌ها در شکل‌های (۲۶) الی (۲۹) قابل مشاهده می‌باشد.



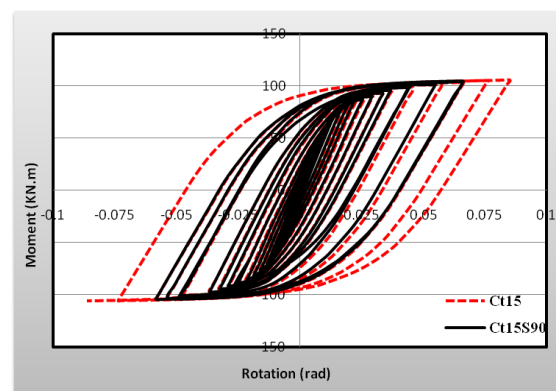
شکل ۲۹- نمودار اسکلتون نمونه‌های عددی Ct12، Ct15 و Ct18



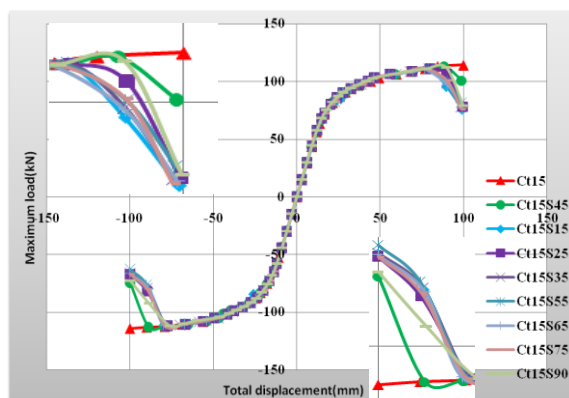
شکل ۲۷- منحنی لنگر-دوران اتصال Ct15 و Ct15S45



شکل ۳۰- نمودار اسکلتون نمونه‌های عددی Ct15I و Ct15P، Ct15



شکل ۲۸- منحنی لنگر-دوران اتصال Ct15 و Ct15S90



شکل ۳۱- نمودار اسکلتون نمونه‌های دارای سخت کننده

نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل‌های (۲۹) الی (۳۱) مشاهده می‌شود، در تمامی نمونه‌ها نیروی اعمال شده بسیار بیشتر از حالتی می‌باشد که تیر مستقیماً به ستون جوش شده باشد (نمونه عددی) که نشان دهنده عملکرد مطلوب این اتصال تحت بارگذاری تناوبی را نشان می‌دهد. در نمونه‌های دارای سخت کننده پس از آن‌که در تیر مفصل پلاستیک ایجاد شد، تیر دچار

تعدادی از محققین مقدار 0.015 الی 0.02 رادیان را به عنوان ظرفیت دورانی اتصال بیان نمودند اما پس از زلزله نوتریج مشخص گردید عدد ارائه شده مقدار مناسبی نمی‌باشد. در سال ۱۹۹۲ استانه عدد 0.03 رادیان را به عنوان ظرفیت دورانی اتصال قاب خمشی پیشنهاد نمود [۱۴]. با توجه به شکل‌های (۲۶) الی (۲۸) مشاهده می‌شود که این اتصال دارای شکل پذیری بسیار عالی بوده به طوری که نمونه Ct15 دورانی برابر با 0.085 رادیان را بدون کاهش در نیروی قابل تحمل و گسیختگی در اتصال تحمل می‌نماید. اضافه نمودن سخت کننده سبب می‌شود که پس از آن‌که بخش‌هایی از تیر ستون و صفحات اتصال دچار تسلیم شد، تیر دچار پیچش شده و میزان دوران اتصال کاهش پیدا نماید.

۶- منحنی اسکلتون

یکی از مهم‌ترین نمودارهای مربوط به هر اتصال نمودار اسکلتون می‌باشد که از متصل نمودن نقاط ماکزیمم نمودار بار-تغییر مکان تحت بارگذاری تناوبی حاصل می‌شود [۱۵ و ۱۶]. شکل‌های (۲۹) الی (۳۱) نمودار اسکلتون مربوط به

پیچش شده و مقدار نیروی قابل تحمل کاهش می‌یابد.

۷- نتیجه گیری

در این پژوهش به معرفی یک فرم سازه‌ای فولادی پیش ساخته مدولار پرداخته شد و اثر ضخامت ورق‌های اتصال، استفاده از سخت کننده و قسمت هرمی شکل بر منحنی نیرو-تغییر مکان اتصال این فرم سازه‌ای تحت اثر بارهای تناوبی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی که نتایج آن موجود بود در نرم افزار ABAQUS مدل‌سازی گردید و صحت سنجی انجام پذیرفت، سپس اتصال مورد نظر مدل‌سازی و با تغییر ضخامت ورق‌های اتصال، در نظر گرفتن سخت کننده‌هایی با ابعاد مختلف و در نظر گرفتن قسمت هرمی شکل منحنی‌های بار-تغییر مکان تحت اثر بارهای تناوبی رسم گردید. نتایج بدست آمده به صورت مختصر به شرح زیر می‌باشند:

۱- با توجه به شکل‌های (۶) الی (۱۱) و جدول (۴) مشاهده می‌شود که، چنانچه ضخامت ورق‌های اتصال کم باشد، ورق‌ها قبل از سایر مقاطع دچار گسیختگی شده و در نتیجه اتصال قادر به تحمل نیروهای بیشتر نخواهد بود. با افزایش ضخامت ورق‌های اتصال، مقدار نیروهای قابل تحمل و تغییر مکان انتهای تیر افزایش می‌یابد. به طوری که با افزایش ۲۵ درصدی ضخامت ورق‌های اتصال، مقادیر P_y حدود ۳۰ درصد، D_y حدود ۲۳/۵ درصد و P_{max} حدود ۱۹/۷ افزایش و با افزایش ۵۰ درصدی ضخامت ورق‌های اتصال، مقادیر P_y حدود ۵۶/۷ درصد، D_y حدود ۵۱/۱ درصد و P_{max} حدود ۱۹ افزایش می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش ضخامت ورق‌های اتصال تاثیر زیادی بر افزایش مقادیر P_y و D_y دارد اما بر مقدار P_{max} تاثیر آن کم می‌باشد زیرا، اولین مقطعی در اتصال که دچار تسلیم می‌شود ورق‌های اتصال می‌باشد که با افزایش بار سایر مقاطع نیز دچار تسلیم می‌گردند و باز توزیع صورت گرفته می‌شود.

۲- اضافه نمودن قسمت هرمی شکل سبب می‌گردد که مونتاژ ستون‌های طبقات بالا راحت‌تر صورت پذیرد و چون به عنوان یک تکیه گاه عمل می‌نماید، سبب کاهش میزان تنش در ورق اتصال متصل شده به آن می‌شود. این زائده هرمی تاثیر چندانی بر منحنی نیرو-تغییر مکان نداشته است اما چنانچه ابعاد آن تغییر نماید ممکن است تاثیر گذار گردد که نیاز به بررسی بیشتر و دقیق‌تر دارد.

۳- شکل‌های (۱۴) و (۱۵) و جدول (۴) نشان می‌دهند که، اضافه نمودن سخت کننده به اتصال سبب افزایش صلبیت اتصال ستون به ورق‌های اتصال می‌گردد در نتیجه پس از آن که در تیر مفصل پلاستیک ایجاد گردید، تیر دچار پیچش شده و مقدار نیرو و دوران اتصال کاهش پیدا می‌نماید.

۴- شکل‌های (۱۶) و (۱۷) و جدول (۴) نشان می‌دهند که، استفاده از ستون I شکل بجای ستون قوطی شکل سبب می‌گردد ورق‌های انتهایی ستون و خود ستون زودتر دچار تسلیم شده و در نتیجه، ظرفیت باربری اتصال کمتر گردد که این میزان کاهش در قسمت‌های غیر خطی بیشتر می‌باشد. در این حالت مقادیر P_y ، D_y و P_{max} به ترتیب حدود ۲۳/۸، ۱۰/۳ و ۹/۱ نسبت به نمونه Ct15 کاهش می‌یابد.

۵- با توجه به شکل‌های (۷)، (۹) و (۲۹) نیروهای قابل تحمل این اتصال بسیار بیشتر و عملکرد آن بسیار بهتر از حالتی است که تیر به ستون مستقیم جوش گردد.

۶- شکل‌های (۲۶) الی (۲۸) نشان می‌دهند که، این فرم سازه‌ای دارای شکل پذیری بسیار مناسبی می‌باشد بطوری که نمونه Ct15 دورانی برابر با ۰/۰۸۵ رادیان را بدون کاهش در نیروی قابل تحمل و گسیختگی در اتصال تحمل می‌نماید.

۷- فرم سازه‌ای ارائه شده، یک فرم سازه‌ای فولادی مدولار پیش ساخته می‌باشد که دارای سرعت اجرای بسیار بالا، عملکرد بسیار مناسب تحت بارگذاری‌های تناوبی و شکل پذیری مطلوبی بوده که می‌تواند برای ساخت ساختمان‌های چندین طبقه مورد استفاده قرار گیرد. اما با توجه به جدید بودن آن نیاز به تحقیقات بیشتر بر روی این فرم سازه‌ای می‌باشد.

۸- پیوست

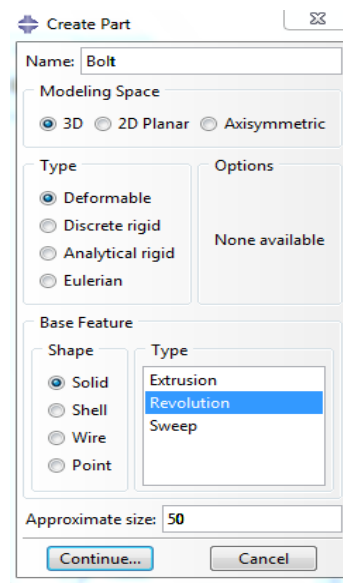
نحوه مدل‌سازی پیچ در نرم افزار ABAQUS:

- ۱- تعریف نوع المان با استفاده از ماژول Part (شکل (۳۲)).
- ۲- تعریف ابعاد پیچ (شکل (۳۳)).
- ۳- دوران حول محور مرکزی به میزان ۳۶۰ درجه و ساخته شدن پیچ (شکل (۳۴)).
- ۴- مونتاژ نمودن پیچ در محل.
- ۵- تعریف نوع تماس بین پیچ و سایر اجزا.
- ۶- تعریف مش بندی (جهت مش بندی بهتر است پیچ پارتیشن بندی شود).
- ۷- وارد نمودن نیروی پیش تنیدگی به پیچ به روش گفته شده.

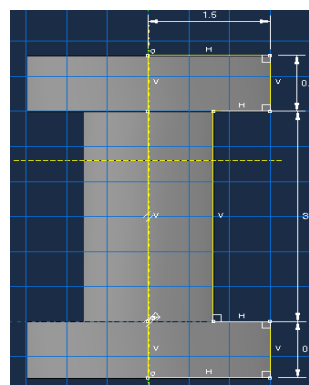


۸- مراجع

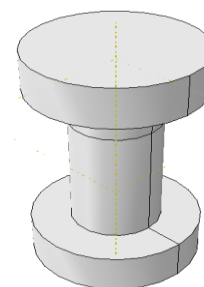
- [1] استفورد اسمیت، ب. و کول، ا. (۱۳۷۹)، "آنالیز و طراحی سازه‌های بلند"، ترجمه حسن حاجی کاظمی، انتشارات دانشگاه فردوسی، چاپ دوم.
- [2] http://www.broad.com:8089/english/down/en_kj.pdf.
- [3] Gerami, M., Saberi, H., Saberi, V. and Saedi Daryan, A. (2010), "Cyclic Behavior of Bolted Connections with Different Arrangement of Bolts", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, No. 4, pp. 690-705.
- [4] AlHendi, H. and Celikag, M. (2015), "Parametric Study on Moment-Rotation Characteristics of Reverse Channel Connections to Tubular Columns", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 104, pp. 261-273.
- [5] Kishi, N., and Chen, W.F. (1986), "Date Base of Steel Beam-to-Column Connection", Structural Engineering Report No. CE-STR-86-26, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, Vols 1and 2.
- [6] Qin, Y., Chen, Z. and Wang, X. (2014), "Experimental Investigation of New Internal-Diaphragm Connections to CFT Columns under Cyclic Loading", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 98, pp. 35-44.
- [7] Ghassemieh, M., Jalalpour, M. and Gholampour, A. (2014), "Numerical Evaluation of the Extended Endplate Moment Connection Subjected to Cyclic Loading", Current Advances in Civil Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 35-43.
- [8] Kulkarni Swati, A. and Gaurang, V. (2014), "Study of Steel Moment Connection with and without Reduced Beam Section", Case Studies in Structural Engineering, Vol. 1, pp. 26-31.
- [9] Mohamadi-Shoore, M.R. and Mofid, M. (2011), "New Modeling for Moment-Rotation Behavior of Bolted Endplate Connections", Scientia Iranica, Vol. 18, No. 4, pp. 827-834.
- [10] Fu, F., Lamp, D. and Ye, J. (2010), "Moment Resistance and Rotation Capacity of Semi-Rigid Composite Connections with Precast Hollowcore Slabs", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, No. 3, pp. 452-461.
- [11] Min Yang, C. and Moon Kim, Y., (2007), "Cyclic Behavior of Bolted and Welded Beam-to-Column Joints", Journal of Mechanical Sciences, Vol. 49, No. 5, pp. 635-649.
- [12] ATC-24, (1992), Guidelines of Cyclic Seismic Testing on Components for Steel structures, Redwood City, California, Applied Technology Council.
- [13] Salmon, C.G., Johnson, J. E. and Malhas, F.A. (2008), "Steel Structure Design and Behavior", 5th ed., Prentice Hall, Publisher, New York.
- [14] Nader, M.N. and Astaneh-Asl, A. (1991), "Dynamic Behavior of Flexible, Semi Rigid, and Rigid Steel Frames", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 18, No. 3, pp. 179-192.
- [15] Popov, E.P. and Takhirov, S.M. (2002), "Bolted Large Seismic Steel Beam-to-Column Connections Part 1: Experimental Study," Engineering Structures, Vol. 24, No. 12, pp. 1523-1534.
- [16] SAC Joint Venture, (1997), Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-Column Connection Tests and Other Experimental Specimens. Report No. SAC/BD-97/02.



شکل ۳۲- تعریف نوع المان با استفاده از ماژول Part



شکل ۳۳- تعریف ابعاد پیچ



شکل ۳۴- دوران حول محور مرکزی به میزان ۳۶۰ درجه و

ساخته شدن پیچ