

ویژه نامه نشریه مهندسی سازه و ساخت (علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

بررسی رفتار لرزه ای اتصالات مهاربندی بر اساس فاصله آزاد

مجتبی اکرمی^۱، احسان دهقانی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده عمران، دانشگاه قم، قم، ایران

۲-استاد یار، دانشکده عمران، دانشگاه قم، قم، ایران

چکیده

امروزه یکی از سیستم‌های متداول برای مقابله با نیروهای جانبی (زلزله و باد) استفاده از سیستم قاب‌های مهاربندی ویژه (SCBF)^۱ می‌باشد. کمانش خارج از صفحه مهاربند در فشار باعث تغییر شکل‌های غیر الاستیک زیادی در ورق اتصال (گاست پلیت) می‌گردد. آیین نامه‌های لرزه‌ای موجود به منظور تأمین ظرفیت تغییر شکل‌های غیر الاستیک در ورق‌های اتصال، پیشنهاد به رعایت فاصله آزاد خطی داده‌اند. اخیراً تحقیقاتی به منظور بهبود رفتار لرزه‌ای اتصالات قاب‌های مهاربندی انجام شده است که نشان می‌دهد، استفاده از یک الگوی فاصله آزاد بیضوی شکل نتایج بهتری نسبت به الگوی فاصله آزاد خطی دارد. در تحقیق حاضر با استفاده از روش اجزا محدود، یک قاب یک دهانه و یک طبقه تحت بار چرخه‌ای و با در نظر گرفتن اثرات غیر خطی مادی و هندسی مدل‌سازی و صحت‌سنجی شده است. پارامترهای مورد بررسی شامل تأثیر الگوی فاصله آزاد (خطی، بیضوی و عدم رعایت فاصله آزاد) در زوایای مختلف و فاصله آزاد در الگوی بیضوی شکل می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی منحنی هیستریزس نمونه‌ها، مقامت فشاری و کششی و همچنین تنش و کرنش به وجود آمده در مدل‌ها نشان داد که تأثیر فاصله آزاد در مقاومت قاب مهاربندی شده چندان زیاد نبوده و بین ۲/۸۶ درصد تا ۱۳/۵ متغیر می‌باشد. شکل پذیری اتصال نیز در حالت عدم رعایت فاصله آزاد در زوایای ۳۰ تا ۶۰ درجه، موجب کاهش ۳۰ تا ۶۰ درصدی آن نسبت به فاصله آزاد بیضوی گون می‌شود. همچنین در حالت استفاده از منحنی آزاد بیضی‌گون فاصله ۸ برابر ضخامت ورق بعنوان فاصله بهینه بدست آمده است.

کلمات کلیدی: قاب مهاربندی همگرا، کمانش خارج از صفحه، ورق اتصال، فاصله آزاد، رفتار لرزه‌ای.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2017.83671.1157	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.83671.1157	۱۳۹۷/۰۸/۳۰	۱۳۹۶/۰۸/۱۴	۱۳۹۶/۰۸/۱۴	۱۳۹۶/۰۸/۰۳	۱۳۹۶/۰۲/۱۰
احسان دهقانی					*نویسنده مسئول:	
dehghani@qom.ac.ir					پست الکترونیکی:	

^۱ Special concentrically braced frames.

Evaluation the behavior of seismic bracing connections based on clearance

Mojtaba Akrami¹, Ehsan Dehghani^{2*}

1- Masters Student, department of Civil Engineering, Qom University, Qom, Iran
2- Assistant Professor, department of Civil Engineering, Qom University, Qom, Iran

ABSTRACT

Today one of the most common systems for resisting lateral forces (wind and earthquake) is special concentrically braced frames (SCBF). Out of plane buckling in compression causes large inelastic flexural deformations in gusset plate. In order to supply the capacity of inelastic deformations in gusset plate, current design practice recommends a "2t" linear geometric offset to be used. Recent research has been done to improve the seismic behavior of connections for braced frames shown that the use of a clearance by elliptical pattern has better results than linear pattern clearance.

In this paper using the finite element method, a one-story frame under cyclic loads and considering the nonlinear effects of material and geometric has been modeled and verified. The parameters that considered are effect of clearance (linear, elliptical and lack of clearance) at different angles and clearance in an elliptical pattern. The results of the samples, hysteresis curve, compressive and tensile resistance, as well as stress and strain showed that the clearance effect on tensile strength and compressive is between 2.86 to 13.5 percent for different angles of connected braces. Ductility in the case of lack of clearance between angles of 30 to 60 degrees reduced 30 to 60 percent relative to the elliptical clearance.

ARTICLE INFO

Received: 30/04/2017
Revised: 25/10/2017
Accepted: 05/11/2017

Keywords:

concentrically braced frame
out of plan buckling
gusset plate
clearance
Seismic behavior

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.83671.1157

*Corresponding author: Ehsan Dehghani.
Email address: dehghani@qom.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه یکی از سیستم‌های متداول برای مقابله با نیروهای جانبی، استفاده از سیستم قاب‌های مهاربندی ویژه (SCBF) می‌باشد. این سیستم‌ها دارای سختی جانبی مناسب و همچنین پتانسیل خوبی برای جذب انرژی ناشی از نیروهای جانبی را دارند. جذب انرژی در این سیستم‌ها به وسیله تسلیم و کمانش خارج از صفحه مهاربند، به ترتیب در کشش و فشار انجام می‌پذیرد. کمانش خارج از صفحه مهاربند باعث به وجود آمدن تغییر شکل‌های غیر الاستیک زیادی در گاست پلیت می‌گردد. تغییر شکل‌های غیر الاستیک علاوه بر اینکه موجب جذب انرژی ناشی از زلزله می‌گردد، موجب ایجاد شکست و گسیختگی در جوش اتصال گاست پلیت به تیر و ستون می‌شود.

در چند سال گذشته دانشمندان با انجام تحقیقاتی که انجام دادند مشاهده نمودند که ورق اتصال مهاربند به تیر و ستون (گاست پلیت) نقش مهمی در کارایی سیستم‌های مهاربندی می‌باشد. این موضوع در آیین‌نامه‌های کنونی [۱] این گونه دیده شده است که به منظور سازگاری اتصال با کمانش مهاربندها، اتصالات مهاربندی‌ها باید یکی از الزامات زیر را برآورده نمایند.

۱) اتصال اعضای مهاربندی باید دارای مقاومت خمشی مورد نیاز حداقل برابر ۱/۱ باشد که در آن، لنگر خمشی پلاستیک مقطع عضو مهاربندی حول محور کمانش بحرانی مقطع است.

۲) سازگاری با دوران غیر الاستیک حاصل از تغییرشکل‌های پس از کمانش در خارج از صفحه‌ی مهاربندی از طریق مهیا نمودن شرایط کمانش بحرانی مهاربندی در خارج از صفحه‌ی قاب و قطع مهاربندی به اندازه‌ی دو برابر ضخامت صفحه‌ی اتصال (2t) قبل از خط تکیه گاهی ورق اتصال (خط آزاد خمش).

رعایت مورد اول در سیستم منجر به حجیم شدن طرح، ابعاد ورق، اتصالات و همچنین باعث از دست دادن اتلاف انرژی در ورق اتصال می‌شود و با رعایت مورد دوم باعث بزرگ شدن ابعاد گاست پلیت و همچنین غیر اجرایی شدن (پیچیدگی در اجرا) می‌شود. اخیراً محققین با انجام تحقیقاتی پیشنهاد به استفاده از یک الگوی فاصله آزاد بیضوی شکل داده‌اند که نتایج بهتری نسبت به فاصله آزاد خطی از خود نشان می‌دهد.

تحقیقات زیادی بر روی سیستم قاب‌های مهاربندی صورت پذیرفته است. ویتور در سال ۱۹۵۲ [۲] تحقیقاتی آزمایشگاهی برای ساده سازی طراحی اعضای قاب این سیستم‌ها انجام داد. مشخص کردن تنش روی انواع خاصی از ورق اتصال و همچنین ارائه روشی ساده برای مشخص کردن مقدار تقریبی از ماکزیمم تنش از جمله کارهای او می‌باشد. ماکزیمم تنش به صورت حاصل ضرب ضخامت ورق در طول موثر به دست می‌آید. طول موثر به وسیله یک خط فرضی که از اولین ردیف پیچ‌ها یا ابتدای جوش با زاویه ۳۰ درجه آغاز و تا انتهای خط آخرین ردیف پیچ‌ها یا انتهای جوش ادامه می‌یابد به دست می‌آید.

تورنتون [۳] برای تعیین مقاومت فشاری سیستم قاب‌های مهاربندی از ظرفیت کمانشی ورق اتصال استفاده نمود. او از معادل سازی با یک نوار ستونی با عرض واحد، جهت تخمین ظرفیت کمانش ورق اتصال استفاده کرد. مقدار ظرفیت فشاری برای گاست پلیت به صورت حاصل ضرب مقاومت کمانشی نوار فرضی در عرض موثر معرفی شده توسط ویتور به دست می‌آید. تورنتون همچنین با ادامه تحقیقات خود در سال ۱۹۹۱ [۴] روش جدیدی را جهت طراحی اتصالات ورق اتصال به تیر و ستون ارائه نمود. این روش که متداول ترین روش برای محاسبه ابعاد گاست پلیت می‌باشد، نیروی یکنواخت یا (UFM)^۲ نام دارد.

آستانه اصل [۵] با پیشنهاد فاصله 2t برای کنترل ظرفیت گاست پلیت تحت تنش‌های مرکب نقش مهمی در بهبود رفتار لرزه‌ای ورق‌های اتصال در سیستم‌های مهاربندی داشته است. پیشنهاد وی در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای قاب‌های با شکل پذیری ویژه مورد استفاده قرار گرفت. آقای لمن و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۶] با انجام مطالعات آزمایشگاهی پیشنهاد به رعایت فاصله آزاد بیضوی شکل به جای فاصله آزاد 2t دادند. ویهیسن دارا و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۷] به بررسی عملکرد اتصالات مهاربند-تیر-ستون در سیستم‌های مهاربندی

^۲ Uniform force method.

پرداخته و پیشنهاد به رعایت زاویه ۳۰ درجه بین خط جوش مهاربند به ورق اتصال و لبه آزاد گاست پلیت دادند. لامپکین و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ [۸] به بررسی اتصالات گاست پلیت میانی پرداخته و پیشنهاد به رعایت فاصله آزاد بیضوی شکل به اندازه 6tp در گاست پلیت میانی دادند.

در تحقیق حاضر سعی در نشان دادن مقادیر تغییر شکل‌های غیر الاستیک در ورق اتصال و تنش‌های ایجاد شده در آن، کنترل شکست جوش اتصال گاست به قاب در حالات مختلف، بررسی پارامترهای مختلف و تأثیر آن بر کارایی سیستم می‌باشد. برای این منظور از مدل‌سازی یک قاب مرجع به روش اجزاء محدود استفاده گردیده است. در بخش بعد جزئیات مدل‌سازی نمونه‌ها و نتایج بدست آمده از تحلیل اجزاء محدود ارائه می‌گردد.

۲- مدل‌سازی و صحت‌سنجی

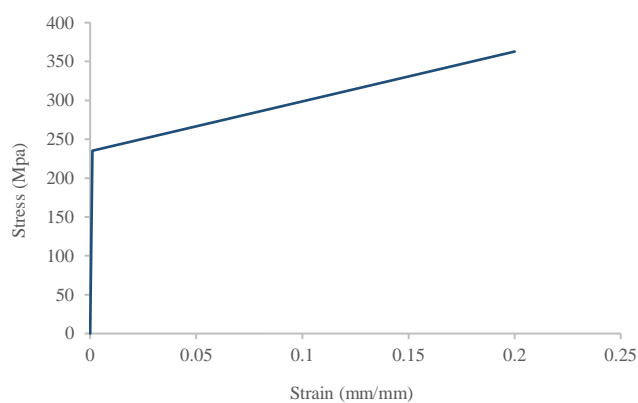
مدل‌سازی در نرم افزار Abaqus و به صورت یک قاب یک دهانه و یک طبقه صورت می‌گیرد. هر نمونه متشکل از دو ستون، دو تیر، یک مهاربند و دو ورق اتصال می‌باشد. در همه نمونه‌ها، برای ستون‌ها از IPB200، برای تیرها از IPE200 و برای مهاربند از دابل UNP100 استفاده شده است. برای ساخت اعضا مختلف سازه از جمله تیر، ستون و مهاربند از المان‌های پوسته‌ای^۳ انعطاف‌پذیر^۴ استفاده گردیده است. شرایط مرزی مدل‌های بررسی شده مشابه شرایط مرزی نمونه یو و همکاران [۹] می‌باشد. از حرکت خارج از صفحه تیرها و ستون‌ها جلوگیری شده است. برای ایجاد شرایط مفصلی، در پای ستون‌ها از تکیه مفصلی استفاده شد. برای ایجاد شرایط تکیه‌گاه مفصلی و جلوگیری از اثرات موضعی تنش‌ها، یک ورق انتهایی به زیر ستون متصل شده و کلیه درجات آزادی انتقالی گره‌های خط میانی این صفحه مقید گردیده‌اند. همچنین به منظور ایجاد تکیه‌گاه افقی پیوسته در پایین قاب، وسط تیر پایین نیز در برابر حرکت جانبی مقید گردید. برای فعال شدن اثرات غیرخطی هندسی در سازه و بررسی اثرات کمانش در سیکل‌های رفت و برگشت بارگذاری، در اعضای مهاربندی یک نقص عضو اولیه به میزان $\frac{L}{1000}$ (L طول مهاربند) در وسط طول عضو در نظر گرفته شده است. به منظور شبیه‌سازی انتقال نیرو از دال به قاب از یک قطعه صلب به صورت سراسری در بالای سیستم استفاده گردید. برای مدل‌سازی رفتار غیر خطی اعضا از فولاد ST37 با رفتار دو خطی همراه با سخت‌شوندگی کرنشی استفاده شده است. منحنی تنش-کرنش فولاد در شکل (۱) نمایش داده شده است.

از المان پوسته‌ای S4R که دارای چهار گره در هر المان و شش درجه آزادی در هر گره می‌باشد برای مش‌بندی نمونه‌ها استفاده شده است. تحلیل نمونه‌ها با در نظر گرفتن اثرات غیر خطی مادی و هندسی و به صورت رفت و برگشتی انجام شد. بارگذاری نمونه‌ها به صورت بارگذاری چرخه‌ای غیر خطی و تحت دستورالعمل (ATC-24) [۱۰] انجام گرفته است (شکل ۲-الف). در شکل (۲-ب) اعضای قاب اعتبار سنجی به صورت شماتیک نشان داده شده است. پارامترهای مورد بررسی شامل تأثیر الگوی فاصله آزاد (خطی، بیضوی و عدم رعایت فاصله آزاد) در زوایای مختلف و فاصله آزاد در الگوی بیضوی شکل می‌باشد. در شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب نمونه اول و دوم نشان داده شده است. طراحی ورق اتصال در نمونه‌های عدم رعایت فاصله آزاد (SPNC) و فاصله آزاد خطی (SP2tp) با استفاده از روش توزیع نیروی یکنواخت (UFM)، و در نمونه‌های فاصله آزاد بیضوی گون (SP8tp) بر اساس طراحی به روش بالانس شده (BDP)^۵ انجام شده است [۱۱]. سایر ویژگی‌های نمونه‌ها در جداول (۱) تا (۴) آمده است.

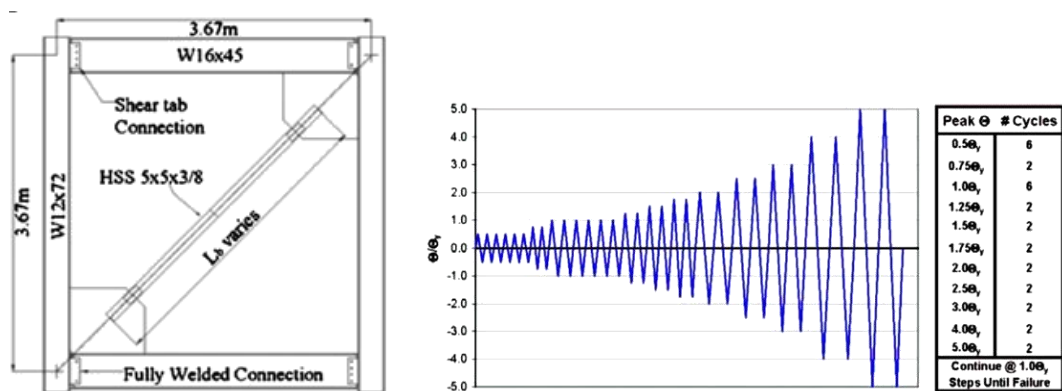
³ shell

⁴ Deformable

⁵ Balanced design procedure.

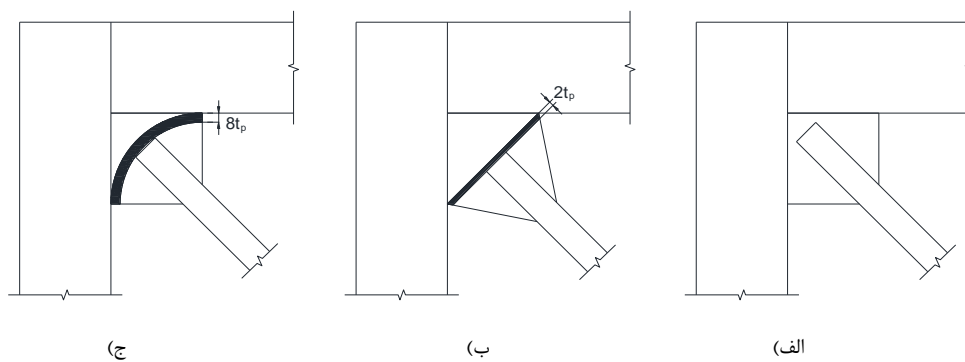


شکل ۱: منحنی تنش-کرنش فولاد.



(الف) (ب)

شکل ۲: الف) تاریخچه بارگذاری نمونه‌ها [۱۱] (ب) مشخصات قاب اعتبار سنجی [۹].

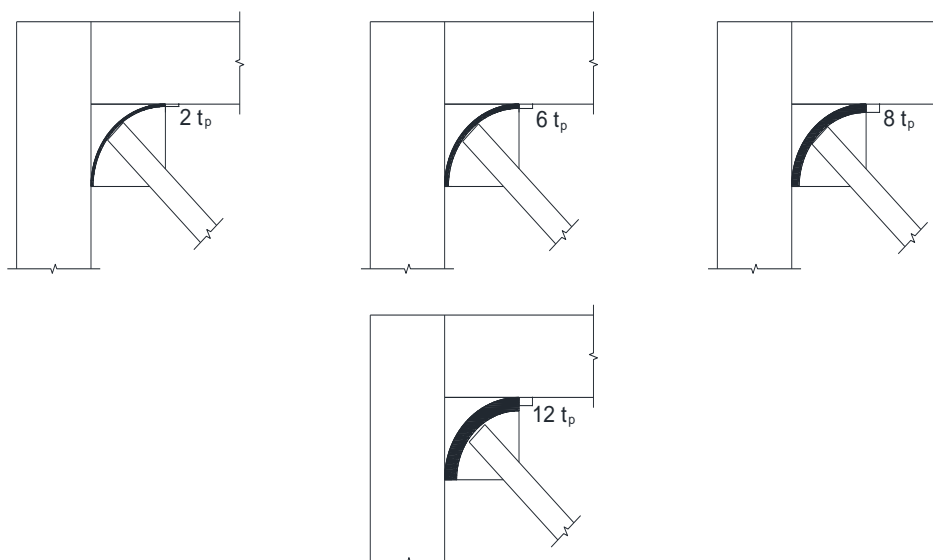


(ج)

(ب)

(الف)

شکل ۳: شماتیک نمونه‌های اول الف) SPNC (ب) SP2tp (ج) SP8tp.



شکل ۴: شکل شماتیک نمونه‌های ۲، مدل‌های نمونه دوم به ترتیب SP12tp, SP8tp, SP6tp, SP2tp

جدول ۱: ویژگی‌های نمونه ۱ در زاویه ۳۰ درجه

مدل	ورق اتصال	طول اتصال به تیر (mm)	طول اتصال به ستون (mm)	طول مهاربند (mm)	فاصله آزاد	ضخامت ورق اتصال (mm)
SPNC	مستطیلی	۵۶۰	۲۸۰	۶۶۱۷	-	۱۰
SP2tp	مخروطی	۵۶۰	۲۸۰	۶۰۳۶	خطی-2tp	۱۰
SP8tp	مستطیلی	۷۴۰	۳۸۰	۶۲۱۷	بیضوی-8tp	۱۰

جدول ۲: ویژگی‌های نمونه ۱ در زاویه ۴۵ درجه

مدل	ورق اتصال	طول اتصال به تیر (mm)	طول اتصال به ستون (mm)	طول مهاربند (mm)	فاصله آزاد	ضخامت ورق اتصال (mm)
SPNC	مستطیلی	۳۴۰	۳۴۰	۴۶۷۶	-	۱۰
SP2tp	مخروطی	۳۴۰	۳۴۰	۴۳۷۲	خطی-2tp	۱۰
SP8tp	مستطیلی	۴۶۰	۴۶۰	۴۳۳۶	بیضوی-8tp	۱۰

جدول ۳: ویژگی‌های نمونه ۱ در زاویه ۶۰ درجه

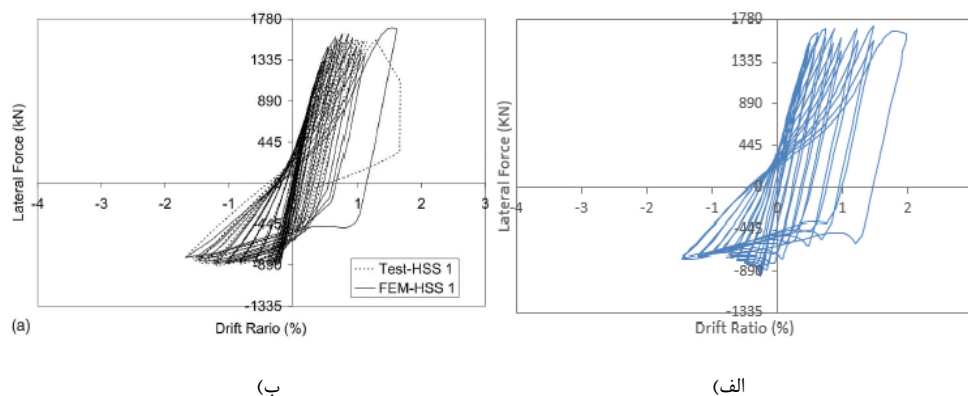
مدل	ورق اتصال	طول اتصال به تیر (mm)	طول اتصال به ستون (mm)	طول مهاربند (mm)	فاصله آزاد	ضخامت ورق اتصال (mm)
SPNC	مستطیلی	۲۸۰	۵۶۰	۳۵۲۳	-	۱۰
SP2tp	مخروطی	۲۸۰	۵۶۰	۲۹۴۳	خطی-2tp	۱۰
SP8tp	مستطیلی	۳۸۰	۷۴۰	۳۱۲۳	بیضوی-8tp	۱۰

در نمونه دوم که به بررسی فاصله آزاد پرداخته می‌شود نمونه مرجع همان نمونه با زاویه ۴۵ درجه و فاصله آزاد بیضوی شکل 8tp می‌باشد. در جداول (۴) سایر ویژگی‌های نمونه دوم نشان داده شده است.

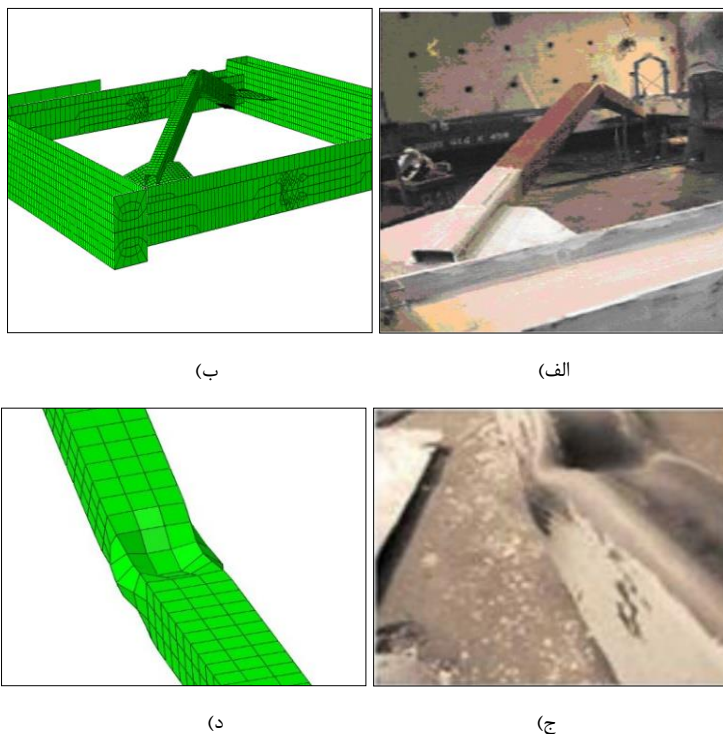
جدول ۴: ویژگی‌های نمونه ۲

مدل	ورق اتصال	طول اتصال به تیر (mm)	طول اتصال به ستون (mm)	زاویه مهاربند (درجه)	فاصله آزاد	ضخامت ورق اتصال (mm)
SP2tp	مستطیلی	۴۶۰	۴۶۰	۴۵	بیضوی-2tp	۱۰
SP6tp	مستطیلی	۴۶۰	۴۶۰	۴۵	بیضوی-6tp	۱۰
SP8tp	مستطیلی	۴۶۰	۴۶۰	۴۵	بیضوی-8tp	۱۰
SP12tp	مستطیلی	۴۶۰	۴۶۰	۴۵	بیضوی-12tp	۱۰

به منظور اطمینان از صحیح بودن شبیه سازی رفتار نمونه‌ها، نمونه مدل سازی شده توسط یو و همکاران مدل گردید. نمودار هیستریزس نمونه مدل اعتبارسنجی و مدل یو در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان داد (شکل (۵) که مدل آنالیز شده دارای اختلاف کمی در رفتار فشاری و کششی می‌باشد. در شکل (۶-الف و ب) مشاهده می‌شود که کمانش خارج از صفحه، شبیه کمانش اتفاق در آزمایشگاه، در مدل اجزاء محدود هم اتفاق افتاده است و همچنین با توجه به شکل (۶-ج و د) مشاهده می‌گردد که کمانش موضعی عضو مهاربند در وسط عضو اتفاق افتاده است. در این محل یک مفصل خمشی در اثر کمانش ایجاد شده است.



شکل ۵: نمودارهای هیستریزس (الف) مدل اعتبارسنجی (ب) مدل یو [۹].



شکل ۶: الف، ج) نمونه آقایی یو [۹] ب.د) نمونه مدل سازی شده.

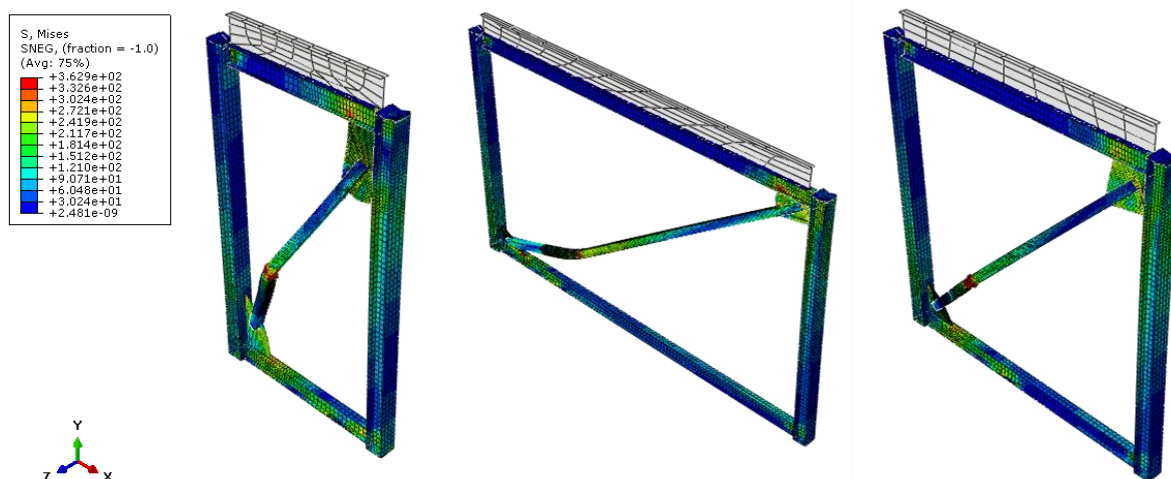
به منظور بررسی شکست و حرکات ورق اتصال تحت بارگذاری چرخه‌ای در گاست پلیت از مفهوم کرنش معادل پلاستیک که یو و همکارانش [۹] در تحقیق خود استفاده کرده بودند، استفاده شد. کرنش پلاستیک معادل از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\epsilon_{eqv}^{pl} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{1 + \theta'} [(\epsilon_x^{pl} - \epsilon_y^{pl})^2 + (\epsilon_y^{pl} - \epsilon_z^{pl})^2 + (\epsilon_z^{pl} - \epsilon_x^{pl})^2 + \frac{2}{3}(\gamma_{xy}^{pl^2} + \gamma_{yz}^{pl^2} + \gamma_{zx}^{pl^2})]^{1/2} \quad (1)$$

که در آن ϵ_x^{pl} ، ϵ_y^{pl} ، ϵ_z^{pl} ، γ_{xy}^{pl} ، γ_{yz}^{pl} ، γ_{zx}^{pl} مولفه‌های کرنش پلاستیک و θ' ضریب پواسون می‌باشد. بر اساس نتایج یو و همکاران مقدار کرنش معادل برای آغاز ترک خوردگی جوش اتصال گاست پلیت به ستون در محدوده ۰,۰۵۴ تا ۰,۰۶۵ و برای تیر ۰/۰۳۳ تا ۰/۰۵۵ می‌باشد [۹].

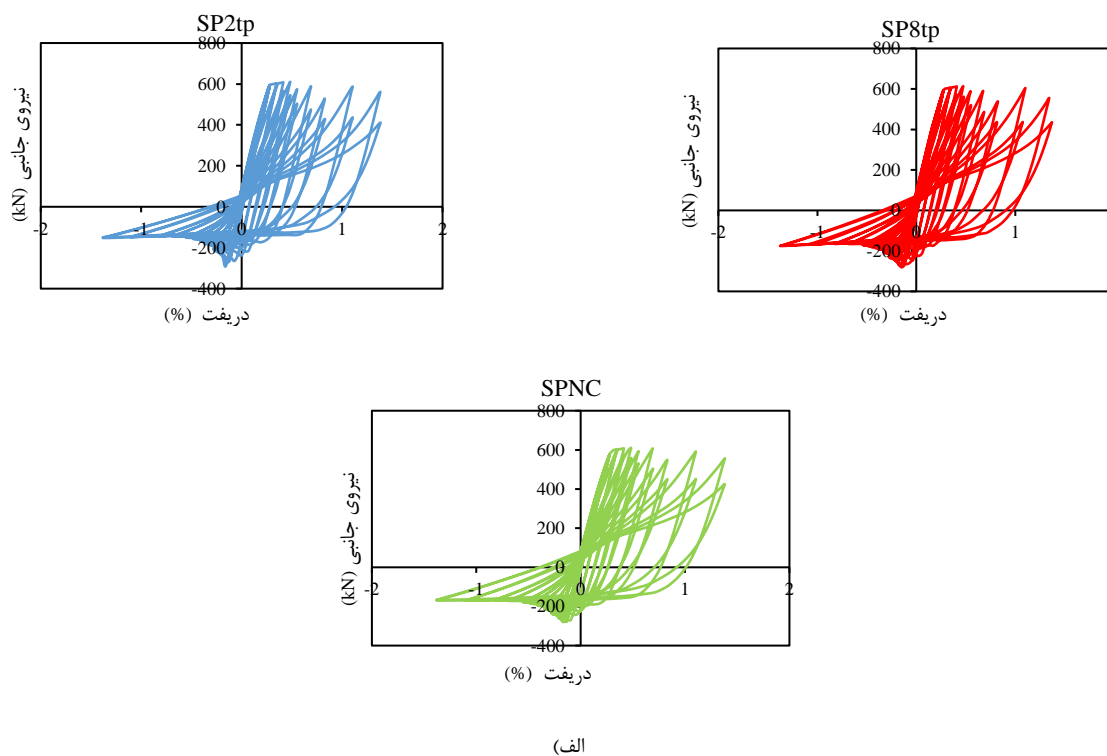
۳- نتایج و تحلیل نمونه‌ها

بر اساس توضیحات ارائه شده در بخشهای قبلی مدل‌های مختلفی ساخته شده و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. این مدل‌ها تحت اثر بارگذاری رفت و برگشتی بررسی شده و نمودارهای هیستریزیس آنها ترسیم شده است. در شکل (۷) کانتور تنشهای وان میسس بر روی شکل تغییرشکل یافته نمونه اول در سه زاویه ۴۵، ۳۰ و ۶۰ درجه نشان داده است.

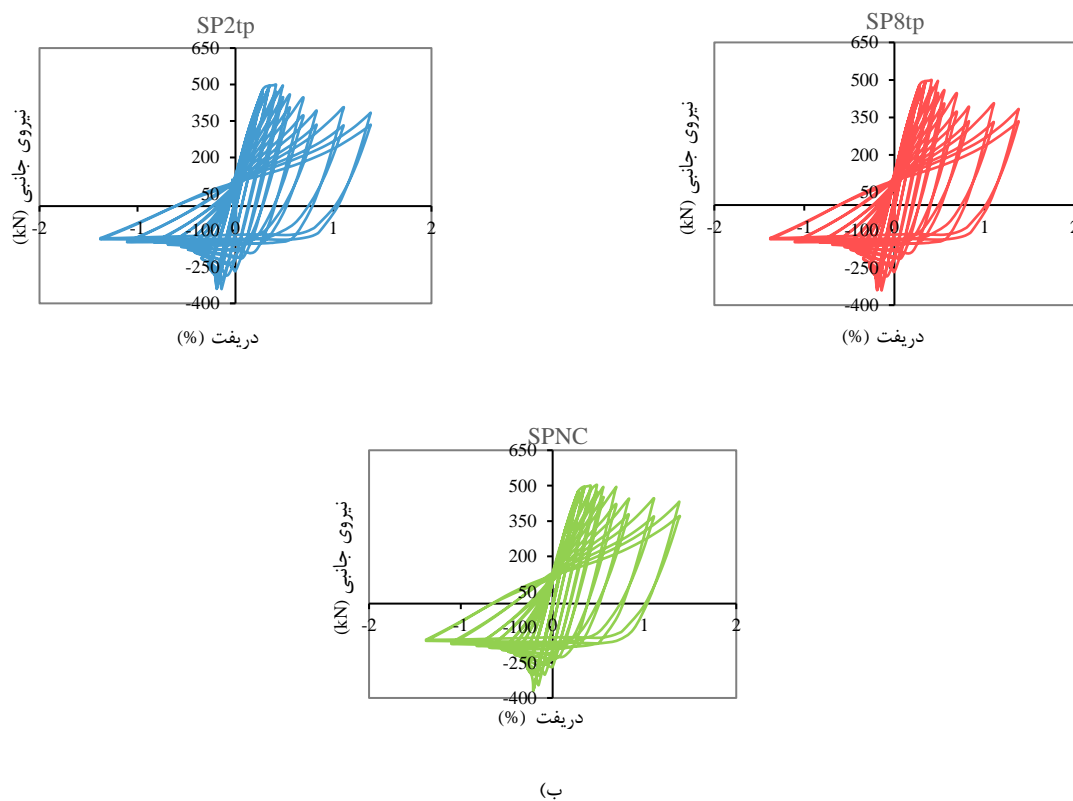


شکل ۷: کانتور تنش وان میسس بر روی شکل تغییرشکل یافته نمونه اول

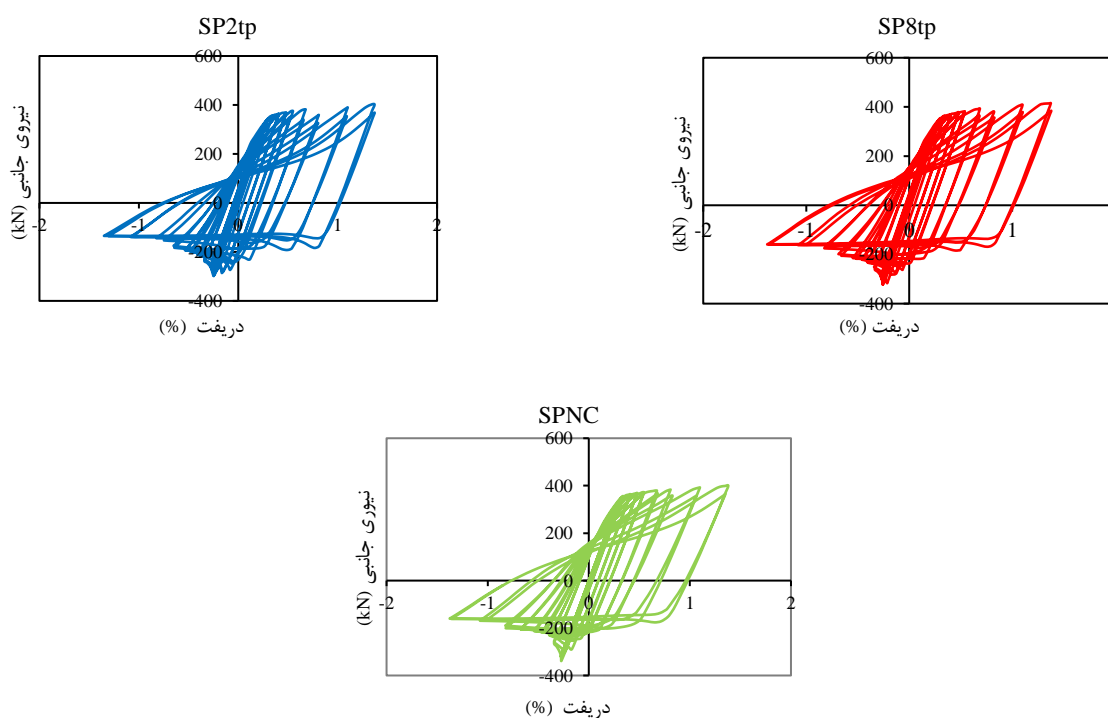
در شکل (۸) نمودارهای هیستریزیس نمونه اول در زوایای مختلف نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می گردد در همه نمودارهای بدست آمده در بخش فشاری مهاربند دچار کمانش شده و در نتیجه نمودارها لاغر می گردند.



شکل ۸: نمودارهای هیستریزیس نمونه اول (الف) زاویه ۳۰ درجه (ب) زاویه ۴۵ درجه (ج) زاویه ۶۰ درجه.



(ب)

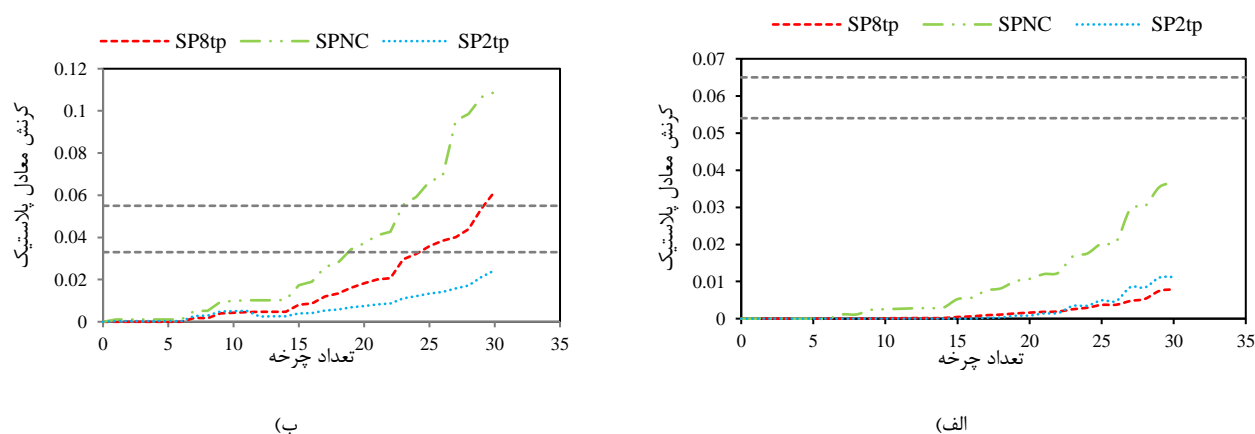


(ج)

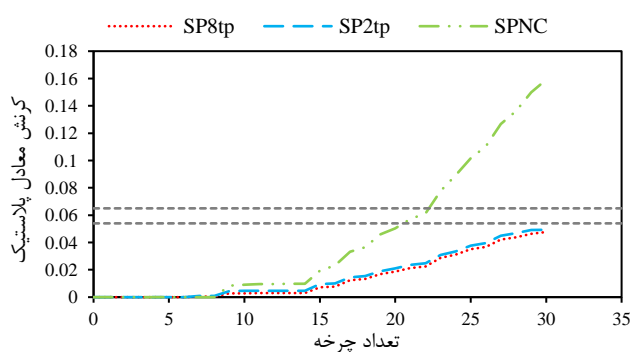
شکل ۸: ادامه.

در سه زاویه همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود تقریباً منحنی هیستریزیس سه نمونه تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند به نحوی که در زاویه ۳۰ درجه در فشار، نمونه SP8tp نسبت به نمونه SP2tp، ۲/۷ درصد مقاومت بیشتر و نمونه SPNC نسبت به نمونه SP2tp، ۲/۸۶ درصد مقاومت کمتر از خود نشان داد. در زاویه ۴۵ درجه نمونه‌های SP8tp و SPNC نسبت به نمونه SP2tp به ترتیب در کشش ۱/۲ و ۰/۸ درصد و در فشار ۶/۴ و ۸/۵ درصد بیشتر مقاومت از خود نشان داده است. و در زاویه ۶۰ درجه سه نمونه در کشش با اختلاف کمتر از ۲ الی ۳ درصد مقاومتی برابر هم داشتند اما در فشار، نمونه SP8tp نسبت به نمونه SP2tp، ۸ درصد مقاومت بیشتر و نمونه SPNC نسبت به نمونه SP2tp، ۱۳/۵ درصد مقاومت بیشتر از خود نشان داد. باید توجه داشت که در مدل‌سازی نمونه‌ها از شکست جوش صرف نظر گردیده است. اما با توجه به مقدار کرنش معادل پلاستیک در مدل‌های مختلف، نتیجه‌گیری می‌شود که نمونه SPNC دارای شکل‌پذیری کافی نبوده و در سیکل‌های اولیه دچار شکست در ناحیه جوش اتصال گاست به ستون می‌شود. این موضوع در شکل‌های بعدی مورد بحث قرار گرفته است.

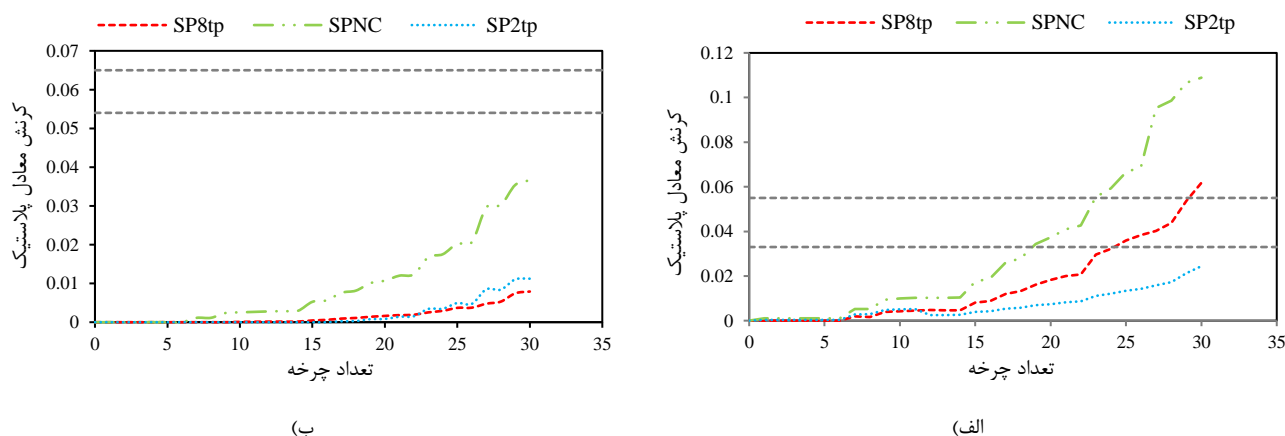
در شکل (۹) تا (۱۱) مقدار حداکثر کرنش معادل در گوشه بالای گاست پلینت متصل به ستون و تیر در چرخه‌های مختلف بارگذاری نشان داده شده است. دو خط افقی نمایش داده شده در این شکل نمایانگر حدود کرنش پلاستیک معرفی شده توسط یو و همکاران [۹] برای شکست جوش هستند.



شکل ۹: نمودار کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق گاست (الف) متصل به ستون (ب) متصل به تیر (زاویه ۳۰ درجه).



شکل ۱۰: نمودار کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال متصل به ستون (زاویه ۴۵ درجه).



شکل ۱۱: نمودار کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق اتصال (الف) متصل به ستون (ب) متصل به تیر (زاویه ۶۰ درجه).

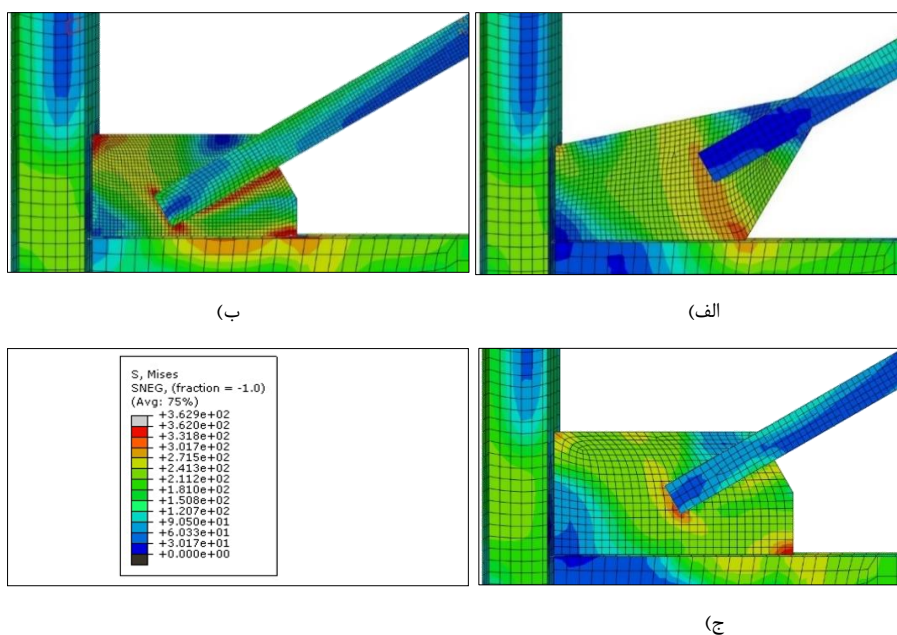
با توجه به شکل (۹) در زاویه ۳۰ درجه نمونه SPNC بعد از ۱۸ سیکل، کرنش معادل پلاستیک جوش اتصال ورق به تیر وارد ناحیه آغاز شروع ترک معرفی شده توسط یو و همکاران [۹] می‌شود. نمونه SP8tp بعد از ۲۴ چرخه وارد این ناحیه می‌شود. این نمونه به دلیل اینکه مهاربند برای ایجاد فاصله بیضوی مقدار زیادی به تیر نزدیک شده است مقدار کرنش آن به تبع زیاد شده است. در این نمونه با گذاشتن سخت کننده یا اضافه کردن فاصله آزاد بیضوی شکل می‌توان این نقیصه را بر طرف کرد. در نمونه SP2tp به دلیل دور بودن مهاربند از تیر، کرنش معادل آن کمتر می‌باشد به طوری که بعد ۳۰ سیکل هنوز وارد این ناحیه نشده است. همانگونه که در شکل (۲-الف) مشاهده می‌گردد در سیکل ۱۸، دامنه تغییر مکان ۱/۵ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر شکل پذیری ۱/۵ می‌باشد و در سیکل ۲۴، دامنه تغییر مکان ۲/۵ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر شکل پذیری ۲/۵ می‌باشد و در سیکل ۳۰، دامنه تغییر مکان ۵ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر شکل پذیری ۵ می‌باشد. شکل پذیری نمونه SPNC در سیکل ۱۸، ۰/۳ مقدار متناظر در سیکل‌های انتهایی است. این موضوع نمایانگر کاهش ۷۰ درصدی شکل‌پذیری اتصال در نمونه SPNC نسبت به نمونه‌های دارای فاصله آزاد 2tp و کاهش ۴۰ درصدی نسبت به نمونه دارای فاصله آزاد 8tp می‌باشد.

بر اساس نمودار ارائه شده در شکل (۱۰) در زاویه ۴۵ درجه در نمونه SPNC بعد از ۲۱ سیکل، کرنش معادل پلاستیک جوش اتصال ورق به ستون وارد ناحیه آغاز شروع ترک معرفی شده توسط یو و همکاران [۹] می‌شود. این در حالی است که دو نمونه دیگر بعد از ۳۰ سیکل هنوز وارد این ناحیه نشده است. همانگونه که در شکل (۲-الف) مشاهده می‌گردد در سیکل ۲۱، دامنه تغییر مکان ۲ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر شکل پذیری ۲ می‌باشد و در سیکل ۳۰، دامنه تغییر مکان ۵ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر شکل پذیری ۵ می‌باشد. شکل‌پذیری نمونه SPNC، ۰/۴ مقدار متناظر در سیکل‌های انتهایی است. این موضوع نمایانگر کاهش ۶۰ درصدی شکل‌پذیری اتصال در نمونه SPNC نسبت به نمونه‌های دارای فاصله آزاد می‌باشد. لازم به ذکر است مقادیر حداکثر مقاومت‌های بدست آمده قبل از سیکل بیستم می‌باشد و بنابراین می‌توان بطور کلی نتیجه‌گیری نمود در حالتیکه فاصله آزاد رعایت نشود شکل‌پذیری به مقدار قابل توجهی (۶۰ درصد) کاهش یافته و مقاومت اندکی (۸/۵ درصد) افزایش می‌یابد.

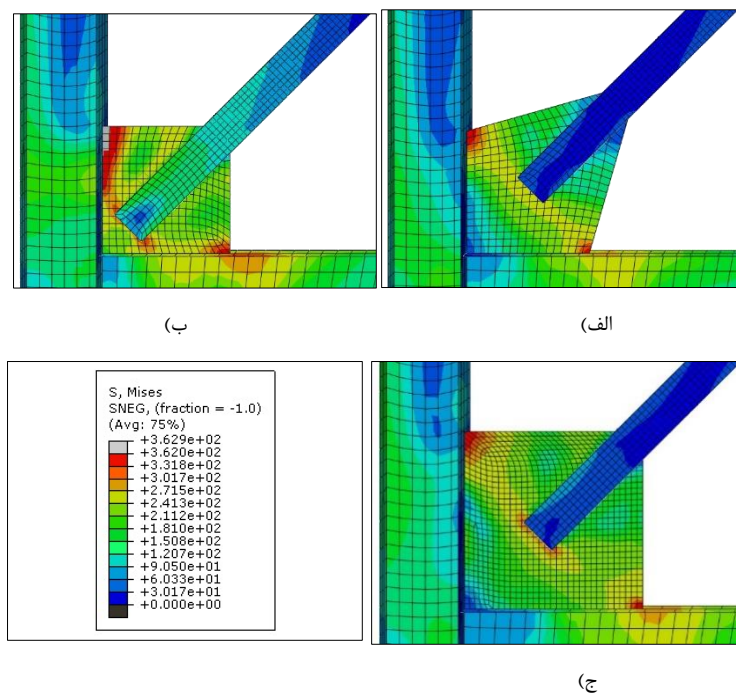
بر اساس شکل (۱۱) در زاویه ۶۰ درجه نیز در نمونه SPNC بعد از ۲۰ سیکل، کرنش معادل پلاستیک جوش اتصال ورق به ستون وارد ناحیه آغاز شروع ترک معرفی شده توسط یو و همکاران [۹] می‌شود. نمونه SP8tp نیز بعد از ۲۴ سیکل وارد ناحیه مذکور می‌گردد. اما باید توجه داشت که نمونه SP8tp علاوه بر اینکه مقدار کمتری وارد این ناحیه شده، طول کمتری از ورق اتصال احتمال وقوع ترک در آن زیاد است که آن را می‌توان با دادن فاصله آزاد بیشتر و همچنین گذاشتن ورق تقویتی بر طرف کرد. همانگونه که در شکل (۳-۱۰) مشاهده می‌گردد در سیکل ۲۰، دامنه تغییر مکان ۱/۷۵ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر شکل‌پذیری ۱/۷۵ می‌باشد و در سیکل ۲۴، دامنه تغییر مکان ۲/۵ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر شکل‌پذیری ۲/۵ می‌باشد و در سیکل ۳۰، دامنه تغییر مکان ۵ برابر تغییر مکان تسلیم که متناظر

شکل پذیری ۵ می باشد. در این زاویه نیز در صورت عدم رعایت فاصله آزاد، شکل پذیری ۶۵ درصد نسبت به فاصله آزاد 2tp و ۳۰ درصد نسبت به فاصله آزاد 8tp کاهش می یابد

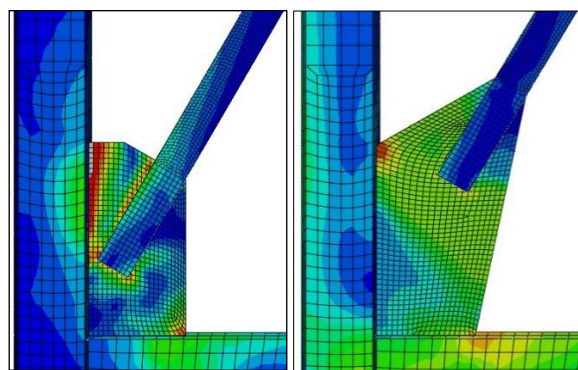
در شکل (۱۲) تا (۱۴) کانتور تنش های وان میس در نمونه های مختلف نمایش داده شده است. چنانکه مشاهده می گردد مقادیر تنش ها در لبه ورق و در محل اتصال به تیر و ستون نسبت به سایر نقاط ورق اتصال بیشتر است. مقادیر تمرکز تنش در نمونه SPNC بیش از سایر نمونه هاست. با توجه به اینکه حداکثر تنش وان میس به تنش تسلیم محدود می شود، تنها با اتکا به این نتایج نمی توان به نتیجه گیری کلی دست یافت. در شکل (۱۵) تا (۱۷) مقادیر کرنش پلاستیک بررسی شده است.



شکل ۱۲: تنش های وان میس نمونه ها (Mpa) (الف) SP2tp (ب) SPNC (ج) SP8tp (زاویه ۳۰ درجه).

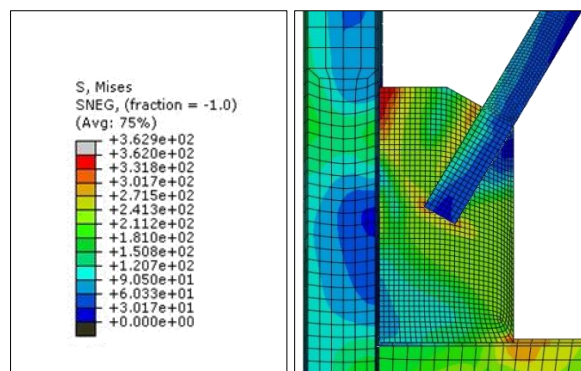


شکل ۱۳: تنش های وان میس نمونه ها (Mpa) (الف) SP2tp (ب) SPNC (ج) SP8tp (زاویه ۴۵ درجه).



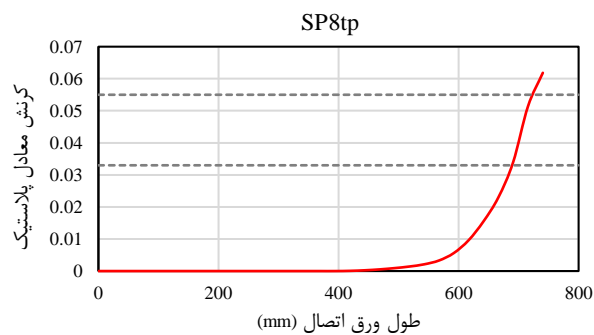
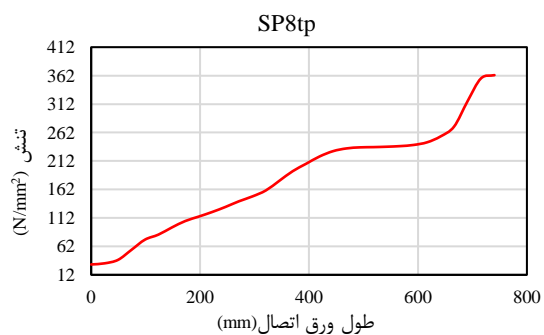
(ب)

(ف)



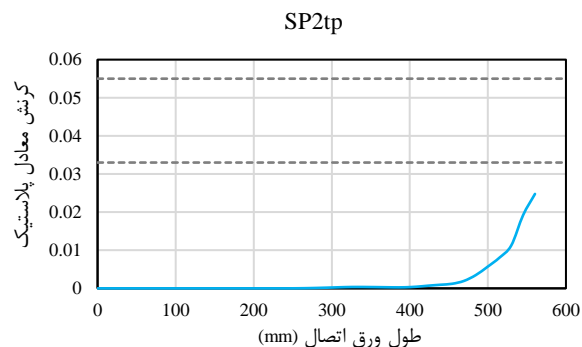
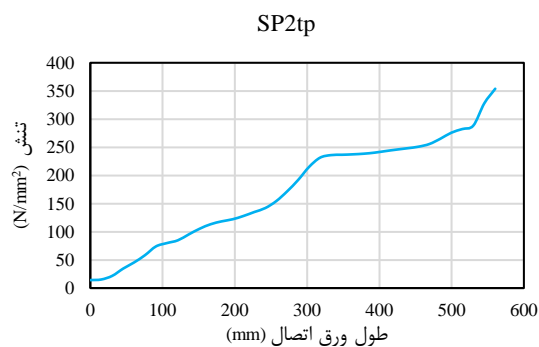
(ج)

شکل ۱۴: تنش‌های وان میسز نمونه‌ها (Mpa) (الف) SP2tp (ب) SPNC (ج) SP8tp (زاویه ۶۰ درجه).

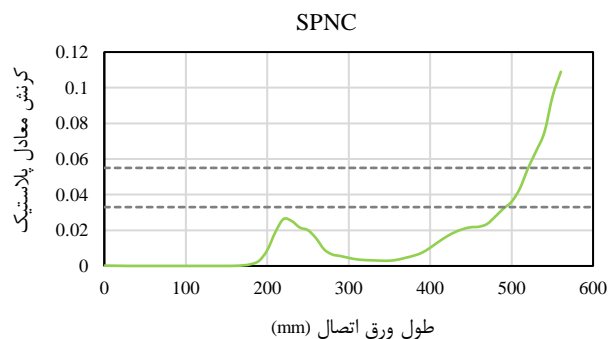


(الف)

شکل ۱۵: نمودارهای تنش وان میسز به همراه کرنش معادل پلاستیک در امتداد گاست پلیت متصل به تیر (الف) SP8tp (ب) SP2tp (ج) SPNC (زاویه ۳۰ درجه).

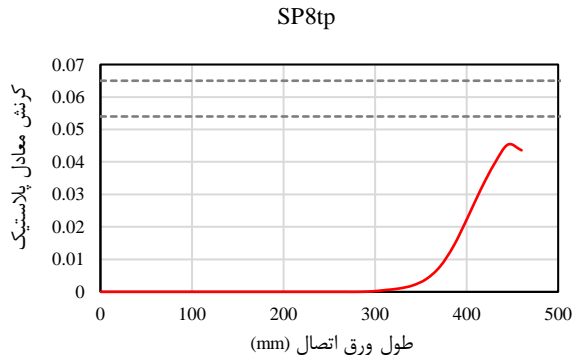
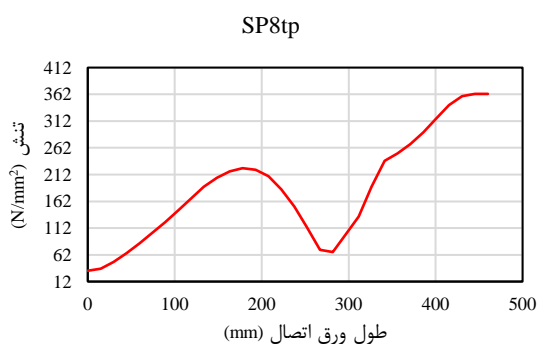


ب.



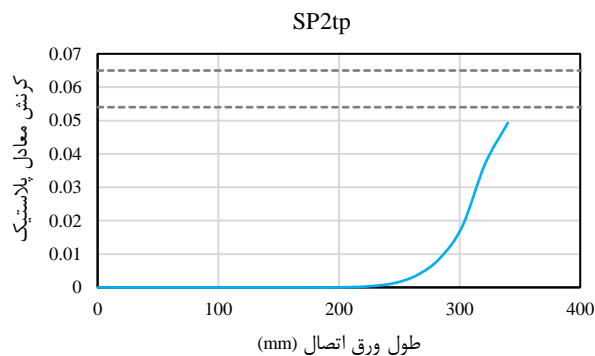
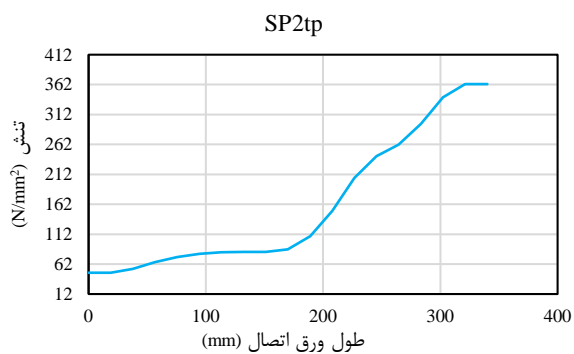
ج.

شکل ۱۵ : ادامه.

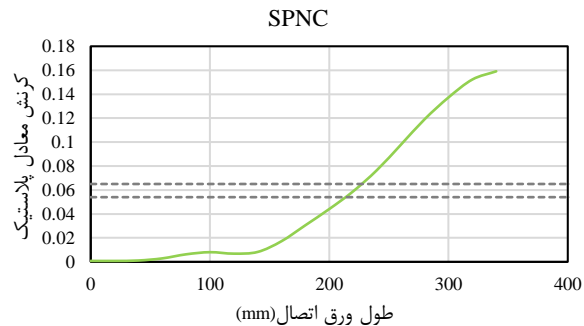
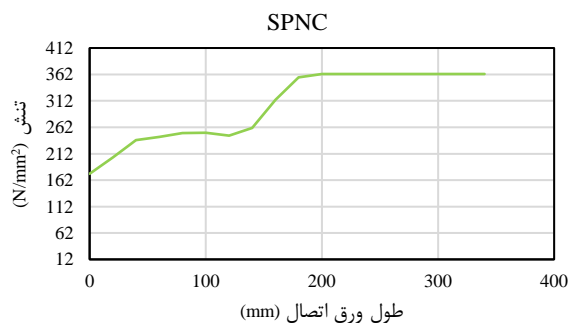


الف.

شکل ۱۶ : نمودارهای تنش وان میسس به همراه کرنش معادل پلاستیک در امتداد گاست پلیت متصل به ستون. الف) SP8tp ب) SP2tp ج) SPNC (زاویه ۴۵ درجه).

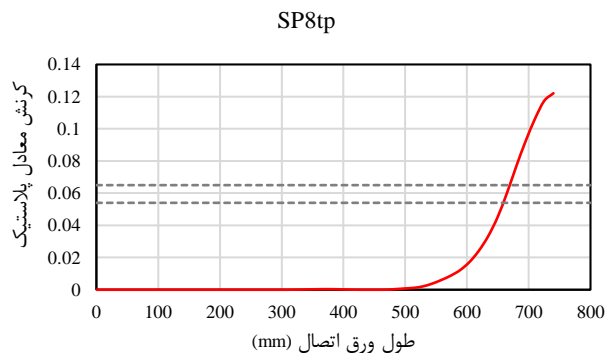
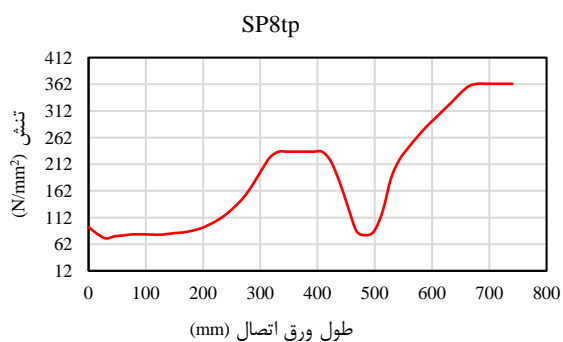


ب.



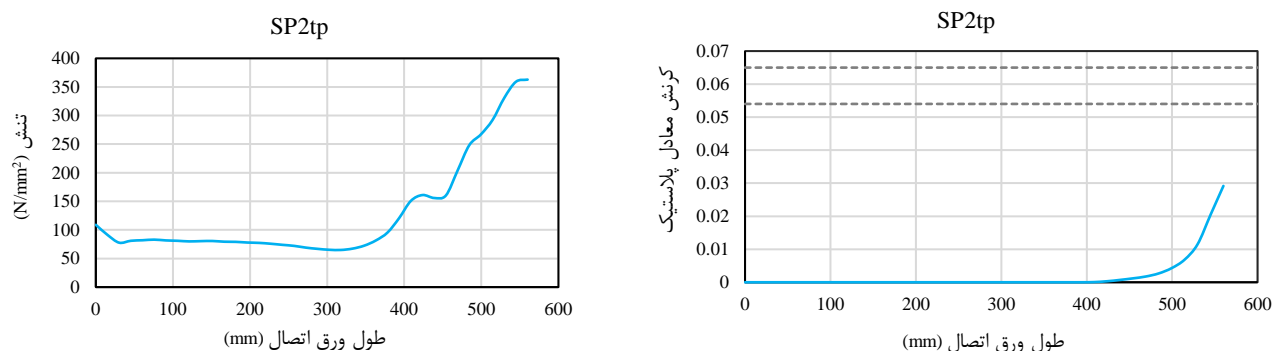
ج.

شکل ۱۶: ادامه.

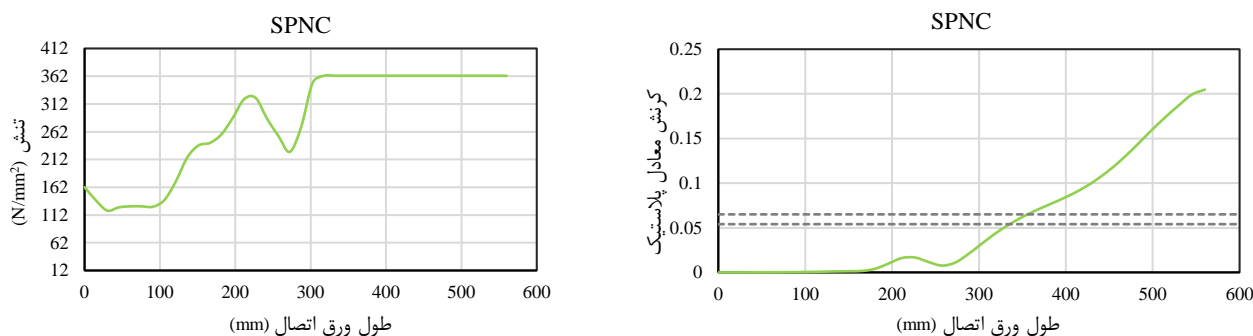


الف.

شکل ۱۷: نمودارهای تنش وان میسس به همراه کرنش معادل پلاستیک در امتداد گاست پلیت متصل به ستون الف) SP8tp ب) SP2tp ج) SPNC (زاویه ۶۰ درجه).



ب.



ج.

شکل ۱۷: ادامه.

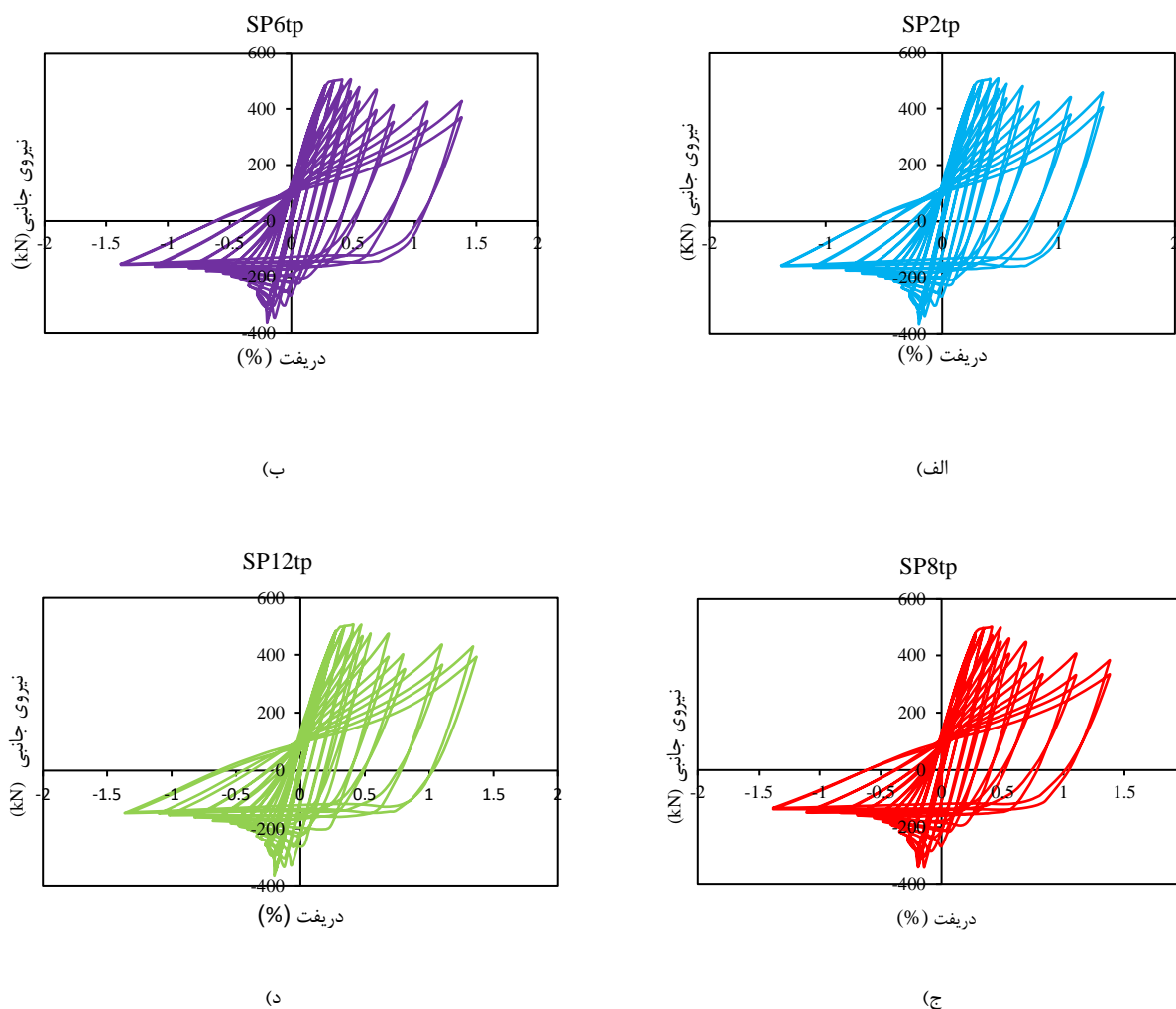
با توجه به شکل (۱۵) مشاهده می‌گردد در زاویه ۳۰ درجه نمونه SPNC در محل جوش اتصال ورق به تیر دارای تنش و کرنش زیادی می‌باشد و احتمال شکست جوش در این ناحیه زیاد می‌باشد. در مقایسه نمونه‌های SP2tp و SP8tp مشاهده می‌گردد که در نمونه SP2tp، با توجه به اینکه مهاربند آن دارای فاصله بیشتری نسبت به نمونه SP8tp با تیر دارد دارای تنش و کرنش کمتری نسبت به آن می‌باشد. اما با توجه به شکل (۹-الف) کرنش به وجود آمده در محل اتصال ورق به ستون در نمونه SP8tp نسبت به دو نمونه دیگر کمتر بوده و نیاز به تغییر شکل در این ناحیه کمتر می‌باشد.

شکل (۱۶) نشان می‌دهد در زاویه ۴۵ درجه در نمونه SPNC علاوه بر اینکه مقدار طول بیشتری تسلیم شده است، تقریباً از میانه ورق به بعد کرنش معادل پلاستیک از حد تعیین شده توسط آقای یو و همکاران [۹] بیشتر شده است. این در حالی است که در دو نمونه دیگر طول کمتری از ورق تسلیم شده و کرنش معادل پلاستیک آن از حد معین شده بیشتر نشده است. در نمونه SP8tp تمرکز تنش و کرنش پلاستیک کمتری در لبه ورق اتصال، نسبت به دو نمونه‌ی دیگر ایجاد شده است.

با توجه به نمودارهای تنش وان میسس به همراه کرنش معادل پلاستیک در زاویه ۶۰ درجه نسبت به زاویه ۴۵ درجه مشاهده می‌گردد که هرچه زاویه بیشتر گردد و مهاربند به ستون نزدیک‌تر شود تنش‌های به وجود آمده بیشتر شده و احتمال شکست جوش در این ناحیه بیشتر می‌گردد. در این زاویه نمونه SPNC در محل جوش اتصال ورق به ستون دارای تنش و کرنش زیادی می‌باشد و احتمال شکست جوش در این ناحیه زیاد می‌باشد. در مقایسه نمونه‌های SP2tp و SP8tp مشاهده می‌گردد که در نمونه SP2tp، با توجه به اینکه مهاربند آن

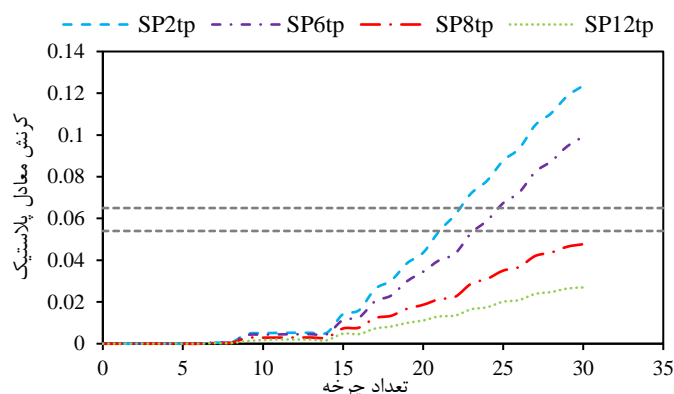
دارای فاصله بیشتری نسبت به نمونه SP8tp با ستون دارد دارای تنش و کرنش کمتری نسبت به آن می‌باشد. با توجه به شکل (۱۱-ب) کرنش به وجود آمده در محل اتصال ورق به تیر در هر سه نمونه کمتر از حد شکستگی بوده و احتمال شکست جوش در این ناحیه بسیار کم است.

در نمونه دوم به بررسی فاصله ازاد بیضوی شکل با فاصله آزادهای مختلف پرداخته می‌شود. در شکل (۱۸) نمودارهای هیستریزس نمونه دوم نشان داده شده است. سه نمونه با تقریب کمتر از ۱ درصد در فشار و کشش رفتار مشابه هم دارند. نمونه‌های SP6tp و SP2tp همانند مدل SPNC در زاویه ۴۵ درجه در نمونه ۱ عمل کرده و نمونه‌ها در سیکل‌های اولیه دچار شکست در ناحیه جوش اتصال گاست به قاب می‌گردد. این موضوع در شکل‌های بعدی مورد بحث قرار می‌گیرد.



شکل ۱۸: نمودارهای هیستریزس نمونه دوم الف) SP2tp ب) SP6tp ج) SP8tp د) SP12tp.

در شکل (۱۹) مقدار کرنش معادل در گوشه بالای گاست پلست متصل به ستون در جابجایی برابر با Δ_y نشان داده شده است.



شکل ۱۹: نمودارهای کرنش معادل پلاستیک در گوشه ورق گاست متصل به ستون در نمونه دوم.

با توجه به شکل (۱۹) نمونه‌های SP2tp و SP6tp به ترتیب بعد از ۲۱ و ۲۳ سیکل اولیه، وارد ناحیه شروع ترک خوردگی جوش می‌شوند. این نمونه‌ها بعد از ترک خوردن جوش ورق گاست به ستون، شکل‌پذیری خود را از دست داده و منجر به عدم کارایی سیستم مهاربندی می‌گردند. نمونه‌های SP8tp و SP12tp بر خلاف دو نمونه دیگر وارد ناحیه ترک خوردگی نشده‌اند. با توجه به شکل (۱۸) نمودارهای هیستریزیس دو نمونه با هم برابرند و از آنجایی که دو نمونه وارد ناحیه ترک خوردگی نشده‌اند لذا نمونه SP8tp بر نمونه SP12tp دارای ارجحیت است چرا که علاوه بر این که دو نمونه دارای یک عملکرد می‌باشند، نمونه SP8tp باعث کوچک‌تر شدن ابعاد گاست و بهینه شدن طراحی اتصال می‌گردد.

بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده می‌گردد پیشنهاد فاصله آزاد 8tp برای منحنی بیضوی گون که توسط محققان قبلی هم پیشنهاد شده بود [۹]، نسبت به سایر فواصل رفتار بهینه‌تری را برای اتصال بوجود می‌آورد.

۴- نتیجه گیری

با مدلسازی یک قاب یک دهانه و یک طبقه مهاربندی شده به روش اجزاء محدود تحت بار چرخه‌ای و با در نظر گرفتن اثرات غیر خطی مادی و هندسی پارامترهای مختلف مؤثر در شکل ورق اتصال مهاربند در رفتار هیستریزیس قاب مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی شامل تأثیر الگوی فاصله آزاد (خطی، بیضوی و عدم رعایت فاصله آزاد) در زوایای مختلف و بررسی فاصله آزادهای مختلف در الگوی بیضوی شکل بود. با بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل سازه‌ها، بطور خلاصه می‌توان موارد زیر را نتیجه‌گیری نمود:

- مقاومت سیستم قاب مهاربندی در حالت رعایت فاصله آزاد خطی 2tp، فاصله آزاد بیضوی 8tp و عدم رعایت فاصله آزاد در زوایای مختلف، تفاوت قابل توجهی نداشته به طوری که در زاویه ۴۵، ۳۰ و ۶۰ درجه به ترتیب با تقریب کمتر از ۸/۵٪، ۲/۸۶٪ و ۱۳/۵٪ درجه با هم برابر است.
- در حالت عدم رعایت فاصله آزاد کرنش‌های معادل پلاستیک در لبه گاست پلیت متصل به قاب در هر سه زاویه از حد معرفی شده توسط آقای یو بیشتر شده و احتمال شکست جوش در این ناحیه بیشتر است.
- شکل‌پذیری سازه در حالت عدم رعایت فاصله آزاد در زاویه ۴۵، ۳۰ و ۶۰ درجه، منجر به کاهش، به ترتیب ۶۰، ۷۰ و ۶۵ درصدی شکل‌پذیری نسبت به فاصله آزاد 2tp می‌شود.

- شکل‌پذیری سازه در حالت عدم رعایت فاصله آزاد در زاویه ۴۵، ۳۰ و ۶۰ درجه، منجر به کاهش، به ترتیب ۶۰، ۴۰ و ۳۰ درصدی شکل‌پذیری نسبت به فاصله آزاد 8tp می‌شود.
 - در زوایایی که مهاربند به تیر و ستون نزدیک است روش بیضوی گون بهترین نتیجه را ندارد. در این زوایا بهتر است که در صورت استفاده از این روش، از سخت کننده و یا با فاصله بیشتر برای مثال (12tp) استفاده کرد.
 - رعایت فاصله آزاد 8tp برای منحنی بیضوی گون که توسط محققان قبلی هم پیشنهاد شده بود بهترین نتیجه را نسبت به دیگر فواصل آزاد دارد.
- جهت توسعه این مطالعات پیشنهاد می‌گردد دیگر هندسه‌های فاصله آزاد بیضی گون مورد بررسی قرار گیرند. از جمله این هندسه‌ها می‌توان به ربع بیضی ناقص (بجای ربع بیضی کامل که در تحقیقات فعلی پیشنهاد شده) اشاره نمود. همچنین تأثیر سخت کننده در لبه ورق اتصال مهاربند می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

- [1] AISC (2010), American Institute of Steel Construction, *in Seismic Provisions for structural steel buildings*: Chicago.
- [2] Whitmore, R. E. (1952). Experimental investigation of stresses in gusset plates. *Engineering Experiment Station*, University of Tennessee, Knoxville.
- [3] Thornton, W. A. (1984). Bracing connections for heavy construction. *Engineering Journal*, AISC, 21(3), 139-148.
- [4] Thornton, W. A. (1991). On the analysis and design of bracing connections. *In Proceedings AISC National Steel Construction Conference*, pp. 26-1.
- [5] Astaneh-Asl, A. (1998). Seismic design and behavior of gusset plates. *Structural Steel and Educational Council {Steel Tips}*, 209.
- [6] Lehman, D. E., Roeder, C. w., Herman, D., Johnson, S., & Kotulka, B. (2008). Improved seismic performance of gusset plate connections. *Journal of Structural Engineering*, 134(6), 890-901.
- [7] Wijesundara, K. K., Rassathi, G. A., Nascimbene, R., & Bolognini, D. (2010). Seismic performance of brace-beam-column connections in concentrically braced frames. *In Structures Congress 2010*, pp. 930-942.
- [8] Lumpkin, E. J., Hsiao, P. C., Roeder, C. W., Lehman, D. E., Tsai, C. Y., Wu, A. C., ... & Tsai, K. C. (2012). Investigation of the seismic response of three-story special concentrically braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 77, 131-144.
- [9] Yoo, J.-H., Roeder, C. W., & Lehman, D. E. (2008). Analytical performance simulation of special concentrically braced frames. *Journal of Structural Engineering*, 134(6), 881-889.
- [10] Applied Technology Council (1992). *Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures*: ATC-24, Redwood City, CA.
- [11] Muir, L. S. (2008). Designing compact gussets with the Uniform Force Method. *Engineering Journal-American Institute of Steel Construction*, 45(1), 13.