

بررسی پارامتری عملکرد صفحات اتصال جوشی در قاب فولادی مهاربندی شده همگرا تحت بارگذاری چرخه‌ای

مهرداد حجازی*، شهرام صالحی و محمدرضا زارع

دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳-۱۲-۱۳۹۶

بازنگری: ۰۲-۰۲-۱۳۹۷

پذیرش: ۱۸-۰۲-۱۳۹۷

ارائه آنلاین: ۰۵-۰۳-۱۳۹۷

کلمات کلیدی:

صفحه اتصال

قاب فولادی مهاربندی همگرا

بارگذاری چرخه‌ای

خط آزاد خمش

سخت کننده

خلاصه: در این مقاله، رفتار صفحات اتصال در قاب فولادی مهاربندی همگرا تحت بارگذاری چرخه‌ای بررسی شده است. این رفتار با استفاده از مقایسه انرژی اتلاف شده، کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به تیر، ستون و مهاربند، کرنش‌های پلاستیک وسط دهانه مهاربند و نیز مطالعه تنش‌های فون میزز و کرنش‌های پلاستیک صفحه مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای مورد بررسی شامل ضخامت صفحه اتصال، شکل صفحه اتصال، استفاده از خطوط خمش خطی و بیضوی و عدم وجود خط آزاد خمش، استفاده از سخت کننده در لبه ورق، طولی و داخلی، و استفاده از مهاربندی با پروفیل تکی یا دوپل می‌باشند. آنالیز به صورت غیرخطی و با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS انجام گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که حذف خط آزاد خمش مقادیر کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به مهاربند و کرنش‌های پلاستیک صفحه اتصال را به شدت افزایش می‌دهد. بیشترین مقدار اتلاف انرژی در نمونه با سخت کننده در لبه ورق بوده است که نسبت به نمونه بدون سخت کننده ۱۵/۴٪ افزایش یافته است.

۱- مقدمه

تا چند سال اخیر بیشتر تحقیقات مربوط به چگونگی توزیع تنش‌های الاستیک و یا پلاستیک صفحات اتصال تحت بارهای یکنوا متمرکز بوده و در نتیجه توجه کمی به رفتار آن‌ها تحت بارهای چرخه‌ای شده است [۱]. به طور کلی قاب‌های با مهاربندی همگرا به گونه‌ای طراحی می‌شوند که تحت بارهای لرزه‌ای، انرژی بوسیله کمانش یا جاری شدن مهاربند مستهلک شود. باقی اعضاء و اتصالات برای تحمل سطح باری طراحی می‌شوند که منجر به کمانش و جاری شدن مهاربند شود. این روش طراحی ناشی از دیدگاه طراحی برای ظرفیت است که در دستورالعمل‌های مختلف طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی مطرح است [۲ و ۳].

در این تحقیق به بررسی عملکرد صفحات اتصال در یک دهانه از یک قاب فولادی مهاربندی همگرا تحت بار چرخه‌ای پرداخته

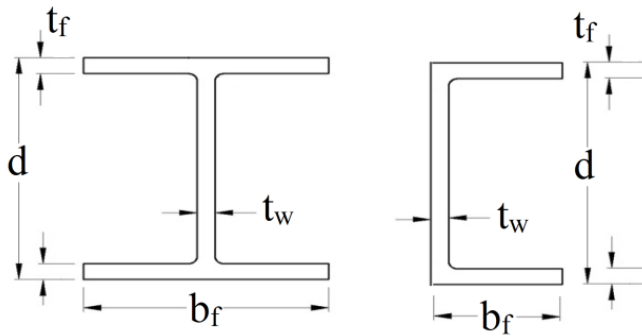
شده است. این مدل شامل یک تیر، دو ستون، یک مهاربند و دو صفحه اتصال می‌باشد (شکل ۱). نحوه اتصال تیر به ستون، گیردار با استفاده از جوش نفوذی بوده است.

در این مدل از مهاربند با پروفیل دوپل استفاده شده است که برای اتصال آن‌ها لقمه به کار رفته است. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل ضخامت صفحه اتصال، شکل صفحه اتصال، استفاده از خطوط خمش خطی و بیضوی و عدم وجود خط آزاد خمش، مقایسه تاثیرات استفاده از سخت کننده در لبه ورق، طولی و داخلی و همچنین اثرات استفاده از مهاربندی با پروفیل تکی می‌باشند [۱].

در این تحقیق برای نخستین بار اثر استفاده از مهاربند با پروفیل تکی و دوپل با ظرفیت کششی برابر و اثر استفاده از سخت کننده‌های داخلی بر عملکرد صفحه اتصال مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از انجام تحقیق، مقایسه تفاوت عملکرد خطوط خمش متفاوت و تاثیر آن‌ها بر صفحه اتصال، بررسی تاثیر سخت کننده‌های داخلی بر عملکرد

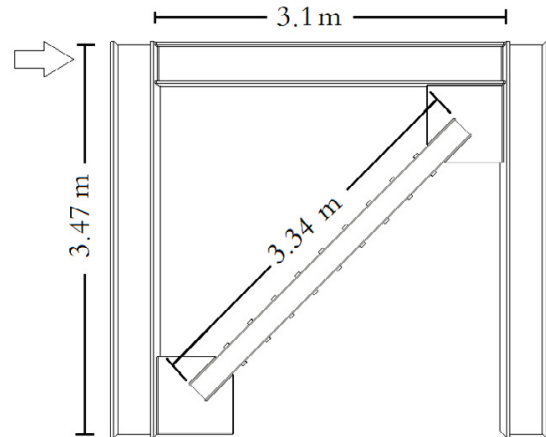
* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: m.hejazi@eng.ui.ac.ir





شکل ۲. ابعاد مقاطع تیر، ستون و مهاربند

Fig. 2. Dimensions of the beam, column and bracing



شکل ۱. شماتیک قاب مورد بررسی با اتصال گیردار جوشی بین تیر و ستون

Fig. 1. Studied frame

صفحه اتصال، ضخامت صفحه و ترتیب بارگذاری بود. طی تحقیق به این نتیجه رسیدند که ترتیب بارگذاری اثر اندکی بر رفتار چرخه‌ای مهاربند و صفحه اتصال دارد و همچنین سیستم مهاربند قوی صفحه اتصال ضعیف، باریک‌شدگی کمتری را در نمودارهای هیستریزس نشان داد.

ناسیمین و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۲، طی یک مطالعه پارامتری به بررسی رفتار صفحات اتصال تحت بارگذاری چرخه‌ای شبه‌استاتیکی پرداختند. در این تحقیق پارامترهای اصلی مورد بررسی آن‌ها شامل تاثیرات خطوط آزاد خمش مختلف، اندازه جوش، نحوه اتصال تیر به ستون و همچنین تاریخچه بارگذاری بود. آن‌ها طی این تحقیق به این نتیجه رسیدند که مدل با اتصال پیچی تاثیر ناچیزی بر توزیع کرنش در وسط دهانه مهاربند نسبت به مدل با اتصال جوشی داشته ولی تمرکز کرنش در گوشه‌های صفحه اتصال را کاهش داده است.

ژانگ و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۱، رفتار صفحات اتصال را در یک قاب مهاربندی همگرا، با مهاربند هفتی و با مقطع I شکل را تحت بار چرخه‌ای بررسی کردند. پارامترهای اصلی آن‌ها، خط آزاد خمش، نقطه تقاطع مهاربند با تیر و ستون و نسبت طول لبه آزاد به ضخامت صفحه بود که در انتها آن‌ها یک نسبت بهینه برای این پارامتر به دست آوردند.

در سال ۲۰۱۳، صالح و همکاران [۱۰] رفتار صفحه اتصال با فولاد ضدزنگ را با استفاده از روش آزمایشگاهی و اجزاء محدود بررسی کردند. آنان از مهاربند نبشی تکی و یک ردیف پیچ برای اتصال استفاده نمودند و تاثیرات خروج از مرکزیت مهاربند و طول اتصال در صفحه را مورد بررسی قرار دادند.

صفحه اتصال، و مطالعه اثر مهاربندهای استفاده شده و مشخصات هندسی صفحه اتصال بر توزیع تنش و میزان انرژی مستهلک شده می باشد.

۲- مرور پیشینه تحقیق

تورنتون [۴] در سال ۲۰۰۱ یک روش کران پایین برای تعیین مقاومت فشاری اتصالات با ورق ارائه نمود. وی فرض کرد که نیروی فشاری در ورق اتصال به وسیله یک ستون فرضی، که در بین انتهای مهاربند و لبه‌های تیر و ستون متقاطع واقع است، تحمل می‌شود.

چن و چانگ [۵] در سال ۲۰۱۲، طی یک تحقیق آزمایشگاهی رفتار صفحات اتصال را با استفاده از فولاد با نقطه تسلیم پایین مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن سخت‌کننده‌های شیاری، عملکرد لرزه‌ای این نوع از صفحات اتصال را بسیار بهبود می‌بخشد.

روزنستراچ و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روش‌های اجزاء محدود^۱، ویتمور^۲، بلوک برشی^۳ و روش مقطع برش کلی^۴، ظرفیت صفحات اتصال را مورد بررسی قرار دادند.

والبریج و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۵ تحقیقی بر روی صفحات اتصال طی بارگذاری چرخه‌ای و یکنوا انجام دادند. پارامترهایی که آن‌ها در این تحقیق بررسی کردند شامل اندرکنش بین مهاربند و

- 1 Finite element
- 2 Whitmore
- 3 Shear Block
- 4 Global Section Shear

جدول ۱. جزئیات اندازه مقاطع تیر، ستون و مهاربند
Table 1. Size details of the beam, column and bracing

عضو	مقطع	d (mm)	b _r (mm)	t _w (mm)	t _r (mm)
ستون	W۳۶۰×۲۳۷	۳۸۰	۳۹۵	۱۸/۹	۳۰/۲
تیر	W۳۶۰×۱۰۱	۳۵۷	۲۵۵	۱۰/۵	۱۸/۳
مهاربند با پروفیل دابل	C۲۰۰×۲۰/۵	۲۰۳/۲	۵۹/۵	۷/۷	۹/۹
مهاربند تک	C۲۵۰×۴۴/۶	۲۵۴	۷۷	۱۷/۱	۱۱/۱

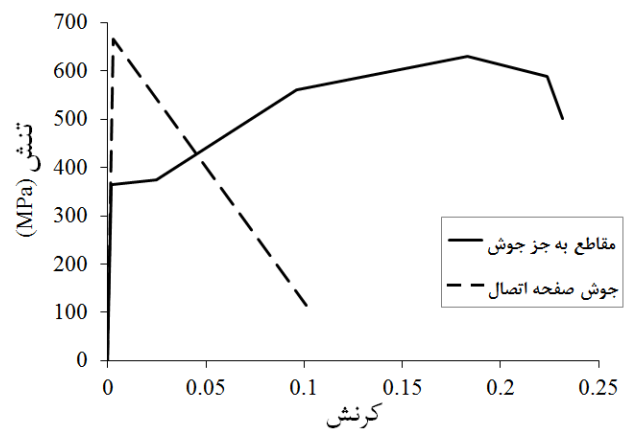
مورد نیاز برای اتصال صفحه به تیر و ستون بر اساس ضوابط طراحی سازه‌های فولادی آمریکا [۳] طراحی و محاسبه گردید. بر این اساس ابعاد صفحه اتصال اولیه $۶۸۰ \times ۶۸۰ \times ۱۸/۸ \text{ mm}^3$ انتخاب شد تا طول جوش مورد نیاز مهاربند به صفحه اتصال و همچنین صفحه به تیر و ستون با فرض ایجاد خط آزاد خمش $t/۲$ ارضا شود. و بعد جوش گوشه صفحه اتصال به مهاربند و تیر و ستون نیز بر اساس روش UFM [۱۲] و [۱۳]، ۱۲ mm به دست آمد.

۲-۳- خصوصیات مصالح

خصوصیات الاستیک ماده شامل ضریب پواسون و مدول الاستیسیته می‌باشد که ضریب پواسون را برای فولاد می‌توان برابر $۰/۳$ در نظر گرفت. با توجه به رفتار مشابه الاستیک برای اکثر فولادهای هم‌رده، می‌توان مدول الاستیسیته را برابر مقدار ثابت $۲۰۵ \times ۱۰^۵ \text{ MPa}$ برای اعضای تیر، ستون و مهاربند تعریف نمود. همچنین سخت‌شدگی ایزوتروپیک برای مصالح در نظر گرفته شد. نمودار تنش کرنش نیز بر اساس کار کوی و همکاران [۱۳] که رفتار جوش گوشه در صفحه اتصال را بررسی کرده‌است، انتخاب شد. در شکل ۴ نیز خصوصیات جوش نفوذی اتصال تیر به ستون آورده شده‌است.

۳-۳- شرایط مرزی

شرایط مرزی بدین صورت اعمال شد که کلیه درجات جابجایی (U_x, U_y, U_z) در انتهای پایینی هر دو ستون بسته شدند، همچنین درجه آزادی جابجایی خارج از صفحه (U_z) بال بالایی تیر جهت جلوگیری از کمانش پیشگی - جانبی تیر نیز بسته شد.



شکل ۳. نمودار تنش-کرنش برای مقاطع و جوش صفحه [۱۳]
Fig. 3. Stress-strain diagram for steel and beam

همچنین اینتا [۱۱] در سال ۲۰۱۳، بر روی بهبود مقاومت خستگی جوش گوشه طولی در صفحه اتصال با استفاده از روش آماده‌سازی سطح با روش هوای فشرده تحقیق کرد. وی به این نتیجه رسید که این روش نسبت به روش‌های دیگر از مزایای بیشتری برخوردار است.

۳- مشخصات مدل مورد بررسی

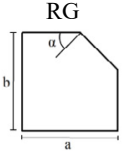
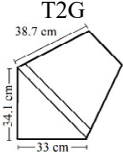
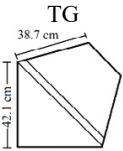
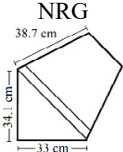
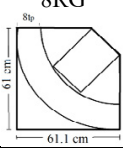
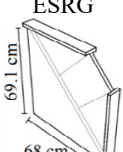
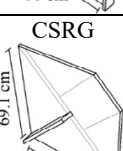
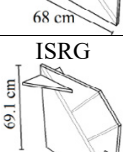
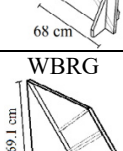
۳-۱- مقاطع مورد استفاده

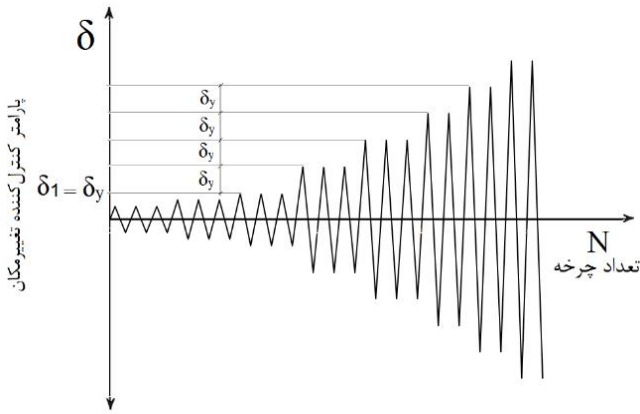
مقاطع تیر و ستون مورد استفاده در این تحقیق، همان مقاطع مورد استفاده توسط ناسیمبن و همکاران [۸] می‌باشد که جزئیات آن در جدول ۱ و شکل ۲ آمده‌است.

ابعاد و ضخامت صفحه اتصال و همچنین اندازه جوش گوشه

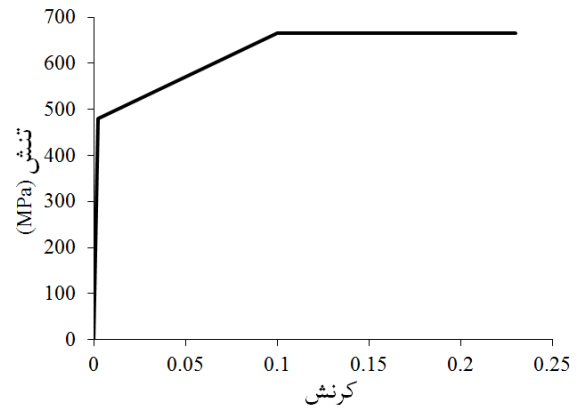
جدول ۲. مشخصات مدل‌ها

Table 2. Characteristics of the models

پارامتر مورد بررسی	زاویه لبه (درجه)	$a \times b$ (ضلع های موازی) (mm^2) یا $a \times b \times c$ (ضلع های غیرموازی) (mm^3)	مدل	دسته
ضخامت صفحه	۴۵	۶۸×۶۹/۱	RG 	۱
شکل صفحه	۱۸	۳۳×۳۴/۱×۳۸/۷	T2G 	۲
	۳۰	۴۱×۴۲×۳۸/۷	TG 	۳
حذف خط آزاد خمش	۴۵	۴۲×۴۳/۱	NRG 	۴
خط آزاد خمش بیضوی	۴۵	۶۰×۶۱/۱	8RG 	۵
سخت کننده در لبه ورق	۴۵	۶۸×۶۹/۱	ESRG 	۶
سخت کننده طولی	۴۵	۶۸×۶۹/۱	CSRG 	۷
سخت کننده داخلی	۴۵	۶۸×۶۹/۱	ISRG 	۸
مهاربند با پروفیل تک	۴۵	۶۸×۶۹/۱	WBRG 	۹



شکل ۵. پروتکل بارگذاری [۱۴]
Fig. 5. Loading protocol



شکل ۴. نمودار تنش-کرنش برای جوش نفوذی
Fig. 4. Stress-strain diagram penetrated weld

استفاده شد. برای جلوگیری از خطاهای ناشی از جزءبندی و تعداد المان، تست همگرایی با انجام چند آنالیز پوش آور با تعداد المان‌های مختلف و مقایسه مقدار تنش‌های فون میزز و جابجایی‌های ۳ نقطه مختلف انجام گردید و با توجه به مقایسه نتایج، در کلیه مدل‌ها از مقدار تقریبی ۳۵۰۰۰ المان استفاده گردید. اندازه المان مورد استفاده برای تیر و ستون ۴ cm، صفحه اتصال ۱/۵ cm، جوش ۱ cm، مهاربند ۳ cm و در نقاط حساس ۲ cm می‌باشد (شکل ۵).

۴- صحت‌سنجی مدل‌سازی اجزاء محدود

ابتدا از نمودار بار-تغییرمکان حاصل از مدل آزمایشگاهی شاپاک [۱۵] برای صحت‌سنجی روش اجزاء محدود این تحقیق استفاده شده‌است. سپس نمودار بار-تغییرمکان حاصل از مدل اجزاء محدود ناسیمین و همکاران [۸] که مدل آزمایشگاهی مذکور را تحلیل کرده‌است با نتایج اجزاء محدود تحقیق حاضر مقایسه گردیده‌است. بررسی نتایج در شکل‌های ۷ و ۸ نشان می‌دهد که مدل المان محدود ساخته شده، توانسته به خوبی رفتار مدل آزمایشگاهی را شبیه‌سازی کرده و نتایج با تقریب قابل‌قبولی نزدیک به نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. بار کمانشی اولیه مهاربند برای مدل اجزاء محدود ۱۲۴۲ kN به دست آمد که مقدار اختلاف آن با نتایج آزمایشگاهی ۲/۷٪ و با نتایج تحقیق ناسیمین و همکاران [۸] ۹/۲٪ می‌باشد. در قسمتی که مهاربند در کشش بوده و تسلیم شده‌است، درصد اختلاف بیشتر بوده‌است.

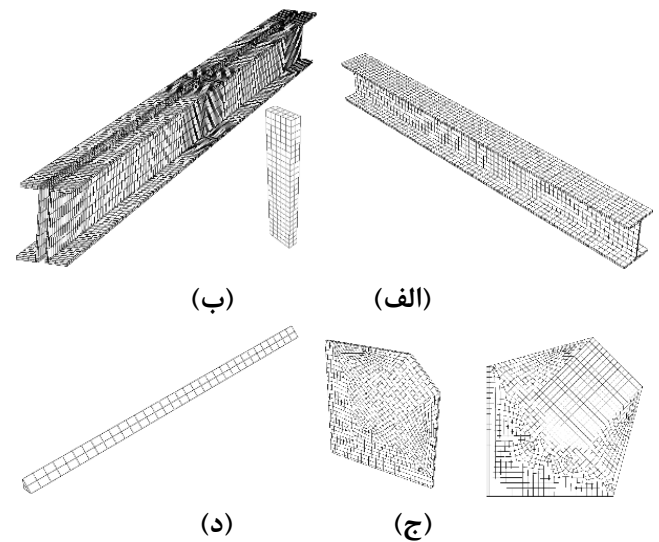
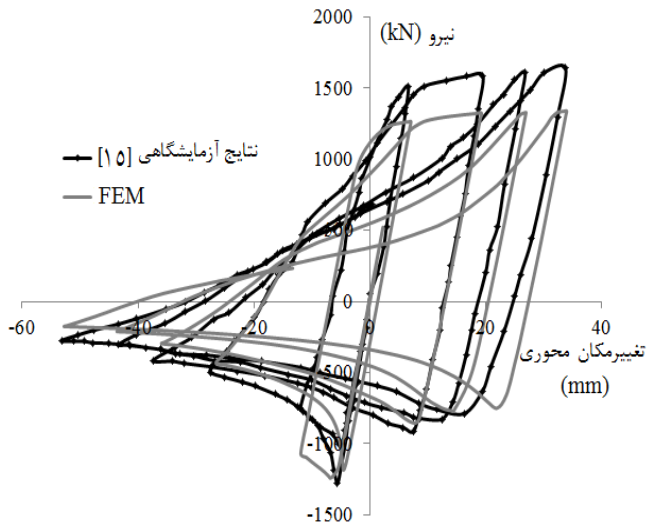
۳-۴ پروتکل بارگذاری

بارگذاری چرخه‌ای مطابق با پروتکل ATC-24 [۱۴] همانند شکل ۵ به مدل اعمال گردید.

این پروتکل به صورتی است که چرخه‌ها ضربی از جابجایی تسلیم نمونه مورد بررسی می‌باشند. برای به دست آوردن جابجایی تسلیم برای قاب دو بارگذاری پوش، یکی در جهت کشش مهاربند و دیگری در جهت فشار مهاربند انجام شد تا مقدار جابجایی تسلیم قاب (δ_y) به دست آید. با استفاده از تکنیک دو خطی کردن، در جهت کششی مقدار جابجایی تسلیم، ۱۸ mm و در جهت فشاری ۱۵/۴ mm به دست آمد. به دلیل اینکه حتماً می‌بایست تا ۶ سیکل اولیه کلیه مقاطع در حالت الاستیک باقی بمانند مقدار کمتر، یعنی ۱۵/۴ mm به عنوان جابجایی تسلیم انتخاب گردید. در این تحقیق بارگذاری تا سیکل $\delta_y 10$ و با وجود این که مقدار جابجایی مجاز قاب کمتر از این مقدار بوده‌است، ادامه یافت تا اثرات بارهایی به مراتب بیشتر از مقادیر مجاز آیین‌نامه‌ای بر عملکرد صفحه اتصال، مهاربند، و جوش‌های اتصال صفحه مورد بررسی قرار بگیرد.

۳-۵ نحوه جزء بندی اعضا

برای مدل‌سازی کلیه اعضای سازه شامل اجزاء فولادی و جوش با انجام تقسیم‌بندی‌های^۱ مختلف از المان C3D8R (المان شش وجهی دارای هشت گره شامل سه درجه آزادی تغییرمکانی در هر گره و تابع شکل خطی) با انتگرال کاهش یافته (گوس یک نقطه ای)

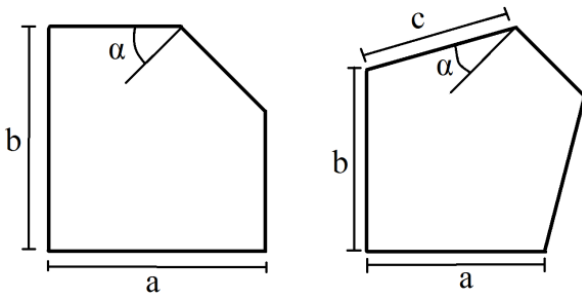


شکل ۷. نمودار نیرو- تغییر مکان محوری برای نتایج اجزاء محدود حاضر و آزمایشگاهی [۱۵]

Fig. 7. Load-axial displacement diagram for the present finite element results and experimental results [15]

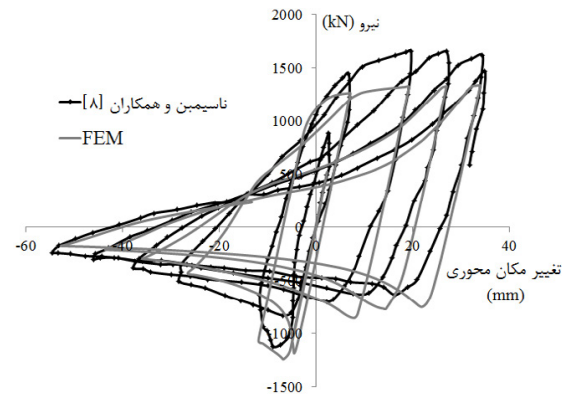
شکل ۶. جزء بندی اجزاء مختلف قاب: الف) تیر و ستون، ب) مهاربند در حالت پروفیل دابل و لقمه های اتصال، ج) صفحه اتصال، د) جوش

Fig. 6. Finite element mesh of the frame: a) beam and column, b) bracing, c) gusset plate, d) weld



شکل ۹. پارامترهای اندازه صفحات اتصال

Fig. 9. Size parameters of the gusset plate



شکل ۸. نمودار نیرو- تغییر مکان محوری برای نتایج اجزاء محدود حاضر و اجزاء محدود ناسیمین و همکاران [۸]

Fig. 8. Load-axial displacement diagram for the present finite element results and finite elements results of Nascimbene et al. [15]

در مدل های ۶ تا ۸ از سخت کننده های متفاوت در صفحه اتصال استفاده شده که در مدل های ۶ از سخت کننده در لبه ورق، در مدل ۷ از سخت کننده مرکزی و در مدل ۸ از سخت کننده داخلی استفاده شد و برای نامگذاری این مدل ها با سخت کننده در لبه ورق، طولی و داخلی در ابتدای نام مدل به ترتیب حروف ES، CS و IS مورد استفاده قرار گرفته شده است. در مدل ۹ نیز از مهاربند با پروفیل تکی استفاده شده است که از حرف WB در ابتدای نام آن استفاده شده است. مشخصات و پارامترهای مدل های مورد بررسی را در شکل ۹ و جدول ۲ آورده شده است.

۵- نتایج بررسی پارامتری

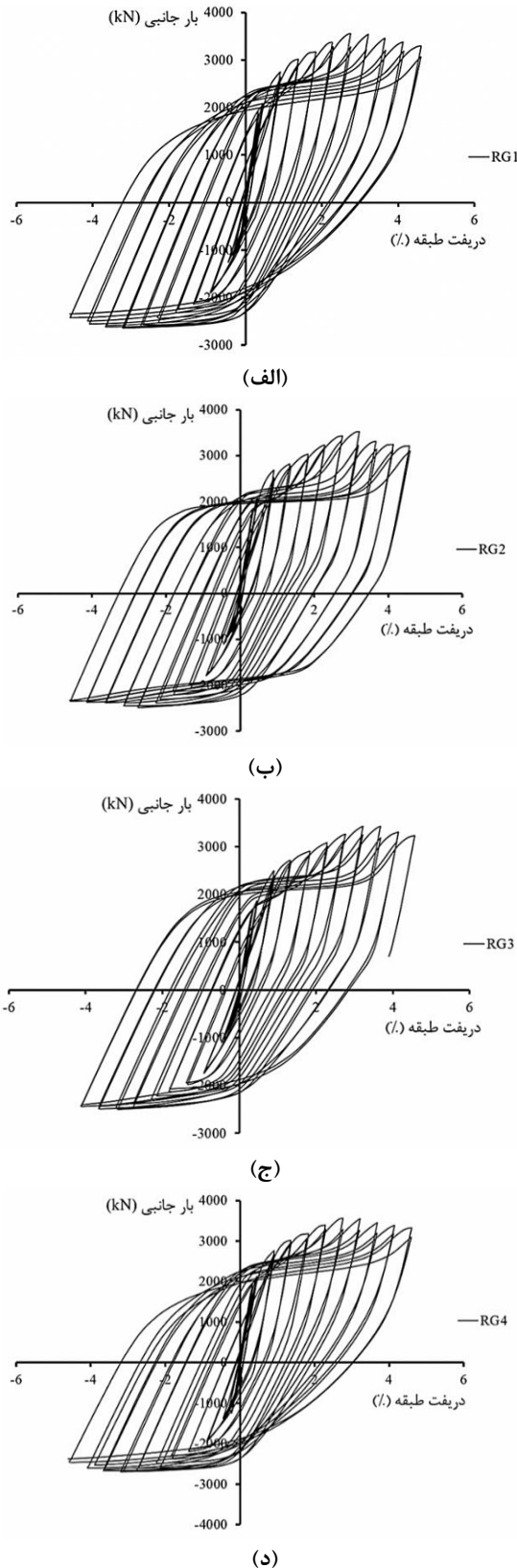
مدل ۱، صفحه مستطیلی اولیه می باشد که با خط آزاد خمش t_2 طراحی شده است و از نام RG برای آن استفاده شده است. مدل ۲ و ۳ صفحه های اتصال جمع شونده و با تفاوت در زاویه لبه صفحه اتصال می باشد که با T2G و TG نام گذاری شده اند. پارامتر مورد بررسی در مدل ۴، عدم وجود خط آزاد خمش می باشد که از حرف N در ابتدای نام مدل و در مدل ۵ از خط آزاد خمش بیضوی t_8 با عدد ۸ در ابتدای نام مدل استفاده شده است.

۵-۱- اثرات ضخامت

برای بررسی اثرات ضخامت از ۴ ضخامت ۸/۱۸ mm، ۱۲ mm، ۸ mm و ۲۴ mm استفاده شد. برای نام‌گذاری این نمونه‌ها نیز به ترتیب از اعداد ۱ تا ۴ در انتهای نام هر نمونه استفاده شده است. نمودارهای چرخه‌ای بار جانبی-دریفت طبقه این نمونه‌ها در شکل ۱۰ و انرژی مستهلک شده توسط آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس آیین نامه FEMA 356 [۱۶]، مقدار مجاز دریفت طبقه برابر ۲/۵٪ در نظر گرفته می‌شود. به منظور بررسی رفتار قاب بعد از این مقدار مجاز، قاب تا بعد از دریفت طبقه برابر ۴٪ مورد بارگذاری قرار گرفته است ولی نمودارهای کرنش پلاستیک-دریفت طبقه تا دریفت طبقه برابر ۲/۵ درصد ترسیم شده و مقایسه بین مدل‌های مختلف بر مبنای این مقدار مجاز انجام گرفته است. بر اساس نمودارهای تنش-کرنش شکل ۳، شروع ایجاد ترک یا گسیختگی برای جوش و فولاد به ترتیب در کرنش‌های ۰/۱۱ و ۰/۲۵ می‌باشد که به صورت خط افقی در نمودارهای کرنش-پلاستیک نشان داده شده است.

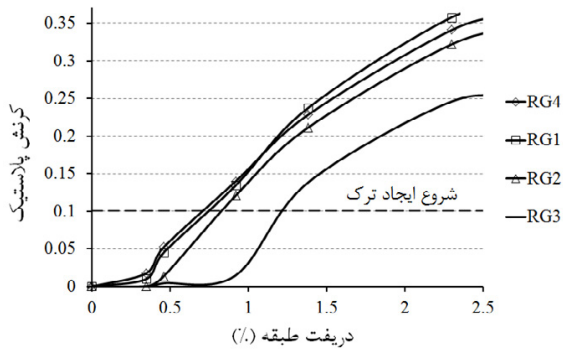
انرژی مستهلک شده در هر نمونه با توجه به مساحت زیر منحنی بار جانبی-دریفت طبقه تا زمان رسیدن به مقدار کرنش پلاستیک حداکثر وسط دهانه مهاربند به دست آمد. با بررسی جدول ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت صفحه اتصال مقدار انرژی استهلاک شده در نمونه نیز افزایش یافته است. در نمونه با ضخامت ۸ mm دیده می‌شود که کاهش مقدار انرژی استهلاک یافته نسبت به نمونه‌های دیگر از کمترین مقدار برخوردار بوده است. بیشترین مقدار انرژی استهلاک شده در نمونه با ضخامت ۲۴ mm بوده است که نسبت به نمونه با کمترین ضخامت ۲۰/۶٪ افزایش در مقدار استهلاک انرژی داشته است. مقدار انرژی مستهلک شده در دو نمونه با ضخامت‌های ۱۲ mm و ۱۸/۸ mm برابر بوده است و در حدود ۸٪ بیشتر از نمونه با کمترین ضخامت بوده است.

با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۳، با افزایش ضخامت صفحه اتصال از ۸ mm به ۲۴ mm، کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به تیر و ستون ۴۰٪ و هم‌چنین کرنش‌های پلاستیک حداکثر داخل مهاربند که در وسط دهانه آن تشکیل شده است در دریفت ۲٪، ۱۵۰٪ افزایش پیدا کرده است. با بررسی شکل ۱۱ دیده می‌شود که در نمونه‌ها با ضخامت ۱۸/۸ mm و ۲۴ mm تا قبل از دریفت مجاز (۲/۵ درصد)، کرنش‌های پلاستیک وسط دهانه مهاربند به کرنش



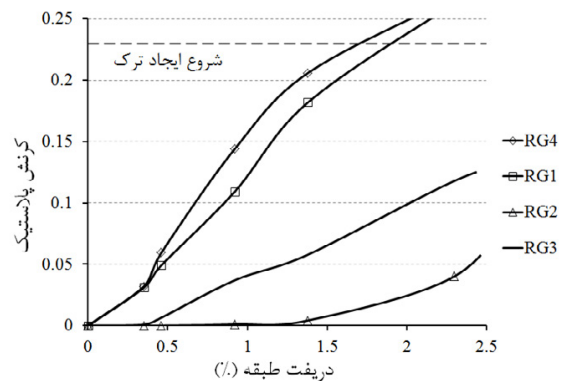
شکل ۱۰. نمودار بار جانبی-دریفت طبقه برای نمونه: (الف) RG1، (ب) RG2، (ج) RG3، (د) RG4

Fig. 10. Lateral load-storey drift of the model: a) RG1, b) RG2, c) RG3, d) RG4



شکل ۱۱. نمودار کرنش پلاستیک-دریفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به تیر و ستون برای چهار ضخامت صفحه اتصال

Fig. 11. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to beam and column connection for different gusset plate thicknesses



شکل ۱۳. نمودار کرنش پلاستیک-دریفت طبقه برای وسط دهانه مهاربند برای چهار ضخامت صفحه اتصال

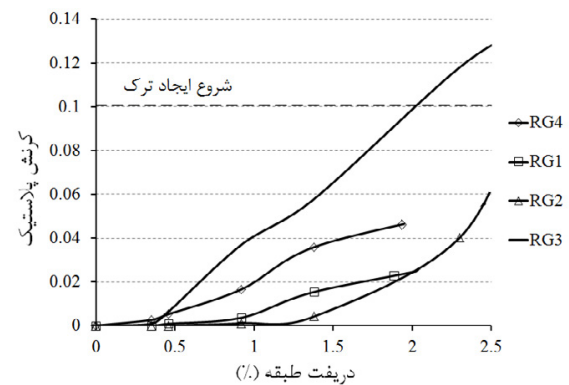
Fig. 13. Plastic strain-storey drift diagram for the mid span of the bracing for different gusset plate thicknesses

بار جانبی- دریفت طبقه افزایش شکل پذیری را نشان داد در اینجا نیز کرنش‌های پلاستیک صفحه نسبت به نمونه با ضخامت ۸ mm ۲۴٪، حدود ۸۲٪ افزایش پیدا کرده است. ولی در ضخامت ۸ mm، کرنش‌های پلاستیک در کل صفحه توزیع شده و همین باعث کاهش مقدار حداکثر کرنش پلاستیک و انتقال محل حداکثر از گوشه صفحه به انتهای اتصال مهاربند به صفحه شده است (جدول ۴).

همانطور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود با کاهش ضخامت صفحه از ۱۸/۸ mm به ۱۲ mm مقدار تنش فون میز حداکثر ۳/۵ درصد کاهش پیدا کرده است. به دلیل لاغرتر شدن صفحه و تغییر شکل‌های زیاد لبه صفحه اتصال، در قسمت لبه آزاد صفحه اتصال، تمرکز تنش‌های فون میز به وجود آمده است (شکل ۱۲).

جدول ۳. مقدار انرژی مستهلک شده در چهار ضخامت مختلف
Table 3. The values of dissipated energy at different thicknesses

نمونه	ضخامت (mm)	انرژی مستهلک شده (kJ)	درصد اختلاف با نمونه RG3
RG3	۸	۲۰۴۰	۰
RG2	۱۲	۲۲۰۸	۸/۲
RG1	۱۸/۸	۲۲۰۹	۸/۲
RG4	۲۴	۲۴۶۲	۲۰/۶



شکل ۱۲. نمودار کرنش پلاستیک-دریفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به مهاربند برای چهار ضخامت صفحه اتصال

Fig. 12. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to bracing connection for different gusset plate thicknesses

گسیختگی رسیده است.

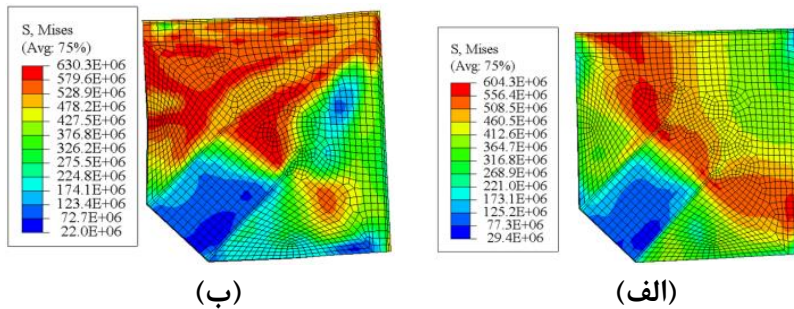
اما در قسمت جوش صفحه به مهاربند ابتدا با کاهش ضخامت از ۲۴ mm تا ۱۲ mm مقادیر کرنش‌های پلاستیک کاهش پیدا کرده است، ولی با کاهش ضخامت از ۱۲ mm به ۸ mm مقدار کرنش پلاستیک جوش صفحه به مهاربند در کل افزایش پیدا کرده که در سیکل آخر مقدار افزایش ۱۳۰٪ بوده است (شکل ۱۲). در کل می‌توان گفت که با افزایش ضخامت صفحه اتصال مقدار کرنش‌های پلاستیک در وسط دهانه مهاربند و در جوش صفحه به تیر و ستون افزایش و در جوش صفحه به مهاربند کاهش می‌یابد.

در بررسی که روی کرنش‌های پلاستیک صفحه انجام شد، دیده شد که با کاهش ضخامت تا ۱۸/۸ mm، مقدار کرنش پلاستیک حداکثر صفحه اتصال تا ۵/۸ درصد افزایش پیدا می‌کند و محل آن نیز در گوشه صفحه بوده است. در ضخامت ۱۲ mm همانطور که نمودار

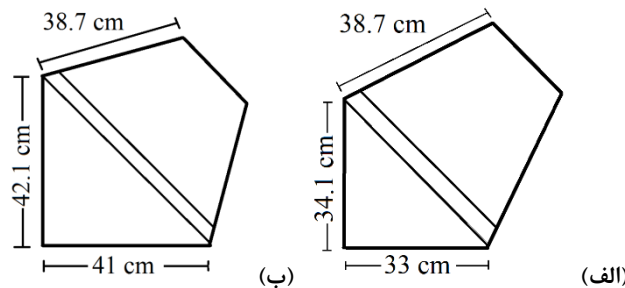
جدول ۴. مقدار کرنش پلاستیک در صفحه اتصال RG با ضخامت‌های متفاوت

Table 4. The values of plastic strain in the RG gusset plate with different thicknesses

محل کرنش حداکثر	درصد اختلاف با نمونه RG4	مقدار کرنش حداکثر	ضخامت صفحه (mm)
گوشه صفحه	۰	۰/۱۱۹	۲۴
گوشه صفحه	۵/۸	۰/۱۲۶	۱۸/۸
گوشه صفحه	۸۱/۵	۰/۲۱۶	۱۲
انتهای اتصال مهاربند به صفحه	۹/۲	۰/۱۳۰	۸



شکل ۱۴. وضعیت توزیع تنش‌های فون میزز در نمونه (الف) RG1، (ب) RG2
Fig. 14. Distribution of von Mises stress in the model: a) RG1, b) RG2

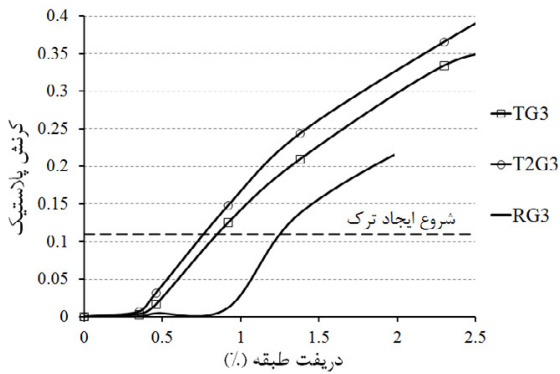


شکل ۱۵. شماتیک نمونه: (الف) T2G، (ب) TG
Fig. 15. Schematic samples: a) T2G, b) TG

جدول ۵ نشان می‌دهد که هر چه اندازه صفحه اتصال کوچک‌تر می‌شود، میزان استهلاک انرژی نیز کاهش می‌یابد. برای مثال در ضخامت اول، با تغییر شکل مقطع از صفحه مستطیلی به صفحه جمع‌شونده با زاویه لبه 30° ، مقدار انرژی مستهلک شده $4/1\%$ کاهش می‌یابد. اگر مقایسه‌ای بین انرژی‌های مستهلک شده در دو نمونه صفحه مستطیلی و صفحه اتصال جمع‌شونده با زاویه لبه 18° صورت گیرد، مشاهده می‌گردد که با این تغییر، مقدار انرژی مستهلک شده $6/8$ درصد کاهش پیدا کرده است.

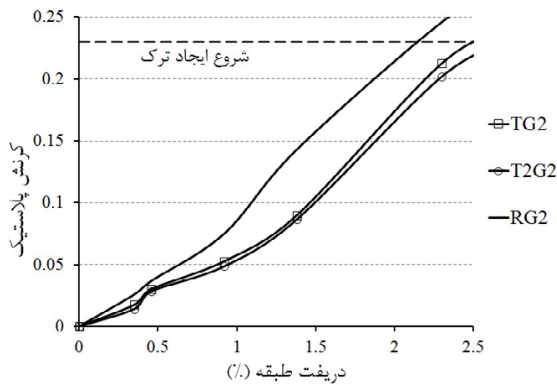
۵-۲- اثرات شکل صفحه اتصال

مدل ۲ و ۳، صفحات اتصالی می‌باشند که در آن‌ها لبه آزاد صفحه با قسمت لبه قائم و افقی صفحه دارای زاویه‌ای بزرگتر از 90° می‌باشند (شکل ۱۵). مدل ۲، صفحه اتصال دوزنقه‌ای می‌باشد که در آن زاویه لبه صفحه 18° می‌باشد. در این مدل خط آزاد خمش $t2$ رعایت شده‌است که با نام T2G نام‌گذاری شده‌است. در مدل ۳ (TG)، زاویه لبه صفحه اتصال 30° می‌باشد که این زاویه توزیع تنش ارائه شده توسط تورتون [۴] می‌باشد.



شکل ۱۶. نمودار کرنش پلاستیک-دریفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به تیر و ستون در سه شکل مختلف

Fig. 16. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to beam and column connection for different shapes



شکل ۱۸. نمودار کرنش پلاستیک-دریفت طبقه برای وسط مهاربند در سه شکل مختلف

Fig. 18. Plastic strain-storey drift diagram for the mid span of the bracing for different shapes

۵-۳- اثرات خط آزاد خمشی بیضوی و حذف خط آزاد خمشی

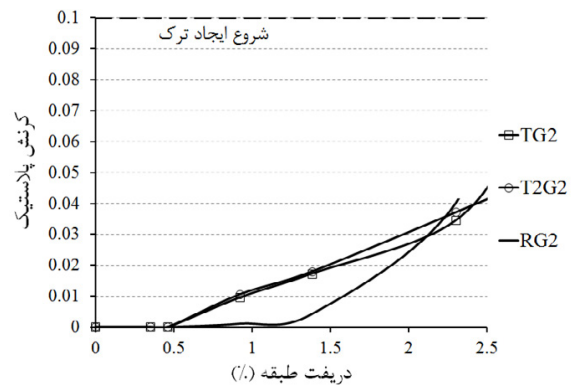
در شکل ۱۹ می‌توان شماتیک نمونه با خط آزاد خمشی بیضوی را مشاهده کرد. این خط آزاد خمشی ابتدا در تحقیق که توسط Lehman همکاران [۱۷] انجام شد ارائه گردید. همچنین در نمونه دیگر خط آزاد خمشی تعبیه شده برای صفحه حذف گردید تا اثرات آن مورد بررسی قرار بگیرد.

در جوش اتصال صفحه به تیر و ستون، نسبت به نمونه با خط آزاد خمشی خطی، در نمونه بدون خط آزاد خمشی ۲۵٪ و در نمونه با خط آزاد خمشی بیضوی ۱۵٪ افزایش دیده شد (شکل ۲۰). در جوش اتصال صفحه به مهاربند نیز، حذف خط آزاد خمشی کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به مهاربند را ۳ برابر کرده است ولی با ایجاد خط

جدول ۵. مقدار انرژی مستهلک شده در سه شکل مختلف

Table 5. The values of dissipated energy for different shapes

RG1	TG1	T2G1	نمونه معیار مقایسه
۲۲۰۹	۲۱۱۹	۲۰۵۷	انرژی مستهلک شده (kJ)
۰	-۴/۱	-۶/۸	درصد اختلاف با نمونه RG



شکل ۱۷. نمودار کرنش پلاستیک-دریفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به مهاربند در سه شکل مختلف

Fig. 17. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to bracing connection for different shapes

با کاهش اندازه صفحه اتصال، مقدار کرنش‌های موجود در جوش صفحه به تیر و ستون افزایش پیدا می‌کند. بیشترین مقدار افزایش ۴۰٪ بوده است (شکل‌های ۱۶ و ۱۷).

بررسی وضعیت کرنش‌های پلاستیک در صفحه اتصال نشان می‌دهد که در نمونه T2G مقادیر کرنش‌های پلاستیک نسبت به نمونه TG افزایش پیدا کرده است (شکل ۱۸ و جدول ۷). در ضخامت ۸ mm، مقدار افزایش ۱۸٪، مقدار افزایش ۱۶/۲ درصد و در ضخامت ۸ mm، مقدار افزایش ۸/۲ درصد بوده است. با مقایسه کرنش‌های پلاستیک نمونه TG با نمونه RG (جدول ۶)، افزایش بیشتری در کرنش‌های پلاستیک نمونه TG دیده می‌شود به طوری که در ضخامت ۱، کرنش‌های پلاستیک ۳۳/۳ درصد افزایش و در ضخامت ۳ مقادیر کرنش‌های پلاستیک ۲۶/۹ درصد افزایش داشته‌اند. همچنین مقدار تاثیر کاهش ضخامت بر افزایش مقادیر کرنش‌ها در نمونه TG بیشتر بوده است.

جدول ۶. مقدار کرنش پلاستیک در صفحه اتصال TG با ضخامت‌های متفاوت

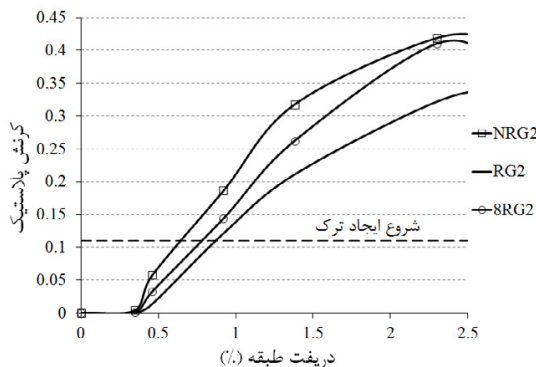
Table 6. The values of plastic strain in the TG gusset plate with different thicknesses

شماره ضخامت	ضخامت صفحه (mm)	مقدار کرنش حداکثر	درصد اختلاف با نمونه RG
۱	۱۸/۸	۰/۱۶۸	۳۳/۳
۲	۱۲	۰/۲۲۱	۲/۳
۳	۸	۰/۱۶۵	۲۶/۹

جدول ۷. مقدار کرنش پلاستیک در صفحه اتصال T2G با ضخامت‌های متفاوت

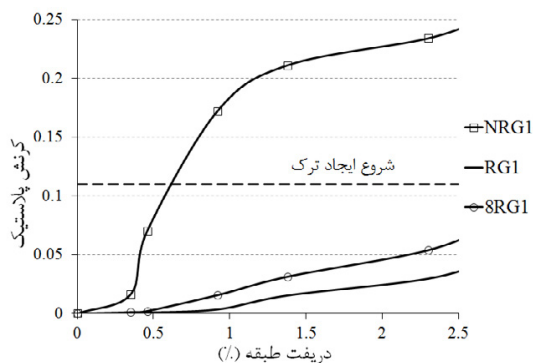
Table 7 The values of plastic strain in the T2G gusset plate with different thicknesses

شماره ضخامت	ضخامت صفحه (mm)	مقدار کرنش حداکثر	درصد اختلاف با نمونه TG
۱	۱۸/۸	۰/۱۸۳	۸/۲
۲	۱۲	۰/۲۳۲	۴/۷
۳	۸	۰/۱۹۷	۱۶/۲



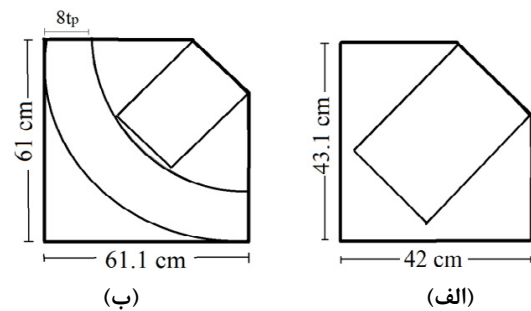
شکل ۲۰. نمودار کرنش پلاستیک- دررفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به تیر و ستون در سه نمونه RG، 8RG و NRG

Fig. 20. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to beam and column connection for RG, 8RG and NRG samples



شکل ۲۱. نمودار کرنش پلاستیک- دررفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به مهاربند در سه نمونه RG، 8RG و NRG

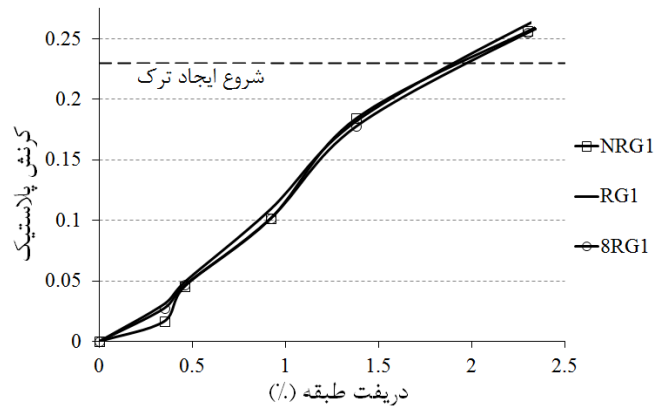
Fig. 21. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to bracing connection for RG, 8RG and NRG samples



شکل ۱۹. شماتیک نمونه: الف) NRG، ب) 8RG
Fig. 19. Schematic samples: a) NRG, b) 8RG

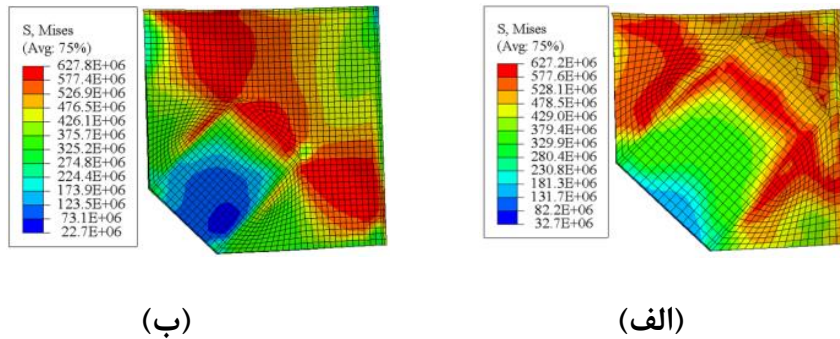
آزاد خمش بیضوی، نسبت به نمونه با خط آزاد خمش خطی حدود ۲۰ تا ۳۰٪، کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به مهاربند افزایش داشته‌اند (شکل ۲۱). در کرنش‌های پلاستیک وسط دهانه مهاربند نیز در دو نمونه با خط آزاد خمش بیضوی و نمونه بدون خط آزاد خمش حدود ۸٪ کاهش وجود داشته‌است (شکل ۲۲).

با مقایسه شکل ۱۴-الف و شکل ۲۳ که وضعیت تنش‌های فون میزز را در ۳ نمونه مختلف نشان می‌دهد، دیده می‌شود که در ۲ نمونه با خط آزاد خمش بیضوی و بدون خط آزاد خمش، تنش فون میزز حداکثر ۳/۸ درصد نسبت به نمونه با خط آزاد خمش خطی افزایش پیدا کرده‌است. در نمونه با خط آزاد خمش بیضوی تنش فون میزز حداکثر در سطح بیشتری روی خط آزاد خمش توزیع



شکل ۲۲. نمودار کرنش پلاستیک- دریفت طبقه برای وسط دهانه مهاربند در سه نمونه RG، 8RG و NRG

Fig. 22. Plastic strain-storey drift diagram for the mid span of the bracing for RG, 8RG and NRG samples



شکل ۲۳. وضعیت توزیع تنش‌های فون میزز در نمونه (الف : NRG، ب) 8RG

Fig. 23. Distribution of von Mises stress in the model: a) NRG, b) 8RG

جدول ۸. مقدار انرژی مستهلک شده در سه نمونه NRG، RG و 8RG

Table 8. The values of dissipated energy for RG, 8RG and NRG samples

			نمونه معیار مقایسه
8RG1	RG1	NRG1	
۲۳۰۹	۲۲۰۹	۲۲۵۱	انرژی مستهلک شده (kJ)
۴/۵	۰	۱/۹	درصد اختلاف با نمونه RG

تیر و ستون در نمونه NRG منتقل شده‌است. کرنش‌های پلاستیک در نمونه با خط آزاد خمش بیضوی نیز مقادیری مابین کرنش‌های نمونه با خط آزاد خمش ۲t و نمونه بدون خط آزاد خمش می‌باشند. در ضخامت اول ۳۷٪، در ضخامت دوم ۶/۴ درصد و در ضخامت سوم نیز ۴۹٪ افزایش نسبت به نمونه با خط آزاد خمش خطی وجود داشته

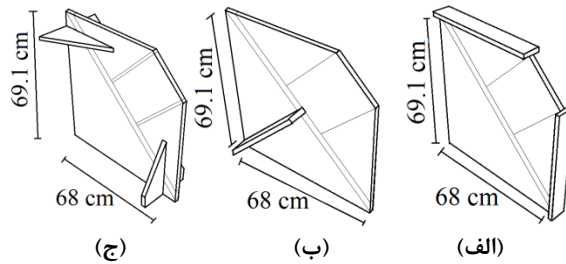
شده‌است و همچنین در نمونه بدون خط آزاد خمش، تنش‌های فون میزز به لبه‌های صفحه منتقل شده‌اند و تغییرشکل‌های زیادی به انتهای اتصال وارد شده‌است.

با مقایسه اعداد جدول ۸ دیده می‌شود که نسبت به نمونه با خط آزاد خمش خطی، در نمونه با خط آزاد خمش بیضوی ۱/۹ درصد و در نمونه بدون خط آزاد خمش، ۴/۵ درصد افزایش در مقدار استهلاک انرژی وجود داشته‌است.

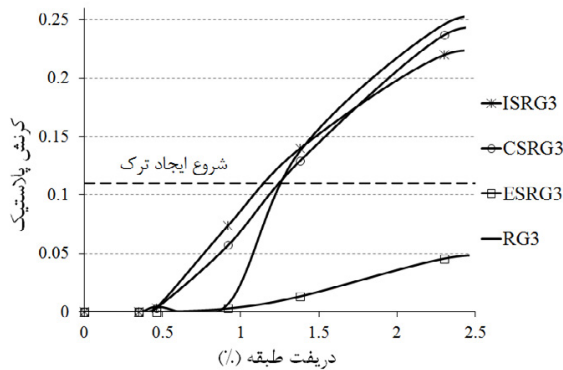
بررسی کرنش‌های پلاستیک موجود در صفحه اتصال نشان می‌دهد که عدم وجود خط آزاد خمش در صفحه اتصال باعث ایجاد کرنش‌های پلاستیک زیاد در صفحه می‌شود. با مقایسه مقدار به مقدار در دو نمونه RG و NRG در جدول ۹، دیده می‌شود که برای ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ مقادیر کرنش‌های پلاستیک در نمونه NRG، ۱/۸، ۱/۱ و ۱/۷۷ برابر شده‌است. همچنین محل این کرنش‌ها از گوشه صفحه اتصال در نمونه RG به انتهای اتصال و در لبه مرز اتصال

جدول ۹. مقدار کرنش‌های پلاستیک حداکثر در صفحه اتصال نمونه‌های 8RG و NRG.RG
 Table 9. The maximum plastic strain in the gusset plates of RG, 8RG and NRG samples

8RG		NRG		RG	ضخامت صفحه (mm)
درصد اختلاف با نمونه RG	مقدار کرنش	درصد اختلاف با نمونه RG	مقدار کرنش		
۳۷/۳	۰/۱۷۳	۸۲/۵	۰/۲۳۲	۰/۱۲۶	۱۸/۸
۶/۴	۰/۲۳	۶/۴	۰/۲۳۲	۰/۲۱۶	۱۲
۴۹/۲	۰/۱۹۴	۷۶/۹	۰/۲۳۲	۰/۱۳۰	۸



شکل ۲۴. شماتیک نمونه: الف) ESRG، ب) ISRG، ج) CSRG
 Fig. 24. Schematic samples: a) ESRG, b) ISRG, c) CSRG

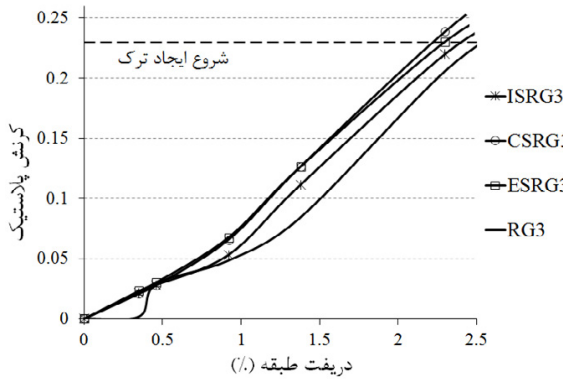


شکل ۲۵. نمودار کرنش پلاستیک- دررفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به تیر و ستون در سه سخت‌کننده مختلف
 Fig. 25. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to beam and column connection for different stiffeners

جوش اتصال صفحه به تیر و ستون شده است. بیشترین مقدار کاهش در نمونه با سخت‌کننده در لبه ورق و در حدود ۸۵٪ بوده است. سخت‌کننده داخلی به طور متوسط مقادیر کرنش‌های پلاستیک را حدود ۲۵٪ کاهش داده است. مقدار کرنش‌های پلاستیک در نمونه با سخت‌کننده طولی بسیار نزدیک به نمونه بدون سخت‌کننده بوده است (شکل های ۲۵ و ۲۶). هم‌چنین با افزودن سخت‌کننده‌های طولی، در لبه ورق و داخلی

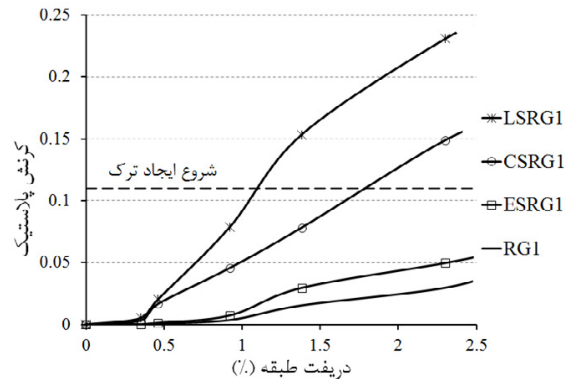
است. ولی نسبت به نمونه بدون خط آزاد خمش به طور متوسط ۳۰٪ کاهش نشان داده است (جدول ۹).

۴-۵- بررسی اثرات سخت‌کننده در لبه ورق، طولی و داخلی در ادامه بررسی پارامتری از سخت‌کننده‌هایی درون صفحه اتصال استفاده شد (شکل ۲۴). اضافه کردن سخت‌کننده‌ها در تمامی نمونه‌ها در انتهای سیکل بارگذاری باعث کاهش کرنش‌های پلاستیک



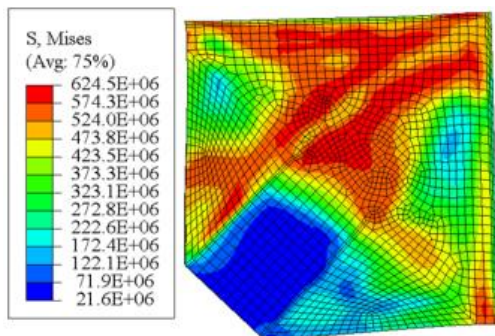
شکل ۲۷. نمودار کرنش پلاستیک- دررفت طبقه برای وسط دهانه مهاربند در سه سخت کننده مختلف

Fig. 27. Plastic strain-storey drift diagram for the mid span of the bracing for different stiffeners

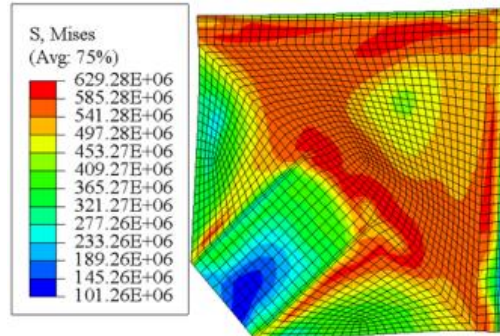


شکل ۲۶. نمودار کرنش پلاستیک- دررفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به مهاربند در سه سخت کننده مختلف

Fig. 26. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to bracing connection for different stiffeners



(ب)



(الف)

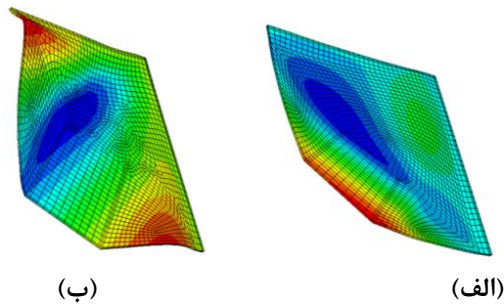
شکل ۲۸. وضعیت توزیع تنش های فون میزز ضخامت سوم در نمونه: الف) ESRG، ب) RG
Fig. 28. Distribution of von Mises stress of the third thickness in the model: a) ESRG, b) RG

۲۶). هم چنین تنها در نمونه با سخت کننده در لبه ورق، جوش های اتصال صفحه دچار گسیختگی نشده اند.

شکل ۲۸ وضعیت توزیع تنش های فون میزز در دو مدل RG با سخت کننده و بدون سخت کننده در ضخامت کم نشان می دهد. سخت کننده در لبه ورق، در نمونه ضخیم تاثیری بر نحوه توزیع تنش های فون میزز نداشته است. فقط مقدار تنش فون میزز حداکثر در نمونه با سخت کننده در لبه ورق، ۳/۳ درصد افزایش داشته است. ولی در نمونه نازک تر وضعیت توزیع تنش های فون میزز در نمونه با سخت کننده حالت یکنواخت تری پیدا کرده است که در نمونه بدون سخت کننده تنش های فون میزز در یک طرف مهاربند متمرکز شده است. هم چنین سخت کننده باعث از بین رفتن تغییر شکل های

مقادیر کرنش های پلاستیک وسط دهانه مهاربند به ترتیب ۱۵٪، ۱۰٪ و در حدود ۵٪ افزایش داشته اند (شکل ۲۷).

برخلاف اتفاقی که برای جوش اتصال صفحه به تیر و ستون اتفاق افتاده بود، اضافه کردن کلیه سخت کننده ها مقادیر کرنش های پلاستیک جوش اتصال صفحه به تیر و ستون را افزایش داده است که بیشترین مقدار افزایش در نمونه با سخت کننده داخلی و در حدود ۱۴۰٪ بوده است. هم چنین در انتهای سیکل بارگذاری سخت کننده طولی باعث افزایش ۵ برابری در مقدار کرنش پلاستیک شده است. در نمونه با سخت کننده در لبه ورق نیز مقدار کرنش های پلاستیک نسبت به نمونه بدون سخت کننده افزایش کمتری داشته که در انتهای بارگذاری کاهش مقدار کرنش ها قابل مشاهده است (شکل



شکل ۲۹. وضعیت تغییر شکل‌های لبه در نمونه: الف) با سخت‌کننده در لبه ورق، ب) بدون سخت‌کننده
 Fig. 29. Edge deformation of the sample: a) with the stiffener at the edge, b) without the stiffener

جدول ۱۰. مقدار انرژی مستهلک شده در سه نمونه با سخت‌کننده مختلف
 Table 10. The values of dissipated energy for samples with different stiffeners

نمونه	انرژی مستهلک شده (kJ)	درصد اختلاف با نمونه RG
RG1	۲۲۰۹	۰
ESRG1	۲۵۵۰	۱۵/۴
CSRGI	۲۴۵۹	۱۱/۳
ISRG1	۲۴۸۸	۱۲/۶

کرنش‌های پلاستیک صفحه را کاهش داده است (جداول ۱۱ تا ۱۳).

۵-۵- بررسی اثرات استفاده از مهاربند با پروفیل تکی

برای بررسی اثرات استفاده از مهاربند با پروفیل تکی، از یک پروفیل با مساحتی برابر با پروفیل دابل مهاربندی استفاده شد. برای اینکه اندازه صفحه اتصال نسبت به حالت با مهاربند دابل تغییر نکند، و در عین حال طول مورد نیاز جوش اتصال مهاربند به صفحه تامین گردد، در حالت مهاربند با پروفیل تکی علاوه بر استفاده از دو خط جوش در دو طرف مهاربند، یک برش کوتاه طولی در مهاربند ایجاد شد و از دو خط جوش اضافی در داخل این برش استفاده گردید (شکل ۳۰).

بررسی مقادیر کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به مهاربند در دو نمونه نشان داد که با استفاده از مهاربند با پروفیل تکی، مقادیر کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به تیر و ستون به طور متوسط ۴۰ تا ۶۰٪ افزایش یافته است (شکل ۳۱). هم‌چنین مقادیر کرنش‌های پلاستیک حداکثر وسط دهانه مهاربند نیز به طور میانگین ۵۰٪ کاهش یافت (شکل ۳۲).

لبه شده است که در این نمونه‌ها سخت‌کننده‌ها وظیفه اصلی خود یعنی جلوگیری از کمانش لبه آزاد را به خوبی انجام داده‌اند (شکل ۲۹).

افزودن کلیه سخت‌کننده‌ها، موجب اتلاف انرژی بیشتر در نمونه شده است که بیشترین مقدار استهلاک انرژی در نمونه با سخت‌کننده در لبه ورق بوده است که در حدود ۱۵/۴ درصد بیشتر از نمونه بدون سخت‌کننده بوده است (جدول ۱۰).

سخت‌کننده لبه در تمامی ضخامت‌ها کرنش‌های پلاستیک صفحه را کاهش داده که بیشترین مقدار کاهش در ضخامت اول و در حدود ۵۲٪ بوده است. سخت‌کننده طولی نیز در ضخامت اول و دوم مقادیر کرنش‌های پلاستیک صفحه را کاهش داده است و در ضخامت سوم کرنش‌های پلاستیک صفحه را ۳۶٪ افزایش داده است. سخت‌کننده داخلی در تمامی ضخامت‌ها کرنش‌های پلاستیک حداکثر صفحه را افزایش داده است که بیشترین مقدار در ضخامت سوم، ۰/۱۷۴ بوده است که نسبت به نمونه بدون سخت‌کننده ۳۴٪ افزایش داشته است. بهترین عملکرد را در کاهش کرنش‌های پلاستیک صفحه اتصال، سخت‌کننده در لبه ورق داشته است که در تمامی ضخامت‌ها،

جدول ۱۱. مقدار کرنش‌های پلاستیک حداکثر در صفحه اتصال با سخت‌کننده در لبه ورق
 Table 11. The maximum plastic strain in the gusset plate with edge stiffeners

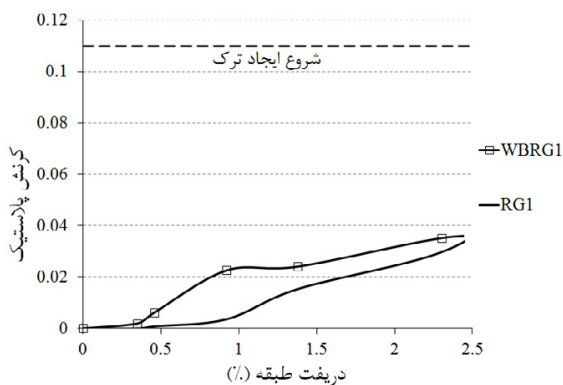
ESRG		RG	ضخامت صفحه (mm)
درصد اختلاف با نمونه RG	مقدار کرنش		
-۵۱/۶	۰/۰۵۸	۰/۱۲۶	۱۸/۸
-۲۹/۲	۰/۱۵۳	۰/۲۱۶	۱۲
-۳۳	۰/۰۸۷	۰/۱۳۰	۸

جدول ۱۲. مقدار کرنش‌های پلاستیک حداکثر در صفحه اتصال با سخت‌کننده طولی
 Table 12. The maximum plastic strain in the gusset plate with the longitudinal stiffener

CSRG		RG	ضخامت صفحه (mm)
درصد اختلاف با نمونه RG	مقدار کرنش		
-۱۲/۶	۰/۱۱۰	۰/۱۲۶	۱۸/۸
-۳۱	۰/۱۴۹	۰/۲۱۶	۱۲
۳۶/۱	۰/۱۷۷	۰/۱۳۰	۸

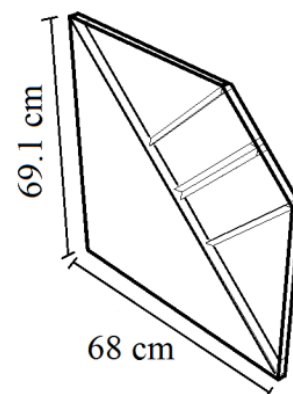
جدول ۱۳. مقدار کرنش‌های پلاستیک حداکثر در صفحه اتصال با سخت‌کننده داخلی
 Table 13. The maximum plastic strain in the gusset plate with the internal stiffener

ISRG		RG	ضخامت صفحه (mm)
درصد اختلاف با نمونه RG	مقدار کرنش		
۱۵/۱	۰/۱۴۵	۰/۱۲۶	۱۸/۸
۳/۲	۰/۲۲۳	۰/۲۱۶	۱۲
۳۳/۸	۰/۱۷۴	۰/۱۳۰	۸

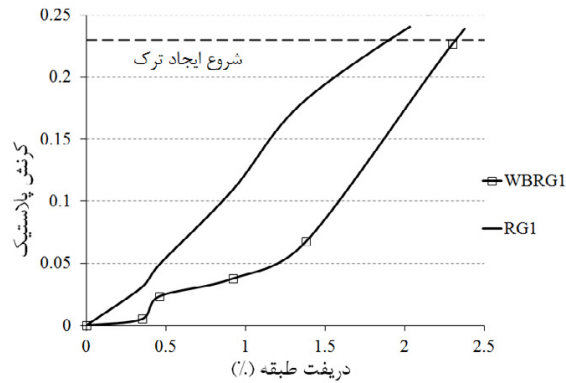


شکل ۳۱- نمودار کرنش پلاستیک- دریفت طبقه برای جوش اتصال صفحه به تیر و ستون در دو نمونه RG و WBRG

Fig. 31. Plastic strain-storey drift diagram for the weld of gusset plate to beam and column connection for RG and WBRG samples



شکل ۳۰- شماتیک نمونه WBRG
 Fig. 30. Schematic sample WBRG



شکل ۳۲. نمودار کرنش پلاستیک- دریفت طبقه برای وسط دهانه مهاربند در دو نمونه RG و WBRG

Fig. 32. Plastic strain-storey drift diagram for the mid span of the bracing for RG and WBRG samples

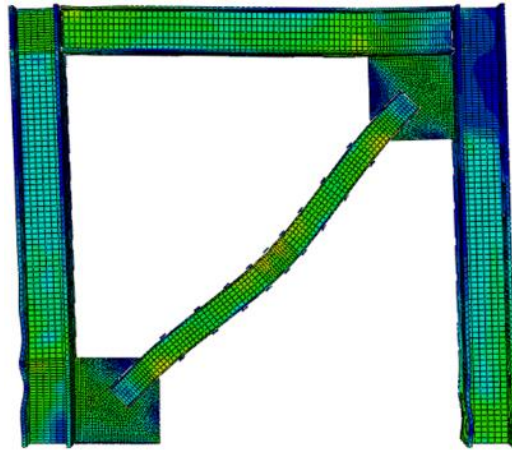
مهاربند، ۱۵٪ بیشتر از مدل با $\frac{1}{500}$ می‌باشد. اما مقاومت پس‌کمانشی کلیه نمونه‌ها با مقادیر مختلف خروج از مرکزیت مهاربند به یک مقدار میل می‌کند. برای تحقیق حاضر نیز با توجه به نتایج به‌دست آمده مقدار $\frac{1}{1000}$ برای خروج از مرکزیت اولیه در مهاربند در نظر گرفته شد که در مدل‌سازی‌های انجام شده مورد استفاده قرار گرفت.

برای صفحه اتصال مستطیلی با خط آزاد خمشی خطی در ضخامت $11/8$ mm، کمانش در نیروی 1216 kN رخ داده و نیروی حداکثر اعمالی در این مدل 2639 kN بوده‌است. البته مهاربند در تمامی مدل‌ها رفتار کمانشی پایدار از خود نشان داده و دارای مقاومت پس‌کمانشی بالا در ادامه بارگذاری در تمامی مدل‌ها بوده‌است و مشکلی برای ادامه بارگذاری وجود نداشته‌است. در همین مدل و در ضخامت 8 mm، نیروی حداکثر نمونه 2502 kN بوده‌است که در نیروی 2112 kN، صفحه دچار کمانش لبه و در نیروی 2368 kN دچار کمانش در انتهای آن شده‌است (شکل‌های ۳۱-ب و ۳۱-ج). برای نمونه دارای سخت‌کننده در لبه ورق و در ضخامت سوم، مقدار بار حداکثر اعمالی به مدل 2556 kN بوده‌است که در نیروی 2456 kN، صفحه در انتهای خود دچار کمانش موضعی شده‌است (شکل ۳۳-د). در نمونه با سخت‌کننده طولی در ضخامت اول هیچ‌گونه کمانش موضعی رخ نداده‌است ولی در ضخامت سوم با توجه به اینکه نیروی حداکثر مدل 2474 kN بوده‌است، در نیروی 2173 kN در لبه‌های آزاد صفحه اتصال، کمانش موضعی رخ داده‌است (شکل ۳۳-ه). نیروی حداکثر اعمالی در نمونه با سخت‌کننده داخلی و در ضخامت سوم، 2506 kN بوده‌است که در نیروی 2149 kN

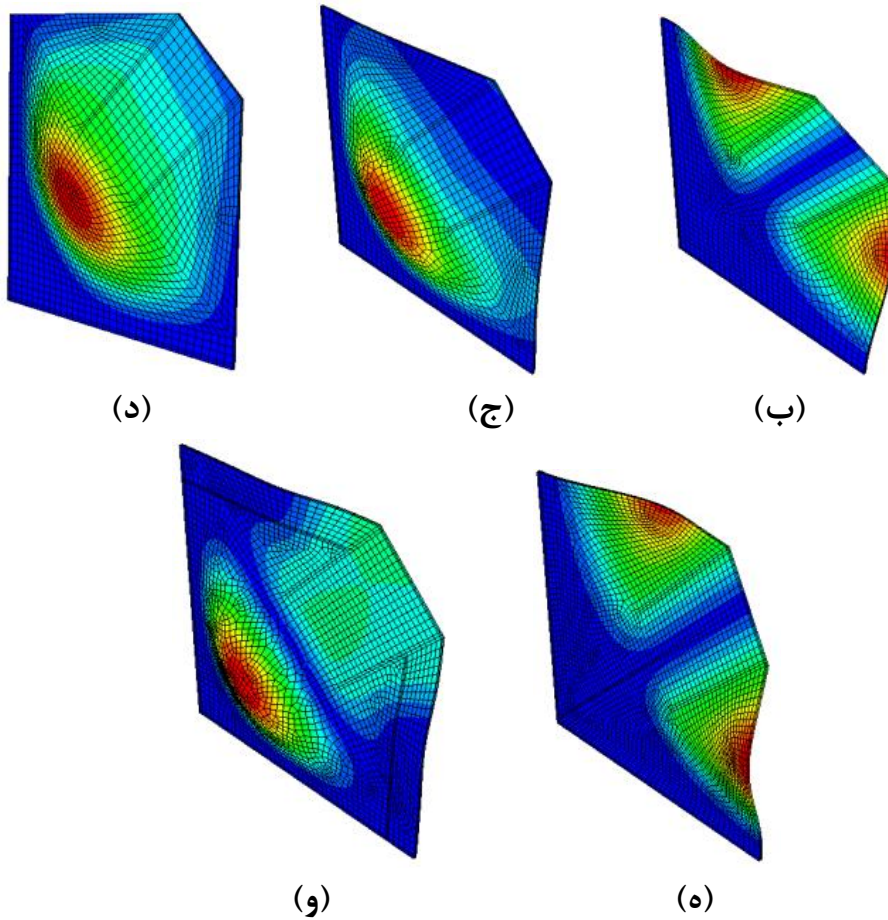
۶- بررسی کمانش موضعی در مدل‌ها

در این تحقیق به دلیل استفاده از صفحات با ضخامت‌های مختلف، لزوم بررسی کمانش‌های موضعی در تمامی مدل‌ها دیده می‌شود. در تمامی مدل‌های ساخته شده به دلیل وجود یک خروج از مرکزیت در وسط دهانه مهاربند، مد اول کمانش، کمانش خارج از صفحه مهاربند به صورت یک‌طرفه می‌باشد (شکل ۳۳-الف).

در تحقیقی که توسط ژانگ و همکاران [۹] به صورت آزمایشگاهی و نرم‌افزاری انجام شد، یکی از دلایل اصلی تفاوت بین بار کمانشی اولیه مهاربند در مدل آزمایشگاهی و نرم‌افزاری را خطاهای دستگاه آزمایش و نقص اولیه موجود در مهاربند مدل آزمایشگاهی اعلام کردند. به همین دلیل به بررسی این موضوع با پارامتری به عنوان غیر مستقیم بودن مهاربند پرداختند. برای این کار از $\frac{1}{4}$ مقدار $\frac{1}{500}$ ، $\frac{1}{1000}$ ، $\frac{1}{2000}$ و $\frac{1}{4000}$ طول مهاربند استفاده کردند و نشان دادند که نیروی کمانشی اولیه قاب مهاربندی با مقدار خروج از مرکزیت $\frac{1}{4000}$ طول مهاربند، ۲۱٪ بیشتر از مدل با $\frac{1}{500}$ می‌باشد. اما مقاومت پس‌کمانشی کلیه نمونه‌ها با مقادیر مختلف خروج از مرکزیت مهاربند به یک مقدار میل می‌کند. همچنین، تاثیرات نقص اولیه ایجاد شده پس از کمانش اولیه مهاربند به وضوح کاهش می‌یابد. برای تحقیق حاضر نیز، یک بررسی برای انتخاب یک مقدار معقول برای خروج از مرکزیت اولیه مهاربند انجام شد. برای این کار نیز از همان $\frac{1}{4}$ مقدار مورد بررسی در تحقیق ژانگ و همکاران [۹] استفاده شد. مدل‌ها ابتدا تحت جابجایی افزایشی تا مقدار حداکثر 15 cm قرار گرفتند. مشخص شد که نیروی کمانشی اولیه قاب مهاربندی با مقدار خروج از مرکزیت $\frac{1}{4000}$ طول



(الف)



شکل ۳۳. مد کمانش در نمونه: الف) RG (کمانش مهاربند)، ب) RG3 (کمانش لبه)، ج) RG3 (کمانش انتهای اتصال)، د) ESRG3، ه) CSRG3، و) ISRG3

Fig. 33. Buckling mode in: a) RG (bracing buckling), b) RG3 (edge buckling), c) RG3 (buckling of the end of the connection), d) ESRG3, e) CSRG3, f) ISRG3WBRG

پایدار خارج از صفحه مهاربند بوده است که در نیروی ۱۷۲۸ kN رخ داده است.

در انتهای صفحه اتصال، کمانش موضعی به صورت هارج از صفحه دیده شد (شکل ۳۳-و). در ضخامت اول نیز مد کمانش اصلی، کمانش

۷- نتیجه‌گیری

- [2] Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, (2010).
- [3] Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-05 and ANSI/AISC 341s1-05), American Institute of Steel Construction, Chicago, (2005).
- [4] W. A. Thornton, Seismic design of connections in concentrically braced frames, Cives Engineering Corporation, Rosewell, (2001).
- [5] Sh. J. Chen, Ch. Chang, Experimental study of low yield point steel gusset plate connections, Thin-Walled Structures, 57 (2012) 62-69.
- [6] P. Rosenstrauch, M. Sanayei, B. Brenner, Capacity analysis of gusset plate connections using the Whitmore, block shear, global section shear, and finite element methods, Engineering Structures, 48 (2013) 543-557.
- [7] S. Walbridge, G. Grondin, J. J. Cheng, Gusset plate connections under monotonic and cyclic loading, Canadian Journal of Civil Engineering, 32(5) (2005) 981-995.
- [8] R. Nascimbene, G. A. Rassati, K. K. Wijesundara, Numerical simulation of gusset plate connections with rectangular hollow section shape brace under quasi-static cyclic loading, Journal of Constructional Steel Research, 70 (2012) 177-89.
- [9] W. Zhang, H. Mingchao, Z. Yaochun, S. Yusong, Cyclic behavior studies on I-section inverted v-braces and their gusset plate connections, Journal of Constructional Steel Research, 67(3) (2011) 407-420.
- [10] E. L. Salih, L. Gardner, D. A. Nethercot, Numerical study of stainless steel gusset plate connections, Engineering Structures, 49 (2013) 448-464.
- [11] K. In-Tae, K, Fatigue strength improvement of longitudinal fillet welded out-of-plane gusset joints using air blast cleaning treatment, International Journal of Fatigue 48 (2013) 289-299.
- [12] Steel Construction Manual, 13th ed., American Institute of Steel Construction, Chicago, (2005).

- ۱- با کاهش ضخامت صفحه اتصال از ۱۸ mm به ۱۲ mm و ۸ mm به دلیل لاغرتر شدن صفحه، تمرکز تنش‌های فون میز به روی لبه منتقل شده‌است. همچنین مقدار انرژی استهلاک یافته در نمونه نیز تا ۲۰٪ کاهش می‌یابد.
- ۲- با کاهش اندازه صفحه اتصال، مقدار کرنش‌های پلاستیک صفحه اتصال افزایش یافته و مقدار انرژی استهلاک یافته در مدل کاهش می‌یابد.
- ۳- در صفحات اتصال با ضخامت کمتر با سخت‌کننده در لبه ورق وضعیت توزیع تنش‌های فون میز حالت یکنواخت‌تری پیدا کرده است. همچنین سخت‌کننده باعث از بین رفتن تغییرشکل‌های لبه شده‌است که در این نمونه‌ها سخت‌کننده‌ها وظیفه اصلی خود یعنی جلوگیری از کمانش لبه آزاد را به خوبی انجام داده‌اند.
- ۴- با خط آزاد خمش بیضوی تنش فون میز حداکثر صفحه اتصال ۳/۸ درصد نسبت به نمونه با خط آزاد خمشی افزایش پیدا کرده‌است، همچنین این تنش‌ها در سطح بیشتری روی خط آزاد خمشی توزیع شده‌اند.
- ۵- استفاده از مهاربند با پروفیل تکی، مقادیر کرنش‌های پلاستیک حداکثر وسط دهانه مهاربند را به طور متوسط در حدود ۵۰٪ کاهش داد. همچنین مقدار انرژی استهلاک یافته نیز ۲/۱ درصد افزایش پیدا کرد.
- ۶- بیشترین مقدار استهلاک انرژی در نمونه با سخت‌کننده در لبه ورق بوده‌است که نسبت به نمونه بدون سخت‌کننده حدود ۴/۱۵ درصد افزایش داشته‌است.
- ۷- با کاهش ضخامت صفحه اتصال، احتمال وقوع کمانش در لبه آزاد صفحه اتصال و در انتهای آن افزایش یافت.
- ۸- حذف خط آزاد خمشی مقادیر کرنش‌های پلاستیک جوش اتصال صفحه به مهاربند و کرنش‌های پلاستیک صفحه اتصال را به شدت افزایش می‌دهد.

مراجع

- [1] S. Salehi, Parametric study of gusset plates performance in concentric braced steel frames under cyclic loading, M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, (2014).

- M.Sc. Thesis, University of Calgary, (2001).
- [16] FEMA 356, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. (2000).
- [17] D. E. Lehman, C. W. Roeder, D. Herman, S. H. Johnson, B. Kotulka, Improved seismic performance of gusset plate connections, *Journal of Structural Engineering*, 134(6) (2008) 890-901.
- [13] Y. Cui, Y., H. Asada, S. Kishiki, S. Yamada, Ultimate strength of gusset plate connections with fillet welds, *Journal of Constructional Steel Research*, 75 (2012) 104-115.
- [14] H. Krawinkler, Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures, ATC-24, Applied Technology Council, (1992).
- [15] J. B. Shaback, Behavior of square HSS braces with end connections under reversed cyclic axial loading,

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Hejazi, Sh. Salehi, M.R. Zare, Parametric Study of Welded Gusset Plates Performance in Concentric Braced Steel Frames under Cyclic Loading, Amirkabir J. Civil Eng., 51(5) (2019) 943-962.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14163.5575](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14163.5575)

