



پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران

۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹

دانشگاه فردوسی مشهد



بررسی رفتار غیرخطی اتصالات صفحات بادبندی در تراز فونداسیون

منصور قلعه نوی، محمد جمال در محمدی طوسی

استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی - واحد زاهدان

Ghalehnovi@um.ac.ir

Mjdt.civil@yahoo.com

بادبندها به عنوان عناصر مقاوم زلزله به اشکال مختلف برای مقاوم سازی ساختمان در مقابل نیروهای زلزله به کار می روند. یکی از نکات مهم و برجسته در این خصوص نوع اتصالات بادبندها در محل اتصال به تیرها و ستونها می باشد. تا کنون مطالعات نسبتاً زیادی بر روی صفحات بادبندی، مربوط به صفحات اتصال بادبند به تیر و ستون در تراز طبقات صورت گرفته و عمدتاً بارهای استاتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله به بررسی رفتار غیرخطی اتصالات صفحات بادبندی در تراز فونداسیون پرداخته شده است. برخی از موارد مورد مطالعه در این تحقیق عبارتند از:

تلاش برای روشن شدن نحوه توزیع نیرو در اتصال بادبندی در تراز فونداسیون از زبایی مدلهای اجزاء محدود که رفتار اتصالات صفحه اتصال فولادی را در تراز فونداسیون تحت بارگذاری یکنواخت پیش بینی می کند.

اصلاح روشهای اجرایی مرسوم این اتصالات در ایران.

در این تحقیق از تحلیل استاتیکی غیرخطی افزایشی در نرم افزار ANSYS استفاده گردیده است که ستونها با ۳IPE۱۴ و بادبندها با ۲UNP مدل سازی شده و ورقهای بادبندی و کف ستون با ضخامت مشخص، جهت بررسی رفتار غیرخطی اتصالات به کار رفته است. سپس با افزودن ورقی به کف ستون در راستای ورق بادبندی به طوریکه کلیه نقاط اتصال به کف ستون جوش شده، نتایج مجدداً مورد بررسی قرار گرفت.

با استفاده از نتایج به دست آمده از تحلیلهای فوق که شامل ظرفیت خمشی و تغییر مکان می باشد، اشکالات موجود در جوش اتصال بر روی ظرفیت باربری این اتصالات بررسی شده و راهکارهایی جهت بهبود رفتار اتصال پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: اتصالات بادبندی، تحلیل استاتیکی غیرخطی، ANSYS



پنجمین گنگره ملی مهندسی عمران



5th National Congress on Civil Engineering

۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

4-6 May, 2010

به نام خداوند جان و خرد * کزین برتر اندیشه برگزید

کواهی ارائه مقاله

جناب آقای منصور قلعه نوی

باساس از حضور ارزشمند جنابعالی در پنجمین گنگره ملی مهندسی عمران بدینوسیله کواهی می شود که مقاله جنابعالی با عنوان

« بررسی رفتار غیرخطی اتصالات صفحات باندنی در تراز فونداسیون »

در محمدی طوسی، قلعه نوی

در این گنگره ارائه شده و در مجموعه مقالات آن نیز درج گردیده است. امید است تلاش شما در عرصه های گوناگون دانش و فناوری

بویژه مهندسی عمران در راه اعتلای نام و آوازه ایران عزیزمان پرثمرتر باشد.

دکتر جعفر بلوری بنزاز

دیرپنجمین گنگره ملی مهندسی عمران



شرکت میان زاویه تریب



وزارت راه و ترابری



وزارت بهداشت



وزارت آموزش عالی



وزارت علم، تحقیقات و فناوری



وزارت نیرو



وزارت مسکن، شهرسازی و معماری





بررسی رفتار غیر خطی اتصالات صفحات بادبندی در تراز فونداسیون

منصور قلعه نوی^۱، محمد جمال در محمدی طوسی^۲،

استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی - واحد زاهدان

Ghalehnovi@um.ac.ir

Mjdt.civil@yahoo.com

خلاصه

بادبندها به عنوان عناصر مقاوم زلزله به اشکال مختلف برای مقاوم سازی ساختمان در مقابل نیروهای زلزله به کار می روند. یکی از نکات مهم و برجسته در این خصوص نوع اتصالات بادبندها در محل اتصال به تیرها و ستونها می باشد. تا کنون مطالعات نسبتاً زیادی بر روی صفحات بادبندی، مربوط به صفحات اتصال بادبند به تیر و ستون در تراز طبقات صورت گرفته و عمدتاً بارهای استاتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله به بررسی رفتار غیرخطی اتصالات صفحات بادبندی در تراز فونداسیون پرداخته شده است. در این تحقیق از تحلیل استاتیکی غیرخطی افزایشی در نرم افزار ANSYS استفاده گردیده است که ستونها با 3IPE14 و بادبندها با 2UNP مدلسازی شده و ورقهای بادبندی و کف ستون با ضخامت مشخص، جهت بررسی رفتار غیرخطی اتصالات به کار رفته است. سپس با افزودن ورقی به کف ستون در راستای ورق بادبندی به طوریکه کلیه نقاط اتصال به کف ستون جوش شده، نتایج مجدداً مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نتایج به دست آمده از تحلیلهای فوق که شامل ظرفیت خمشی و تغییر مکان می باشد، اشکالات موجود در جوش اتصال بر روی ظرفیت باربری این اتصالات بررسی شده و راهکارهایی جهت بهبود رفتار اتصال پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: اتصالات بادبندی، تحلیل استاتیکی غیر خطی، ANSYS

۱. مقدمه

بعلت رفتار پیچیده ورق اتصال در قابهای با بادبندهای هم محور (CBF) روشهای طراحی اتصالات در این ورقها به شکل گسترده ای ساده سازی شده- اند. با وجود اینکه کفایت این روشها به اثبات رسیده است اما به نظر می رسد که ضریب اطمینان مرتبط با مورد استفاده آنها بسیار متغیر است. تاکنون تمرکز اصلی تحقیقات انجام شده در زمینه ورقهای اتصال بر روی نحوه توزیع تنش الاستیک یا رفتار غیر الاستیک ورقهای اتصال تحت اثر بارهای یکنواخت در کشش بوده است. با این حال تاکنون در مورد تأثیر طول جوش افقی در ورقهای اتصال بادبند به کف ستون انجام نشده است. در بسیاری موارد بعلت کوچک بودن کف ستون طول جوش افقی ورق اتصال به کف ستون بسیار کوتاه بوده بطوریکه عملاً نقشی در تحمل بارهای وارده نداشته و طراحان با افزایش طول جوش عمودی ورق اتصال به ستون سعی در جبران این نقیصه دارند. در این پژوهش با افزودن یک ورق متناسب با طول جوش افقی مورد نیاز سعی در برطرف کردن این ایراد و بهبود عملکرد ورق اتصال بادبند به کف ستون و در نهایت قاب مهاربندی شده گشته است [1].



۲. تحقیقات انجام شده

اکثر قاب‌های مهاربندی شده با بادبند هم محور جهت پخش انرژی از طریق تسلیم یا کماتش اعضای بادبندی طراحی شده‌اند. این روش‌ها بر مبنای فلسفه طراحی بر اساس ظرفیت استوار می‌باشند. اخیراً یکسری مطالعات و آزمایشات در دانشگاه آلبرتا انجام شده است تا رفتار چرخه‌ای و فشاری اتصالات ورقهای اتصال را بررسی نمایند [1].

تورنتون یک روش کران پائین برای تعیین مقاومت فشاری اتصالات با ورق ارائه نمود [3]. به صورتی که در این روش فرض می‌شود نیروی فشاری در ورق اتصال به وسیله ستون فرضی‌ای تحمل می‌شود که در بین انتهای بادبند و لبه‌های تیروستون متقاطع واقع است. روش پیشنهادی تورنتون برای محاسبه ظرفیت کماتش ارتجاعی متعاقباً برای در بر گرفتن اثرات غیر ارتجاعی نیر توسعه داده شد [2].

هو و چنگ یک تحقیق آزمایشگاهی و عددی بر روی رفتار کماتشی اتصالات با ورق که تحت بارهای فشاری یکنوا قرار داده می‌شدند انجام دادند [1]. برنامه آزمایشگاهی آنها بر روی اثرات ضخامت ورق، هندسه، شرایط مرزی و خروج از مرکزیت متمرکز بود. کار هو و چنگ نشان داد که کماتش ورق‌های نازک در باری بسیار پائین تر از بار تسلیمی اتفاق می‌افتد که با استفاده از روش ویتور به دست می‌آید.

یام و چنگ ملاحظه اثرات ضخامت و اندازه ورق اتصال زاویه بادبند شرایط گیرداری خارج از صفحه باد بند ممان‌های خمشی مود در اعضای قاب و برون محوری خارج از صفحه بار وارده در مهاربند را بر روی رفتار و مقاومت ورق‌های اتصال تحت بار فشاری مورد بررسی قرار دادند. یام و چنگ ملاحظه نمودند که ظرفیت فشاری نمونه‌های ورق اتصال تقریباً نسبت مستقیم با ضخامتشان دارند. ممان خمشی موجود در تیر و ستون مجاور در حوزه مورد مطالعه اثر چندانی بر ظرفیت فشاری ورق نداشتند. همچنین نتایج بررسی‌های آنها نشان داد روش پیشنهادی تورنتون برای تخمین ظرفیت ورق‌های اتصال محافظه کارانه است [4].

آستانه اصل و همکاران رفتار چرخه‌ای باد بندهایی متشکل از جفت نبشی پشت به پشت متصل به ورق اتصال را مطالعه نمودند. موضوع اصلی کار آنها نیز رفتار بادبند بود کماتش خارج از صفحه و داخل صفحه باد بند ها مورد مطالعه قرار گرفت. کاهش قابل ملاحظه ظرفیت و رفتار ترد ورق‌های اتصال در برخی از نمونه‌های آنها ملاحظه شد برای جلوگیری از این رفتار ترد آنها پیشنهاد کردند در بین انتهای بادبند و خطی که انتقال اتصال ورق به اعضای قاب را به هم وصل می‌کند یک طول کماتش آزاد به اندازه دو برابر ضخامت ورق اتصال ایجاد شود [2].

در تحقیقی که توسط دکتر آقا کوچک و آرش قلمی فرد انجام گرفت رفتار ورق‌های اتصال با استفاده از نرم افزار ANSYS تعدادی مدل با لحاظ نمودن اثر سختی اعضای قاب، رفتار غیر خطی مواد و اشکالات اولیه قطعات ساخته شد و مطالعه پارامتریک جهت بررسی اثر کشش ورق اتصال و مهاربند تحت بارهای چرخه‌ای و تأثیر ضخامت ورق اتصال، سختی مهاربند و اعضای قاب انجام گرفت [5]. نتایج این تحقیق نشان دادند که مکانیسم خرابی حاکم در هر دو صورت جاری شدگی ورق و جاری شدگی بادبند تأثیر چندانی بر عملکرد اتصال در بازه تغییر شکل‌های مطالعه شده ندارد و کماتش ورق اتصال منجر به کاهش کمی در ظرفیت فشاری اتصال می‌گردد. همچنین در این حالت اتصال عملکرد پایدار تری دارد.

۳. مدل‌سازی اجزا محدود

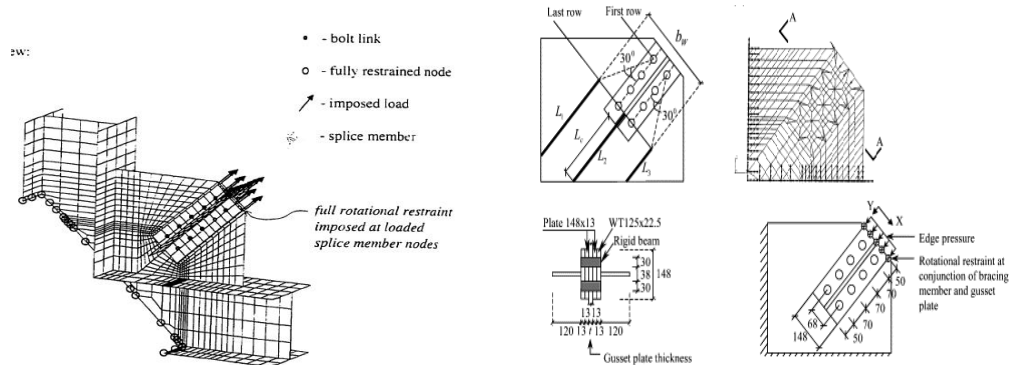
جهت مدل‌سازی و بررسی تأثیر افزایش طول جوش افقی ورق اتصال بادبند به کف ستون، که با استفاده از یک ورق که در کنار کف ستون قرار گرفته و باعث افزایش طول جوش افقی می‌گردد، نرم افزار ANSYS مورد استفاده قرار گرفته است. در ابتدا جهت صحت سنجی مدل‌سازی انجام شده، مدل ساخته شده توسط یام و چنگ [7] و شنگ و یام [6] در نرم افزار مدل شده و تحت بارگذاری فشاری یکنواخت قرار گرفته است و نتایج حاصله با نتایج مدل یام و چنگ مقایسه گشته است. در ادامه دو مدل که مشخصات آنها در ادامه خواهد آمد مدل‌سازی، تحلیل و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳.۱. ارزیابی مدل اجزا محدود

جهت اطمینان از نحوه مدل‌سازی و نتایج بدست آمده از مدل آزمایشگاهی یام و چنگ (شکل ۱) با مشخصات زیر و مدل نرم افزاری آنها (شکل ۲) استفاده گردیده است.

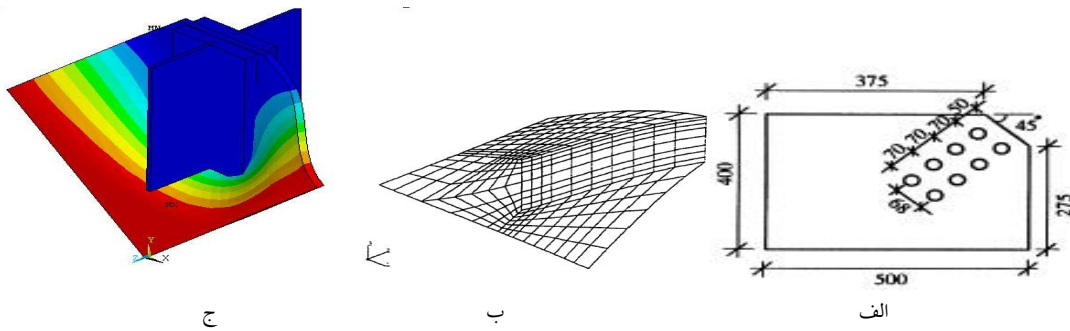


مدل	اندازه ورق اتصال (mm)	ضخامت ورق (mm)	زاویه بادبند (درجه)	بار نهایی (KN)
GPI	۵۰۰×۴۰۰	۱۳/۳	۴۵	۱۹۵۶

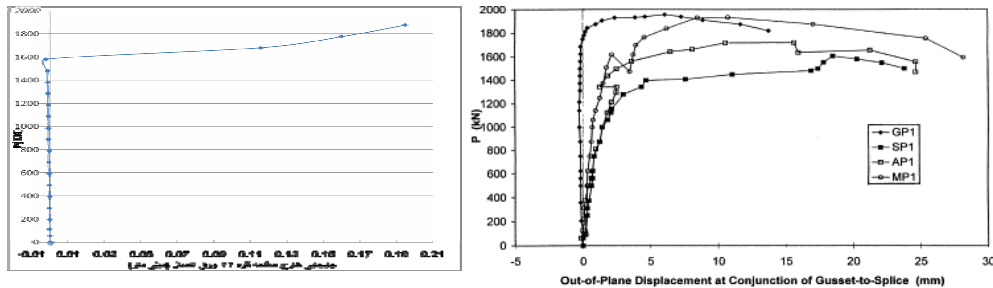


شکل ۱: مدل آزمایشگاهی انجام شده توسط یام و شنگ [6] شکل ۲: مدل انجام شده در ABAQUS توسط یام و شنگ [6]

جهت مدل‌سازی مدل GPI در نرم افزار ANSYS از المان SHELL43 استفاده شده است (شکل ۳). در شکل ۴ نتیجه بدست آمده از آنالیز با نتیجه بدست آمده از مدل شنگ و یام مقایسه گردیده است.



شکل ۳: الف - مدل GPI انجام شده در ANSYS در این مقاله، ب- تغییر شکل مدل نرم افزاری یام و شنگ [6]، ج- تغییر شکل مدل تحلیل شده در این مقاله



شکل ۴: مقایسه نمودار جابجایی خارج از صفحه مدل شنگ و یام [6] و مدل انجام شده در این مقاله

همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد با توجه به دو نمودار نشان داده شده، بار نهایی وارده به ورق اتصال در هر دو مدل بسیار نزدیک به یکدیگر و حدود ۱۸۷۰ کیلو نیوتن بوده و بدین ترتیب صحت مدل‌سازی و تحلیل مشخص می‌گردد.



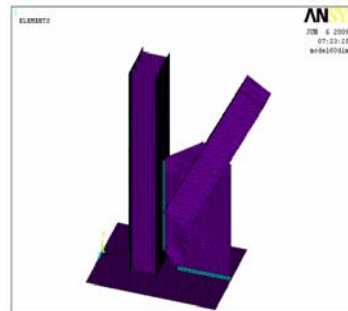
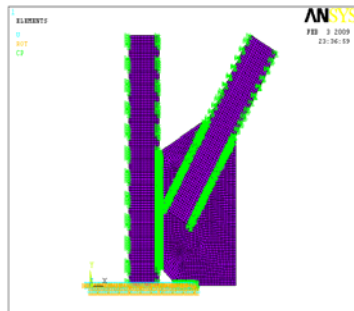
۲,۳. مدلسازی و تحلیل مدل های با کف ستون اصلاح شده

جهت بررسی نقش ورق کمکی بعنوان افزاینده طول جوش افقی ورق اتصال به کف ستون چهار مدل بدون افزودن ورق کمکی با زوایای بادبند ۴۵ درجه و ۶۰ درجه و چهار مدل با افزودن ورق کمکی با زوایای ۴۵ درجه و ۶۰ درجه در نرم افزار ANSYS مدل و تحلیل شده اند. مشخصات مشترک مدل ها به صورت زیر می باشد

جدول ۱- مشخصات مدل های انجام شده در نرم افزار ANSYS

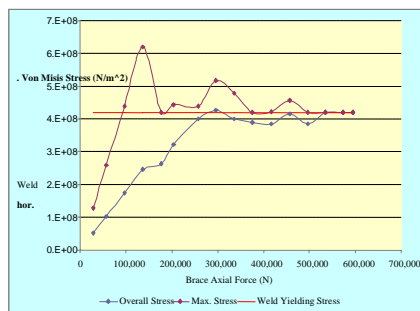
مدل	ستون	بادبند	زاویه بادبند با افق	کف ستون (cm)	ضخامت ورق اتصال (cm) بادبند
60d و 45d	3IPE140	2UNP140	۴۵ و ۶۰ درجه	۵۰×۵۰×۲/۵	۱,۶

در مدل های اصلاح شده 60dtm, 45dtm, 45dm, 60dm یک ورق کمکی جهت تأمین طول جوش افقی در کنار کف ستون قرار گرفته است که باعث امتداد جوش افقی ورق اتصال به کف ستون به اندازه مورد نیاز می شود. جهت مدلسازی و تحلیل مدل های فوق از المان SHELL43 برای ورق ها و اعضای بادبندی و ستون و از المان SOLID95 (Prism case) برای مدل کردن جوش ورق اتصال به کف ستون و ستون استفاده شده است. در شکل ۵ مدل های مذکور نشان داده شده اند.

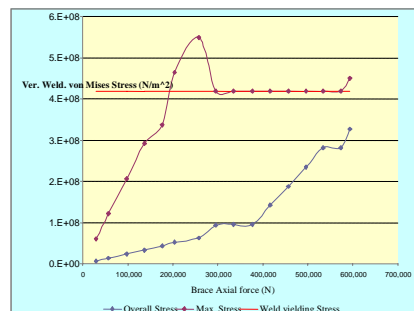


شکل ۵: الف - مدل 60d بادبند با زاویه ۶۰ درجه ب- مدل 60dm بادبند با زاویه ۶۰ درجه و ورق کمکی کف ستون

پس از مدلسازی، هشت مدل فوق تحت بارگذاری های فشاری و کششی یکنواخت قرار گرفته و نتایج آن در شکل های ۶ الی ۱۳ ارائه شده است. این نتایج شامل تنش های فون مایسز در جوش های افقی و قائم هر چهار مدل می باشد. تنش ها به دو صورت کلی و ماکزیمم نشان داده شده اند که تنش کلی بیانگر تنش حاکم در جوش و تنش ماکزیمم نشان دهنده تنش موضعی ماکزیمم می باشد.

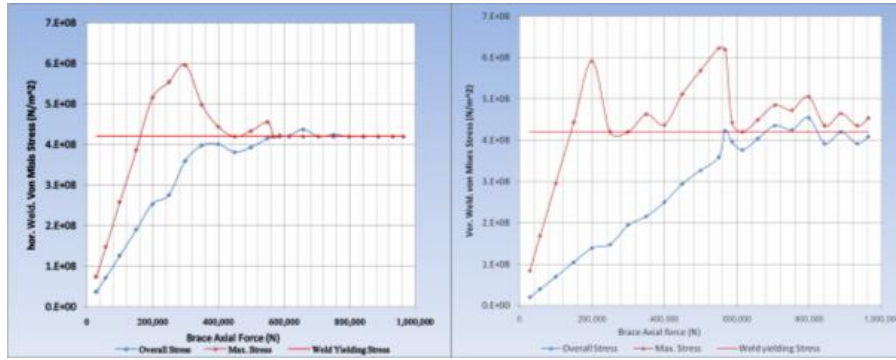


ب



الف

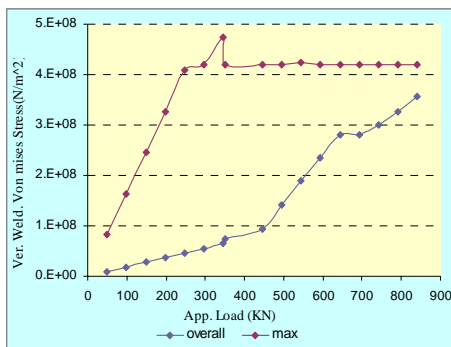
شکل ۶: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 45d، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 45d،



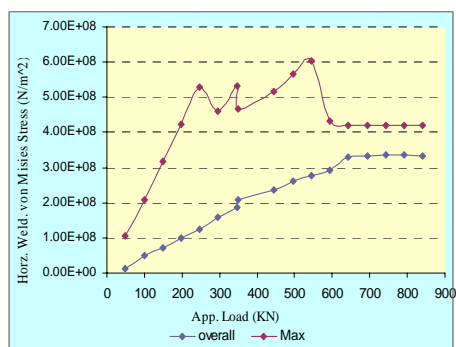
ب

الف

شکل ۷: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 60d، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 60d،

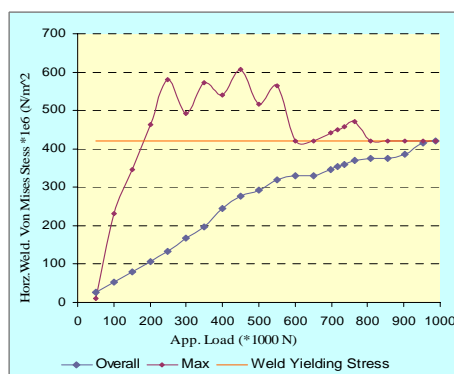


ب

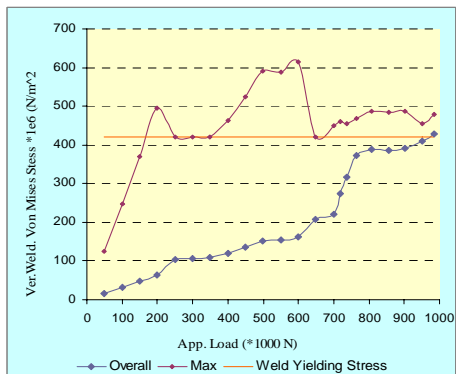


الف

شکل ۸: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 45dm، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 45dm

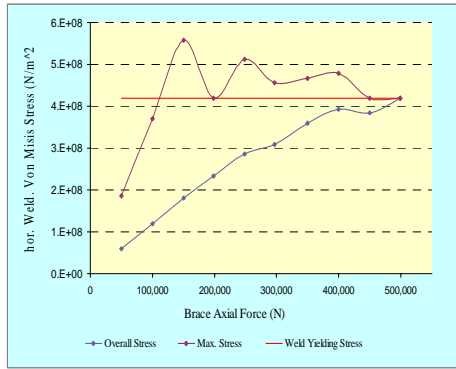


ب

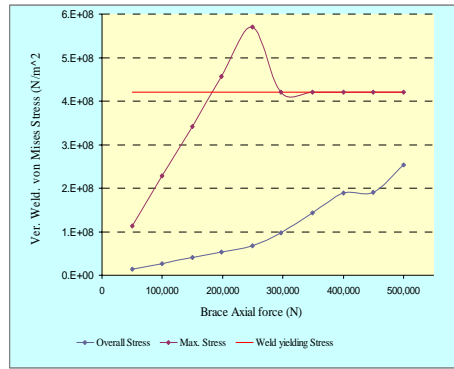


الف

شکل ۹: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 60dm، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 60dm

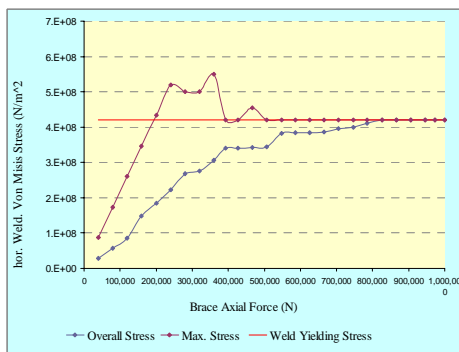


ب

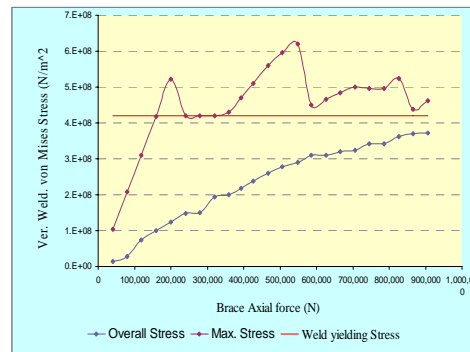


الف

شکل ۱۰: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 45dt، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 45dt

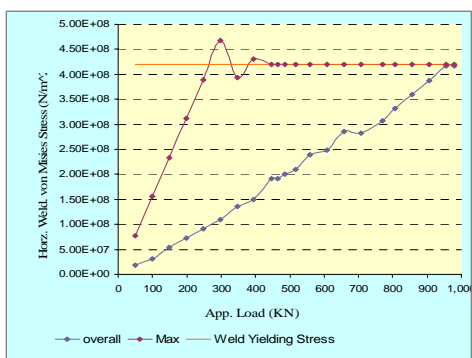


ب

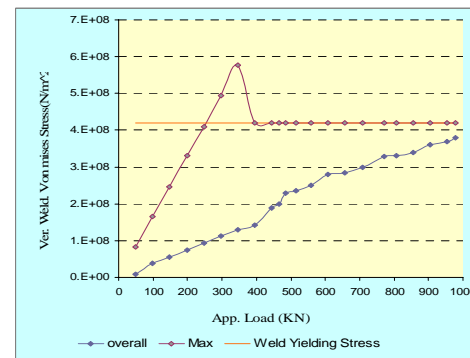


الف

شکل ۱۱: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 60dt، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 60dt

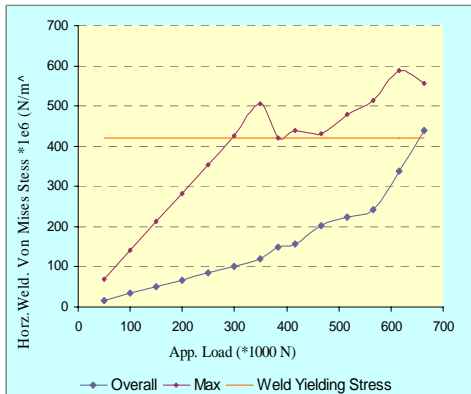


ب

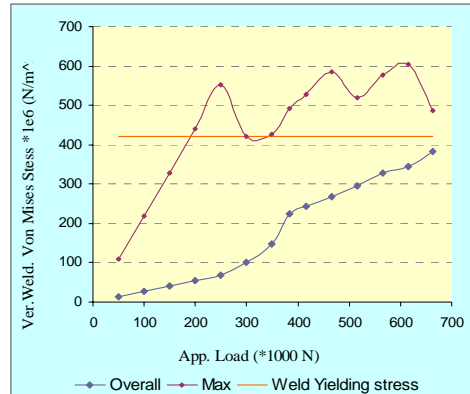


الف

شکل ۱۲: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 45dt m، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 45dt m



ب

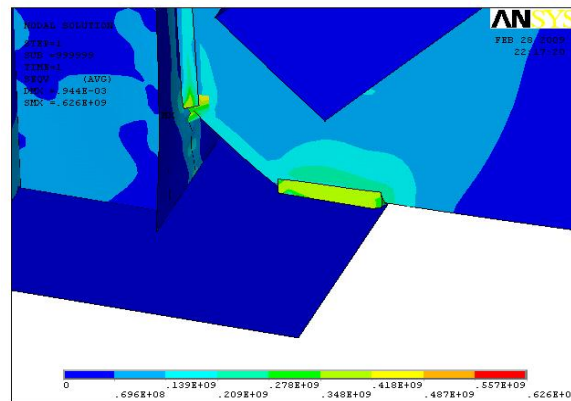


الف

شکل ۱۳: الف - نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در جوش قائم ورق اتصال مدل 60dt m، ب- نمودار تنش فون مایسز کلی و ماکزیمم در افقی ورق اتصال مدل 60dt m.

۴. بررسی نتایج

با توجه به نتایج حاصله از نمودار شکل های ۷ و ۱۱ که مربوط به مدل با زاویه بادبند ۶۰ درجه و بدون ورق کمکی می باشد مشاهده می گردد در حالیکه بار نهایی که مدل ها برای آن بار طراحی گشته اند حدود ۱۰۰۰ کیلو نیوتن می باشد اما تنش کلی در جوش افقی در بار حدود ۶۰۰ کیلو نیوتن به حد تسلیم رسیده ولی جوش قائم تا حدودی قادر به تحمل بار وارده می باشد اما پس از تسلیم کامل جوش افقی جوش قائم نیز ظرفیت لازم جهت تحمل بارهای وارده را ندارد. این امر نشانگر این امر است که عملاً افزایش طول جوش قائم بعث کوتاهی طول جوش افقی نمی تواند باعث افزایش باربری سیستم گردد. با کاهش زاویه بادبند از ۶۰ درجه به ۴۵ درجه و افزایش مولفه افقی بار وارده، مشاهده می گردد که جوش افقی به سرعت در بار حدود ۳۰۰ کیلو نیوتن به حد تسلیم رسیده اما مشاهده می گردد که تنش در جوش قائم بسیار کمتر از حد تسلیم می باشد (شکل های ۱۰ و ۱۱). این امر بعث طرح صحیح جوش قائم نمی باشد بلکه ناشی از ترکیب تنشهای برشی جوش قائم با تنش نرمال در آن، که ناشی از مولفه افقی بار وارده به سیستم می باشد، بوده که این امر باعث اعمال بار فشاری غیر منتظره به بال و جان ستون در پایین ترین نقطه اتصال ورق بادبند به ستون و در نتیجه تسلیم آن گشته است (شکل ۱۴). اما با افزودن ورق کمکی به ورق کف ستون و افزایش طول جوش افقی ورق اتصال به کف ستون توزیع تنشها در جوشها به شکل منطقی انجام شده و باعث افزایش ظرفیت باربری سیستم گشته است. همانطور که در شکل های ۸ و ۱۲ مشاهده می گردد جوش افقی در نزدیکی بار نهایی در بار حدود ۹۳۰ کیلو نیوتن به حد تسلیم رسیده در عین حال تنش در جوش قائم نیز به شکل منطقی تا همان بار حدود ۹۳۰ کیلو نیوتن قابلیت باربری خود را حفظ نموده است که نشانگر بهبود چشمگیر عملکرد جوش افقی و در نتیجه کل سیستم شده است. در شکل های ۹ و ۱۳ نیز همین بهبود عملکرد مشاهده می گردد با این تفاوت که قبل از رسیدن به بار نهایی جان ستون بر اثر بار وارده تسلیم گشته که این امر بر اثر تمرکز تنش در نقطه پائینی محل اتصال ورق اتصال به ستون رخ داده است. این مشکل در هر دو مدل با زاویه ۴۵ درجه قابل مشاهده است که علت آن برش گوشه ورق اتصال جهت اجرای اتصال نبشی پای ستون به کف ستون و در نتیجه تمرکز تنش در پایین ترین نقطه اتصال ورق اتصال به ستون می باشد. بدین ترتیب می توان نتیجه گرفت در صورت رفع این برش با در نظر گرفت تمهیدات خاص می توان از تمرکز تنش در این محل جلوگیری کرده و امکان عملکرد مناسب به سیستم داده شود.



شکل ۱۴- خرابی جان و بال ستون در محل اتصال به ورق اتصال در مدل 45d

نتیجه گیری

با توجه به موارد ذکر شده در قسمت‌های قبل می‌توان نتیجه گیری کرد:

- در قاب‌هایی که بعلت کوچکی کف ستون امکان تأمین طول جوش افقی ورق اتصال بادنبد به کف ستون وجود ندارد افزایش طول قائم به تنهایی نمی‌تواند کاهش طول جوش افقی را جبران نماید.
- با افزودن ورق کمکی به کف ستون جهت تأمین طول جوش افقی کافی جهت اتصال ورق اتصال بادنبد به کف ستون می‌توان بهبود چشمگیری در رفتار قاب در مقابل بار وارده مشاهده کرد که این امر ناشی از توزیع مناسب تنش‌ها در جوش‌های افقی و قائم می‌باشد.
- ایجاد برش در گوشه ورق اتصال جهت اجرای اتصالات پای ستون باعث افزایش تمرکز تنش در محل اتصال ورق اتصال بادنبد به ستون گشته در نتیجه باعث تسلیم پیش از موعد بال و جان ستون می‌گردد که باعث نقص در عملکرد کلی قاب می‌گردد.

منابع و مراجع

[1] Walbridge, S.S., Grondin, G.Y. and Cheng, J.J.R. , An analysis of the cyclic behavior of steel gusset plate connections , Structural Engineering Report No. 225, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta ,Edmonton , Alta, 1998.

[2] Astaneh-Asl, A., Seismic behavior and design of gusset plates in steel technical information and product services (Steel TIPS) report. Moraga, CA: Structural Steel Educational Council, 1998.

[3] Thornton, W.A., Bracing connection for heavy construction, AISC Engineering Journal, Vol. 21, Issue 3, 1984, pp. 139-148.

[4] Yam, C.H. and Cheng, J.J.R. , Experimental investigation of the compressive behavior of gusset plate connections, Structural Engineering Report No. 197, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta ,Edmonton , Alta, 1993.

[5] آقا کوچک، علی اکبر و قلمی فرد، آرش؛ بررسی رفتار ورق‌های اتصال و مهاربندی فولادی همگرا تحت اثر بارهای یکنوا و چرخه‌ای، مجموعه مقالات چهارمین کنگره ملی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ماه ۱۳۸۷.

[6] Sheng, N., Yam, C.H. and Iu, V.P. , Analytical investigation and design of the compression strength of steel gusset plate connections, Journal of construction steel research, Vol. 58, Issue 11, 2002 ,pp. 1437-1493.

[7] Yam, C.H. and Cheng, J.J.R. , behavior and design of gusset plate connections, Journal of construction steel research, Vol. 58, Issue 5-8, 2002 ,pp. 1143-1159.