



مطالعه تجربی و مدلسازی اتصالات خمشی فولادی با صفحات کناری و ارائه هندسه جدید جهت بهبود رفتار اتصال

مرتضی نقی پور^۱، مهدی قائدرحمت^۲
(دریافت: ۸۸/۷/۱۵، پذیرش: ۸۹/۱/۱۸)

چکیده

زلزله نورث ریج در سال ۱۹۹۴ نقطه عطفی در طراحی اتصالات خمشی تیر به ستون می باشد که سبب آشکار شدن ضعفهای عمده اتصالات خمشی رایج آن زمان گردید. اتصال با صفحات کناری از نوع اتصالات تقویتی مطرح شده بعد از زلزله است که قادر به برطرف نمودن ضعفهای قبلی می باشد. طبق آزمایشات مشخص گردیده که در حین بارگذاری، بال تیر و جوشهای آن در مجاورت ناحیه جعبه ای اتصال محل آغاز ترک و گسیختگی است که در اثر تمرکز تنش رخ می دهد. در این تحقیق جهت رفع این ضعف، راهکار ارائه شده و قطعات جدیدی به مدل اضافه شده که هندسه آن توسط مدلسازی با استفاده از روش اجزای محدود و نرم افزار ANSYS به کمک روش برنامه نویسی پارامتری آن (APDL) تحلیل غیر خطی مادی و هندسی گردیده است همچنین جهت تأیید نتایج کار آزمایشگاهی نیز صورت گرفته است. نتایج نشان می دهد هندسه جدید ارائه شده سبب برطرف نمودن ضعف مذکور خواهد شد و نیز موجب افزایش ظرفیت باربری و بهبود عملکرد اتصال می شود. طبق نتایج، اتصال مورد مطالعه جزء اتصالات گیردار خمشی ویژه (SMF) محسوب می شود.

کلمات کلیدی

اتصالات خمشی، صفحات کناری، قاب خمشی ویژه، تمرکز تنش

An Experimental Study and Modeling of Steel beam to Column Connections with Side Plates and Improvement of its Behavior Using a New Geometrical Shape

M. Naghipour, M. Ghaedrahmat

ABSTRACT

The Northridge earthquake on 1994 was a turning point in the design of rigid beam to column connection and revealed some major weaknesses in those types of connections that were being implemented in that time. Connection with side plates is a kind of improved connection which was proposed after the earthquake and can lead to healing those major weaknesses. According to the experiments it was observed that during the loading as a result of stress concentration the beam flange and its welds that are close to the side plate are the starting point to crack and failure. In this research in order to overcome these weaknesses, a new method has been proposed and new parts have been modeled and nonlinearly analyzed both materially and geometrically using programming in Ansys software. Also in order to validate the results obtained from modeling an experimental work has been done to backup the conclusion. The results verify that the new shape of connection would overcome the existing weaknesses as well as increasing strength capacity and better performance of the connection is achieved. According the results the experimented connection is accounted as a connection of special moment frame (SMF).

Key words

Beam to Column Connection, Side Plates, Special Moment Frames, Stress Concentration

۱. دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی بابل، m-naghi@nit.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲. مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد دورود، mghaedrahmat@yahoo.com

این اتصال قادر است تمامی مشکلات اتصالات قبل از این زلزله را برطرف کند. از مزایای این اتصال می توان به حذف تنشهای سه محوره جوش بال تیر به ستون، دور نگه داشتن مفصل پلاستیک از ناحیه اتصال، رفع مشکلات ناحیه پانلی ستون و نیز افزایش سختی قاب در برابر نیروهای جانبی اشاره کرد همچنین قادر است نیروهای محوری ستون قطع شده بر اثر قطع موضعی ناشی از انفجار را تحمل کند [۴].

۲- تقسیم بندی اتصالات خمشی طبق دستورالعمل

FEMA350

در این دستورالعمل، قاب های خمشی به قاب خمشی ویژه (SMF) و خمشی معمولی (OMF) تقسیم می شوند. زوایای دریفت^۱ حداقل این اتصالات در جدول (۱) آمده است و در آن θ_{SD} چرخش اتصال در مقاومت حداکثر و θ_u چرخش لحظه گسیختگی است. زاویه دریفت "کاهش مقاومت" یعنی زاویه ی که در آن یا خرابی اتصال رخ می دهد یا مقاومت اتصال به کمتر ظرفیت اسمی پلاستیک تیر کاهش می یابد. زاویه دریفت "نهایی"^۲ زاویه ای است که در این زاویه میزان آسیب اتصال به حدی شدید است که توانایی اتصال برای پایداری تحت بارها نقلی نامعلوم می باشد [۵].

۳- تعیین زاویه دریفت طبقه

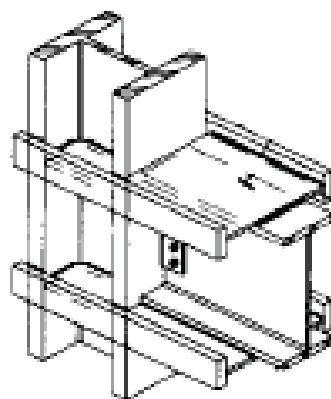
برای تعیین زاویه دریفت برای حالات یک طرفه و دوطرفه مطابق بارگذاری و روابط شکل (۳) عمل می شود [۵].

۴- هندسه اتصال با صفحات کناری

اتصال با ورق کناری در قاب های فولادی برای اتصالات گیر دار تیر به ستون به منظور طراحی قاب های خمشی

جان تیر از ورقهای پیوستگی استفاده می شود. در اتصال با صفحات کناری تمام جوش های استفاده شده از نوع

بعد از زلزله نورث ریچ در سال ۱۹۹۴ که سبب آسیبهای جدی اتصالات خمشی گردید [۱]، اتصالات جدیدی برای برطرف کردن مشکلات اتصالات خمشی رایج آن زمان مطرح شد. یکی از اتصالات طرح شده، اتصال گیردار تیر به ستون با صفحات کناری^۱ می باشد که ابتدا توسط سابول^۲ به صورت چهار ورق کناری مجزا در تراز بال بالایی و پایینی تیر مطابق شکل (۱) ارائه شد [۲]. سپس توسط هافتون^۳ در سال ۱۹۹۷ شکل امروزی آن مطرح شد [۳] که هندسه آن در شکل (۲) مشاهده می شود.



شکل (۱): هندسه اولیه اتصال با ورق کناری [۲]



شکل (۲): هندسه کنونی اتصال با ورق کناری [۳]

۱- Sideplate
۴- Drift angle

۲- Sabol
۵- Reduction Strength

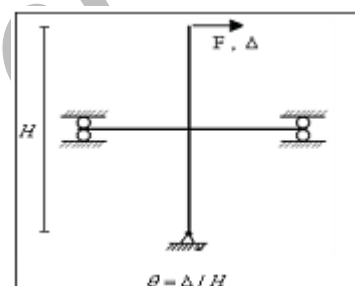
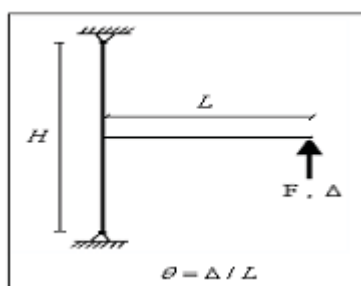
۳ - Houghton
۶- Ultimate

جوش گوشه می باشد و انتقال نیروها در بین اجزای اتصال از طریق این جوشها و به صورت برشی در امتداد آنها منتقل می شود. در این اتصال یک جدایی بین بال تیر و سطح ستون وجود دارد بطوریکه هیچ یک از اجزای اتصال به طور مستقیم روی سطح بال ستون قرار نمی گیرد (شکل ۴) [۶].

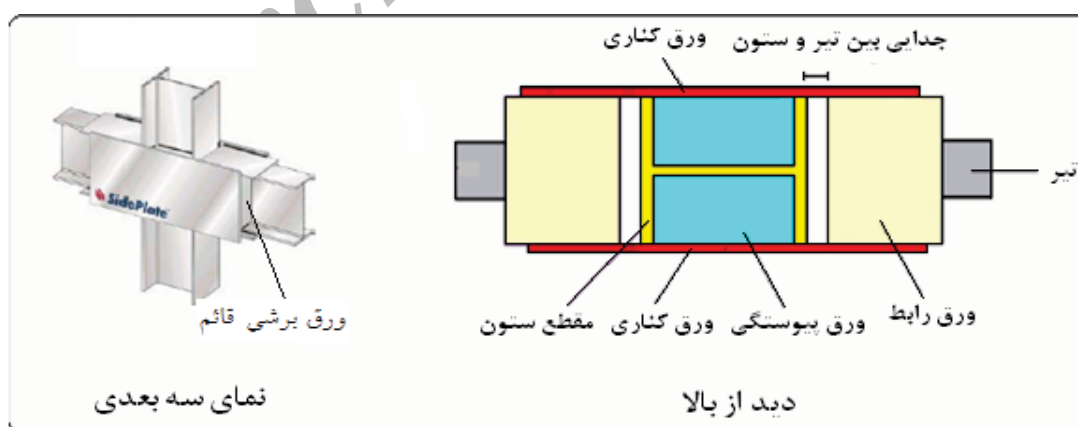
فولادی به کار می رود. در این اتصال دو صفحه کناری در طرفین ستون در محل اتصال تیر و ستون قرار می گیرد که وظیفه آنها انتقال نیروهای برشی و خمشی از تیر به ستون می باشد. در بالا و پایین بال تیر و در محل اتصال ورق پوشش قرار می گیرد که به عنوان رابط انتقال نیروی خمشی بین بال تیر و صفحات کناری عمل می کنند. نیروی برشی تیر از طریق ورقهای برشی قائم از تیر به صفحات کناری انتقال می یابد. برای پیوستگی بین بالها و

جدول (۱): حداقل دریفت سیستمهای خمشی بر اساس FEMA350

سیستم سازه ای	زاویه دریفت در کاهش مقاومت (θ_{SD})	زاویه دریفت در مقاومت نهایی (θ_U)
OMF	۰/۰۲	۰/۰۳
SMF	۰/۰۴	۰/۰۶



شکل (۳): زاویه دریفت طبقه



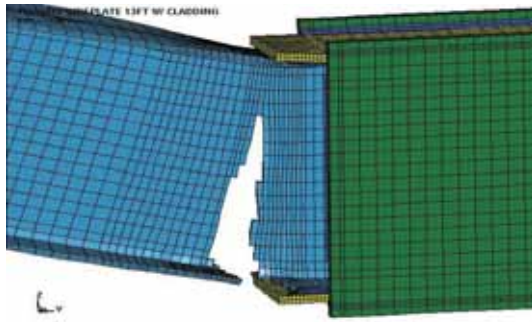
شکل (۴): جزئیات اتصال با صفحات کناری

می باشد این ترکها در عرض بال تیر گسترش پیدا کرده

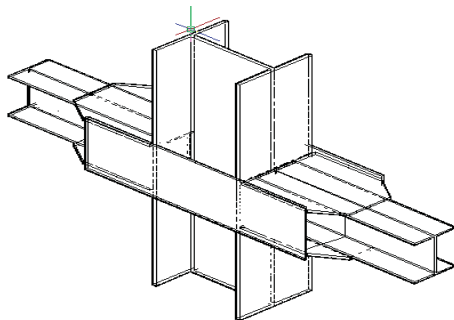
۵- نقاط ضعف اتصال با صفحات کناری

و باعث گسیختگی در بال تیر می شود (شکل ۵). وی پیشنهاد نموده است که با باریکه کردن انتهای جوش این ناحیه می توان مقداری از این تمرکز تنشها را کم کرد [۷].

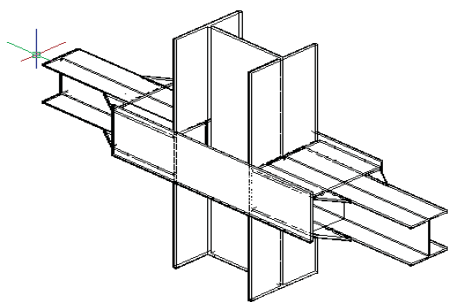
در بررسیهای بعمل آمده توسط پرفسور چیا مینگ یونگ^۱ و کارل فرانک^۲ از موسسه LACO-TAP^۳ مشخص گردیده است که وجود تمرکز تنش در انتهای جوش گوشه متصل کننده بال تیر به ورق پوشش محل آغاز ترک در بال تیر



شکل (۵): شکست در مدل تحلیلی و آزمایشگاهی



شکل (۶): استفاده از ورق پوشش مورب



شکل (۷): استفاده از ورق لچکی

۶- راه‌های پیشنهادی در این تحقیق به نظر می‌رسد که هر چه اختلاف بین اساس مقطع تیر و صفحات کناری بیشتر باشد این تمرکز تنشها بیشتر شده و باعث گسترش سریعتر ترکها در بال تیر و در نتیجه تنزل سریعتر مقاومت خواهد شد. در اینجا جهت برطرف کردن ضعف‌های اشاره شده دو راه حل پیشنهاد شده است یکی اینکه ورقهای پوشش بالا و پایین واقع بر بال تیر را مطابق شکل (۶) به شکل مورب برش داد و یا اینکه از ورقهای مثلثی (لچکی) در اتصال مطابق شکل (۷) استفاده کرد در این تحقیق از ورقهای لچکی استفاده شده است. لچکی‌ها در تراز بال تیر قرار می‌گیرند پس جوش متصل کننده ورق لچکی به ورقهای بالا و پایین از نوع گوشه و جوش بین ورق لچکی و بال تیر از نوع تخت اجرا می‌شود.

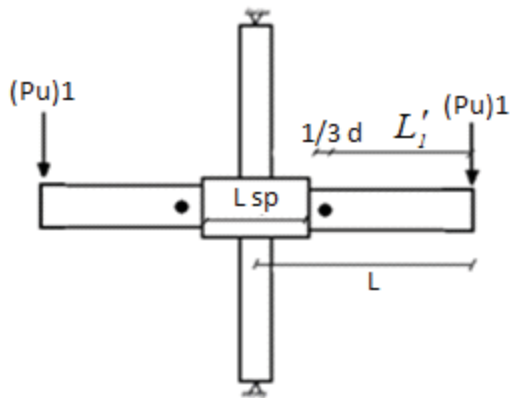
در هر دو مورد پیشنهادی اساس کار بر این امر استوار است که بتوان سختی مقطع تیر را با گرادیان کمتری به سختی مقطع صفحات کناری رساند تا از تمرکز تنشهای

۱- Chia-Ming Uang

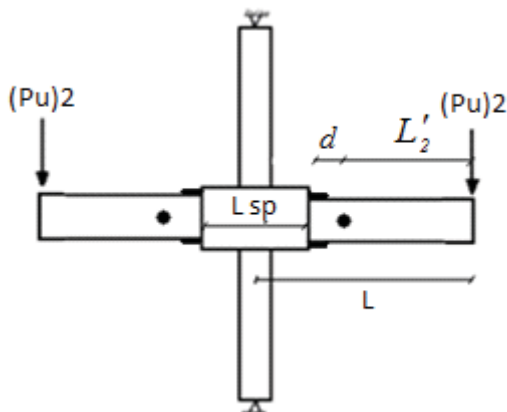
۲- Karl Frank

۳- County of Los Angeles – Technical Advisory Panel





شکل (۸): اتصال بدون لچکی



شکل (۹): اتصال اصلاح شده با لچکی

فاصله محل مفصل پلاستیک از نوک تیر را در دو حالت اتصال صفحات کناری (شکل ۸) و اتصال اصلاح شده با لچکی (شکل ۹) را می توان از روابط (۲) و (۳) بدست آورد:

$$L'_1 = [L - (L_{sp}/2 + 1/3d)] \quad (2)$$

$$L'_2 = [L - (L_{sp}/2 + d)] \quad (3)$$

$$(2), (3) \Rightarrow L'_1 > L'_2$$

L_{sp} طول صفحات کناری، L'_1 فاصله نیرو تا مفصل پلاستیک در اتصال پایه، L'_2 فاصله نیرو تا مفصل پلاستیک در اتصال اصلاح شده و d عمق تیر است.

۸- روش اجزای محدود

الف) هندسه مدل و مدل سازی

مذکور جلوگیری کرد. هر چه اختلاف بین سختی خمشی مقطع تیر و مقطع جعبه ای (Box) ناحیه اتصال بیشتر باشد، موجب افزایش تمرکز تنش در جوشها خواهد شد معمولاً در تیرهای نیم پهن و باریک IPE این امر بیشتر بوجود می آید. انتظار می رود که اضافه نمودن این اجزا علاوه بر این باعث دورتر کردن مفصل پلاستیک از ناحیه اتصال می شود و نیز باعث افزایش ظرفیت خمشی مدل خواهد شد.

۷- رابطه های تحلیلی

در رابطه های زیر نشان داده خواهد شد که با اضافه کردن لچکی ها به اتصال ظرفیت باربری اتصال افزایش می یابد. در حالت اتصال بدون لچکی فرض می شود که مفصل پلاستیک تیر در فاصله $\frac{1}{3}d$ از انتهای صفحات کناری قرار بگیرد [۸] که از نتایج تحلیل اجزای محدود هم می توان این را نشان داد.

با اضافه کردن لچکی ها، مفصل پلاستیک دورتر شده و در فاصله d از ورقهای کناری قرار می گیرد که در قسمت نتایج مدل سازی نشان داده خواهد شد.

ظرفیت لنگر پلاستیک در محل مفصل پلاستیک که شامل کرنش سخت شوندگی نیز می باشد از رابطه (۱) محاسبه می شود [۸].

$$M_{pb}^* = 1.1 R_y F_{yb} Z_b \quad (1)$$

محل مفصل پلاستیک برای هر دو حالت در شکل (۸) و (۹) نشان داده می شود. M_{pb}^* ظرفیت لنگر پلاستیک تیر، R_y ضریب اصلاح برای مواد، F_{yb} تنش تسلیم تیر و Z_b اساس مقطع تیر است.

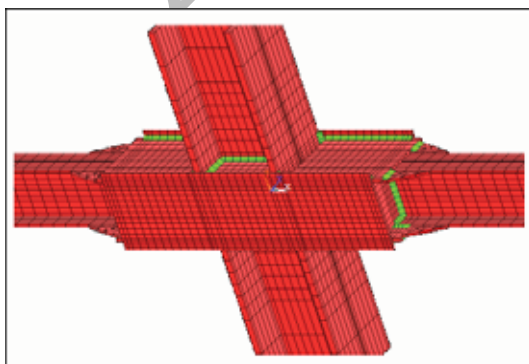
اجزای اتصال بدین صورت تعیین شده اند که در وضعیت بهینه باشند که این کار از قبل توسط روش اجزا محدود صورت گرفته است [۹]. با استفاده از روابط ساده استاتیکی و لنگرگیری حول مفصل پلاستیک در دو مدل، رابطه (۴) و (۵) را خواهیم داشت:

$$(M_b)_1 = (P_u)_1 L'_1 \quad (4)$$

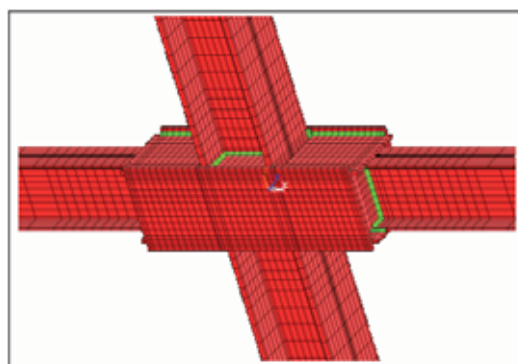
در جدول (۲) مشخصات اجزای اتصال با صفحات کناری مدل شده آمده است هندسه و ابعاد تیر و ستون از یک قاب فولادی فرضی که قبلاً طراحی شده انتخاب می شود. برای اینکه نتایج دقیق تری از تحلیل بدست بیاید کلیه جوشهای اتصال نیز مدل شده اند. مدلسازی اجزای محدود توسط نرم افزار ANSYS انجام شده است. این نرم افزار قادر است که خواص غیر خطی هندسی و مصالح را بخوبی در تحلیل منظور کند [۱۰]. در این تحقیق مدلسازی به روش برنامه نویسی پارامتری نرم افزار (APDL) صورت گرفته که از دیگر روشها حرفه ای تر می باشد. مدلسازی به صورت سه بعدی بوده و برای شبکه بندی از المان ۸ گرهی توپر استفاده شده است که در نرم افزار ANSYS با عنوان Solid45 شناخته می شود. این المان قادر است کرنشهای پلاستیک بزرگ را مدل کند، همچنین تحلیل از نوع استاتیکی غیرخطی هندسی و مصالح می باشد. در شکلهای (۱۰) و (۱۱) المان بندی مدل اتصال با صفحات کناری و اتصال اصلاح شده مشاهده می شود. جوشها به گونه ای مش بندی شده اند که با مش بندی قطعه مجاور خود تطابق داشته باشند که بتوان تغییر مکان گره های آنها را با یکدیگر سازگار کرد.

جدول(۲): جزئیات اتصال با صفحات کناری مدل شده

مقطع تیر	طول تیر	ورق کناری	ورق پوشش	ورق برشی	ورق پیوستگی
IPE16	۱۳۵	60x26x1.2	22x20x0.8	20x5x0.6	16x5x0.8



شکل(۱۱): المان بندی مدل اصلاح شده با لچکی



شکل (۱۰): المان بندی اتصال با صفحات کناری

$$(M_b)_2 = (P_u)_2 L'_2 \quad (5)$$

حداکثر ظرفیت باربری زمانی اتفاق می افتد که $M_b = M_{pb}^*$ باشد، بنابراین رابطه (۶) بدست می آید:

$$(M_b)_1 = (P_u)_1 L'_1 = M_{pb}^* \quad (6)$$

که M_b لنگر وارد بر تیر، P_u نیروی وارد می باشد. M_{pb}^* در شرایط با تیر یکسان ثابت است پس رابطه (۷) را می توان نتیجه گرفت:

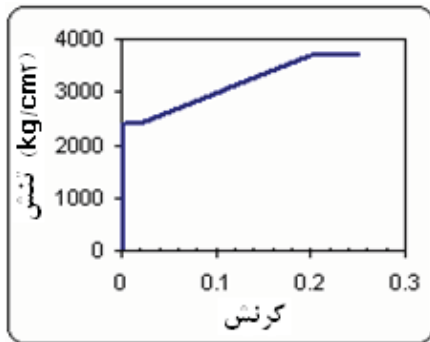
$$\Rightarrow (P_u)_1 = \frac{M_{pb}^*}{L'_1}, \quad (P_u)_2 = \frac{M_{pb}^*}{L'_2} \quad (7)$$

$$\Rightarrow L'_1 > L'_2 \Rightarrow (P_u)_2 > (P_u)_1$$

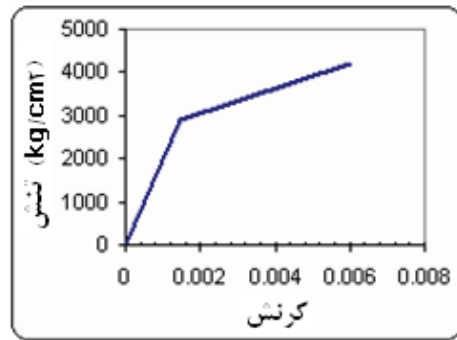
داشتهیم

بنابراین نشان داده شد که اتصال اصلاح شده دارای ظرفیت باربری بیشتری از اتصال پایه می باشد.

مصالح استفاده شده در مدلسازی عبارتند از فولاد ST37 و جوش E60 که در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) خواص تنش- کرنش آنها آمده است.



شکل (۱۲): منحنی تنش-کرنش فولاد



شکل (۱۳): منحنی تنش-کرنش جوش

برای تیر با مقطع IPE16 حداکثر فاصله بین تکیه گاه‌های جانبی به صورت زیر می شود:

$$r_y = 1.84 \text{ cm}$$

$$L_{cr} \leq 65.3 \times 1.84 = 120.15$$

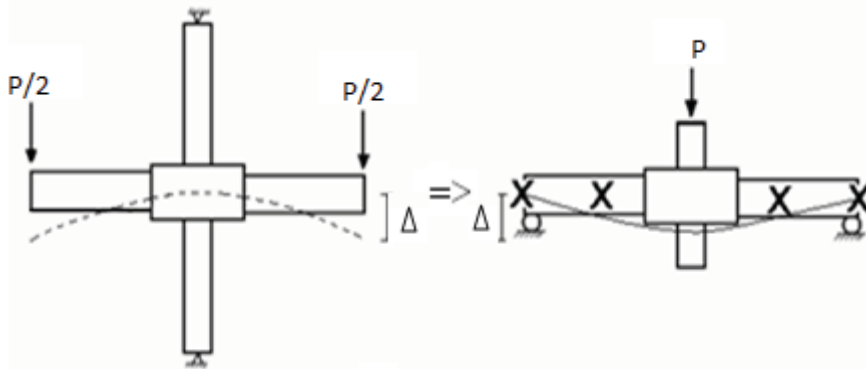
$$\Rightarrow \text{use } L_{cr} \leq 120 \text{ cm}$$

L_{cr} حداکثر طول مهار نشده و r_y شعاع ژیراسیون می باشد. بدلیل وجود خطاها در بارگذاری تجربی فاصله تکیه گاه‌های جانبی در مدل مورد نظر برای اطمینان بیشتر کمتر از مقدار محاسبه شده در فوق قرار داده می شود تا از عدم کمانش جانبی بال تیر مطمئن بود.

ب) بارگذاری و شرایط مرزی

بارگذاری مدل مطابق شکل (۱۴) صورت گرفته است این معادل سازی، بدلیل تقارن مدل و برای سادگی در بارگذاری انجام گرفته است در این شکل علامت (X) نشان دهنده محل قرارگیری تکیه گاه‌های جانبی بر روی مدل می باشد تا از کمانش جانبی بال تیر در حین بارگذاری جلوگیری شود. حداکثر فاصله بین تکیه گاه‌های جانبی مطابق رابطه (۸) تعیین می شود [۱۱]

$$\frac{r_{cr}}{r_y} < \frac{96660}{f_y} + 25 \quad (۸)$$

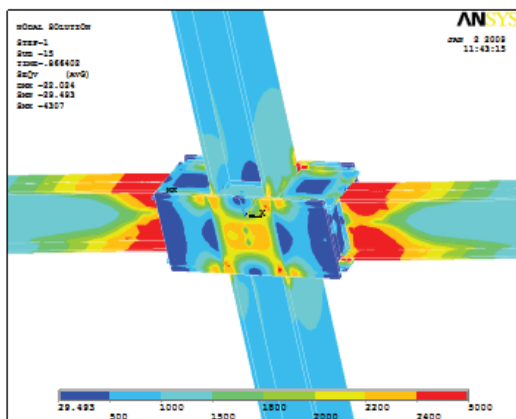


شکل (۱۴): مدل جایگزینی آزمایش

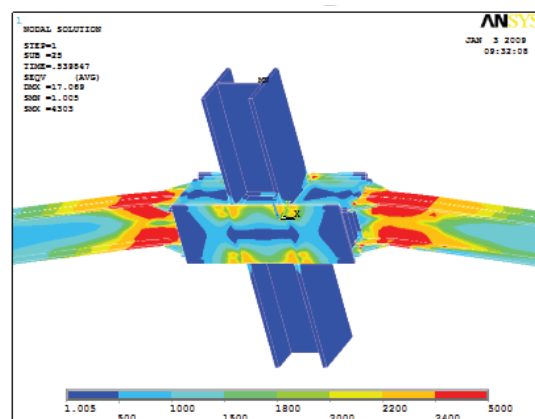
۹- نتایج مدلسازی

دورتر شده و به فاصله ای به اندازه عمق تیر از انتهای ورقهای کناری منتقل می شود. بدلیل وجود لچکی تنشهای بال تیر در قسمت بین دو لچکی و جلوی صفحات کناری در ناحیه الاستیک باقی می ماند. مقادیر نیرو- تغییر مکان و لنگر زاویه چرخش دو مدل در شکلهای (۱۷) تا (۲۰) رسم شده است [۱۲].

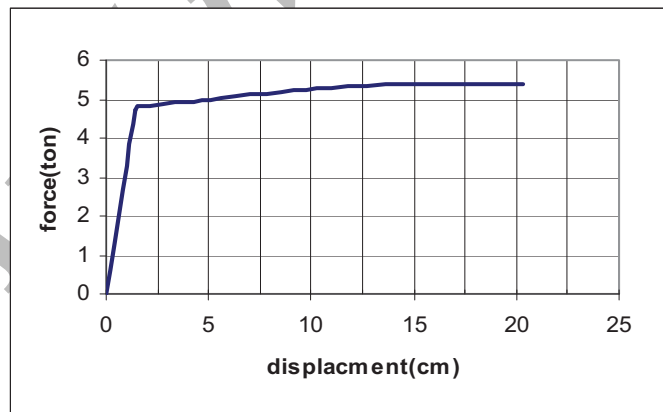
در شکل های (۱۵) و (۱۶) توزیع تنشها را طبق معیار ون- میسز می توان مشاهده کرد. مطابق شکل (۱۵) مفصل پلاستیک درون تیر و در فاصله $1/3$ عمق تیر از انتهای صفحات کناری قرار گرفته است. در محل جوش بین ورقهای پوشش و بال تیر تنشهای بزرگی وجود دارد که محل آغاز ترک در بال تیر خواهد بود. در شکل (۱۶) که توزیع تنشهای اتصال اصلاح شده با لچکی را نشان می دهد در این حالت محل مفصل پلاستیک از ناحیه اتصال



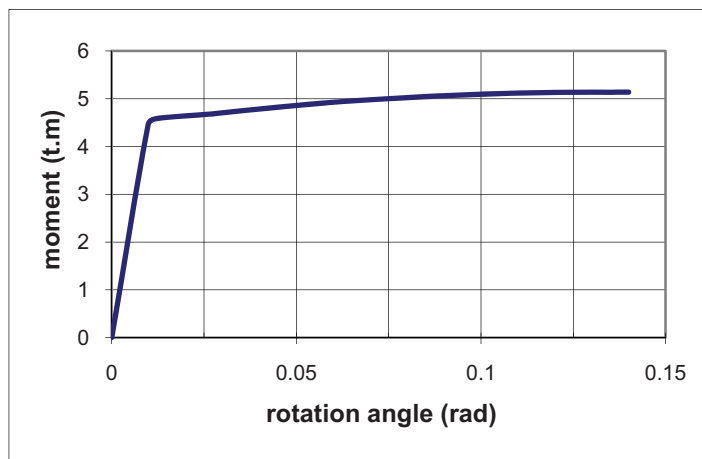
شکل (۱۵): کانتور تنش در اتصال با صفحات کناری



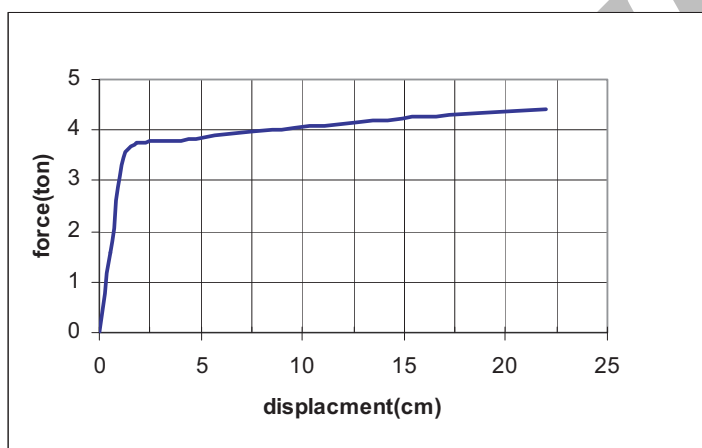
شکل (۱۶): کانتور تنش در اتصال اصلاح شده



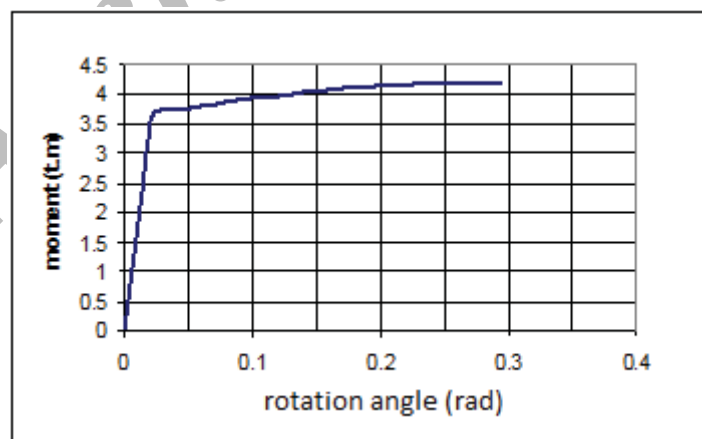
شکل (۱۷): نمودار نیرو- تغییر مکان اتصال اصلاح شده



شکل (۱۸): نمودار لنگر- زاویه چرخش اتصال اصلاح شده



شکل (۱۹): نمودار نیرو- تغییر مکان اتصال با صفحات کناری



شکل (۲۰): نمودار لنگر- زاویه چرخش اتصال با صفحات کناری

۱۰- مدل آزمایشی و نتایج آزمایش

در مدل آزمایشی از ورقهای لچکی مطابق شکل (۲۱) برای اصلاح مدل استفاده شده است. این لچکی ها توسط جوش تخت به بال تیر و توسط جوش گوشه به ورقهای پوشش متصل می شوند. سایر جزئیات مدل مطابق جدول (۱) و شرایط مرزی و بارگذاری نیز با شکل (۱۴) یکسان است. مقادیر تغییر مکانها و کرنشها توسط دستگاه تغییر مکان سنج و کرنش سنج دیجیتالی نصب شده بر روی مدل اندازه گیری می شود.

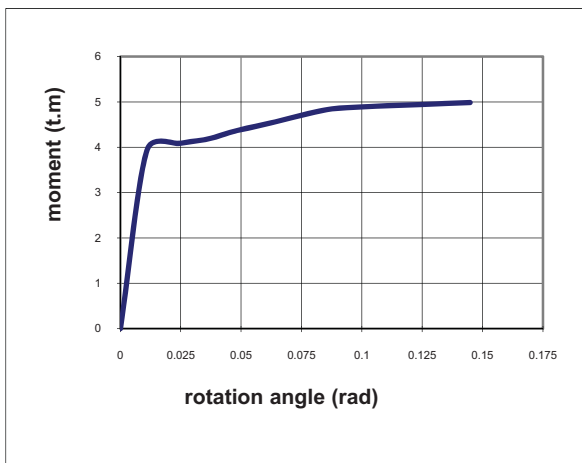
در شکل های (۲۲) و (۲۳) زیر نمودار نیرو - جابجایی در نوک تیر و لنگر- زاویه چرخش محور تیر در مدل آزمایشگاهی رسم شده است. مطابق شکل مدل توانسته است به زاویه چرخش "کاهش مقاومت" حدود $0/15$ برسد بدون اینکه ترکی در آن بوجود بیاید. با توجه به اینکه دهانه مدل نصف دهانه قاب است، با در نظر گرفتن نصف مقدار $0/15$ زاویه چرخش "کاهش مقاومت" به $0/075$ رسید مطابق دستورالعمل FEMA 350 حداقل زاویه چرخش مورد نیاز در اتصالات گیردار ویژه (SMF) تا قبل از مرحله "کاهش مقاومت" $0/04$ رادین می باشد (جدول ۱) که می بینیم مقدار بدست آمده در اتصال صفحات کناری اصلاح شده با لچکی، قابل توجه بوده و

بیش از $1/8$ برابر مقدار آیین نامه ای است که نشان دهنده شکل پذیری بالای این اتصال می باشد که می توان این اتصال را با اطمینان جزء اتصالات گیردار ویژه حساب کرد، همچنین این اتصال بعد از مرحله الاستیک خود وارد مرحله پلاستیک شده و از مقاومت سخت شوندگی نیز برخوردار است و توانسته در پایان مرحله الاستیک که ظرفیت لنگری آن حدود $2t.m$ است در حداکثر ظرفیت خود تا لنگر $2.5 t.m$ را تحمل کند یعنی حدود 20% نسبت به حالت تسلیم بر اثر کرنش سخت شوندگی به مقاومت اتصال افزوده شده است.

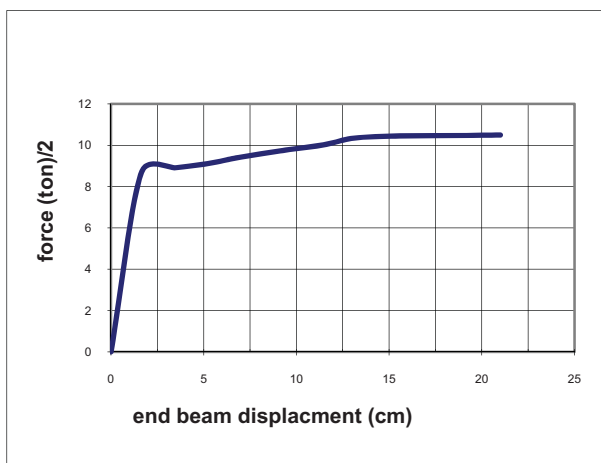
در نمودار شکل (۲۴) می توان نمودار کرنشهای بال تیر در جلوی ورق پوشش و بین دو لچکی را مشاهده کرد. مقادیر کرنش این قسمت تا پایان مقاومت مدل کمتر از $0/012$ بوده که کمتر از کرنشهای حد تسلیم فولاد است همانطور که ملاحظه می شود این قسمت از تیر تا پایان مقاومت اتصال در محدوده الاستیک باقی می ماند و آنچه که باعث ضعف اتصال و شکست آن بود بدین ترتیب قطعات لچکی اضافه شده به اتصال سبب برطرف شدن مشکل تمرکز تنش بال تیر و جوشهای آن در این ناحیه می شود.



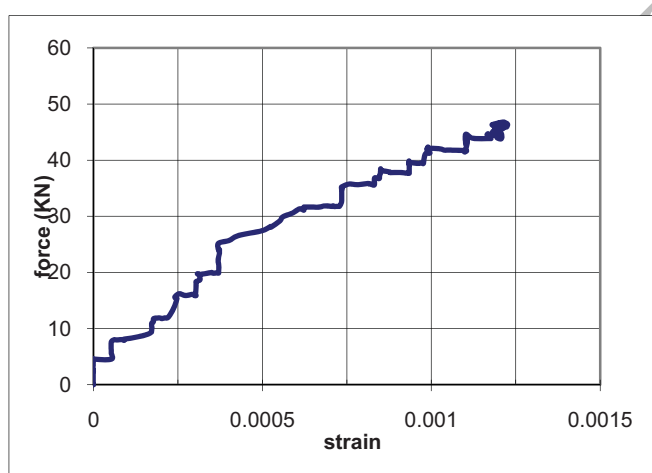
شکل (۲۱): مدل تحت آزمایش



شکل (۲۲): نمودار لنگر- زاویه چرخش



شکل (۲۳): نمودار نیرو- جابجایی در نوک تیر

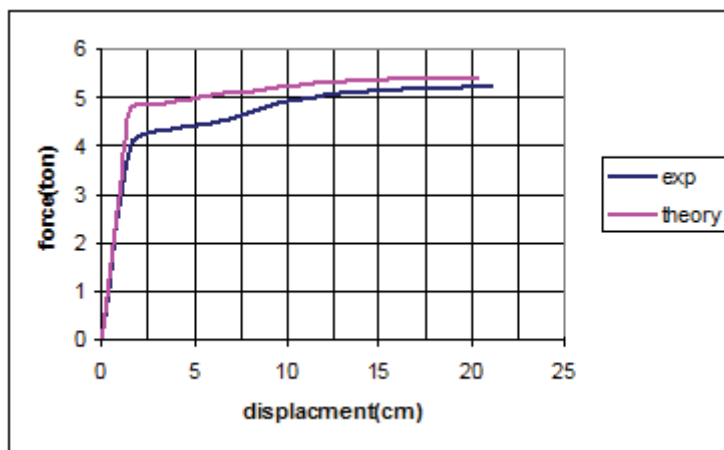


شکل (۲۴): نمودار نیرو در نوک تیر- کرنش در بال تیر در محدوده بین دو لچکی

۱۱- مقایسه نتایج تجربی و مدلسازی

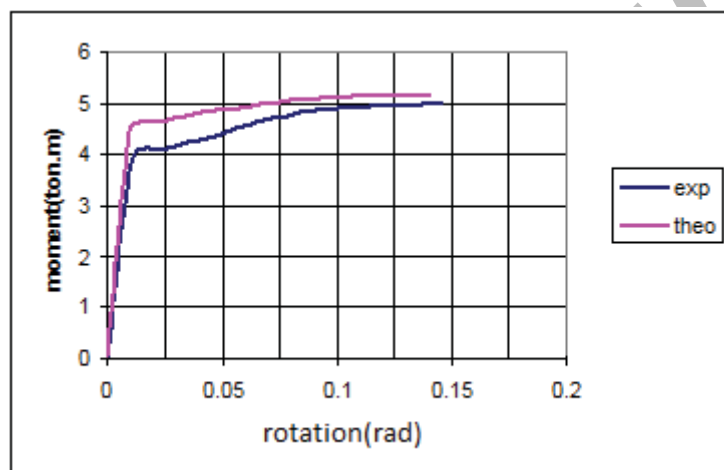
حداکثر اختلاف بین نتایج عددی و عملی در تمام محدوده بارگذاری ۱۰٪ است که در پایان بارگذاری و انتهای ظرفیت این اختلاف به کمتر از ۲٪ می رسد.

نمودارهای (۲۵) تا (۲۶) نشان می دهد که نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی و مدل‌های اجزاء محدود تا حدود زیادی همخوانی داشته و نتایج تئوری را قابل اطمینان می سازد.

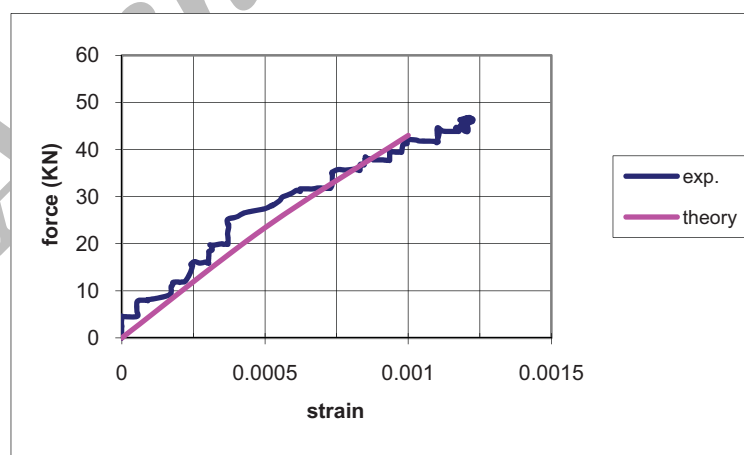


شکل (۲۵): نمودار مقایسه ای نیرو- تغییر مکان نوک تیر در اتصال اصلاح شده

t



شکل (۲۶): نمودار مقایسه ای لنگر- زاویه چرخش تیر در اتصال اصلاح شده



شکل (۲۷): نمودار مقایسه ای نیرو در نوک تیر- کرنش در بال تیر در محدوده بین دو لچکی در اتصال اصلاح شده

3- Houghton, D.L. 1998. The Sideplate Moment Connection: A Design Breakthrough Eliminating Recognized Vulnerabilities in Steel Moment Frame Connections, Proceedings of the 2nd World Conference on Steel Construction, San Sebastian, Spain.

4- David L. Houghton, S.E. and Jesse E. Karns, S.E. Myers, Houghton & Partners, Inc. "SidePlate™ Steel Frame Connection Technology for Blast Resistance" 73rd Shock & Vibration Symposium

5- Federal Emergency Management Agency, FEMA-350, (2000), "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Building", SAC Joint Venture, Sacramento, California. 6- Houghton, D., and Karns, J. (2002). "Mitigation of Post 9-11 Realities in Steel Frame Structures As a Function of the Choice of Connection Geometry", Proceedings of the 17th International Symposium on Military Aspects of Blast and Shock, Las Vegas, Nevada the Society of American Military Engineers (SAME)

7- Frank, K., Popov, E., Saunders, M., Schwein, R. (1997). "Technical Advisory Panel (LACO-TAP) SMRF Bulletin No. 3 on Steel Moment Resisting Frame (SMRF) Connection Systems", County of Los Angeles March 4, 1997

8- ICC Evaluation Service, Inc. ESR-1275 "Sideplate® Steel Frame Connection Technology" <http://www.sideplate.com>

۹- قائدرحمت، مهدی؛ (۱۳۸۸)؛ "مدلسازی و تحلیل اتصالات گیردار با ورق کناری با استفاده از روش اجزاء محدود"؛ پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه؛ گروه عمران دانشکده فنی دانشگاه مازندران

10- ANSYS, "ANSYS User's Manual", Ver. 9.0

11- AISC, American Institute of Steel Construction, Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, March 2005

12- T. W. YAU, "Finite Element Analysis of Structural Steel Work Connection on Minor Axes" University Technology Malaysia (2006)

۱۲- نتیجه گیری

از بررسی‌های به عمل آمده در این مقاله، نتایج زیر بدست آمده است:

۱- اضافه نمودن قطعات لچکی به اتصال صفحات کناری باعث افزایش ظرفیت باربری ثقلی و جانبی مدل خواهد شد و باعث کاهش بازوی لنگر گیری نسبت به مفصل پلاستیک می شود.

۲- در اتصال اصلاح شده که آزمایش گردید، با توجه به دو برابر بودن دهانه قاب نسبت به مدل، زاویه چرخش "کاهش مقاومت" به $0/075$ رسید و نسبت به مقدار زاویه چرخش در "کاهش مقاومت" دستورالعمل FEMA که برای اتصال خمشی ویژه $0/04$ رادین ذکر شده است، مقدار قابل توجهی بوده و می توان این اتصال را جزء رده خمشی ویژه به حساب آورد.

۳- مطابق نتایج تجربی و عددی، این اتصال از کرنش سخت شوندهگی برخوردار بوده و مقاومت نهایی آن حدود 20% بیشتر از مقاومت تسلیم اتصال می باشد بنابراین میتوان در طراحی قابهای فولادی دارای این اتصال، با اطمینان تمام ظرفیت تیر و ستونها را در نظر گرفت و فرض اتصال تمام مقاومت صحیح است.

۴- اصلاح اتصال توسط لچکی موجب ایمن شدن بال تیر و جوشهای آن در مجاورت ورقهای بالا و پایین می شود بطوریکه ناحیه بین لچکی ها تا پایان بارگذاری در ناحیه الاستیک باقی می ماند و از ایجاد ترک بر اثر تمرکز تنش در این ناحیه جلوگیری خواهد شد.

۱۳- مراجع

1- Popov, E., Yang, T.Sh., Chang, Sh.P., (1998), "Design of steel MRF connections before and after 1994 Northridge earthquake" Journal for Engineering Structures, 20 (12), pp 1030-1038.

2- Michael D. Engelhardt Thomas A. Sabol "Reinforcing of steel moment connections with cover plates: benefits and limitations" Engineering Structures, Vol. 20, Nos 4-6, pp. 510-520, 1998