

توسعه روابط پارامتری مشخصه های رفتاری اتصالات خورجینی متداول

حمیدرضا امیری^۱، علی اکبر آقاچوک^{۲*}، شریف شاه بیگ^۳

۱- دکترای سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس:

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

a_gha@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۳/۹]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۶/۱۸]

چکیده:

هدف از این مقاله توسعه روابط پارامتری برای مشخصه های رفتاری اتصالات خورجینی متداول است. برای این منظور از آزمایش و مدلسازی روی چهارده نمونه متفاوت اتصال خورجینی بهره گرفته می شود. در این مقاله ابتدا جزئیات هر یک از نمونه ها و همچنین پیکربندی و پروتکل بارگذاری استفاده شده در آزمایش ها معرفی می شود. سپس روش مدلسازی عددی و تحلیل اجزای محدود این نمونه ها که با استفاده از مدل های مایکرومکانیکال انجام شده است توضیح داده می شود و منحنی لنگر-چرخش حاصل برای تعدادی از نمونه ها ارائه می شود. با استفاده از این نتایج منحنی پشتواره مربوط به منحنی لنگر-چرخش نمونه ها ترسیم و پارامترهای مشخصه های منحنی رفتاری آنها تعیین می شود. در پایان بر اساس روش های آماری روابطی برای تعیین هریک از این پارامترها بر اساس مشخصات هندسی اتصالات ارائه می شود. مقایسه نتایج حاصل از روابط مذکور با داده های موجود دقت نسبتا مناسب این روابط را نشان داد. از این روابط می توان در ارزیابی رفتار لرزه ای سازه های موجود دارای اتصال خورجینی استفاده نمود.

کلمات کلیدی: اتصال خورجینی، منحنی رفتاری، منحنی پشتواره، معیارهای پذیرش، پارامترهای مشخصه

۱- مقدمه

امروزه سازه های فولادی یکی از انواع پرکاربرد سازه ها است که در بیشتر نقاط دنیا مورد استفاده قرار می گیرند. در کشور ما نیز استفاده از این نوع سازه ها از چند دهه پیش رواج یافته است. متأسفانه در دهه های نخست استفاده از آنها، به دلیل کمبود امکانات و نبود تکنولوژی مناسب و همچنین صرفه جویی اقتصادی، بعضی جزئیات در اتصالات استفاده شده اند که با آیین نامه های طراحی هماهنگی ندارند. یکی از جزئیات استفاده شده، اتصال خورجینی است که تنها در کشور ما بطور گسترده ای استفاده شده است. در فرم سنتی این نوع اتصال، تیرها از کنار ستون ها به صورت سرتاسری عبور کرده و به وسیله نبشی هایی در بالا و پائین تیر مطابق شکل (۱) به ستون متصل می شود. برای پرهیز از جوشکاری به صورت

سربالا نبشی های بالایی و پایینی به ترتیب کوچکتر و بزرگتر از

بال تیر در نظر گرفته می شوند.

شکل ۱: اتصال خورجینی متداول

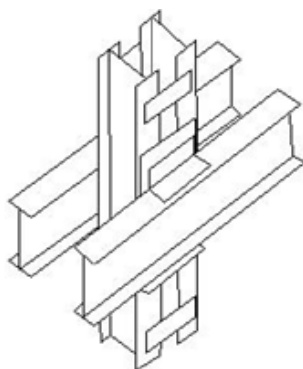


Fig. 1. Conventional Khorjinee connection

پس از زلزله ای که در شمال کشور (رودبار و منجیل) در سال ۱۳۶۹ اتفاق افتاد، پژوهشگران به رفتار لرزه ای نامناسب این

نوع از اتصالات در هنگام زلزله و اهمیت آن در رفتار کلی سازه پی بردند. اهمیت رفتار لرزه‌ای این اتصال از آنجا ناشی می‌شود که شکست در جوش نبشی پایینی، باعث عدم باربری ثقلی این اتصال و فروریزش سقف و در نتیجه تخریب سازه می‌شود.

از این رو مطالعه رفتار این اتصال به یکی از موضوعات پژوهشی در کشور بدل شد و پژوهشگران بسیاری به مطالعه روی این موضوع پرداختند. پژوهش‌های انجام شده در این زمینه را می‌توان به سه دسته اصلی زیر تقسیم نمود:

الف: پژوهش‌های انجام شده برای شناخت رفتار اتصال خورجینی

ب: پژوهش‌های انجام شده برای ارائه راهکارهای مناسب مقاوم‌سازی اتصال

ج: پژوهش‌های انجام شده روی رفتار قاب‌های دارای این نوع اتصال

با توجه به آنکه هدف اصلی در این پژوهش، شناخت رفتار اتصال خورجینی است در اینجا مروری سریع بر تاریخچه پژوهش‌های دسته اول صورت خواهد گرفت. یکی از اولین آزمایش‌های انجام شده در این زمینه به وسیله‌ی مقدم و وکرمی [۱] در سال ۱۳۷۰ در مرکز تحقیقات مسکن انجام شد. با انجام این آزمایش‌ها مواردی همچون سختی اولیه، منحنی لنگر-چرخش و چگونگی شکست نمونه‌ها تحت بار یکنوا مشخص شد. پس از آن طاحونی و فرجودی [۲] در یک کار آزمایشگاهی با اعمال بارگذاری یکنوا روی ۵ نمونه، منحنی لنگر-چرخش و درجه گیرداری آن‌ها را به دست آوردند. این دو پژوهشگر درجه گیرداری اتصال را ۷۰ درصد به دست آوردند که از این نظر عدد قابل توجهی است. آقاچوچک و حسینخان [۳] با انجام آزمایش‌های چرخه‌ای در مرکز تحقیقات مسکن، سختی اولیه و مقاومت نهایی را برای نمونه‌هایی از این اتصالات هنگامی که در ستون‌های گوشه و میانی مورد استفاده قرار گیرند را تعیین نمودند. فلاح و برخوردار [۴] در سال ۱۳۷۳ با کالیبره نمودن رابطه کالسن بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های مقدم و وکرمی، رفتار غیر خطی اتصال را در قاب‌هایی که قصد انجام آنالیز روی آنها را

داشتند منظور نمودند. در همان سال طریقت و مالک [۵] به بررسی رفتار الاستیک اتصال و چگونگی تمرکز تنش تحت بارهای یکنوا پرداختند. یعقوبی و رازانی [۶] نیز به منظور تعیین درجه گیرداری، مقاومت نهایی و شکل پذیری این اتصال، آزمایش‌هایی را روی ۱۲ نمونه مختلف این اتصالات انجام دادند. در این آزمایش‌ها سه نمونه مختلف از اتصالات خورجینی شامل اتصالات متداول و تقویت شده مدنظر قرار گرفت. این دو پژوهشگر در محل اتصالات، تغییر شکل‌های خمشی زیادی را در اتصالات خورجینی مشاهده نمودند که به جوش‌های کناری نبشی‌های اتصال به ویژه نبشی زیرین اتصالات خورجینی تنش‌های زیاد برشی وارد می‌ساخت و باعث ترک خوردگی و شکست زودرس از گوشه‌های اتصالات و گسترش آنها در سراسر طول جوش شد. ملکی و تهرانی‌زاده [۷] با تحلیل نتایج حاصل از آزمایش دینامیکی روی قاب‌های دارای اتصال خورجینی، سختی اولیه این نوع از اتصالات را تعیین نمودند. در سال ۱۳۷۸ مزروعی و مصطفایی [۸] با انجام آزمایش روی نمونه‌هایی از اتصالات خورجینی به بررسی رفتار این نمونه‌ها تحت بار چرخه‌ای پرداختند. در نمونه‌های استفاده شده در این آزمایش‌ها دور تا دور یک بال نبشی بالایی به تیر جوش شد، در حالی که در اتصالات خورجینی متداول تنها لبه بال به تیر جوش می‌شود. در این آزمایش‌ها به دلیل هندسه تقویت شده جوش شکست واضحی در جوش‌ها مشاهده نشد.

در همان سال صادقیان و مقدم [۹] با استفاده از نرم‌افزار *ANSYS* این اتصال را به صورت ساده و همچنین تقویت شده تحت بار یکنوا آنالیز نموده و رفتار آن را بررسی کردند. متعاقباً میرقادری و دهقانی [۱۰] آزمایش‌هایی روی اتصالات خورجینی انجام دادند که یک نمونه از آنها اتصال متداول و بقیه به صورت تقویت شده بودند. آنها جوش نبشی‌ها به تیر را آسیب پذیر دانستند. مقدم و موید علایی [۱۱] نیز با انجام آزمایش روی شش نمونه مختلف از این اتصال، چرخش و لنگر ترک خوردگی، سختی اولیه و چرخش نهایی آنها را بررسی کردند. در این پژوهش برخلاف پژوهش انجام شده به وسیله‌ی میرقادری و دهقانی، جوش‌های نبشی به ستون آسیب

این نوع از اتصالات و نیز معیارهای دقیقی برای کنترل پذیرش آنها ارائه نشده است.

در مقاله حاضر با توجه به نیاز به شناخت موارد گفته شده برای اتصالات خورجینی، سعی می‌شود تا بر اساس راهکار ارائه شده در *FEMA 356* [۱۷] رفتار چرخه‌ای اتصالات خورجینی متداول مطالعه شود و روابطی که بتواند پارامترهای مشخصه منحنی رفتاری مانند سختی اولیه، لنگر تسلیم، لنگر نهایی و چرخش نهایی را تعیین کند پیشنهاد شود. منظور از اتصالات خورجینی متداول، اتصالاتی است که در شکل (۱) ارائه شده و اتصالاتی که با استفاده از راه‌های مختلف اصلاح یا تقویت شده‌اند شامل مطالعه حاضر نمی‌شوند.

۲. روش تعیین معیارهای پذیرش در یک جز سازه‌ای

راهکارهایی که برای شناخت رفتار لرزه‌ای یک جزء سازه‌ای و ارائه معیار پذیرش برای آن وجود دارد در برخی از آیین‌نامه‌ها همچون آیین‌نامه *FEMA 356* [۱۷] گفته شده است. مطابق این آیین‌نامه برای توصیف رفتار یک جزء اتصال لازم است در ابتدا با انجام آزمایش‌های چرخه‌ای منحنی پستواره^۱ استخراج شود. بر اساس این منحنی می‌توان کنترل شونده بودن نمونه بر اساس نیرو و یا تغییر شکل را مشخص نمود و همچنین سطوح عملکرد مربوط به نمونه‌های کنترل شونده به وسیله‌ی تغییر شکل را تعیین نمود. بر اساس روش ارائه شده در مرجع فوق منحنی پستواره از وصل نمودن نقاط تقاطع رفت (افزایش نیرو) در سیکل i ام و قسمت برگشت (کاهش نیرو) در سیکل $i-1$ ام به دست می‌آید (شکل ۲).

شکل ۲: منحنی پستواره به دست آمده برای منحنی هیستریسیس نشان داده شده [۱۷]

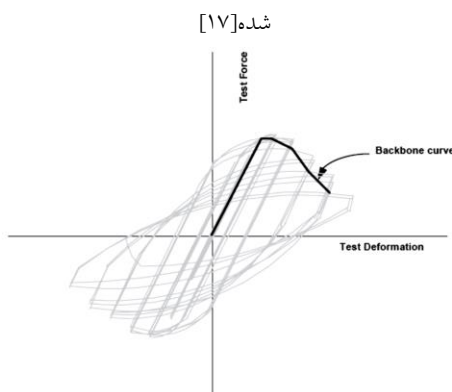


Fig. 2. backbone curve for experimental data

پذیر شناخته شد. در این پژوهش چرخش متناظر با ترک‌خوردگی برای نمونه‌ها بین $0/01$ تا $0/0155$ رادیان به دست آمد. پس از آن مقدم و معاونی با مدلسازی و آنالیز المان محدود این نمونه‌ها تحت بارهای اعمالی در آزمایش به بررسی نتایج حاصل از آزمایش پرداختند. کاوه و فاضل [۱۲] در سال ۱۳۷۸ با استفاده از آنالیزهای المان محدود و همچنین شبکه عصبی به پیش‌بینی منحنی لنگر-چرخش اتصال پرداختند. آقاچوک و وشکینی [۱۳] نیز در سال ۱۳۸۰ با انجام آزمایش‌هایی روی قاب‌های دارای این اتصال، رفتار اتصال خورجینی و قاب حاوی آن را در شرایطی که جزئیات اتصال به صورت متداول و یا اصلاح شده اجرا شده بود، را بررسی کردند. در سال ۱۳۸۶ مقدم و پیرایه‌گر [۱۴] با استفاده از روش‌های میکرومکانیکال برای پیش‌بینی شکست، به بررسی رفتار یکی از نمونه‌های استفاده شده در آزمایش‌های مقدم و موید علایی پرداختند و با استفاده از این روش‌ها به پیش‌بینی دوران ترک خوردگی تحت بارگذاری یکپارچه پرداختند و دورانی معادل $0/009$ رادیان را برای ترک خوردگی اولیه در نمونه به دست آوردند.

همان‌گونه که می‌بینیم تاکنون پژوهش‌های ارزشمندی در زمینه شناخت رفتار اتصال خورجینی انجام شده است و این پژوهش‌ها زوایای زیادی را در این زمینه روشن ساخته است. بر اساس این پژوهش‌ها، این اتصال رفتار نیمه صلب دارد ولی به دلیل هندسه خاص دچار تمرکز تنش در محل اتصال نبشی‌ها به تیر و ستون می‌شود و در بارگذاری چرخه‌ای در این محل‌ها ترک‌خوردگی بروز می‌یابد پس این اتصال دارای شکل پذیری مناسب نیست. یکی از مسائلی که به تازگی در کشور مورد توجه قرار گرفته است مقاوم سازی سازه‌های موجود از جمله سازه‌های فولادی همراه با اتصال خورجینی است. ارزیابی میزان آسیب پذیری لرزه‌ای سازه‌ها و همچنین ارائه طرح مقاوم‌سازی آنها، نیازمند شناخت مناسب رفتار لرزه‌ای اعضا از جمله اتصالات است. متأسفانه در حال حاضر به دلیل عدم شناخت کافی از رفتار اتصالات خورجینی، در آیین‌نامه‌های مربوط از جمله دستورالعمل بهسازی ساختمان‌های موجود [۱۵] ضوابطی برای بیان منحنی رفتار

می شود ولی تغییر شکل در این سطح نباید بزرگتر از تغییر شکل در نقطه ۲ باشد.

۳- آزمایش و شبیه سازی عددی اتصال

۳-۱- معرفی نمونه ها

مطالعات گذشته نشان داده است که اندازه نبشی های اتصال و طول هر یک از نبشی های بالایی و پایینی و همچنین ارتفاع تیر تاثیر زیادی بر رفتار اتصال خورجینی دارند [۱۱، ۱۳]. از این رو این پژوهش اتصالاتی با طول های متفاوت نبشی و همچنین تیرهایی با ارتفاع متفاوت مورد مطالعه آزمایشگاهی و عددی را قرار داده است. در تعیین جزئیات نمونه ها، نتایج سونداژهای انجام شده در مدارس کشور نیز مورد توجه قرار گرفت تا نمونه ها معرف اتصالات واقعی به کار رفته در ساختمان های متداول کشور باشد. در این نمونه ها یکی از بال-های نبشی پایینی به وسیله ی یک جوش افقی و دو جوش قائم به ستون متصل است. همچنین بال دیگر این نبشی تنها در لبه خود به تیر جوش شده است. درمورد نبشی های بالایی نیز به همین منوال عمل شد.

در این پژوهش از دو دسته نمونه برای انجام بررسی ها استفاده شده است. دسته اول نمونه هایی است که به صورت تجربی و عددی آزمایش و تحلیل شده اند و دسته دوم نمونه هایی است که تنها به صورت عددی شبیه سازی شده اند. در جدول (۱) مشخصات اتصالات ارزیابی شده ارائه شده است. نمونه های T1 تا T6 نمونه های دسته اول و بقیه یعنی نمونه های T7 تا T14 دسته دوم را تشکیل می دهند. همان گونه که ملاحظه می شود مشخصات تاثیرگذار در رفتار این نوع از اتصالات در انتخاب نمونه ها لحاظ شده است.

۳-۲ پیکربندی نمونه ها و بارگذاری

در آزمایش ها از پیکربندی که در شکل (۴) آورده شده است استفاده شد. در این پیکربندی دو تیر از کنار مقطعی قوطی شکل عبور کرده و به وسیله ی نبشی های بالا و پایین به آن متصل شده است.

سپس منحنی پشتواره به دست آمده در قالب منحنی نشان داده شده در شکل (۳) ارائه می شود. در صورتی می توان عضوی را کنترل شونده به وسیله ی تغییر شکل دانست که یکی از دو شرط زیر وجود داشته باشد و در غیر این صورت عضو کنترل شونده به وسیله ی نیرو قلمداد می شود.

الف) منحنی چند خطی نیرو- تغییر شکل که به دست آمده با یکی از منحنی های ۱ و ۲ که در شکل (۳) نمایش داده شده است هماهنگ باشد و مقدار پارامتر e که در این شکل نشان داده شده است، کمینه دو برابر مقدار g (در همان شکل) باشد. ب) منحنی نیرو- تغییر شکل عضو با شکل (۱) در منحنی (۲۰) مطابقت کند و پارامتر e کمتر از دو برابر g باشد اما پارامتر تغییر شکل d حداقل دو برابر پارامتر تغییر شکل g باشد. در این حالت معیار پذیرش ممکن است به وسیله ترسیم دوباره منحنی نیرو تغییر شکل به صورت منحنی نوع ۲ تخمین زده شود. در شکل (۳) چگونگی انجام این عمل نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل ملاحظه می شود ناحیه ای که در آن کاهش مقاومت وجود دارد امتداد داده می شود تا در نقطه ۱ منحنی اولیه را قطع کند و منحنی شبیه به منحنی نوع ۲ جایگزین منحنی نوع ۱ می شود.

شکل ۳: منحنی نیرو- تغییر مکان جایگزین منحنی اولیه [۱۷]

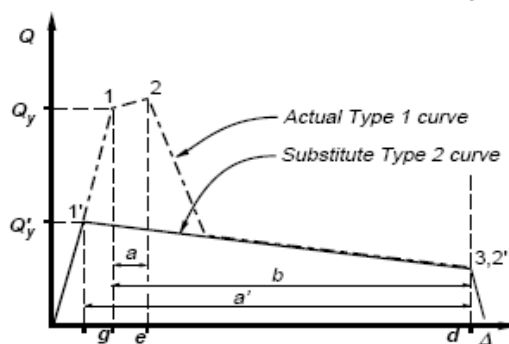


Fig. 3. Alternative Force Deformation Curve

سطح عملکرد ایمنی جانبی در نمونه های کنترل شونده به وسیله ی تغییر شکل، ۷۵ درصد تغییر شکل در نقطه ۲ در منحنی نوع ۱ است. سطح عملکرد آستانه فرو ریزش نیز، ۷۵ درصد تغییر شکل نقطه ۳ در همین منحنی در نظر گرفته

ساخته شده‌اند. مدل خمیری ماده براساس معیار فون مایسز تعریف شده که اطلاعات مورد نیاز این مدل از نتایج حاصل از انجام تست کشش روی جوش و فولاد استخراج شده است. جزئیات این اطلاعات در مرجع [۱۶] ارائه شده است. به علت تقارن نمونه‌ها تنها تیر یک سمت شبیه‌سازی شده است. این تیر به وسیله نبشی به ورق که نماینده یک وجه مقطع جعبه‌ای است متصل شده است شکل (۶). در این مدل از المان‌های تماسی در بین نبشی‌ها و بال‌های تیر و ورق استفاده شده است. بارگذاری نیز مطابق پروتکل ارائه شده در قسمت قبل به انتهای تیر اعمال می‌شود. بر طبق مشاهده حاصل از نمونه‌های آزمایش شده پس از افزایش دامنه جابه‌جایی‌های اعمالی به نمونه‌ها، از محل اتصال نبشی‌های اتصال به تیر یا ستون ترک خوردگی و سپس گسترش آن و در نهایت خرابی ایجاد می‌شود، پس در مدل‌سازی‌های عددی برای پیش‌بینی پدیده آغاز ترک خوردگی و انتشار آن از روش عددی پیشنهادی در مرجع [۱۹] که به وسیله‌ی نگارندگان مقاله ارائه شده است استفاده شد. این روش بر اساس روش‌های مایکرومکانیکال توسعه داده شده است. در این مدل آغاز ترک خوردگی در حالتی اتفاق می‌افتد که رابطه (۱) در طول مشخصه l^* ارضاء شود در این رابطه T سه محورگی تنش است که از تقسیم تنش میانگین به تنش موثر به دست می‌آید. مقادیر λ_{CVGM} و $\eta_{Monotonic}$ از پارامترهای ماده محسوب می‌شوند. در هر مرحله بارگذاری، کرنش خمیری معادل کششی ϵ_t جمع کرنش خمیری معادل تا زمانی که سه محورگی تنش مثبت است، می‌باشد و ϵ_c مربوط به جمع کرنش خمیری معادل در زمانی است که سه محورگی تنش منفی است. مقدار ϵ_p نیز کرنش خمیری محاسبه شده در ابتدای هر مسیر کششی برای یک نقطه از ماده است. این مدل که به مدل $CVGM$ موسوم است، در گذشته به وسیله‌ی کانوینده و دیرلین [۲۰] تنها برای پیش‌بینی شروع ترک خوردگی پیشنهاد شده است و مقدم و پیرایه‌گر نیز از آن برای همین منظور در اتصالات خورجینی استفاده کرده‌اند [۱۴].

برای بارگذاری نمونه از پروتکل بارگذاری ارائه شده در مرجع [۱۸]، استفاده شد. نمودار جابه‌جایی اعمالی به انتهای تیر در چرخه‌های مختلف این پروتکل در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل ۴: نمایی واقعی و شماتیک پیکربندی آزمایش.

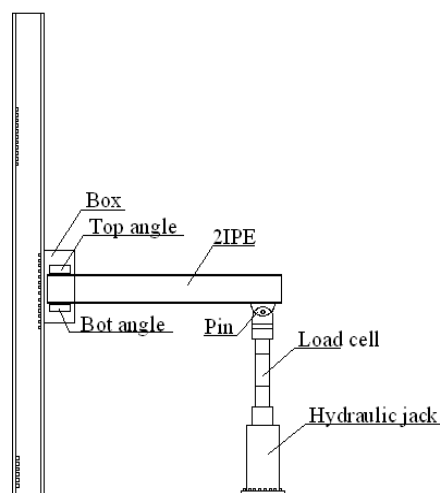


Fig. 4. schematic and photograph of the test setup

۳-۳ مدل‌سازی المان محدود نمونه‌ها

تحلیل المان محدود نمونه‌ها به وسیله نرم‌افزار *ABAQUS* انجام گرفته است. مدل‌ها از المان‌های ۸ گرهی سه بعدی

$$\exp(-\lambda_{CVGM} \epsilon_p) \cdot \eta_{monotonic} = \sum_{tensile - cycles} \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \exp(|1.5T|) \cdot d\epsilon_t - \sum_{compressiv - cycles} \int_{\epsilon_1}^{\epsilon_2} \exp(|1.5T|) \cdot d\epsilon_c \quad (1)$$

جدول ۱: مشخصات اجزای نمونه های بررسی شده

Specimen	Beam	Top Angle	Bottom Angle	Top Angle Length (cm)	Bottom Angle Length (cm)
T1	IPE180	80×80×8	100×100×10	10	10
T2	IPE180	80×80×8	100×100×10	15	15
T3	IPE180	80×80×8	100×100×10	20	20
T4	IPE220	100×100×10	120×120×12	10	10
T5	IPE220	100×100×10	120×120×12	15	15
T6	IPE220	100×100×10	120×120×12	20	20
T7	CPE160	60×60×6	100×100×10	10	15
T8	CPE160	60×60×6	100×100×10	15	15
T9	CPE160	60×60×6	100×100×10	10	20
T10	CPE160	60×60×6	100×100×10	20	20
T11	CPE180	80×80×8	100×100×10	10	15
T12	CPE180	80×80×8	100×100×10	15	15
T13	CPE180	80×80×8	100×100×10	10	20
T14	CPE180	80×80×8	100×100×10	20	20

Table 1. Key parameter of specimens

شکل ۶: مدل المان محدود مورد استفاده در نمونه T1.

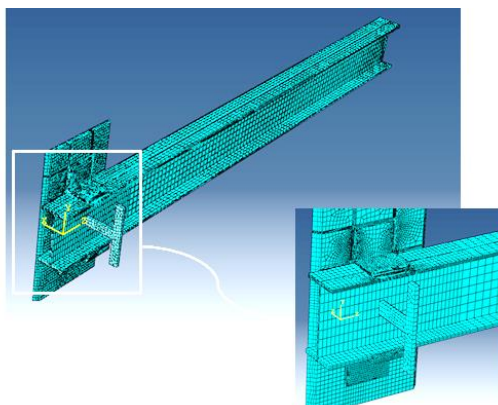


Fig. 6. Finite element model of Specimen T1

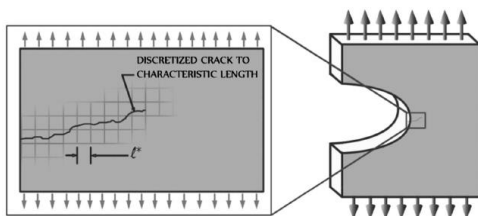
شکل ۷: تقسیم ترک اصلی به ترک های کوچک تر به اندازه طول مشخصه l^* 

Fig. 7. Macrocrack is discretized to smaller cracks formed in consecutive steps

۳-۴. نتایج حاصل از آزمایش ها و تحلیل های عددی

منحنی های لنگر- چرخش حاصل از آزمایش ها روی نمونه های اتصال خورجینی در مرجع [۱۶] به طور کامل ارائه

نگارندگان مقاله روش گفته شده را توسعه داده و روشی را پیشنهاد نمودند که با استفاده از آن می توان در تحلیل المان محدود، شروع ترک و گسترش آن را شبیه سازی نمود. این روش یک مدل سازی گام به گام ترک خوردگی در ماده است. در هر گام برای تمامی المان های موجود در مدل رابطه مربوط به *CVGM* کنترل می شود و در صورتی که این رابطه در المانی ارضاء شود ترک خوردگی در آن المان شروع می شود (شکل ۷). در مرجع [۱۶] پس از تشریح جزئیات روش که مستلزم برنامه نویسی و اضافه کردن سابروتین به نرم افزار المان محدود *ABAQUS* است، نتایج آن با اطلاعات آزمایشگاهی موجود برای نمونه هایی از اتصال ستون به کف ستون مقایسه و درستی آزمایی شده است.

شکل ۵: جابجایی اعمال شده به سر تیر طبق پروتکل بارگذاری.

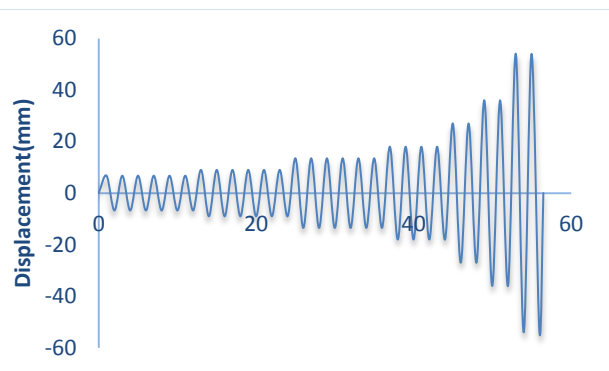


Fig. 5. Loading protocol applied to end of the beam

استفاده از روش گفته شده در بخش ۲-۳ نتایج تحلیل با نتایج آزمایشگاهی درستی آزمایی شد. در شکل (۹) نمونه‌ای از این درستی آزمایی ارائه شده است. در این شکل رفتار نمونه $T4$ حاصل از آزمایش و مدل‌سازی مقایسه شده است. در جدول (۲) سختی اولیه حاصل از آزمایش و تحلیل المان محدود برای ۶ نمونه آورده شده است. در جدول ۳ نیز سیکل‌های مربوط به ترک‌خوردگی اولیه در جوش‌های مختلف و مقدار دوران در ۳ نمونه آزمایشگاهی مقایسه شده است.

شکل ۹: منحنی لنگر چرخش اتصال حاصل از آزمایش و مدل‌سازی

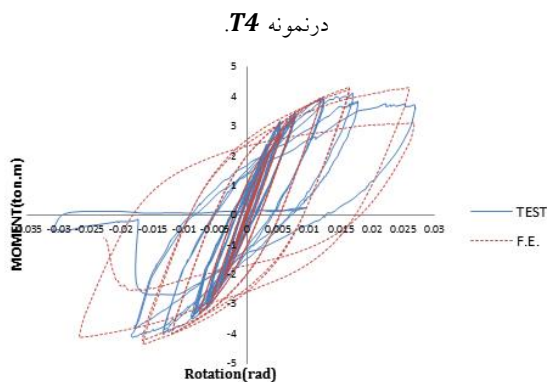


Fig. 9. Measured versus simulated response

شده است که از آن میان نتایج مربوط به نمونه $T3$ در شکل (۸) مشاهده می‌شود. در این نمونه با توجه به این که که مقطع تیر از نوع $IPE 180$ است، لنگر تسلیم برای جفت تیر برابر ۸/۲ تن-متر است در حالی که بیشینه لنگر اعمال شده به اتصال ۷/۹۵ تن-متر است. در این نمونه در چرخه ۲۵ آزمایش و در چرخش ۰/۰۱۱۵ رادیان ترک خوردگی در محل جوش نبشی بالایی به تیر و ستون و جوش نبشی پایینی به ستون مشاهده شد و پس از آن مقاومت اتصال کاهش یافت و در پایان در چرخش ۰/۰۳۵ رادیان آزمایش متوقف شد.

شکل ۸: منحنی لنگر - چرخش نمونه $T3$ تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای.

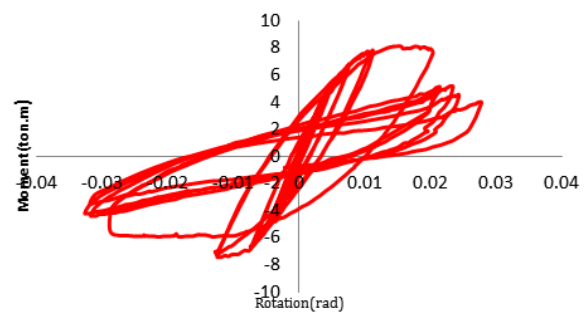


Fig. 8. Moment -rotation curve of specimen T3

پس از انجام آزمایش‌ها، مدل‌های عددی شبیه‌سازی شد و با

جدول ۲: سختی حاصل از دو روش آزمایش و مدل‌سازی.

Parameter	Method	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Initial Stiffness (ton.m.rad)	Test	525	767	1189	660	1175	1400
	F-E Analysis	538	795	1263	658	1205	1368

Table 2. Initial stiffness of specimen determined by test and FE

جدول ۳: سیکل‌های مربوط به ترک خوردگی اولیه در جوش‌های مختلف در نمونه‌های $T4$ تا $T6$.

Specimen	Method	Top Angle Weld					Bottom Angle Weld			
		Beam	Beam Side	Rotation (rad)	Column Side	Rotation (rad)	Beam Side	Rotation (rad)	Column Side	Rotation (rad)
T4	Test	Right Side	C23	0.0127	C23	0.0127	----	----	C26	0.175
		Left Side	C26	0.0175	C26	0.0175	C18	0.007	----	----
	FE	----	C26	0.015	C28	0.023	----	----	----	----
T5	Test	Right Side	C23	0.011	---	----	---	----	----	----
		Left Side	C25	0.0165	C26	0.017	C25	0.0165	----	----
	FE	----	C25	0.015	C25	0.015	----	----	----	----
T6	Test	Right Side	C25	0.0165	C23	0.01	----	----	----	----
		Left Side	C25	0.017	C14	0.004	----	----	----	----
	FE	----	C25	0.014	C26	0.015	----	----	----	----

Table 3. Test and FE result

شکل ۱۱: ترک خوردگی های حاصل پس از انجام تحلیل نمونه **T11**.

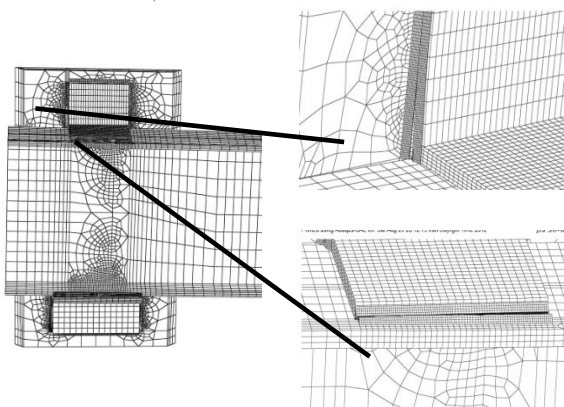


Fig. 11. Fracture pattern. Of specimen T11

شکل ۱۲: منحنی پشتواره نمونه شماره ۳.

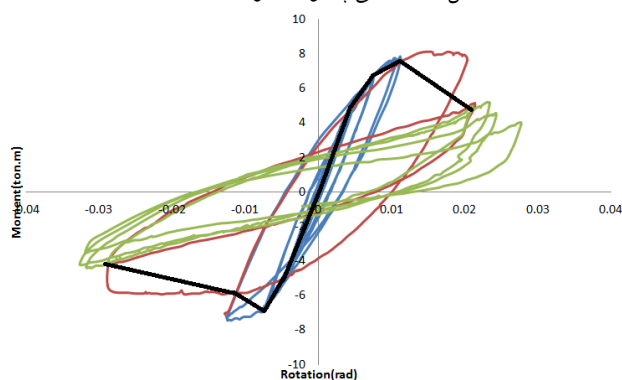


Fig. 12. backbone curve of specimen T3

شکل ۱۳: منحنی پشتواره نمونه آزمایش شده **T11**.

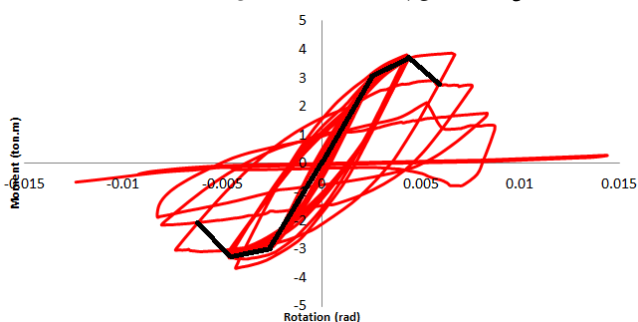


Fig. 13. backbone curve of specimen T11

با توجه به رضایت بخش بودن نتایج تحلیل مدل عددی در مورد نمونه های آزمایشگاهی، مدل های عددی دسته دوم نمونه ها یعنی نمونه های **T7** الی **T14** (جدول ۱) ساخته شده و تحلیل شدند. به عنوان نمونه ای از این نتایج منحنی لنگر-چرخش نمونه **T11** در شکل (۱۰) آورده شده است. آثار ترک خوردگی در از بین رفتن باربری نمونه در نمودار مشاهده می شود. همچنین در شکل (۱۱) ترک خوردگی در نمونه **T11** نشان داده شده است.

۳-۵ استخراج منحنی پشتواره

پس از انجام آزمایش ها و تحلیل های عددی، منحنی های پشتواره برای نمونه های **T1** الی **T6** با استفاده از روش توضیح داده شده در بخش ۲ به دست آمد. در شکل (۱۲) منحنی پشتواره روی منحنی لنگر چرخش نمونه آزمایش شده **T3** ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می شود مقادیر پارامترهای مشخصه رفتاری هر یک از این نمونه ها را می توان از روی این منحنی استخراج نمود. این پارامترها شامل سختی اولیه، لنگر تسلیم، لنگر نهایی و چرخش نهایی است. جداول (۴ و ۵) برخی پارامترهای حاصل از دو روش را مقایسه می کند که نشان می دهد نتایج حاصل از مدل سازی از دقت مناسبی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی برخوردار است.

شکل ۱۰: منحنی لنگر-چرخش مربوط به نمونه **T11**.

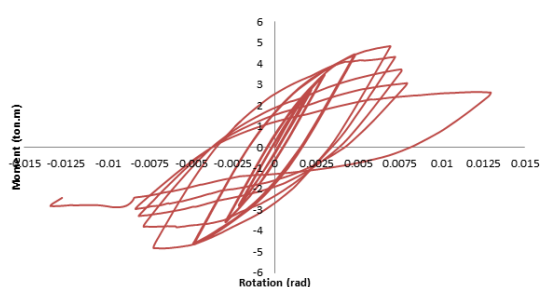


Fig. 10. moment -rotation curve of specimen T11

جدول ۴: مقادیر مقاومت تسلیم و نهایی به دست آمده از منحنی های پشتواره حاصل از دو روش.

Specimen	Ultimate Strength			Yield Strength		
	Test	FEM	Error%	Test	FEM	Error%
T1	2.8	2.3	-17	2.15	2.1	-2
T2	4.7	4.3	-8.5	2.3	3.4	6
T3	6.9	6.25	-9.4	5.3	4.9	-7.5
T4	3.8	3.9	2	2.9	3.5	20
T5	6.5	6.5	0	4.5	5.3	17
T6	7.2	7.1	-1.2	6.2	5.7	-8

Table 4. Comparison of strength values of test and FEM

جدول ۵: مقادیر به دست آمده برای پارامترهای e و g

Specimen	e(rad)			g(rad)		
	Test	FEM	Error%	Test	FEM	Error%
T1	0.016	0.0105	34.4	0.004	0.004	0
T2	0.014	0.013	-7	0.0041	0.0043	-4.8
T3	0.012	0.011	-8.33	0.0043	0.0039	-9.3
T4	0.0155	0.016	3.2	0.0045	0.0054	20
T5	0.012	0.01	-16.66	0.0038	0.0045	18.4
T6	0.013	0.0113	-13	0.0045	0.0042	-6.67

Table 5: comparison of rotation parameters of test and FEM

بالایی به طول نبشی پایینی و اندازه نبشی بالایی به عنوان متغیرهای غیر وابسته در نظر گرفته شده است. در این پژوهش از نرم افزار $SPSS$ [۲۲] برای انجام برازش با استفاده از داده‌های ارائه شده در بخش ۲-۵ استفاده شده است. بر این اساس، روابط زیر برای سختی اولیه، لنگر تسلیم، لنگر نهایی و چرخش نهایی برای نمونه‌های اتصال خورجینی استخراج شد.

$$K=0.11 * H^{2.482} * L_{ta}^{1.064} * (L_{ta}/L_{ba})^{-0.116} * D_{ta}^{-0.582} \quad (۳)$$

$$M_y=0.011 * H^{0.857} * L_{ta}^{1.16} * (L_{ta}/L_{ba})^{-0.049} * D_{ta}^{0.073} \quad (۴)$$

$$M_u=0.067 * H^{0.372} * L_{ta}^{1.11} * (L_{ta}/L_{ba})^{-0.206} * D_{ta}^{0.073} \quad (۵)$$

$$\theta_u=0.053 * H^{-0.56} * L_{ta}^{-0.238} * (L_{ta}/L_{ba})^{1.469} * D_{ta}^{0.443} \quad (۶)$$

۵- مقایسه نتایج روابط پارامتری جدید با

اطلاعات موجود در ادبیات فنی:

یکی از روابطی که جهت محاسبه سختی اتصالات خورجینی در گذشته ارائه شده است رابطه مقدم و همکاران [۱] است که به صورت زیر است.

$$K=136h+667 \quad (۶)$$

مقدار h در این رابطه ارتفاع تیر است. این رابطه بر اساس تحلیل‌هایی روی یک نمونه به دست آمده که دور تا دور نبشی بالایی به تیر جوش شده است.

در شکل (۱۳) نیز منحنی پشتواره لنگر چرخش نمونه مدلسازی شده $T11$ آورده شده است. نتایج نهایی مربوط به سختی اولیه، لنگر تسلیم، دوران تسلیم، مقاومت نهایی و دوران حداکثر ۱۴ نمونه مطالعه شده در جدول‌های (۶ و ۷) ارائه شده است. در این جدول برای نمونه‌های $T1$ تا $T6$ نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته ولی در خصوص بقیه نمونه‌ها نتایج از تحلیل عددی به دست آمده است.

۴- استخراج روابط پارامتری مشخصه‌های منحنی رفتاری نمونه‌ها

در این پژوهش از روش برازش چند متغیره برای تعیین روابطی که بتواند مقادیر پارامترهای مربوط به منحنی رفتاری را پیش‌بینی نماید استفاده شده است. فرم کلی معادلات استفاده شده به صورت زیر است:

$$D = A_i \pi^m a_j^{x_j} \quad (۲)$$

D می‌تواند هر یک از پارامترهای مورد نظر مانند K (سختی اولیه)، M_y (لنگر تسلیم)، M_u (لنگر نهایی) و θ_u (چرخش نهایی) باشد. A_i ضرایب مجهول و a_j متغیرهای غیروابسته j هستند.

پس از انجام بررسی‌های لازم و در نظر گرفتن مفاهیم مهندسی، ارتفاع تیر، طول نبشی بالایی، نسبت طول نبشی

جدول ۶: اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر تسلیم و سختی اولیه با نتایج آزمایش و تحلیل

Parameter	Initial Stiffness(ton.m.rad)			Yield Strength (ton.m)		
Specimen	Test or FEM	Relation	Error%	Test or FEM	Relation	Error%
T1	525	505	-3.7	2.15	2.3	6
T2	767	778	1.5	3.2	3.7	14
T3	1189	1075	-11	5.3	5.1	-4
T4	660	730	10.5	2.9	2.75	-5
T5	1175	1125	-4	4.5	4.4	-2
T6	1400	1528	9	6.2	6.15	-1
T7	1304	1279	-2	3	2.9	-3
T8	1750	1880	8	5.25	4.6	-13
T9	1437	1323	-8	2.3	2.96	28
T10	2520	2553	1	6.3	2.38	1.5
T11	1285	1450	13	3.6	3.29	-9
T12	2368	2130	-10	4.5	5.16	15
T13	1480	1499	1	3.7	3.34	-10
T14	2880	2893	0.5	7.2	7.2	0

Table 6. Test and FEM results (Yield strength and initial stiffness)

جدول ۷: میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر و چرخش نهایی با نتایج آزمایش و تحلیل

Parameter	Ultimate Strength (ton.m)			Ultimate Rotation (rad)		
Specimen	Test or FEM	Relation	Error%	Test or FEM	Relation	Error%
T1	2.8	3.15	12	0.016	0.015	-5
T2	4.7	5	6	0.014	0.0138	-2
T3	6.9	6.94	0.5	0.012	0.0128	7
T4	3.8	3.45	-9.35	0.0155	0.0149	-3.6
T5	6.5	5.17	-15.8	0.012	0.0135	13
T6	7.2	7.6	5.5	0.013	0.0126	-2.6
T7	3.2	3.7	16.5	0.0055	0.00652	13.67
T8	6	5.44	-9	0.00975	0.01	5.6
T9	3.6	3.95	10	0.0065	0.004	-37
T10	8	7.56	5.5	0.009	0.0096	6.8
T11	4.2	4	-5.4	0.005	0.0066	32
T12	4.7	5.8	23	0.00975	0.0109	12.3
T13	4.7	4.2	-10	0.0042	0.004	3.7
T14	8	8.06	-0.8	0.0135	0.0102	-24.25

Table 7. Test and FEM results(ultimate strength and rotation)

جدول ۸: مقادیر متوسط خطا، متوسط مجذور مربعات آن و ضریب تبیین

Parameter	R^2	Average Error(%)	Square Average (%)
K	0.975	5.9	7.3
M_y	0.942	7.8	10.9
M_u	0.903	9.4	11.2
θ_u	0.869	12	16.3

Table 8. statistic parameters of key parameter

اتصال یک تیر به دست می‌آید. که در آن a ، t ، h و L و e به ترتیب اندازه جوش، ضخامت نبشی، ارتفاع تیر، طول نبشی و فاصله افقی لبه جوش شده نبشی تا ستون است. رابطه دیگری که به وسیلهی مقدم و همکاران [۱۱] ارائه شد رابطه‌ای است که بر اساس سازوکار این پژوهشگر برای چگونگی توزیع بار در اتصال منظور نمود به دست آمده، این رابطه به صورت زیر است و به عنوان رابطه شماره (۲) مقدم نامگذاری می‌شود.

$$M_y = \frac{2\sqrt{2}htalf_y}{\sqrt{\left(\frac{a}{4.5}\right)^2 h^2 + \frac{b^2}{900}(ath + (1-a) \times 900)}} \quad (۸)$$

مقدار α بین صفر تا یک متغیر است که این پژوهشگران آنرا برابر ۰/۷۵ پیشنهاد داده‌اند. مقادیر a ، t ، h ، L و b به ترتیب ارتفاع تیر، ضخامت نبشی، اندازه جوش، طول نبشی و عرض بال تیر است. F_y تنش تسلیم جوش است که برابر ۳۵۰۰ کیلوگرم پیشنهاد شده است.

در جدول (۹) نتایج حاصل از روابط گفته شده و رابطه جدید پیشنهادی در این مقاله و میزان خطای هریک از آنها ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود این رابطه در نمونه‌های $T1$ تا $T6$ نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید. اما در بقیه موارد اختلاف قابل توجه است. نکته قابل تأمل دیگر آنست که در تمامی موارد رابطه پیشنهاد شده مقدار لنگر تسلیم را کمتر از مقدار واقعی آن پیش بینی می‌کند که برای اطمینان است.

پس این رابطه در نمونه‌های استفاده شده در این پژوهش که تنها لبه نبشی به تیر جوش شده سختی بالاتری را پیش‌بینی می‌کند. در پژوهش موید علایی و مقدم نیز به بالاتر پیش‌بینی نمودن سختی به وسیلهی این رابطه اشاره شده است.

ضمناً این رابطه مواردی همچون طول نبشی را لحاظ نمی‌نماید. برای محاسبه لنگر تسلیم اتصالات خورجینی رابطه‌ای به وسیلهی مقدم و همکاران [۱] ارائه شده که بر اساس سازوکار فرض شده در این اتصال و تسلیم در جوش اتصال دهنده نبشی به ستون شکل گرفته است. این رابطه که به صورت زیر است، در این مقاله به عنوان رابطه (۱) مقدم نامگذاری می‌شود.

$$M_y = \frac{7athl}{e} \quad (۷)$$

مقدار بدست آمده بر حسب تن- سانتی‌متر است که برای

جدول (۹) میزان اختلاف نتایج حاصل از روابط مربوط به لنگر تسلیم با نتایج آزمایش و تحلیل

Specimen	Test Or FEM(ton.m)	MY(ton.m)			Error		
		Moghaddam's Relation(1)	Moghaddam's Relation(2)	New Relation	Moghaddam's Relation(1)	Moghaddam's Relation(2)	New Relation
T1	2.3	1.5	2.73	2.3	-34	17.2	6
T2	3.6	2.26	4.10	3.6	-36.2	12.2	12
T3	4.75	3.02	5.46	4.75	-37.2	15.2	-10
T4	2.75	2.46	3.65	2.75	-8.5	32.9	-5
T5	4.34	3.7	5.48	4.34	-14.3	25	-3.5
T6	6	4.9	7.31	6	-18	21.5	-3.3
T7	2.6	1.34	1.80	2.6	-50	-30	-11.5
T8	4.7	2.02	2.71	4.7	-57.7	-42.5	-11
T9	2.6	1.34	1.8	2.6	-46.24	-31.7	15
T10	6.2	2.69	3.61	6.2	-56.64	-41.6	-2
T11	3.1	2.26	3.04	3.1	-25.8	-2.4	-13.8
T12	5.2	3.4	4.57	5.2	-35.2	-12.1	16
T13	2.8	2.27	3.04	2.8	-18	7.8	-23
T14	7.2	4.54	6.09	7.2	-52.52	-15	0.3

Table 9. comparison of relations results and Test or FEM results

پیشنهادی با مقادیر به دست آمده از آزمایش برای لنگر ترک خوردگی و لنگر نهایی نزدیک است و توانسته به شکل مناسبی این دو را پیش بینی کند. با بررسی نتایج به دست آمده برای دوران بیشینه، می توان دریافت که آنچه که رابطه پیش بینی می کند به دوران ترک خوردگی بسیار نزدیک است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله روابطی برای توصیف پارامترهای مشخصه منحنی رفتاری اتصالات خورجینی متداول ارائه شد. بدین منظور تعداد چهارده نمونه با جزئیات متفاوت تحت بار چرخه ای آزمایش و مدلسازی شد و منحنی پشتواره مربوط به هر یک از نمونه ها ترسیم و پارامترهای مشخصه به دست آمد. سپس با استفاده از روش های آماری روابط پارامتری حاصل شد. مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی و آنالیز با نتایج حاصل از روابط گفته شده دقت در این روابط را نشان داد. اختلاف در پیش بینی سختی، لنگر تسلیم و نهایی در بیشتر نمونه ها کمتر از ۱۰ درصد است. در پیش بینی دوران متناظر با کاهش مقاومت نمونه ها اختلاف بین دو روش بیشتر از اختلاف در پیش بینی پارامترهای قبلی است اما باز در بیشتر موارد کمتر از ۱۵ درصد است. همچنین متوسط خطای نمونه ها کمتر از ۱۲ درصد، متوسط مجذور مربعات خطا کمتر از ۱۶ درصد و ضریب تبیین بیشتر از ۰/۸۶۹ است. روابط بالا در محدوده پارامترهای ارتفاع تیر بین ۱۸ تا ۲۷ سانتی متر و اندازه نبشی های با عرض بال بین ۶ تا ۱۲ سانتی متر و طول نبشی بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر قابل استفاده است. مقایسه نتایج این روابط با نمونه هایی که در استخراج روابط نیز استفاده نشده اند نشان دهنده قابل قبول بودن نتایج است.

رابطه دوم از دقت مناسب تری نسبت به رابطه قبل برخوردار است. با نگاهی به درصد خطاهای به دست آمده می توان دریافت که سازوکار منظور شده برای به دست آوردن رابطه به شکل مناسبی انتخاب شده است. متوسط درصد خطای این رابطه ۲۵ درصد است. لازم به گفتن است خطای رابطه پیشنهادی در این مقاله ۵/۹ درصد است.

علاوه بر مقایسه فوق، روابط پیشنهادی برای پیش بینی پارامترهای مشخصه منحنی رفتاری نمونه هایی که مقدم و موید علایی روی آنها آزمایش انجام داده بودند و از لحاظ پیکربندی به آنچه در این پژوهش منظور شده نزدیک است، استفاده شد. (جدول ۱۰) مشخصات این نمونه ها را نشان می دهد.

جدول (۱۰) مشخصات نمونه های آزمایش شده به وسیله مقدم و موید

علایی [۱۰]

Specimen	Section Beam	Angle Length (cm)	Angle Type
S1	IPE 180	20	100×100×10
S2	IPE 180	20	100×100×10
S3	IPE 180	10	100×100×10
S4	IPE 160	20	100×100×10

Table 10. Key parameters of Alaei's specimens

در جدول (۱۱) نتایج حاصل از آن آزمایش ها و این روابط مقایسه شده است. در محاسبه سختی، رابطه متوسط خطایی در حدود ۲۴ درصد دارد. همچنین نتایج به دست آمده از رابطه

جدول (۱۱) نتایج حاصل از آزمایش و روابط پیشنهادی

Parameter	Stiffness(ton.m.rad)			Moment(ton.m)			Rotation(θu)		
	Test	Relation	Error	Ultimate	Cracking	the Relation	Ultimate	Cracking	the Relation
S1	1304	1036	-20.7	7.79	6.26	6.97	0.022	0.0106	0.012
S2	1472	1036	-29.8	7.8	7.14	6.97	0.019	0.011	0.012
S3	462	495	7.1	3.27	3.1	3.16	0.043	0.0155	0.014
S4	1248	770	-38	7.96	7.13	6.67	0.021	0.0117	0.0112

Table 11. Test and the relation result

مراجع

References

- ۱- کرمی، رضا، خواص مکانیکی اتصالات خرجینی، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر حسن مقدم، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۰.
- ۲- طاحونی، شاپور، فرجودی، جمشید، گزارش مطالعه صلبیت اتصالات خرجینی، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۳۷۱.
- ۳- حسینیخانی، علی، اتصالات خرجینی، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر علی اکبر آقا کوچک، دانشگاه آزاد واحد جنوب، ۱۳۷۱.
- ۴- فلاح، احمد علی، آنالیز دینامیکی غیرخطی اتصالات خرجینی نیمه صلب تحت بارهای زلزله، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محمد علی برخوردار، دانشگاه علم و صنعت ایران. ۱۳۷۳.
- ۵- طریقت، امیر، مطالعه رفتار الاستیک اتصالات خرجینی، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر شاهرخ مالک، دانشگاه تهران، ۱۳۷۳.
- ۶- یعقوبی سرسختی، مجتبی، بررسی انواع اتصالات در قاب‌های فولادی و ارزیابی تجربی و تئوریک رفتار اتصالات موسوم به رکابی (خرجینی)، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر رضا رازانی، دانشگاه شیراز، ۱۳۷۳.
- ۷- ملکی، مهدی، بررسی عملکرد رفتار اتصالات خرجینی تحت بارهای دینامیکی، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محسن تهرانی زاده، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۲.
- ۸- مزروعی، علی، مصطفایی، حسین، روش‌های بهسازی اتصالات خرجینی، دومین کارگاه تخصصی اتصالات خرجینی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۷.
- ۹- صادقیان، پدram، روشهای تحلیل و تقویت اتصالات خرجینی، رساله کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر حسن مقدم، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۸.
- ۱۰- دهقانی رنانی، مهدی، بررسی نظری و تجربی اتصالات تیرهای خورجینی به ستون و ارائه جزئیات یک اتصال گیردار جدید، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر میرقادر و دکتر مزروعی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۹.
- ۱۱- مویده‌لانی، علی، تقویت لرزه‌ای سازه‌ای اتصال خورجینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر حسن مقدم، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.
- ۱۲- فاضل، داود، کاربرد شبکه‌های عصبی در منحنی لنگر- دوران اتصال خورجینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر علی کاوه، دانشگاه علوم و فنون مازندران، ۱۳۷۸.
- ۱۳- وشکینی، قاسم، تعیین ضریب رفتار R برای قاب‌های دارای اتصال خورجینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر علی اکبر آقا کوچک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۰.
- ۱۴- پیرایه‌گر، شبیر، عملکرد لرزه‌ای اتصال لنگرگیر به ستون، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر حسن مقدم، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۶.
- ۱۵- نشریه شماره ۳۶۰، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، معاونت امور فنی دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، ۱۳۸۵.
- ۱۶- امیری حمیدرضا، آقا کوچک علی اکبر، "مطالعه آزمایشگاهی رفتار چرخه ای اتصالات خورجینی متداول و معیارهای پذیرش آنها" سازه و فولاد، ۹، ۱۳۹۰، ۹۶-۷۹.
- 17- 356." NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", building seismic safety council, Washington, D.C., 2000.
- 18- AISC. "Seismic provisions for structural steel buildings", American Institute of steel construction, Chicago, 2005.
- 19- Amiri H.R. , Aghakouchak A.A. , Shahbeyk S. , Engelhardt M.D. Finite element simulation of ultra low cycle fatigue cracking in steel structures. Journal of Constructional Steel Research 2013;89: 175-184
- 20- ABAQUS. User's manual, version 6.10, Hibbitt, Karlsson, and Sorensen, Inc., 2010, Providence, R.I.
- 21- Kanvinde AM, Deierlein GG. Cyclic Void Growth Model to Assess Ductile Fracture Initiation in Structural Steels due to Ultra Low Cycle Fatigue. J. Engineering Mechanics 2007; 133(6): 701-712.

Development of Parametric Equations for Behavior Characteristics of Conventional Saddle-like Connections

Hamid Reza Amiri¹, Ali Akbar Aghakouchak², Sharif Shahbeyk³

1. Ph.D. Graduate, Faculty of Civil and Environmental Eg. Tarbiat modares university.

2. Proferror of Structoral Eg., Faculty of Civil and Environmental Eg. Tarbiat modares university.

3. Assistant professor of Structral Eg., Faculty of Civil and Environmental Eg. Tarbiat modares university.

a_gha@modares.ac.ir

Abstract:

Saddle-like (Khorjeeni) connections are formed in steel frames, where the beams are not cut at their intersection with columns. The beams continuously by-pass the columns and are connected to them using top and bottom angles. This type of connection provides some benefits, such as ease of construction and superior behavior under gravity loads, however it has some disadvantages that can cause significant damages to the structure when subjected to seismic loads. Past studies have shown that saddle-like connections can be classified as semi-rigid connections, but they do not have the ductility capacity observed in those types of semi-rigid connections, which have been recommended in various codes for seismic resistant design.

In recent years, several researchers have tried to propose details for improving the behavior of Khorjeeni connections. However, in the process of seismic evaluation and rehabilitation of existing structures, in which the conventional type of Khorjeeni connections are used, it is necessary to have typical behavior curves and acceptance criteria for different levels of structural performance. The aim of this paper is to develop parametric equations for behavior characteristics of the conventional saddle like connections.

Experiments and finite element modeling have been conducted on fourteen different specimens of the connections. The details have been selected based on what are normally found in medium rise buildings in Iran. The beam height and the angle length vary in the specimens. Six specimens have been tested in laboratory and then modeled by finite elements. FE analysis has considered the crack initiation and propagation using a micromechanical model originally proposed for predicting crack initiation in ultra-low cycle fatigue, ULCF. ABAQUS multi-purpose software has been employed for this work. As the Finite Element modeling of tested saddle-like connections has proved to be successful in predicting the behavior of this type of connection, additional samples have been modeled and analyzed using FE models. Based on the results of experiments and FE modeling, backbone curves representing moment rotation behavior of the connections have been determined following the FEMA recommendations. Characteristic parameters of the backbone curve have been identified as initial stiffness, yield moment, ultimate moment and ultimate rotation of the connection. Also the parameters affecting these characteristic values have been found to be beam depth, top angle size, top angle length, and bottom angle length. Finally, using the regression methods, some relationships have been proposed for each characteristic parameter of the backbone curves. A comparison of the experimental and numerical results and the results of parametric equations shows good accuracy. The differences in initial stiffness, yield moment and ultimate moment are less than 10 percent for majority of the specimens. The differences in ultimate rotation are also less than 15 percent in most of the cases. The proposed equations in conjunction with FEMA recommendations for acceptance criteria can be used in seismic evaluation and rehabilitation of steel structures with saddle like connections.

Keywords: Saddle like connection, Backbone curve, Behavior curve , Acceptance criteria, Characteristic parameter