بسم الله الرحمن الرحيم

موضوع :

بررسی تجربی رفتار اتصالات گیردار تیر با جان شکافدار دارای ورقهای فوقانی و تحتانی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران – سازه

اساتید راهنما :

دکتر مرتضی نقی پور

دکتر عبدالرضا زارع

نگارش :

محمدرحیم غلامپورگنجه

شهریورماه ۱۳۸۸

پیش گفتار

سپاس خدایی را که نعمتهایش را در مقابل عبادت و بندگی خود به بندگانش ارزانی داشته و ما نیز یکی از آنهایی بوده که بیش از آنچه انتظار داریم مورد توجه و عنایتش قرار گرفته ایم.

مسلماً هر علمی هر چقدر پیشرفته باشد باز هم نواقصی داشته که می بایست با تحقیقات و مطالعه بیشتر برطرف گردند. علم ساختمان سازی و طرح قابهای خمشی از علوم مهم و کاربردی بوده که علیرغم استفاده زیاد و ارتباط مستقیم با زندگی بشر، اشکالات زیادی داشته و نیازمند بازنگری و اعمال تغییرات در نحوهٔ طراحی و اجرای خود است. اتصالات فعلی را می توان تحت عنوان اتصالات قبل نورث ریچی معرفی کرد و دلیل آن هم این است که بعد از زلزله نورث ریچ تغییرات اساسی در نحوهٔ اجرای آنها بوجود آمد. بعد از این زلزله مذکور اتصالات متعددی معرفی گردیدند که نواقص اتصالات رایج را از طریق دور کردن دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون برطرف نموده و امکان وقوع گسیختگی در جوش بال تیر به ستون را به حداقل می رسانند. یکی از اتصالاتی که در دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون و انتقال آن به درون تیر و تقویت ناحیه اتصال بسیار توانمند عمل می کند اتصال تیر با جان شکافته است که هم می توان آنرا زیر گروه اتصالات با تیر تضعیف شده قلمداد نموده و هم جزء اتصالات تقویت شده معرفی کرد. این اتصال به شکلهای مختلف اجرا می شود و در این تحقیق دو نوع آن شامل اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی و اتصال با جوش تیر به ستون که در هر دو ناحیه اتصال با ورق برشی جان تقویت می شود، به دو شکل تحلیلی و تجربی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج لازم ارائه شده است. در اینجا لازم است از زحمات آقایان دکتر نقی پور دانشیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل و دکتر زارع استادیار دانشگاه یاسوج که با راهنماییهای خود مرا در پیشبرد تحقیقات کمک نمودند و آقای مهندس قائد رحمت که در مراحل انجام آزمایش کمال همکاری را داشتند قدردانی نموده و از همسر و دختر عزیزم که در مدت تحصیل زحمات خیلی زیادی را متحمل گردیدند، صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

محمد رحیم غلامپور

۸۸/۴/۳۰

اتصالات قابهای مقاوم خمشی فولادی با استفاده از روش ایجاد شکاف در جان تیر

چکیده

شکست گسترده و قابل توجه اتصالات قاب‌های خمشی فولادی طی زلزلهٔ ۱۹۹۴ نورث‌ریج بیانگر ضعف عمدهٔ این اتصالات و شناخت نادرست طراحان از آنها بود. بعد از زلزله مذکور تغییرات زیادی در روند طرح و اجرای اتصالات سازه‌های فولادی ایجاد گردید. یکی از اتصالاتی که ایدهٔ آن پس از زلزله فوق مطرح و به تأیید موسسات معتبر رسید، اتصال«تیر با جان شکافته» است که در برطرف نمودن ضعف اتصالات رایج از قبیل حذف نیروی برشی موجود در بال تیر و ناحیه اتصال از طریق دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون و انتقال آن به درون تیر و حذف پدیدهٔ کمانش جانبی-پیچشی بال تیر از توانایی بالایی برخوردار است.

در ارزیابی رفتار اتصالات بایستی از فرضیات اجتناب کرده و حالت واقعی آنها را در نظر گرفت که با بکارگیری روشهای آزمایشگاهی یا المان محدود قابل بررسی است و به همین منظور در این پایان نامه دو مدل جداگانه که در آنها تیر $IPE120$ به ستون $IPB140$ متصل شده و در یکی اتصال با استفاده از ورقهای فوقانی و تحتانی انجام شده و در دیگری تیر به ستون جوش خورده و در هر دو ناحیه اتصال با ورق برشی جان تقویت شده است، به روشهای تحلیلی و تجربی مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج حاصل از بررسی هر دو اتصال رفتاری یکسان را نشان داده بطوریکه در هر دو شکاف موجود در جان تیر منجر به دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون (جوشها) و انتقال آن به درون تیر و بدنبال آن مصون نگاهداشتن ناحیه اتصال از هر گونه شکست می شود.

به منظور بررسی تأثیر طول شکاف و ابعاد ورقهای فوقانی و تحتانی و همچنین ابعاد ورق برشی جان بر توزیع تنش در اتصالات تیر با جان شکافته، علاوه بر دو نمونه مورد آزمایش، چند مدل دیگر در حالات مختلف و در حالت غیر خطی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS تحلیل شده اند. بررسیها نشان می دهد که روابط موجود بیشتر برای تیرهای بال پهن صادق بوده و بکارگیری آنها برای تیرهای نیم پهن نیاز به بازنگری دارد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
۱- مقدمه	۲
فصل دوم: اتصالات رایج مورد استفاده در ساختمانهای فولادی	۷
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- تقسیم بندی اتصالات از نظر نحوه انتقال گشتاور بین تیر و ستون	۱۰
۲-۲-۱- اتصال صلب	۱۰
۲-۲-۲- اتصال مفصلی	۱۲
۲-۲-۳- اتصال نیمه صلب	۱۲
۲-۳- چگونگی توزیع تنشهای کلاسیک و واقعی در اتصالات تیر به ستون	۱۶
۲-۳-۱- مقدمه	۱۶
۲-۳-۲- توزیع تنش کلاسیک در تیرها	۱۶
۲-۳-۳- توزیع تنش براساس مطالعات المان محدود	۱۷
۲-۴- زلزله نورث‌ریج و تأثیر آن بر اتصالات قبل از خود	۱۹
۲-۵- چگونگی شکست اتصالات و محلهای شروع ترک	۲۰
۲-۵-۱- شکست در ناحیه اتصال (جوش نفوذی متصل کننده بال تیر به ستون)	۲۱
۲-۵-۲- شکست در منطقه متأثر از جوش در بال تیر (HAZ)	۲۲
۲-۵-۳- شکست در شکاف (سوراخهای) دسترسی	۲۳
۲-۵-۴- شکست در ناپیوستگیهای موجود در پاشنه جوش	۲۴
۲-۶- دلایل شکست اتصالات	۲۴
۲-۷- چگونگی کشف وجود نیروی برشی عمودی در بال تیر در اتصالات معمولی	۲۹
۲-۸- راهکار های ارائه شده جهت اصلاح اتصالات رایج	۳۱
۲-۹- اتصالات دارای سخت کننده	۳۲
۲-۱۰- مفصل پلاستیک(لولای خمیری)	۳۴
۲-۱۱- تعیین محل مفصل پلاستیک	۳۸
فصل سوم: معرفی اتصال با جان شکافته، نحوه مدلسازی با ANSYS و چگونگی آماده سازی نمونه آزمایشگاهی	۴۲
۳-۱- مقدمه	۴۳
۳-۲- هندسه کلی اتصال تیرهای با جان شکافته	۴۳
۳-۳- مزایای اتصال با جان شکافته	۴۵
۳-۴- طراحی اتصال با جان شکافته	۴۶
۳-۴-۱- مقدمه	۴۶
۳-۴-۲- تیر و ستون	۴۷
۳-۴-۳- طول شکاف	۴۷
۳-۴-۴- عرض شکاف	۵۱

۳-۴-۵- قطر حفره انتهایی ۵۱
۳-۴-۶- سوراخ دسترسی ۵۳
۳-۴-۷- ورق برشی ۵۳
۳-۴-۸- جوشهای اتصال ۵۶
۳-۴-۹- سخت کننده های جان ستون ۵۶
۳-۴-۱۰- ورقهای فوقانی و تحتانی ۵۸
۳-۵- نحوه مدلسازی مدلها با نرم افزارANSYS ۶۰
۳-۵-۱- مقدمه ۶۰
۳-۵-۲- معرفی نرم افزار ANSYS ۶۰
۳-۶- ساخت مدل ۶۲
۳-۶-۱- روش مدلسازی غیر مستقیم ۶۲
۳-۶-۲- روش مدلسازی مستقیم ۶۳
۳-۷- مراحل مختلف مدلسازی تا مشاهده نتایج اتصالات مدل شده ۶۳
۳-۷-۱- مدلسازی ۶۳
۳-۷-۲- تعریف خصوصیات مواد **و** اختصاص آنها به اجزاء مدل ۶۴
۳-۷-۳- یکپارچه نمودن احجام ۶۶
۳-۷-۴- المان بندی مدل ۶۶
۳-۷-۵- شبکه بندی مدل ۶۶
۳-۷-۶- بارگذاری و تحلیل مدل ۶۷
۳-۷-۷- تعیین زیرگامها، آنالیز سازه و مشاهده نتایج ۶۸
۳-۸- اتصالات مدل شده ۶۹
۳-۹- مراحل مختلف اجرای آزمایش ۷۳
۳-۹-۱- مقدمه ۷۳
۳-۹-۲- در آوردن شیارها، سوراخهای انتهایی و دسترسی ۷۳
۳-۹-۳- اتصال تیر به ستون ۷۴
۳-۹-۴- نصب سازه در محل مورد نظر ۷۴
۳-۹-۵- نصب وسایل اندازه گیری از قبیل کرنش سنج، تغییر مکان سنج و نیرو سنج بر روی سازه ۷۵
۳-۱۰- چگونگی اجرای آزمایش ۷۵
فصل چهارم : ارزیابی نتایج حاصل از بررسیهای تجربی و کامپیوتری و مقایسه آنها با یکدیگر ۸۰
۴-۱- مقدمه ۸۱
۴-۲- بررسی نتایج حاصل از تحقیقات آزمایشگاهی ۸۱

۴-۲-۱- چگونگی تغییرات بار وارده بر سازه و تغییر شکل ناشی از آن در تیر ۸۱
۴-۲-۲- چگونگی تغییرات جابجایی انتهای تیرها در طول آزمایش ۹۱
۴-۲-۳- تغییرات کرنش بالهای تیر در مجاورت شیار درطول آزمایش ۹۲
۴-۳- چگونگی توزیع تنش در تیر و ناحیه اتصال در حالت تحلیلی ۹۶
۴-۳-۱- بررسی تغییرات مدل ۱ ۹۶
۴-۳-۲- بررسی تغییرات مدل ۲ ۹۶
۴-۳-۳- بررسی تغییرات مدل ۳ ۹۷
۴-۳-۴- بررسی تغییرات مدلهای ۴ تا ۶ ۹۹
۴-۳-۵- بررسی تغییرات مدلهای ۷ و ۸ ۱۰۰
۴-۳-۶- بررسی تغییرات مدلهای ۹و۱۰و۱۱ ۱۰۱
۴-۳-۷- بررسی تغییرات مدلهای ۱۲و۱۳و۱۴ ۱۰۲
۴-۴- بررسی عملکرد بارهای وارد شده بر سازه در حالات مختلف برای دو اتصال مورد مطالعه ۱۰۵
۴-۴-۱- اتصال با جوش تیر به ستون ۱۰۵
۴-۴-۲- اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی ۱۰۶
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۰۹
۵-۱- نتیجه گیری ۱۱۰
۵-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۱۷
چکیده لاتین ۱۱۸
منابع ۱۲۲

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱): اتصالات صلب متداول ۱۱
شکل (۲-۲): انواع قاب با سختی اتصالات متفاوت تحت اثر بار گسترده ۱۵
شکل (۲-۳): ترسیمه توزیع تنش برشی در یک اتصال گیردار ۱۸
شکل (۲-۴): شکلهای مختلف ترکهای ایجاد شده در ناحیه اتصال ۲۱
شکل (۲-۵): گسترش ترک از جوش به داخل چشمه اتصال ۲۲
شکل (۲-۶): شکست K-Line ۲۳
شکل (۲-۷): سوراخ دسترسی تیر ۲۳
شکل (۲-۸): شکست در سوراخ دسترسی ۲۴
شکل (۲-۹): تیر I شکل بارگذاری شده و حالات مختلف کمانش آن ۲۶
شکل (۲-۱۰): گسیختگی در ناحیه پانلی ستون ۲۸
شکل (۲-۱۱): شکست در مرز جوش بال تیر به بال ستون ۲۸
شکل (۲-۱۲): ترک در بال ستون ۲۸
شکل (۲-۱۳): گسترش ترک در بال ستون و ناحیه پانلی ۲۹
شکل(۲-۱۴): گسترش شکست در جان تیر ۲۹
شکل(۲-۱۵): بالهای تقسیم شده و توزیع تنش در لایه ها ۳۰
شکل (۲-۱۶): توزیع تنش در لایه‌های بالا، وسط و پایینی بال کششی تیر در یک اتصال رایج ۳۰
شکل (۲-۱۷): تغییرات کرنش در لایه‌های بالا، وسط و پایینی بال کششی تیر در یک اتصال رایج ۳۰
شکل (۲-۱۸): اتصال با ورقهای سخت کننده ۳۳
شکل (۲-۱۹): شروع گسیختگی از انتهای ورق سخت کننده ۳۳
شکل (۲-۲۰):توزیع تنش در یک تیر با ماده ارتجاعی- خمیری ۳۵
شکل (۲-۲۱): تعیین لنگر خمیری M_p ۳۶
شکل (۲-۲۲): مشخصات یک تیر بال پهن ۳۸
شکل (۲-۲۳): وضعیت تیر با حالت خمیری موضعی ۳۹
شکل (۲-۲۴): لولای خمیری ۳۹
شکل (۲-۲۵): طول مفصل پلاستیک برای تیرهای I و مستطیل شکل ۴۱
شکل (۳-۱): اتصال با جان شکافته با جوش تیر به ستون بصورت شماتیک ۴۴
شکل (۳-۲): اتصال با جان شکافته با ورقهای فوقانی و تحتانی بصورت شماتیک ۴۴
شکل (۳-۳): محدودهٔ الاستو پلاستیک در اتصال با جان شکافته برای تیر طره ای با بار انتهایی ۴۷
شکل (۳-۴): محدودهٔ بین مقاطع A-A و B-B در شکل ۳-۳ ۴۸
شکل (۳-۵): جزئیات شکاف جان تیر ۵۱
شکل (۳-۶): شروع شکست از محل حفره انتهایی ۵۲
شکل (۳-۷): گسترش ترک به سمت بال فوقانی تیر از محل حفرهٔ انتهایی ۵۲
شکل (۳-۸): شکست بال فوقانی تیر از محل حفره انتهایی ۵۲
شکل (۳-۹): لنگر طراحی صفحه برشی ۵۴
شکل (۳-۱۰): جزئیات جوشهای اتصال ورق برشی و جان تیر به ستون ۵۶

شکل (۳-۱۱): دیاگرام تنش- کرنش تیر و ستون ۶۵
شکل (۳-۱۲): دیاگرام تنش- کرنش جوشها ۶۵
شکل (۳-۱۳): المان بندی کل مدل هندسی ۶۷
شکل (۳-۱۴): نحوه اعمال بار ۶۸
شکل (۳-۱۵): تصویر ورق فوقانی ۷۰
شکل (۳-۱۶): مهارهای جانبی ستون و پیچشی انتهای تیرها ۷۵
شکل (۳-۱۷): نمای شماتیکی مهار سازه ۷۵
شکل (۳-۱۸): کرنش سنج چسبیده به بال تیر ۷۶
شکل (۳-۱۹): آماده کردن محل قرارگیری کرنش سنج با استفاده از کاغذ سنباده ۷۶
شکل (۳-۲۰): تغییر مکان سنج و نحوه قرار گیری آن ۷۷
شکل (۳-۲۱): جک وارد کننده نیرو و متعلقات مربوطه ۷۸
شکل (۳-۲۲): تیر و لوله های ناقل بار از جک دستگاه به تیر ۷۸
شکل(۴-۱): منحنیهای تغییرات بار وارده بر تیر ۸۴
شکل(۴-۲): کشیدگی و فشردگی بالها در اثر اعمال نیرو ۸۷
شکل(۴-۳): خروج بال پایینی از حالت اولیه و ایجاد کمانش در آن ۸۸
شکل(۴-۴): کمانش بال پایین و پیچیدگی جان در محدودهٔ مفصل پلاستیک ۸۹
شکل(۴-۵): کمانش بال پایین و پیچیدگی جان در اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی ۸۹
شکل(۴-۶): ترک و شروع گسیختگی از محل سوراخ انتهایی ۹۰
شکل(۴-۷): منحنیهای تغییرات جابجایی انتهای تیر بر حسب نیرو ۹۱
شکل(۴-۸): منحنی تغییرات کرنش بال فشاری تیر بر حسب نیرو ۹۳
شکل(۴-۹): منحنی تغییرات کرنش بال پایینی تیر بر حسب جابجایی انتهای آن ۹۴
شکل(۴-۱۰): منحنی تغییرات کرنش بال بالای تیر بر حسب جابجایی انتهای آن ۹۴
شکل(۴-۱۱): بالا رفتگی بال بالا در مجاورت ورق برشی در اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی ۹۵
شکل(۴-۱۲): چگونگی توزیع تنش در تیر و ناحیه اتصال در مدلهای ۱و۲ ۹۷
شکل(۴-۱۳): محدودهٔ مفصل پلاستیک در دو اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی و بدون آنها ۹۹
شکل(۴-۱۴): چگونگی توزیع تنش در مدل ۶ ۱۰۰
شکل(۴-۱۵): توزیع تنش با اختلاف ناچیز بین طول شیار و طول ورقهای فوقانی و تحتانی ۱۰۱
شکل(۴-۱۶): توزیع تنش با انتخاب طول شیار معادل ۱/۵ برابر طول ورقهای فوقانی و تحتانی ۱۰۲
شکل(۴-۱۷): توزیع تنش با انتخاب طول شیار معادل دو برابر طول ورقهای فوقانی و تحتانی ۱۰۲
شکل(۴-۱۸): چگونگی توزیع تنش در مدلهای ۱۲ و ۱۳ ۱۰۳
شکل(۴-۱۹): اندازه های اتصال مورد آزمایش با ورقهای فوقانی و تحتانی ۱۰۷
شکل(۱-۵): توزیع تنش در ناحیه پانلی ستون در دو اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی و بدون آنها ۱۱۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول(۳-۱): مقادیر کرنش و تنش برای فولاد تیر و ستون	۶۴
جدول(۳-۲): مقادیر کرنش و تنش مربوط به جوشها	۶۵
جدول(۴-۱): نتایج مربوط به آزمایش اتصال با جوش تیر به ستون	۸۲
جدول(۴-۲): نتایج مربوط به آزمایش اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی	۸۳
جدول(۴-۳): مقدار بار و تغییر شکل ناشی از آن در تیرهای مورد آزمایش	۸۶
جدول(۴-۴): مقادیر بارهای حاصل از بررسی سازه به روشهای تجربی، تحلیلی و حل با فرمول	۱۰۷

اتصالات قابهای مقاوم خمشی فولادی با استفاده از روش ایجاد شکاف در جان تیر

چکیده

شکست گسترده و قابل توجه اتصالات قاب‌های خمشی فولادی طی زلزلهٔ ۱۹۹۴ نورث‌ریج بیانگر ضعف عمدهٔ این اتصالات و شناخت نادرست طراحان از آنها بود. بعد از زلزله مذکور تغییرات زیادی در روند طرح و اجرای اتصالات سازه‌های فولادی ایجاد گردید. یکی از اتصالاتی که ایدهٔ آن پس از زلزله فوق مطرح و به تأیید موسسات معتبر رسید، اتصال«تیر با جان شکافته» است که در برطرف نمودن ضعف اتصالات رایج از قبیل حذف نیروی برشی موجود در بال تیر و ناحیه اتصال از طریق دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون و انتقال آن به درون تیر و حذف پدیدهٔ کمانش جانبی-پیچشی بال تیر از توانایی بالایی برخوردار است.

در ارزیابی رفتار اتصالات بایستی از فرضیات اجتناب کرده و حالت واقعی آنها را در نظر گرفت که با بکارگیری روشهای آزمایشگاهی یا المان محدود قابل بررسی است و به همین منظور در این پایان نامه دو مدل جداگانه که در آنها تیر $IPE120$ به ستون $IPB140$ متصل شده و در یکی اتصال با استفاده از ورقهای فوقانی و تحتانی انجام شده و در دیگری تیر به ستون جوش خورده و در هر دو ناحیه اتصال با ورق برشی جان تقویت شده است، به روشهای تحلیلی و تجربی مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج حاصل از بررسی هر دو اتصال رفتاری یکسان را نشان داده بطوریکه در هر دو شکاف موجود در جان تیر منجر به دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون (جوشها) و انتقال آن به درون تیر و بدنبال آن مصون نگاهداشتن ناحیه اتصال از هر گونه شکست می شود.

به منظور بررسی تأثیر طول شکاف و ابعاد ورقهای فوقانی و تحتانی و همچنین ابعاد ورق برشی جان بر توزیع تنش در اتصالات تیر با جان شکافته، علاوه بر دو نمونه مورد آزمایش، چند مدل دیگر در حالات مختلف و در حالت غیر خطی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS تحلیل شده اند. بررسیها نشان می دهد که روابط موجود بیشتر برای تیرهای بال پهن صادق بوده و بکارگیری آنها برای تیرهای نیم پهن نیاز به بازنگری دارد.

پیش گفتار

سپاس خدایی را که نعمتهایش را در مقابل عبادت و بندگی خود به بندگانش ارزانی داشته و ما نیز یکی از آنهایی بوده که بیش از آنچه انتظار داریم مورد توجه و عنایتش قرار گرفته ایم.

مسلماً هر علمی هر چقدر پیشرفته باشد باز هم نواقصی داشته که می بایست با تحقیقات و مطالعه بیشتر برطرف گردند. علم ساختمان سازی و طرح قابهای خمشی از علوم مهم و کاربردی بوده که علیرغم استفاده زیاد و ارتباط مستقیم با زندگی بشر، اشکالات زیادی داشته و نیازمند بازنگری و اعمال تغییرات در نحوهٔ طراحی و اجرای خود است. اتصالات فعلی را می توان تحت عنوان اتصالات قبل نورث ریچی معرفی کرد و دلیل آن هم این است که بعد از زلزله نورث ریج تغییرات اساسی در نحوهٔ اجرای آنها بوجود آمد. بعد از این زلزله مذکور اتصالات متعددی معرفی گردیدند که نواقص اتصالات رایج را از طریق دور کردن دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون برطرف نموده و امکان وقوع گسیختگی در جوش بال تیر به ستون را به حداقل می رسانند. یکی از اتصالاتی که در دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون و انتقال آن به درون تیر و تقویت ناحیه اتصال بسیار توانمند عمل می کند اتصال تیر با جان شکافته است که هم می توان آنرا زیر گروه اتصالات با تیر تضعیف شده قلمداد نموده و هم جزء اتصالات تقویت شده معرفی کرد. این اتصال به شکلهای مختلف اجرا می شود و در این تحقیق دو نوع آن شامل اتصال با ورقهای فوقانی و تحتانی و اتصال با جوش تیر به ستون که در هر دو ناحیه اتصال با ورق برشی جان تقویت می شود، به دو شکل تحلیلی و تجربی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج لازم ارائه شده است. در اینجا لازم است از زحمات آقایان دکتر نقی پور دانشیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل و دکتر زارع استادیار دانشگاه یاسوج که با راهنماییهای خود مرا در پیشبرد تحقیقات کمک نمودند و آقای مهندس قائد رحمت که در مراحل انجام آزمایش کمال همکاری را داشتند قدردانی نموده و از همسر و دختر عزیزم که در مدت تحصیل زحمات خیلی زیادی را متحمل گردیدند، صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

محمد رحیم غلامپور

۸۸/۴/۳۰

مقدمه

زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج[۱] کالیفرنیا تحولات بسیاری را در روند اجرای سازه‌های گیردار فولادی ایجاد نمود و به نقطه عطفی در طراحی و اجرای این نوع سازه‌ها تبدیل گشت، بطوریکه با تقسیم بندی آنها، اتصالاتی را که قبل از خود مورد استفاده قرار می گرفتند به اتصالات قبل نورث ریچی و اتصالات بعد از خود را به اتصالات بعد نورث ریچی یا اتصالات پیشرفته تغییر نام داد.

با وقوع زلزله مذکور طیف وسیعی از ساختمان‌های فولادی جوشی با سیستم قاب خمشی *(WSMF)*[2] در ناحیه اتصال تیر به ستون دچار شکست شدند که از نظر ارتفاع، از یک تا ۲۶ طبقه و از نظرعمر، سازه‌هایی که درست در همان زمان ساخته شده بودند تا ساختمان‌هایی با عمر بیش از ۳۰ سال را در بر می گرفتند[*1*].

مبنای طراحی قابهای خمشی جوش شده در مقابله با زمین لرزه، به گونه ای است که بدون از دست دادن مقاومت، قابلیت تسلیم و تغییر شکل خمیری زیادی در آنها ایجاد شده و تغییر شکل خمیری بوجود آمده، موجب ایجاد دورانهای پلاستیک درون تیرها و در محل اتصالشان به ستون می شود و مجموع این حالات از نظر تئوری موجب جذب انرژی داده شده به ساختمان میگردند. فرض اساسی دیگر در مورد این اتصالات این است که می‌توانند دوران‌های پلاستیک تا ۰/۰۲رادیان و بزرگتر را بدون زوال در مقاومت خمشی تحمل کنند که در نتیجه آن در برخورد با زلزله‌های شدید، رفتاری بسیار شکل‌پذیر از خود نشان داده و بجای مواجه شدن با شکست ترد[۳]، آسیب‌هایی مانند تسلیم و کمانش‌های موضعی در تیرها ایجاد می شود.

با وقوع زلزله نورث ریج آن طور که انتظار می رفت ساختمانها رفتار نکردند و با آسیب دیدگی جدی، ضررهای اقتصادی قابل ملاحظه ای را با وجود عدم تلفات جانی متحمل شدند. با بررسی های بعمل آمده مشخص گردید که شکست‌های ترد اتصالات در بسیاری از موارد در محدوده زیر حد خمیری مقاطع بوقوع پیوسته و اکثراً در حالی اتفاق افتاده اند که مقاطع فولادی قاب ساختمان هنوز در حد

۱-*northridge*
۲-*welded Steel Moment Frame*
۳-*Brittle Fracture*

الاستیک باقی مانده است، همچنین مشخص گردید که اغلب آسیب‌های وارده به سازه ها ناشی از ترکهای ایجاد شده در ناحیه جوش نفوذی بال تیر به بال ستون بوده است که به درون بال و جان ستون گسترش یافته اند، به عبارت دیگر در این قاب‌ها، دلیل اکثر شکستها ضعف ناحیه اتصال بوده است.

بررسی‌های المان محدود توزیع و تمرکز تنش عجیبی را در ناحیه اتصال تیر به ستون نشان داده است، به همین دلیل عمده مسیرهای مطالعاتی بر روی یافتن دلایل توزیع تنش نامعلوم و تمرکز آن در ناحیه اتصال متمرکز شده اند.

نتایج حاصل از مطالعات انجام شده، تنش برشی عمودی موجود در بال‌های تیر و جوش بین بال تیر و ستون را عمده‌ترین عامل بروز شکستها عنوان کرده اند بعبارت دیگر با آنکه در روش‌های متعارف طراحی اتصال سازه‌های فولادی برای تیرها I شکل، به دلیل عرض زیاد بال آنها هیچگونه سهمی از برش عمودی در نظر گرفته نمی شود و کل برش را سهم جان تیر می‌دانند، اما بررسی‌ها نشان دهنده حالتی برخلاف این فرض در محل اتصال بودند تا جاییکه برخی مطالعات نشان دهنده دریافت ۵۰٪ از برش عمودی کل مقطع توسط بال‌های تیر بودند[18].

نیروی برشی موجود در بالهای تیر در ناحیه اتصال که در طراحیها اشاره ای به آن نشده است، معضلات بسیاری از جمله کاهش ظرفیت باربری تیر در ناحیه اتصال، پیدایش لنگر اهرمی در بال‌های تیر در هنگام تغییر شکل سازه تحت بارهای جانبی، رشد ترکهای جزیی موجود در مصالح جوش اتصال تیر به ستون و تمرکز قابل توجه تنش در محل اتصال را بدنبال دارد که همه این عوامل منجر به شکست ترد جوش اتصال پیش از تسلیم مقطع تیر می‌شوند.

علاوه بر تنش برشی موجود در بال‌های تیر، عوامل دیگری نیز به عنوان دلایل شکست اتصالات معرفی شدند، از جمله اینکه آیین‌نامه‌های طراحیی که بین سالهای ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۴ تدوین شده بودند معمولاً توصیه به طراحی اتصال با ناحیه پانلی ضعیف در ستون می‌کردند درحالیکه بعد از زلزله نورث‌ریج مشخص گردید که تغییر شکل پلاستیک عمدتاً در ناحیه اتصال رخ داده و باعث افزایش تنش و کرنش در جوش بال تیر به بال ستون و بدنبال آن شکست اتصال شده است.

با توجه به ضعفهای اشاره شده در اتصالات فولادی جوشی و موارد دیگری که در ادامه خواهند آمد، پس از زلزله نورث‌ریج اکثر مسیرهای مطالعاتی به سمت حل معضلات موجود در اتصالات فوق هدایت شدند تا عملکرد آنها را بهبود بخشند و مبنای کار این بود تا اولاً محاسبه و طرح ظرفیت باربری اتصال بر مبنای ممان پلاستیک تیر انجام شود، ثانیاً اتصال بقدری مقاوم ساخته شود تا بتواند بدون تحمل شکست به حداکثر مقاومت خود برسد، ثالثاً ظرفیت شکل‌پذیری سازه به اندازه کافی تأمین شده تا نقاطی از آن که تحت تغییر شکل‌های پلاستیک بزرگ قرار می‌گیرند، قادر به اتلاف انرژی باشند.

بعد از زلزله نورث ریج تلاشهای زیادی از سوی مؤسسات معتبر آمریکایی در زمینه چگونگی شکست اتصالات و دلایل آنها انجام گرفت و پس از کشف محلهای مؤثر شکست به این نتیجه رسیدند که شکستها نه بر اثر نحوه اجرای اتصالات بلکه بدلیل شرایط نادرست طراحی آنها بوده که از سوی آیین نامه ها ارائه شده است بعبارت دیگر آیین نامه ها ایراد داشته و در آنها شرایط لازم جهت دستیابی به اتصال مقاوم در برابر زلزله پیش بینی نشده یا اینکه بصورت نادرست در نظر گرفته شده است. مؤسسات فوق حاصل تحقیقات خود را به این صورت ارائه دادند که برای داشتن اتصالی مقاوم در برابر زلزله بایستی آیین نامه ها اصلاح شوند و راه حلی که برای این منظور اعلام کردند این بود که مفصل پلاستیک را از ناحیه اتصال دور نمایند و فلسفه طراحی اتصالات را بر مبنای دور کردن محل مفصل پلاستیک از بر ستون و انتقال آن به داخل تیر قرار دادند تا از این طریق بتوانند پایداری جانبی سازه را در صورت تسلیم مقاطع حفظ نمایند، بدین ترتیب محل اتصال (جوش) در حالت الاستیک باقی مانده و از ترد شکنی مصون نگه داشته می‌شود، به همین منظور دو دسته اتصالات را معرفی نمودند که در آنها مفصل پلاستیک در تیر و در ناحیه ای دور از اتصال قرار می گیرد. این اتصالات عبارت بودند از[6]:

الف- اتصالات تقویت شده (RC) [۱]

ب- اتصالات با تیر تضعیف شده (RBS) [۲]

۱-*Rainforcement connection*
۲-*Reduced beam connection*

عملکرد هر دو نوع اتصال شبیه هم بوده ولی شکل آنها متفاوت است. دراتصالات تقویت شده، با تقویت ناحیه اتصال آنرا نسبت به تیر مقاومتر میکنند در حالی که در اتصال با تیر تضعیف شده با برش قسمتی از بال‌های تیر در فاصله‌ای مشخص از بر ستون، آنرا نسبت به محل اتصال ضعیفتر می نمایند.

یکی از مهمترین و کارآمدترین اتصالاتی که ایدهٔ آن پس از زلزله نورث‌ریج مطرح گردید و در حذف تنش برشی عمودی موجود در بال‌های تیر و ناحیه اتصال و همچنین دور کردن مفصل پلاستیک را از بر ستون از توانایی بالایی برخوردار است، اتصال تیر با جان شکافته[۱] است که می توان آنرا زیر گروه اتصالات با تیر تضعیف شده قلمداد کرد. این اتصال توسط انجمن طراحی لرزه ای سازه های آمریکا مطرح و به تصویب موءسسه سازه های فولادی این کشور به عنوان یک اتصال مدرن در طراحی سازه های فولادی رسید و تاکنون در ساختمانهای زیادی از آن استفاده گردیده و روند بکارگیری آن همچنان در حال افزایش است. تاکنون این روش در کشور ما شکل اجرایی به خود نگرفته و تنها جزئیات آن در قالب چند پایان نامه دانشجویی مورد بررسی قرار گرفته است که از جمله آنها می توان به پایان نامه آقای شعبان زاده از فارغ التحصیلان دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل با عنوان بررسی رفتار اتصالات تیر با جان شکافته با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود *ANSYS* یا تحقیقاتی که در همین زمینه در دانشگاه صنعتی امیر کبیر انجام شده است، اشاره نمود. با توجه به نو بودن ایدهٔ اتصال با جان شکافته، محوریت اهداف این پایان‌نامه بر محافظت از ناحیه اتصال به روش دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون، با ایجاد شکاف در جان تیر قرار گرفته است. به همین منظور چند مدل را با استفاده از نرم افزار *ANSYS* تحلیل نموده و دو مدل از مدلهای تحلیل شده را با شرایط مشابه در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار داده و بعد از جمع آوری نتایج دو روش آزمایشگاهی و تحلیلی و مقایسه آنها با هم، روابط لازم ارائه گردیده است. بخشهای مختلف این تحقیق به شرح زیر است.

فصل دوم به بررسی اتصالات رایج مورد استفاده در قابهای خمشی، مفصل پلاستیک و محل قرارگیری آن در تیرها و بعضی از اتصالات مطرح شده بعد از زلزله نورث ریج می پردازد، در فصل سوم ابتدا اتصال

۱-*Slotted Web Connection*

تیر با جان شکافته و جزئیات آن مورد بررسی قرار گرفته، سپس نرم افزار *ANSYS* و نحوه مدلسازی و آنالیز مدلهای مورد نیاز معرفی می گردد و در انتهای آن چگونگی ساخت و آماده سازی نمونه های آزمایشگاهی و نصب وسایل اندازه گیری روی آن مطرح شده است. فصل چهارم به تشریح آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه و نتایج حاصل از آنها و همچنین مقایسه آنها با نتایج حاصل از آنالیز مدل به روش المان محدود می پردازد و بالاخره در فصل پنجم نتیجه گیری کلی و پیشنهادات لازم ارائه شده است.

۲-۱- مقدمه

برای سالهای متمادی فلسفه طراحی سازه ها بر فرضیات زیر استوار بود.

۱- برای زلزله های کوچک تا متوسط که در طول عمر مفید سازه اتفاق می افتد، سازه باید بدون آسیب دیدگی سازه ای و غیر سازه ای از طریق سختی خود، نیرو های ناشی از زلزله را به فونداسیون منتقل نماید.

۲- برای بزرگترین زلزله محتمل که در طول عمر مفید سازه اتفاق می افتد، سازه باید بتواند با کمترین خسارات سازه ای و غیرسازه ای ولی بدون فرو ریزش[۱] نیروهای زلزله را تحمل نماید.

برای رسیدن به اهداف فوق آیین نامه ها بکارگیری سیستمها و موادی که رفتاری شکل پذیر داشته باشند را پیشنهاد کردند و سازه شکل پذیر را سازه ای تعریف نمودند که بتواند بدون کاهش در مقاومت، تغییر شکلهای غیر الاستیک بزرگ را پذیرفته و فرو ریزشی در آنها اتفاق نیفتد.

در آیین نامه های طراحی لرزه ای سازه ها، تغییر شکل سازه و شدت بزرگی زلزله را در مقابل هم قرار داده و شکل پذیری را طوری در نظر می گیرند که با بزرگی نیروی زلزله رابطه معکوس داشته باشد، سازه های با شکل پذیری زیاد را برای نیروهای لرزه ای کم و سازه های با شکل پذیری کم را برای نیروهای لرزه ای بزرگتر طراحی می نمایند، بعبارت دیگر سازه را بنحوی طراحی می کنند که شدت زلزله از مقاومت الاستیک آن بیشتر باشد.

دردهه ۱۹۶۰ مهندسین سازه به این باور رسیدند که سیستم قاب مقاوم خمشی فولادی با اتصالات جوشی در رده یکی از شکل پذیرترین سیستمهای سازه ای قرار داشته که کلیه مشخصات لازمه را دارا بوده و در مورد آنها فرضیات زیر مطرح است.

۱- قابهای خمشی فولادی اصولاً در مقابل زلزله حساس نبوده و فرو ریزشی در آنها اتفاق نمی افتد و خسارات سازه ای احتمالی در آنها محدود به جاری شدن اعضای قاب می شود در حالیکه خود اتصال در حالت الاستیک باقی می ماند و به واسطه همین تفکر سازه های صنعتی آموزشی و تجاری را به شکل قاب خمشی می ساختند .

---

۱ -*collapce*

۲- در قابهای خمشی بدون از دست دادن مقاومت، حالت خمیری و تغییر شکل زیادی ایجاد می شود و این حالات، موجب پیدایش دورانهای پلاستیک تا ۰/۰۲ رادیان و بزرگتر(بدون انهدام سازه و با داشتن مقاومت خمشی) در محل اتصال تیر به ستون شده که در نتیجه آن انرژی داده شده به ساختمان توسط زلزله جذب می شود و در حالت کلی میتوان گفت که سازه به شکلی طراحی شده است که در عین شکل پذیری، انرژی زیادی را تلف میکند.

۳- در این نوع اتصالات تمامی لنگر را بال و تمامی برش را جان تیر تحمل نموده و شکل پذیری از طریق جاری (تسلیم) شدن ناحیه اتصال تیر به ستون ایجاد میشود که خود این حالت در اثر بوجود آمدن مفصل پلاستیک در تیر یا ستون، جاری شدن برش در ناحیه چشمه اتصال تیر به ستون یا ترکیبی از آنها بوجود می آید.

۴- این اتصالات با پذیرش تغییر شکلهای بزرگ، در مقابل حرکات تناوبی زمین مقاومت میکنند، بدین ترتیب تصور بر این است که این سازه ها رفتاری بسیار شکل پذیر دارند بطوریکه بجای مواجه شدن با شکست ترد، در آنها آسیبهایی مانند تسلیم، کمانشهای موضعی و غیره بوجود می آید.

اتصالات رایج گذشته عموماً از قاب مقاوم خمشی فولادی با اتصالات جوشی تشکیل شده و بر اساس آیین نامه[۱] $AISC$ و روش های[۲] $LRFD$ و[۳] ASD طراحی شده اند و فرم کلی اجرای آنها بدین صورت است که در آنها بالهای تیر یا ورق پوششی متصل به آن با جوش نفوذی کامل[۴] (CJP) به ستون متصل شده و جان تیر نیز بوسیله ورق برشی که با استفاده از جوش یا پیچ به آن متصل می شود به ستون جوش می خورد تا این اجزا بتوانند ملزومات تئوری کلاسیک توزیع تنش را ارضا کنند. این اتصالات از نظر نحوهٔ انتقال گشتاور بین تیر و ستون به سه دسته تقسیم بندی می شوند که هر کدام از آنها تأمین کننده شرایط خاصی است.

---

۱ - *American Institue of Steel Construction*
۲ - *Load and Resistance Factor Design*
۳ -*Allowable Stress Design*
٤ -*Complete Joint Penetration*

برخی از شرایط گفته شده در مورد این اتصالات تنها از دیدگاه تئوری قابل بحث است و در اجرا دستیابی به آنها میسر نیست و هدف از بیان آنها تنها ارائه محدودیتهایی خاص برای طبقه‌بندی آنهاست که در ادامه مورد بررسی قرار می گیرند.

۲-۲- تقسیم بندی اتصالات از نظر نحوه انتقال گشتاور بین تیر و ستون

سه نوع اتصال در ساختمانهای فولادی کاربرد دارد که در ادامه بطور مختصر به آنها اشاره می نماییم.

۲-۲-۱- اتصال صلب[۱]

اتصال صلب قادر به انتقال کامل لنگر بوده و در آن هیچگونه دوران نسبی بین اعضای وارده به ناحیه اتصال بوجود نمی آید، البته بدلیل خاصیت ارتجاعی مصالح فولادی بکار رفته در سازه‌ها، بوجود آوردن اتصالی که در آن هیچگونه دوران نسبی بین اعضای وارد شده به ناحیه اتصال ایجاد نشود هدفی غیرقابل حصول بوده و به منظور طبقه بندی از دیدگاه درصد گیرداری اتصالات، اتصالی را که قادر به انتقال بیش از ۹۰ درصد لنگر صلبیت کامل باشد در گروه اتصالات صلب قرار می‌دهند[*9*].

عوامل گوناگونی بر روی میزان صلبیت این نوع اتصال تأثیر دارند که مهمترین آن صلبیت تکیه‌گاه‌های اتصال است. بعنوان مثال در حالتی که تیر بطور مستقیم به بال ستون جوش می‌شود، نازک یا ضخیم بودن ورق بال و جان ستون تأثیر بسزایی در کاهش یا افزایش صلبیت اتصال دارد[*1*]. هدف اصلی از طرح یک اتصال صلب، انتقال نیروهای موجود از طریق اتصال با حداقل تغییر شکل موضعی ناشی از این نیروها می‌باشد تا بتواند صلبیت بالای۹۰ درصد را فراهم کند.

استفاده از اتصال صلب در قاب‌های فولادی دو مزیت دارد، اول اینکه می توان از طرح و محاسبه پلاستیک که اقتصادی‌تر است استفاده کرد و دیگر اینکه اگر از طرح و محاسبهٔ الاستیک استفاده شود، در صورت فشرده بودن تیرهای متصل شده به ستون، می‌توان از ده درصد کاهش لنگر خمشی مجاز و ده درصد افزایش تنش خمشی مجاز استفاده نمود. در هر دو حالت اتصال باید قادر باشد تا اولاً ظرفیت پلاستیک اعضای

۱-*Rigid Connection*