

بررسی تأثیر استفاده از اتصالات با مقطع کاهش یافته تیر در رفتار قابهای خمشی فولادی

علیرضا حسین آبادی^{1*}، محسن ایزدی نیا²، علیرضا فیوض³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر (Alireza_hossebabadi@yahoo.com)

2- استاد، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد (Izadiniam2002@yahoo.com)

3- استاد، عضو هیأت علمی دانشگاه خلیج فارس بوشهر (Alireza_fiouz@yahoo.com)

چکیده

اتصال استخوانی (RBS) یکی از اتصالات مدرن گیردار جوشی است، که پس از زلزله های دو دهه ی اخیر مورد توجه طراحان سازه در کشورهای همچون آمریکا و ژاپن قرار گرفته لیکن در کشور ما به لحاظ عدم آشنایی مهندسان طراح با این روش و نیز عدم آموزش تکنیک های جدید به مونتازکاران و جوشکاران کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

نظر به اینکه قابهای خمشی فولادی با اتصال گیر دار یکی از سیستمهای مقاوم در برابر بارهای جانبی مانند زلزله و باد هستند، نقش مقاومت اتصال در این قابها نقش حیاتی و بی بدیلی خواهد بود. بر اثر وارد آمدن بار جانبی به قاب و تغییر شکل غیر خطی در آن مفاصل پلاستیک در نقاط متعددی از سازه تشکیل شده که با اجرای اتصال استخوانی، مفصل پلاستیک به مقطعی از تیر انتقال یافته و از ایجاد مفصل پلاستیک در نقطه اتصال جلوگیری نموده و ایمنی آن را تضمین می کنیم. استفاده از این اتصال و مقایسه پارامترهای مختلف حاصل از کاربرد این اتصالات در قابهای خمشی نظیر منحنی پوش آور، ضریب رفتار، شکل پذیری سازه مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت ایده و انگیزه ای جهت استفاده از اتصالات با مقاطع کاهش یافته به خوانندگان عزیز می دهد. واژه های کلیدی: اتصال استخوانی، RBS، مفصل پلاستیک، اتصالات با مقاطع کاهش

1- مقدمه

سازه های ساختمانی تحت اثر نیروهای لرزه ای ناشی از زلزله تغییر مکان می یابند. این تغییر مکانها که عموماً از نوع جانبی هستند باید توسط دیوارهای برشی، مهاربندها و یا اتصالات صلب (قاب خمشی) مهار گردند. در مناطق زلزله خیز یکی از اصول طراحی سازه این است که سازه سختی جانبی کافی برای کنترل جابجایی بین طبقات را داشته باشد، این اصل برای جلوگیری از آسیب دیدگی اعضای غیر سازه ای در ساختمان می باشد. همچنین در زلزله های کوچک و متوسط عناصر سازه باید در محدوده ی الاستیک قرار داشته و مقاومت کافی داشته باشد. این تحمل باید به گونه ای باشد که خرابی در سازه به وجود نیاید. بر این اساس در طراحی سازه ها برای مقابله با نیروهای جانبی، تأمین سختی و قابلیت جذب انرژی به طور همزمان مورد نظر طراحان می باشد. بنابراین علاوه بر شکل هندسی قاب، اتصالات آن نقش اساسی دارند.

2- بررسی کلی اتصالات

بر اثر وارد آمدن بارها جانبی به قابها و تغییر شکل غیر خطی در آنها مفاصل پلاستیک در نقاط متعددی از آنها تشکیل می شود قابها باید به گونه ای طراحی شوند که تغییر شکل خمیری مورد نیاز آنها، در نتیجه ایجاد لولاهای پلاستیک در مقاطع از پیش تعیین شده ای از تیر تأمین گردد. این اتصالات به دلیل ظرفیت خمشی کمتر و ظرفیت چرخش پلاستیک بیشتر، قادر به تغییر شکل غیرالاستیک بوده و از انتقال لنگر زیاد از تیرها به ستونها و نیز تمرکز تنش در ناحیه اتصالات، جلوگیری می کنند. استفاده از اتصالات نیمه گیردار هزینه ساخت و اجرای قاب را نیز بطور قابل توجهی کاهش می دهد. در مقابل در قابهای نیمه گیردار مشکلاتی به لحاظ تغییر مکان نسبی بیشتر طبقات وجود دارد. عده ای از محققین معتقدند که با استفاده از ترکیبی از اتصالات گیردار و نیمه گیردار (قاب دوگانه)، ضمن حذف مشکل تغییر مکان نسبی بیشتر، می توان از مزایای اتصالات نیمه گیردار نیز بهره برد. [1]

در حال حاضر توصیه بر این است که اتصال تیر به ستون به گونه ای ساخته شود که لولای پلاستیک در فاصله مناسبی از کنار ستون تشکیل شود. چنین شرایطی را می توان با تقویت موضعی اتصال تیر یا ضعیف کردن موضعی مقطعی از تیر به فاصله مناسب از ستون فراهم نمود. در چاره اندیشی برای بهبود عملکرد این اتصالات، یکی از اتصالات جدید مورد استفاده در قاب های مقاوم فولادی بعد از زلزله نورتریج 1994 اتصال مقطع تیر کاهش یافته (RBS) می باشد، که به اتصال استخوانی معروف است. اتصال RBS دارای بازدهی خوبی در تست های آزمایشگاهی بود و در ساختمان سازی مورد استفاده قرار گرفت. آیین نامه UBC 1997 شرایطی را برای اتصالات خمشی فولادی وضع کرد که به موجب آن می توان از نیاز به ورق های پیوستگی اتصال¹ صرف نظر نمود [2]. در تیرهای فولادی لولای پلاستیک طول محدودی در حدود نصف ارتفاع تیر دارد از این رو موقعیت لولای پلاستیک باید حداقل در همین حد به ستون فاصله داشته باشد در صورتیکه انتقال محل لولای پلاستیک با تقویت اتصال انجام شود ظرفیت خمی ستون باید افزایش یابد تا از بروز شرایط ستون ضعیف جلوگیری به عمل آید. بر مبنای هدف از طراحی اتصال تأین شرایطی برای پیشگیری از تشکیل لولای پلاستیک در ستون یا مجاورت ستون و انتقال آن به موقعیت مشخی در تیر میباشد. این امر به دو روش انجام پذیر است روش اول با تقویت خوده اتصال روش دوم ضعیف کردن مقطعی از تیر امکان پذیر است. در ضمن کلیه اجزای اتصال باید برای ایجاد نیروهای حاصل از تشکیل لولای پلاستیک و نیروهای ثقلی مقاومت کافی داشته باشند. در ادامه به بررسی روش دوم یعنی ضعیف کردن مقطعی از تیر می پردازیم. [3,4,5]

3- روش طراحی اتصالات با مقطع تیر ضعیف شده

در اینگونه اتصالات موقعیت لولای پلاستیک با ایجاد ضعف موضعی در مقطعی از تیر تعیین می شود. در بین این مجموعه، نمونه با انحنای دایره ای ارجح است زیرا بر اساس تجارب بدست آمده، در سایر نمونه ها پیش از رسیدن به ظرفیت دوران پلاستیک، مقطع منهدم شده است. در تمام موارد مذکور انهدام از نقاطی که مسیر بریدگی تغییر می کند و شرایط هندسی موجب افزایش شدت تنش می شود آغاز شده است. از این رو جلوگیری از ایجاد گوشه های تیز در بریدگی های بال تیر ضرورت دارد. نمونه ای از کاربرد مقطع تیر ضعیف شده، اتصالات استخوانی است که در ادامه به شرح مختصری در رابطه با آن خواهیم پرداخت. [6].

1-3- اتصالات استخوانی

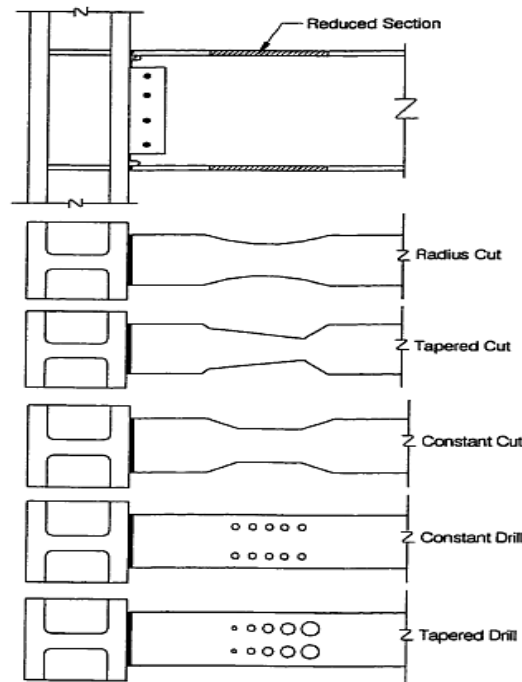
¹ - Continuity Plates

از زلزله های 1994 نورتریج امریکا و 1995 کوبه ژاپن به بعد ، اتصالات خمشی متنوعی ابداع شدند که همگی کوشش می کردند مشکلات مشاهده شده در قابهای خمشی در این زلزله ها را رفع کنند . این کوششها که هم در جوشکاری و هم در طرح اتصالات صورت گرفتند منجر به پیدایش اتصالات خمشی ورق های انتهایی ، ریبها ، ورق های پوششی و غیره و اتصال گیردار درختی ژاپنی گردیدند.

در قاب های خمشی فولادی چند طبقه ، در عرف طراحی مطلوب است که قاب منظمی طراحی شود، به طوریکه مفاصل پلاستیک بتوانند در تیرها تشکیل شده و ستونها الاستیک باقی بمانند به نحوی که اصل تیرضعیف - ستون قوی حاکم شود . اگرچه در اتصالات خمشی تقویت شده فوق این قوانین رعایت شده است و بر مشکلات زلزله فایده آمده اند ولی این اتصالات بسیار پر هزینه می باشند و از شکل پذیری و قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار نیستند . تنها مزیت این اتصالات نسبت به اتصالات خمشی قبل از زلزله نرتریج آن است که همواره اتصالی را می سازند که قوی تر از تیر است . اما می توان همین کار را به وسیله تضعیف تیر در برابر اتصال (در طول محدودی از تیر نزدیک اتصال) انجام داد .

استفاده از مقطع کاهش یافته تیر در این ناحیه نظیر یک ماهیچه استخوانی ، درعرض بال تیر ودر مجاورت اتصال گیردار تیر به ستون ، طرح بسیار مناسبی جهت بهبود شکل پذیری در قاب هایی که در معرض بارگذاری های شدید لرزه ای هستند، میباشد. ابتدا استخوانهای مستقیم در سال 1996 ابداع شدند و سپس شکل آنها با توجه به نمودار لنگر خمشی تحت اثر بارهای جانبی تصحیح گشتند و استخوانهای خطی بوجود آمدند. بعد از آن به خاطر مشکل تمرکز تنش در لبه های استخوان ، نواحی انتقالی هموارو شعاعی گشتند و استخوانهای خطی شعاعی در اواخر سال 1998 طرح شدند . از طرفی باز هم یک مشکل وجود داشت و آن صعوبت فرم برش بالها بود ، لذا اتصالات استخوانی شعاعی یعنی برترین نوع اتصالات خمشی پا به عرصه ظهور گذاشتند. اتصال استخوانی شعاعی با هندسه ی ساده خود که نواحی انتقالی در آن مستتر است منجر به ارتقاء اتصالات استخوانی گشت.

تحقیق بر روی استخوانهای شعاعی در چند سال اخیر آغاز گردیده است [7,8].
برای شروع ، توجه خوانندگان را به نمونه ای از این نمونه اتصالات در شکل 1 جلب می نمایم .



شکل 1- شکلهای مختلف برای مقطع ضعیف شده ی تیر

2-3- مزایای اتصالات استخوانی

بطور کلی مزایایی که استفاده از اتصالات استخوانی به همراه می آورند را می توان به اختصار مطابق زیر بیان کرد:

1- جلوگیری از تمرکز تنش در گره (بالهای تیر، جان تیر و بال ستون)

2- جلوگیری از عبور نیروهای نا خواسته از مفصل سخت شده و عدم تهدید اتصال تیر به ستون .

3- افزایش شکل پذیری اتصال.

4- تغییر نوع گسیختگی از حالت ناگهانی و تردشکنی به حالت شکل پذیر.

5- کاهش هزینه های اجرایی اتصالات و سازه.

6- کاهش زمان اجرا.

7- قابلیت اعتماد بیشتر به سازه.

اتصال **RBS** ، یکی از اتصالات معروف و کاربردی در بین اتصالات از پیش تایید صلاحیت شده در آمریکا به شمار می رود . این اتصال با استفاده از ایده ضعیف سازی خمشی مقطع تیر به وجود آمده است. در اتصال **RBS** به منظور ضعیف سازی خمشی ، مقطع تیر در ناحیه ای مشخص از تیر و دور از بر ستون، بالهای فوقانی و تحتانی تیر بریده می شوند، و عرض بال کاهش داده می شود. بنابراین مفصل پلاستیک و تقاضای شکل پذیری از روی ناحیه اتصال به ناحیه تضعیف شده تیر هدایت می شود و در نتیجه احتمال ایجاد شکست در جوش نفوذی بال تیر به ستون و سایر شکست ها و عملکرد های ضعیف اتصالات خمشی متعارف گزارش شده در زلزله ، کاهش می یابد . با انجام مطالعات آزمایشگاهی گسترده تایید شد که اتصال استخوانی شکل پذیری و دوران پلاستیک بالایی داشته و با ایجاد مفصل پلاستیک در منطقه باریک شده ضمن محافظت از اتصال، اتلاف انرژی بیشتری به ارمغان می

آورد. از اشکالات اتصال استخوانی این است که در تغییر مکان های بزرگ توانایی تحمل بار آن کم می شود . دلیل این امر تضعیف مقطع بال تیر و تاثیر آن در کاهش مقاومت مقطع نسبت به تغییر شکل های خارج از صفحه می باشد که در نتیجه باعث می شود تیر در ناحیه باریک شده دچار کماتش های موضعی و جانبی گردد. کاهش در مقطع بال تیر به طور معمول اول باعث کماتش محلی جان و سپس کماتش پیچشی و موضعی بال در بارگذاری می شود

به طور خلاصه می توان مزایای ضعیف سازی تیر در نزدیکی وجه ستون را به شرح زیر بیان کرد :

الف - کاهش تقاضای روی جوش های نفوذی بال و ناحیه اتصال ، امکان وقوع شکست را در این ناحیه کاهش می دهد .

ب - مصرف مصالح جوش و فولاد کمتر ، در مقایسه با اتصالات تقویت شده رایج پس از زلزله نورتریج ، هزینه ها را کاهش می دهد .

ج - کاهش تقاضای لنگر در وجه ستون ، ارضاء شرط ستون قوی - تیر ضعیف و فراهم کردن تقاضاهای مقاومتی ناحیه اتصال را تسهیل می کند .

د - کرنش پلاستیک یکنواختی در ناحیه کاهش یافته ایجاد می شود و تمرکز تنش در ناحیه بحرانی کمتر از اتصالات تقویت شده می باشد .

ه - جزئیات بندی اتصالات **RBS** در مقایسه با جزئیات بندی های پیچیده اتصالات تقویت شده ، ساده تر است در مطالعات انجام شده برش های مختلفی برای ایجاد باریک شدگی در تیر پیشنهاد شده است. نوعی از اتصال کاهش یافته که با ایجاد برش کماتی در بال تیر ایجاد می شود، بیش از انواع دیگر برش مورد توجه قرار گرفته و در عمل اجرا شده است این نوع اتصال معروف به اتصال استخوانی (**dogbone**) می باشد. در اتصالات **RBS** با کاهش موضعی مقطع تیر در مجاورت ستون از تمرکز تنش در محل اتصال جلوگیری می گردد و محل ایجاد مفصل پلاستیک از اتصال به مقطعی از تیر در نزدیکی بر ستون منتقل می شود. نوع خاصی از اتصال **RBS** معروف به اتصال استخوانی (**Dogbone**) که در آن بال های تیر به صورت قوسی از دایره برش یافته است، عملکرد بسیار خوبی در مقابله با بارهای لرزه ای نشان داده است. همچنین نوعی از اتصال **RBS** با اعمال کاهش موضعی در جان تیر به منظور دستیابی به حالت بهینه آن مورد مطالعه پارامتریک اجزا محدود قرار گرفته و با اتصالات مشابه نظیر اتصال استخوانی مورد مقایسه قرار گرفت. برای اتصال مورد مطالعه عملکرد خوبی در دور کردن مفصل پلاستیک از اتصال به همراه شکل پذیری بالا، اتلاف انرژی زیاد و مقاومت خوب مشاهده گردید. از مطالعات انجام شده ، خصوصیات رفتاری زیر قاب های خمشی دارای اتصالات **RBS** حاصل گردیده است :

الف - برش دایره ای رفتار چرخه ای بهتری نسبت به سایر برش ها دارند .

ب - ناحیه تضعیف شده تیر در اتصال **RBS**، مستعد کماتش موضعی زودتری در جان خود نسبت به تیر با مقطع کامل است .

ج - اتصال و ستون در قاب های دارای اتصال **RBS**، به ترتیب مستعد کماتش جانبی پیچشی و پیچش هستند .

د - افزایش عمق ستون موجب افزایش حساسیت اتصال به کماتش های جانبی پیچشی می گردد.

ه - دال کف موجب کاهش پتانسیل کماتش جانبی پیچشی اتصال و همچنین کاهش پتانسیل پیچش ستون می گردد .

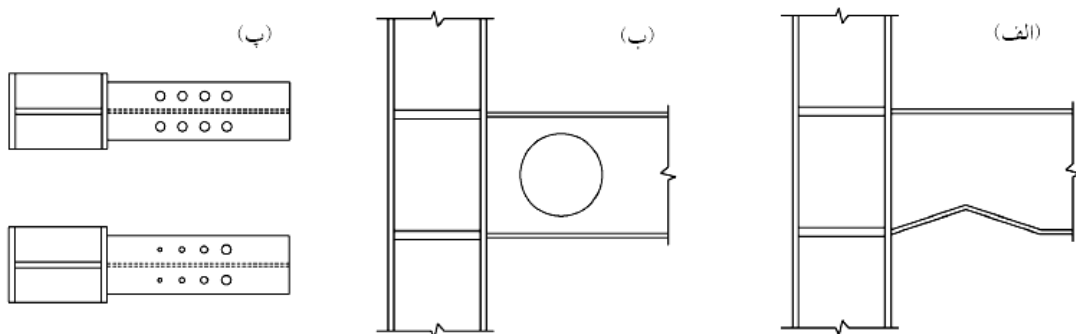
و - قاب های با اتصالات **RBS**، دارای حدود 5 درصد افزایش تغییر مکان جانبی سازه می باشند.

علاوه بر اتصالات RBS متعارف، روش های ضعیف سازی دیگری نیز در ناحیه مفصل پلاستیک مطرح شده است. چند نمونه از جزئیات بندی های پیشنهاد شده به عنوان یک اتصال تضعیف شده به ترتیب زیر می باشند :

1- کاهش عمق مقطع تیر در ناحیه مفصل پلاستیک؛ در این اتصال همانگونه که مشخصات آن در شکل 2- (الف) دیده می شود، عمق تیر در ناحیه مشخصی از تیر و دور از بر ستون کم شده است و به این ترتیب ظرفیت پلاستیک تیر کاهش می یابد و مفصل پلاستیک خمشی به این ناحیه از تیر هدایت می گردد. این روش توسط ویلکینسون و همکارانش مطرح شد. نتایج آزمایش های سیلیک نشان داد که اتصال توانایی برآورده کردن چرخش پلاستیک بیش از 0/05 رادیان را بدون کاهش قابل توجه در ظرفیت باربری دارد .

2- سوراخ کردن جان تیر ؛ جزئیات این اتصال پیشنهادی در شکل 2- (ب) نشان داده شده است. در این روش حذف جان موجب بسیج شدن لنگر های ثانویه در تیر و تغییر مکانیسم مقطع می گردد که نهایتا موجب کاهش ظرفیت خمشی خواهد شد .

3- سوراخ کردن بال تیر در ناحیه مفصل پلاستیک ؛ در این روش در ناحیه مورد نظر برای تشکیل مفصل پلاستیک، سوراخ های متوالی در بال تیر موجب کاهش ظرفیت پلاستیک تیر و تمرکز کرنش های پلاستیک در ناحیه می گردد. در شکل 2- (پ) دو نوع جزئیات بندی متفاوت این اتصال آورده شده است



شکل 2- جزئیات اتصال RBS (الف) کاهش عمق مقطع تیر در ناحیه مفصل پلاستیک (ب) سوراخ کردن جان تیر در ناحیه مفصل پلاستیک (پ) سوراخ کردن بال تیر در ناحیه مفصل پلاستیک

نتایج این بررسی بصورت مقاله ای در هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران در شیراز تحت عنوان " ارزیابی آزمایشگاهی رفتار لرزه ای نوع جدیدی از اتصال خمشی RBS با بکارگیری ورق موج دار در ناحیه مفصل پلاستیک " ارائه گردید.

3-3 اتصال خمشی RBS با بکار گیری ورق موج دار در ناحیه مفصل پلاستیک

طراحان سازه دریافتند که در اتصالات RBS متعارف، عرض بال تیر در نزدیکی اتصال تیر به ستون کاهش داده می شود تا با کاهش مقاومت خمشی، مفصل پلاستیک در ناحیه متمرکز گردد . در این تحقیق آن ها نوع جدیدی از اتصالات RBS را معرفی نمودند که در آن با جایگزینی جان صاف تیر با ورق های موج دار در ناحیه محدودی در نزدیکی وجه ستون، با کاهش مشارکت جان تیر در مقاومت خمشی، تیر تضعیف می گردد. برای ارزیابی رفتار و عملکرد لرزه ای اتصال پیشنهادی، دو نمونه آزمایشگاهی تحت بارگذاری چرخه ای گرفتند . نمونه

ها قابلیت جذب انرژی بالایی را در محل پیش‌بینی شده نشان دادند و اتصال بدون افت مقاومت قابل توجهی 0/08 رادیان چرخش کل طبقه را تحمل نمود.

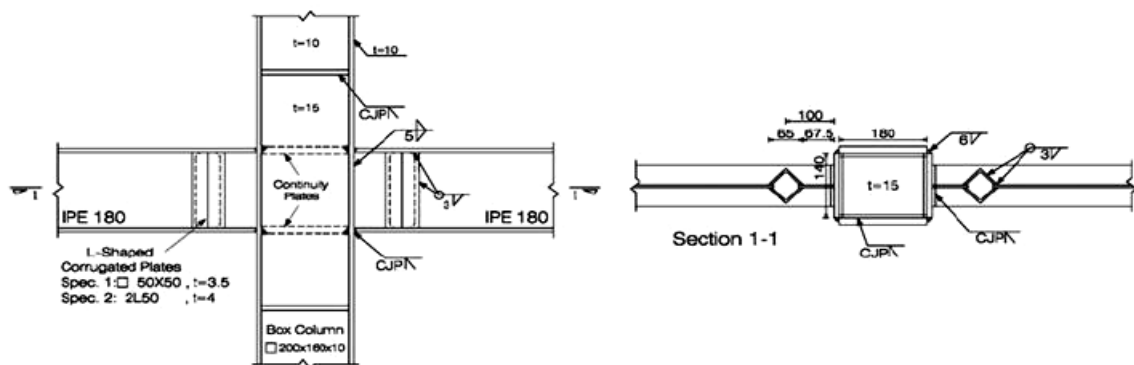
در این مقاله نوع جدیدی از اتصال خمشی تیر به ستون با تفکر تضعیف مقطع تیر در ناحیه مفصل پلاستیک معرفی می‌گردد که در آن در ناحیه ای از انتهای تیر و با فاصله از بر ستون تضعیف از طریق جایگزینی جان صاف تیر با ورق های موج دار انجام می پذیرد. روش به کار گرفته شده در اتصال پیشنهادی در جهت رفع ایراد ها، کاستی ها و نواقص موجود در اتصالات تضعیف شده متعارف و سایر روش های پیشنهاد شده برای تضعیف مقطع تیر می باشد.

الف) طراحی اتصال خمشی RBS با بکار گیری ورق موج دار

در این اتصال به جای کاهش عرض بال تیر به منظور تضعیف تیر، از ورق های موج دار فولادی به منظور تضعیف تیر، از ورق های موج دار فولادی به جای جان صاف تیر در این ناحیه استفاده می شود. خاصیت آکاردئونی ورق های موج دار باعث می گردد که این ورق های سختی و مقاومت محوری کمی را در مقایسه با ورق های صاف فراهم آورند. بنابراین انتظار می رود که تنش های محوری خمشی ناچیزی در جان موج دار ایجاد گردد و مشارکت جان تیر در ظرفیت خمشی تیر در ناحیه موج دار بسیار کم گردد و بدین ترتیب مقطعی تضعیف شده در ناحیه موج دار تیر تشکیل گردد. این در حالی است که ظرفیت برشی تیر در ناحیه تضعیف شده با استفاده از ورق های موج دار می تواند برابر با ظرفیت برشی قسمت جان صاف تیر باشد و به عبارت دیگر ظرفیت تیر در ناحیه تضعیف شده بدون تغییر باقی بماند. اتصال پیشنهادی با داشتن ناحیه محدودی با مقطع تضعیف شده در نزدیکی جوش نفوذی اتصال تیر به بال ستون و کاهش تقاضای مفصل پلاستیک بر روی اتصال و مؤلفه های آن، از مفهوم ضعیف سازی مقطع پیروی می کند و در رده اتصالات تضعیف شده (RBS) قرار می گیرد.

با توجه به توضیحات ذکر شده، به علت خاصیت آکاردئونی ورق های موج دار واقع در ناحیه مفصل پلاستیک تیر، ممان اینرسی و مدول پلاستیک مقطع تیر I شکل در طول ناحیه موج دار می تواند فقط بر اساس بال های تیر در این ناحیه محاسبه و از اثر جان در این محاسبات صرف نظر شود. برای ارزیابی عملکرد اتصال پیشنهادی و همچنین بررسی رفتار کلی و موضعی اتصال RBS با جان موج دار در ناحیه مفصل پلاستیک، دو نمونه آزمایشگاهی تقریباً مشابه شامل اتصال RBS با جان موج دار در ناحیه مفصل پلاستیک برای انجام مطالعه آزمایشگاهی در نظر گرفته شدند. در این نمونه ها ابعاد دهانه و ارتفاع ستون دو سوم مقیاس واقعی در نظر گرفته شدند. تیر ها از پروفیل IPE180 (ساخت ایران) و ستون از مقطع قوطی $10 \times 10 \times 160 \times 200$ میلیمتر ساخته شد و ورق های پیوستگی داخلی با ابعاد $15 \times 180 \times 140$ میلیمتر در داخل ستون و در امتداد بال های تیر قرار گرفت. در جان موج دار نمونه آزمایشگاهی اول از دو مقطع L شکل حاصل از برش در راستای قطر یک قوطی سرد نورد شده استفاده شد. ابعاد قوطی مورد استفاده در جان موج دار $5/3 \times 50 \times 50$ میلیمتر است و ارتفاع آن در محل جان موج دار 160 میلیمتر در نظر گرفته شد. بجای مقاطع L شکل حاصل از مقطع سرد نورد شده، در جان موج دار نمونه آزمایشگاهی دوم از دو مقطع استاندارد نبشی گرم نورد شده با ابعاد $4 \times 50 \times 50$ میلیمتر استفاده شد. تمامی مقاطع شامل تیر، ستون، ورق های پیوستگی و ورق های موج دار از فولاد A36 با مقاومت تسلیم اسمی 240 مگاپاسکال انتخاب شدند. ستون در جهت قوی مقطع قرار گرفته و تیرها به آن متصل شدند. تناسب بندی نمونه ها بر اساس بیش ترین ظرفیت بار و حداکثر تغییر مکان جک و مقاومت مورد انتظار تیر انجام گرفت و همچنین معیار ستون قوی - تیر ضعیف برای تضمین مکانیزم مفصل پلاستیک تیر ارضا گردید. [8]

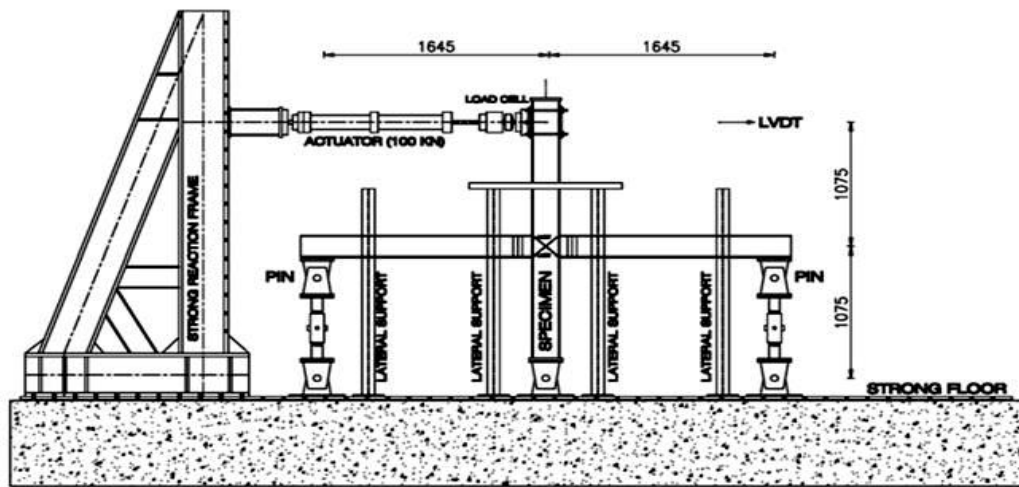
برای ایجاد جزئیات پیشنهادی جان موج دار در جان تیر نمونه‌ها، ابتدا جان تیر در محل مورد نظر با استفاده از شعله بریده، برداشته و پرداخت گردید. سپس ورق‌های موج دار آماده شده در ناحیه جان بریده شده تیر قرار گرفتند و با جوش گوشه دور تا دور به جان و بال تیر متصل گردیدند. پس از ساخت تیرهای با جان موج دار، بال‌ها و جان تیر با پخ 45 بوسیله جوش نفوذی کامل (CJP) به وجه ستون متصل شدند. پس از اتمام فرایند جوشکاری به منظور اطمینان از کیفیت آن، کلیه جوش‌های گوشه به صورت چشمی و جوش‌های نفوذی نیز با استفاده از روش غیر مخرب امواج فراصوتی توسط بازرسی مجاز جوش آزمایش گردیدند. در شکل 3- جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی را می‌بینیم.



شکل 3- جزئیات نمونه‌های آزمایشگاهی اول و دوم (ابعاد به میلی‌متر)

ب - پیکربندی و بارگذاری آزمایش

شرایط نمونه‌های تحت آزمایش و همچنین شرایط سرحدی نمونه‌های مورد آزمایش به نحوی در نظر گرفته شد که طی اعمال بارگذاری، نمونه‌ها تحت تغییر شکل‌هایی قرار می‌گیرند که مشابه تغییر شکل‌های اعضای یک قاب خمشی تحت بار جانبی باشد. بر این اساس شکل نمونه بصورت صلیبی انتخاب گردید و با فرض اینکه ابتدا و انتهای تیر و ستون در نمونه‌های آزمایشگاهی، همان نقاط عطف در تیر و ستون یک قاب خمشی هستند، نقاط انتهایی تیر و ستون بصورت مفصلی در نظر گرفته شدند. در شکل 4 پیکربندی آزمایش، قاب صلب آزمایشگاه، جک هیدرولیکی و سلول بار به همراه یکی از نمونه‌های آزمایشگاهی دیده می‌شود.



شکل 4- پیکر بندی آزمایش (ابعاد به میلیمتر می باشد)

همانطوری که در شکل نشان داده شده است، در انتهای تیرها شرایط تکیه گاه غلتکی با استفاده از دو مفصل که یکی به انتهای تیر متصل شده است و دیگری بر روی کف صلب آزمایشگاه قرار دارد و توسط یک عضو رابط به یکدیگر متصل شده اند، فراهم شده و همچنین در انتهای ستون یک تکیه گاه مفصلی قرار داده شده است. چک هیدرولیکی با ظرفیت 100 کیلو نیوتون و با حداکثر دامنه تغییر مکانی رفت و برگشتی 20 سانتیمتر، تغییر چرخه ای را به سر آزاد ستون اعمال می کند. همچنین به منظور جلوگیری از ناپایداری خارج از صفحه نمونه ها، از مهار کننده های جانبی در فاصله های مناسب استفاده گردید.

تاریخچه بارگذاری طبق الگوی استاندارد پیشنهاد شده توسط آیین نامه AISC انتخاب شد. این تاریخچه که به صورت چرخه ای دو طرفه افزایش یابنده می باشد، به شیوه کنترل تغییر مکان و بر مبنای زاویه تغییر مکان نسبی طبقه به مدل ها اعمال گردید. تاریخچه بارگذاری پیشنهادی AISC با اعمال شش سیکل متوالی برای $0/375$ ؛ $0/5$ ؛ و $0/75$ زاویه تغییر مکان نسبی طبقه شروع می شود و سپس چهار سیکل با بیشینه زاویه تغییر مکان نسبی 1٪ و با اعمال دو سیکل بارگذاری برای هر افزایش زاویه تغییر مکان نسبی طبقه به اندازه 1٪ ادامه می یابد، همانطور که در شکل 2-26 نیز مشخص شده است، محل اعمال بارگذاری نوک ستون می باشد. بارگذاری چرخه ای به شیوه نیمه استاتیک و در مود کنترل تغییر مکان با نرخ کم به نمونه های آزمایشگاهی اعمال گردیدند. در ادامه نتایج آزمایش ها شامل مشاهدات کیفی به دست آمده از رفتار نمونه های آزمایشگاهی در طول آزمایش سیکلیک و همچنین رفتار لرزهای کلی و موضعی نمونه ها به همراه نتایج کمی آزمایش ها و تحلیل نتایج ارائه می گردد.

رفتار مفصل پلاستیک نمونه های آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند و نتایج آزمایش های چرخه ای دو نمونه اتصال RBS با جان موج دار در ناحیه مفصل پلاستیک نشان دادند که مشارکت جان موج دار در ظرفیت لنگر پلاستیک به علت خاصیت آکاردئونی ورق های موج دار به صورت موثری کاهش می یابد و این امر باعث می گردد که مفصل پلاستیک در ناحیه تضعیف شده تیر و با فاصله از بر ستون تشکیل می شود.

با بررسی نتایج مشاهده شد که کرنش و در نتیجه تنش محوری در جان موج دار در مقایسه با بال تیر ناچیز می باشد. البته کرنش در نزدیکی بال تیر به علت اثرات بال افزایش پیدا کرده است. این رفتار بیان گر خاصیت آکاردئونی جان موج دار قرار گرفته در ناحیه تضعیف شده تیر است. در اینجا به بیان چند خاصیت از اتصالات با ورقهای موجدار می پردازیم.

4- نتیجه گیری

1- در مقاطع کاهش یافته تیر برش دایره‌های رفتار چرخه ای بهتری نسبت به سایر برش ها دارد و این اتصال می تواند سبب افزایش تغییر مکان جانبی سازه به میزان حدود 5 درصد شود این مقاطع مستعد کماتش جانبی - پیچشی هستند .

2- اتصالات RBS نقش یک فیوز را در سازه دارند که سبب می شوند اتصالات که اهمیت ویژه ای در قابها دارند تخریب نشده و مکانیزم در مقطع مشخصی از تیر صورت پذیرد

3- خاصیت آکاردئونی جان موج دار، به صورت آشکار در آزمایش نمونه های آزمایشگاهی مشاهده می گردد، این رفتار ورق های موج دار قرار گرفته در ناحیه تضعیف شده تیر، ایده تضعیف سازی بکار برده شده برای اتصال RBS پیشنهادی را تایید می کند .

4- اتصال RBS با بکار گیری ورق های موج دار در ناحیه مفصل پلاستیک تیر توانایی کاهش مقاومت خمشی تیر و در نتیجه تقاضای کرنش پلاستیک در نزدیکی جوش نفوذی بال تیر به ستون را دارا می باشد و با متمرکز نمودن کرنش های پلاستیک در ناحیه تضعیف شده، از وقوع شکست در خارج از ناحیه مفصل پلاستیک پیش گیری می کند .

5- ورق های موج دار قرار گرفته در ناحیه تضعیف شده اتصال پیشنهادی باعث به تاخیر افتادن کماتش موضعی بال و جان تیر در ناحیه موج دار می گردند. بر این اساس افت مقاومت قابل ملاحظه ای در منحنی بار - تغییر مکان نوک ستون در طول آزمایش مشاهده نمی گردد .

5- مراجع

- 1- مهدی قلی پور فیضی "بررسی نقش اتصال استخوانی در سازه های خمشی فولادی" 1386 دانشگاه تبریز
- [2] Engelhardt, M.D., Winneberger, T., Zekany, A.J., and Potyraaj, T.J. "Experimental Investigation of Dogbone Moment Connections." *Engrg. J., AISC, (Fourth Quarter), 1998; 128-138.*
- [3] Uang, C.M. and Fan, C.C. "Cyclic Instability of Steel Moment Connections with Reduced Beam Sections." Report No. SSRP 99-21, University of California, San Diego, CA., 1999.
- [4] Popov, E.P. "Panel Zone Flexibility in Siesmic Moment Joints." *Joint Flexibility in Steel Frames* (ed. W.F. Chen), Elsevier Applied Science, .1987; 91-118
- [5] UBC (1997). *Uniform building code, International Conference of Building Officials, Whittier, Calif.*
- [6] J.A. Zepeda, A.M. Itani, R. Sahai, "Cyclic Behavior of Steel Moment Frame Connections Under Varying Axial Load and Lateral Displacements" *Journal of Constructional Steel Research* 59 (2003) Pages 1-25

[7] Ardeshir Deylami, Afshin Moslehi Tabar, “*Effect of Column Panel Zone Characteristics on Instability of Beams With RBS Moment Resisting Connections*”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada ,(2004),Paper No. 31

8- مطالعات سید رسول میر قادری و همکاران (2009)